

Hegedűs Gergely,¹  Molnár Péter,²  Daruka Norbert³ 

Robbanóanyag-feldolgozó üzem létesítésének technológiai előkészítése

Technological Preparation for the Establishment of an Explosives Processing Plant

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 nulláról történő tervezés lehetővé teszi, hogy a létesítmény kialakítása ne csak a hatályos magyar jogszabályi környezet követelményeire, de a nemzetközi szinten elismert műszaki megoldásokra is épüljön. Ezáltal biztosítható egy olyan gyártókörnyezet létrehozása, amely egyszerre támogatja a hatékony termelést, és garantálja a robbanásveszéllyel járó folyamatok nagyfokú biztonságát. A gyárépítés építészeti tervezési, kivitelezési fázisát megelőzi egy alapos, a gyártási technológiára koncentrált előkészítő, illetve a technológiai környezet kialakítására irányuló tervezési szakasz, amelynek során meghatározzák a gyártási folyamatokat befolyásoló műszaki paramétereket, valamint azok technológiai, biztonsági, térbeli és szervezési követelményeit. A tanulmány célja, hogy áttekintést adjon ezen kezdeti lépések technológiai előkészítési szakaszának főbb aspektusairól, különös tekintettel azokra a tényezőkre, amelyek döntőek a gyártási infrastruktúra kialakításában.

Kulcsszavak: robbanóanyag-feldolgozó üzem, biztonsági követelmények, technológiai tervezés, kockázatértékelés, nemzetközi szabványok

¹ Robbantástechnikai szakmérnök; műszaki igazgató, Hirtenberger Defence Systems, e-mail: gergely.hegedus@hirtenberger.com

² Robbantástechnikai szakmérnök; ügyvezető igazgató, Hirtenberger Defence Systems, e-mail: peter.molnar@hirtenberger.com

³ Robbanóanyag-ipari szakmérnök; a katonai műszaki tudományok habilitált PhD-fokozatos, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

The implementation of a new industrial installation, especially one for the processing of explosives, provides an opportunity to create state-of-the-art premises, buildings and infrastructure adapted to the needs of the production technology and taking into account the highest safety standards and protective measures. Designing from scratch will allow the design of the facility to be based not only on the requirements of the current Hungarian legal environment but also on internationally recognised technical solutions. This will ensure the creation of a manufacturing environment that both supports efficient production and guarantees a high level of safety for processes involving the risk of explosion. The architectural design and construction phase of the factory is preceded by a thorough preparatory and technological design phase, focusing on the production technology, during which the technical parameters that will determine the production processes and their technological, safety, spatial and organisational requirements are defined. The purpose of this paper is to provide an overview of the main aspects of the technological preparation phase of these initial steps, with particular emphasis on those factors that are crucial to the design of the manufacturing infrastructure.

Keywords: *explosives processing plant, safety requirements, technological design, risk assessment, international standards*

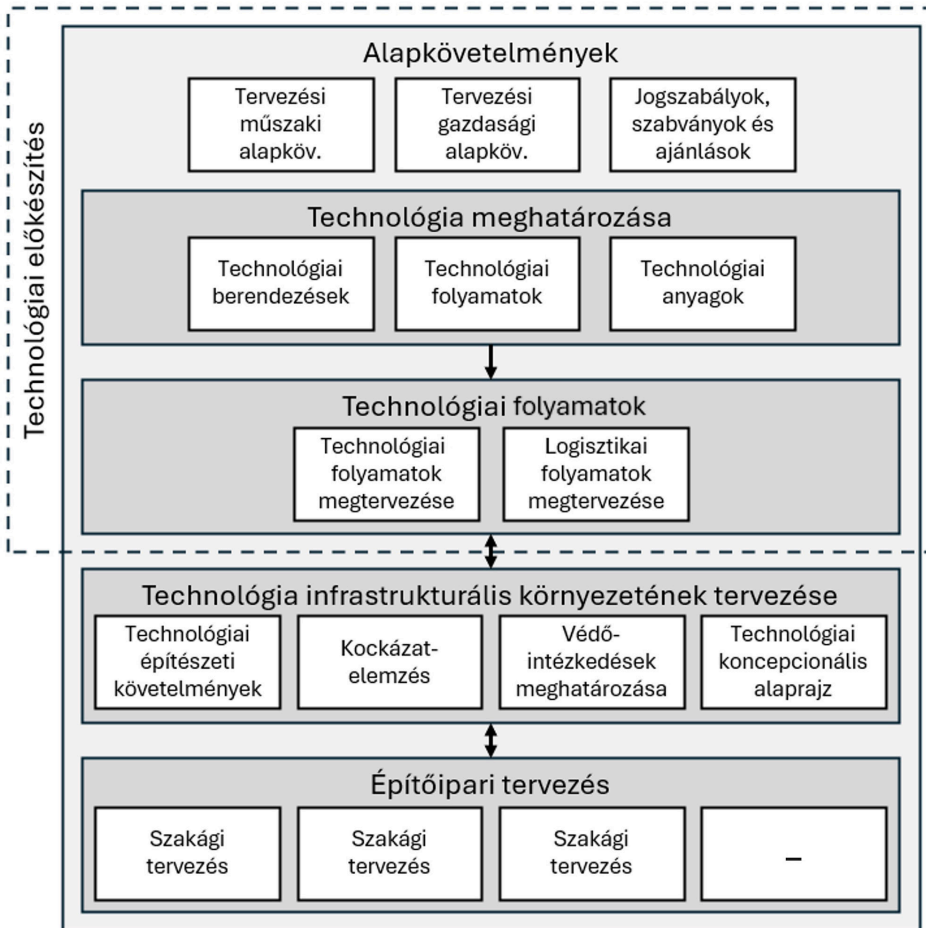
Bevezetés

Új robbanóanyag-feldolgozó létesítmény 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.

Az alkalmazott gyártási technológia főbb paramétereit nagymértékben meghatározzák az egyes technológiai szakaszokban alkalmazott nyersanyagok, az azokból előállított félkész és késztermékek, az alkalmazott berendezések, illetve a technológiai, logisztikai folyamatok. Nem csoda, hogy ezen befolyásoló tényezők rendszerszintű feltérképezése és a technológiai kapcsolatos folyamatok megtervezése elengedhetetlen a megfelelő gyártócsarnokok és üzemterület megtervezéséhez, kialakításához. Mindezek mellett figyelmet kell fordítani a jogszabályi és szabványi megfelelésre, amely alapvető a jövőbeni működés szakszerű és biztonságos megvalósításához.

Egy ilyen fejlesztési projekt jellege interdiszciplináris együttműködést kíván meg, és a fejlesztés számos szakterületet érint. Az új ipari létesítmény megvalósításának tervezési folyamata (1. ábra) három fő szakaszra bontható, amelyek a következők:

- a technológiai előkészítés;
- a technológia környezetének megtervezése;
- az építészeti és infrastrukturális tervezési fázisok.



1. ábra: Robbanóanyag-feldolgozó üzem fejlesztésének lépései

Forrás: a szerzők szerkesztése

A gyártóüzem építési engedélyeztetését és a kivitelezéséhez szükséges terveket az építészeti szakágak mérnökei dolgozzák ki, akik vállalják a felelőséget munkájuk minőségéért és megfelelőségéért. Azonban fontos kiemelni, hogy az építészeti tervezés csak akkor végezhető el sikeresen, ha a technológiai előkészítés során megfogalmazott követelményrendszert rögzítő dokumentumok rendelkezésre állnak, hiszen ezek alapvetően meghatározzák a további tervezési folyamatokat.

Ezenkívül az építészeti és technológiai tervezési fázisok nem lineárisan, egymást követve, hanem párhuzamosan, gyakori visszacsatolások, iterációk és finomítások révén zajlanak, biztosítva a multidiszciplináris megfelelést, kölcsönös összhangot és a kívánt szintű

eredmény elérését. Az 1. ábra szemlélteti az egyes lépések közötti logikai kapcsolatokat és azok sorrendjét.

A gyártóhely területének, valamint a gyártási folyamatokhoz kapcsolódó épületek tervezésének és a technológiai előkészítési–tervezési tevékenységeknek az alapja a kapcsolódó jogi környezet, a vonatkozó szabványok és szakirodalom megismerése.

A szakirodalom jelentősége

A fejlesztési folyamat sikeres megvalósításához elengedhetetlen a megfelelő szakirodalom alapos ismerete.⁴ Egy új ipari beruházás tervezése, kivitelezése és üzembe helyezése, továbbá a teljes gyártási technológia tervezése és telepítése, valamint a logisztikai és egyéb támogató rendszerek kialakítása több szakterület összehangolt munkáját igényli.⁵ Minden egyes terület rendelkezik saját szakirodalmi háttérrel, amely irányt mutat a megfelelő megoldások kiválasztásában.

A fejlesztéssel kapcsolatos műszaki követelmények legfontosabb forrásai a jogszabályi előírások, amelyek meghatározzák a kötelezően betartandó műszaki és biztonsági normákat. E jogszabályok érvényesítését harmonizált szabványok alkalmazásával lehet biztosítani. Ezen kívül léteznek más, mind belföldön, mind nemzetközi szinten elfogadott műszaki szabványok, irányelvek és publikációk, amelyek további segítséget nyújtanak a fejlesztési folyamat során.

Magyarországi jogi előírások

A fejlesztési munkák során a legfontosabb iránymutatók közé tartoznak a hatályos magyar jogszabályok,⁶ amelyek betartása minden érintett fél számára kötelező. A jogi szabályozás minden szakterületre vonatkozóan meghatározza azokat a minimális követelményeket, amelyeknek minden fejlesztési folyamat során meg kell felelni.

A tervezés, kivitelezés és üzemeltetés szempontjából a legfontosabb jogi előírások például az építészeti, statikai, környezetvédelmi, épületvillamossági, tűzvédelmi, épületgépészeti, üzemeltetési és munkavédelmi területeket, valamint a technológiai berendezések megfelelő működésére vonatkozó követelményeket tartalmazzák.

A robbanóanyagokkal kapcsolatos feldolgozóüzemek esetén a jogszabályi környezet további, specifikus követelményeket is előír, amelyek figyelembevétele a robbantástechnikai előírások terén elengedhetetlen. Ezek a szabályozások különbséget tesznek a katonai és polgári célú fejlesztések között, és bár a magyar jogi keretrendszer tartalmazza a robbanóanyagokkal kapcsolatos követelményeket, ezek több esetben elavultak, és nem tükrözik a legújabb

⁴ Center for Chemical Process Safety 2010; CROWL–LOUVAR 2022.

⁵ Center for Chemical Process Safety 2010; CROWL–LOUVAR 2022.

⁶ 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet.

műszaki színvonalat, sem az új üzemek létesítéséhez szükséges specifikus elvárásokat (például Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat⁷).

Nemzetközi irányelvek és szabályozások

Bár a nemzetközi irányelvek, szabályozások és szabványok betartása nem minden esetben kötelező, ezek ismerete rendkívül fontos a korszerű gyártóüzem tervezése és biztonságának biztosítása szempontjából.⁸ A nemzetközi irányelvek gyakran naprakészen tükrözik a legújabb tudományos kutatásokat és technológiai fejlesztéseket, és folyamatosan frissülnek, hogy a legmodernebb iparági és biztonsági elvárásoknak megfeleljenek.⁹ Az ezen irányelvek szerinti tervezés jelentős mértékben hozzájárul egy új üzem megfelelő működéséhez, valamint az iparági normáknak való megfeleléshez, biztosítva ezzel a maximális biztonságot és hatékonyságot.¹⁰ Többek között a következő okmányok előírásait ajánlott figyelembe venni egy robbanóanyag-feldolgozó üzem létesítésénél:

- International Ammunition Technical Guidelines (IATG);
- AASTP-01 Ed. C Ver. 1 NATO Guidelines for The Storage of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4440);
- AASTP-1.1 Ed. A Ver. 1 Manual for The Development of An Explosives Safety Site Plan Based On Aastp-1;
- AASTP-1.2 Ed. A Ver. 1 Development of NATO Debris and Fragment Distance Curves for Aastp-1;
- AASTP-1.3 Ed. A Ver. 1 Nationally Approved Structures for Explosives Areas;
- AASTP-03 Ed. 1 Ver. 3 Manual of NATO Safety Principles for The Hazard Classification of Military Ammunition and Explosives (STANAG 4123);
- STANAG 4442 Ed. 1 (AASTP-4) Application of Risk Analysis to The Storage and Transport of Military Ammunition and Explosives;
- AASTP-04 Vol. PART I Ed. 1 Ver. 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Guidelines for Risk-Based Decisions;
- AASTP-04 Vol. PART II Ed. 1 Ver. 4 Explosives Safety Risk Analysis Part I: Technical Background;
- AASTP-05 Ed. B Ver. 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;
- DGUV-113-008 04.2001 – Pyrotechnic;
- DGUV-113-017 Tätigkeiten mit Explosivstoffen;

⁷ 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet.

⁸ DoD - DESR 6055.09 2020; STANAG 4440 2019; STANAG 4442 2024.

⁹ AASTP-5 2020; DSA 03.OME Part 2.

¹⁰ AASTP-5 2020.

- TRGS-526 Technische Regeln für Gefahrstoffe – Laboratorien;
- DESR 6055.09 Defense Explosives Safety Regulation;
- DoD Directive 6055.09E;
- 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 papers, Methodology for Chemical Hazard Prediction;
- DDESB TP-12 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Fragment and debris hazard;
- DDESB TP-13 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Software Update;
- DDESB TP-15 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Approved Protective Construction;
- DDESB TP-16 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Methodologies for calculating Primary Fragment Characteristics;
- DDESB TP-17 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Blast scaling;
- DDESB TP-18 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Minimum Qualifications for Unexploded Ordnance (UXO) Technicians and Personnel;
- DDESB TP-20 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, 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 papers, Procedures for the Collection, Analysis, and Interpretation of Explosion-Produced Debris-Revision 2;
- DDESB TP-23 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Assessing Explosives Safety Risks, Deviations, and Consequences;
- DDESB TP-26 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, Guidance for Required Explosives Safety Submissions;
- DDESB TP-27 – Department of Defense Explosives Safety Board – Technical papers, 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).

A gyár területének, valamint a gyártási folyamatokhoz kapcsolódó épületek tervezésének és a technológiai előkészítési–tervezési tevékenységeknek további alapját a tervezési követelmények pontos meghatározása képezi.

A tervezési alapkövetelmények definiálása

A gyárterület és az ahhoz tartozó gyártási épületek tervezése, valamint a technológiai előkészítési és tervezési tevékenységek kezdeti szakasza a tervezési alapkövetelmények világos meghatározásával kezdődik.¹¹ Ekkor kerül sor a tervezéshez szükséges alapfeltevések, információk és követelmények pontos rögzítésére, amelyek kijelölik a további tervezési folyamatok irányát.¹²

A gyártóüzem kialakításához kapcsolódó feladatok és felelőségek pontos meghatározása kulcsfontosságú.¹³ A fejlesztésben részt vevő minden szakember számára világosan rögzíteni kell a feladatokat és az azok elvégzéséért való felelősségvállalást.

A tervezési folyamat során figyelembe kell venni a fizikai biztonsági követelményeket, a tervezett kapacitásokat, a gazdasági megfontolásokat, a különböző részlegek és technológiai igények specifikációját, valamint a telephely és az épületek elrendezését.¹⁴

A kockázatértékelési módszertan részletezése

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésének egyik meghatározó eleme a kockázatértékelés, amelynek célja a lehetséges veszélyforrások azonosítása és a megfelelő védelmi intézkedések meghatározása.¹⁵ A nemzetközi iparbiztonsági gyakorlatban több módszertan is elterjedt, így például:

- HAZOP (*hazard and operability study*): rendszeres, strukturált módszer, amely a folyamatok, berendezések és üzemeltetési paraméterek eltéréseit vizsgálja, és feltárja azok lehetséges veszélyforrásait;¹⁶
- FMEA (*failure modes and effects analysis*): a berendezések és a folyamatok hibamódjainak feltérképezésére és a hatások rangsorolására szolgál;¹⁷
- csokornyakkendő elemzés: grafikus megközelítés, amely egy adott veszély bekövetkezésének megelőző és következménycsökkentő intézkedéseit vizualizálja;¹⁸
- QRA (*quantitative risk assessment*): számszerűsített kockázatelemzés, amely valószínűségi és következménymodelleket használ a biztonsági távolságok, robbanási nyomás és fragmentációs kockázat meghatározásához.¹⁹

¹¹ LEES 2012.

¹² Center for Chemical Process Safety 2010.

¹³ Center for Chemical Process Safety 2010.

¹⁴ CROWL–LOUVAR 2022.

¹⁵ BOSCH–WETERINGS 2005; Center for Chemical Process Safety 2018; MANNAN 2013.

¹⁶ Center for Chemical Process Safety 2010.

¹⁷ CROWL–LOUVAR 2022.

¹⁸ Center for Chemical Process Safety 2018.

¹⁹ BOSCH–WETERINGS 2005.

A módszerek kombinált alkalmazása lehetővé teszi a különböző típusú kockázatok (például robbanási, tűzvédelmi, környezeti, üzemeltetési) teljes körű feltárását és kezelését.²⁰ A kockázatelemzés eredménye tervezési bemeneti adat, amely meghatározza az üzem biztonsági koncepcióját, az alkalmazandó védőtávolságokat, valamint a kritikus folyamatokhoz szükséges műszaki és szervezési intézkedéseket.

Fizikai biztonság

A tervezési folyamatok során az alapvető biztonsági követelmények képezik az alapot a fizikai védelmi rendszerek részletes tervezéséhez.²¹ Ezeknek a követelményeknek tartalmazniuk kell a különböző biztonsági szintek, valamint a védelmi struktúrák elrendezését, és tisztázniuk kell a felelősségi köröket a telephely különböző területeire vonatkozóan.

A biztonsági tervezés során figyelembe kell venni többek között a gyártóhely közvetlen és közvetett környezetét, annak védelmét, a személy- és áruforgalomra vonatkozó logisztikai kapcsolatait és útvonalait, a biztonságért és védelemért felelős személyek feladatait, a vészhelyzeti eljárásokat, valamint a logisztikai és robbanóanyag-tárolási területek biztonsági követelményeit.²²

Kapacitás

A tervezési alapidokumentumokban szereplő egyik kulcsadat az elvárt gyártási kapacitás meghatározása. Az üzem kibocsátási követelményeit mind a gyártástechnológia, mind az infrastrukturális tervezés során figyelembe kell venni. A kapacitásadatok befolyásolják a gyártósorok számát, a raktározási igényeket, az alapanyag-ellátási láncot és a logisztikai folyamatok méretezését.²³

Gazdasági aspektusok

Tekintettel arra, hogy a robbanóanyagok gyártása, kezelése és feldolgozása különleges elvárásokat támaszt a biztonsági, technológiai és személyi peremfeltételeket illetően, ezek jelentős költségvonzattal járnak mind beruházási, mind operatív szinten. A rendszer tervezésekor a gazdasági és gazdaságossági szempontok figyelembevétele, valamint az egyes megoldások költség-haszon elemzése alapvető fontosságú a hosszú távú fenntarthatóság biztosítása érdekében.²⁴

²⁰ LEES 2012; MANNAN 2013.

²¹ DoD - DESR 6055.09 2020; IATG 2021.; DSA 03.OME Part 2.

²² IATG 2021.

²³ LEES 2012.

²⁴ Basel Convention Secretariat 2019; Nammo AS. 2022.

Telephely és épületek

Az alapkövetelmények tartalmazzák az építendő objektumok számának, elrendezésének, valamint azok alapterületének, továbbá a bővítési lehetőségek koncepcionális meghatározását.²⁵ Figyelembe kell venni a robbanóanyag és az inert anyagok tárolására szolgáló raktárak kapacitásigényeit, a biztonsági távolságokat, a robbanásnyomás-csökkentő megoldásokat (például kifúvófelületek),²⁶ valamint a speciális megerősítések szükségességét.²⁷

Digitalizáció és Ipar 4.0 megoldások a biztonság szolgálatában

Az ipar 4.0 technológiák bevezetése új lehetőségeket teremt a robbanóanyag-feldolgozó üzemek biztonságának növelésére és az üzemeltetés hatékonyságának javítására:²⁸

- IoT-alapú állapotfigyelés: szenzorhálózatok folyamatosan monitorozzák a kritikus berendezések működését, a hőmérsékletet, a páratartalmat, a nyomást és a gáz-koncentrációt;
- prediktív karbantartás: gépi tanulási algoritmusok a szenzoradatok alapján előre jelzik a berendezések meghibásodásának valószínűségét, lehetővé téve a tervezett beavatkozást;
- digitális iker (*digital twin*): az üzem virtuális mása, amelyen szimulációval vizsgálhatók a folyamatok, optimalizálhatók a biztonsági intézkedések, és modellezhető a vészhelyzetek;
- automatikus leállítási rendszerek: intelligens vezérlőlogika, amely azonnal leállítja a veszélyes folyamatokat a paraméterek határértékének túllépése esetén.

Ezek a megoldások nemcsak a biztonságot növelik, hanem a karbantartási költségeket is csökkenthetik, miközben javítják a termelés folyamatosságát és megbízhatóságát.

Fenntarthatósági szempontok és környezeti megfelelés

A robbanóanyag-feldolgozó üzemek esetében a fenntarthatóság különösen fontos, mivel a gyártás során keletkező veszélyes hulladékok és melléktermékek kezelése jelentős környezeti kockázatot hordoz.²⁹ Az alábbi szempontok integrálása növeli az üzem hosszú távú fenntarthatóságát és jogszabályi megfelelését:

- energiahatékonyság: robbanásbiztos, mégis alacsony fogyasztású berendezések alkalmazása, hővisszanyerés, LED- (*light emitting diode*) világítás, valamint megújuló energiaforrások integrálása a technológiai rendszerekbe;

²⁵ IATG 2021.

²⁶ BOSCH-WETERINGS 2005.

²⁷ AASTP-5 2020; DSA 03.OME Part 2.

²⁸ Center for Chemical Process Safety 2010; Nammo AS. 2022.

²⁹ Basel Convention Secretariat 2019; United Nations 2015.

- hulladékgazdálkodás: zárt rendszerű gyűjtés és újrahasznosítás, valamint a veszélyes anyagok ártalmatlanítása nemzetközi előírások (például bázeli egyezmény) szerint;
- vízgazdálkodás: technológiai víz körforgásos felhasználása, víztisztító berendezések beépítése, szennyvíz előkezelése a kibocsátás előtt;
- környezeti monitoring: folyamatos levegő-, talaj- és felszín alatti vízminőség-ellenőrzés, zaj- és rezgésszintmérés a környezeti határértékek betartásának érdekében.

A fenntarthatósági megközelítés nemcsak környezetvédelmi, hanem gazdasági előnyöket is hordoz: az energiahatékonysági és hulladékcsökkentési intézkedések hosszú távon jelentős költségmegtakarítást eredményeznek.

Humánbiztonság és képzési protokollok

A technológiai és építészeti megoldások mellett a humán tényező jelenti a biztonsági lánc egyik legfontosabb elemét.³⁰ A robbanóanyag-feldolgozó üzemek esetében különösen fontos, hogy a személyzet megfelelő képzettséggel, tapasztalattal és pszichológiai alkalmassággal rendelkezzen:

- képzési programok: minden dolgozó számára kötelező alapképzés a robbanóanyagok kezeléséről, amely kiterjed a technológiai folyamatok, a berendezések használata és a vészhelyzeti protokollok ismeretére (éves továbbképzések biztosítják a naprakész tudást);
- vészhelyzeti gyakorlatok: rendszeres, előre nem bejelentett evakuációs, tűzoltási és robbanásvédelmi gyakorlatok, amelyek célja a gyors és hatékony reagálás biztosítása;
- kompetenciaalapú munkakiosztás: magas kockázatú műveleteket kizárólag megfelelő képesítéssel és igazolt gyakorlattal rendelkező munkavállaló végezhet;
- pszichológiai alkalmassági vizsgálat: a dolgozók stressztűrésének, döntéshozatali képességének és helyzetfelismerésének felmérése a munkába állás előtt, majd rendszeres időközönként.

A humánbiztonsági intézkedések beépítése a tervezési folyamatba lehetővé teszi a személyi hibákból eredő balesetek minimalizálását, és hozzájárul a folyamatos üzembiztonság fenntartásához.

³⁰ CROWL-LOUVAR 2022; LEES 2012; MANNAN 2013.

Nemzetközi *best practice* példák

Az Észak-atlanti Szerződés Szervezete (NATO-) tagállamok és az Európai Unió (EU) több országa kiemelkedő példát mutat a robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésében és üzemeltetésében. Ezek a tapasztalatok jól illeszkednek a hazai fejlesztésekhez, mivel a biztonság, a technológiai innováció és a fenntarthatóság közös célként jelenik meg.

- Norvégia – Nammo AS üzem: Moduláris, robbanásbiztos gyártótereket alkalmaznak, amelyek rugalmasan bővíthetők. A tervezés során a NATO AASTP-1 szabvány követelményeit teljes mértékben beépítették.³¹
- Németország – ipari robbanásbiztonság: A DIN VDE (Deutsches Institut für Normung, Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik) szabványok mellett kiterjedt, valós idejű digitális monitoringrendszert működtetnek, amely összeköttetésben áll az országos katasztrófavédelmi központtal.³²
- Amerikai Egyesült Államok – Department of Defense (DoD) Explosives Safety Board gyakorlat: A veszélyes folyamatok teljes mértékben távműködtetéssel zajlanak, minimálisra csökkentve a személyzet jelenlétét a robbanásveszélyes zónákban.³³
- Egyesült Királyság – JSP 482 alkalmazás: A tervezés és üzemeltetés során a biztonsági követelmények mellett a környezetvédelmi és fenntarthatósági szempontokat is integrálják, különös figyelemmel a hulladékkezelésre és a zajterhelés csökkentésére.³⁴

Ezek a példák azt mutatják, hogy a legmagasabb szintű robbanásbiztonság elérése a fejlett technológiai megoldások és a szigorú szabványkövetés kombinációjával valósítható meg.

A gyártási technológia azonosítása

Egy új ipari létesítmény kialakításának egyik meghatározó lépése a teljes gyártási technológia részletes analízise és rendszerezett feltérképezése. Ennek keretében szükséges minden releváns technológiai információ begyűjtése, adott esetben továbbfejlesztése és megfelelő szintű dokumentálása, amely később alapjául szolgálhat a gyártási folyamatok megtervezésének és optimalizálásának.³⁵

A technológia tervezése során nem csupán a már ismert gyártási folyamatok és a kapcsolódó berendezések elemzése szükséges, hanem figyelmet kell fordítani az esetlegesen megváltozott jogszabályi környezetre, peremfeltételekre és a felhasznált alapanyagokra is. Ezek – tulajdonságaik, mennyiségük, kezelési és tárolási jellemzőik révén – érdemben befolyásolják a technológiai rendszer egészét, különösen biztonságtechnikai szempontból.

³¹ Nammo AS. 2022.

³² DIN VDE V 0166 2011.

³³ DoD - DESR 6055.09 2020; DESR 6055.09 2018.

³⁴ DSA 03.OME Part 2.

³⁵ CROWL-LOUVAR 2022; MANNAN 2013.

Az alkalmazott anyagok technológiai szerepe

A gyártási technológia főbb paramétereit nagymértékben meghatározzák az egyes technológiai szakaszokban alkalmazott nyersanyagok, valamint az azokból előállított félkész és késztermékek. A technológiai láncolat szakszerű kialakítása kizárólag az anyagokra, azok kémiai és fizikai tulajdonságaira, illetve az anyagáramlásra vonatkozó pontos ismeretek birtokában valósítható meg.³⁶

A gyártási egységek és műveleti terek logikai és fizikai elhatárolása – különös tekintettel a veszélyes vagy robbanásveszélyes anyagokkal végzett műveletekre – kizárólag kockázat-alapú megközelítéssel valósítható meg. A veszélyességi besorolás alapján eldönthető, mely technológiai lépések igényelnek fizikai szeparációt és különleges biztonsági intézkedéseket.

Az anyagokkal kapcsolatos alapvető információk közé tartozik a felhasználási hely, a szükséges és maximálisan tárolható, processzalható mennyiség, a csomagolási egységek típusa, valamint a biztonságos kezelésre és tárolásra vonatkozó előírások. Ezekhez az adatokhoz információt a vonatkozó biztonsági adatlapok tartalmazzák, amelyek ismerete és alkalmazása elengedhetetlen a tervezés során.

A technológiai berendezések meghatározása

A gyártósorokon alkalmazandó technológiai berendezések részletes meghatározása szintén kulcsfontosságú lépés a technológiai tervezés folyamatában. Ide tartozik a meglévő vagy tervezett eszközök műszaki dokumentációinak begyűjtése, azok szakszerű áttekintése, valamint a telepítéssel, üzembe helyezéssel és integrációval kapcsolatos tevékenységek előzetes megtervezése.³⁷

A berendezések technológiai illesztéséhez szükséges információk között szerepelnek:

- a berendezés műszaki jellemzői és üzemeltetési feltételei;
- energiaigények (elektromos, pneumatikus, hidraulikus stb.);
- kapcsolódó kezelői és karbantartási igények;
- integrálhatóság a teljes gyártási rendszerbe;
- a működéshez kapcsolódó biztonsági követelmények.

Ezen információk szisztematikus gyűjtése és kiértékelése elengedhetetlen az optimálisan működő, biztonságos és hatékony technológiai rendszer kialakításához (1. táblázat).

³⁶ BOSCH-WETERINGS 2005.

³⁷ LEES 2012.

1. táblázat: Technológiai berendezések szükséges adatai

<p>Berendezés adatai Berendezéscsoport megnevezése Berendezés azonosítója Berendezés megnevezése Gyártó Típus Súly (kg) Szélesség (mm) Mélység (mm) Magasság (mm) Alapterület (m²) Gyártási év Megjegyzés</p>	<p>Energiaellátásra vonatkozó adatok Feszültség (V) Áramerősség (A) Egyidejű teljesítmény (W) Maximális teljesítmény (W) Közvetlen/direkt bekötésű Másik berendezéssel való elektromos összeköttetés Berendezés jellege Teljesítményből származó hőkibocsátás mértéke</p>	<p>Dokumentáció Fotódokumentáció Használati utasítás Gépkönyv Karbantartási utasítás Karbantartási napló Beállítási utasítás Elektromos kapcsolási rajz Pótalkatrézlista Összeállítási rajz PLC-program 3D-modell CE megfelelőségi nyilatkozat</p>
<p>Hálózati csatlakozás LAN Csatlakozási pont WIFI-kapcsolat</p>	<p>Sűrített levegő Nyomás (bár) Maximális mennyiségi igény (m³/h) Egyidejűségi mennyiségi igény (m³/h)</p>	<p>Hidraulika Nyomás (bar) Volumenigény (m³/h) Csatlakozó mérete, típusa</p>
<p>Szellőztetés, lokális elszívás Maximális elszívott légmennyiség (m³/h) Egyidejű elszívott légmennyiség (m³/h) Beszívott légmennyiség (m³/h) Légvezeték-csőátmérő (mm) Légszűrő típusa</p>		<p>Víz Nyomás (bár) Maximális mennyiségi igény (m³/h) Egyidejűségi mennyiségi igény (m³/h) Vízcsatlakozó mérete Használat gyakorisága Víz minősége</p>

Forrás: a szerzők szerkesztése

A gyártórendszer tervezéséhez sok esetben rendelkezésre áll már meglévő gyártókapacitás; e technológiai berendezések részletes felméréseivel párhuzamosan lehetőség van azok kapacitásának meghatározására, valamint az eszközök közötti funkcionális összefüggések feltárására és a legjobb gyakorlatok átvételére. E vizsgálatok és analízis alapján kijelölhetők azok az eszközök, berendezések, amelyek kapcsolt technológiai egységet képeznek, és így együttesen egy berendezéscsoportot, egy komplett munkaállomást vagy adott esetben egy összefüggő gyártósort alkotnak.

A gyártósor elemeinek áttekintését követően – figyelembe véve a feldolgozandó anyagok tulajdonságait és a technológiai műveletek jellegét – elengedhetlenné válik az egyes berendezésekhez kapcsolódó kockázatok rendszerszintű értékelése. Ennek célja, hogy azonosítani lehessen azokat a berendezéseket vagy berendezésegységeket, amelyek üzemeltetése olyan mértékű veszélyt jelent, hogy az emberi jelenlét az üzemeltetési zónájukban nem megengedett.

Az ilyen magas kockázatú technológiai elemek esetében különös figyelmet kell fordítani azok fizikai elkülönítésére, a megfelelő védelmi megoldások kialakítására, valamint a kezelési folyamatok távvezérléses biztosítására. E biztonságtechnikai intézkedések célja, hogy mind a személyi biztonság, mind a berendezések üzembiztonsága garantálható legyen a teljes működési ciklus alatt.

Az egyes eljárásokkal és technológiai berendezésekkel kapcsolatos biztonsági követelmények adott esetben állhatnak a gyártás leanelveivel és hatékonyságával szemben, de a megfelelő egyensúly kidolgozása biztonsági és gazdaságossági szempontból elengedhetetlen.

A technológiai berendezések telepítésekor azoknak minden vonatkozó hazai előírásnak maradéktalanul meg kell felelniük. Többek között figyelembe kell venni az alábbi szabályozásokat, és a hozzájuk kapcsolódó harmonizált szabványokat:

- 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról;
- Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2023/1230 rendelete (2023. június 14.) a gépekről, és a 2006/42/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv, valamint a 73/361/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről;
- Az Európai Parlament és a Tanács 2014/35/EU irányelve (2014. február 26.) a meghatározott feszültséghatáron belüli használatra tervezett elektromos berendezések forgalmazására vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról (átdolgozás);
- 23/2016. (VII. 7.) NGM rendelet a meghatározott feszültséghatáron belüli használatra tervezett villamosági termékek forgalmazásáról, biztonsági követelményeiről és az azoknak való megfelelésértékeléséről;
- Az Európai Parlament és a Tanács 2014/30/EU irányelve (2014. február 26.) az elektromágneses összeférhetőségre vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizálásáról (átdolgozás);
- 8/2016. (XII. 6.) NMHH rendelet Az elektromágneses összeférhetőségről;
- 2014/34/EU irányelv a robbanásveszélyes légkörben való használatra szánt felszerelésekre és védelmi rendszerekre vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról (átdolgozás);
- 35/2016. (IX. 27.) NGM rendelet – A potenciálisan robbanásveszélyes környezetben történő alkalmazásra szánt berendezések és védelmi rendszerek vizsgálatáról és tanúsításáról;
- 18/2008. (XII. 3.) SZMM rendelet Az egyéni védőeszközök követelményeiről és megfeleléségének tanúsításáról;
- MSZ EN ISO 12100:2011 – Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatértékelés és kockázatcsökkentés;
- MSZ EN 60204 Szabványcsalád;
- MSZ EN 60204-1:2019 Gépek biztonsága. Gépek villamos szerkezetei. 1. rész: Általános követelmények (IEC 60204-1:2016, módosítva);
- ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery – Risk assessment.

A jogszabályi követelmények betartása nemcsak a létesítési és üzembe helyezési engedélyezés szempontjából alapvető, hanem a biztonságos és zavartalan működés egyik garanciája is.

Tekintettel arra, hogy a telepítendő, illetve áttelepítendő gépek és berendezések lehetnek akár használtak, régi gyártásúak is, előfordulhat, hogy a műszaki paramétereik már nem felelnek meg a hatályos szabályozási környezetnek. Ezért minden egyes, telepítésre kerülő berendezést egyedileg szükséges felülvizsgálni abból a szempontból is, hogy teljesíti-e a vonatkozó biztonsági és műszaki előírásokat. Amennyiben eltérés mutatkozik az analízis során, részletes értékelést kell készíteni, és annak megfelelően a berendezést módosítani kell, hogy kielégítse az igényeket. A változások követésével össze kell állítani a berendezést kísérő dokumentációit, beleértve a megfeleléségi nyilatkozatokat is.

A megfelelőségi vizsgálatok során kiemelt figyelmet kell fordítani többek között az alábbi irányadó szabályozásokban foglalt követelményekre:

- ÁRBSZ (27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási biztonsági Szabályzat) – robbanóanyagokkal kapcsolatos, robbanóanyagok környezetében alkalmazott berendezések követelményeit szabályozza;
- Géprendelet (EU 2023/1230) – a CE-megfelelőség alapjául szolgáló követelményrendszert határozza meg a gépek és berendezések vonatkozásában;
- Elektromos berendezések biztonságára vonatkozó irányelv (2014/35/EU) – az alacsony feszültségű berendezések biztonságos üzemeltetésének feltételeit tartalmazza;
- EMC-irányelv (2014/30/EU) – az elektromágneses összeférhetőség szabályozására vonatkozó előírásokat tartalmazza;
- ATEX irányelv (2014/34/EU) – a robbanásveszélyes légkörben való használatra szánt felszerelésekre és védelmi rendszerekre vonatkozó előírásokat tartalmazza.

E szabályozások együttes alkalmazása biztosítja, hogy a telepített vagy áthelyezett technológiai eszközpark megfelel a korszerű műszaki és biztonsági elvárásoknak, hozzájárulva ezzel az új létesítmény üzembiztonságának és jogszabályi megfelelésének garانتálásához.

A technológiai folyamatok rendszerezett feltérképezése

Egy új gyártóüzem technológiai kialakításának alapfeltétele a gyártási folyamatok részletes, rendszerszintű feltárása. Ez a munka az alkalmazott alapanyagok és technológiai berendezések vizsgálatán túl kiterjed az egyes gyártási lépések és műveleti kapcsolatok teljes körű feltárására és dokumentálására is, amely elengedhetetlen a jövőbeni működés szakszerű és biztonságos megvalósításához.

Folyamatábrák és gyártási logikák vizualizálása

A technológiai rendszerek működésének megértéséhez célszerű grafikus megjelenítési eszközöket – elsősorban folyamatábrákat – alkalmazni, amelyek képesek szemléltetni az egyes lépések egymásra épülését, logikai kapcsolatát, valamint a folyamatok kapacitásigényeit és anyagáramait. E vizuális eszközök segítik a gyártási logika átlátását, a tervezési döntések megalapozását, továbbá támogatják a kockázatok és fejlesztési lehetőségek azonosítását.³⁸

Gyártóterületekhez kapcsolódó technológiai leírások

Az új üzem gyártástechnológiai alapidokumentációjának sarokkövét a termékspecifikus gyártási folyamatok részletes leírása képezi. E dokumentáció célja, hogy pontos, visszakereshető,

³⁸ ATLISSIAN [é. n.]; DOVETAIL [é. n.].

és a technológiai tervezéshez közvetlenül felhasználható információkat biztosítson az egyes termékek előállításának lépéseiről, helyszíneiről és feltételeiről.

A technológiai folyamatleírásoknak az alábbi tartalmi elemeket szükséges magukban foglalniuk:

- a technológiai terek alaprajzi elrendezése, a berendezések egyértelmű megjelölésével;
- termékenként strukturált gyártásfolyamat-leírás;
- a gyártás során felhasznált anyagok listája;
- műszaki rajzok, gyártási darabjegyzékek (BOM-ok);
- alapanyag-szükséglet és előkészített gyártási egységek (*batchek*) mennyiségi meghatározása, az adott térben megengedett maximális anyagmennyiségek;
- kapacitásértékek, ciklusidők és fajlagos gyártási idők termékenként;
- folyamatábrák bemenő és kimenő információkkal, anyagmozgásokkal, felelősségi pontokkal;
- technológiai folyamatok részletes műveleti leírása;
- műszakindítás előtti előkészítési lépések dokumentálása;
- műszakzárás utáni karbantartási, tisztítási, ápolási tevékenységek;
- használt technológiai paraméterek és beállítások rendszerezése;
- fotódokumentáció a folyamatok és berendezések vizuális rögzítésére;
- munkaállomások és a hozzájuk tartozó személyi erőforrásigény (létszám);
- selejt- és hulladékkezelési módszerek és eljárások;
- használatban lévő eszközök és berendezések részletes listája;
- legyártott termékek katalogizálása;
- alkalmazott belső dokumentációk, munkautasítások, jegyzőkönyvek;
- felhasználói megjegyzések, működési és hatékonysági észrevételek;
- fejlesztési irányok és potenciális technológiai optimalizálási lehetőségek.

A technológiai folyamatok megtervezése

A technológiai felmérés eredményeként meghatározhatók az egyes termelési egységek és azok szerepe a gyártási folyamatban. A gyártás különböző szakaszait érdemes a feldolgozott anyagok alapján szétválasztani, figyelembe véve az inert (robbanóanyag-mentes) és a robbanóanyagokkal kapcsolatos műveletek közötti különbségeket. A robbanóanyagok jelenléte hat a gyártás szervezésére és a folyamatok biztonsági aspektusaira, valamint a gyártóhely kialakítására.

Míg az inert anyagokkal történő gyártás esetében a folyamatok optimalizálásában a termelékenység kerülhet előtérbe, addig robbanóanyagok feldolgozása során a termelési hatékonyság nem állhat a prioritások élén a biztonsági szempontok előtt. Itt ugyanis az egészségvédelem és a munkavállalók biztonsága az elsődleges szempontok. A robbanóanyagok mennyisége, az azokkal kapcsolatos munkavégzés kockázatai és a legnagyobb fókú stabilitásra és biztonságra vonatkozó követelmények mind befolyásolják a termelékenységet és a gyártás hatékonyságát.

A robbanóanyagok tárolása és logisztikai szempontok

A gyártási technológia sikeres működtetése érdekében elengedhetetlen a kapcsolódó logisztikai folyamatok hatékony tervezése. A logisztikai folyamatok nemcsak a technológia kivitelezését, hanem annak biztonságos működtetését is befolyásolják. A logisztikai tervezésben is az alapvető elv az ALARP (*as low as reasonably practicable*) alkalmazása, amely a robbanóanyagok potenciális káros hatásaival szemben az emberek és a vagyontárgyak lehető legnagyobb mértékű védelmére irányul a biztonságos és hatékony műveletekkel összhangban lévő expozíció minimalizálásával. Azaz a lehető legkisebb számú embernek a lehető legkisebb ideig a lehető legkisebb mennyiségű robbanóanyagnak való kitétele úgy, hogy az a termelési folyamatot ne gátolja.³⁹

A gyártási helyiségek biztonságának fenntartása érdekében a logisztikai stratégia egyik fontos eleme, hogy a robbanóanyagok tárolása és szállítása közvetlenül és biztonságosan, ugyanakkor a gyártási területtől elkülönítve történjen. Ez megvalósítható köztes tárolóhelyiségek alkalmazásával, amelyek biztosítják a folyamatos termelést és optimális kapacitáskihasználást, ugyanakkor teljes mértékben elválasztva maradnak a gyártóhelyiségektől mind építészeti, mind biztonsági szempontból.

A logisztikai koncepció kialakításának részeként meg kell határozni a napi anyagmennyiségeket, beleértve a robbanóanyagok szállítását a feldolgozó helyiségekbe, valamint a félkész és késztermékek áthelyezését a megfelelő raktárakba, mint például az energetikai tárolóhelyiségekbe.

Technológiai környezet tervezése és építészeti tervezés

A robbanóanyag-feldolgozó létesítmények építészeti tervezését megelőző technológiai előkészítés fázisának alapvető elveit és folyamatait szem előtt tartva alakítható ki az a technológiai környezet, amely kiszolgálja a technológiai és logisztikai folyamatokat,⁴⁰ illetve biztosítja, hogy az építészeti tervek szoros összhangban legyenek a robbanóanyagok feldolgozásával kapcsolatos követelményekkel és előírásokkal. Az előkészítési folyamat eredményeként meghatározzák a gyártási berendezések, technológiák, folyamatok és a feldolgozott robbanóanyagok típusait, amelyek alapján kijelölhetők a létesítményen belüli épületek, illetve azok alaprajzai, helyiségeinek funkciói, követelményei. Ezen alaprajzok és követelmények figyelembevételével a különböző építészeti szakágak szaktervezői képesek már biztonságos és gazdaságos, a robbantástechnikai szempontból is megfelelő terveket létrehozni, amelyek nemcsak a jogszabályi előírásoknak felelnek meg, hanem figyelembe veszik a potenciális kockázatokat is, biztosítva a megfelelő védelmi intézkedéseket és a hosszú távú üzemeltetési biztonságot.⁴¹ (A témáról bővebben a cikksorozat következő részében, a *Robbanóanyag-feldolgozó üzem technológiai környezetének tervezése* című publikációban olvashat.)

³⁹ DoD – DESR 6055.09 2020; AASTP-5 2020; IATG 2021.

⁴⁰ AASTP-5 2020; IATG 2021; DSA 03.OME Part 2.

⁴¹ ZALOSH 2003.

Összegzés

Az új robbanóanyag-feldolgozó üzem megvalósítása stratégiai jelentőségű beruházás, amely lehetőséget biztosít a legmodernebb technológiai, biztonsági és nemzetközi szabványoknak megfelelő infrastruktúra létrehozására. Ennek alátámasztására bemutattuk az üzem technológiai előkészítésének teljes folyamatát, kiemelve a tervezés multidiszciplináris jellegét és a jogszabályi, műszaki, biztonsági, gazdasági, valamint logisztikai szempontok integrált kezelésének szükségességét. E technológiai előkészítési folyamat az építészeti és infrastrukturális tervezés megalapozásának elengedhetetlen része. Fontos hangsúlyozni, hogy a létesítmény „nulláról” történő tervezése lehetőséget ad a legmodernebb nemzetközi és hazai előírások, valamint bevált műszaki megoldások alkalmazására.

Tanulmányunkban részletesen tárgyaltuk a jogi és szabványi környezet (magyar és nemzetközi) szerepét a technológiai és építészeti követelmények meghatározásában. Felhívtuk a figyelmet a tervezési alapkövetelmények pontos definiálásának fontosságára (kapacitás, biztonság, költség-haszon elemzés, bővítési lehetőségek, telephely-elrendezés), illetve a gyártási technológia részletes feltérképezésére (alapanyagok, berendezések, folyamatlépések és kockázatelemzés). Ismertettük a berendezések telepítésének és megfelelőségének biztosítását a releváns irányelvek és szabványok alapján (például ÁRBSZ, Gépdirektíva, ATEX), valamint a folyamatábrák és vizuális eszközök szerepét a gyártási logika és a kockázatok feltérképezésében. A biztonság maximalizálása érdekében bemutattuk a robbanóanyagokra vonatkozó elvek (ALARP) alkalmazását, illetve a technológiai környezet és építészeti tervezés integrált kialakítását a robbantástechnikai követelményekkel összhangban. A bemutatott megközelítések – a részletes kockázatértékelési módszertanok, az Ipar 4.0 alapú digitalizációs megoldások, a fenntarthatósági és környezetvédelmi szempontok, a humánbiztonsági protokollok, valamint a nemzetközi *best practice* példák – együttesen hozzájárulnak ahhoz, hogy a létrejövő üzem megfeleljen a legszigorúbb biztonsági és minőségi követelményeknek.

A téma feldolgozása során az alábbi következtetéseket rögzítettük:

- A sikeres üzemtervezés alapja a technológiai előkészítés: A megfelelően dokumentált, részletesen kidolgozott technológiai követelményrendszer nélkül az építészeti és műszaki tervezés nem biztosíthatja sem a jogszabályi megfelelést, sem a biztonságos működést.
- A nemzetközi szabványok bevonása kulcsfontosságú: A korszerű robbanóanyag-feldolgozó üzemek tervezésekor elengedhetetlen a NATO-, EU- és egyéb nemzetközi irányelvek figyelembevétele, mivel ezek gyakran naprakészebb biztonsági és technológiai elvárásokat rögzítenek, mint a hazai szabályozás.
- A biztonság maximalizálása a termelékenységgel szemben: A robbanóanyagok feldolgozásánál megfelelő védőintézkedésekkel a munkavállalók egészségének és a telephely védelmének legnagyobb fokú biztosítása szükséges a gyártási hatékonyság megtartása mellett.
- Integrált logisztikai és gyártástechnológiai tervezés: Az anyagáramlás, -tárolás és -szállítás biztonsági és kapacitási követelményei szoros összefüggésben állnak a technológiai és építészeti kialakítással.

- Folyamatos visszacsatolás és iteráció szükséges: Az építészeti és technológiai tervezés párhuzamos, egymást folyamatosan korrigáló folyamata biztosítja a multidiszciplináris megfelelést és az optimális végeredményt.
- Részletes berendezés-nyilvántartás és megfelelőségi vizsgálat: A használt vagy új gépek esetében egyaránt nélkülözhetetlen a részletes műszaki adatgyűjtés, kockázatelemzés és a szabályozási követelményeknek való megfelelés dokumentált igazolása.

A beruházás sikeres megvalósítása csak széles körű szakmai együttműködéssel, részletes előkészítéssel és folyamatos minőségbiztosítással érhető el. A korszerű robbanóanyag-feldolgozó létesítmény tervezésének és kivitelezésének központi célja, hogy a biztonság, a hatékonyság és a fenntarthatóság egységes rendszert alkosson. Ez biztosítja, hogy az üzem hosszú távon is megbízhatóan, környezetkímélően és a munkavállalók egészségét védve működhessen.

Felhasznált irodalom

- 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról.
- Atlassian [é. n.]: *What is a Flowchart? Symbols, Benefits, & How to Make One*. Online: www.atlassian.com/work-management/project-management/flowchart
- Basel Convention Secretariat (2019): *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal*. United Nations Environment Programme.
- van den BOSCH, C. J. H. – WETERINGS, R. A. P. M. szerk. (2005): *Methods for the Calculation of Physical Effects due to Releases of Hazardous Materials – Yellow Book* (CPR 14E). The Hague: Committee for the Prevention of Disasters by Hazardous Materials. Online: <https://resolver.tno.nl/uuid:4928209c-5998-4261-9393-3d55073e6e87>
- Center for Chemical Process Safety (2010): *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* (3rd ed.). Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Center for Chemical Process Safety (2018): *Bow-tie Methodology for Hazard Identification and Control*. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- CROWL, Daniel A. – LOUVAR, Joseph F. (2022): *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications* (4th ed.). London: Pearson.
- Defence Safety Authority (2020): *DSA 03. OME Part 2: Defence Code of Practice (DCOP) and Guidance Notes for In-Service and Operational Safety Management of Ordnance, Munitions and Explosives (OME)*. United Kingdom Ministry of Defence. Online: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ee8cbdce90e070425c4c571/DSA_03_OME_PART_2__JSP_482__CH_12__Nov_19__-_mod_gov_uk.pdf
- Department of Defense (DoD) (2020): *DESR 6055.09 – Defense Explosives Safety Regulation*. U.S. Department of Defense.
- Deutsches Institut für Normung (2011): *DIN VDE V 0166: Electrical Installations in Hazardous Areas*. [H. n.]: Beuth.
- Dovetail [é. n.]: *Flowcharts: Definition, Benefits, and Examples*. Online: <https://dovetail.com/product-development/what-is-a-flow-chart>
- MANNAN, Sam szerk. (2012): *Lees' Loss Prevention in the Process Industries* (4th ed.). Oxford: Butterworth–Heinemann. Online: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-24104-3>
- MANNAN, Sam szerk. (2013): *Lees' Process Safety Essentials*. Oxford: Butterworth–Heinemann.
- Nammo AS. (2022): *Corporate Sustainability and Safety Practices*. Nammo Annual Report.

- NATO STANAG 4440 (2019): *AASTP-01: NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives*. NATO Standardization Office.
- NATO STANAG (2020): *AASTP-5: NATO Guidelines for the Storage, Maintenance, and Transport of Ammunition on Deployed Missions or Operations*. NATO Standardization Office.
- NATO STANAG 4442 (2024): *Explosives Safety Risk Analysis*. NATO Standardization Office.
- United Nations Economic Commission for Europe (2015): *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria (6th rev. ed.)*. United Nations Publications.
- United Nations Office for Disarmament Affairs (2021): *International Ammunition Technical Guidelines (IATG)*. United Nations.
- U.S. Department of Defense Explosives Safety Board (2018): *DESR 6055.09 – Defense Explosives Safety Regulation*.
- ZALOSH, Robert G. (2003): *Industrial Fire Protection Engineering*. Hoboken, New Jersey: Wiley. Online: <https://doi.org/10.1002/9781118903117>