

Hegedűs Gergely,¹  Molnár Péter,²  Daruka Norbert³ 

Robbanóanyag-feldolgozó üzem technológiai környezetének tervezése

Design of the Technological Environment for an Explosives Processing Plant

A robbanásveszélyes anyagokat feldolgozó ipari létesítmények tervezése összetett mérnöki és biztonságtechnikai feladat, amely megköveteli a technológiai folyamatok, a létesítménykialakítás és a védelmi intézkedések integrált szemléletű kezelését. A tanulmány célja a robbanóanyag-ipari létesítmények technológiai és biztonsági tervezésének kockázatalapú megközelítésben történő elemzése, különös tekintettel a biztonságos üzemeltetést biztosító térbeli elrendezésre, védelmi rendszerekre és kockázatcsökkentési megoldásokra. A vizsgálat során a vonatkozó hazai jogszabályi környezet, valamint a nemzetközi robbanásbiztonsági szabványok és ajánlások (különösen az IATG, AASTP és DGUV irányelvek) összehasonlító elemzése történt, kiegészítve kockázatértékelési módszerek – így a legrosszabb eset alapú megközelítés és a kvalitatív és kvantitatív elemzési eljárások – alkalmazásával.

Az eredmények rámutatnak, hogy a biztonságos létesítménytervezés alapját a safety by design szemlélet, az expozíció minimalizálása, valamint a többrétegű védelmi rendszerek (defence in depth) következetes alkalmazása képezi. A technológiai folyamatok és az építészeti kialakítás összehangolása, a veszélyes és inert zónák megfelelő elkülönítése, valamint a védőtávolságok és robbanásvédelmi megoldások helyes meghatározása jelentősen csökkenti a baleseti kockázatokat és azok következményeit. A tanulmány hozzájárul egy integrált, kockázatalapú tervezési szemlélet kialakításához, amely támogatja a robbanóanyag-ipari létesítmények biztonságos és hatékony megvalósítását, valamint a hazai és nemzetközi előírásoknak való megfelelést.

Kulcsszavak: robbanásbiztonság, kockázatalapú tervezés, kockázatértékelés, robbanóanyag-ipari létesítmények, védőtávolság

¹ Robbantástechnikai szakmérnök, e-mail: gergely.hegedus@hirtenberger.com

² Robbantástechnikai szakmérnök, e-mail: peter.molnar@hirtenberger.com

³ Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

The design of industrial facilities that process explosive materials is a complex engineering and safety task that requires an integrated approach to technological processes, facility layout, and protective measures. The aim of this study is to analyse the technological and safety design of facilities in the explosives industry using a risk-based approach, with particular emphasis on spatial layout, protective systems, and risk mitigation solutions that ensure safe operation.

During the study, a comparative analysis was conducted of the relevant domestic regulatory framework as well as international explosion safety standards and recommendations (particularly the IATG, AASTP, and DGUV guidelines), supplemented by the application of risk assessment methods – such as the worst-case scenario approach and qualitative and quantitative analysis procedures. The results highlight that the foundation of safe facility design is the "safety by design" approach, the minimisation of exposure, and the consistent application of defence-in-depth systems. The coordination of technological processes and architectural design, the proper separation of hazardous and inert zones, and the correct determination of safety distances and explosion protection solutions significantly reduce accident risks and their consequences. This study contributes to the development of an integrated, risk-based design approach that supports the safe and efficient implementation of facilities in the explosives industry, as well as compliance with domestic and international regulations.

Keywords: explosion safety, risk-based design, risk assessment, explosives industry facilities, safety distance

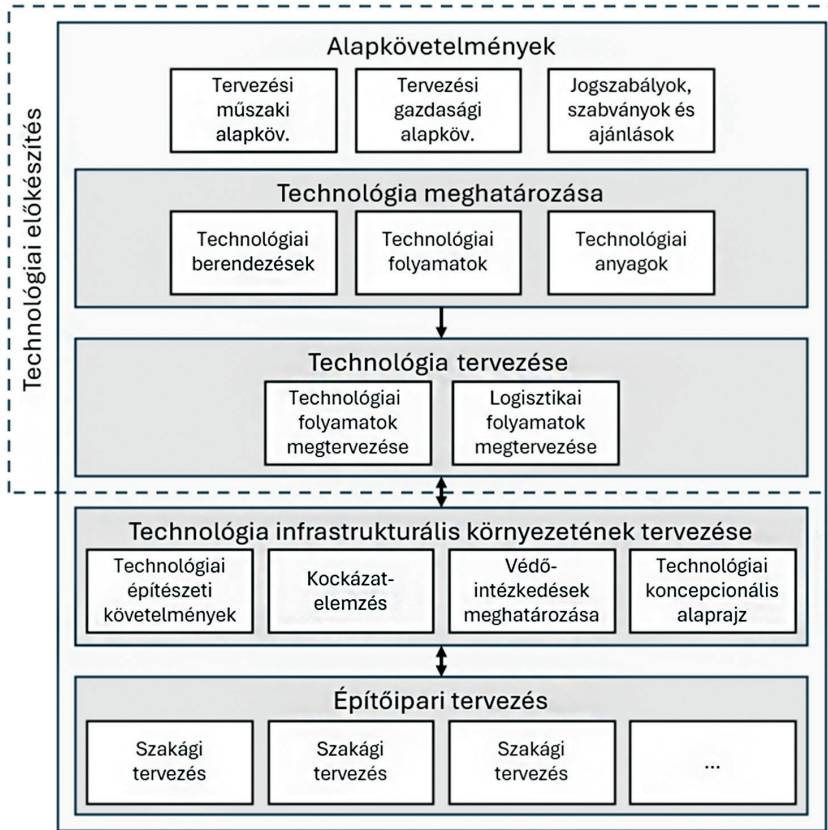
Bevezetés

Egy új ipari létesítmény – különösen, ha robbanóanyagok feldolgozására szolgál – megvalósítása lehetőséget biztosít arra, hogy a gyártási technológia igényeihez igazodó, korszerű és a legmagasabb biztonsági előírásokat és védőintézkedéseket szem előtt tartó helyiségek, épületek és infrastruktúra jöjjön létre. A zöldmezős beruházás, a nulláról történő tervezés lehetővé teszi, hogy a létesítmény kialakítása ne csak a hatályos magyar jogszabályi környezet követelményeire, de a nemzetközi szinten elismert műszaki ajánlásokra is épüljön.⁴ Ezáltal biztosítható egy olyan gyártókörnyezet létrehozása, amely egyszerre támogatja a hatékony termelést és garantálja a robbanásveszéllyel járó folyamatok nagy fokú biztonságát.

A modern ipari és védelmi környezetben a robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezése egyre inkább multidiszciplináris megközelítést igényel, amelyben a klasszikus építészeti és technológiai szempontok mellett megjelennek a digitális tervezési módszerek, az adatvezérelt döntéshozatal és a rezilienciaközpontú szemlélet elemei is. A kritikus infrastruktúrák növekvő sérülékenysége, valamint a komplex ellátási láncok függősége indokoltá teszi, hogy a tervezés során ne csupán a normál üzemállapotokra, hanem a rendkívüli eseményekre és azok láncreakcióira is kiemelt figyelem irányuljon.

⁴ 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet; IATG 02.30; DGUV 113-017.

A gyárépítés építőipari tervezési, kivitelezési fázisát megelőzi egy alapos, a gyártási technológiára koncentrálnak előkészítő szakasz, amelynek során meghatározzák a gyártási folyamatokat befolyásoló gazdasági és műszaki paramétereket, a technológiai berendezéseket, folyamatokat, a feldolgozott anyagok típusait, valamint azok technológiai, biztonsági, térbeli és szervezési követelményeit (1. ábra).⁵



1. ábra: Robbanóanyag-feldolgozó üzem fejlesztésének lépései

Forrás: a szerzők szerkesztése

Ezen technológiai előkészítési szakasz eredményeire támaszkodva alakítható ki a technológiának helyet adó környezet, tervezhetők meg a technológiai koncepciók alaprajzok. A technológiai koncepciók alaprajzok, a kapcsolódó építészeti, épületgépészeti és épületvillamossági információkkal kiegészítve, alapvető bemeneti adatokat biztosítanak az építészeti tervek kidolgozásához.

⁵ HEGEDŰS–MOLNÁR–DARUKA 2025.

Technológiai koncepcionális alaprajz

A gyártási technológia funkcionális felosztása, amely figyelembe veszi a gyártásközi minőség-ellenőrzési folyamatokat, valamint a késztermékek alösszeállítási szakaszait, alapvetően meghatározza a technológiai részfolyamatokat. E részfolyamatok részletes kockázatelemzésével az egyes technológiai lépések elhelyezése optimálisan elhatárolt, egymástól független helyiségekbe tervezhető. A részfolyamatok végrehajtásához szükséges eszközök és berendezések elhelyezésének meghatározása pedig lehetővé teszi az egyes helyiségek szükséges méreteinek precíz definiálását.

A gyártóhelyiségek ideális méretezése, a technológiai folyamatok figyelembevételével, biztosítja az épületek koncepcionális alaprajzainak kialakítását. Ezen alaprajzok folyamatos, lépésről lépésre történő finomítással és kockázatelemzés által optimalizálhatók. A végleges építészeti alaprajz alapját az így kialakult, technológiailag optimalizált koncepció adja, kiegészítve az építészeti szakági információkkal.

A technológiai alaprajzok megalkotásával párhuzamosan figyelembe kell venni a technológiai anyagáramokat, amelyek elengedhetetlenek a koncepcionális kialakítások értékeléséhez. A koncepciók alaprajzok segítségével ezen anyagáramok logisztikai útvonalai is bemutathatók és kiértékelhetők.

A technológiai alaprajzok kialakítása során kiemelt jelentősége van az anyagáramlások és a személyforgalom szétválasztásának. A robbanásveszélyes anyagok mozgatásának útvonalait úgy kell kialakítani, hogy azok a lehető legkisebb mértékben keresztezzék a személyi közlekedési útvonalakat, ezáltal csökkentve az expozíciós kockázatot.⁶ E megközelítés összhangban áll az ALARP-elvvel, amely a kockázatok észszerűen elérhető legalacsonyabb szintre történő csökkentését írja elő.⁷

A koncepcionális alaprajzok kialakítása során célszerű figyelembe venni a *defence in depth* elv alkalmazását is, amely több egymásra épülő védelmi réteg kialakítását jelenti. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy egy esetleges műszaki vagy emberi hiba ne vezessen közvetlenül súlyos következményekhez, mivel a rendszer további védelmi elemei képesek a hiba hatásainak lokalizálására és korlátozására.⁸

Továbbá célszerű a technológiai egységeket funkcionális klaszterekbe szervezni, ahol az egymással szoros kapcsolatban álló műveleteket egy épületen belül, de megfelelő fizikai elhatárolással helyezik el. Ez lehetővé teszi a belső logisztika optimalizálását, miközben fenn tartja a szükséges biztonsági szeparációt.

A telephelyi objektumok kialakítása során figyelembe kell venni mind a szabályozási, mind a technológiai előírásokat. Egy-egy gyártóépület jellemzően nem csak egy technológiai lépésnek vagy gyártóegységnek adhat helyet. Sok esetben szükség van a különböző gyártási folyamatok elemzésére, és figyelembe véve az eljárások különböző peremfeltételeit, például az energiaigényét, belső logisztikai kapcsolatait, a processzált anyagmennyiségeket,

⁶ IATG 02.30; Department of Defense 2020.

⁷ IATG 02.30.

⁸ Department of Defense 2020; DGUV 113-017.

munkaerő-szükségletét és az eljárások biztonsági, illetve kockázati besorolását, egy gyártó-épületbe különböző technológiai lépések is integrálhatók. Az épületek tervezése nem válsulhat meg függetlenül a technológiai folyamatoktól, hiszen a technológia alapvetően befolyásolja az épületek kialakítását. A technológiai fejlesztés és az építészeti tervezés párhuzamosan, egymástól elválaszthatatlanul, ismétlődő lépések sorozatából álló folyamatként kell történni, mivel a két folyamat által kialakított kompromisszum eredményezi a végleges struktúra kialakítását.

Technológiai zónák és funkcionális szeparáció

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésének egyik kulcseleme a különböző funkciójú zónák egyértelmű meghatározása és fizikai elkülönítése. A zónák kialakítása során figyelembe kell venni az alkalmazott anyagok veszélyességi osztályát, a technológiai műveletek jellegét, valamint az egyes folyamatok közötti kölcsönhatásokat.

A nemzetközi gyakorlatban elterjedt megközelítés szerint a technológiai területek többszintű szeparációja szükséges:

- robbanásveszélyes technológiai zónák;
- átmeneti (*buffer*) zónák;
- inert vagy adminisztratív területek.

A zónák kialakításánál célszerű figyelembe venni az ember-gép interakciók gyakoriságát is, mivel a magas humán jelenlétű területeken a kockázatok kezelése eltérő megközelítést igényelhet. Az ergonómiai szempontok integrálása nemcsak a munkavégzés hatékonyságát növeli, hanem hozzájárul a hibázási valószínűség csökkentéséhez is.

A zónák közötti átmenetet műszaki és szervezési intézkedésekkel kell szabályozni⁹ (például zsiliprendszerek, hozzáférés-szabályozás, technológiai *interlock*¹⁰ rendszerek). A megfelelő zónakialakítás hozzájárul a dominóhatás kialakulásának megelőzéséhez, valamint lehetővé teszi a kockázatok lokális kezelését.

Inert épületek kialakítása

Az inert épületek olyan létesítmények, amelyekben robbanóanyag nem található. Ezen épületek tervezésére és kialakítására a robbanóanyagok specifikus tulajdonságaira, valamint azok kezelésére vonatkozó szigorúbb előírások nem érvényesek. Ennek következtében az inert épületek megtervezésére és kivitelezésére az általános, jól szabályozott tervezési irányelvek és követelmények alkalmazandók. Fontos megjegyezni azonban, hogy a robbanóanyagokkal kapcsolatos biztonsági előírások, különösen a külső behatásokkal szembeni védelem, az inert

⁹ DGVU 113-017; 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet.

¹⁰ Az *interlock* (reteszelés) kifejezés a robbanóanyag-feldolgozó üzemekben egy kulcsfontosságú biztonságtechnikai fogalom. Egy olyan automatikus biztonsági logika, amely megakadályozza, hogy egy veszélyes művelet elinduljon vagy folytatódjon, ha a szükséges biztonsági feltételek nem teljesülnek.

épületekre is kihatással lehetnek, így esetenként előfordulhat, hogy az épületeket például biztonsági üvegezéssel kell ellátni a másodlagos hatások elkerülése érdekében.¹¹

Bár az inert épületekben közvetlen robbanásveszély nem áll fenn, ezek elhelyezése és kialakítása nem választható el a robbanóanyaggal kapcsolatos technológiai területektől. Az ilyen épületek gyakran a kritikus támogató infrastruktúrát (irányítás, energiaellátás, karbantartás) biztosítják, így sérülésük közvetett módon hatással lehet a teljes üzem működésére. Ennek megfelelően tervezésük során figyelembe kell venni a külső robbanási hatások elleni ellenálló képességet, valamint az üzembiztonság fenntartásának követelményeit.

Robbanóanyag-raktárak kialakítása

A robbanóanyagok tárolására alkalmas raktárak esetében javasolt földdel borított, szabványos, minősített vasbeton szerkezetű építmények (*earth-covered magazine*, ECM) alkalmazása. Az ECM típusú raktárak előnye, hogy kialakításuk révén hatékonyan csökkentik a repesz és léglökés hatását, amelyek más típusú tárolóegységeknél jelentősebben érvényesülhetnek. További előnye a sztenderd, szabványos ECM-raktárak alkalmazásának, hogy azokhoz elérhetők a részletes tervdokumentációk, amelyek alkalmazásával számottevő tervezési és engedélyezési költségmegtakarítás érhető el.¹²

A raktárak használatakor a személyi jelenlét ritkán és csak rövid időszakokban szükséges biztosítani, jellemzően egy-két fő számára, amikor a tárolt anyagok manipulálása zajlik.

A szükséges raktárkapacitás meghatározásakor az ADR¹³ szerinti együtt-tárolhatósági előírások, valamint a termelési területek gyártási kapacitása, az alkalmazott anyagok csomagolási egységei, a beszállított anyagmennyiségek és a várható rendelési volumenek is meghatározó tényezők.

Robbanóanyag-feldolgozó épületek kialakítása

A robbanóanyagok feldolgozása során az állandó személyi jelenlét szükséges lehet, eltérően a raktári tárolástól. Még a legnagyobb biztonsági óvintézkedések mellett is – figyelembe véve a robbanóanyagok természetét – teljes mértékben nem lehet kizárni a robbanás lehetőségét. Ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésekor arra, hogy a gyártási technológia és a gyártóépület a lehető legbiztonságosabb környezetet biztosítsa a dolgozók számára.¹⁴

A feldolgozóépületek kialakításánál célszerű a személyi jelenlét minimalizálására törekedni, különösen a magas kockázatú technológiai műveletek esetében. Ennek egyik eszköze az automatizálás és a távvezérelt rendszerek alkalmazása, amely összhangban áll a modern

¹¹ UFC 3-340-02; AASTP-1.3.

¹² AASTP-1.3.

¹³ Accord relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route. A veszélyes áruk nemzetközi közúti szállításáról szóló európai megállapodás.

¹⁴ IATG 02.30; DGUV 113-017.

iparbiztonsági megközelítésekkel.¹⁵ Az ilyen megoldások nemcsak a személyi kockázat csökkentését szolgálják, hanem hozzájárulnak a folyamatok stabilitásához és reprodukálhatóságához is.

Védelmi intézkedések

A technológiában használt anyagok, berendezések támasztotta követelmények alapján a technológiai folyamatok megtervezése bemenetet kínál az épület kialakításához, mind építészeti, épületvillamossági és épületgépészeti tekintetben. Egy új ipari létesítmény létrehozása esetén elengedhetetlen, hogy az épületek kialakítása teljes mértékben illeszkedjen a gyártási technológia szükségleteihez. Ezenkívül az épületek tervezése során figyelembe kell venni a nyersanyagok, alapanyagok, félkész- és késztermékek logisztikai folyamatainak követelményeit, a megfelelő fizikai védelmi intézkedések biztosítását, valamint a vonatkozó jogszabályoknak való maradéktalan megfelelést.¹⁶

A védelmi intézkedések rendszere többretegű megközelítést igényel, amely magában foglalja a primer (megelőző), szekunder (hatáscsökkentő) és tercier (kárenyhítő) intézkedéseket. A primer intézkedések célja a robbanás bekövetkezésének megelőzése (például technológiai paraméterek kontrollja), míg a szekunder intézkedések a robbanás hatásainak csökkentésére irányulnak (például kifúvófelületek, robbanásálló szerkezetek). A tercier intézkedések a bekövetkezett esemény következményeinek kezelését szolgálják (például vészhelyzeti eljárások, mentési infrastruktúra).¹⁷

A védelmi intézkedések hatékonyságának biztosítása érdekében szükséges azok rendszeres felülvizsgálata és validálása. Ez magában foglalhatja a szimulációs vizsgálatokat, próbateljesítéseket, valamint az üzemeltetési tapasztalatok visszacsatolását a tervezési folyamatba. A folyamatos fejlesztés elvének (*continuous improvement*) alkalmazása kulcsfontosságú a hosszú távú biztonsági szint fenntartásához.¹⁸

A jogszabályok betartásának kényszere kiemelt figyelmet igényel az egészségvédelem terén, mind az üzemi területeken kívül, mind pedig belső környezetben. Az üzemen belüli biztonságos munkakörnyezet kialakítása nem csupán a különböző gyártóépületek közötti, hanem a gyártóépületeken belüli területekre is kiterjed, így biztosítva az egész létesítmény védelmét.

Biztonsági alapkonceptió

Az épületek tervezési folyamatában alapvető fontosságú szempont az egészségvédelmi és munkavédelmi követelmények érvényesítése, a kockázatok elfogadható szintre csökkentésének biztosítása mellett. Az egészségvédelem és biztonság megteremtésének fontosságát mind a magyar jogszabályok, mind pedig a nemzetközi szabványok és irányelvek kiemelten kezelik.

¹⁵ Department of Defense 2020.

¹⁶ 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet.

¹⁷ DGUV 113-017; Department of Defense 2020.

¹⁸ IATG 02.30; Department of Defense 2020.

27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról:¹⁹

„11. § (3) Azon gyártó helyiség terelőfalait, amely helyiségben a robbanás gyakori bekövetkezésével kell számolni, többszöri robbanással szemben is ellenállónak kell kialakítani. A terelőfalak ténylegesen szükséges szerkezetét és falvastagságát a helyiségben végzett technológiai folyamat, a berendezések, a jelenlevő anyagok minősége, mennyisége, a helyiség terhelési tényezője figyelembevételével kell meghatározni.”

„11. § (14) A különösen veszélyes munkahelyeken (különösen iniciáló robbanóanyag szárításánál, szitálásánál, száraz keverésénél, préselésénél, brizáns robbanóanyag sajtolásánál) a munkavállalókat a technológiai tértől vasbeton fallal és zsiliprendszerű mozgatható acéllappal el kell választani. A vasbeton fal és az acéllap kialakításának olyannak kell lenni, hogy a technológiai térben esetleg felrobbanó összes robbanóanyag a munkavállalók testi épségét ne veszélyeztesse.”

„12. § (1) »RV-besorolású« építmény létesítésénél – belső védelme kialakításán túl – szükség esetén gondoskodni kell a környező építmények és az azokban foglalkoztatott személyek külső védelméről is.”

DGUV 113-017 4.1 General requirements:²⁰

„A védőintézkedések meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy az épületeket, szobákat, helyiségeket, létesítményeket, berendezéseket és tevékenységeket úgy tervezzék meg és üzemeltessék, hogy a munkahelyen lévő biztosított személyre és harmadik személyekre ható – a tűz vagy robbanás hatásaiból eredő – kockázat a lehető legkisebb legyen.”

DESR 6055.09, 1.4.1 General Informations:²¹

„Az emberek és a vagyontárgyak lehető legnagyobb mértékű védelme a robbanóanyagok potenciális káros hatásaival szemben, valamint a biztonságos és hatékony műveletekkel összhangban lévő expozíció minimalizálása (azaz a lehető legkisebb számú embernek a lehető legkisebb ideig, a lehető legkisebb mennyiségű robbanóanyagnak való kitétele).”

IATG 02.30 5.1 Risk management (LEVEL 2) – General:²²

„A robbanóanyagok tárolására és feldolgozására használt valamennyi létesítményt a rendeltetésszerű használatra alkalmasnak kell engedélyeztetni. A robbanóanyag-engedély kiadásához az illetékes műszaki hatóságnak meg kell győződnie arról, hogy a létesítmény az engedély feltételeinek betartásával történő működése során az embereket olyan kockázatoknak teszi ki, ame-

¹⁹ 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet.

²⁰ DGUV 113-017.

²¹ Department of Defense 2020.

²² IATG 02.30 – Risk Management (Level 2).

lyek a lehető legalacsonyabb szinten (As Low As Reasonably Practicable, ALARP) vannak. Ennek meg kell felelnie az adott társadalom számára megfelelőnek ítélt tolerálható kockázatnak. Az ALARP elsődleges elvének kell lennie, hogy az automatikus engedélyezési rendszeren túlmutató, engedélyezési szabályokon túl is mérlegelni kell, hogy az adott tevékenységet észszerűen és gyakorlatiasan biztonságosabb módon lehet-e végezni. Ha a biztonság az IATG iránymutatásain túlmenően gyakorlatilag javítható, akkor egyértelmű gondossági kötelezettség áll fenn, amelyet teljesíteni kell. Nem elég olyan útmutatásra támaszkodni, amely nem veszi figyelembe azokat a helyi körülményeket, amelyek magasabb szintű biztonsági intézkedéseket tehetnek szükségessé vagy tesznek lehetővé."

A munkavállalók testi épségének védelme érdekében védőintézkedéseket kell alkalmazni nem csupán az üzemeltetés során, hanem már a tervezési fázisban is.²³ A vonatkozó védelmi intézkedések egy része a magyar jogszabályokban van rögzítve, ugyanakkor a nemzetközi irányelvek, szabályozások és publikációk további, kiegészítő útmutatásokat is biztosítanak, amelyek segítenek a biztonságos munkakörnyezet kialakításában. Többek között a következő okmányok előírásait ajánlott figyelembe venni:

- AASTP-1 Edition C Version 1 NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4440);
- AASTP-1.1 Edition A Version 1 Manual for the Development of an Explosives Safety Site Plan Based on AASTP-1;
- AASTP-1.2 Edition A Version 1 Development of Nato Debris and Fragment Distance Curves for AASTP-1;
- AASTP-1.3 Edition A Version 1 Nationally Approved Structures for Explosives Areas;
- AASTP-3 Edition 1 Version 3 Manual of NATO Safety Principles for the Hazard Classification of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4123);
- STANAG 4442 Edition 1 (AASTP-4) Application of Risk Analysis to the Storage and Transport of Military Ammunition and Explosives;
- AASTP-4 Vol. PART I Edition 1 Version 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Guidelines for Risk-Based Decisions;
- AASTP-4 Vol. PART II Edition 1 Version 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Technical Background;
- AASTP-05 Edition B Version 1 NATO Guidelines for the Storage, Maintenance and Transport of Ammunition on Deployed Missions or Operations;
- AMovP-6 Allied Multi-Modal Transportation of Dangerous Goods Directive;
- DIN VDE V 0166:2011-04 Errichten elektrischer Anlagen in Bereichen, die durch Stoffe mit explosiven Eigenschaften gefährdet sind;
- DGVU 113-008 04.2001 – Pyrotechnic;
- DGVU 113-017 Tätigkeiten mit Explosivstoffen;
- TRGS-526 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Laboratorien;
- Department of Defense (DoD) (2020). DESR 6055.09 – Defense explosives safety regulation. U.S. Department of Defense.

²³ 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet; DGVU 113-017; Department of Defense 2020; IATG 02.30

- UFC 3-340-02 (TM5-1300) – Unified Facilities Criteria – Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions;
- UFC-3-340-01 (DAHS-CWE) – Design of Hardened Structures for Conventional Weapons Effects;
- DDESB TP-10 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Methodology for Chemical Hazard Prediction;
- DDESB TP-12 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Fragment and Debris Hazard;
- DDESB TP-13 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Software Update;
- DDESB TP-15 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Approved Protective Construction;
- DDESB TP-16 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Methodologies for calculating Primary Fragment Characteristics;
- DDESB TP-17 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Blast scaling;
- DDESB TP-18 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Minimum Qualifications for Unexploded Ordnance (UXO) Technicians and Personnel;
- DDESB TP-20 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Blast Effects Computer – Open (BEC-O) Version 1 User's Manual and Documentation, 11 June 2018;
- DDESB TP-21 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Procedures for the Collection, Analysis, and Interpretation of Explosion-Produced Debris-Revision 2;
- DDESB TP-23 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Assessing Explosives Safety Risks, Deviations, and Consequences;
- DDESB TP-26 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Guidance for Required Explosives Safety Submissions;
- DDESB TP-27 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical paper, Explosives Safety Training;
- DDES Issuances;
- DoD Instruction (6055.16; 4145.26; 4140.62);
- CJCSI 4360.01;
- DOE-STD-1212 Department of Energy Technical Standard – Explosives Safety;
- DOE/TIC-11268 Department of Energy A Manual for the Prediction of Blast and Fragment Loadings on Structures;
- EIG–Explosives Industry Group – The Use of Structural Justification to Underpin an HSE/ONR Explosives Licence;
- DSA03 OME Part 2 (korábban JSP 482);
- International Ammunition Technical Guidelines (IATG).

Kockázatelemzés és -értékelés

A technológiai részfolyamatok kapcsolatai meghatározzák, hogy mely technológiai sorok helyezhetők el egy területen belül, a folyamatokat alkotó berendezések és kiszolgáló területek befoglaló méretei pedig az épületek helyiségeinek méreteit határozzák meg. Ezen információk lényegesek a robbanóanyag-feldolgozó épületek tervezésénél, ugyanakkor nem elegendők a végleges kialakítás meghatározásához. Egyéb tényezők, mint például a biztonság, költségek és az optimális épületgeometria, szintén jelentős hatással lehetnek a tervekre. A végleges alaprajzok meghatározása érdekében, jellemzően egy összetett, többlépcsős ismétlődő, ciklikus tervezési és értékelési eljárási folyamatra van szükség, amelynek eredményeként az épület optimális, közelítő alaprajza kialakítható.²⁴

A kockázatelemzés során alkalmazott módszertanok kiválasztása jelentős hatással van a tervezési döntések megalapozottságára. A kvalitatív és kvantitatív módszerek kombinált alkalmazása lehetővé teszi a veszélyforrások teljes körű azonosítását, valamint azok hatásainak számszerűsítését. A HAZOP-,²⁵ FMEA-²⁶ és QRA²⁷-módszerek integrált alkalmazása különösen indokolt a robbanóanyag-feldolgozó üzemek esetében, ahol a komplex kölcsönhatások és a nemlineáris hatásmechanizmusok miatt az egyszerűsített megközelítések nem elegendők. A HAZOP-módszer a technológiai folyamatok eltéréseinek szisztematikus feltárását teszi lehetővé, míg az FMEA a berendezések hibamódjainak és azok következményeinek elemzésére alkalmas. Ezzel szemben a QRA kvantitatív megközelítést alkalmaz, amely lehetővé teszi a kockázatok számszerűsítését és a védőtávolságok meghatározását. A módszerek integrált alkalmazása biztosítja a kockázatok több szinten történő értékelését, amely elengedhetetlen a robbanásveszélyes technológiák biztonságos tervezéséhez.

A kockázatelemzési módszerek alkalmazását célszerű kiegészíteni adatvezérelt megközelítésekkel, például esemény-adatbázisok és ipari baleseti statisztikák feldolgozásával. Az ilyen adatok lehetővé teszik a ritka, de nagy következményű események jobb megértését, valamint a modellek validálását.

A közelítő alaprajzok a kockázatelemzés kezdeti alapját képezik. A kockázatelemzés folyamán az alaprajzok módosulnak, és az épületen belül, valamint kívül alkalmazandó védőintézkedések részletes meghatározása is megtörténik.

A robbanóanyagok feldolgozásával foglalkozó üzemek esetében különösen fontos figyelembe venni, hogy egy esetleges üzemi baleset hatása jelentősen megnövekszik a HD 1.1

²⁴ AASTP-4 Part I–II; IATG 02.30.

²⁵ Hazard and Operability Study. Egy strukturált, csoportos elemzési módszer, amely a technológiai folyamatok eltéréseit vizsgálja veszélyforrások feltárására, folyamatbiztonság vizsgálatára, illetve tervezési hibák kiszűrésére.

²⁶ Failure Modes and Effects Analysis. Hibamód- és hatáselemzés, amely a berendezések és rendszerek meghibásodásait vizsgálja berendezés szintű kockázatok, karbantartási prioritások, illetve megbízhatóság növelésének meghatározására.

²⁷ Quantitative Risk Assessment. Kvantitatív (számszerűsített) kockázatelemzés védőtávolságok és telephely-elrendezés meghatározására, illetve hatósági engedélyezés céljából.

besorolású anyagok esetén,²⁸ mivel ezek tömegrobbanásra képesek és potenciális repeszkepzők.²⁹ Ennek következményeként az ilyen üzemekkel kapcsolatos biztonsági előírások különös figyelmet igényelnek.

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek környezetre gyakorolt hatásával több jogszabály, szabvány és irányelv foglalkozik, amelyek előírásokat tartalmaznak a megengedett védőtávolságok és a szükséges védelmi intézkedések vonatkozásában (például AASTP-1 szabvány).³⁰ Az ezen szabályozások szerinti védőtávolságok és védelmi intézkedések megfelelő alkalmazásával jelentős mértékben csökkenthetők a környezetet érő veszélyek, például a robbanás következtében keletkező léglökés, repeszhatás, hőhatás, szeizmikus rezgések, illetve a vegyi anyagok okozta egészségkárosodás. A biztonsági létesítmények és berendezések alapvető szerepe e hatások mérséklése.³¹

Míg az AASTP-1 szabvány alapján az épületek közötti minimális távolságot pontosan meghatározhatjuk a robbanóanyag mennyisége és típusa alapján, addig az épületen belüli, a robbanóanyag feldolgozásával kapcsolatos veszélyek csökkentésére vonatkozó előírások nem olyan részletesek. Bár léteznek bizonyos általános előírások és ajánlások a belső kialakítással kapcsolatban, ezek többsége inkább irányelv, mintsem konkrét számításokkal alátámasztott, részletes metodika. Ezt a különbséget elsősorban az indokolja, hogy minden üzem egyedi sajátosságokkal rendelkezik, így a pontos tervezési előírások univerzálisan nem definiálhatók.³²

Ennek ellenére a gyártóhely üzemeltetőjének kulcsszerepe van abban, hogy az érintett hatóságokkal együttműködve meghatározza, hogy az adott épületen belül milyen mértékű veszélyeztetettség elfogadható, valamint mi az az üzemi kockázat, amit egy esetleges baleset következményeként el lehet viselni. Ez az egyedi mérlegelés minden üzem esetében eltérhet. Az üzemi kockázat és a legrosszabb forgatókönyv szerinti baleset (*worst case*) hatása elfogadható szintjének meghatározásával, a technológia alapos ismeretében elvégezhető az épület adott kialakításának kockázatelemzése. A kockázatelemzés során feltárt gyenge pontok alapján, folyamatosan ismétlődő, ciklikus tervezési és értékelési eljárással (iterációval) meghatározható az épület belső kialakítása, valamint a szükséges védőintézkedések.

A kockázatértékelés alapelvei

A kockázatértékelés kiindulópontja az üzemi kockázat, valamint a legrosszabb forgatókönyv alapján elfogadható hatások szintjének rögzítése. E célból az adott létesítményt biztonsági intézkedésekkel több, jól elkülöníthető szektorra lehet osztani, és ezen szektorokon belül az elfogadható kockázati szintek külön-külön meghatározandók.³³

²⁸ A „HD 1.1 – Hazard Division tömegrobbanás-veszély” egy nemzetközi veszélyességi besorolás, amely a robbanóanyagok viselkedését írja le baleset esetén. A HD 1.1 besorolású robbanóanyagok olyan anyagok, amelyek tömegrobbanásra képesek, azaz egy adott mennyiség robbanása esetén a teljes készlet gyakorlatilag egyidejűleg reagál, és a robbanás hatása az egész mennyiségre kiterjed.

²⁹ AASTP-3.

³⁰ AASTP-1.

³¹ AASTP-1; AASTP-1.1; AASTP-1.2.

³² IATG 02.30.

³³ IATG 02.30; AASTP-4 Part I.

A különböző funkciójú területek megkülönböztetése fontos szerepet kap. Azokat a helyiségeket, ahol robbanásveszélyes vagy energetikai anyagokkal dolgoznak, vagy azokat ideiglenesen tárolják, „Vörös szektorként” lehet definiálni. Ezzel szemben azok az inert területek, ahol nincsenek jelen veszélyes anyagok, az úgynevezett „Zöld szektorok”, és e helyiségekre akár szigorúbb elfogadási szintek is vonatkozhatnak.

Bár a megfelelő védőintézkedések és munkaszervezés révén a balesetek előfordulásának valószínűsége jelentősen csökkenthető, azok teljes kizárása mégis lehetetlen, hiszen statisztikailag csupán idő kérdése, mikor fog a baleset bekövetkezni. A kockázatértékelés során figyelembe kell venni a baleset esetleges hatásait, nemcsak az adott helyiségre, hanem az azal szomszédos helyiségekre is. A kockázatértékeléshez célszerű megkülönböztetni a *donor* helyiséget, ahol a baleset bekövetkezését vizsgáljuk, és a vele egy épületben lévő szomszédos *acceptor* helyiségeket. Az elfogadható kockázati szintek meghatározása során különbséget érdemes tenni ezen két típusú helyiség között.

A kockázatértékelés során fontos, hogy különbséget tegyünk és részletesen elemezzük a legrosszabb forgatókönyv szerinti balesetek hatásait, valamint az üzemi működésből származó kockázatokat. A hatások értékelését célszerű három fő kategóriában elvégezni:

- *Emberi hatás:* A baleset következményeként jelentkező hatások az érintett személyekre, azaz a munkavállalókra.
- *Gazdasági hatás:* Az esemény hatása a gazdasági eszközökre, gépekre, berendezésekre és termékekre.
- *Épületre gyakorolt hatás:* A baleset következményei az épületszerkezetekre és az azokkal kapcsolatos infrastruktúrára.

Ezek a kategóriák lehetővé teszik a kockázatok részletesebb és átfogóbb elemzését, figyelembe véve a balesetek humán, gazdasági és műszaki vonatkozásait is.

A legrosszabb forgatókönyv (*worst case*) elemzése

A legrosszabb forgatókönyv vizsgálata során figyelembe kell venni az adott helyiségre vonatkozó maximálisan megengedett robbanóanyag-mennyiséget, és ezen érték alapján értékelhetjük a *donor* és *acceptor* helyiségekre gyakorolt hatásokat.³⁴ A tervezett védőintézkedések megfelelősége akkor elfogadható, ha a hatások a korábban meghatározott, elfogadható szinthez viszonyítva alacsonyabb szinten vannak.

A legrosszabb forgatókönyv hatásvizsgálata minden egyes helyiségre elvégezhető, figyelembe véve azt, hogy a donor helyiségben bekövetkező esemény milyen hatást gyakorol az adott helyiségre, valamint a szomszédos (*acceptor*) helyiségekre. Ezen elemzéshez elengedhetetlen, hogy tisztában legyünk a helyiségben tárolt robbanóanyag-mennyiséggel, az alkalmazott technológiai folyamatokkal, a helyiségben tartózkodók számával, valamint az alkalmazott védőintézkedésekkel, például a falvastagsággal, a fal típusával, a födém szerkezetével és a kifúvó felületek elhelyezkedésével.

³⁴ AASTP-1.1; AASTP-4 Part I.

Fontos hangsúlyozni, hogy a legrosszabb forgatókönyv elemzése nem csupán egy elméleti gyakorlat, hanem a tervezési döntések egyik legfontosabb alapja. Az így meghatározott határértékek szolgálnak referenciaként a szerkezeti méretezéshez, a védelmi intézkedések kialakításához és a telephelyi elrendezés optimalizálásához. A *worst case* szemlélet alkalmazása különösen indokolt a HD 1.1 besorolású anyagok esetében, ahol a tömegrobbanás következményei katasztrofálisak lehetnek.³⁵

Üzemi működési kockázatértékelés súlyos következményekkel járó balesetek esetén

Az üzemi kockázatok értékelésekor nem csupán a potenciális hatásokat, hanem azok valószínűségét és előfordulási gyakoriságát is figyelembe kell venni. A kockázatértékeléshez számos különböző módszert kínálnak a nemzetközi szabványok.³⁶

A kockázatértékelést a kockázatcsökkentő intézkedések szem előtt tartásával kell végrehajtani, figyelembe véve az épület minden egyes helyiségét mint donor helyiséget, valamint a szomszédos helyiségeket, amelyek acceptor szerepet töltenek be.

A kockázatcsökkentő intézkedések figyelembevételével elvégzett kockázatértékelés segíthet meghatározni az adott épület minden egyes helyiségére vonatkozó kockázati szintet, amely alapján mérlegelhető a bevezetett védelmi intézkedések megfelelősége.

A dominóhatás kockázatának meghatározása

A kockázatértékelés fontos része a legrosszabb forgatókönyv szerinti hatások áttérjedésének, az úgynevezett dominóhatás kockázatának meghatározása. Ennek során figyelembe kell venni, hogy egy baleset hatásai hogyan terjedhetnek át a helyiségből a szomszédos terekre.³⁷

A legrosszabb forgatókönyvre, üzemi kockázatra és dominóhatásra kiterjedő, mind emberi, mind gazdasági hatásokat vizsgáló kockázatelemzés lehetővé teszi az épület kialakításának és a védőintézkedések hatékonyságának értékelését. Amennyiben szükséges, további védelmi intézkedések alkalmazhatók a kockázati szint megfelelő mértékű csökkentése érdekében.

A dominóhatás modellezése során célszerű külön kezelni a fizikai (léglökés, repesz, hő) és funkcionális (energiaellátás kiesése, irányítási rendszerek sérülése) kölcsönhatásokat. A komplex rendszerek esetében a másodlagos és harmadlagos hatások gyakran jelentősebb következményekkel járhatnak, mint az elsődleges esemény.

A módosított alaprajzok és bevezetett védőintézkedések alapján a kockázatelemzést újra el kell végezni, és ezt a folyamatot addig kell ismételni, amíg a bevezetett védelmi intézkedések következtében a kockázat minden helyiségben elfogadható szintre csökken.

³⁵ AASTP-3; AASTP-4 Part II.

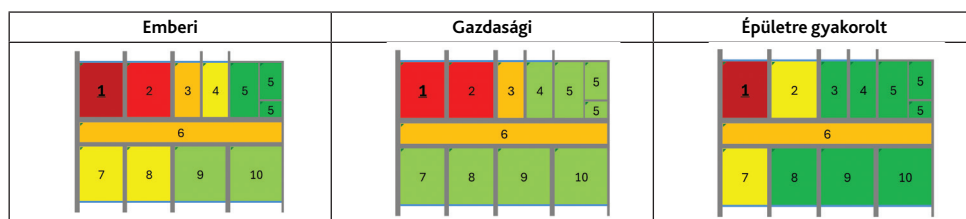
³⁶ AASTP-4 Part I; STANAG 4442 / AASTP-4.

³⁷ AASTP-4 Part II; UFC 3-340-02.

Kockázatelemzés és -értékelés eredményének vizuális ábrázolása

A kockázateértékelés eredményét könnyen lehet vizuálisan szemléltetni a gyártóépület alaprajza szerint. A vizsgált alaprajzon a számmal ellátott területek jelölik a gyártóhelyiségeket, és színükkel jelölhetjük a kockázateértékelés eredményét.

A 2. ábra reprezentatív jelleggel mutatja be egy feltételezett alaprajz 1-es szobájára elvégzett elemzés kockázati szintjeit.



2. ábra: A donor (1) és acceptor szobák kockázateértékelési eredményeinek vizuális megjelenítése a három vizsgált kategóriában

Forrás: a szerzők szerkesztése

Digitális és szimulációs támogatás a tervezésben

A modern robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezése során egyre nagyobb szerepet kapnak a digitális modellezési és szimulációs eszközök. A számítógépes robbanásmodellek, CFD-szimulációk³⁸ és digitálisiker-rendszerek³⁹ lehetővé teszik a különböző tervezési alternatívák összehasonlítását és optimalizálását még a kivitelezés előtt.

A CFD-szimulációk numerikus modellezési módszerek, amelyek lehetővé teszik a robbanási folyamatok során kialakuló áramlási, nyomás- és hőmérsékleti viszonyok részletes vizsgálatát, ezáltal támogatva a védőszerkezetek és technológiai terek optimalizálását.

A digitálisiker-rendszerek a fizikai üzem virtuális reprezentációi, amelyek valós idejű adatok felhasználásával lehetővé teszik a technológiai folyamatok szimulációját, előrejelzését és optimalizálását, ezáltal növelve az üzembiztonságot.

A digitális modellek alkalmazása lehetőséget biztosít a prediktív karbantartási stratégiák kialakítására is, amely révén az üzemeltetési kockázatok tovább csökkenthetők. A valós idejű monitoring és az előrejelző algoritmusok integrálása hozzájárulhat a kritikus események megelőzéséhez.

³⁸ *Computational fluid dynamics*. Egy numerikus módszereken alapuló szimulációs eljárás, amely folyadékok és gázok áramlását, valamint azok kölcsönhatását modellezi. Robbanóanyag-üzemi alkalmazás során CFD segítségével vizsgálható a robbanási légközhullám terjedése, a nyomáseloszlás épületen belül, a gázok és gőzök terjedése, a szellőztetési rendszerek hatékonysága, illetve a hőmérséklet-eloszlás. Alkalmazásával előre modellezhető a robbanás hatása, illetve optimalizálható a falvastagság, a kifúvó felületek mérete, a helyiségek elrendezése, tehát közvetlenül támogatja a kockázatelemzést.

³⁹ *Digital twin*. Egy fizikai rendszer valós idejű adatokkal folyamatosan frissített virtuális modellje. Robbanóanyag-üzemi alkalmazás esetén a digitálisiker-rendszerek a robbanóanyag-feldolgozó üzem teljes működésének virtuális leképezését biztosítják, támogatva a biztonsági és technológiai folyamatok elemzését.

A szimulációs eszközök alkalmazása különösen hasznos a léglökéshullám terjedésének, a repeszhatásnak és a nyomáseloszlásnak az elemzésében, amelyek meghatározók a védőszerkezetek méretezésénél. E módszerek alkalmazása lehetővé teszi a kockázatok megbízhatóbb értékelését, és támogatja a biztonsági intézkedések hatékonyabb kialakítását.

Technológiai koncepcionális alaprajzok optimalizálása

A kockázatértékelés révén kialakított alaprajzok figyelembe veszik az egyes helyiségekben tárolt robbanóanyagok mennyiségét, az üzemi kockázatokat, valamint a legrosszabb forgatókönyv szerinti baleset esetén bekövetkező hatásokat.⁴⁰ Az alaprajzoknak biztosítaniuk kell, hogy az egyes helyiségeken belüli hatások ne haladják meg a megengedett határértékeket, és a szomszédos helyiségekre gyakorolt hatások is az elfogadható szint alatt maradjanak. A koncepció alaprajzok megfelelő helyiségelosztásokat, méreteket és szükséges védőintézkedéseket tartalmaznak, továbbá meghatározzák a helyiségekben tárolható maximális robbanóanyag-mennyiséget, valamint figyelembe veszik az adott technológiai folyamatok követelményeit.

A koncepció alaprajzok optimalizálhatók költségértékelési szempontok alapján is, hogy egy biztonságot garantáló, ugyanakkor költséghatékony kialakítás jöheszen létre. Ezen alaprajzok már megfelelő bemeneti információként szolgálnak az épületek építészeti tervezéséhez.

Az építészeti, épületgépészeti, épületvillamossági, tűzbiztonsági, illetve egyéb szempontok figyelembevételének érdekében, az egyes szakágak tervezői ezen alaprajzok alapján képesek a szakterület támasztotta igényeket mérlegelni. A szakterületi tervezők munkájának eredményeként a koncepcionális alaprajzok módosulhatnak, bővíthetnek és adott esetben átrendeződhetnek. E változtatások tükrében folyamatosan szükséges a kockázatértékelés frissítése, miközben a szaktervezők javaslatait figyelembe kell venni és szükség esetén azok módosítását kérni.⁴¹

A technológiával kapcsolatos infrastrukturális igények

Az infrastrukturális követelmények részletes meghatározása nem csupán a tervezési folyamat támogatását szolgálja, hanem alapját képezi a későbbi üzemeltetési és karbantartási stratégiáknak is. A megfelelően strukturált adatkészlet lehetővé teszi az életciklus-alapú megközelítés alkalmazását, amely a létesítmény teljes élettartamára kiterjedő optimalizálást támogatja.

A technológiai koncepcionális alaprajzok, a kapcsolódó építészeti, épületgépészeti és épületvillamossági információkkal kiegészítve, bemeneti adatokat biztosítanak az építészeti tervek kidolgozásához. Az ezen adatokra épülő tervezési folyamat előtt a különböző műszaki és funkcionális követelményeket pontosan rögzíteni kell, így a végleges építészeti tervek-nél már a szükséges technológiai paraméterek és specifikációk is figyelembe vannak véve. Az 1. táblázatban található a technológiával kapcsolatos, a tervezéshez elengedhetetlen, illetve hasznos információk.

⁴⁰ IATG 02.30; AASTP-4 Part I.

⁴¹ IATG 02.30.

1. táblázat: Releváns információk listája szobánként és berendezésenként

Alapadatok	Épület azonosítója	Kiegészítő információ
Szobaméretek	Helyiségek azonosítója	–
	Alapterület	m ²
	A helyiség területének aránya az épületben	%
	Hosszúság	m
	Szélesség	m
	Magasság	m
Helyiség funkciója	Légtérfogat	m ³
	Termelési terület	
	Logisztikai/raktározási terület	
	Minőség-ellenőrzési terület	
	Irodai terület	
	Szociális terület	
Jelenlét	Épület/technológiai kiszolgáló terület	
	A helyiségben dolgozók száma (állandó jelenlét)	fő
Robbanóanyag, releváns adatok	Betárolt max. NEQ	kg
	Betárolt robbanóanyagok veszélyességi osztálya	pl. 1.1
	Kifúvó felület szükséges	igen/nem
	Minimális nettó kifúvó felületre vonatkozó követelmény	m ²
	Jelen lévő, robbanóanyagot tartalmazó termékek	pl. gyújtószerkezet
Helyiség osztályozása	DGUV osztály	pl. E2
	Veszélyességi típus	pl. tűz, robbanás, mindkettő, egyik sem
	VDE 0166 EX specifikáció	
	ATEX osztály	
	RV osztály	pl. RV1
Helyiség légkondicionálása	Hőmérséklet-szabályozás	hőmérséklet-tartomány (°C)
	Páratartalom-szabályozás	páratartalom-tartomány (%) /
	Szükséges óránkénti légcseré	1x/nem
	Légcsere-korlátozás	pl. finom por miatt max. légsebesség értéke
	Speciális szűrő, az elszívó ágba csatlakozás szükségessége	igen/nem; szűrő típusa
Elszívás	Technológiai elszívás szükségessége	igen/nem; elszívás típusa és specifikálása
	Technológiai levegőelszívás mennyisége	m ³ /h
	Használati gyakoriság	folyamatos/szakaszos
	Technológiai elszívási csatlakozási pontok	
	Elszívás ATEX minősítése	igen/nem
	VOC, részecsketartalom (szilárd részecskék és anyag)	ppm
	Porszűrő típusa	
	Technológiai levegőbeszívás mennyisége	m ³ /h
Villamosenergia-igény	A helyiségben lévő berendezések tápellátása	kW
	Helyiségspecifikus elektromos követelmény	
	Technológiai elektromos követelmények	
	Elektromos fogyasztók és csatlakozási pontok	
	Szünetmentes tápegység/gépekhez szükséges szünetmentes áramellátás-igény	igen/nem, működési idő
	Különálló lekapcsolási zónák száma	db
Sűrített levegő	Sűrített levegő-igény	m ³ /h
	Sűrített levegő beömlőcső átmérője	átmérő
	Sűrített levegő csatlakoztatási pontok	

Alapadatok	Épület azonosítója	Kiegészítő információ
Víz	Ivóvízigény	m ³ /h
	A vízhasználat gyakorisága	állandó/időszakos
	Vízcsatlakozási pontok	
Szennyvíz	Szennyvízgyűjtésigény	igen/nem
	Szennyvíz típusa (veszélyes, gyűjtés szükséges stb.)	
	Spec. technológiai víztisztítási igény	igen/nem; specifikáció
Gázok	Technológiaigáz-igény	specifikáció
	Mennyiség	m ³ /h
Technológia	Gázérzékelés-igény	igen/nem, gáz típusa
	Technologiaizsomp/akna-igény	igen/nem, akna paraméterei
	Külön hűtés a technológiai berendezésekhez	igen/nem
	Speciális külső berendezések, amelyek hatással vannak az épületre	specifikáció
	Nem általános hőkibocsátású berendezések	specifikáció
Tűzmelegelőzés	Szemmosó + vészzuhany igénye	igen/nem
	Hőkameraigény	igen/nem
	Egyéb tűzérzékelő igény	igen/nem, típus
	Vízzel nem oltható anyag jelenléte	anyag
	Tűztöltő rendszer	igen/nem, típus
IT- / BMS-követelmények	LAN-kapcsolat	igen/nem, kábel száma
	Wifi	igen/nem
	Biztonsági kamera és pozíciója	db
	Technológiai kamera és pozíciója	db
	Ajtózár rendszer	igen/nem, típus
	Egyéb BMS-követelmények	specifikáció
Padló	Speciális padlóburkolat	specifikáció
	Emelőberendezésekre vonatkozó követelmények: teherbírás/szükséges horogmagasság	
	Tárolóállványok specifikálása	szintek száma, max. terhelhetőség (kg)
	Max. padlóterhelés	kg
Ajtók	Ajtó mérete a terelőfalon	méret
	Befelé nyíló ajtó típusa a terelőfalon (robbanásálló/ma-gas/alcsony nyomásálló/tűzgátló/normál ajtó)	típus
	Robbanásálló ajtó kategóriája: I. kategória: sérülésmentes II. kategória: a deformáció kis mértékű, továbbra is műkö-dőképes/nyitható III. kategória: nagy mértékű deformáció, nem működőké-pes, nem nyitható, de helyén marad IV. kategória: korlátozott mértékben veszélyt jelentő	kategória
	Ajtóméret a kifúvó falon	méret
	Anyagátadó zsiliblak	igen/nem, méret, specifikáció
	Jelen lévő csomagolóanyag anyaga, típusa	típus
	Jelen lévő csomagolóanyag mennyisége	mennyiség
Veszélyes/ATEX folyadékok	Passzív tárolási mennyiség	igen/nem, mennyiség
	Nem passzív tárolási mennyiség	igen/nem, mennyiség
Egyéb	Megjegyzések / további követelmények	

Forrás: DGVV-113-017; DIN VDE V 0166; TRGS-526; Department of Defense 2020

Építőipari tervezés

A technológiai tervezési és előkészítő folyamatok eredményeként létrejött dokumentációs csomag előírásainak figyelembevételével elvégezhető az inert, a robbanóanyag-feldolgozó, valamint a robbanóanyag-tároló épületek építészeti tervezése. E dokumentációs csomag tartalmazza az épületek technológiai szempontból releváns koncepcionális alaprajzi elrendezését, a szükséges építészeti védőintézkedéseket (például a terelőfalak kialakítására vonatkozó előírásokat), valamint a helyiségekre vonatkozó részletes követelményeket, figyelembe véve az építészeti, épületgépészeti és épületvillamossági szempontokat.

A koncepcionális alaprajzokban szereplő, helyiségenkénti robbanóanyag-mennyiséget és annak típusát figyelembe véve a telephely elrendezése is meghatározható, biztosítva a szükséges biztonsági távolságokat és védelmi intézkedéseket.

Összegzés

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek technológiai környezetének tervezése egy komplex, iteratív és multidiszciplináris folyamat, amelyben a biztonság, a gazdaságosság és az üzemeltethetőség szoros kölcsönhatásban jelenik meg. Az ismertetett módszertan rámutat arra, hogy a technológiai koncepcionális alaprajzok kialakítása nem tekinthető pusztán térbeli elrendezési feladatnak, hanem a kockázatok tudatos kezelésének egyik legfontosabb eszköze.

A *safety by design* szemlélet alkalmazása lehetővé teszi, hogy a biztonsági követelményeket már a tervezés korai szakaszában integrálják, ezáltal jelentősen csökkentve a későbbi módosítások szükségességét és költségeit.⁴² A kockázatelemzési módszerek – különösen a kvalitatív és kvantitatív megközelítések kombinációja – biztosítják a tervezési döntések megalapozottságát, valamint lehetővé teszik a különböző tervezési alternatívák objektív összehasonlítását.⁴³

A digitális eszközök és szimulációs módszerek alkalmazása új dimenziót nyit a robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésében, mivel ezek segítségével a potenciális kockázatok már a kivitelezést megelőzően vizsgálhatók és optimalizálhatók. A digitálisiker-rendszerek és prediktív modellek alkalmazása hozzájárul a létesítmények hosszú távú biztonságának és hatékony működésének fenntartásához.

A bemutatott tervezési megközelítés megfelelő keretet biztosít olyan robbanóanyag-feldolgozó létesítmények kialakításához, amelyek nemcsak megfelelnek a jogszabályi és szabványi követelményeknek, hanem képesek a kockázatok proaktív kezelésére is. A jövőbeni fejlesztések iránya a digitális és adatvezérelt módszerek további integrációja, valamint a rendszerszintű reziliencia növelése lehet.

Felhasznált irodalom

AASTP-1 Edition C Version 1 NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4440).

⁴² IATG 02.30; Department of Defense 2020.

⁴³ AASTP-4 Part I; STANAG 4442 / AASTP-4.

- AASTP-1.1 Edition A Version 1 Manual for the Development of an Explosives Safety Site Plan Based on AASTP-1.
- AASTP-1.2 Edition A Version 1 Development of NATO Debris and Fragment Distance Curves for AASTP-1.
- AASTP-1.3 Edition A Version 1 Nationally Approved Structures for Explosives Areas.
- AASTP-3 Edition 1 Version 3 Manual of NATO Safety Principles for the Hazard Classification of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4123).
- AASTP-4 Vol. PART I Edition 1 Version 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Guidelines for Risk-Based Decisions.
- AASTP-4 Vol. PART II Edition 1 Version 4 Explosives Safety Risk Analysis Part II: Technical Background. Department of Defense (DoD) (2020): DESR 6055.09 – Defense Explosives Safety Regulation. U.S. Department of Defense. Online: <https://www.denix.osd.mil/ddes/denix-files/sites/32/2024/03/DESR-6055.09-Edition1-Change-1-240227-Final.pdf>
- DGUV-113-017 Tätigkeiten mit Explosivstoffen. Online: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/2598>
- DIN VDE V 0166:2011-04 Errichten elektrischer Anlagen in Bereichen, die durch Stoffe mit explosiven Eigenschaften gefährdet sind.
- HEGEDŰS Gergely – MOLNÁR Péter – DARUKA Norbert (2025): Robbanóanyag feldolgozó üzem létesítésének technológiai előkészítése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 35(3–4), 5–24. Online: <http://doi.org/10.32562/mkk.2025.3-4.1>
- International Ammunition Technical Guidelines (IATG) 02.30 – Risk Management (Level 2). Online: https://data.unsafeguard.org/iatg/en/V3_IATG-02.30_en.pdf
- STANAG 4442 Edition 1 (AASTP-4) Application of Risk Analysis to the Storage and Transport of Military Ammunition and Explosives.
- TRGS-526 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Laboratorien.
- UFC 3-340-02 (TM5-1300) – Unified Facilities Criteria – Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions.

Jogi forrás

27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról