

SZAKDOLGOZAT

Brehlik Bence
Gépészmérnök szak

Gödöllő
2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnök Szak

**ROBOTIZÁLT MÉRŐCELLA GÉPBIZTONSÁGI
TERVEZÉSE**

Belső konzulens:	Dr. Földi László József Egyetemi Docens
Külső konzulens:	Katona Adrián gépészmérnök
Készítette:	Brehlik Bence X4H27Q levelező
Intézet/Tanszék:	Műszaki Intézet Mechatronika tanszék

Gödöllő
2024

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Mérnök-informatika specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Brehlik Bence (X4H27Q)

részére

A szakdolgozat címe:

ROBOTIZÁLT MÉRŐCELLA GÉPBIZTONSÁGI TERVEZÉSE

Feladatkiírás:

Bevezetés. Vonatkozó direktívák és szabványok irodalmi feldolgozása. A tárgyalt rendszer határainak definiálása, kockázatelemzés alapján meghatározott kockázatesökkentő intézkedésekre tett javaslatok megvalósítása. Funkcionális biztonsági rendszerek kiválasztása és dokumentálása Sistema szoftver segítségével. Gazdasági számítás. Összefoglalás.

Közreműködő tanszék: Mechatronika

Külső konzulens: Katona Adrián, gépészmérnök, 3D Infotech Kft.

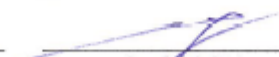
Belső konzulens: Dr. Földi László József egyetemi docens
, MATE MI

Beadási határidő: 2024. november 5

Gödöllő, 2024. szeptember 9

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024.


(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	7
1.1.	Téma jelentősége.....	8
1.2.	Célkitűzés	8
2.	Cég bemutatása	9
3.	Szakirodalom feldolgozása.....	10
3.1.	A gépbiztonsági irányelvek	10
3.1.1.	2006/42/EK irányelv a gépekről	10
3.1.2.	16/2008 (VIII.30.) NFGM rendelet.....	10
3.1.3.	A gépgyártók kötelezettségei az irányelvek alapján	11
3.2.	Gépbiztonsági szabványok	12
3.2.1.	MSZ EN ISO 12100	14
3.2.1.1.	Stratégia a kockázatértékelés és kockázatsökkentés céljából.....	15
3.2.1.2.	A gép határainak rögzítése (5.3. szakasz).....	16
3.2.1.3.	Veszélyek azonosítása (5.4. szakasz)	16
3.2.1.4.	Kockázatbecslés (5.5. szakasz)	16
3.2.1.5.	Kockázatértékelés (5.6. szakasz).....	17
3.2.1.6.	Kockázatsökkentés (6.szakasz)	17
3.2.1.7.	Biztonságos kialakítás (6.2 szakasz)	18
3.2.1.8.	Műszaki védőintézkedések (6.3 szakasz)	19
3.2.1.9.	Kiegészítő védőintézkedések (6.3.5 szakasz)	20
3.2.1.10.	Használati információk és dokumentáció (6.4. és 7. szakasz)	21
3.2.2.	MSZ EN ISO 13849-1	21
3.2.2.1.	Biztonsági funkciók meghatározása (5.szakasz).....	22
•	Tartós belépés megakadályozása	22
3.2.2.2.	Biztonsági teljesítményszint (PL _r) meghatározása (4.3. szakasz).....	23

3.2.2.3.	Biztonsági szint (PL) meghatározása (4.5. szakasz)	24
3.2.2.4.	Biztonsági funkciók validálása.....	26
3.2.2.5.	Teljes értékelés	26
4.	Anyag és módszer	28
4.1.	Fejlesztés bemutatása	28
4.2.	Fejlesztéshez kapcsolódó kockázatértékelés	28
4.2.1.	A gép határainak rögzítése.....	28
4.2.1.1.	Üzemmodok meghatározása	28
4.2.1.2.	A gép környezetében tartózkodható személyek meghatározása	29
4.2.1.3.	Térbeli határok meghatározása.....	30
4.2.1.4.	Emberi kölcsönhatás körülményeinek, eszközeinek meghatározása	30
4.2.1.5.	A gép energiaellátása.....	30
4.2.1.6.	Időbeli határok.....	31
4.2.2.	Veszélyazonosítás, kockázatbecslés és kockázatértékelés	31
4.2.3.	Kockázatcsökkentő intézkedések.....	34
4.2.3.1.	Eredendően biztonságos kialakítás.....	34
4.2.3.2.	Műszaki védőintézkedések meghatározása.....	34
4.2.3.3.	Biztonsági funkciók meghatározása	35
4.2.4.	SF1 Veszélyes terület védelme	37
4.2.5.	SF2 Leállítás kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására	43
4.2.6.	SF3 Csökkentett sebesség kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására	44
4.2.7.	SF4 Indítás megakadályozása veszélyes térben való tartózkodás hatására	45
4.2.8.	SF5 Anyagáthaladás engedélyezése	46
4.2.9.	SF6 Manuális újraindítás	48
4.2.10.	SF7 Hand-Guided mód választás	49

4.2.11.	SF8 Vészleállító rendszer (E-STOP).....	50
4.2.12.	Biztonsági szempontból fontos kijelzések	52
4.2.13.	Astaire Safety System Controller	52
4.2.14.	Maradó kockázatfelmérés a biztonsági eszközök alkalmazása után	54
4.2.15.	Dokumentáció	55
4.2.16.	Jelenlegi állapot.....	55
5.	Gazdasági számítás	56
6.	Összefoglalás	58
7.	Summary	59
8.	Nyilatkozatok.....	60
9.	Irodalomjegyzék	61
10.	Mellékletek	63
10.1.	1. Melléklet SISTEMA Kockázatelemzési jegyzőkönyv	63

1. Bevezetés

Szakdolgozatom célja a 3D Infotech által fejlesztett Smart Cell robotizált mérőcella gépbiztonsági tervezésének és ennek dokumentálásának részletes bemutatása.

A cella egy lineáris sínen futó kocsira helyezett kollaboratív robotot tartalmaz. A roboton egy ScanTech TrackScan 3D szkennert találhatók, ami a cella oszlopaiba rögzített tracker-ek (követők) segítségével képes a vizsgálandó tárgyat elhelyezni a térben. Jelen állapotban a termék még nem létezik fizikailag, csak CAD modellen. A lineáris hajtás fejlesztése már elkezdődött. A prototípuson vizsgáljuk a gépbiztonsági tervezéshez szükséges paramétereket.

Emellett hangsúlyozhatjuk, hogy a projekthez tartozó robotkar és lineáris hajtás együttes működése közben komoly kockázatokat jelenthet a környezetben tartózkodók számára, ezért a gépbiztonsági elemzés kritikus fontosságú a tervezési folyamatban. Fontos megjegyezni, hogy a gépbiztonsági elemzés kizárólag az itt megemlített konfigurációra vonatkozik. Ha a robot más automatizálási célokra használt eszközökkel van felszerelve, akkor azt a rendszerintegrátornak kell újra értékelnie a veszélyek azonosítása és minimalizálása érdekében.

Az elemzés során alapvető hangsúlyt fektetünk a vonatkozó direktívák és szabványok átfogó irodalmi feldolgozására, melyek a gépbiztonság terén irányítják tevékenységünket.

A rendszer határainak meghatározása kritikus szerepet játszik a biztonsági elemzés folyamatában. Ennek során áttekintjük a rendszer működési paramétereit és azonosítjuk az esetleges veszélyforrásokat, melyek későbbi kockázatelemzés alapját képezik. A kockázatok azonosítását követően pedig célul tűzzük ki a megfelelő kockázatcsökkentő intézkedések kidolgozását és megvalósítását, melyek hatékonyan minimalizálják az esetleges veszélyeket és növelik a munkahelyi biztonságot.

A Smart Cell robotizált mérőcella egy olyan innovatív projekt, melynek célja a gépbiztonsági elemzés és dokumentáció bemutatása a 3D Infotech által fejlesztett technológia alapján.

Fontos megjegyezni, hogy a projekthez kapcsolódó Smart Cell mérőcella egy kifejezetten fejlesztett, CAD modelleken alapuló prototípus, mely még nem került fizikai megvalósításra.

A gépbiztonsági elemzés során kiemelkedő figyelmet kell fordítani az érvényes direktívák és szabványok átfogó irodalmi feldolgozására, hogy azok iránymutatást nyújtsanak a biztonsági követelmények teljesítéséhez.

Az elemzés továbbá magában foglalja a rendszer határainak meghatározását és az esetleges veszélyforrások azonosítását, ami alapja a kockázatelemzésnek és a megfelelő kockázatcsökkentő intézkedések kidolgozásának.

Végül, kiemelhetjük a célul tűzött kockázatcsökkentő intézkedések megvalósításának fontosságát, melyek hatékonyan minimalizálják az esetleges veszélyeket és növelik a munkahelyi biztonságot a projekt teljes életciklusán keresztül.

A kollaborativitás elérése szempontjából kiemelkedő fontosságú a megfelelő funkcionális biztonsági rendszerek kiválasztása és dokumentálása. A dolgozat során részletesen tárgyaljuk a különböző rendszerek lehetőségeit és funkcionalitását, valamint bemutatjuk ezek alkalmazását a rendelkezésre álló robotcellában. Mindezek során kiemeljük a Sistema szoftver nyújtotta lehetőségeket, mely hatékony eszközt biztosít a biztonsági dokumentáció kidolgozásához és nyomon követéséhez.

Ezen elemzések és javaslatok együttesen hozzájárulnak ahhoz, hogy a vizsgált robotcella gépbiztonsága megfelelő szinten legyen, és hogy a munkavégzés során maximalizáljuk a dolgozók biztonságát és a termelékenységet.

1.1. Téma jelentősége

A modern ipari környezetben a gépek és robotok alkalmazása jelentős mértékben hozzájárul a termelékenység növeléséhez és az automatizáció előrehaladásához. Az ilyen gépekkel folytatott munka során azonban kiemelten fontos a gépbiztonság megfelelő szintjének biztosítása, hogy minimalizáljuk a balesetek kockázatát és garantáljuk a dolgozók

1.2. Célkitűzés

Dolgozatom célja egy olyan mérőcella gépbiztonsági tervezése, mely ipari termelési célokat szolgál. Az eszközök felhasználása során a fő hangsúly a gyártási folyamatok hatékonyságának növelésére és automatizálására irányul, miközben teljesíti az összes releváns direktívát és szabványt. Emellett az is cél, hogy egy konkrét gyakorlati példán keresztül bemutassam a gépbiztonság kulcsfontosságú szerepét a gyártási környezetben.

2. Cég bemutatása

A 3D Infotech, Inc. egy 2005-ben alapított vállalat, mely mérés technikai és automatizálási megoldásokkal foglalkozik. Székhelye Irvine-ban, Kaliforniában található. A vállalat közel 20 éves metrológiai tapasztalattal rendelkezik, és csapatai a PolyWorks® metrológiai szoftver értékesítésével és támogatásával, valamint az űrrepülési, autóiipari és elektronikai iparágakban működő gyártó cégeknek kínált kulcsrakész megoldásokkal foglalkoznak az Egyesült Államok nyugati részén. [1]

A 3D Infotech Kft. az amerikai cég magyarországi leányvállalata, melyet 2012-ben jegyezték be Magyarországon. Büszkéek lehetünk arra, hogy 18 fős csapatunk rendkívüli tudással és szakértelemmel rendelkezik. Ezek a kollégák különböző területeken dolgoznak, mint például szoftverfejlesztés, hardverfejlesztés és gyártás, valamint alkalmazási mérnöki feladatok. A sokszínűség és a szakmai tudás kombinációja lehetővé teszi számunkra, hogy innovatív megoldásokat nyújtsunk ügyfeleinknek és kiemelkedő minőségű termékeket hozzunk létre. Kezdetben a cég egyedi megrendelésekre gyártott mérőcellákat, majd áttért arra, hogy rugalmasan testre szabható „plug-and-play” jellegű megoldásokat fejlesszen és gyártson, melyek a Universal Metrology Automation™ (UMA) védjegyet kapták. Az UMA termékek kompatibilisek számos 3D szkennelssel és kollaboratív robottal. A cég saját fejlesztésű szoftvere, a Streamline, lehetővé teszi ezen sokféle hardver automatizálását.

Az UMA termékek széles méret- és konfigurációs skálán elérhetőek, kezdve az asztali megoldásoktól egészen a 700 kg-ig terhelhető forgóasztalokig. Mind fejlesztésük, mind gyártásuk teljes mértékben a 3D Infotech gödöllői telephelyén történik, ahol a Streamline szoftver fejlesztése is zajlik.

Az Aruna Robotics, a 3D Infotech, Inc. egyik divíziója, kihasználja az évek során fejlesztett technológiákat a dimenzióellenőrzési cellák területén. Megfizethető, innovatív hardver- és szoftvereszközöket készít kollaboratív robotokhoz. Az Aruna Robotics márkanévvel futó forgóasztalok kifejezetten a Universal Robots™ termékeihez lettek fejlesztve, mint a hardver, mint szoftver téren. Az Aruna Robotics olyan technológiákat használ, amelyeket az évek során a 3D Infotech fejlesztett ki, mint a 3D-s szkennelés, gépi látás és kiterjesztett valóság.

3. Szakirodalom feldolgozása

3.1. A gépbiztonsági irányelvek

Az európai gépbiztonsági alapelvek az Európai Unió által létrehozott szabványok és irányelvek, amelyek célja a termékek biztonságának és megbízhatóságának biztosítása. Ezek az alapelvek kiterjednek a gépek tervezésére, gyártására és üzemeltetésére vonatkozó követelményekre. Olyan alapvető elveket határoznak meg, mint például a kockázatértékelés, a megfelelőségi nyilatkozatok kiadása és a technikai dokumentáció vezetése. Az alapelvek alkalmazása lehetővé teszi a termékek szabadpiacra való bevezetését az Európai Unió tagállamaiban, miközben biztosítja a felhasználók és a környezet biztonságát. Ezek az alapelvek alapvető fontosságúak a gépgyártók, az importőrök és a forgalmazók számára, hogy megfeleljenek az európai jogszabályoknak és biztosítsák termékeik megfelelőségét és minőségét. Az európai gépbiztonsági alapelvek összességében hozzájárulnak az európai piacok harmonizációjához és az áruk szabad mozgásához az Unió területén belül.

3.1.1. 2006/42/EK irányelv a gépekről

Az 2006/42/EK irányelv [2] az Európai Unió által elfogadott gépbiztonsági irányelvek egyike, mely a gépek tervezésére és gyártására vonatkozó alapelveket és követelményeket tartalmazza. Célja a gépekkel kapcsolatos kockázatok minimalizálása, a felhasználók és a környezet védelme, valamint a szabadpiacra történő biztonságos termékbevezetés elősegítése az EU-n belül. Az irányelv alkalmazása minden olyan gépre kiterjed, amely a piacra kerül vagy üzembe helyezik az Európai Gazdasági Térségen belül.

3.1.2. 16/2008 (VIII.30.) NFGM rendelet

A 16/2008 (VIII.30.) NFGM [3] rendelet a Nemzeti Fogyasztóvédelmi és Gazdasági Minisztérium által kiadott magyar jogszabály, amely az Európai Unió gépbiztonsági irányelveinek bevezetését és alkalmazását szabályozza hazai szinten. Célja az áruk biztonságának és megfelelőségének biztosítása Magyarországon, valamint az európai uniós jogszabályok harmonikus végrehajtása a hazai piacokon. A rendelet hatálya alá tartozik a gépek forgalomba hozatala, használata és felügyelete, ezzel biztosítva a felhasználók védelmét és a környezet biztonságát.

3.1.3. A gépgyártók kötelezettségei az irányelvek alapján

Az irányelvek alapján a gépgyártók elsődleges kötelezettsége a gépek megfelelőségének biztosítása az előírt biztonsági és minőségi követelményekkel. Ennek érdekében a gyártóknak megfelelő minőségellenőrzési folyamatokat kell bevezetniük a tervezési és gyártási folyamatokban. Fontos, hogy a gépek tervezése és gyártása során szorosan kövessék az irányelvek által meghatározott technikai specifikációkat és biztonsági előírásokat.

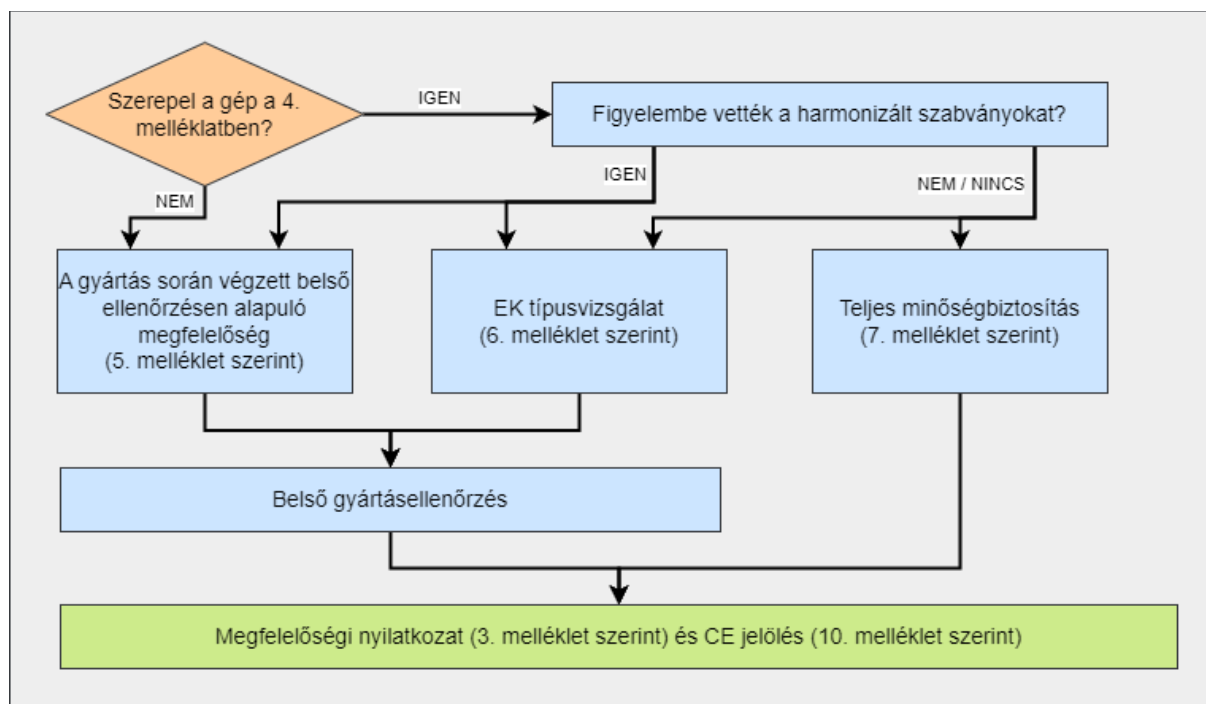
A gépgyártóknak emellett gondoskodniuk kell arról, hogy minden géphez részletes és érthető használati utasításokat mellékeljenek, valamint szükség esetén biztonsági figyelmeztetéseket is. A kockázatértékelés és -kezelés fontossága is kiemelkedő: a gyártóknak feladata azonosítani és értékelni a gépek potenciális veszélyforrásait, majd megfelelő korrekciós intézkedéseket hozni a kockázatok csökkentése érdekében.

Az irányelvek előírják továbbá, hogy a gépgyártóknak rendelkezésre kell bocsátaniuk a technikai dokumentációt, amely tartalmazza a gépek tervezésére, gyártására és működtetésére vonatkozó releváns információkat.

A gyártó a jogszabályok és előírások betartását a megfelelőségi nyilatkozat kiadásával és a berendezésen elhelyezett CE jelöléssel igazolja. A CE jelölést a 4. mellékletben nem említett gépek esetében a gyártó saját tanúsításával helyezheti el, amennyiben a megfogalmazott alapvető biztonsági és egészségvédelmi követelményeknek megfelel. A 4. mellékletben felsorolt gépek esetében a megfelelőség bizonyítására a következő módszereket alkalmazhatja a gyártó:

- Az 5. melléklet előírásainak megfelelően végzett gyártás közbeni belső ellenőrzés és megfelelőségi eljárás alkalmazása.
- Az 5. melléklet 2. pontjában meghatározott gyártás közbeni belső ellenőrzési rendszer használata, egyidejűleg az 6. melléklet által előírt EK típusvizsgálat elvégzésével.
- Teljes minőségbiztosítási rendszer alkalmazása a 7. melléklet előírásai szerint. [4]

Az 1. ábra a 16/2008 (VIII.30.) NFGM rendelet szerint EK megfelelőségi eljárást mutatja be folyamatábra segítségével.



1. ábra EK megfelelőségi eljárás folyamatábrája [3]

A jogszabály részletesen definiálja a "részben kész gép" fogalmát, mely olyan gépet vagy gépkomponenst jelent, ami az adott irányelv értelmében nem minősül teljes gépnek, mivel önmagában nem képes bizonyos funkcionalitások ellátására. Ennek következtében ezek a részben kész gépek nem képesek az összes irányelvi követelmény teljesítésére. A gyártóknak csak az észszerűen teljesíthető alapvető biztonsági előírásoknak kell megfelelniük, azonban kötelesek beépítési nyilatkozatot kiadni, melyben részletesen meghatározzák az irányelv által előírt követelmények teljesítését. A részben kész gépek esetében a gyártónak beépítési útmutatót kell mellékelnie minden forgalomba hozott termékhez, nem pedig az üzemeltetési útmutatót.

3.2. Gépbiztonsági szabványok

Az iparban alkalmazott szabványok olyan megegyezéseket képeznek, amelyeket különböző érdekcsoportok, például gyártók, fogyasztók, ellenőrző szervek és hatóságok, valamint kormányok között hoznak létre. Ezek a szabványok rendszerint szabályozzák bizonyos folyamatokat vagy azok eredményeit. Míg a szabványok alkalmazása nem kötelező, azoknak való megfelelés jelentős mértékben elősegíti a jogszabályoknak való megfelelés bizalmát, ami mind a gyártók, mind a fogyasztók számára fontos. A Nemzetközi Szabványügyi

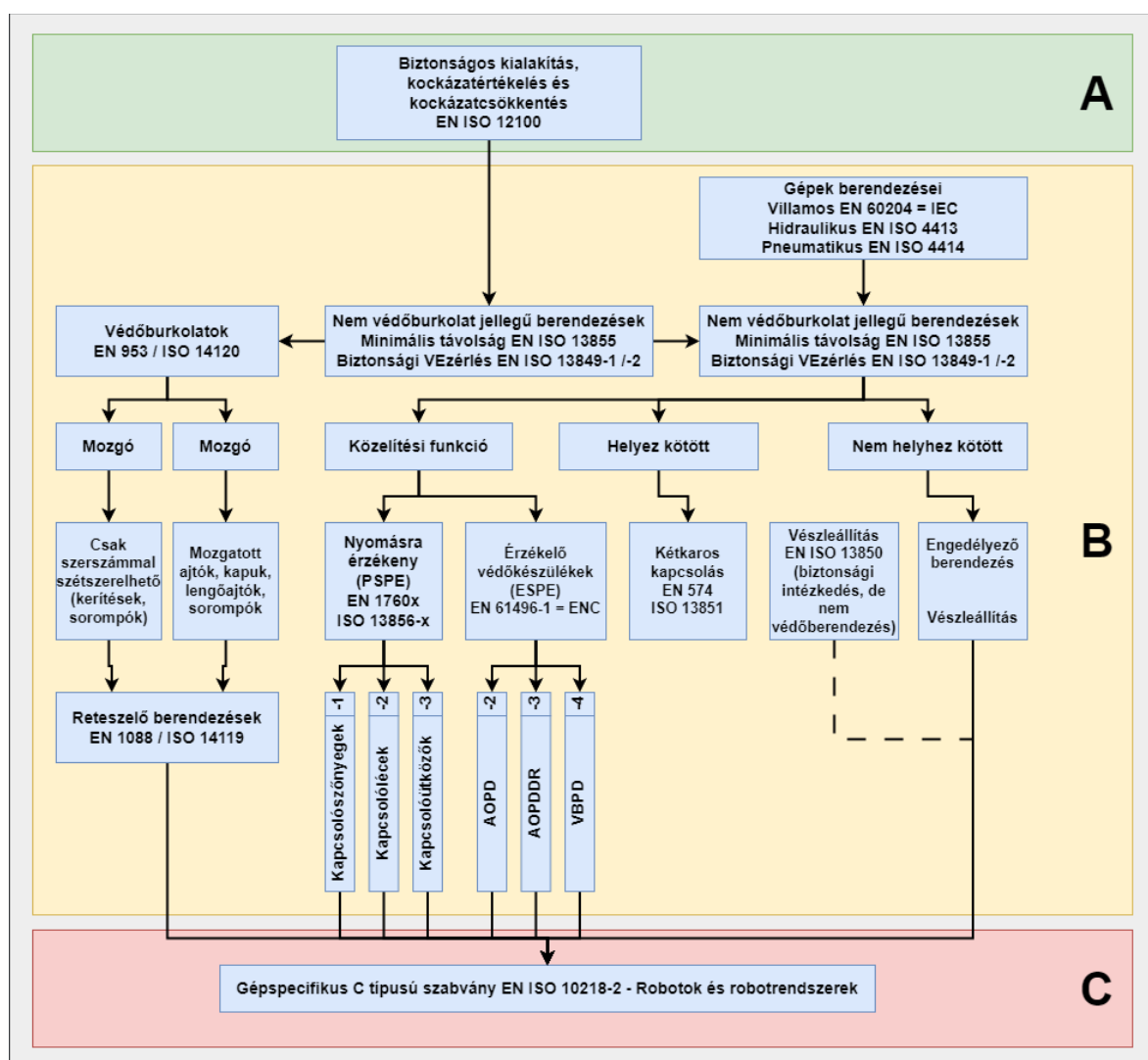
Szervezet (ISO - International Standardization Organization) az általános nem elektromos technológiák terén dolgozik ki és tesz közzé nemzetközi szabványokat, míg a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC - International Electrotechnical Commission) az elektrotechnikai területre, energiatermelésre és mágneses összeférhetőségre összpontosít, és ehhez kapcsolódó szabványokat publikál.

A szabványokat három fő típusba lehet sorolni:

- **A típusú szabványok:** Alapvető biztonsági alapelveket és fogalmakat határoznak meg, melyeket minden géptípusra alkalmazni kell.
- **B típusú szabványok:** Biztonsági csoportszabványok, amelyek nagyobb gépcsoportokhoz kapcsolódnak és azok biztonsági előírásait tartalmazzák. Ez két alcsoportra oszlik:
 - B1 típusú szabványok meghatározott biztonsági szempontokra vonatkoznak.
 - B2 típusúak biztonsági berendezésekre vonatkoznak.
- **C típusú szabványok:** Részletes biztonsági előírásokat tartalmaznak, egy adott géptípusra vonatkozóan.

Amennyiben egy géptípusra létezik C típusú szabvány, az elsőbbséget élvez az A és B típusú szabványokkal szemben, azonban mindig be kell tartani a gépi berendezésekről szóló irányelv rendelkezéseit. Ha egy gyártó alkalmaz egy harmonizált szabványt annak érdekében, hogy megfeleljen a vonatkozó irányelveknek, akkor kötelezően meg kell felelnie az összes többi releváns harmonizált szabványnak is.

A 2. ábra áttekinti a védőberendezésekre vonatkozó szabványok kapcsolatát és kategóriáit.



2. ábra Védőberendezések és rájuk vonatkozó szabványok

Harmonizált szabványok olyan szabványok, amelyeket az Európai Bizottság elfogadott az adott termékkategóriára vonatkozóan az EU irányelveinek megfelelően.

3.2.1. MSZ EN ISO 12100

Az MSZ EN ISO 12100 az egyik alapvető A típusú szabvány a gépbiztonsági területen, mely "Gépek biztonsága: alapfogalmak, általános kialakítási irányelvek. Kockázatértékelés és kockázatcsökkentés" [5] címmel jelent meg. A szabvány széleskörű iránymutatást nyújt a gépészeti tervezők és gyártók számára, segítve őket a biztonsági követelmények teljesítésében. Részletesen meghatározza a kockázatértékelés és kockázatcsökkentés módszertanát, és előírja a folyamatot a veszélyek azonosítására, azok elhárítására vagy

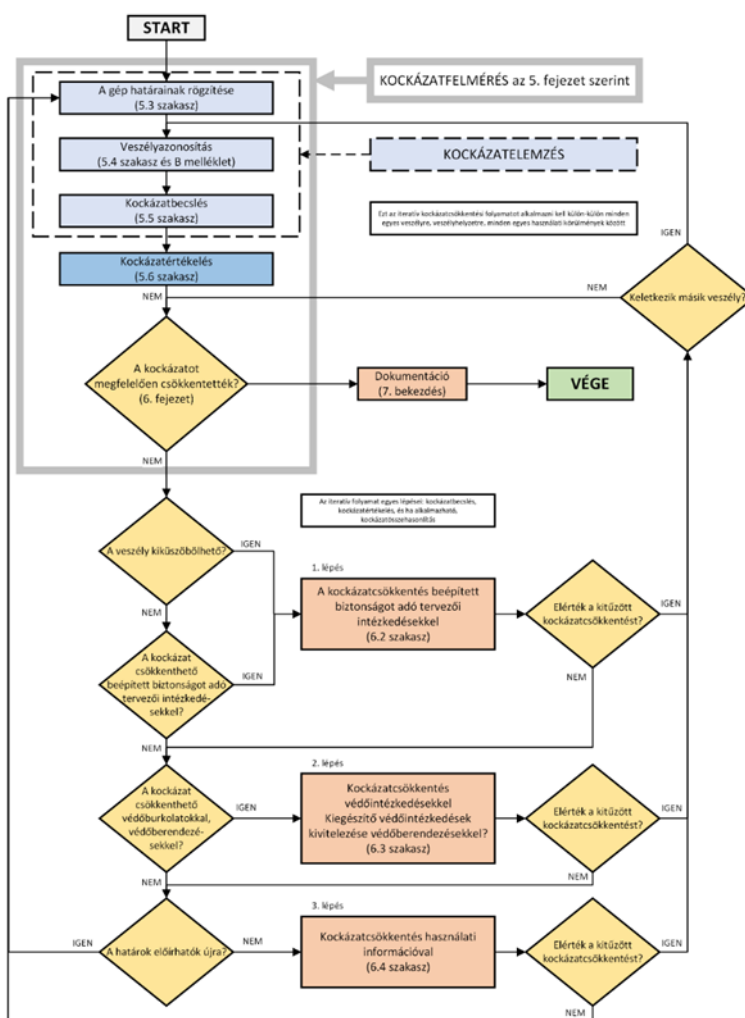
megfelelő mértékű csökkentésére. Emellett útmutatást ad a dokumentáció készítéséhez, ami nélkülözhetetlen a biztonsági intézkedések hatékonyságának biztosításához. A szabvány alkalmazása nélkülözhetetlen a gépek biztonságos tervezéséhez és gyártásához, valamint a munkavállalók és felhasználók védelméhez.

3.2.1.1. Stratégia a kockázatértékelés és kockázatcsökkentés céljából

A kockázatértékelés és kockázatcsökkentés megvalósításához a tervezőnek egy sor lépést kell végrehajtania. Először is, meg kell határozni a gép határait, ideértve a tervezett felhasználást és minden észszerűen előre látható visszaélési formát. Ezután azonosítani kell a veszélyeket és az azokkal társuló veszélyhelyzeteket. Ezt követően be kell becsülnie a minden azonosított veszélyre és veszélyhelyzetre vonatkozó kockázatot. A tervezőnek ezután ki kell értékelnie a kockázatokat és döntéseket kell hoznia a

kockázatcsökkentés szükségességéről. Végül, az

eljárás során el kell távolítani a veszélyeket vagy csökkentenie kell a veszéllyel járó kockázatot védő intézkedésekkel. Fontos megjegyezni, hogy ez a folyamat iteratív jellegű, és többszöri alkalmazása lehet szükséges a kockázatok teljes körű kezeléséhez.



3. ábra Kockazatelemzés folyamata MSZ EN ISO 12100 szerint [5]

3.2.1.2. *A gép határainak rögzítése (5.3. szakasz)*

A kockázatértékelés a gép határainak meghatározásával kezdődik, figyelembe véve a gépek teljes élettartamát. Ez azt jelenti, hogy a gép vagy egy gépsorozat jellemzőit és teljesítményét egy integrált folyamatban, valamint a kapcsolódó embereket, környezetet és termékeket a gépek határai szempontjából kell azonosítani felhasználói, területi, időbeli és egyéb korlátok szerint.

3.2.1.3. *Veszélyek azonosítása (5.4. szakasz)*

A gép határainak meghatározása után a gép kockázatértékelésének minden lényeges lépése a reálisan előrelátható veszélyek (állandó veszélyek és azok, amelyek váratlanul felmerülhetnek), veszélyes helyzetek és/vagy veszélyes események rendszerezett azonosítása minden géplétesítmény élettartama során. Csak akkor lehet lépéseket tenni a veszélyek megszüntetése vagy a kockázatok csökkentése érdekében, ha azokat azonosították. Ezt a veszélyazonosítást annak érdekében kell végrehajtani, hogy azonosítsák a gép által végzendő műveleteket és azokat a feladatokat, amelyeket a géppel interakcióban lévő személyeknek kell elvégezniük, figyelembe véve a gép különböző részeit, mechanizmusait vagy funkcióit, a feldolgozandó anyagokat, ha vannak, és a gép használati környezetét.

A tervezőnek az alábbiakat figyelembe véve kell azonosítania a veszélyeket:

- Az emberi interakciót a gép teljes életciklusa során,
- A gép lehetséges állapotait,
- Az operátor véletlen viselkedését vagy a gép reálisan előrelátható veszélyeit.

3.2.1.4. *Kockázatbecslés (5.5. szakasz)*

A veszélyek azonosítását követően a következő lépésben minden veszélyes helyzetre szükséges felmérni a kockázatot. Ez magában foglalja a lehetséges károk súlyosságának és bekövetkezésének valószínűségét, figyelembe véve például a veszélynek való kitettséget és a kár csökkentésének lehetőségeit. A kibocsátásokra vonatkozó értékek meghatározásához és összehasonlításához szabványos mérési módszereket kell alkalmazni, amelyek segítenek a kibocsátásokkal kapcsolatos kockázatok felmérésében és a védőintézkedések hatékonyságának értékelésében. Ez lehetővé teszi a kibocsátásokról kvantitatív információk nyújtását a potenciális vásárlóknak és felhasználóknak. Más, mérhető paraméterekkel

rendelkező veszélyek hasonló módon kezelhetők. A kockázatelemek magukban foglalják a kár súlyosságát, a bekövetkezés valószínűségét, valamint a kár elkerülésének vagy korlátozásának lehetőségét. A kockázatbecslésnek figyelembe kell vennie az összes veszélynek kitett személyt, az expozíció típusát és idejét, az emberi tényezők hatását a kockázatra, a védőintézkedések megfelelőségét és fenntarthatóságát, valamint az elérhető használati információkat.

3.2.1.5. *Kockázatértékelés (5.6. szakasz)*

A kockázatértékelés a kockázatbecslést követően határozza meg, hogy szükség van-e további kockázatcsökkentésre. A kockázatcsökkentés megfelelőségét iteratív módon minden lépés után kell értékelni, biztosítva, hogy az új védőintézkedések ne vezessenek be további veszélyeket. A megfelelő kockázatcsökkentés magában foglalja az összes üzemeltetési feltétel figyelembevételét, a kockázatok megszüntetését vagy minimalizálását, az új veszélyek kezelését, a felhasználók tájékoztatását a megmaradó kockázatokról, az egyes védőintézkedések kompatibilitásának biztosítását, valamint a használhatóság értékelését különböző környezetekben.

A kockázatok összehasonlítása során a gépekkel vagy gépalkatrészekkel kapcsolatos kockázatokat összehasonlítják az azonos típusú gépekkel vagy gépalkatrészekkel, és biztosítják, hogy azok hasonló felhasználásúak, veszélyeket hordoznak, technikai jellemzőkkel rendelkeznek és hasonlóak a használati feltételek. Ez az összehasonlítás kiegészíti, de nem helyettesíti az előírt részletes kockázatértékelési folyamatot, hangsúlyozva a kockázatok kontextusfüggő értékelését, még akkor is, ha hasonló gépeket hasonlítanak össze.

3.2.1.6. *Kockázatcsökkentés (6.szakasz)*

A kockázat csökkentésének célja elérhető, ha megszüntetjük a veszélyeket, vagy ha csökkentjük a kockázatot meghatározó két tényezőt: a sérülés súlyosságát és annak bekövetkezési valószínűségét, akár külön-külön, akár együttesen. Az e célra irányuló védőintézkedéseket az ismert háromlépcsős módszer szerint kell alkalmazni. Az **első lépésben** a műszakilag biztonságos kialakítási intézkedésekkel a veszélyeket vagy a kapcsolódó kockázatokat a gép saját kialakítási jellemzőinek és/vagy az érintett személyek és a gép közötti interakció megfelelő választásával lehet megszüntetni vagy csökkenteni. A

második lépésben, ha nem lehetséges a veszély megszüntetése, vagy elegendően csökkentése a műszakilag biztonságos kialakítási intézkedések alkalmazásával, a tervezett használatot és a lehetőnek tartott visszaéléseket figyelembe véve megfelelően kiválasztott védőberendezések és kiegészítő védőintézkedések alkalmazhatók a kockázat csökkentésére. A **harmadik lépésben**, ha a veszélyek ellenére maradnak, az információkban fel kell tüntetni a megmaradt kockázatokat és biztosítani kell a megfelelő munkamenetet és képzést a biztonságos használat érdekében.

3.2.1.7. Biztonságos kialakítás (6.2 szakasz)

Az önmagától biztonságos tervezési intézkedések az első és legfontosabb lépést jelentik a gépekkel kapcsolatos kockázatok csökkentése folyamatában. Ez azért van így, mert a gépek sajátos jellemzőivel kapcsolatos védelmi intézkedések valószínűleg hatékonyak maradnak, míg az tapasztalat azt mutatja, hogy még jól tervezett védelmi eszközök is meghibásodhatnak vagy figyelmen kívül hagyhatóak, illetve az használati utasításokat nem feltétlenül követik. Az önmagától biztonságos tervezési intézkedések elérése olyan kockázatok elkerülését vagy minimalizálását jelenti, amelyeket megfelelően választott géptulajdonságok alkalmazásával érhetünk el a gép maga és/vagy az expozícióban lévő személyek közötti interakció során.

A geometriai tényezők közé tartozik a munkaterületek és veszélyzónák optimális láthatóságának biztosítása, a vakfoltok minimalizálása és az operátor által történő közvetlen irányítás biztosítása.

A tervezés továbbá megoldja a mechanikai komponensek elrendezését annak érdekében, hogy elkerüljük a zúzó- és nyíró veszélyeket, és megszüntesse a sérülési kockázatokat. Ezenkívül a fizikai aspektusok, mint például az aktív erő korlátozása, a tömeg, sebesség és kibocsátások szabályozása fontos szerepet játszanak a biztonság növelésében. Intézkedéseket tesznek a zaj, rezgés, veszélyes anyagok kibocsátásának és sugárzásának csökkentése érdekében, hogy biztonságosabb munkakörnyezetet biztosítsanak.

Az elektromos berendezésekkel kapcsolatos IEC 60204-1 szabványok követése további védelmet nyújt az áramütés ellen, tovább növelve a biztonsági intézkedéseket.

3.2.1.8. *Műszaki védőintézkedések (6.3 szakasz)*

A 6.3. szakasz hangsúlyozza a védőeszközök és védelmi berendezések fontosságát a személyek védelme érdekében, különösen akkor, ha a biztonságos kialakítás nem elegendő a veszélyek eltávolítására vagy csökkentésére.

Kiegészítő védőintézkedéseket (például vészhelyzetben történő leállító berendezéseket) kell alkalmazni, ha szükséges. A védőberendezéseket és eszközöket a kockázatértékelés alapján kell kiválasztani és implementálni, figyelembe véve a veszélyzónák jellegét és a hozzáférés szükségességét. Fontos az is, hogy a vezérlőállások vagy beavatkozási zónák bekerítése kombinált védelmet nyújtson többféle veszély, például zuhanó vagy kibocsátott tárgyak, emissziók, környezeti veszélyek és borulások ellen. Az ergonómiai elveket is figyelembe kell venni az ilyen bekerített munkaállomások tervezésénél.

Amikor a veszélyzónához való hozzáférés nem szükséges a gép normál üzemeltetése során, a védelmi eszközöket az alábbiak közül kell kiválasztani:

- Rögzített védőberendezések (ISO 14120)
- Kapcsolható védőberendezések zárral vagy zár nélkül (ISO 14119 és ISO 14120)
- Önmagától záródó védőberendezések (ISO 14120:2002)
- Villamos úton érzékelő védőberendezések (IEC 61496, ISO 13856)

Amikor a veszélyzónához való hozzáférés szükséges a gép normál üzemeltetése során, a védelmi eszközöket az alábbiak közül kell kiválasztani:

- Kapcsolható védőberendezések zárral vagy zár nélkül (ISO 14119, ISO 14120)
- Villamos úton érzékelő védőberendezések (IEC 61496, ISO 13856)
- Állítható védőberendezések
- Önmagától záródó védőberendezések (ISO 14120:2002)
- Kétkezes vezérlőberendezések (ISO 13851)
- Kapcsolható védőberendezések indító funkcióval

Amennyiben a veszélyzónához való hozzáférés szükséges gépbeállításhoz, tanításhoz, folyamatváltáshoz, hibaelhárításhoz, tisztításhoz vagy karbantartáshoz, a gépeket oly módon kell tervezni, hogy az operátor védelmét szolgáló védőberendezések ugyanúgy biztosítsák az

említett feladatokat végző személyek védelmét anélkül, hogy akadályoznák őket a feladatuk végrehajtásában.

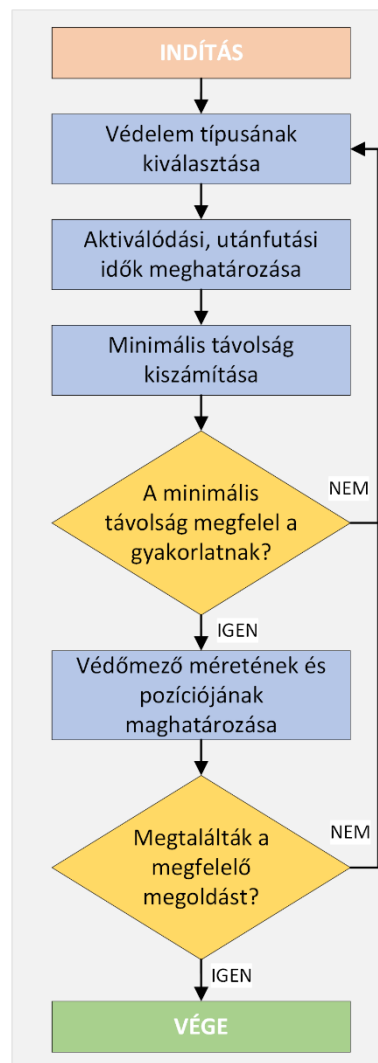
A villamos úton érzékelő védőberendezések (ESPE) széles skálájú technológián alapulnak, ezért nem mindegyik egyformán alkalmas biztonsági célokra. A tervezőknek szigorú kritériumokat kell figyelembe venniük annak érdekében, hogy minden alkalmazáshoz a legmegfelelőbb eszközt válasszák ki. Ezek az eszközök lehetnek fényfüggönyök (AOPD), lézerszkennerek (AOPDDR), nyomásérzékelő szőnyegek, kioldó rudak vagy huzalok.

A rögzített és mozgatható védőburkolatok biztonsági távolságainak meghatározását az ISO 13857 szabvány szabályozza, míg a gépszerkezetek elrendezését az emberi test közelítési sebességének figyelembevételével az ISO 13855 szabvány tartalmazza. Az elektromos érzékelő védőberendezések (ESPE) kiválasztásakor fontos figyelembe venni a kívánt biztonsági funkciók jellemzőit. Ezek az eszközök, mint például a biztonsági fényfüggönyök vagy a nyomásérzékelő szőnyegek, jelenlét érzékelésre, kioldásra vagy újraindítás megakadályozására szolgálnak. Az ESPE nem minden esetben alkalmas olyan funkciókra, mint

például anyagok visszatartása, vagy olyan gépeknél, ahol a leállási idő nem határozható meg. Ezeknek az eszközöknek a gép vezérlőrendszerébe való integrálása létfontosságú annak érdekében, hogy megfelelő leállítási parancsokat nyújtsanak érzékelés esetén, és biztosítsák, hogy a veszélyes funkciók ne indulhassanak újra automatikusan. A funkcionális biztonság hatékonyságának biztosítása érdekében fontos az implementált biztonsági funkciók ellenőrzése.

3.2.1.9. Kiegészítő védőintézkedések (6.3.5 szakasz)

A gépek biztonságához szükséges kiegészítő intézkedésekről szóló szakasz hangsúlyozza a sürgősségi leállító funkciók és mentési protokollok fontosságát. Kiemelendő, hogy ezek az



4. ábra Védőberendezések kiválasztása folyamatára [7]

intézkedések könnyen elérhetők legyenek. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a vészhelyzetben történő leállítás csak kiegészítő védőintézkedés, nem pedig elsődleges kockázatcsökkentő eszköz. Az intézkedések hatékonyságához elengedhetetlen az egyértelmű azonosítás és a jól látható helyeken való elhelyezés. A vészleállító rendszerhez használandó elektromos alkatrészeket az IEC 60204 szabvány szabályozza.

3.2.1.10. Használati információk és dokumentáció (6.4. és 7. szakasz)

Az információk összeállítása és a felhasználók számára történő közlés egyaránt fontos részét képezi a gép tervezésének. Ezek a közölni kívánt információk lehetnek szövegek, jelek, szimbólumok vagy diagramok, amelyek célja a biztonságos és helyes géphasználat elősegítése. Fontos, hogy az információk részletekbe menően tájékoztassák a felhasználót a gép használatával kapcsolatos összes irányításról, beleértve a képzés, a személyes védőfelszerelések használatának szükségességét, valamint az esetlegesen szükséges további védőberendezéseket. Az információkat a gépen belül, kísérő dokumentumokban, a csomagoláson vagy más módon is közölhetik a felhasználók számára. Fontos, hogy az egyes információkat és figyelmeztetéseket világosan és érthetően jelenítsék meg, előnyben részesítve az egyszerűen értelmezhető piktogramokat az írott figyelmeztetésekkel szemben.

A dokumentáció célja, hogy nyomon kövesse a kockázatértékelés és kockázatcsökkentés folyamatát, valamint bemutassa az elért eredményeket. Ez magában foglalja a gépek részletes leírását, a kockázatértékelés során felhasznált feltételezéseket, az azonosított veszélyeket és az ezekre adott válaszokat, valamint a kockázatcsökkentési célokat és azok végrehajtott intézkedéseit. Fontos az is, hogy dokumentáljuk a maradék kockázatokat és azokat a szabványokat vagy specifikációkat, amelyek alapján a védőintézkedéseket kiválasztották. A dokumentáció segítséget nyújthat a kockázatok nyomon követésében és a megfelelő biztonsági intézkedések meghozatalában.

3.2.2. MSZ EN ISO 13849-1

Az ISO 13849-1 [6] egy B típusú szabvány, ahogyan azt az ISO 12100 is kijelenti. A szabvány ezen része biztonsági követelményeket és útmutatást nyújt a biztonságkritikus vezérlőrendszer (SRP/CS) részeinek tervezésére és integrálására vonatkozó elvekről, beleértve a szoftver tervezését is.

A biztonsági teljesítményszint (PL) egy diszkrét szint, amelyet arra használnak, hogy meghatározzák a vezérlőrendszerek biztonsági részeinek képességét a biztonsági funkciók végrehajtására előrelátható körülmények között. A szükséges teljesítményszint (PLr) alkalmazása a kockázatcsökkentés biztosítására szolgál minden biztonsági funkció esetében.

3.2.2.1. Biztonsági funkciók meghatározása (5.szakasz)

A biztonsági funkciók meghatározzák azt, hogy hogyan valósítható meg a kockázatok csökkentése. Amennyiben az eredeti tervezés nem képes teljesen megszüntetni vagy elfogadható szintre csökkenteni a veszélyes helyzeteket, szükséges meghatározni bizonyos biztonsági funkciókat. Ezek a funkciók többek között:

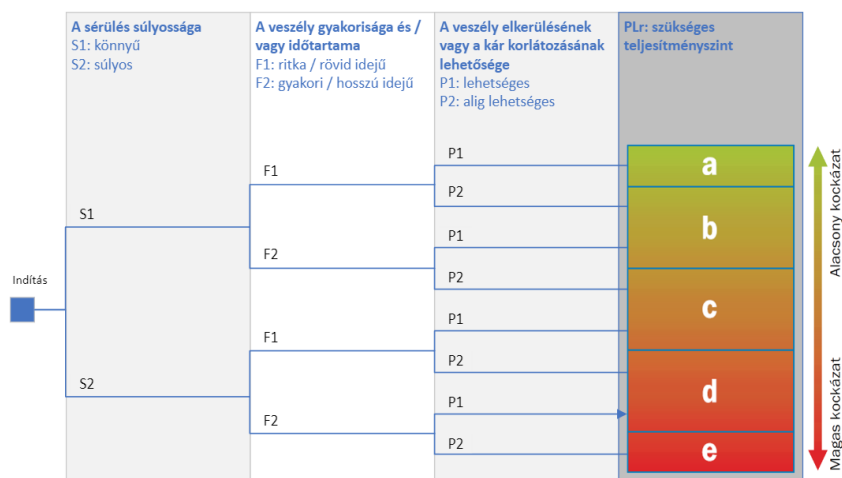
- **Tartós belépés megakadályozása:** Mechanikus akadályokkal, burkolatokkal gátoljuk meg a veszélyes területekre való belépést.
- **Ideiglenes belépés megakadályozása:** Addig nem engedélyezzük a belépést a veszélyes területekre, amíg az ott található gépi funkciók működésben vannak.
- **Anyagok, sugárzások visszatartása:** Mechanikai védőberendezések, burkolatok alkalmazása az esetlegesen kijutó anyagok vagy sugárzások ellen.
- **Leállítás kezdeményezése:** Biztonságos leállítási parancs kiadása a gép biztonságos állapotba hozásához.
- **Váratlan indítás elkerülése:** A veszélyes gépi funkciók indításához szándékos műveletre van szükség leállítás vagy bekapcsolás után.
- **Indítás megakadályozása:** Technikai megoldásokkal akadályozzuk meg az indítást vagy újraindítást leállítás után.
- **Leállítás kezdeményezésének és indítás megakadályozásának kombinációja:** Az indítás és leállítás ugyanazzal az eszközzel történik.
- **Anyagáthaladás lehetővé tétele (muting):** Speciális anyagjellemzők felismerésével lehetővé tesszük az anyag bejutását a veszélyes területre rövid ideig.
- **Gépparaméterek felügyelete:** A gép paramétereinek folyamatos monitorozása és biztonsági intézkedések aktiválása, ha a beállított határértékek túllépése történik.
- **Kézi és időben korlátozott biztonsági funkciók felfüggesztése:** Engedélyező kapcsolóval vagy csökkentett sebességgel biztosított folyamatos felügyelet mellett néhány gépfunkció védőintézkedéseinek ideiglenes felfüggesztése.

- **Vész helyzetben történő leállítás:** Kiegészítő biztonsági funkció, amelyet csak vész helyzetben alkalmazunk.
- **Kijelzések:** Fontos gépfunkciók és fennmaradó kockázatok kijelzése vagy figyelmeztetése a biztonsági szempontok érdekében.

3.2.2.2. Biztonsági teljesítményszint (PL_r) meghatározása (4.3. szakasz)

Minden olyan biztonsági funkcióhoz, amelyet egy SRP/CS végrehajt, meg kell határozni és dokumentálni az előírt teljesítményszintet (PL_r). Az előírt teljesítményszint meghatározása a kockázatértékelés eredménye, és a vezérlőrendszer biztonsági kapcsolóelemeinek által végrehajtandó kockázatsökkentés mértékére utal. Minél nagyobb a kockázatsökkentés mértéke, amit az SRP/CS által kell biztosítani, annál magasabb lesz a PL_r .

Az 5 ábrán szereplő grafikon az intenzív biztonsági funkciók nyújtotta kockázatsökkentés előtti helyzeten alapul



5. Ábra Biztonsági teljesítményszint meghatározása MSZ EN ISO 13849-1 szerint [6]

A kockázatot osztályozni kell a sérülés súlyossága (S) a veszélynek való kitettség gyakorisága és ideje (F), valamint a veszély elkerülésének vagy a kár korlátozásának lehetősége (P) alapján. Tapasztalatok szerint ezeket a paramétereket kombinálni lehet, hogy kockázatot adhasson alacsonytól „a” magasig „e”. Hangsúlyozzák, hogy ez egy minőségi folyamat, amely csak egy becslést ad a kockázatról.

A PFH_d érték a funkcionális biztonsági rendszerek megbízhatóságának mérőszáma, és azt jelzi, hogy egy biztonsági funkció mennyire hajlamos a veszélyes hibákra vagy meghibásodásokra óránként átlagosan.

Az IEC 61508 szabványoknak megfelelően a biztonságilag releváns vezérlőrendszerek képessége a biztonsági funkciók végrehajtására a Biztonsági Integritási Szintek (SIL) által van meghatározva három osztályban (SIL 1-3). A PL „e”, amely egyenértékű a SIL 3-mal, a gépekkel kapcsolatos kockázatok csökkentésének legmagasabb szintjét jelenti.

3.2.2.3. Biztonsági szint (PL) meghatározása (4.5. szakasz)

Az ISO 13849-1 szabvány két módszert ír elő a teljesítményszint (PL) meghatározására: az egyszerűsített és a részletes eljárást. Az egyszerűsített módszerrel a teljesítményszintet táblázatosan határozzák meg az egyes részrendszerek PL értéke alapján. A részletes eljárás sokkal pontosabb eredményeket nyújthat, mivel a részrendszerek PFH_d értékét is figyelembe veszi. Az SRP/CS-kat általában alrendszerekre kell bontani, és azok PL értékeit kell meghatározni. Az egyszerűsített eljárás a PL értékek összesítését végzi, míg a részletes eljárás részletes számítást igényel. Ha nem ismert minden alrendszer PL értéke, akkor a biztonsági szintje más módszerek alapján határozható meg.

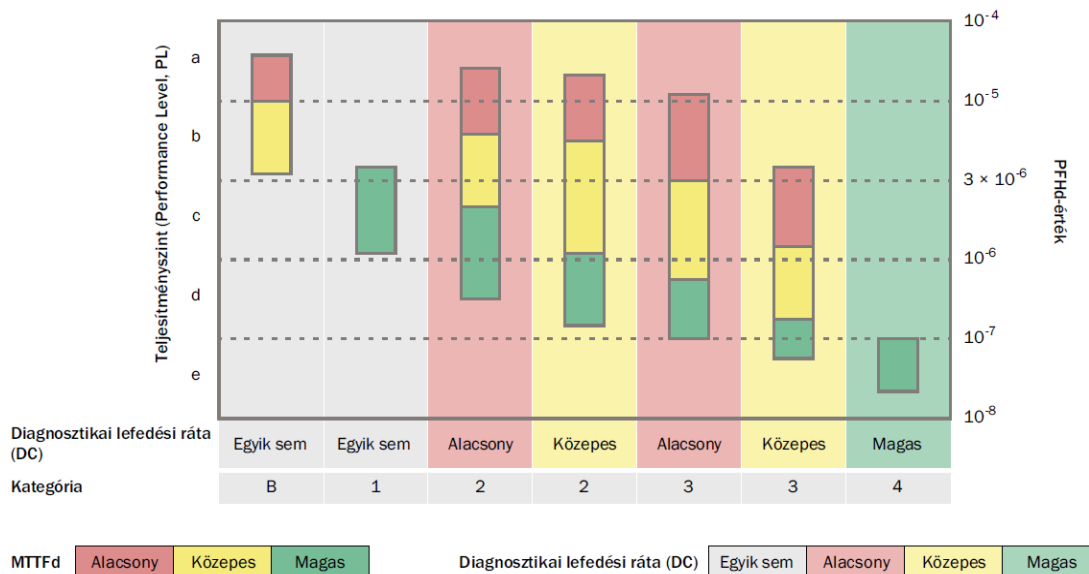
- **Biztonsági funkció struktúrája:** A vezérlőrendszerek alrendszerei általában egy- vagy kétcsatornás kialakításúak. Az egycsatornás rendszerek a veszélyes meghibásodásokra külön beavatkozás nélkül reagálnak, míg a többcsatornás rendszerek egymást ellenőrző csatornákat alkalmaznak. Az alrendszerek besorolása a kialakítástól függően az 1. táblázat kategóriái szerint történik.
- **MTTF_d (Mean Time To Dangerous Failure):** MTTF_d azt az időt jelöli, amely alatt egy alkatrésznek vagy rendszernek veszélyes hibája várható. A biztonsági részek tervezésének egyik fontos eleme, mely alapján becsülhető, hogy mennyi idő alatt várható a veszélyes hiba bekövetkezése.
- **DC (Diagnostic Coverage):** A DC azt mutatja, hogy a rendszer mennyire képes észlelni a hibákat vagy hibás működéseket. Fontos szerepet játszik a biztonsági funkciók megbízhatóságának növelésében, mivel segít a hibák időben történő észlelésében és a helyes működés helyreállításában. A DC értéke lehet None (0-60%), Low (60-90%), Medium (90-99%) és High (99%).

- **CCF (Common Cause Failures):** A CCF azok a hibák vagy hibás működések, amelyek több részt vagy rendszert érintenek és közös okokra vezethetőek vissza. Fontos figyelembe venni őket a biztonsági funkciók tervezésénél és értékelésénél, mivel ezek jelentősen befolyásolhatják a rendszer megbízhatóságát és biztonságát. A CCF-k különböző forrásokból eredhetnek, például közös tervezési hibákból, gyártási hibákból vagy környezeti hatásokból.

1. táblázat Vezérlések biztonsági elemeinek kategóriái MSZ EN ISO 13849-1 szerint [6]

Kategória	Követelmények	Rendszerviselkedés	A biztonság elérésének elve
B	A vezérlések biztonsági elemeit és/vagy védőberendezéseit, valamint azok alkatrészeit a vonatkozó szabványokkal összhangban úgy kell kialakítani, megépíteni, kiválasztani, összeállítani és kombinálni, hogy képesek legyenek ellenállni a várható hatásoknak.	Hiba bekövetkezése esetén megszűnhet a biztonsági funkció.	Túlnyomórészt alkatrészek kiválasztásával
1	Teljesülniük kell a B kategória követelményeinek. Jól bevált részegységeket és jól bevált biztonsági elveket kell alkalmazni.	• Hiba bekövetkezése esetén megszűnhet a biztonsági funkció, de a bekövetkezés valószínűsége alacsonyabb, mint a B kategória esetében.	
2	Teljesülniük kell a B kategória követelményeinek, és jól bevált biztonsági elveket kell alkalmazni. A biztonsági funkciókat megfelelő időközönként ellenőriztetni kell a gépvezérléssel (a tesztelési ráta 100-szor magasabb, mint a követelményráta).	• Két ellenőrzés közötti hiba bekövetkezése esetén megszűnhet a biztonsági funkció. • A biztonsági funkció megszűnése a vizsgálat révén ismerhető fel.	Túlnyomórészt a struktúrával
3	Teljesülniük kell a B kategória követelményeinek, és jól bevált biztonsági elveket kell alkalmazni. A biztonsági elemeket úgy kell kialakítani, hogy... • az ezen elemekben keletkező önálló hiba ne vezethessen a biztonsági funkció megszűnéséhez, és • amikor csak megfelelő módon lehetséges, az önálló hiba felismerésre kerüljön.	• Amikor az önálló hiba bekövetkezik, a biztonsági funkció mindig megmarad. • Számos, azonban nem minden hiba felismerése. • Ismeretlen hibák felhalmozódása esetén megszűnhet a biztonsági funkció.	
4	Teljesülniük kell a B kategória követelményeinek, és jól bevált biztonsági elveket kell alkalmazni. A biztonsági elemeket úgy kell kialakítani, hogy: • az ezen elemekben keletkező önálló hiba ne vezethessen a biztonsági funkció megszűnéséhez, és • az önálló hiba a biztonsági funkció következő kérésekor vagy már azt megelőzően felismerésre kerüljön, vagy • ha ez nem lehetséges, akkor a hibák halmozódása ne vezethessen a biztonsági funkció megszűnéséhez.	• Hiba következtében a biztonsági funkció mindig megmarad. • A hibák felismerése a biztonsági funkció megszűnésének megakadályozása érdekében idejében megtörténik.	

A 6.ábra az MSZ EN ISO 13849-1 szabvány szerinti teljesítményszint meghatározását segítő diagramot ábrázolja.



6. ábra PL teljesítményszint meghatározása MSZ EN ISO 13849-1 szerint [7]

A biztonsági rendszer megfelelőségét akkor mondhatjuk biztosítottnak, ha a meghatározott teljesítményszint (PL) érték egyenlő vagy nagyobb az elvárt teljesítményszintnél (PL_r).

A teljesítményszintek matematikai meghatározását, az elvárt teljesítményszinttel való összehasonlítását és dokumentálását hatékonyan támogatja az IFA által kiadott ingyenesen elérhető SISTEMA szoftver. Ez a Safety Integrity Software Tool for Evaluation of Machine Applications segíti a tervezést a biztonsági berendezések gyártóinak adatbázisaival.

3.2.2.4. Biztonsági funkciók validálása

A validálás során ellenőrzik a biztonsági funkciókban részt vevő gépkomponensek specifikációját és kialakítását, különös tekintettel az ISO 13849-2 szerinti követelmények teljesítésére. A folyamat során kiemelt figyelmet kell fordítani a hibákra és az esetleges specifikációs hiányosságokra. Ez magában foglalja a környezeti hatásokra, például hőmérsékletre, nedvességre, ütésekre, rezgésekre és elektromágneses zavarokra való megfelelő reakciót.

3.2.2.5. Teljes értékelés

A funkcionális biztonság csupán része a kockázatsökkentésnek, ezért az összes intézkedést - tervezési, műszaki és szervezési intézkedéseket - teljes értékelés keretében kell figyelembe venni. Lehet, hogy egyes műszaki intézkedésekkel nem lehet teljes kockázatsökkentést

elérni, de a teljes értékelés során mégis elégséges eredményt lehet elérni. Az elégséges kockázatsökkentés eléréséhez minden alábbi kérdésre igennel kell válaszolni [7]:

- Figyelembe vettek minden üzemi körülményt a gép minden életszakaszában?
- Alkalmazták a háromlépéses módszert?
- Elhárították a veszélyeket vagy lecsökkentették a veszélyek kockázatait annyira, ahogy az a gyakorlatban megvalósítható?
- Gondoskodtak arról, hogy a végrehajtott intézkedések ne teremtsenek újabb veszélyeket?
- Megfelelően tájékoztatták és figyelmeztették a felhasználókat a fennmaradó kockázatok vonatkozásában?
- Gondoskodtak arról, hogy a foganatosított óvintézkedések ne rontsák a kezelőszemélyzet munkakörülményeit?
- Összeegyeztethetők egymással az elvégzett óvintézkedések?
- Kellő mértékben figyelembe vették azokat a következményeket, amelyek a gép nem ipari területen történő használatából keletkezhetnek?
- Gondoskodtak arról, hogy a végrehajtott intézkedések ne rontsák túlságosan a gép rendeltetésszerű működését?
- Megfelelően csökkentették a veszélyt?

4. Anyag és módszer

4.1. Fejlesztés bemutatása

A fejlesztés célja egy olyan robotizált mérőcella létrehozása, amely az ipari méréstechnikai feladatokat magas hatékonysággal és precizitással képes végrehajtani. A mérőcella tervezése során kiemelt figyelmet fordítottunk a biztonságtechnikai követelményekre, melyek megfelelnek az ipari szabványoknak. A rendszer egyedülálló módon lehetővé teszi nagyobb méretű tárgyak, akár gépjárművek mérését, mivel a lineáris mozgatóegységre szerelt robot mozgástartománya ezt lehetővé teszi. Az operátor számára kialakított ergonomikus állomás biztosítja a könnyű hozzáférést a vezérléshez, miközben a cella teljesen kompatibilis az ipari környezet követelményeivel. A cél egy olyan munkaállomás megvalósítása, amely valós ipari környezetben is alkalmazható robotizált feladatok során.

4.2. Fejlesztéshez kapcsolódó kockázatértékelés

A kockázatértékelés az ISO 12100 szabvány előírásai szerint történik, mely teljeskörűen felméri és elemzi az összes lehetséges kockázati tényezőt. Az eljárás során minden lehetséges kockázatot részletesen dokumentálunk, és azokat a legnagyobb gondossággal vizsgáljuk, hogy megfelelő és hatékony intézkedéseket tudjunk hozni a kockázatok csökkentése érdekében.

4.2.1. A gép határainak rögzítése

4.2.1.1. Üzemmodok meghatározása

- **Automatikus:** Ez az üzemmód lehetővé teszi a gép teljesen önálló működését emberi beavatkozás nélkül. A gép saját programja alapján végzi el a feladatokat, például alkatrészek betöltését, méréseket vagy más gyártási folyamatokat, ami nagy mértékben növeli a termelékenységet és hatékonyságot.
- **Hand-Guided Jog:** Ebben a módban az operátor egy 3 állású kapcsoló segítségével kézi vezérlést biztosít a gépnek, lehetővé téve a precíz és biztonságos mozgatást. Ez a funkció különösen hasznos lehet például karbantartási munkálatok során, amikor szükség van a gép kézi irányítására a pontos beállítások elvégzéséhez.
- **Hand-Guided Automatic:** Ez a mód hasonló a Hand-Guided Jog-hoz, azonban itt a gép egy előre megadott program alapján mozog csökkentett sebességgel. Ez lehetővé

teszi az operátornak, hogy a gépet biztonságosan irányítsa a területen, miközben a gép automatikusan végrehajtja a programban meghatározott feladatokat.

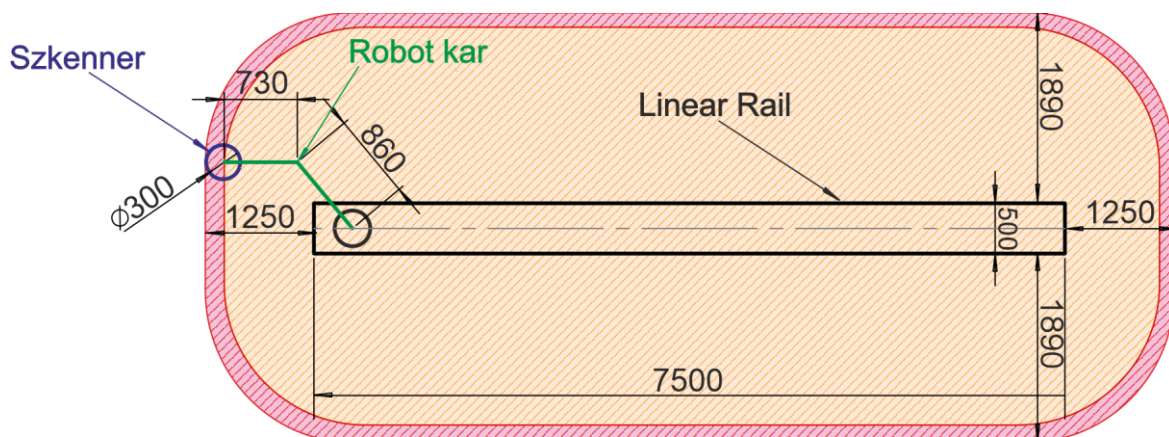
- Load-IN: Ebben az üzemmódban a gép az alkatrészek betöltését végzi, amely lehet kézi vagy gépi módon történő bevitel.
- Load-IN with PartID by Hand or Machine: Ebben a fázisban az alkatrészeket PartID segítségével helyezi el a gép, kézzel vagy gépi módon. A PartID azonosítás lehetővé teszi a gép számára, hogy pontosan meghatározza az alkatrészek helyét és pozícióját a gyártási folyamatban, ami növeli a termelési hatékonyságot és csökkenti a hibák lehetőségét.
- Load-OUT: Ez az üzemmód az alkatrészek eltávolítását végzi a gép, ami lehet kézi vagy gépi módon történő kivitel. Ez a folyamat biztosítja, hogy az elkészült termékek hatékonyan és biztonságosan kerüljenek ki a gyártási folyamatból, kész a további feldolgozásra vagy szállításra.
- Dual System Load-IN és Load-OUT: Ez a mód lehetővé teszi, hogy a gép egyszerre több alkatrészt dolgozzon fel, mivel a műveletek párhuzamosan zajlanak két oldalon. Ez növeli a termelés hatékonyságát és gyorsaságát, mivel egyszerre több feladatot lehet végrehajtani.
- Conveyor Load-IN/OUT: Ez folyamatosan működő futószalagot jelent, amit egy impulzus jel segítségével lehet a StreamLine rendszerrel szabályozni. Ez az üzemmód lehetővé teszi az alkatrészek folyamatos és egyenletes áramlását a gyártósoron, növelve ezzel a termelési hatékonyságot és csökkentve a mérési időt.
- Scanner and Tracker Calibration: Ez az üzemmód a 3D szkennerek beállítását és pontos működését szolgálja, biztosítva a precíz mérési és követési folyamatokat a gyártás során. A kalibráció egy a szkennerekhez mellékelt kalibrációs eszközzel történik

4.2.1.2. A gép környezetében tartózkodható személyek meghatározása

A robotcella termelési feladatokat fog ellátni egy üzemben. Az esetleges vevő minőségirányítási kézikönyve kitérhet a gépek kezelésére, karbantartására és takarítására jogosult személyek hozzáférésére, de azok betartását nem tudjuk ellenőrizni, így azzal számolunk, hogy a géppel bármilyen korú és beosztású munkavállaló kapcsolatba kerülhet.

4.2.1.3. Térbeli határok meghatározása

A cella térbeli határait, munkaterét teljesen kinyújtott robotkarral és a szkennert méreteivel kiegészítve a 7. ábra ábrázolja.



7. ábra Térbeli határok meghatározása

4.2.1.4. Emberi kölcsönhatás körülményeinek, eszközeinek meghatározása

A mérőcella vezérlése az operátori állomásról történik, ahol a robot irányítása is elérhető. A rendszer be- és kikapcsolása az elülső panelen található ON-OFF gombbal történik, ezen a felületen található egy vészleállító (E-STOP) és a RESET gomb is. A robot vezérlője a munkaasztal alatt található konzolon helyezkedik el, úgy kialakítva, hogy az operátor biztonságosan hozzáférhessen anélkül, hogy a veszélyzónába lépne. A robotot a hozzá tartozó érintőképernyős monitorral (Tech Pendant) irányíthatjuk, amely kábeles csatlakozással kapcsolódik a vezérlőhöz, és használaton kívül a vezérlő melletti konzolra akasztható.

Munkadarabcsere, karbantartás vagy programozás esetén szükség lehet arra, hogy az operátor belépjen a veszélyes zónába. A munkadarabcsere történhet szállítószalaggal is ezesetben a munkadarab elhelyezését a PartID szoftver végzi.

4.2.1.5. A gép energiaellátása

A gép elektromos energiaellátása 230V-os földelt tápkábellel történik, ami az operátori állomáson található Rack házas vezérlőbe csatlakozik.

4.2.1.6. Időbeli határok

A gép folyamatosan részt vesz a termelési folyamatokban, ezért az üzemeltetése állandó jellegű. Nagy részben Automatikus üzemmódban működik, ami azt jelenti, hogy a termelési feladatokat minimális emberi beavatkozással végzi el. Amikor azonban karbantartási vagy beállítási munkálatokra van szükség, a gép kézi vezérlésű, úgynevezett Hand-Guided Jog vagy Hand-Guided Automatic üzemmódokban használandó. Ebben az üzemmódban az operátor egy háromállású kapcsoló segítségével irányítja a gépet, ami lehetővé teszi a gép precíz és biztonságos mozgását kézi vezérléssel.

A gép rendszeres karbantartási igényekkel rendelkezik. A robotkar esetében ez a gyártó által előírt karbantartási feladatok elvégzését jelenti, továbbá a gép minden hónapban takarítást és kenést igényel. Emellett szükség van a gépen található szkennerek időszakos kalibrálására is a pontos működés érdekében.

4.2.2. Veszélyazonosítás, kockázatbecslés és kockázatértékelés

A veszélyek azonosítására és a kockázatok felmérésére több módszer is alkalmazható. Az ISO TR 14121 szabvány szerint a módszereknek legalább két paramétert figyelembe kell venniük: az egyik a sérülés súlyossága, a másik pedig a sérülés bekövetkezésének valószínűsége. Az általam használt numerikus módszer [8] az alábbi képletben alapul:

$$HRN = LO \cdot FE \cdot DPH \cdot NP$$

ahol a HRN a kockázat értékelését jelenti, az LO az előfordulás valószínűségét, a FE a veszély gyakoriságát, a DPH a lehetséges sérülés súlyosságát, míg az NP a veszélyeztetett személyek számát jelöli. A módszer lehetővé teszi, hogy a 2–5. táblázatban található pontszámok alapján osztályozzuk a veszélyes helyzeteket különböző szempontok szerint.

2. Táblázat Kockázatbecslési érték (LO) [8]

LO	Előfordulás valószínűsége
0,033	Majdnem lehetetlen
1	Nagyon valószínűtlen
1,5	Valószínűtlen
2	Lehetséges
5	Akár előfordulhat
8	Várható
10	Valószínű
15	Bizonyos

3. Táblázat Kockázatbecslési érték (FE) [8]

FE	A veszély gyakorisága
0,5	Évente
1	Havonta
1,5	Hetente
2,5	Naponta
4	Óránkénti
5	Folyamatos

4. Táblázat Kockázatbecslési érték (DPH) [8]

DPH	A lehetséges károsodás mértéke
0,1	Karcolás vagy zúzódás
0,5	Enyhe sebesülés
2	Kisebb csont törése vagy kisebb sérülés
4	Nagyobb csont törése vagy nagyobb sérülés
6	Egy végtag, látás vagy hallás elvesztése
10	Két végtag, látás elvesztése
15	Végzetes

5. Táblázat Kockázatbecslési érték (NP) [8]

NP	A veszélyeztetett személyek száma
1	1-2 ember
2	3-7 ember
4	8-15 ember
8	16-50 ember

A veszélyek számszerűsítése után a fenti összefüggéssel megkapott eredményt 4 osztályba soroljuk a 6. Táblázat szerint.

6. Táblázat Kockázatbecslési eredmény (HRN) [8]

HRN	A veszély értékelése
0-5	Elhanyagolható
5-50	Alacsony kockázat
50-500	Magas kockázat
500 <	Elfogadhatatlan kockázat

A 7. Táblázat a feltárt várható veszélyforrásokat, és azok értékelését ábrázolja.

7. Táblázat Veszélyazonosítás és kockázatbecslés [8]

UMA Smart Cell Linear Rail									
#	A veszély típusa MSZ EN ISO 12100:2010 szerint	Lehetséges sérülés MSZ EN ISO 12100:2010 szerint	A veszély leírása	LO x FE x DPH x NP = HRN					
1	1. Mechanikai veszélyek 1.13 Mozdó alkatrészek	1.1 Elütés 1.2 Dobás 1.3 Zúzódás 1.5 Horzsolás 1.6 Ütés	Automata üzemmódban a kocsin lévő robot az egész testen, a végtagokon vagy a fejen is sérülést okozhat	5	5	4	2	200	
				MAGAS kockázat					
2	1. Mechanikai veszélyek 1.13 Mozdó alkatrészek	1.4 Behúzás vagy befogás 1.7 Nyírás 1.8 Megcsúszás. megbotlás vagy leesés	Karbantartás közben a szíjhajtás behúzhatja a karbantartó személy testrészét vagy ruháját	2	5	4	1	40	
				ALACSONY kockázat					
3	1. Mechanikai veszélyek 1.3 Mozdó alkatrészek közelítése fix alkatrészekhez	1.3 Zúzódás 1.4 Ütés	Automata üzemmódban a kocsin lévő robot a rögzítőelemekhez vagy a munkadarabhoz közeledhet	2	2,5	2	1	10	
				ALACSONY kockázat					
4	1. Mechanikai veszélyek 1.14 Forgó alkatrészek	1.4 Behúzás vagy befogás 1.7 Nyírás 1.9 Összeakadás	Karbantartás közben a forgó tengely behúzhatja vagy elnyírhatja a karbantartó személy ruháját vagy végtagjait	2	1	4	1	8	
				ALACSONY kockázat					
5	8. Ergonómiai veszélyek 8.1 Indikátorok és vizuális kijelzőegységek elhelyezése	8.1 Zúzódás 8.2 Vágás	A kezelőállomás elhelyezkedése kényelmetlenséget és fáradtságot okozhat	5	5	0,5	1	12,5	
				ALACSONY kockázat					
6	8. Ergonómiai veszélyek 8.2 Vezérlőberendezések elhelyezése vagy azonosítása	8.1 Zúzódás 8.2 Vágás	A kezelőállomás elhelyezkedése kényelmetlenséget és fáradtságot okozhat	5	5	0,5	1	12,5	
				ALACSONY kockázat					

A legnagyobb kockázatot az jelenti, ha a kezelőszemélyzet és a veszélyes területek találkoznak. Ezt területszkennerek segítségével oldjuk meg. Ezek a szkennerek automata üzemmódban is csökkentik a veszélyt, mivel a kezelő közeledtével lassítják a gép veszélyes folyamatait, így segítenek megelőzni vagy kezelni a kritikus helyzeteket. A munkadarab biztonságos és zavartalan áthaladását egy fényfüggöny biztosítja, amely megakadályozza, hogy a kezelő a gép működése közben kapcsolatba kerüljön az aktív részekkel. A fennmaradó kockázatok minimalizálásához a tervezés során megfelelő műszaki megoldásokat kell alkalmazni.

4.2.3. Kockázatcsökkentő intézkedések

4.2.3.1. Eredendően biztonságos kialakítás

A kockázatok csökkentésének első és legfontosabb lépése a biztonságos tervezés. Mivel a választott kollaboratív robot egy részben kész gép, amelyre a gyártó a forgalomba hozatal során vállalja, hogy megfelel a vonatkozó előírásoknak és kollaborativitásnak, feltételezhetjük, hogy a kobot és annak kiegészítő elemei alapvetően biztonságos kialakításúak. Így kobot szíjhajtásos kocsin való mozgatása és integrálása során felmerülő veszélyhelyzetekre kell összpontosítanunk a továbbiakban.

Az elektromos tápellátás tervezését az IEC60204-1 szabvány szerint kell elvégezni, és a gép vázát a védővezető rendszerhez kell csatlakoztatni a védő potenciálkiegyenlítés biztosítása érdekében. Mivel a gép maximális teljesítménnyelfvétele 230 V-os tápfeszültség mellett nem haladja meg a 4 kW-ot, a dugasz-aljzat kombináció megfelel a hálózatról való leválasztás követelményeinek. A tápfeszültségre való csatlakozás után a gép nem indulhat el magától, ezért a be- és kikapcsolást öntartó kapcsolókkal kell megoldani. A BE és KI gombok mellett egy kulcsos kapcsolót is ki kell alakítani, hogy megakadályozzuk a jogosulatlan személyek beavatkozását.

4.2.3.2. Műszaki védőintézkedések meghatározása

A kockázatbecslés alapján megállapítható, hogy a legnagyobb veszélyt a kezelőszemélyzet és a veszélyes területek közötti kapcsolat jelenti, ezért a kockázatok csökkentésére a leghatékonyabb megoldás a személyek és a veszélyes területek elválasztása. Mivel a veszélyes terület nagy részéhez automatikus működés során nincs szükség hozzáférésre, a véletlen esetek elkerülése érdekében indokolt a területet területszkennerekkel védeni. A gép vezérlő állomásának elérhetőségének biztosítására azonban olyan hozzáférési pontokat kell kialakítani, amelyeken keresztül a kezelő beavatkozhat a szükséges feladatok során. A zavartalan üzemelés érdekében a munkadarabok munkatérbe való bejuttatása is megköveteli a megfelelő nyílások kialakítását. A területszkennerek gondoskodnak arról, hogy a kezelőszemélyzet ne juthasson a veszélyes területre a gép működése közben. A védelmi intézkedések megtervezésénél az MSZ EN ISO 13857 szabvány előírásait figyelembe kell venni, amely meghatározza a biztonságos távolságokat veszélyes zónától.

4.2.3.3. Biztonsági funkciók meghatározása

A védett területen túl biztonsági funkciókat kell meghatározni, ahhoz, hogy gép megfeleljen a biztonsági előírásoknak és tervezett üzemmódok alatt is biztonságosan használható legyen. Az ISO 10218-2 „C” típusú szabvány előírja, hogy minden robotrendszerben szereplő biztonsági elemnek legalább PL_r=d teljesítményszinttel és 3-as kategóriájú struktúrával kell rendelkeznie.

- **SF1 Veszélyes terület védelme:** A veszélyes területek védelmét az automata üzemmódban működő gép alatt kell biztosítani, különösen ott, ahol a veszélyes területtel találkozhat a személyzet. Az alkatrészek betöltését úgy kell kialakítani, hogy a veszélyes gépi funkciók működése közben az operátor semmilyen módon ne léphessen be a veszélyes zónába.
- **SF2 Leállítás kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására:** Automata üzemmódban a területskenner érzékeli, ha valaki belép a veszélyes térbe, és azonnal leállítja a gép működését. Az újraindítás csak manuálisan történhet, amint a kezelő vagy egy idegen tárgy elhagyta a veszélyes zónát
- **SF3 Csökkentett sebesség kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására:** Automata üzemmódban a területskenner érzékeli, ha valaki belép a figyelmeztető zónába, és azonnal csökkenti a gép működésének sebességét. Az a sebesség növelése automatikusan megtörténik, amint a kezelő vagy egy idegen tárgy elhagyta a figyelmeztető zónát
- **SF4 Indítás megakadályozása veszélyes térben való tartózkodás hatására:** Automata üzemmódban a területskenner érzékeli, ha valaki vagy valami a veszélyes térben tartózkodik, és azonnal megtiltja a gép elindítását.
- **SF5 Anyagáthaladás lehetővé tétele:** Az SF1 funkcióval ellátott nyíláson keresztül a veszélyes gépi folyamatok közben az anyagnak úgy kell áthaladnia, hogy a rendszer felismerje, és megkülönböztesse azt az emberi jelenléttől. Az SF1 biztonsági funkciót csak az anyag áthaladásának idejére és mértékében szabad felfüggeszteni, előre meghatározott időtartamra. Ezen időszak alatt nem tartózkodhat senki a veszélyes zónában. A funkciónak Automatikus, Hand-Guided Jog, Hand-Guided Automatic, Load-IN, Load-IN with PartID, Load-OUT, Dual System Load-IN és Load-OUT és Conveyor Load-IN/OUT üzemmódokban egyaránt működni kell.

- **SF6 Manuális újraindítás:** A biztonsági leállást vagy SF2 aktiválódása után a gép csak akkor indítható újra, ha azt tudatosan és fizikálisan nyugtázzák szoftverben vagy a vezérlőállomáson található RESET gombbal. A nyugtázó berendezést a cella egy olyan részére kell elhelyezni, ahol a kezelős teljes rálátással rendelkezik a veszélyes területre. Maga a nyugtázás nem indíthat el semmilyen veszélyes gépi folyamatot, viszont feltételének kell lennie a gép újraindításának.
- **SF7 Hand-Guided mód választás:** A cella programozása vagy karbantartása során előfordulhat, hogy a kezelőnek a veszélyes térben kell tartózkodnia a veszélyes gépi funkciók működése közben is. A Hand-Guided módot a cella vezérlő állomásán vagy a kézi vezérlő eszközön lehet aktiválni, Egy háromállású kapcsoló használatával ideiglenesen áthidalható a védelmi rendszer, lehetővé téve a kezelő számára, hogy bizonyos műveletek során a veszélyes területen belül tartózkodhasson. Ez a kapcsoló biztonsági funkciókat függeszthet fel, például a területszkennerek és a fényfüggönyök érzékelését, de csak a szükséges műveletek idejére és megfelelő felügyelet mellett alkalmazható. A mérőcella csak csökkentett sebességgel működhet, ami nem lehet több 250mm/s-nél.
- **Fényjelzések:** Biztonsági szempontból kiemelten fontos, hogy az automatikus üzemmód, a kézi üzemmódok, a hibaállapot és a nyugtázás igénye jól elkülöníthető legyen. Ezek egyértelmű megkülönböztetése érdekében minden állapotot fényjelzéssel kell kijelezni, hogy a kezelő könnyen azonosíthassa az aktuális működési helyzetet és a szükséges teendőket.
- **SF8 Vészleállító rendszer (E-Stop) – kiegészítő védőintézkedés:** A funkció feladata, hogy a rendszerben szereplő bármely E-STOP gomb megnyomására a veszélyes gépi mozgások a lehető leghamarabb megszűnjenek, és a gép biztonságos állapotba kerüljön. Ez nem elsődleges kockázatcsökkentő eszköz, hanem azok kiegészítésére szolgáló óvintézkedés [7]. Az Universal Robots (UR) robotok esetében az E-Stop bemenetek és kimenetek kétszternás kialakítással rendelkeznek, ami a biztonság növelése érdekében redundanciát biztosít. Ez azt jelenti, hogy a vészleállító jelet két független csatornán keresztül figyelik és kezelik. A funkciónak az összes üzemmódban aktívnak kell lennie.

4.2.4. SF1 Veszélyes terület védelme

A funkció célja, hogy a veszélyes területet egy láthatatlan védőkerítésként őrizze, így megakadályozva, hogy bárki hozzáférjen. A területet változatos méretű és formájú munkadarabok kezelésére tervezték, ezért nem kerül fizikailag elválasztó kerítés beépítésre – ezáltal a munkaterület rugalmasabb marad, és a cella különböző munkadarabok átszerelés nélkül is használható. A biztonságot elektromos érzékeny védőfelszereléssel (ESPE), jelen esetben egy területszkennerral (AOPD) oldjuk meg, amely folyamatosan figyeli a veszélyes zónát. A szükséges biztonsági teljesítményszintet (PLr) az előírások szerint határozzuk meg, így a rendszer megfelel a legfontosabb biztonsági követelményeknek.

A területszkennerek működése Time of Flight (ToF) elven alapul. olyan távolságmérési módszer, amely a kibocsátott jel (általában fény- vagy hangimpulzus) oda-vissza utazási idejéből számítja ki az adott tárgy távolságát. Ennek során a ToF szenzor fény- vagy hangimpulzust küld ki a célpont felé, amely visszaverődik az adott tárgyról, és visszatér a szenzorhoz. A szenzor méri az oda-vissza utazás idejét, és az utazási idő, valamint a fény vagy hang terjedési sebessége alapján kiszámítható a tárgy távolsága.

A területszkennerek telepítésekor külön figyelmet kell fordítani arra, hogy a veszélyes terület csak a szkennerek védelmi zónáján keresztül legyen megközelíthető. Nem lehet megkerülhetőnek lennie, és további védelmi eszközöket kell beépíteni, ha a szkennerek mögötti hozzáférés lehetősége fennáll. Az elhelyezési távolság a szkennerek felbontásának, a mozgás sebességének és a gép leállási idejének függvénye, a távolságot az MSZ EN ISO 13855 [9] szabvány alapján számíthatjuk ki.

Az elhatárolási távolság számítása:

$$S = (K \times \sum T) + C + A$$

ahol S a szkennerek és a veszélyes tér távolsága [mm], K az emberi test közelítési sebessége [mm/s], $\sum T$ a rendszer teljes leállási ideje [s], és C az a távolság, amennyit a testrészek elmozdulhatnak a veszélyes tér felé a biztonsági rendszer aktiválásáig [mm].

K értéke lehet $1600 \frac{mm}{s}$ sétálás és $2000 \frac{mm}{s}$ a végtagok mozgása esetén. Ha a végső S távolság kisebb, mint 500mm akkor az $1600 \frac{mm}{s}$ -es sebességgel, ha nagyobb, mint 500mm akkor pedig a $2000 \frac{mm}{s}$ -es szabványban meghatározott sebességgel számolunk.

ΣT a védelmi rendszer reakcióidejétől és a gép leállási idejétől függ, míg C a területskenner által érzékelt átnyúlás távolsága, amely a rendszer érzékenységétől függ.

ΣT értéke három paraméterből adódik össze. Az egyik összetevő az T_{ESPE} , azaz az elektromosan érzékeny védőfelszerelés érzékelési ideje, amelyet a környezeti tényezők (például por és fény) figyelembevételével programozhatunk; a Keyence SZ-V sorozat esetén ez 0,08 másodperctől 1,408 másodpercig állítható. Emellett számolni kell az elektromos biztonsági rendszer válaszidejével, ami a T_{RESP} . A teljes leállási idő része továbbá a mozgó alkatrészek leállási ideje a T_{STOP} is, ami a maximális sebességtől függ.

A C távolság azt a kiegészítő távolságot jelenti, amit valaki még megtehet a veszélyes zónába, mielőtt a védőeszköz működésbe lépne (az ISO 13855 szabvány szerint).

A képlet $C > 850\text{mm}$ esetén:

$$C = 1200 - (0,4 \times H)$$

ahol H az érzékelési sík magasságát adja meg milliméterben.

Területskennekerek esetében a gyártó javasolja, hogy további 100 mm-es biztonsági távolságot (A) adjunk hozzá, hogy a teljes védelem biztosítva legyen.

A robotcella relatív nagy méretű munkatere miatt, a területskenner felbontását 50mm-es állítjuk. A munkatér fizikailag nyitott, így a biztonságos területet a lehető legnagyobbra kell méretezni, hogy az átnyúlás lehetősége kizárt legyen. Ezek alapján 4 darab Keyence SZ-V32N területskennerrel választottam, aminek az adatait a 8. táblázat szemléltetem.

8. táblázat Keyence SZ-V32N területskenner adattáblázata [10]

Keyence SZ-V32N 2 Head Scanner	
Felbontás	70mm
Biztonsági mező rádiusza	8,4m
PL Biztonsági teljesítményszint MSZ EN ISO 13849-1 szerint	d
PFH _D veszélyes meghibásodás óránkénti valószínűsége	$8,5 \times 10^{-9}/h$
Kategória MSZ EN ISO 13849-1 szerint	3
Válaszidő	34ms

A területszkennert kijelző egysége egyszerre három szkennert képes kezelni, ezért javaslom két darab kijelző egységes és 2 darab kijelző egység nélküli berendezés felszerelését az UMA Smart Rail oszlopaira. A területszkennert vezérléséhez a Keyence által ajánlott GC-1000 (9. táblázat) biztonsági vezérlőt választom.

9. táblázat Keyence GC-1000 Biztonsági vezérlő adattáblázat [11]

Keyence GC-1000	
PL Biztonsági teljesítményszint MSZ EN ISO 13849-1 szerint	e
PFH _D veszélyes meghibásodás óránkénti valószínűsége	$4 \times 10^{-9} / h$
Kategória MSZ EN ISO 13849-1 szerint	4

A mozgó alkatrészek biztonságos vezérlését a 3D Infotech által fejlesztett Astaire Safety System Controller fogja ellátni, aminek paraméterei a 10. táblázatban találhatóak.

10. táblázat Astaire Safety System Controller adattáblázat

Astaire Safety System Controller	
PL Biztonsági teljesítményszint MSZ EN ISO 13849-1 szerint	d
PFH _D veszélyes meghibásodás óránkénti valószínűsége	$3,2 \times 10^{-7} / h$
Kategória MSZ EN ISO 13849-1 szerint	3

A rendszer teljes leállási ideje a fejlesztés alatt készített mérések alapján 500ms.

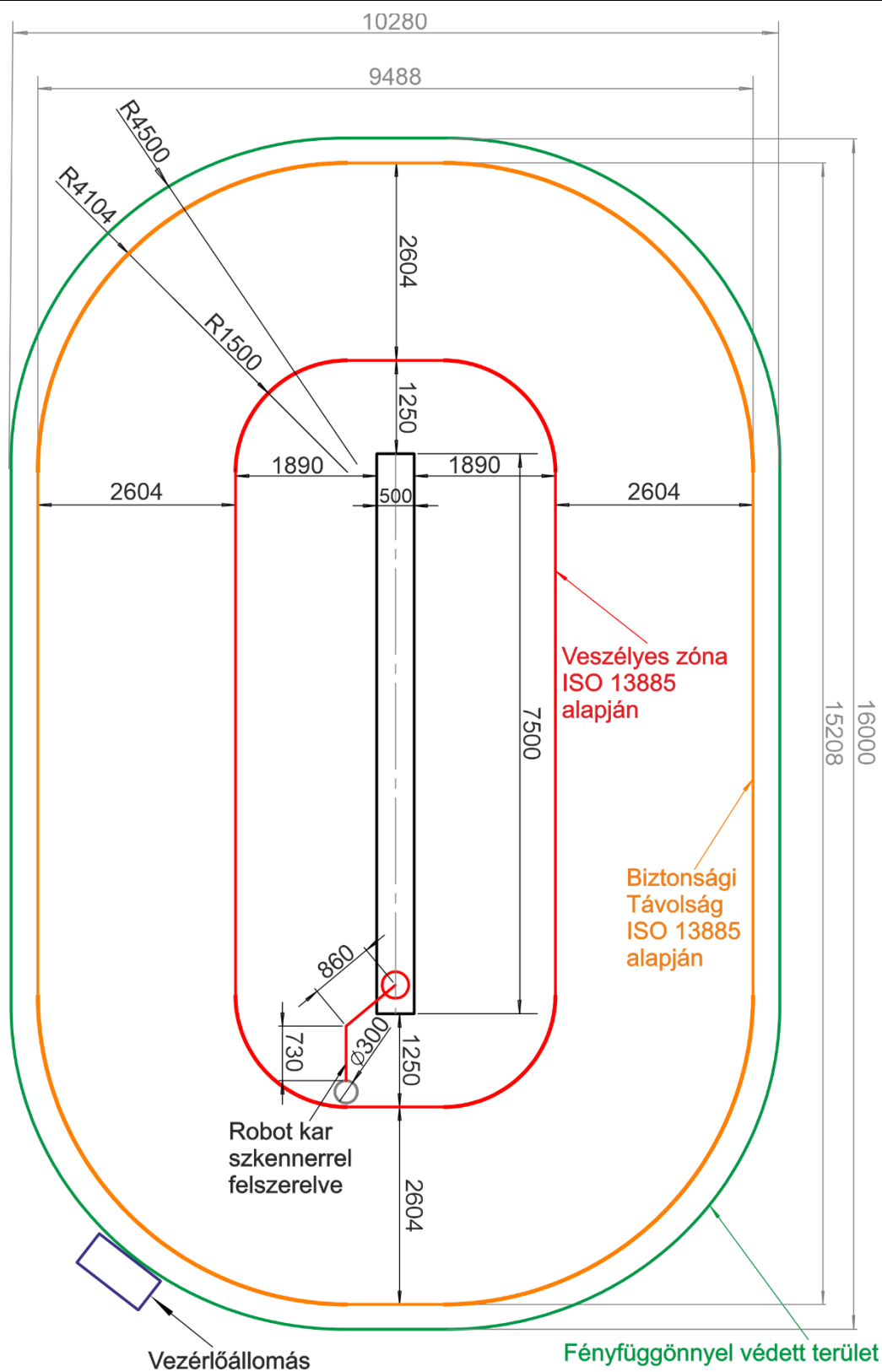
A fenti adatok alapján a védőberendezés minimális távolsága a veszélyes az alábbi paraméterekből számítható:

- $K = 1600 \frac{mm}{s}$
- $\sum T = T_{ESPE} + T_{RESP} + T_{STOP} = 0,3 + 0,04 + 0,5 = 840ms = 0,84s$
- $C = 1200 - (0,4 \times H) = 1200 - (0,4 \times 100) = 1160mm$

ezek alapján

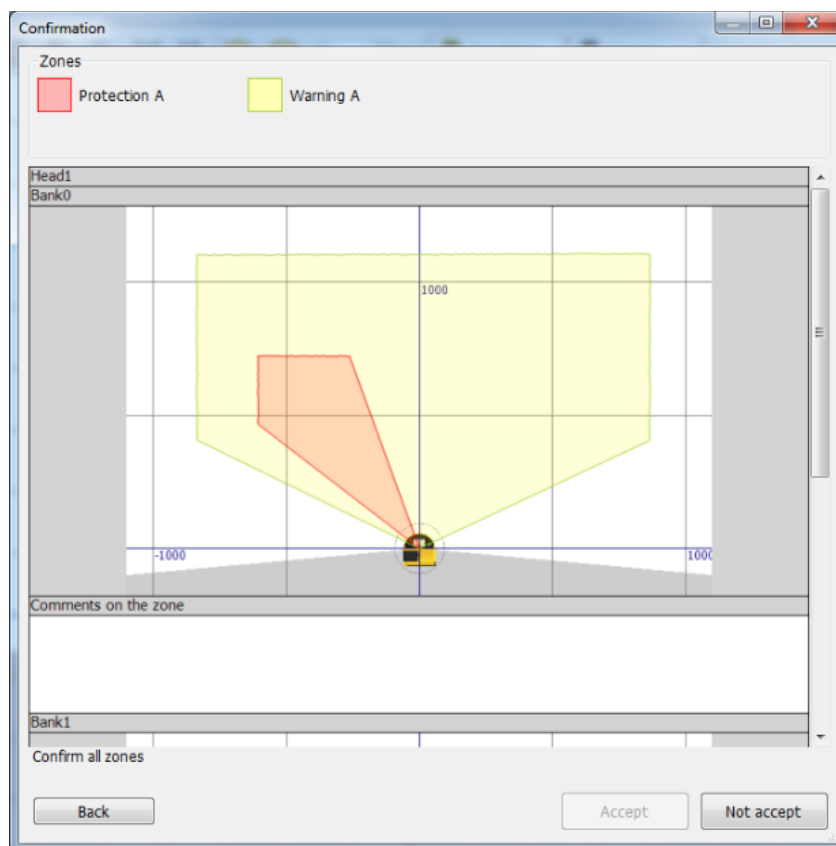
$$S = (K \times \sum T) + C + A = (1600 \times 0,84) + 1160 + 100 = \mathbf{2604mm}$$

vagyis a területszkennert úgy kell konfigurálni, hogy a veszélyes tértől 2604mm-re már észlelnie kell a behatolást. Elkerülve a véletlenből eredő gépleállásokat egy úgynevezett figyelmeztető zónával kiegészítem a veszélyes területet, ahol az SF3 biztonsági funkcióban kifejtett csökkentett sebességgel üzemel a gép. A veszélyes terület így kerek 3000mm-re nő. Az elrendezést és a konfigurációt a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra UMA Smart Rail távolságainak meghatározása

A Keyence SZ-V32N területszkennel konfigurációs felületét a 9. ábra mutatja be.



9. ábra Keyence konfigurációs felület [12]

A rendelkezésre álló adatok alapján a funkció teljesítményszintjét a SISTEMA szoftverrel ellenőrizzük, ennek eredményét a 11. táblázat. A teljes rendszer SISTEMA jegyzőkönyvét az 1. Melléklet tartalmazza.

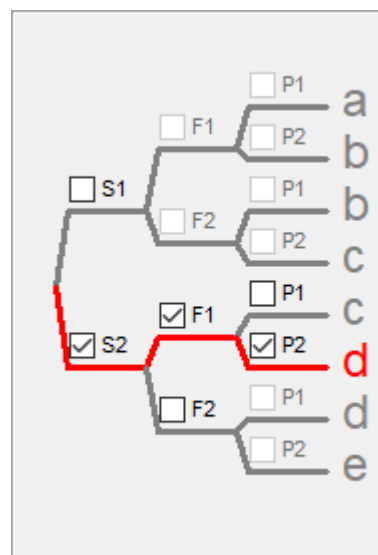
11. táblázat SF1 funkció teljesítményszintje

SF1	Veszélyes terület védelme						
Megnevezés	B10d	PFH _D	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	$1,8 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	$8,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	$8,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	3	d
GC-1000R	-	$4 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	4	e
Astaire Safety System Controller	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		$5,2 \cdot 10^{-7}$					d

Az SF1 biztonsági funkció elvárt teljesítményszintje $PL_r: d$, a végleges teljesítményszintje $PL: d$, vagyis a rendszer megfelel a biztonsági elvárásoknak.

4.2.5. SF2 Leállítás kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására

A funkció feladata, hogy a veszélyes mozgást azonnal megállítsa, és a gépet biztonságos állapotba hozza, ha a veszélyes zónában emberi vagy oda nem illő tárgyi jelenlétet érzékel. A gép vészleállítás (E-Stop) üzemmódba kerül és csak nyugtázás után lehet manuálisan újraindítani. A funkció elvárt biztonsági teljesítményszintje $PL_r: d$, a 10. Ábra a meghatározás gráfját ábrázolja. A funkció csak Automata üzemmódban aktív. Egyéb kézi üzemmódokban szükség lehet a veszélyes térben tartózkodni.



10. Ábra SF2 funkció PL_r értéke SISTEMA szoftverben meghatározva

A funkcióhoz tartozó teljesítményszint elemzését a SISTEMA szoftverrel végeztem el, ennek eredményét a 12. Táblázat, a teljes rendszer SISTEMA jegyzőkönyvét az 1. Melléklet tartalmazza.

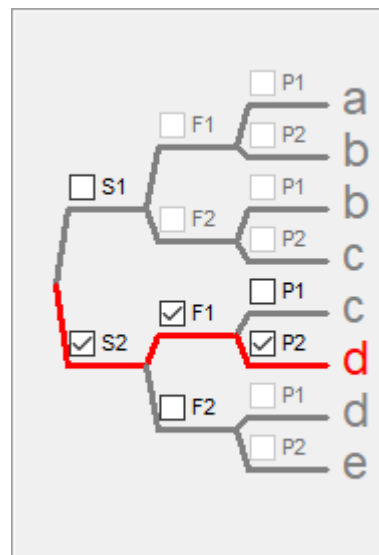
12. Táblázat SF2 funkció teljesítményszintje

SF2	Leállítás kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására						
Megnevezés	B10d	PFH _D	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	1,8·10 ⁻⁷	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	8,5·10 ⁻⁹	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	8,5·10 ⁻⁹	-	-	-	3	d
GC-1000R	-	4·10 ⁻⁹	-	-	-	4	e
Astaire Safety System Controller	-	3,2·10 ⁻⁷	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		5,2·10⁻⁷					d

Az elvárt $PL_r: d$ teljesítményszintet a tényleges $PL: d$ teljesítményszint eléri, így a funkció megfelel a követelményeknek.

4.2.6. SF3 Csökkentett sebesség kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására

A funkció célja, hogy azonnal lassítsa a veszélyes mozgás sebességét, és biztonságos állapotba hozza a gépet, ha a figyelmeztető zónában ember vagy oda nem illő tárgy jelenik meg. Ilyenkor a gép Automatikus üzemmódban marad, és amint a behatolás megszűnik, automatikusan maximális sebességgel folytatja a működést. A gép a behatolásra fény- és hangjelzéssel figyelmezteti a felhasználót. A funkció elvárt biztonsági teljesítményszintje PL_r : d, a 11. Ábra meghatározás gráfját ábrázolja. A funkció minden üzemmódban aktív mivel a gépet beállításkor, karbantartáskor vagy tanításkor csak csökkentett sebességgel lehet mozgatni.



11. Ábra SF3 funkció PL_r értéke SISTEMA szoftverben

A funkcióhoz tartozó teljesítményszint elemzését a SISTEMA szoftverrel végeztem el, ennek eredményét a 13. Táblázat a teljes rendszer SISTEMA jegyzőkönyvét az 1. Melléklet tartalmazza.

13. Táblázat SF3 funkció teljesítményszintje

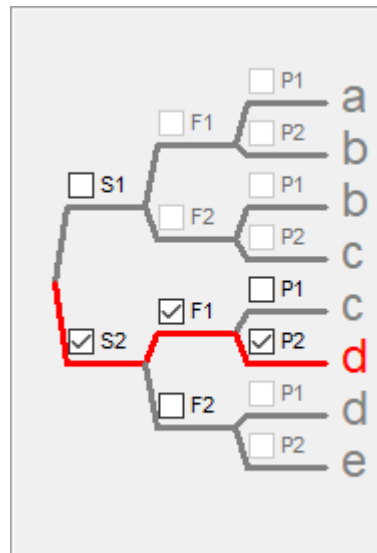
SF3	Csökkentett sebesség kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására						
Megnevezés	B10d	PFH _d	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	$1,8 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	$8,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	$8,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	3	d
GC-1000R	-	$4 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	4	e
Astaire Safety System Controller	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		$5,2 \cdot 10^{-7}$					d

Az elvárt PL_r : d teljesítményszintet a tényleges PL : d teljesítményszint eléri, így a funkció megfelel a követelményeknek.

4.2.7. SF4 Indítás megakadályozása veszélyes térben való tartózkodás hatására

A funkció célja, hogy megakadályozza a gép indítását, a következő szempontok figyelembevételével.

- a veszélyes gépi funkciók nem működtethetők mindaddig, míg a veszélyes térben ember vagy oda nem illő tárgy van jelen
- a veszélyes tér elhagyása önmagában nem eredményezheti a veszélyes gépi mozgások újraindítását
- hiányosság vagy hiba esetén a veszélyes gépi funkcióknak le kell állniuk, vagy nem indulhatnak el



12. Ábra SF4 funkció PL_r értéke SISTEMA szoftverben

A funkció vészleállás (E-Stop) üzemmódba aktív és csak nyugtázással a RESET gomb megnyomása után inaktíválódik. A funkció PL_r értékét meghatározó gráfot a 12. Ábra szemlélteti.

A funkcióhoz tartozó teljesítményszint elemzését a SISTEMA szoftverrel végeztem el, ennek eredményét a 13. Táblázat a teljes rendszer SISTEMA jegyzőkönyvét az 1. Melléklet tartalmazza.

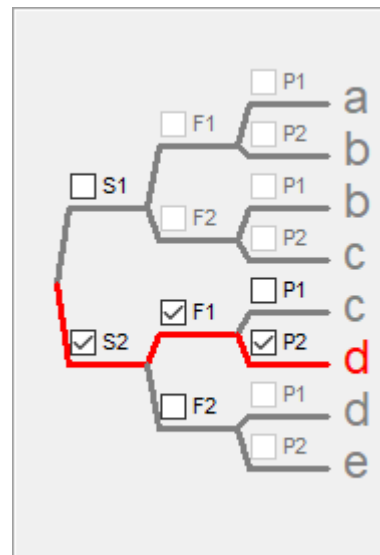
14. Táblázat SF4 funkció teljesítményszintje

SF4	Indítás megakadályozása veszélyes térben való tartózkodás hatására						
Megnevezés	B10d	PFH _D	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	$1,8 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	$8,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	$8,5 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	3	d
GC-1000R	-	$4 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	4	e
Astaire Safety System Controller	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		$5,2 \cdot 10^{-7}$					d

A funkció elvárt PL_r : d teljesítményszintjét a PL: d teljesítményszint eléri, vagyis a funkció eléri a megfogalmazott biztonsági célt.

4.2.8. SF5 Anyagáthaladás engedélyezése

A biztonsági funkció célja, hogy a veszélyes térbe lehetővé tegye a munkadarab be- vagy kijutását anélkül, hogy a veszélyes munkafolyamatot le kellene állítani. Az anyag áthaladását úgy tesszük lehetővé, hogy ideiglenesen felfüggesztjük (némítjuk) a fényfüggöny aktív biztonsági funkcióját, de közben felismerjük a különbséget anyag és ember között. Így biztosítjuk, hogy csak a munkadarab juthasson be, miközben megakadályozzuk, hogy ember lépjen be a veszélyes térbe. Az ütközések elkerülési végett, a robot munkadarabcsere közben a programozás során megadott biztonsági pozíciójában tartózkodik. A funkció elvárt PL_r értékét meghatározó gráfot a 13. Ábra szemlélteti.



13. Ábra SF5 funkció elvárt PL_r értéke SISTEMA szoftverben

Az anyag biztonságos területen történő mozgatásának módja az ember és az anyag külön felismerésén alapuló "entry-exit" funkció. Ebben az alkalmazásban vízszintesen elhelyezett biztonsági fényfüggönyöket (AOPD) használunk. Az anyag vagy anyaghordozó (például raklap) érzékelését az egyes fénysugarak egyenkénti kiértékelésével végzik, így különbséget tudnak tenni anyag és ember között. A megbízható megkülönböztetés öntanuló, dinamikus takarással, illetve további kritériumok - például mozgásirány, sebesség, illetve a védelmi mezőbe való belépés és kilépés - figyelembevételével biztosítható. Ezáltal megbízhatóan elkerülhető, hogy emberek észrevétlenül lépjenek a veszélyes zónába. [7]

Az alkalmazás módját a 14. ábra szemléltetem, amire a Keyence GL-R60H fényfüggönyét választottam, aminek az adatait a 17. Táblázatban szemléltetem.



14. ábra „Entry-exit” funkció vízszintesen elhelyezett biztonsági fényfüggőnnyel egy autógyártási gyártósor megmunkáló állomásában [7]

15. Táblázat Keyence GL-R60H fényfüggöny adattáblázata [13]

Keyence GL-R60H	
Érzékelési képesség	Ø25mm
Biztonsági mező magassága	1180mm
PL Biztonsági teljesítményszint MSZ EN ISO 13849-1 szerint	e
PFH _D veszélyes meghibásodás óránkénti valószínűsége	$3,4 \times 10^{-9}/h$
Kategória MSZ EN ISO 13849-1 szerint	4

A számított PL értéket a 16. Táblázat, a teljes SISTEMA jegyzőkönyvet az 1. Melléklet tartalmazza.

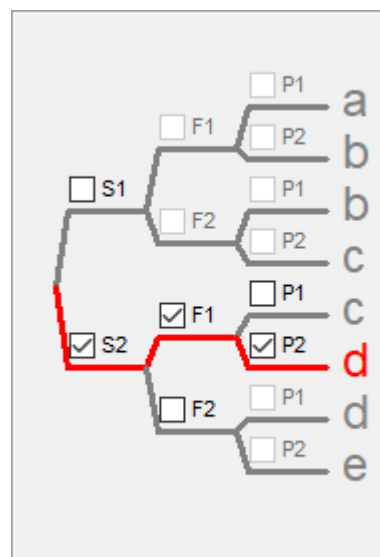
16. Táblázat SF5 funkció PL értéke SISTEMA szoftver alapján

SF5	Anyagáthaladás engedélyezése						
Megnevezés	B10d	PFH _D	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
Keyence GL-R60H		$3,4 \cdot 10^{-9}$				4	e
GC-1000R	-	$4 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	4	e
Astaire Safety System Controller	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		$3,3 \cdot 10^{-7}$					d

A funkció $PL = d$ teljesítményszintjét összevetve a $PL_r = d$ elvárt teljesítményszinttel láthatjuk, hogy a funkció eléri a kitűzött biztonsági célt.

4.2.9. SF6 Manuális újraindítás

A biztonsági funkciót feladata, hogy vészleállás után a véletlen újraindítást elkerülve, csak egy szándékos cselekménnyel lehessen a veszélyes gépi funkciókat újraindítani. A nyugtázás (RESET) gomb a kezelőfelületen, a vészleállító nyomógommbal (E-Stop) közös tokozásban kapott helyet, és gyári kialakítása lehetővé teszi a véletlenszerű megnyomás elkerülését. A RESET gomb megnyomása önmagában nem tudja kiváltani a gép elindítását, de előfeltétele az indításnak. A funkció elvárt PL_r értékét meghatározó gráfot a 15. Ábra szemlélteti.



15. Ábra SF6 funkció PL_r értéke SISTEMA szoftverben

Nyugtázó gombnak a Schneider Electric XB5AW35B5 típusú gombját választottam. A gomb közvetlenül csatlakozik az Astaire Safety System Controller-be, aminek a vészleállító köre kétcsatornás. A SISTEMA szoftver által kalkulált PL teljesítményszintet a 17. Táblázat mutatja.

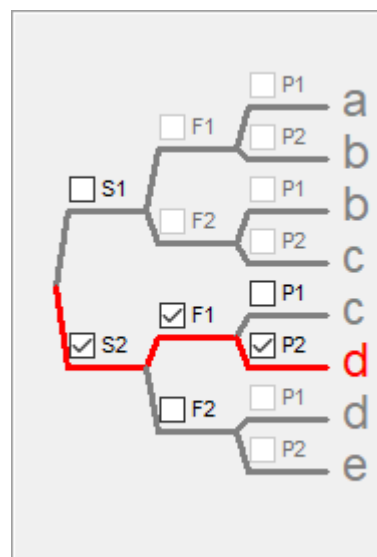
17. Táblázat SF6 funkció PL értéke SISTEMA szoftverben

SF6	Manuális újraindítás						
Megnevezés	B10d	PFH _D	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	1,8·10 ⁻⁷	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	8,5·10 ⁻⁹	-	-	-	3	d
SZ-V32N 2 Scanner Heads	-	8,5·10 ⁻⁹	-	-	-	3	d
GC-1000R	-	4·10 ⁻⁹	-	-	-	4	e
Astaire Safety System Controller	-	3,2·10 ⁻⁷	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		5,2·10⁻⁷					d

Mivel az eredményül kapott $PL: d$ teljesítményszint eléri az elvárt $PL_r: d$ teljesítményszintet, így a funkció megfelel az elvárásoknak.

4.2.10. SF7 Hand-Guided mód választás

Ez a biztonsági funkció lehetővé teszi a gép két jelentősen eltérő üzemmód közötti átváltást. Alaphelyzetben a rendszer normál működéshez az Automatikus üzemmódot használja maximális sebességgel. A Hand-Guided módra akkor lehet szükség, amikor a gép programozására, pozíciók rögzítésére vagy karbantartási munkákra kerül sor. Hand-Guided módban az SF2, SF3 és SF4 funkciók felfüggesztődnek, tehát a fényfüggönyök némított üzemmódban vannak. A funkciónak van egy automatikus változata is, amikor a kezelő csak csökkentett sebességgel tudja a veszélyes gépi mozgásokat véghez vinni. A funkció PL_r értékét meghatározó gráfot a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra SF7 funkció PL_r értéke SISTEMA szoftverben

A Hand-Guided módot a vezérlőállomáson (Operator Stand) található üzemmódválasztó kapcsolóval lehet aktiválni. Ennek bekapcsolásakor az Astaire Safety System Controller működésbe hozza az adott funkciót.

A veszélyes gépi funkciók csak egy háromállású gomb megnyomásával indíthatók el csökkentett sebességben. A gomb elengedése vagy teljes benyomása esetén a rendszer vészleállás állapotba kerül, és a további folyamatok csak nyugtázás után indíthatóak el.

A SISTEMA szoftverben elemezve a biztonsági funkció PL értékét, a 18. Táblázat szerinti eredményt kapjuk, a teljes SISTEMA jegyzőkönyvet az 1. Melléklet tartalmazza.

18. Táblázat SF7 funkció PL értéke SISTEMA szoftverben

SF7	Hand-Guided mód választása						
Megnevezés	B10d	PFH _D	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	$1,8 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Astaire Safety System Controller	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		$3,3 \cdot 10^{-7}$					d

A biztonsági funkció PL: d értéke megegyezik az elvárt PL_r : d értékkel, vagyis a funkció eléri a kitűzött biztonsági célt.

4.2.11. SF8 Vészleállító rendszer (E-STOP)

A vészleállítás (Emergency Stop) funkció kétféle leállítási kategória szerint működhet az MSZ EN ISO 13850 szabvány szerint:

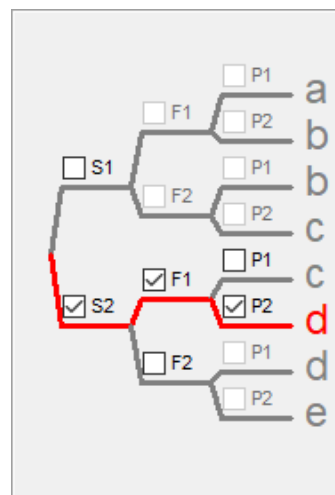
- **0. kategória:** azonnali megállás a gép meghajtóinak teljesítménymegszakításával (nem vezérelt leállás)
- **1. kategória:** A mozgások és műveletek lassítása, majd teljesítménymegszakítás, miután a mozgás megszűnt

A vészleállító funkciónak minden mást megelőzve, további károk elkerülésével kell megszüntetnie a veszélyes gépi mozgásokat. A vészleállító eszköz feloldását egy nyugtázó (RESET) parancsnak kell követnie. Sem feloldás, sem a nyugtázás nem indíthatja el közvetlenül a veszélyes gépi mozgásokat. Ez a funkció minden üzemmódban aktív, és a következő események idézhetik elő az aktiválását

- Vezérlőállomáson található E-Stop gomb megnyomása minden üzemmódban
- UR robot kontrolleren található E-Stop gomb megnyomása minden üzemmódban

- UR robot kontrolleren található háromállású gomb elengedése vagy teljes benyomása minden üzemmódban
- A Rail bal oldali oszlopán elhelyezett E-Stop gomb megnyomása minden üzemmódban
- A Rail jobb oldali oszlopán elhelyezett E-Stop gomb megnyomása minden üzemmódban
- Az Astaire Safety System Controller E-Stop IN1 és E-Stop IN2 csatlakozójába csatlakoztatott külső E-Stop kapcsolók.

A 16. Ábra a funkció elvárt PL_r értékét szemlélteti. A UR robot controller és az Astaire Safety System Controller közötti kapcsolatot a robot controllerének kétsatornás E-STOP bemenete és kimenete teszi lehetővé. A vezérlőállomáson és az oszlopokon elhelyezett E-Stop gombnak a Schneider Electric XB5AS8444 paneles kapcsolóját választottam. Az E-Stop biztonsági kapcsolók közvetlenül az Astaire Safety System Controller-be vannak bekötve.



A SISTEMA szoftverben rögzített adatok alapján a funkció tényleges PL értékét a 19. Táblázat szemlélteti, a teljes rendszer SISTEMA jegyzőkönyvét az 1. Melléklet tartalmazza.

16. Ábra SF8 funkció PL_r értéke SISTEMA szoftverben

19. Táblázat SF8 funkció teljesítményszintje

SF8	Leállítás vész helyzetben						
Megnevezés	B10d	PFH _d	MTTF _d	DCavg	CCF	Kat.	PL
UR e-Series	-	$1,8 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
E-STOP alrendszer	250000	$2,5 \cdot 10^{-8}$	100	99%	99	3	e
Astaire Safety System Controller	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	3	d
Funkció teljes PL		$3,3 \cdot 10^{-7}$					d

Az elvárt PL_r : d teljesítményszintet a tényleges PL : d teljesítményszint eléri, így a funkció megfelel a követelményeknek.

4.2.12. Biztonsági szempontból fontos kijelzések

A gép funkcióinak kijelzése segíti a kezelőt a gép állapotának és az esetleges vészhelyzetek vagy beavatkozást igénylő helyzetek gyors felismerésében, emellett hozzájárul a biztonság fenntartásához is. Mivel a gép nagy mérete miatt a jelzések nehezebben észlelhetők, két darab Werma Kombisign 72 moduláris jelzőfényoszlopot tervezek a robotcella tetejére, hogy az alábbi állapotok egyértelműen láthatók legyenek:

- **Zöld - Normál állapot:** A rendszer tápfeszültség alatt, biztonságos állapotban, Automatikus üzemmódban van, a veszélyes gépi funkciók elindulhatnak.
- **Piros - Vészhelyzet:** A rendszer vészleállítás funkcióval lett leállítva, valamely vészleállítást kezdeményező biztonsági eszköz behatolást észlelt vagy szándékosan aktiválva lett.
- **Kék - Utasítás:** A rendszer vészleállítását követően, a vészleállítást kezdeményező eszköz visszaállt, vagy visszaállították alapállapotba, a rendszer a nyugtázás utasításra vár. A nyugtázás kérését jelzi a vezérlőállomáson elhelyezett Schneider Electric XB5AW35B5 RESET gomb, amely sárga villogással jelzi nyugtázásra várakozást.
- **Sárga - Rendellenes állapot:** A rendszer rendellenes állapotából fakadó veszélyes helyzetre hívja fel a figyelmet Hand-Guided üzemmódban.

A fényjelzések kiegészítésére egy ipari használatra szánt, nagy teljesítményű Werma 450 típusú figyelmeztető szirénát is tervezek, ami akár 110dB-re is képes, hogy zajos környezetben is biztosítsa a veszélyjelzések észlelhetőségét.

A fényoszlopot és a szirénát közvetlenül az Astaire Safety System Controller vezérli

4.2.13. Astaire Safety System Controller

Az Astaire Safety System Controller az EN ISO 61800-5-2 szabványban meghatározott biztonsági funkciókat teljesíti. A vezérlő fő célja a gépek és munkafolyamatok biztonságos üzemeltetése az alábbi funkciókkal [14] :

- **Biztonságos nyomaték kikapcsolás (STO Safe Torque Off):** biztosítja, hogy nyomatékot generáló energia ne tudjon tovább hatni a motorra, és megakadályozza a véletlen indítást.

-
- **Biztonságos megállítás 1 (SS1 Safe Stop 1):** a motort gyorsan és biztonságosan leállítja, és a leállás után a motort úgy kapcsolja ki, hogy egyáltalán ne fejtsen ki nyomatékot, azaz aktiválódik az STO.
 - **Biztonságos működési leállás (SOS Safe Operating Stop):** a leállított motor adott pozícióba kerül, és a hajtásvezérlő figyeli az állapotot.
 - **Biztonságos megállítás 2 (SS2 Safe Stop 2):** gyorsan és biztonságosan leállítja a motort, majd leállás után aktiválja az SOS funkciót.
 - **Biztonságos fékvezérlés (SBC Safe Brake Control):** lehetővé teszi a rögzítőfék biztonságos vezérlését. Az SBC funkció mindig az STO-val párhuzamosan aktiválódik.
 - **Biztonságosan korlátozott sebesség (SLS Safely-limited speed):** biztosítja, hogy a hajtás ne lépje túl a meghatározott sebességhatárt.
 - **Biztonságosan korlátozott nyomaték (SLT Safely-limited torque):** megakadályozza, hogy a motor túllépje a megadott nyomatékot
 - **Biztonságos irány (SDI Safe Direction):** biztosítja, hogy a hajtás csak a kiválasztott irányba tudjon forogni.
 - **Biztonságos sebesség megfigyelés (SSM Safe Speed Monitor):** figyelmeztet, ha a hajtás egy meghatározott fordulatszám/előtolási sebesség alatt működik. Amíg a küszöb alatt marad, a funkció biztonsági jelzést ad.

Az Astaire Safety System Controller kétirányú vészleállító (E-Stop) rendszert tartalmaz, amely lehetővé teszi a rendszer működésének leállítását bármely a működésben lévő E-Stop gomb megnyomásával és a robot vezérlőjéről egyaránt. Vezérli a fényjelzőoszlopokat és a szirénát. Támogatja a Keyence rendszerek integrálását.

4.2.14. Maradó kockázatfelmérés a biztonsági eszközök alkalmazása után

A kockázatsökkentő intézkedések végrehajtása után a kockázatértékelést ismét elvégeztem annak ellenőrzésére, hogy a kockázatok megfelelően csökkentek-e, illetve nem keletkeztek-e új kockázatok. A megismételt kockázatértékelést a 20. táblázat tartalmazza.

20. táblázat Kockázatfelmérés és kockázatértékelés a kockázatsökkentő intézkedések után

UMA Smart Cell Linear Rail									
#	A veszély típusa MSZ EN ISO 12100:2010 szerint	Lehetséges sérülés MSZ EN ISO 12100:2010 szerint	A veszély leírása	LO x FE x DPH x NP = HRN					
1	1. Mechanikai veszélyek 1.13 Mozdó alkatrészek	1.1 Elütés 1.2 Dobás 1.3 Zúzódás 1.5 Horzsolás 1.6 Ütés	Automata üzemmódban a kocsin lévő robot az egész testen, a végtagokon vagy a fejen is sérülést okozhat	1	1	2	1	2	
				ELHANYAGOLHATÓ kockázat					
2	1. Mechanikai veszélyek 1.13 Mozdó alkatrészek	1.4 Behúzás vagy befogás 1.7 Nyírás 1.8 Megcsúszás, megbotlás vagy leesés	Karbantartás közben a szíjhajtás behúzhatja a karbantartó személy testrészét vagy ruháját	2	5	4	1	40	
				ALACSONY kockázat					
3	1. Mechanikai veszélyek 1.3 Mozdó alkatrészek közelítése fix alkatrészekhez	1.3 Zúzódás 1.4 Ütés	Automata üzemmódban a kocsin lévő robot a rögzítőelemekhez vagy a munkadarabhoz közeledhet	1	1	2	1	2	
				ELHANYAGOLHATÓ kockázat					
4	1. Mechanikai veszélyek 1.14 Forgó alkatrészek	1.4 Behúzás vagy befogás 1.7 Nyírás 1.9 Összeakadás	Karbantartás közben a forgó tengely behúzhatja vagy elnyírhatja a karbantartó személy ruháját vagy végtagjait	2	1	4	1	8	
				ALACSONY kockázat					
5	8. Ergonómiai veszélyek 8.1 Indikátorok és vizuális kijelzőegységek elhelyezése	8.6 Mentális túlterheltség	A kezelőállomás elhelyezkedése kényelmetlenséget és fáradtságot okozhat	1	1,5	0,5	1	1,75	
				ELHANYAGOLHATÓ kockázat					
6	8. Ergonómiai veszélyek 8.2 Vezérlőberendezések elhelyezése vagy azonosítása	8.1 Zúzódás 8.2 Vágás	A kezelőállomás elhelyezkedése kényelmetlenséget és fáradtságot okozhat	5	5	0,5	1	12,5	
				ALACSONY kockázat					

Amint látható, a karbantartás közbeni veszélyek, illetve a vezérlőállomás elhelyezkedésből adódó veszélyek kockázata nem csökkent.

A viszonylag nagy mozgási tartományból eredő veszélyes területek miatt a vezérlőállomás nem helyezhető közelebb a géphez.

A karbantartás közbeni veszélyek kockázata alacsony, de a sérülések elkerülése érdekében a hajtás takaróburkolatára figyelmeztető jelzéseket javaslok, illetve gép szervizelési dokumentumában felhívom rá a figyelmet. A figyelmeztető jelzést a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra
*Figyelmeztető jelzés
kéz becsípődésére*

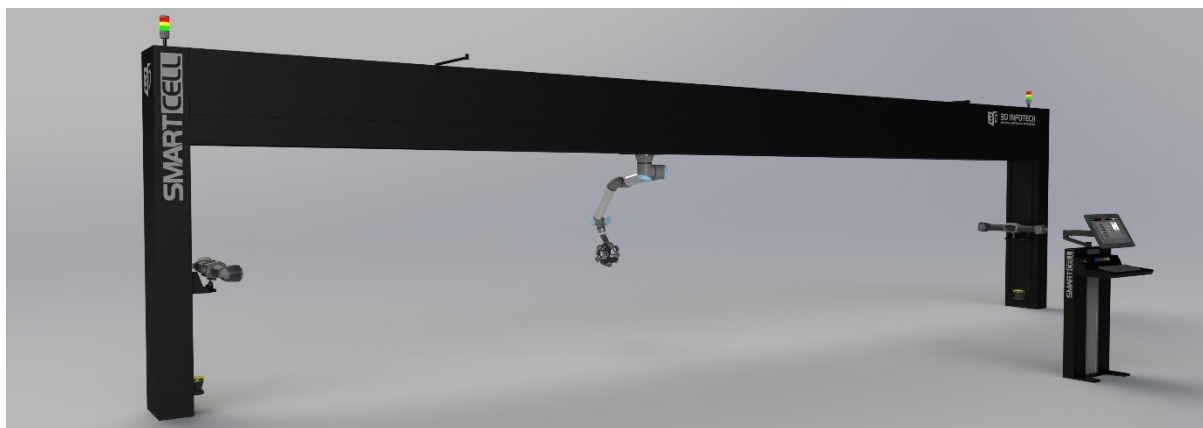
4.2.15. Dokumentáció

A gép műszaki dokumentációja az igazolása annak, hogy a gép megfelel a gépdirektívában megfogalmazott szabályoknak. A gép műszaki dokumentációban rögzíteni kell a teljes kockázatelemzés folyamatát, a felmerülő veszélyes helyzetekkel, azok értékelésével, a kockázat csökkentésére tett intézkedésekkel, illetve az esetleges fennmaradó kockázatok ismertetésével. A műszaki dokumentációnak minden olyan tervezési, gyártási, működésbeni és műszaki paramétert tartalmaznia kell, amely szükséges annak megállapításához, hogy a gép valóban teljesíti a rá vonatkozó szabályozást [14].

A gép vevőét a „Használati útmutató” -ban a termék életútciklusa alatt előfordulható kockázatról, és amennyiben lehetséges, az ajánlott védőeszközökről tájékoztatni kell.

4.2.16. Jelenlegi állapot

A munkaállomás jelenleg csak fejlesztési koncepcióként létezik. Csupán látványtervek (18. ábra) és hajtásfejlesztéshez kapcsolódó megvalósíthatósági mérések készültek róla.



18. ábra UMA Smart Rail látványterv

5. Gazdasági számítás

A gazdasági számítás tartalmazza a kockázatértékelés, a biztonsági eszközök (mint például fényfüggönyök, vészleállítók, területszennekerek), a vezérlőrendszerek fejlesztési és gyártási, valamint az engedélyeztetés költségeit. Ezek az előzetes számítások segítenek a beruházás tervezésében, és biztosítják, hogy a gyártócellát a vonatkozó biztonsági előírásoknak megfelelően alakítsuk ki. A 21. táblázat a kereskedelemben elérhető alkatrészek listáját tartalmazza.

21. táblázat Kereskedelmi alkatrészek

Gyártó/Forgalmazó	Megnevezés	Menny.	Nettó ár [Ft]	Nettó összeg [Ft]
Keyence	SZ-V32N Display Unit	2 db	1 260 000,-	2 520 000,-
Keyence	SZ-V32N Scanner Head	2 db	1 008 000,-	2 016 000,-
Keyence	GLR-60H	1 pár	743 820,-	743 820,-
Keyence	GC-1000R	1 db	451 800,-	451 800,-
Keyence	GL-RB12 fényfüggöny konzol	4 db	4 168,-	16 672,-
Schneider Electric	XB5AW35B5 nyomógomb	1 db	5 870,-	5 870,-
Schneider Electric	XB5AS8444 E-Stop gomb	3 db	14 800,-	44 400,-
Schneider Electric	XB5AA42 piros nyomógomb	1 db	3 190,-	3 190,-
Schneider Electric	XB5AW33B5 zöld nyomógomb	1 db	5 870,-	5 870,-
Tracon	NYBG21KKT kulcsos kapcsoló	1 db	13 400,-	13 400,-
Werma	Kombisign 72 fényoszlop	2 db	78 990,-	157 980,-
Werma	45 110dB sziréna	1 db	36 900,-	36 900,-
Összesen:				6 015 902,-

A 22. táblázat 3D Infotech Kft. óradíjaival kalkulált fejlesztési és üzembehelyezési költségeket mutatja

22. táblázat Munkadíjak

Megnevezés	Menny.	Nettó ár [Ft]	Nettó összeg [Ft]
Biztonságtechnikai tervezés	8 óra	40 000,-	240 000,-
Villamos tervezés	4 óra	40 000,-	160 000,-
Mechanikai összeszerelés	2 óra	24 000,-	48 000,-
Villamos kivitelezés	4 óra	24 000,-	96 000,-
Dokumentáció készítés	10 óra	40 000,-	400 000,-
Üzembehelyezés	4 óra	40 000,-	160 000,-
Összesen:			1 104 000,-

Az Astaire Safety System Controller jelenleg fejlesztés alatt áll. Előzetes kalkulációk alapján a megvalósítási költsége 1 500 000 Ft lesz.

A fejlesztés nettó költsége 2024.10.30-i árak alapján: 8 619 902 Ft

A gépbiztonsági tervezés kétségtelenül jelentős befektetést igényel, azonban ez még mindig kedvezőbb, mint a balesetek utólagos költségei. Amennyiben egy súlyos munkabaleset vagy haláleset történik, a jogi eljárások, bírságok és az ezzel járó reputációs károk sokkal nagyobb terhet rónak egy vállalatra. Ráadásul a munkahelyi balesetek hosszú távú következményei – például a munkavállalók moráljára és a cég hírnevére gyakorolt negatív hatások – tovább növelik az árat. Éppen ezért a biztonsági rendszerekbe történő előzetes befektetés nemcsak a jogszabályi megfelelés, hanem a hosszú távú üzleti biztonság szempontjából is megéri.

6. Összefoglalás

A dolgozat célja egy olyan robotizált mérőcella tervezése és fejlesztése, amely ipari követelményeknek megfelelő gépbiztonsági megoldásokkal van ellátva. A fejlesztés egyik fő feladata volt, hogy a mérőcella megfeleljen a vonatkozó szabványoknak és előírásoknak, valamint bemutassa, hogyan biztosítható a gépbiztonság gyakorlati környezetben.

Első lépésként alapos kockázatelemzést végeztem, figyelembe véve a releváns szabványokat és a robotcella eredeti kialakítását. Céлом az volt, hogy feltárjam az összes potenciális veszélyforrást, amely a gép közelében lévők biztonságát fenyegetheti. A kockázatelemzés során azonosított veszélyforrásokra alapozva kidolgoztam egy biztonsági koncepciót, és meghatároztam azokat az intézkedéseket, amelyek a kockázatokat megfelelően csökkenthetik.

A biztonsági megoldások között kulcsfontosságú volt a biztonsági távolságok helyes megválasztása. A munkaállomás védelmét területszkennerekkel biztosítottam, a munkadarabok átadását pedig egy fényfüggönnyel védett nyíláson keresztül oldottam meg, amely lehetővé teszi az anyagmozgatást a robot működésének megszakítása nélkül.

Az elektronikus biztonsági megoldásokat biztonsági vezérlő segítségével integráltam a rendszerbe, amely kezeli a vészleállítási funkciókat, továbbá a munkaállomás állapotát visszajelző fényoszlopot és figyelmeztető szirénát is vezérli. A robothoz további biztonsági intézkedésként egy vészleállító rendszer kapcsolódik, amely a gyors leállítást biztosítja.

A projekt eredményeként egy teljes mértékben biztonságos, a vonatkozó előírásoknak megfelelő munkaállomás készült el, amely gyakorlati példaként szolgálhat a gépbiztonsági megoldások ipari alkalmazására.

7. Summary

The aim of this thesis is to design and develop a robotized measuring cell equipped with industrial-grade safety solutions. One of the primary objectives of this development was to ensure that the cell complies with relevant standards and regulations, while also demonstrating how industrial safety can be practically implemented.

The project began with a thorough risk assessment, taking into account applicable standards and the initial design of the robot cell. The goal was to identify all potential hazards that could threaten the safety of individuals near the equipment. Based on the risks identified, I developed a safety concept and determined the necessary measures to appropriately mitigate these risks.

Among the safety solutions, a key factor was selecting appropriate safety distances. The workstation's protection was achieved through the use of area scanners, and the parts transfer was implemented via an opening protected by a light curtain, allowing material movement without interrupting the robot's operation.

Electronic safety measures were integrated into the system via a safety controller, which manages emergency stop functions, controls the workstation's status indicator light column, and operates a warning siren. An external emergency stop system was also connected to the robot, ensuring rapid shutdown when necessary.

As a result of the project, a fully compliant, safe workstation has been established, serving as a practical example of the effective application of machine safety solutions in industrial production.

8. Nyilatkozatok



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

NYILATKOZAT

Alulírott Brehlik Bence, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, gépészmérnöki nappali/levelező tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2024 november 4.


Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2024 november 4.


Belső konzulens

9. Irodalomjegyzék

- [1] „<https://www.3dinfotech.com/>,” [Online].
- [2] 2006/42/EK Irányelv a gépekről, 2006.
- [3] 16/2008 (VIII.30.) NFGM Rendelet "A gépek biztonsági követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról", 2008.
- [4] „<https://www.gepek-ce-jelolese.hu/>,” SAASCO Tanácsadó és Mérnöki Iroda, 2022. [Online].
- [5] MSZ EN ISO 12100 „Gépek biztonsága: alapfogalmak, általános kialakítási irányelvek. Kockázatértékelés és kockázatcsökkentés”, 2010.
- [6] MSZ EN ISO 13849-1 "Vezérlőrendszerek biztonságával összefüggő szerkezeti részek - Kialakítás általános elvei", 2015.
- [7] Sick AG, Special Information Guide for Safe Machine, 2015.
- [8] Pilz - Guide to Machine Safety, 6th Edition.
- [9] MSZ EN ISO 13855 "Gépek biztonsága. Biztonsági berendezések elrendezése a(z emberi) testrészek közelítési sebességének figyelembevételével", 2010.
- [10] Keyence, SZ-V32 Datasheet.
- [11] Keyence, GC-1000_Datasheet.
- [12] Keyence, SZ-V32N User Manual.
- [13] Keyence, Keyence GL-R60H Datasheet.
- [14] L. J. Dr. Földi és B. Berencsi, Ipari gépek CE jelölése és biztonsága az EU-s és hazai szabályozás tükrében, Magyar Mérnöki Kamara, 2022.
- [15] „<https://www.sick.com/ag/en/>,” 2022. [Online].
- [16] MSZ EN ISO 10218-1 "Ipari robotok biztonsági követelményei", 2011.

-
- [17] *MSZ EN ISO 13849-2 "Gépek biztonsága - Validálás", 2012.*
- [18] *MSZ EN ISO 10218-2 "Robotrendszerek és integráció".*
- [19] *MSZ EN 61800-5-2 - "Szabályozható fordulatszámú villamos hajtásrendszerek. 5-2. rész: Biztonsági követelmények.", 2017.*
- [20] *UR e-Series Functional Safety 1201, 2022.*

10. Mellékletek

10.1. 1. Melléklet SISTEMA Kockázatelemzési jegyzőkönyv



Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

File date: 04.11.2024 17:36:02 Report date: 2024. 11. 04. Checksum: cc7214fd4ea7a0b53e861311aabbba243

PR Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

Project file name:	C:\Users\brehl\OneDrive\Asztali gép\mérnökleszek\Szakdolgozat\UMA Smart Cell Linear Rail.ssm
Creation date:	24.10.2024 19:14:21
Project status:	
Project number:	
Project version:	
Authors:	Brehlik Bence
Project managers:	
Inspectors:	
Dangerous point/machine:	
Documentation:	
Document:	
Version of software:	2.1.1 build 1
Version of standard:	ISO 13849-1:2015, ISO 13849-2:2012
Checksum:	cc7214fd4ea7a0b53e861311aabbba243
Options:	☒ Use DC intermediate levels for calculation of PFHD (more precise) ☐ MTTFD capping for category 4 lower from 2500 to 100 years.
Status:	✔ green
Note:	There are no warnings listed for this project (or it's subordinate basic elements).

Print options

- | | |
|---|--|
| ☒ Show Safety functions | ☒ also show Subsystems |
| ☒ also show Blocks | ☐ also show Elements |

Contained safety functions**SF** Name: SF1 Veszélyes terület védelme

Required: PLr d	Reached: PL d	PFHD [1/h]: 5,2E-7	Status: green
-----------------	---------------	--------------------	---------------

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:**- No devices known -****Contained subsystems****SB** Name: UR e-Series

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads



Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

File date: 04.11.2024 17:36:02 Report date: 2024. 11. 04. Checksum: cc7214fd4ea7a0b53e861311aabbba243

PR Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: GC-1000R

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF2 Leállítás kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására

Required: PLr d	Reached: PL d	PFHD [1/h]: 5,2E-7	Status: green
-----------------	---------------	--------------------	---------------

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems**SB** Name: UR e-Series

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: GC-1000R S-OUT

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF3 Csökkentett sebesség kezdeményezése veszélyes térben való tartózkodás hatására

Required: PLr d	Reached: PL d	PFHD [1/h]: 5,2E-7	Status: green
-----------------	---------------	--------------------	---------------

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems**SB** Name: UR e-Series



Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

File date: 04.11.2024 17:36:02 Report date: 2024. 11. 04. Checksum: cc7214fd4ea7a0b53e861311aabbba243

PR Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: GC-1000R S-OUT

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF4 Indítás megakadályozása veszélyes térben való tartózkodás hatására

Required: PLr d	Reached: PL d	PFHD [1/h]: 5,2E-7	Status: green
-----------------	---------------	--------------------	---------------

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems**SB Name: UR e-Series**

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: GC-1000R S-OUT

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF5 Anyagáthaladás lehetővé tétele



Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

File date: 04.11.2024 17:36:02 Report date: 2024. 11. 04. Checksum: cc7214fd4ea7a0b53e861311aabbba243

PR Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

Required: PLr d Reached: PL d PFHD [1/h]: 3,2E-7 Status: green

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems

SB Name: GL-R60H(NPN)

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 3,4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: GC-1000R S-OUT

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF6 Manuális újraindítás

Required: PLr d Reached: PL d PFHD [1/h]: 5,2E-7 Status: green

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems

SB Name: GC-1000R S-OUT

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 4E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: UR e-Series

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: SZ-V32N 2 Scanner Heads

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 8,5E-9	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF7 Hand-Guided mód választás



Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

File date: 04.11.2024 17:36:02 Report date: 2024. 11. 04. Checksum: cc7214fd4ea7a0b53e861311aabbba243

PR Project name: UMA Smart Cell Linear Rail

Required: PLr d	Reached: PL d	PFHD [1/h]: 5E-7	Status: green
-----------------	---------------	------------------	---------------

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: UR e-Series

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SF Name: SF8 Vészleállító rendszer (E-Stop) – kiegészítő védőintézkedés

Required: PLr d	Reached: PL d	PFHD [1/h]: 5,2E-7	Status: green
-----------------	---------------	--------------------	---------------

List of devices with a permissible operation time (T10D) of less than 20 years:

- No devices known -

Contained subsystems

SB Name: UR e-Series

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 1,8E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: Astaire Safety System Controller

Resulting PL: d	PFHD [1/h]: 3,2E-7	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

SB Name: E-Stop alrendszer

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 2,5E-8	Category: 3
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

EXCLUSION OF LIABILITY

Care has been taken in production of the software SISTEMA, which corresponds to the state of the art. It is made available to users free of charge.

Die Haftung des Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) ist damit auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit (§ 521 BGB) bzw. bei Sach- und Rechtsmängel auf arglistig verschwiegene Fehler beschränkt (523, 524 BGB).

The Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance undertakes to keep its website free of viruses; nevertheless, no guarantee can be given that the software and information provided are virus-free. The user is therefore advised to take appropriate security precautions and to use a virus scanner prior to downloading software, documentation or information.

NOTE

This document is not a complete technical documentation according to EN ISO 13849-1:2015, clause 10.

CONTACT

Institute for Occupational Health and Safety of German Social Accident Insurance (IFA)
Division 5: Accident Prevention: Digitalisation - Technologies
Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin
E-mail: sistema@dguv.de
www.dguv.de/ifa (Webcode e561582)

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Mérnökinformatika specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Brehlik Bence (X4H27Q)

részére

A szakdolgozat címe:

ROBOTIZÁLT MÉRŐCELLA GÉPBIZTONSÁGI TERVEZÉSE

Feladatkiírás:

Bevezetés. Vonatkozó direktívák és szabványok irodalmi feldolgozása. A tárgyalt rendszer határainak definiálása, kockázatelemzés alapján meghatározott kockázatsökkentő intézkedésekre tett javaslatok megvalósítása. Funkcionális biztonsági rendszerek kiválasztása és dokumentálása Sistema szoftver segítségével. Gazdasági számítás. Összefoglalás.

Közreműködő tanszék: Mechatronika

Külső konzulens: Katona Adrián, gépészmérnök, 3D Infotech Kft.

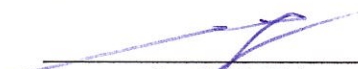
Belső konzulens: Dr. Földi László József egyetemi docens
, MATE MI

Beadási határidő: 2024. november 5

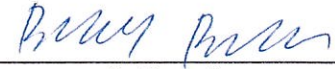
Gödöllő, 2024. szeptember 9

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024.


(külső konzulens)

NYILATKOZAT

Alulírott Brehlik Bence, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, gépészmérnöki nappali/levelező tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2024 november 4.



Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2024 november 4.



Belső konzulens