

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Bezzegh Péter Tamás  
Gépészmérnök Mesterszak**

**Gödöllő  
2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**  
**Gépészmérnök Mesterszak**

**Arányos pneumatikus lineáris hajtás biztonsági funkcióinak**  
**vizsgálata**

**Belső konzulens:** Dr. Földi László József  
Egyetemi docens

**Külső konzulens:** Szepcsik Péter  
Járműtechnológiai mérnök

**Készítette:** Bezzegh Péter Tamás  
L495P9  
Levelező

**Intézet/Tanszék:** Műszaki Intézet  
Mechatronika Tanszék

**Gödöllő**  
**2023**

---

**MŰSZAKI INTÉZET**  
**GÉPÉSZMÉRNÖK MESTERSZAK**  
Gépészeti mechatronika specializáció

**DIPLOMADOLGOZAT**  
feladatlap

*Bezzegh Péter Tamás (L495P9)*

---

részére

**A diplomadolgozat címe:**

**Arányos pneumatikus lineáris hajtás biztonsági funkcióinak vizsgálata**

---

**Feladatkiírás:**

Bevezetés, cégbemutató, szakirodalom feldolgozása, a probléma bemutatása, biztonsági funkciók vizsgálata, minőségbiztosítás, gazdasági számítás, összefoglalás

**Közreműködő tanszék:** Mechatronika

**Külső konzulens:** *Szepcsik Péter*, járműtechnológiai mérnök, BKV Zrt.

**Belső konzulens:** *Dr. Földi László*, egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

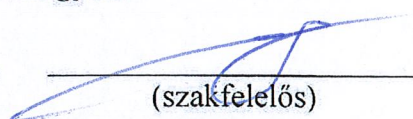
**Beadási határidő:** 2023. május 2.

Gödöllő, 2023. március 06.

**Jóváhagyom**

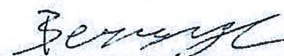


(tanszékvezető)



(szakfelelős)

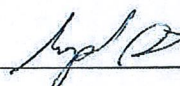
**Átvettem**



(hallgató)

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

Gödöllő, 2023. 04 hó 18 nap



(külső konzulens)

---

## Tartalom

1.	Bevezetés .....	5
1.1.	Gondolataim a témával kapcsolatban:.....	5
1.2.	Szakdolgozatom célja:.....	5
2.	Cégbemutató.....	6
3.	Szakirodalmi áttekintés.....	7
3.1.	Pneumatika: .....	7
3.2.	Pozícionált pneumatikus lineáris hajtások: .....	10
3.3.	Gép direktíva: .....	11
3.4.	ISO 12100-2010: .....	15
3.5.	ISO 13849-1: .....	18
3.5.1.	A vezérlőrendszer biztonsággal kapcsolatos részei: .....	18
3.5.2.	Biztonsági funkciók: .....	19
3.5.3.	Teljesítményszint: .....	22
3.6.	Alkalmazott biztonsági funkciók: .....	28
3.6.1.	STO:.....	28
3.6.2.	SDI:.....	29
3.6.3.	SSC: .....	30
3.6.4.	SOS:.....	30
4.	Anyag és módszer:.....	31
4.1.	Vizsgálat leírása: .....	31
4.2.	A vizsgálat menete: .....	31
4.3.	A pneumatikus rendszer fő egységei és műszaki jellemzőik: .....	31
4.4.	Változó paraméterek: .....	33
4.5.	A biztonsági funkció aktiválásának megvalósítása: .....	33

---

4.6.	STO - Biztonságos nyomaték lekapcsolás .....	34
4.7.	SDI - Biztonságos mozgásirány .....	41
4.8.	SSC - Biztonságos leállítás és bezárás .....	47
4.9.	SOS - Biztonságos üzemi leállítás.....	55
5.	A biztonsági funkciók valós környezetben történő vizsgálata .....	63
6.	A szimulációs eredmények kiértékelése .....	68
6.1.	A biztonsági funkciók összehasonlítása adott mozgási sebességeknél: .....	68
6.1.1.	100% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	68
6.1.2.	75% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	72
6.1.3.	50% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	76
6.1.4.	25% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	80
6.2.	A biztonsági funkciók összehasonlítása a mozgatott tömegek függvényében:..	84
6.2.1.	Terhelés nélkül vizsgált biztonsági funkciók:.....	84
6.2.2.	2,5 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	86
6.2.3.	5 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	87
6.2.4.	7,5 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	89
6.2.5.	10 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók: .....	91
6.3.	Eredmények összegzése: .....	92
7.	Minőségbiztosítás: .....	95
8.	Gazdasági Számítás .....	95
9.	Összefoglaló: .....	97
10.	Summary:.....	98
11.	Köszönetnyilvánítás:.....	100
12.	Nyilatkozatok.....	101
13.	Irodalomjegyzék: .....	102

## 1. Bevezetés

### 1.1. Gondolataim a témával kapcsolatban:

Az ipari automatizálás következtében az emberi erőforrás jelenlétét a gyártási folyamatban minimálisra csökkentik. Megjelentek a gyártásban az integrált gyártórendszerek, ahol a gyártási folyamat részben vagy teljes egészében automatizált. Ez kiterjed a raktározásra, az alkatrészellátásra, szerszámcsere, az ellenőrzési folyamatokra egészen a késztermék végátvételig. A gyártás automatizálásával és az emberi tényező minimalizálásával elérhetővé vált a jól definiálható és követhető egységes termékminőség előállítása és nyomon követhetősége.

Az automatizálás egyik legelterjedtebb eszköze a pneumatikus rendszerek alkalmazása. A pneumatika a sűrített levegővel történő vezérlést és erőátvitelt jelent. A pneumatikus rendszerek tervezésénél a gépek funkcionális biztonságának megfeleltetése érdekében, szigorú előírások alapján, az erre vonatkozó szabványok által előírt kialakítás és biztonsági funkciók alkalmazása elengedhetetlen. Pneumatikus rendszerek kialakításánál törekedni kell a biztonsági kockázatok minimalizálására. A biztonsági tényezők és hatásuk a rendszer biztonságosságára kockázatelemzéseken keresztül meghatározható.

A gépek funkcionális biztonságának szerepe, hogy biztosítja a termék, a rendszer, és az emberi tényező megfelelő védelmét előre definiált vezérlési folyamatokon keresztül.

A proporcionális pozíciószabályozott pneumatikus lineáris hajtások lehetővé teszik a munkahenger két végállás közötti pozíciójának vezérlését. Ha szabályozni tudjuk a munkahenger pozícióját, lehetőségünk van egyes biztonsági intézkedésekhez a megfelelő pozíció társítása mellett a teljes lineáris munkafolyamat szabályozására.

### 1.2. Szakdolgozatom célja:

Arányos pneumatikus hajtás biztonsági funkcióinak (STO, SSC, SDI, SOS) fluidsím szimulációs környezetben történő vizsgálata, mozgásjellemzők, leállási teljesítőképesség mérése. Utánfutás mérés.

Mérésekből kapott adatok kiértékelése és elemzése annak érdekében, hogy az adott feltételek mellett melyik biztonsági funkcióval ellátott rendszer a megfelelő választás gépbiztonság szempontjából.

---

## 2. Cégbemutató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézetének Mechatronika tanszék által meghirdetett téma kidolgozását választottam a szakdolgozatomhoz és ebből adódóan a bemutatandó cég (felsőoktatási intézmény) a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.

A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE):

Az Egyetem 2021. február 1-én alakult meg, mint agrár fókuszú felsőoktatási intézmény. A szervezeti felépítését és működési formáját a jogelődötől, a Szent István Egyetemtől vette át. Jelen működési formában az egyetem fentartója a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemért Alapítvány. Az egyetemnek több képzési helye van országszerte, amelyek részét képezi a Budai Campus, a Gödöllői Szent István Campus, a Gyöngyösi Károly Róbert Campus, a Kaposvári Campus és a Keszthelyi Georgikon Campus. Számos területen biztosít képzési lehetőséget az ide jelentkező hallgatók részére mind gazdasági, mind műszaki területen.

Műszaki intézet:

Az intézet képzési és kutatási fókuszpontjában az agrárműszaki területek, azon belül a gépészet, informatika, elektrotechnika, mechatronika áll.

Az intézet által indított képzések következők: gépészmérnök (BSc, MSc), mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök (BSc, MSc), műszaki menedzser (BSc, MSc), létesítménymérnök (MSc), mechatronikai mérnök (BSc), programtervező informatikus (FOKSZ). A Műszaki intézet az alap és mester szintű képzéseken felül lehetőséget biztosít szakmérnöki képzések elvégzésére, amelyekkel az addig megszerzett ismeretek egy adott szakterületen még mélyebb ismeretanyag elsajátítására ad lehetőséget.

Mechatronika tanszék:

Fő feladat a megfelelő mechatronikai ismeretekkel rendelkező szakemberek képzése gépipari mechatronika területen mind BSc és MSc képzés keretén belül, mind szakmérnöki képzésen keresztül. Ezen felül a Festo cég és a MATE között képzési együttműködés jött létre, amely keretén belül az egyetem szakmérnöki képzésen keresztül oktatja és képzik a Gépipari automatizálás szakmérnököket. A másik fő szakmérnöki képzés az ipari gépek biztonsága, amely fontossága napjainkban egyre nagyobb figyelmet kap. Az oktatás mellett

---

számtalan kutatási és fejlesztési projekteken való szerepvállalás is a tanszék feladatainak részét képezi.

### 3. Szakirodalmi áttekintés

#### 3.1. Pneumatika:

A pneumatika a sűrített levegővel történő vezérlést és erőátvitelt jelent. A nagynyomású, gázhalmazállapotú közeg műszaki alkalmazásokra felhasználó tudományága. A pneumatikában alkalmazott eszközök működése sűrített levegő munkaközeg segítségével történik. Az automatizált rendszereknél, főként az iparban, sűrített levegős technológiáról beszélünk.

A pneumatikában alkalmazott rendszernyomás mértéke 2-8 bar, bár a gyakorlatban alkalmazott nyomásérték túlnyomóan 6 bar. A pozicionálási pontosság 0.01 mm. Pneumatikus lineáris hajtásnál a munkahenger elmozdulási sebessége megközelítőleg 1,5 m/s. 6 bar-nál a munkahenger által kifejtendő erő nagysága  $3 \cdot 10^4$  N

[10]

A pneumatikus rendszer használatának előnyei:

- A környezetből nyert levegő, mint erőforrás, korlátlan mennyiségben áll rendelkezésünkre.
- A sűrített levegő a rendszerben energiaként hasznosított munkavégzése után, visszanyeri eredeti állapotát, amely mentes a változásoktól.
- A sűrített levegő csőrendszereken kérészül történő szállítása során minimális veszteségek lépnek csak fel.
- A felhasználási terület tekintetében alkalmazható olyan környezetbe is, ahol fokozott a tűz és robbanásveszély. Előszeretettel alkalmazzák gyógyszer és élelmiszeriparban, mivel a munkaközegnek nincs a környezetre gyakorolt káros hatása.
- Szabályozás tekintetében a nyomás és mennyiség szabályozás révén tág tartományban szabályozható a rendszer energiaátvitele.
- A rendszer elemei könnyen szerelhetők és karbantarthatók. Hosszú és megbízható élettartammal rendelkeznek.

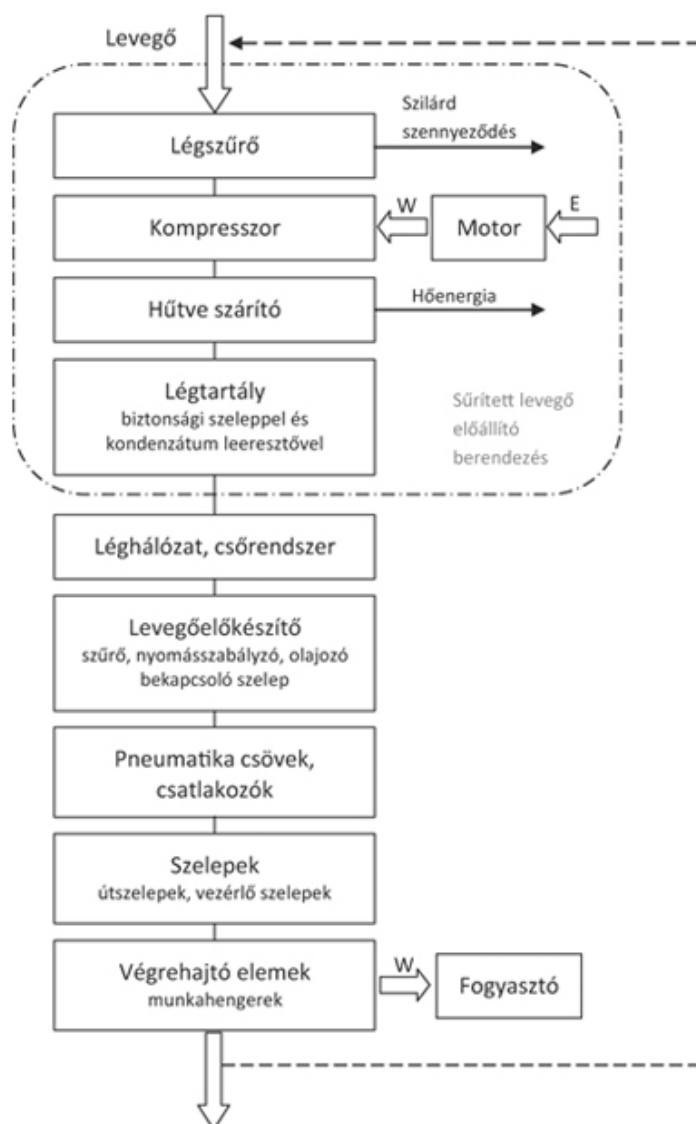
A pneumatikus rendszer hátrányai:



- A környezeti levegő kompressziója következtében a rendszer nedvességet, szilárd és légnemű szennyezőket is tartalmazhat.
- A sűrített levegő előállítása a kompresszorok hatásfoka és az energiaárak miatt költséges.
- A levegő „összenyomhatatlansága” miatt az erőátviteli elemek pozicionálása nem terhelésmentes.

[9][16]

Pneumatikus rendszer elvi felépítése:



1. ábra A környezeti levegő útja a kompresszortól a végrehajtó elemig [9]

A pneumatikus rendszerekben a rendszert alkotó részegységek térbeli korlátozás nélkül elhelyezhetőek.

Részegységek:

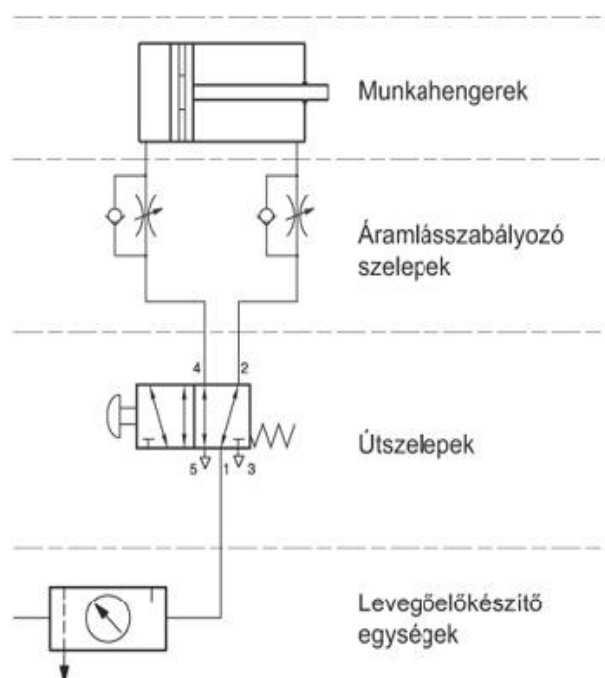
- Légszűrő: Kompresszor szívóágában lévő elem, amely megakadályozza a beszívott levegő szilárd szennyeződéseinek a rendszerbe történő bejutását.
- Kompresszor: A rendszer működéséhez szükséges levegő mennyiség és üzemi nyomás előállítását végzi.
- Hűtve szárító: A sűrítési folyamat során a levegő nedvességtartalma víz formájában kiválik. A Hűtve szárító a levegő hőmérsékletének szabályozása segítségével (hűtés), a nem kívánatos vizet kondenzációs folyamat révén kiválasztja és eltávolítja a rendszerből.
- Légtartály: A sűrített levegőt tárolja a megfelelő nyomáson és biztosítja a rendszernek a munkavégzéshez szükséges mennyiségű és nyomású munkaközegét.
- Léghálózat: A munkaközeg szállítására szolgál

A pneumatikus rendszer legfontosabb elemei:

- Levegőelőkészítő egység:
  - Szűrők
  - Nyomásszabályzók
  - Olajzók
  - Bekapcsoló szelepek
- Vezérlő szelepek:
  - Útszelepek
  - Vezérlőszelepek
  - Logikai szelepek

Áramlásszabályzó szelepek:

- Fojtó szelepek
- Visszacsapó szelepek
- Fojtó-visszacsapó szelepek
- Munkahengerek:
  - Dugattyúrudas munkahengerek



2. ábra A pneumatikus rendszer főbb elemei [9]

- Dugattyúrúd nélküli munkahengerek
- Forgatóhengerek
- Csövek, csatlakozók:

[9]

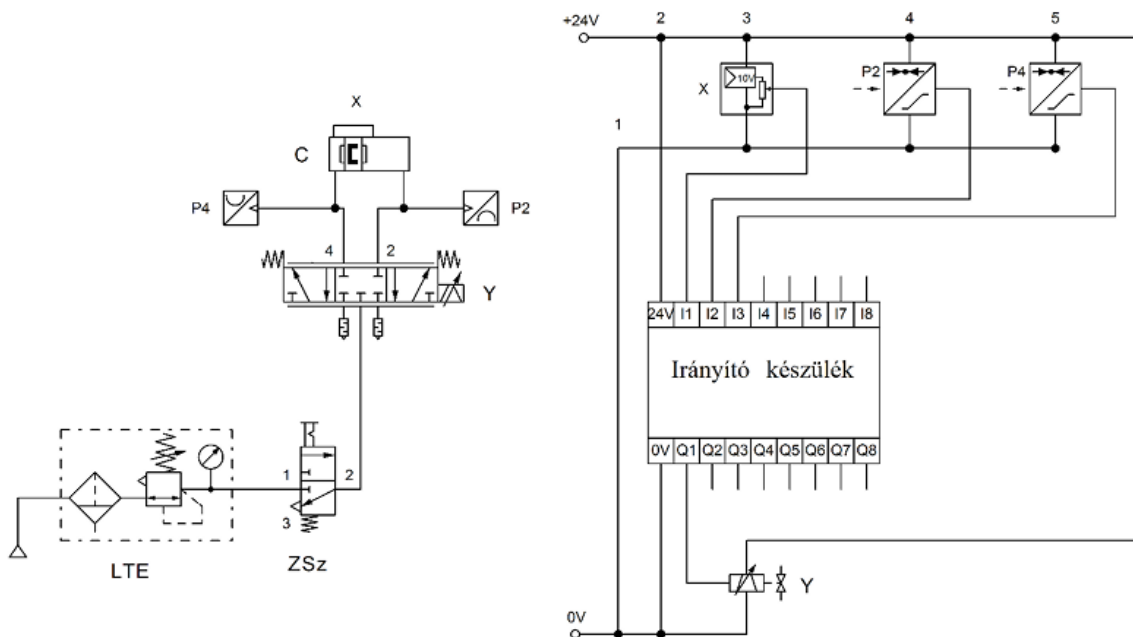
### 3.2. Pozícionált pneumatikus lineáris hajtások:

Pozícionált lineáris hajtás lehetővé teszi a munkahenger pozíciójának szabályozhatóságát a munkavégzés teljes lökethossz tartományában.

Lineáris hajtásnál az elmozdulás mértékének meghatározására két módszert alkalmazunk. Mechanikus úton történő szabályzás esetén a munkahenger pozícióját két végállás között változtathatjuk, míg bináris érzékelők segítségével az elmozdulás teljes intervallumán szabályozható a munkahenger pozíciója.

„A pneumatikus munkahengerek véghelyzetektől eltérő, a löket mentén tetszőleges pozícionálásához szabályzóköör alkalmazása szükséges, mert vezérléssel a pozícionálás nem teljesíthető elvárt pontossággal a rendszer nemlineáris viselkedése miatt. Ez a nemlineáris jelleg a levegő összenyomhatóságából és a súrlódásból adódik. Pozíciószabályozott pneumatikus lineáris hajtások építhetők hagyományos, de rövid kapcsolási idővel rendelkező 2- vagy 3- állású útszelepek felhasználásával vagy végtelen számú kapcsolási helyzettel rendelkező arányos útszelepek alkalmazásával. Ez utóbbi, arányos szelepet és szabályzóköört tartalmazó pneumatikus rendszereket nevezi a szakirodalom szervopneumatikus rendszereknek” [Mayer Sárközi, 2019, 12 o.]

Az általános pneumatikus rendszertől eltérően az arányos pneumatikus hajtás pozícióvezérléséhez a hagyományos szelep helyett arányos szelepet alkalmazunk, és érzékelő(útdadók) mellett logikai irányító készülék is kerül beépítésre.



3. ábra Arányos szeleppel működtetett pneumatikus rendszer elektromos és pneumatikus kapcsolási rajza (c-munkahenger, Y-arányos szelep, P2, P4-analóg nyomásmérő szenzor, X-útmérő szenzor, LTE-levegő előkészítő tápegység, ZSz-zárószelep) [10]

### 3.3. Gép direktíva:

A gép direktíva által megfogalmazott irányelvek az EU tagállamai között biztosítja azon intézkedéseket, hogy részben kész gépet csak akkor lehessen forgalomba hozni, ha azok megfelelnek az irányelvek követelmény rendszerének.

[11]

Ennek az irányelvnek a célja a gépek szabadpiaci mozgása, valamint a gépeket használó dolgozók, valamint a forgalomba helyezés követően a végfelhasználók védelme. Az irányelv definiálja az általánosan alkalmazandó alapvető egészségügyi és biztonsági követelményeket, amelyeket bizonyos gépeknél plusz követelményekkel egészít ki a szükségesség függvényében. Ezek modul szinten határozhatók meg.

Modulok szerint három csoport választható A, B, H:

- „A modul” esetén a gyártandó egység rendelkezik előre definiált szabvánnyal, amely teljes egészében alkalmazható a gyártandó gépre, eszközre. Ebben az esetben nem szükséges külső szervezet bevonása a minősítési folyamatba,

---

azt házon belül el lehet végezni. Belső irányítási és ellenőrzési rendszerrel kell biztosítani a gyártandó termék megfelelőségét.

B és H modul esetében a gyártás tárgyára nem lehet alkalmazni teljes egészében az általános szabványt, csak részben vagy plusz kiegészítésekkel együttesen.

- „B modul” esetében szükséges a bejelentett, külső szervezet bevonása az irányelvek megfelelőségének tanúsítására. Ezt az eljárást EK - típusvizsgának nevezik. Ez a vizsgálat kiterjed a tervezési dokumentációtól a gép vagy egyedi gép vizsgálatáig, megfelelőségi ellenőrzéséig. Megfelelőség esetén EK - tanúsítvány kerül kiállításra. A gyártó köteles az EK típusvizsgálati tanúsítványt, a műszakidokumentációt, és minden a géppel kapcsolatos dokumentumot a kiállítás időpontjától számított 15 évig megőrizni.
- „H modul” esetén a gyártó köteles egy belső, jóváhagyott irányítási rendszer kialakítását alkalmazni. Ez a rendszer az ISO 9001-es minőségirányítási rendszer.

[2]

A gép direktíva által megfogalmazott irányelvek a gépekre, a cserélhető részegységekre, a biztonsági funkciókat ellátó alkatrészekre, a láncokra, a kötelekre és az egyéb a gép részét képező hardverekre és elektronikai egységekre, az eltávolítható mechanikus erőátviteli eszközökre és a részben kész gépekre vonatkozik.

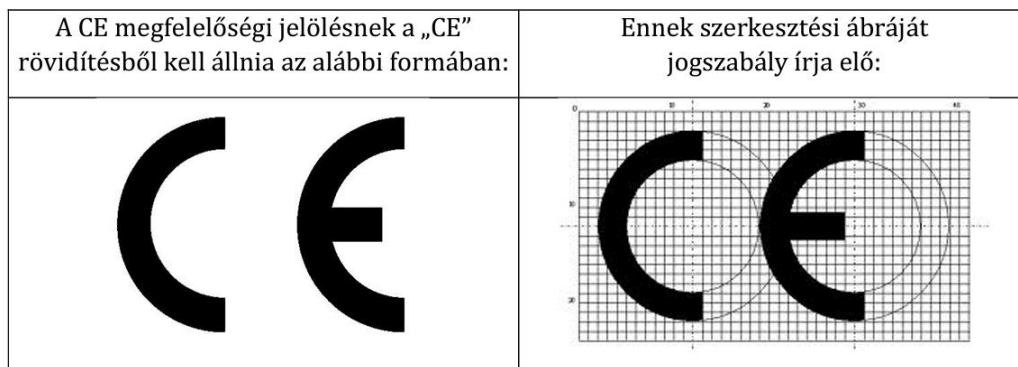
[11]

A gyártó az általa tervezett/gyártott gép típusát és funkcióját figyelembe véve szabványok segítségével pontosan meg tudja határozni, hogy a termékének milyen irányelveknek kell megfelelnie. A szabványok a biztonsági funkciók alkalmazásához szükséges kockázatelemzés folyamatát is leírják. A gyártó ezen folyamatok segítségével képes a termék megfeleltetéséhez szükséges eljárásokon végig menni.

A tagállamok feladatát képezi ezen irányelvek betartásához szükséges kapacitás és piacfelügyelet biztosítása. Ezen irányelvek betartásának ellenőrzésére a tagállamoknak az erre a feladatra kijelölt hatósággal kell rendelkezniük. Ők végzik a részben kész gépek megfelelőségét.

A gyártók felelősége igazolni az általuk előállított termékek gép direktíva által meghatározott irányelveknek való megfelelőségét.

Az irányelvek megfelelőségét a terméken feltüntetett CE-jelölés jelzi, amely szigorú, a tagállamokon belüli egységes paraméterekkel rendelkezik. Ezen paramétereket jogszabály írja elő.



4. ábra CE megfelelőségi jelölés [2]

A CE-jelölést a gyártó vagy képviselő nevének közelében kell elhelyezni. A gyártási gyakorlatban bevált elhelyezési mód a gép adattábláján történő elhelyezés. Törekedni kell a tábla jó rögzítettségére, és a jelölés jó olvashatóságára. A jelölés úgy kell kialakítani, hogy azt ne lehessen letörölni.

[2]

A gépeken a CE-megfelelőségi jelen felül fel kell tüntetni a gép alap adatait. Ezek adattábla segítségével kerülnek elhelyezésre, amelyekre szintén érvényes a CE-jelöléseknél is előírt, a rögzítettségre és olvashatóságra vonatkozó megkövetések.

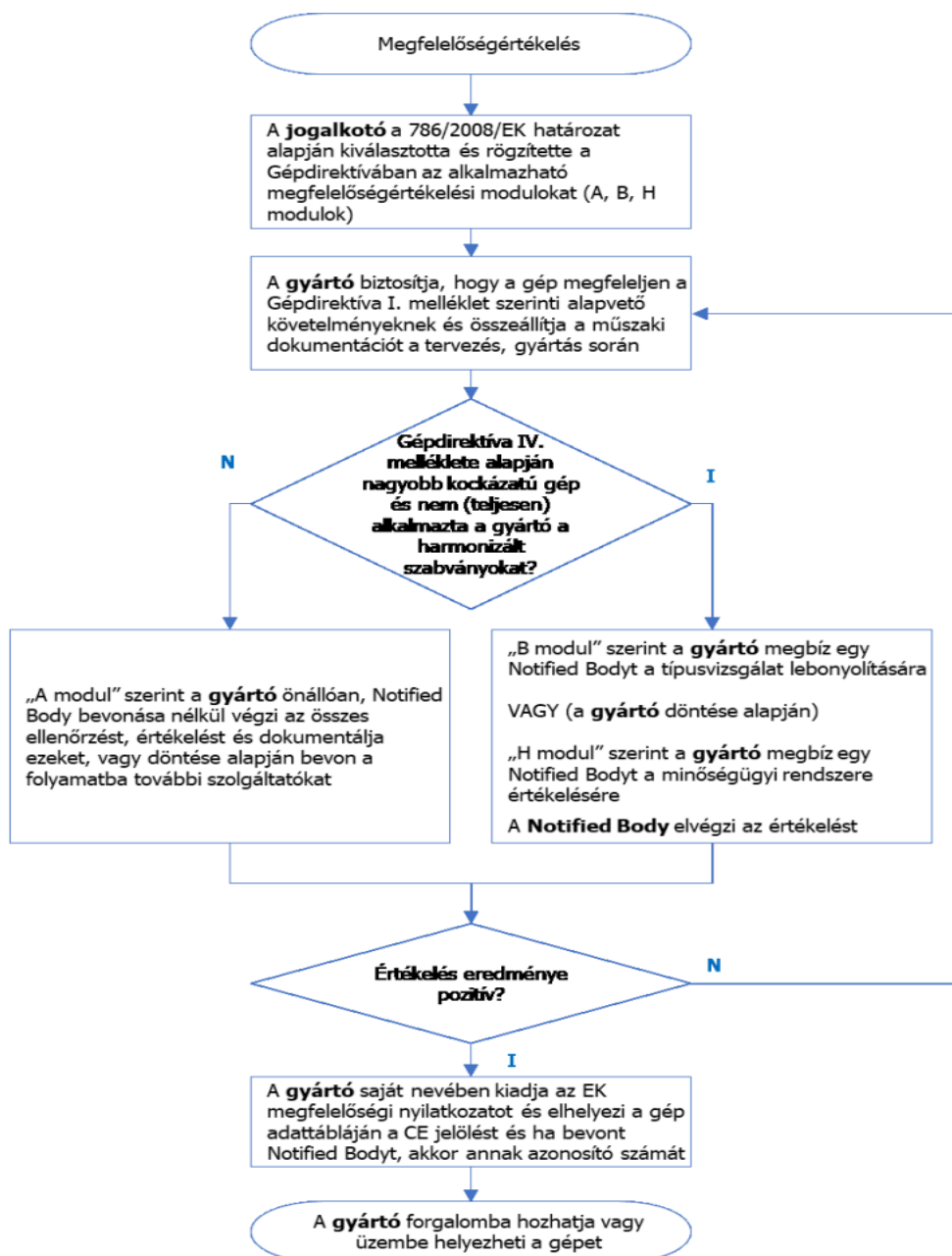
Az adattáblán kötelezően feltüntetendő adatok:

- Cég neve
- Gép megnevezése
- CE-jelölés
- Sorozat szám vagy típus megjelölése
- Gyártási év
- Biztonságos üzemeltetéshez szükséges információk



5. ábra Mikrohullámsütő adattáblája

Ezek az adatok egyes géptípusoknál eltérhetnek kiegészítő szükséges információkkal, amelyek az adott gépre vonatkoznak. A gépeken kötelezően feltüntetett adatokat szabványok tartalmazzák



6. ábra Megfelelőségértékelési folyamat [2]

A gyártó felelősségkörébe tartozó intézkedések körét képezi a gyártandó gépre vonatkozó kockázatelemzés, amely pontos meghatározást ad, hogy mely alapvető egészségügyi és biztonsági követelmények vonatkoznak a gépre, és amelyek tekintetében intézkedéseket kell hoznia.

---

A gépet ezután a kockázatértékelés eredményeinek figyelembevételével kell megtervezni és megépíteni.

A kockázat elemzési folyamatot az MSZ 12100 szabvány foglalja magában

A tervezés és gyártás során figyelembe kell venni, hogy a gép a kívánt funkciók teljesítésére alkalmas legyen, és személyek veszélyeztetése nélkül üzemeltethető, beállítható és karbantartható feltételeknek is megfeleljen. A tervezés során szintén figyelembe kell venni a helytelen használat esetén felmerülő veszélyességi kockázatokat.

A termék gyártójának műszaki dokumentációt kell készítenie a termékhez, amely igazolja a gép direktíva által előírt irányelveknek való megfelelést és ezen dokumentációt meg kell őriznie legalább 10 évig, amely egyedi gyártás esetén a gép gyártásának befejezésétől, sorozatgyártás esetén a sorozat utolsó elemének befejezésétől számítandó időtartam. A dokumentációt kérés ellenében 8 napon belül be kell tudni mutatni a piacfelügyeleti hatóság felé.

Műszaki dokumentáció kötelező tartalmi elemei:

- Gép típus, sorozatszám, megnevezés, általános leírás
- Egységek, részegységek, áramkörök műszaki rajzai
- Műszaki tervezéshez felhasznált számítások
- Gép felhasználói és karbantartási utasítás
- Alkalmazott szabványok
- Kockázatelemzés
- Megfelelési nyilatkozat

Az irányelvek nem betartása esetén az erre a feladatra kijelölt hatóságnak szankcionálást kell alkalmaznia a gyártó részére.

[11]

### 3.4. ISO 12100-2010:

ISO 12100 szabvány a gép biztonságát hivatott behatárolni. Ez a szabvány kiterjed a tervezési folyamat általános alapelveire, a kockázatelemzésre és szükség szerinti kockázatsökkentési intézkedésekre.



---

Ezt a szabványt a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) adta ki 2010-ben, Ez a szabvány a már három korábban kiadott ISO szabványokat foglalja magában és helyettesíti azokat egy szabvánnyal. A szabvány tartalmazza a kockázatértékelést, amely a tervezett gép biztonság szempontjából kiértékel kockázati tényezők státusz szerinti besorolását jelenti.

A korábban kiadott három szabvány:

- Az ISO 12100-1 Általános tervezési irányelveket határozott meg, és megköveteli a munkahelyre kerülő gépek kockázatértékelését.
- Az ISO 12100-2 szintén a gép biztonságára vonatkozik. A gépek biztonságára vonatkozó tervezési előírásokat határozta meg.
- Az ISO 14121 a kockázatértékelés alapelveit tartalmazza. Meghatározza az alkalmazandó kockázatértékelési koncepciókat.

Az ISO 12100-2010 egyesíti ezt a három szabványt, és megtartja azok tartalmát.

ISO 12100-2010 egy nemzetközi szabvány, amely jelentősége abban rejlik, hogy az országok többsége fontosnak tartja a veszélyek azonosítását, elemzését és a biztonsági kockázatokat elemezni és értékelni kell a gép tervezése során, és meg kell hozni az esetlegesen szükséges kockázat csökkentő intézkedéseket a biztonságok működés és üzemeltetés érdekében.

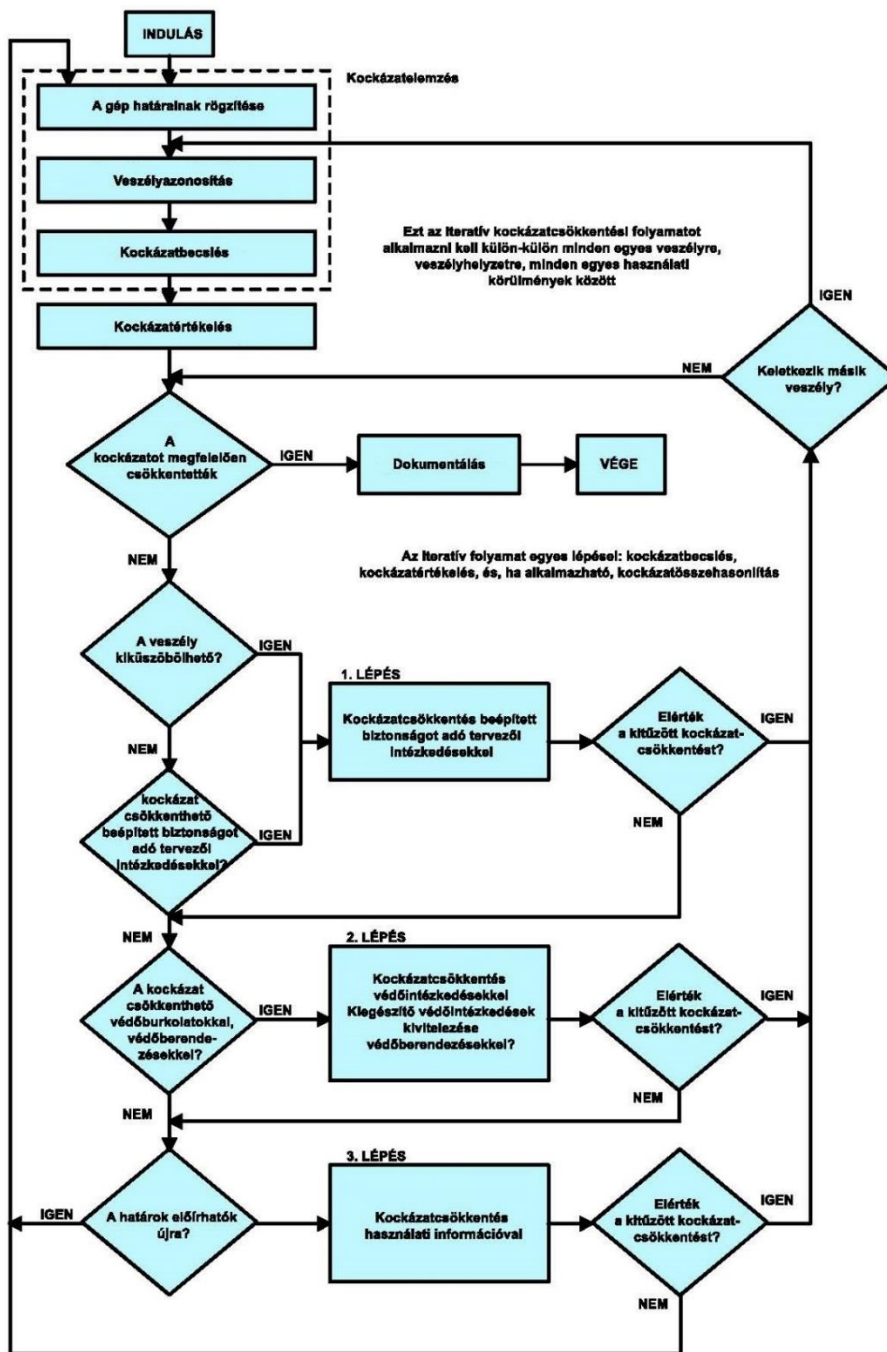
Az Európai Unión kívüli termékek behozatalakor az Unión kívüli gyártó köteles CE jelöléssel ellátni a termékét, amely biztosítja az Európai Unión belüli felhasználáshoz szükséges irányelvek teljesítését. Az ISO 12100-2010 szabvány kockázatértékelési rendelkezései ezek közé a követelmények közé tartoznak.

[6][3]

A szabvány értelmében a gép rendeltetésszerű használata, szállítása, telepítése, karbantartása szétszerelhetősége és feszültségmentesítése kivitelezhető anélkül, hogy az egészségre káros hatást gyakorolna.

A megfelelő gépbiztonsági szint eléréséhez egy háromlépéses logikai folyamaton kell végig haladni.

[2]



7. ábra A biztonságos gépkialakítás folyamata [2]

Első lépésként követni kell a funkciók és egyéb, a kockázati tényezők csökkentésére irányuló műszaki módosítások. Törekedni kell arra, hogy az új biztonsági funkciók integrálását követően ne hozzunk létre súlyosbító vagy jelentős új kockázati lehetőségeket. Harmadik lépésként a felhasználók számára jól látható módon fel kell tüntetni a kockázati

---

információkat és esetlegesen oktatás keretein belül is fel kell hívni a figyelmet a felmerülő egészségkárosító kockázati lehetőségekre.

### 3.5. ISO 13849-1:

A ISO 13849-1 szabvány tartalmazza a vezérlőrendszerek biztonsággal összefüggő részeit (SRP/CS) és a tervezés általános alapelveit.

Gépek biztonságára vonatkozóan 3 szabványtípust különböztetünk meg:

- Az A típusú szabványok alapfogalmakat, tervezési elveket és általános szempontokat adnak meg.
- A B típusú szabványok általános biztonsági szabványok
  - B1 típusú szabványok már konkrét biztonsági előírásokat határoz meg (pl.: biztonsági távolságok, felületi hőmérséklet, zaj);
  - B2 típusú szabványok a biztosítékokra vonatkoznak (pl.: kétkezes kezelőszervek, reteszelőberendezések, nyomásérzékeny eszközök, védőburkolatok).
- A C típusú szabványok gépbiztonsági szabványok, amelyek konkrét gépre vagy gépcsoportra vonatkoznak.

Az ISO 13849 ezen része az ISO 12100 szabvány szerint B1 típusú szabvány.

tervezési alapelveket a felmerülő kockázatok csökkentése érdekében, hogy a feltárt kockázati tényezők csökkenjenek, vagy megszűnjenek. A következő lépésként a megmaradt, vagy a módosítások során esetlegesen felmerülő új kockázati tényezők elleni műszaki megoldásokat kell alkalmazni, amelyek lehetnek védőburkolatok, biztonsági

[4]

#### 3.5.1. *A vezérlőrendszer biztonsággal kapcsolatos részei:*

A gépek azon részeit, amelyek a biztonsági funkciók ellátását végzik, a vezérlőrendszerek biztonsággal kapcsolatos részeinek (SRP/CS – safety-related part of control system) nevezik, amelyek hardverből és szoftverből állhatnak. A biztonsági funkciókon kívül az SRP/CS biztonsági indítással kapcsolatos funkciókat is tartalmaz. Ezek közé tartozik a gépek kétkezes indítása. Az SRP/CS biztosítja a megfelelő biztonsági funkciókat az adott teljesítményszinten (PL).

[4]

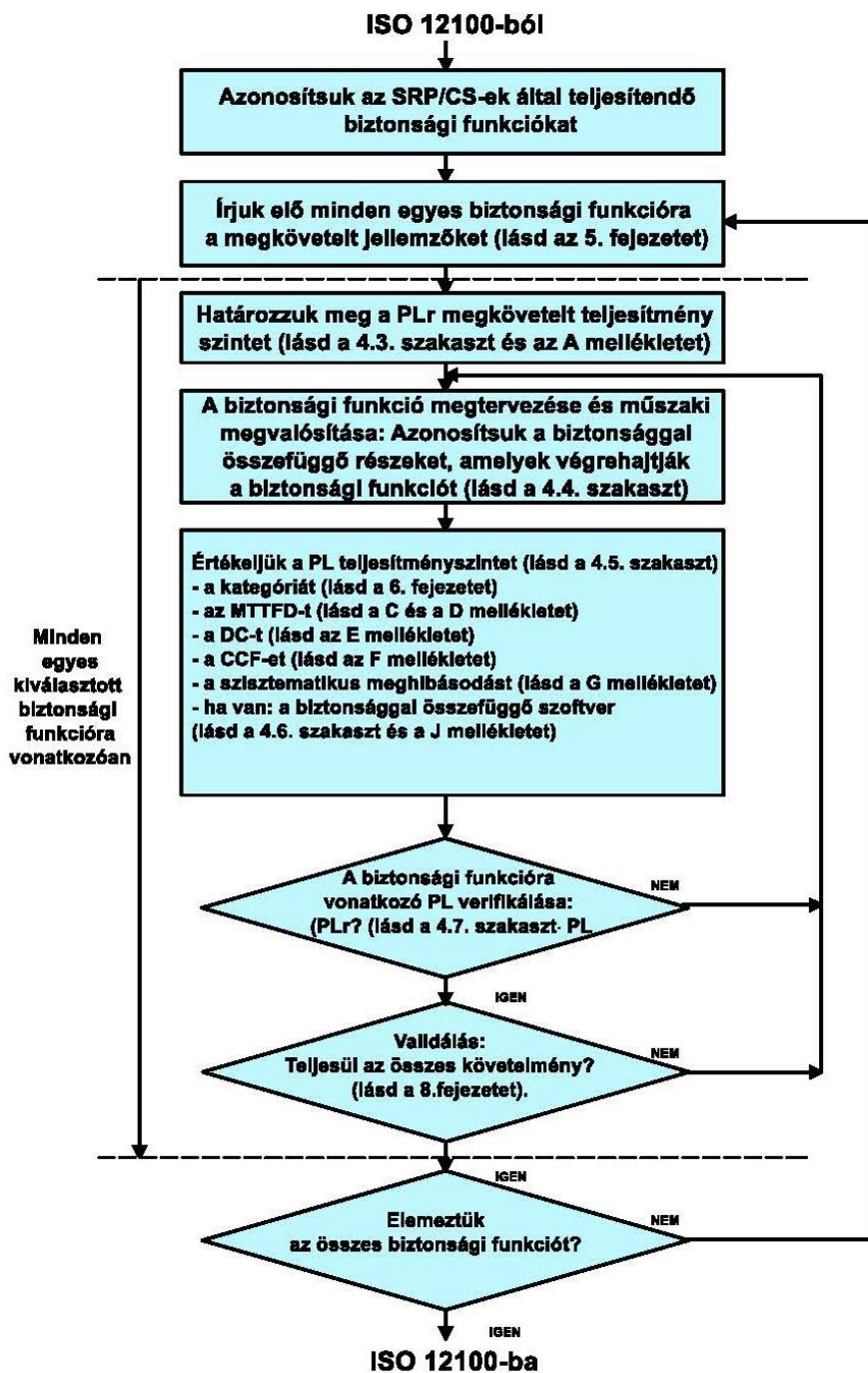
---

A 7. ábrán feltüntetett 2-es lépésnél kockázati szint felmérés és értékelés, amely következtében az ISO 12849-1 alkalmazható a megfelelő kockázati szint eléréséhez.

Ez a szabvány alkalmazható a villamos, hidraulikus, pneumatikus, mechanikus stb. energiát hasznosító gépek minden fajtájára.

### 3.5.2. Biztonsági funkciók:

A vezérlésen belül is vannak a vezérlés részét képező biztonsági elemek. Ide sorolható az érzékelők, a logikai egységek, a teljesítményvezérlő elemek, hajtó és munkavégző elemek. Ezek a vezérlés biztonsági funkcióit látják el (SF - Safety Function) és a rendszerhez kiválasztott biztonsági szintnek meg kell felelniük. Egy biztonsági funkció állhat több biztonsági komponensből és ez visszafelé is érvényesül, mikor több biztonsági funkció egy biztonsági komponenset használ.



8. ábra A vezérlőrendszerek biztonsággal összefüggő részeinek tervezési folyamata [2]

Biztonsági funkció a gép azon funkciója, amely meghibásodása vagy rendellenes működése esetén közvetlen növeli a kockázati szintet.

---

Egy példán keresztül szemléltetve a gép biztonsági funkciójának működését:

Van egy gyártó cég, amely automata anyagellátó rendszerrel rendelkező pneumatikus préssel dolgozik. A gép munkaterülete és potenciális veszélyforrást jelentő határterülete fotocella segítségével van körbe határolva. Bármely fotocella jelét megszakító esemény hatására a prés azonnal megáll.

A biztonsági funkció részei: A bemeneti jelet a fotocella biztosítja. Megszakadás esetén a biztonsági vezérlő logikai műveletre reagálva vezérel egy útszelepet (teljesítmény vezérlő), amely adott állásban megállítja a prés munkahengerének működését.

A vezérlő által kapott bemeneti jel minden esetben ugyan az. Az, hogy a vezérlőhöz milyen biztonsági funkciót rendelünk, a kívánt teljesítményszint függvényében határozzuk meg. Meg kell határozni, hogy az adott biztonsági funkciót kiváltó esemény milyen szintű kockázatot jelent.

Leggyakoribb biztonsági funkciók:

- Biztonsági berendezéssel kezdeményezett leállítás: A külső biztonsági berendezés adott eseménye váltja ki a biztonsági folyamat elindítását. Pl.: fotocella
- Vészleállítás: kiegészítő intézkedés. Az ISO 13850 szabvány vonatkozik rá
- Leállítás kategória alapján: Az EN 60204-1 szabvány írja le
  0. Energia elvétel
  1. Biztonságos állapotba helyezés utáni energia elvétel
  2. Biztonságos állapotba helyezés energiaellátás meghagyással
- Bénítás: Maga a biztonsági funkciót bénítva van, csak 1 adott esemény hatására lép működésbe
- Vezérlési módváltás: Több üzemeltetési módot rendelünk hozzá a géphez, és kiválasztható a kívánt üzemmód. Az egyes üzemmódok más biztonsági funkciókkal működnek. Ilyen a karbantartási, normás üzem, vagy betanítási mód.
- Korlátozott sebesség (SLS, Safety limited position): Pl.: a robotok tanítási munkafolyamatánál, mikor a betanító dolgozó a gép biztonsági zónáján belül helyezkedik el.

[2]

### 3.5.3. Teljesítményszint:

Teljesítményszintek (PL- Performance Level): A teljesítményszint diszkrét meghibásodási valószínűséget jelent a biztonsági funkciót megvalósító vezérlőrendszerre vonatkozólag.

Az ISO 13849 szabvány értelmében a teljesítményszint a veszélyes meghibásodás valószínűségét adja meg 1/órában.

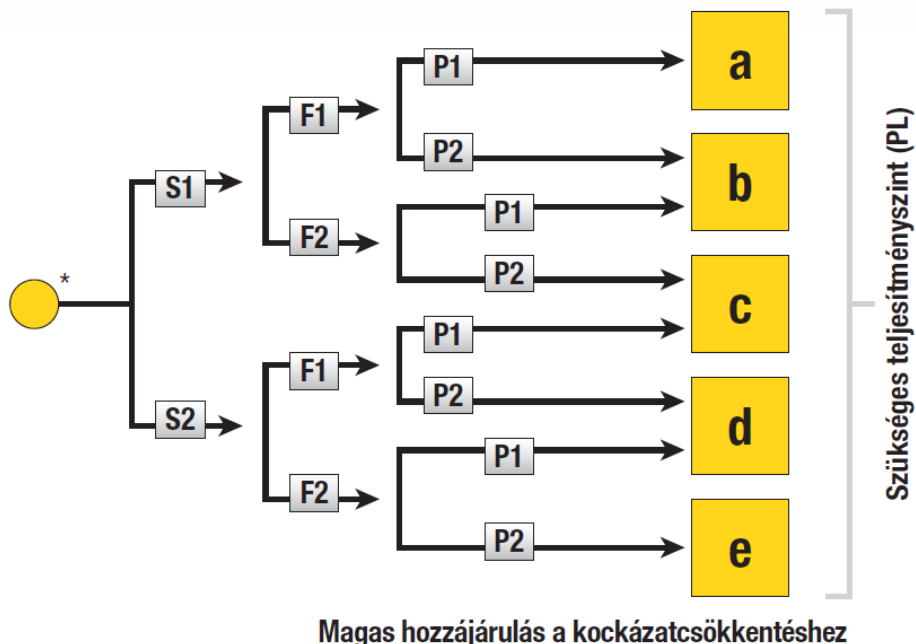
Megkülönböztetünk elérendő teljesítményszintet  $PL_r$  és elért teljesítményszintet PL

A kívánt teljesítményszintet két módon lehet meghatározni:

- Ha az adott gépre van vonatkozó C szabvány
- Kockázati gráf segítségével

A meghibásodás valószínűsége alapján a kockázati gráf segítségével meghatározható az 5 teljesítményszint. Az [a, b, c, d, e] szintek jelentik az  $PL_r$ - elérendő teljesítmény szintet. Minden egyes biztonsági funkcióhoz meg kell határozni a hozzá tartozó elérendő teljesítmény szintet.

#### Alacsony hozzájárulás a kockázatcsökkentéshez



9. ábra A teljesítményszint meghatározása kockázati gráf segítségével [15]

1. táblázat PL<sub>r</sub> kategóriák

PL <sub>r</sub>	Óránkénti veszélyes meghibásodások valószínűsége (PFHd) 1/h
a	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6} < 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6} < 3 \times 10^{-5}$
d	$\geq 10^{-7} < 10^{-5}$
e	$\geq 10^{-8} < 10^{-5}$

S – Sérülés súlyossága

S<sub>2</sub> - Súlyos (Maradandó sérülés vagy halál)

F - A veszély gyakorisága és a kitettség mértéke

F<sub>1</sub> - Nem gyakori vagy ritka, a kitettség ideje rövid

F<sub>2</sub> - Gyakori vagy folyamatos, a kitettség ideje hosszú

P - A veszély elkerülésének vagy a sérülés korlátozásának valószínűsége

P<sub>1</sub> - Bizonyos körülmények között lehetséges

[5, 17]

A funkcionális biztonságot kiszolgáló alkatrészek/eszközök szükséges biztonsági paramétereit:

- Kategória (szerkezeti követelmény)
- PL: Teljesítményszint
- MTTF<sub>d</sub>: A veszélyes meghibásodásig eltelt átlagos időtartam
- B<sub>10d</sub>: Azon ciklusszám, amely után a kopó alkatrészek 10%-a veszélyes módon meghibásodott
- DC: Diagnosztika terjedelme
- CCF: Általános okú hibák
- T<sub>M</sub>: Tervezett működési idő

[15]

A szabvány segítségével pontosan meghatározható a vezérlőrendszerek biztonsági alkatrészeinek teljesítményszintje (PL) az működési időre (T<sub>M</sub>) vonatkozóan.

**Összetevők és alrendszerek:**

A szükséges teljesítményszint ismeretében lehetőségünk van több paraméteren alapuló biztonsági funkció tervezésére.



A következő szempontok kell figyelembe venni:

- Kategóriákba sorolt hardverfelépítés (B, 1, 2, 3, 4)
- Alkotóelemek megbízhatósági adatai (MTTFd)
- Diagnosztikai lehetőségek (DC)
- Tervezési integritás

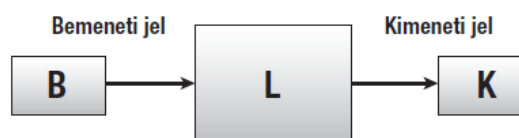
### 2.5.3.1 Kategória besorolás:

A biztonsági rendszereket 3 alrendszer alkotja. Bemenet, kimenet és a kettő között lévő logikai egység.

Négy kategóriát különböztetünk meg kialakítás alapján

- Kategória 1: Egycsatornás

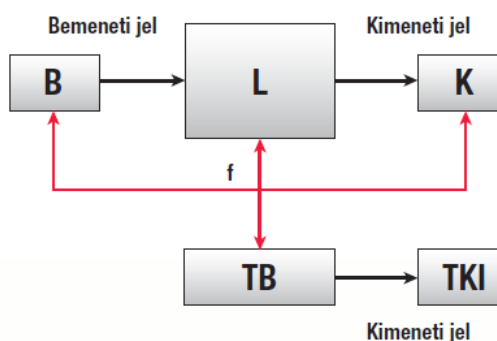
Megbízható egységek alkotják. Bármely egység meghibásodása a biztonsági funkció megszűnését okozza.



10. ábra kategória 1 [15]

- Kategória 2: Kétsatornás

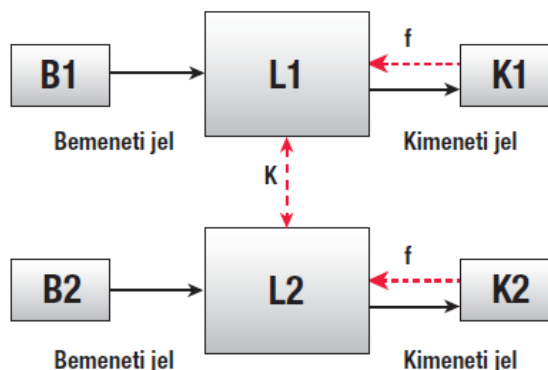
A gépbiztonsági rendszerek többsége ezt a kialakítást alkalmazza. Áll egy egycsatornás rendszerből és egy teszterből. A “TB” tesztberendezés figyeli az egycsatornás rendszer megfelelő működését. Ha minden rendben, azt a “TKI” tesztkimentre is elküldi. Hiba esetén a leállítás a tesztberendezésen keresztül is végbemehet, így nem esik ki a gép biztonsági funkciója.



11. ábra Kategória 2 [15]

- Kategória 3: Két hasonló csatorna alkalmazása

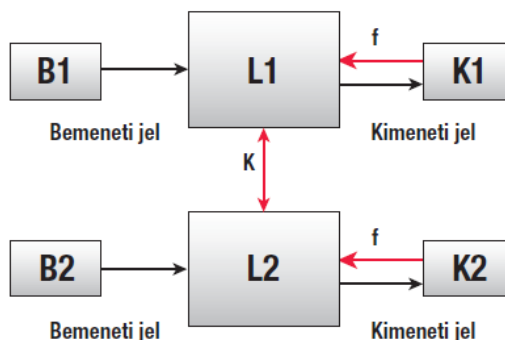
A rendszer előnye, hogy használhat mindkettő csatorna ugyanazon technológiát vagy eltérőt. A rendszer egyes kialakításokításainál szükséges a kimenetek figyelése „f”, vagy a logikai rendszer keresztfigyelése „k”.



12. ábra kategória 3 [15]

Kategória 4: Két hasonló csatorna + teszrendszer

Hasonló kialakítás, mint az 3-as kategória esetén, annyi különbséggel, hogy itt kötelezően megjelenik a logika keresztfigyelése „k” és a kimenetek figyelése „f”. Így a rendszer legtöbb hibájáról érkezik visszajelzés a biztonsági funkció kiesése nélkül.



13. ábra kategória 4 [15]

[7][8]

2.5.3.2 Alkotóelemek megbízhatósági adatai (MTTFd):

MTTFd (Mean Time To Failure) átlagos meghibásodási idő kifejezésből származik, ahol a [d]-(dangerous) a veszélyre utal.

Mivel a biztonsági funkciókért felelő részegységes meghibásodása veszélyeztetheti a gép normál működését, elengedhetetlen a megbízható alkatrészek használata. Minél megbízhatóbb egy alkatrész, annál kisebb az esélye a veszélyt előidéző meghibásodásnak. Ez az érték elektronikai és pneumatikai egységek esetén  $B_{10}$ , amely azon ciklusszámát jelenti, amely után a kopó alkatrészek 10%-a veszélyes módon meghibásodik. Ezt a gyártó adja meg, megadhatja  $B_{10}$ -ként vagy  $B_{10d}$ -ként.  $B_{10d} = 2 \times B_{10}$

Alacsony  $3 \text{ év} \leq \text{MTTFd} < 10 \text{ év}$

Közepes  $10 \text{ év} \leq \text{MTTFd} < 30 \text{ év}$

Magas  $30 \text{ év} \leq \text{MTTFd} < 100 \text{ év}$

$$\text{MTTFd} = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}}, n_{op} = \frac{op \times d_{op} \times 3600}{t_{ciklus}}$$

- $n_{op}$  az átlagos működés, óra/nap
- $d_{op}$  az átlagos működés, nap/év
- $t_{ciklus}$  az alkatrész két megkezdett működési ciklus között eltelt idő sec/ciklus
- A biztonsági funkció egészére vett MTTFd a biztonsági funkció komponenseinek MTTFd-ből számított eredője.

Pneumatikus alkatrészeknél a tipikus  $B_{10d} = 20\,000\,000$

[5][15]

### 2.5.3.3 Diagnosztikai lefedettség ( $DC_{AVG}$ ):

Az átlagos diagnosztikai lefedettség (DC - Diagnostic Coverage), egy viszonyszám, amely a meghibásodási rátán alapul.

$$DC_{AVG} = \frac{\text{Feltárt veszélyes meghibásodások}}{\text{Összes meghibásodás}}$$

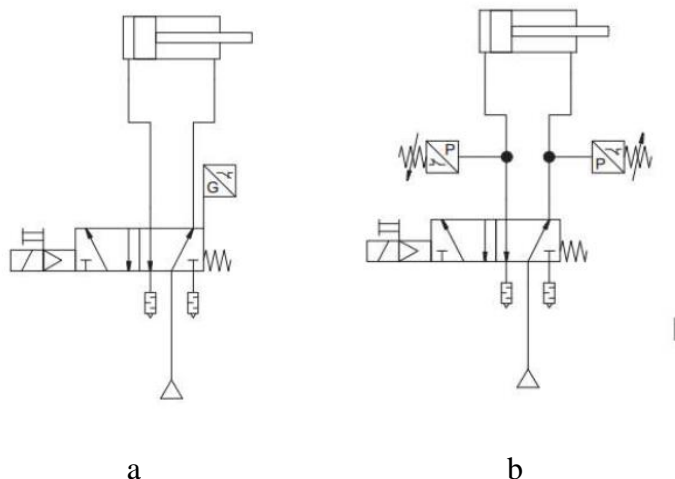
DC becsült értékét elemre vagy blokkra határozzuk meg. Blokk esetében a 2.5.3.1 fejezetben ismertetett módon bemenet, logika és kimenet szinten kerül meghatározásra a blokk egészére nézve.

A becsült DC értékeket az 13849-1 szabvány „E” - melléklete tartalmazza.

A szabvány három intervallumba sorolja a kapott arányszám alapján:

- Nincs  $DC < 60\%$
- Alacsony  $60\% \leq DC < 90\%$
- Közepes  $90\% \leq DC < 99\%$

- Magas  $99\% \leq DC$



a, Közvetlen  
útszelep működés  
ellenőrzés DC  
99%

b, Közvetett  
útszelep működés  
ellenőrzés DC 90-  
99%

14. ábra DC megvalósítási módok [2]

[5][15]

#### 2.5.3.4 Tervezési integritás (CCF):

CCF (Common Cause Failure) közös ok miatti meghibásodást jelent.

Erre a meghibásodási móddal az ISO 13849-1 szabvány „F” melléklete foglalkozik, amely egy a szabvány által definiált 100-pontos rendszert alkalmaz a közös meghibásodás ellen kialakított intézkedések pont szerinti besorolásába. A megfelelés érdekében a maximum kapható 100 pontból minimum 65-öt el kell érni

Az alkalmazott intézkedések alapján adható pontok eloszlása csoportokra lebontva:

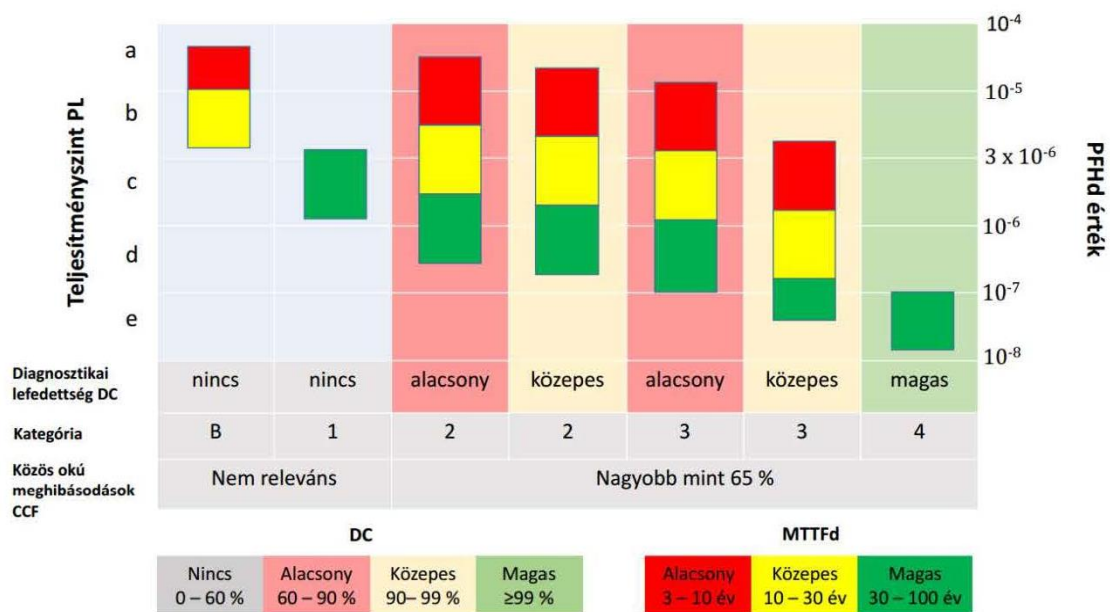
- Elkülönülés 15p
- Diverzitás-elv 20p
- Tervezés és fejlesztés: 20p
- Felmérési és elemzések 5p
- Szakértelem és oktatás 5p
- Környezet 35p

$\Sigma$  100p

[2]

### 2.5.3.5 Az alrendszer teljesítményszintje:

A táblázat és az alrendszer paraméterei segítségével az alrendszerek teljesítményszintje az ábra segítségével meghatározható.



15. ábra Teljesítményszint és vezérlési kategória, MTTFd, DC és CCF közötti összefüggés [2]

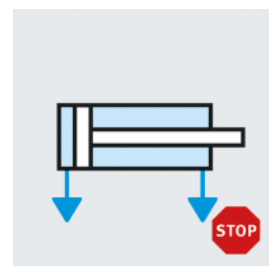
### 3.6. Alkalmazott biztonsági funkciók:

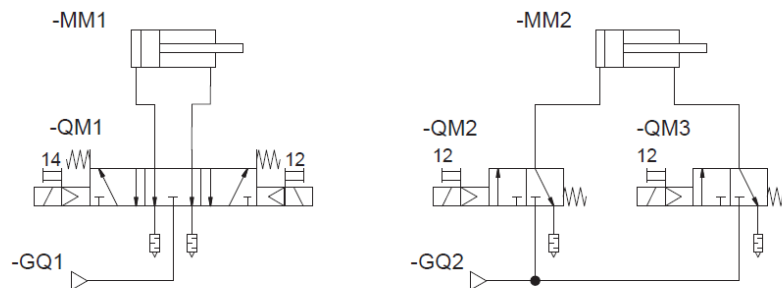
A dolgozatomban a következő biztonsági funkciókat fogom alkalmazni a proporcionális lineáris pneumatikus hajtás rendszerében.

#### 3.6.1. STO:

Safe torque off – Biztonságos nyomaték lekapcsolás

A pneumatikus rendszer hajtási energiájának biztonságos elvételét vezérelt folyamat segítségével szabályozottan hajtjuk végre. Ha a hajtás energiaellátását megszüntetjük, nincs munkát kifejtő erő, így a rendszer mozgási folyamatai megszűnnek, csökkentve a veszélyhelyzet kialakulását. A folyamat során a lineáris mozgást végző munkahenger kamráiból a munkaközeg eltávolításra kerül leürítési folyamat révén.





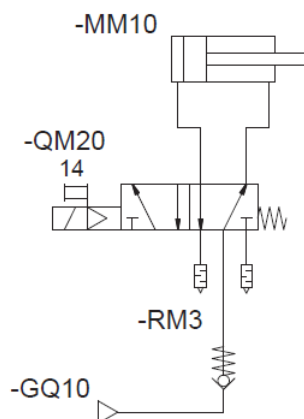
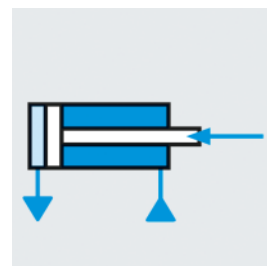
Component	Designation
QM1	5/3-way valve (mid-position exhausted)
QM2, QM3	3/2-way valve (NC)

16. ábra STO Pneumatikus megvalósítás [5]

### 3.6.2. SDI:

Safe Direction – Biztonságos mozgásirány.

A hajtómű adott munkafolyamat során lineáris hajtásnál egy kijelölt irányban végez munkát. Ez a biztonsági funkció az adott munkafolyamathoz rendelt elmozdulási iránnyal ellentétesirányú elmozdulást hivatott megakadályozni.



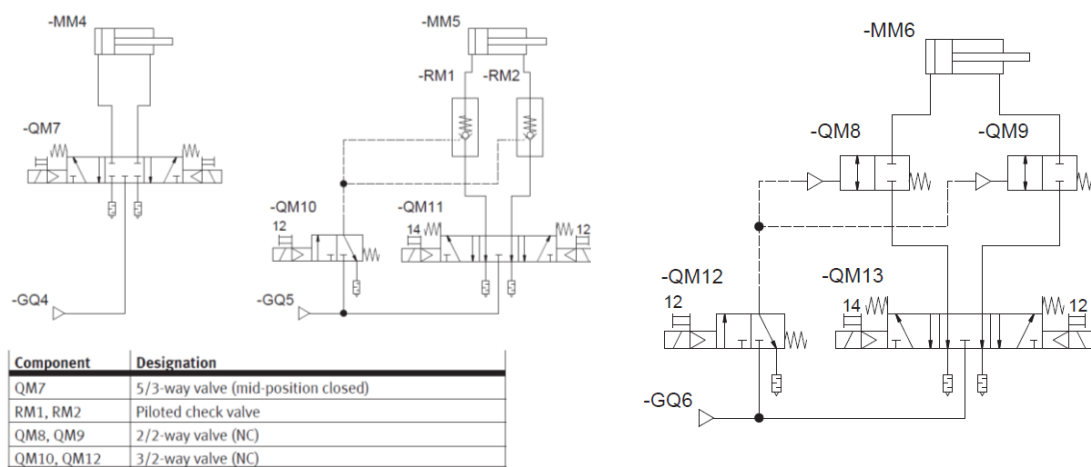
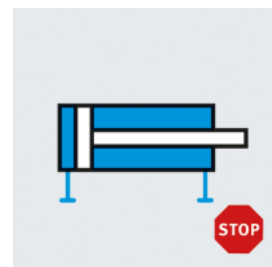
Component	Designation
QM20	5/2-way valve

17. ábra SDI Pneumatikus megvalósítás [5]

### 3.6.3. SSC:

Safe Stopping and Closing – Biztonságos leállítás és zárás.

A pneumatikus lineáris hajtást végző hajtómű 2 kamrája közül legalább az egyik munkaközegellátása vagy leürítése zárva van, így a tárolt energia végzi a leállítást.

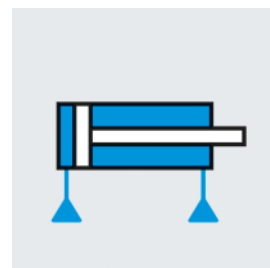


18. ábra SSC Pneumatikus megvalósítás [5]

### 3.6.4. SOS:

Safe Operating Stop – Biztonságos üzemi leállítás

A biztonsági funkció megakadályozza, hogy a rendszer leállása esetén a munkahenger pozíciója ne térjen el a leállítás pillanatában lévő munkahenger pozíciójától. Bármely külső erőhatás ellenében a pozíció nem változik.



## 4. Anyag és módszer:

### 4.1. Vizsgálat leírása:

A 4 biztonsági funkció STO, SDI, SSC, SOS hasonló beállítási értékek mellett történő vizsgálata. A kísérlet során a különböző terhelés és működési sebesség alkalmazása mellett az adott biztonsági funkciók működtetése után eltelt leállási idő változását és a leállási utánfutást vizsgálom, majd összehasonlító elemzést végzek a kapott értékek alapján

### 4.2. A vizsgálat menete:

- STO, SDI, SSC, SOS biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus rendszerek összeállítása.
- Adott munkahenger pozícióban a biztonsági funkció aktiválása.
- A biztonsági funkció aktiválása után az aktiválás és a megállás között eltelt leállási idő meghatározása és az utánfutás mérése.
- A folyamat vizsgálata különböző sebesség és mozgatott tömeg függvényében
- Összehasonlító elemzés készítése.

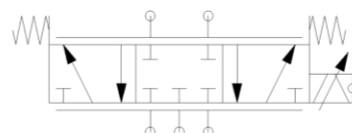
### 4.3. A pneumatikus rendszer fő egységei és műszaki jellemzőik:

A rendszer pneumatikus kapcsolása minden esetben a következő fő részegységekből épül fel:

- A rendszer energiaellátását kompresszor biztosítja, amely állandó 6 bar nyomással látja el a rendszert.
- A munkahenger pozicionálására 5/3-as proporcionális útszelepet alkalmaztam.



19. ábra MPYE proporcionális útszelep [13]



20. ábra Proporcionális szelep jelképe

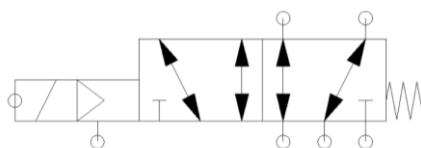
Műszaki paraméterei:



- Típus: MPYE-5-1/8-LF-010-B
- Vezérlőjel: Analóg 1-10 V
- Névleges áramlási mennyiség: 350 l/perc
- A biztonsági funkció megvalósítását 2 db 5/2-es monostabil mágnesszeleppel oldottam meg.



21. ábra VSVA monostabil mágnesszelep [14]



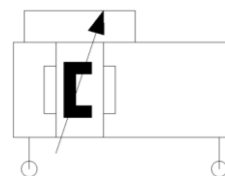
22. ábra Monostabil mágnesszelep jelképe

Műszaki paramétereit:

- Típus: VSVA-B-M52-MZH-A2-1R5L
- Vezérlő nyomás: 3 bar - 8 bar
- Vezérlő jel: 24V
- Névleges áramlási mennyiség: 550 l/perc
- A munkavégző lineáris hajtást megvalósítására kettős működésű dugattyúrúd nélküli tömítőszalagos siklóhengert alkalmaztam.



23. ábra DGPL Lineáris hajtómű [12]



24. ábra Lineáris hajtás jelképe

Műszaki paramétereit:

- Típus: DGPL-25-450-PPV-A-KF-B
- Löket: 450 mm
- Dugattyú átmérő: 25 mm

A méréshez szükséges különböző biztonsági funkciókkal megvalósított szervopneumatikai rendszereket FESTO FluidSim<sup>®</sup>4 szoftverkörnyezetben valósítottam meg.

#### 4.4. Változó paraméterek:

A pneumatikus rendszerekben két paraméter változtatásával vizsgálom az ezen paraméterek biztonsági funkciókra gyakorolt hatását. Az egyik a lineáris hajtással mozgatott tömege, a másik a lineáris hajtás mozgási sebessége.

Ez biztonsági funkcióként 20 mérést jelent

Az öt különböző tömegű mozgatott teher:

0 kg                      2,5 kg                      5 kg                      7,5 kg                      10 kg

A munkahenger mozgási sebességének százalékos felosztása, ahol a 100% a munkahenger maximális sebessége:

100%                      75%                      50%                      25%

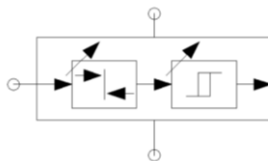
A munkahenger mozgási sebességét az elektromos vezérlésnél alkalmazott alapjel változtatásával érem el. A setpoints beállítási értékeit a **2. táblázat** tartalmazza.

2. táblázat Beállítási értékek

	W1	W2
<b>100%</b>	0 V	10 V
<b>75%</b>	0 V	8,75 V
<b>50%</b>	0 V	7,5 V
<b>25%</b>	0 V	6,25 V

#### 4.5. A biztonsági funkció aktiválásának megvalósítása:

A biztonsági funkció aktiválására egy komparátort használtam, mely automatikusan a munkahenger 450 mm -es teljes lökethossz felénél működteti a biztonsági funkciót. A beállítási paraméterei a 0-10 V-os alapjellel vezérelt munkahenger pozíció esetén 5 V, Histerézis értékét 0,05 V-ra állítottam.

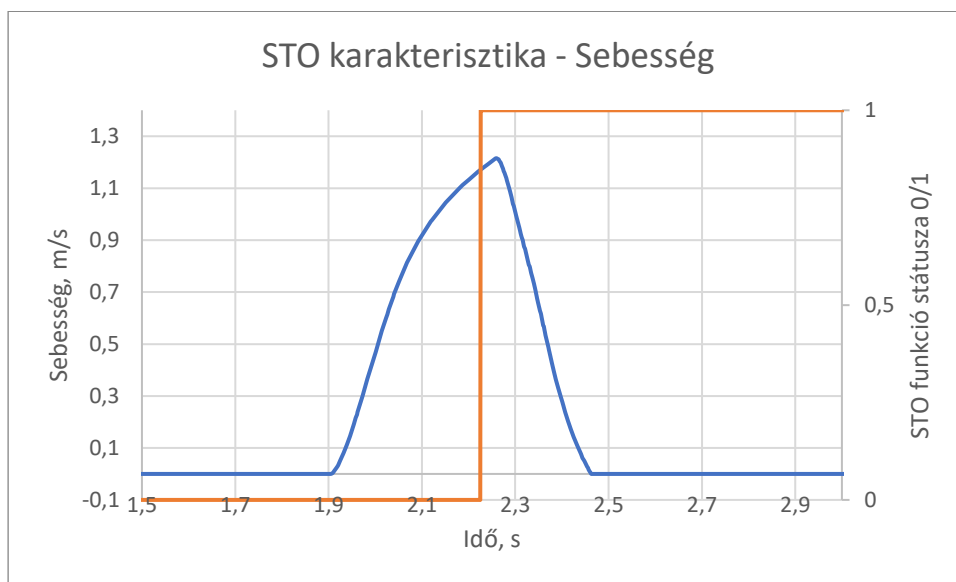


25. ábra Komparátor elektromos jelképe

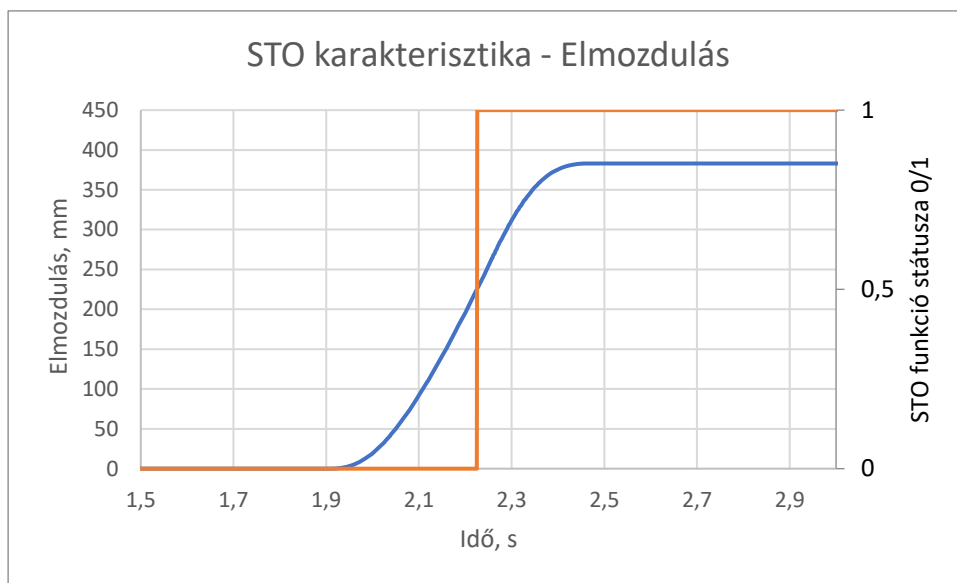
#### 4.6. STO - Biztonságos nyomaték lekapcsolás

Az STO alkalmazása azoknál a hajtásoknál előnyös, ahol feltételként van megadva a hajtás energiaellátásának biztonsági funkció aktiválása utáni azonnali elvétele. Amíg a biztonsági funkció aktív, védelmet nyújt a hajtómű mozgásának újbóli elindítása ellen.

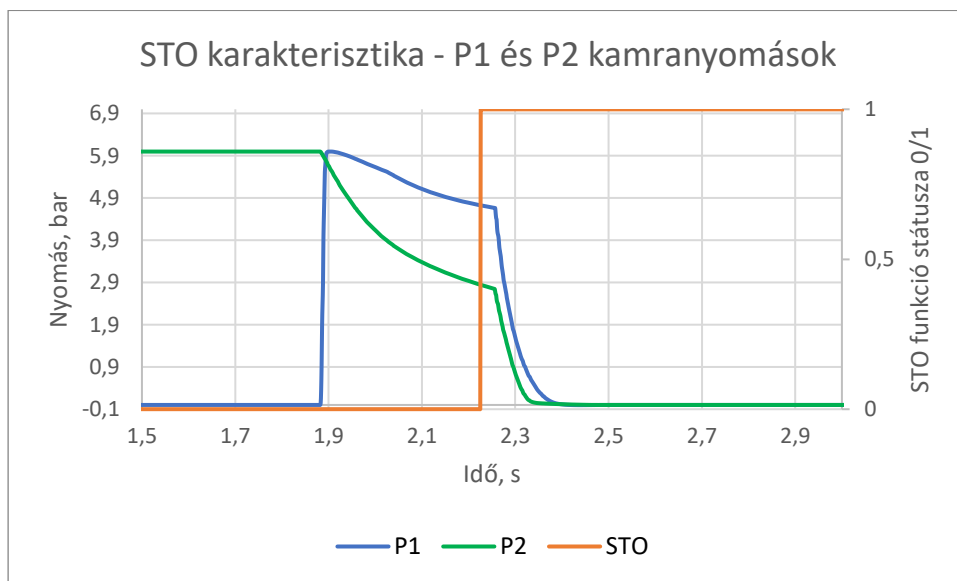
Az általam alkalmazott lineáris hajtás esetén a STO aktiválásakor az „A” és „B” szelep áramellátását elveszük és a munkahenger mindkét kamrájából a nyomást lecsökkentjük 0-ra a biztonsági szelepeken keresztül történő leszellőztetés segítségével. Mivel a henger kamráiban egyszerre alkalmazzuk a nyomatéklevételt, a munkahenger mozgása rövid időn belül leáll.



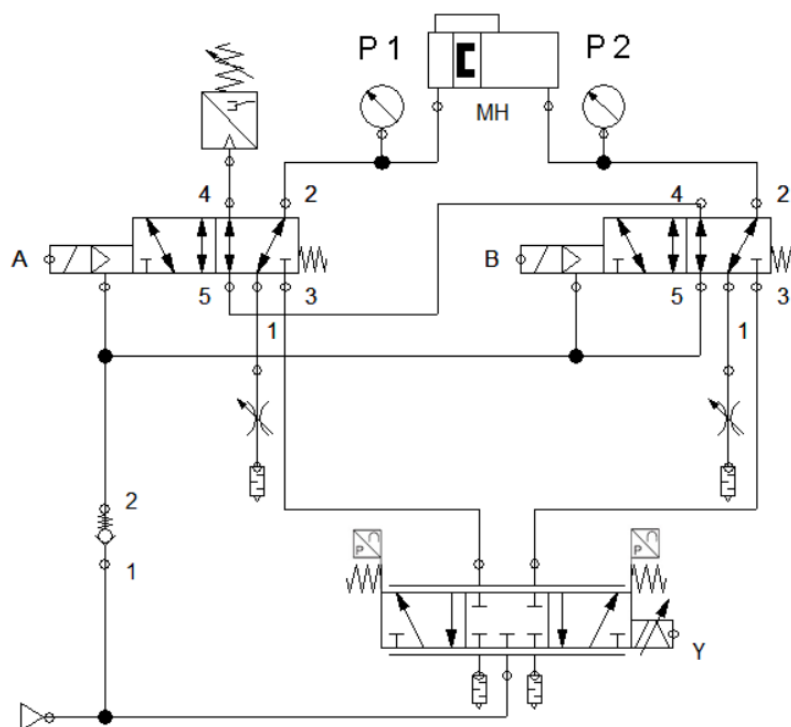
26. ábra STO biztonsági funkció munkahenger mozgási sebességének karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



27. ábra STO biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett

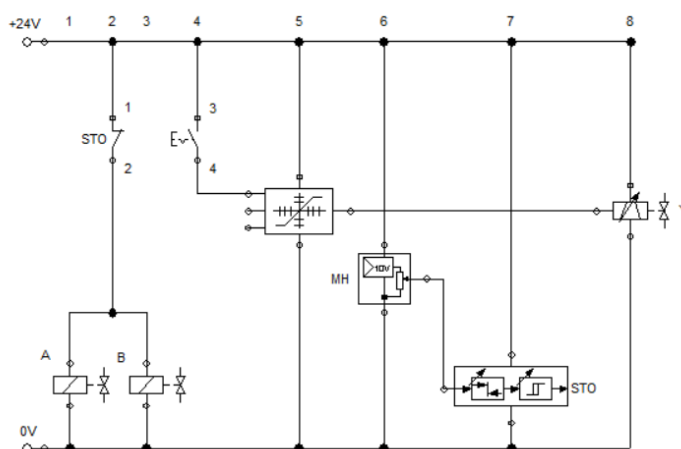


28. ábra STO biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



29. ábra A vizsgált lineáris hajtómű STO biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus kapcsolási rajza

Az „A” és „B” jelöléssel rendelkező monostabil mágnesszelepek végzik a biztonsági funkció aktiválása után a rendszer nyomatéklevételét. A 24 V vezérlő jel kapcsolása után szabadon engedi a munkahenger mozgásának proporcionális szeleppel történő szabályzását.



30. ábra A rendszer elektromos kapcsolási rajza

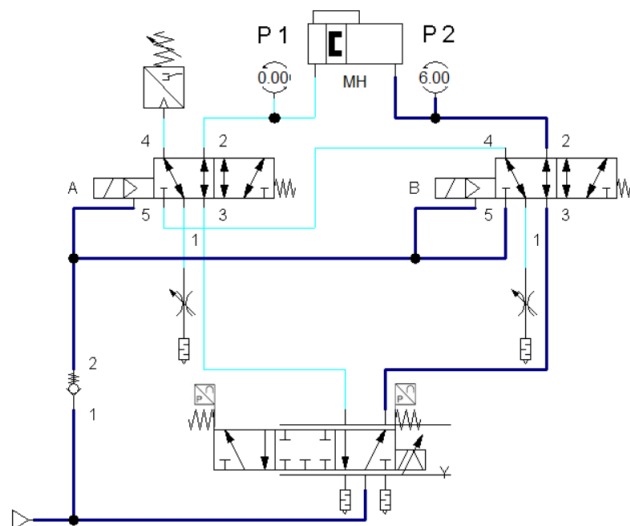
**Az STO biztonsági funkcióval ellátott rendszer jellemzői:**

Funkciók:

- Váratlan indítás elleni védelem (2 csatornás)
- Leszellőztetés (1 csatornás)
- Leállítási kategória EN 60204-1 szerint: "0", amely a gép működtető egységeinek azonnali áramelvételét jelenti
- A kompresszor állandó levegőellátása nem lekapcsolható, a rendszertől független.

3. táblázat Az STO biztonsági funkcióval ellátott rendszer műszaki jellemzői

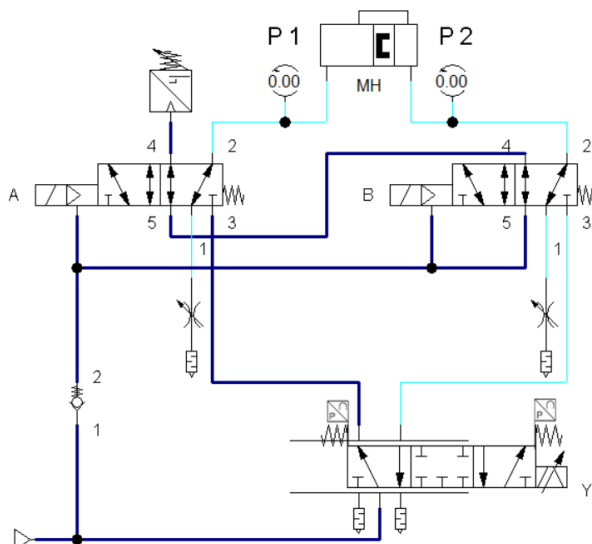
	Jelölés	Biztonságos mozgásirány	Akaratlan indítás
Kategória:	Cat	2	3
Teljesítmény szint:	PL	d	d
Diagnosztikai lefedettség:	DC	Közepes	Közepes
Tervezési integritás:	CCF	>65%	>65%
Csatornák száma:	Channels	1	2



31. ábra Kiindulási állapot a feltöltött rendszerrel

A rendszer indítását követően a munkahenger jobb kamráját feltöltjük az üzemi 6 bár nyomással. Az ábrán jól látható a nyomás alatt lévő, sötét színnel jelzett légvezetékek és a nyomásmentes légvezetékek. A biztonsági szelepek szabad légáramlást engedélyeznek a

munkahenger két kamrájában, így a lineáris hajtás megvalósítása független a biztonsági szelepektől, azt csak a proporcionális szelep vezérli.



32. ábra Az STO aktiválása utáni nyomáseloszlás

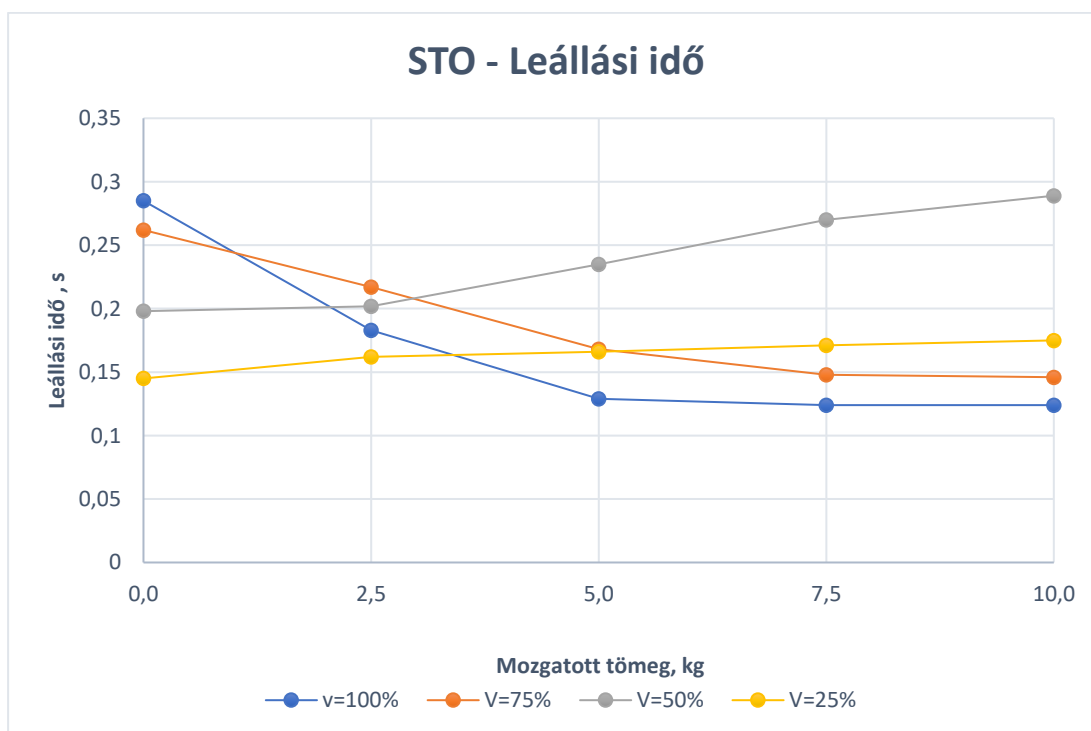
A biztonsági funkció aktiválása után megtörténik a biztonságos nyomatéklevétel és a biztonsági szelepeken keresztül a kamrákban lévő nyomás azonnali csökkentése a biztonsági szelepeken keresztül. A munkahenger rövid időn belül nyomatékmentes állapotba kerül. Ebben az állapotban a munkahenger pozíciója a nyomásmentesség miatt, manuálisan is módosítható. A leállási időt befolyásolja a munkahenger sebessége és a mozgatott tömeg

**A mérés során kiértékelt eredmények a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében:**

4. táblázat Az STO biztonsági funkció mellett mért szimulációs értékek

STO				
Sebesség	Tömeg, kg	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,0	0,285	393,52	168,52
	2,5	0,183	450	225
	5,0	0,129	450	225
	7,5	0,124	450	225
	10,0	0,124	450	225
75%	0,0	0,262	373,63	148,63
	2,5	0,217	423,78	198,78
	5,0	0,168	450	225
	7,5	0,148	450	225

	10,0	0,146	450	225
<b>50%</b>	0,0	0,198	328,39	103,39
	2,5	0,202	357,88	132,88
	5,0	0,235	383,01	158,01
	7,5	0,27	404,47	179,47
	10,0	0,289	422,44	197,44
<b>25%</b>	0,0	0,145	259,04	34,03765
	2,5	0,162	262,50	37,50
	5,0	0,166	265,08	40,08
	7,5	0,171	266,78	41,78
	10,0	0,175	267,93	42,93



33. ábra Leállási idő a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében STO biztonsági funkció alkalmazásával

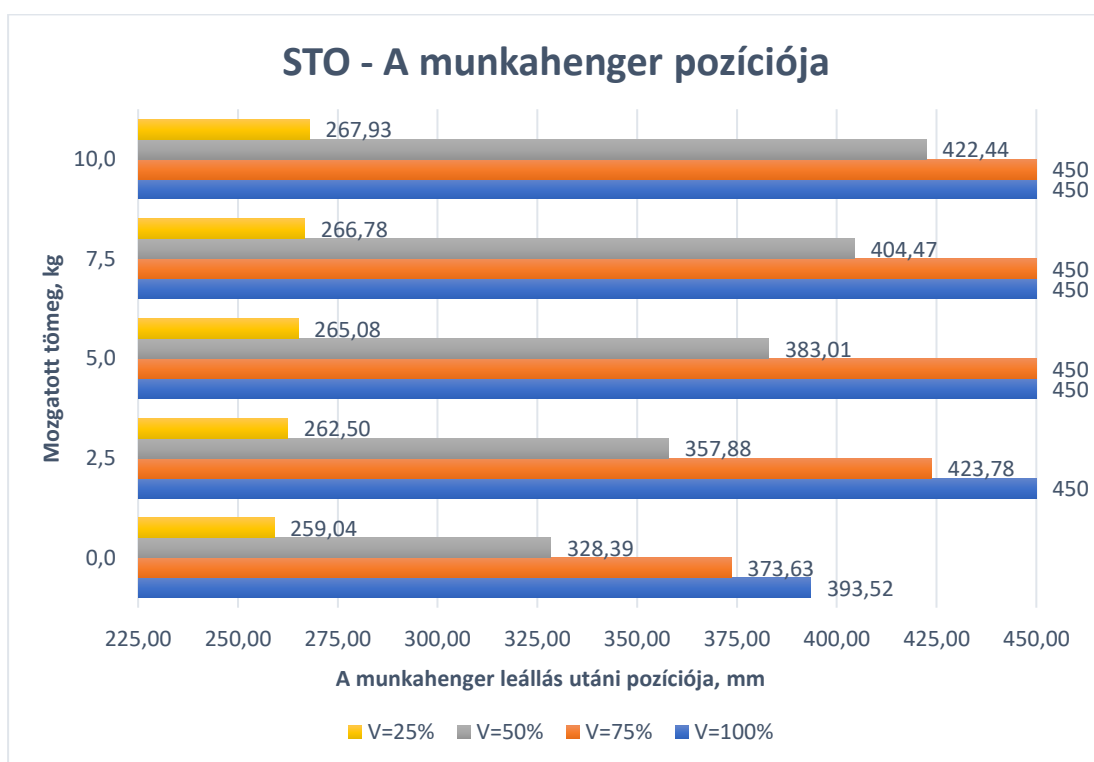
Ennél a biztonsági funkció alkalmazásánál, 100% -os működési sebesség mellett a leállítási idő terheletlen állapot kivételével túlfut a munkahenger teljes lökethosszán, így a teljes leállás előtt felütközik végállásban. 75%-os sebesség mellett 0 és 2,5 kg-os mozgatott tömeg esetében még időben le tudja állítani a munkahenger mozgását, viszont nagyobb tömegek mozgatása esetén nem képes időben megállni a munkahenger mozgását.



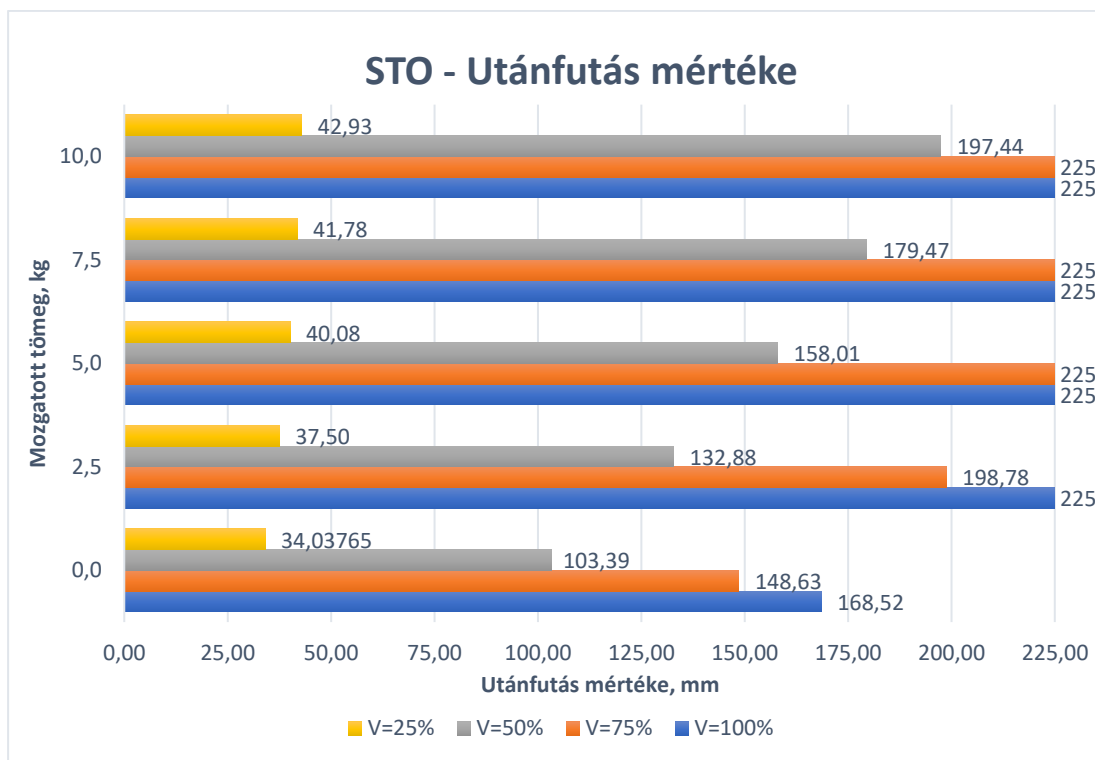
A biztonsági funkció vizsgálata során megfigyelhető, hogy mennél alacsonyabb a működési sebesség, annál inkább csökken a mozgatott tömeg hatása a biztonsági funkció megfelelő végrehajtására.

25%-os sebesség mellett a leállási idő, a munkahenger leállási pozíciója és az utánfutás mértéke a mozgatott tömegek függvényében minimális különbséget mutat.

50%-os sebesség mellett a mozgatott tömeg súlya lineárisan hat a leállási időre, a munkahenger pozíciójára és az utánfutás mértékére.



34. ábra A munkahenger leállás utáni pozíciója STO biztonsági funkció alkalmazásával



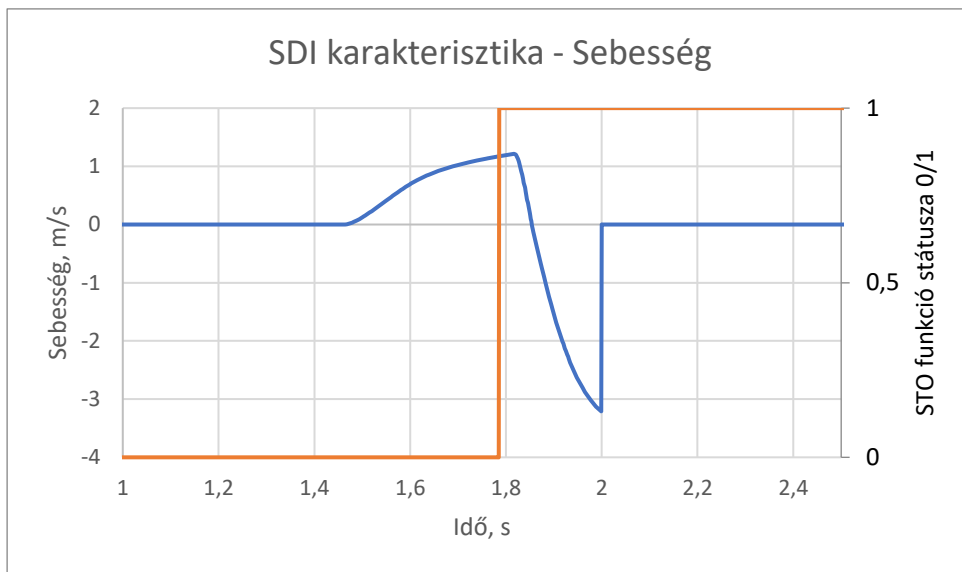
35. ábra A munkahenger elmozdulásának mértéke STO biztonsági funkció alkalmazása után

#### 4.7. SDI - Biztonságos mozgásirány

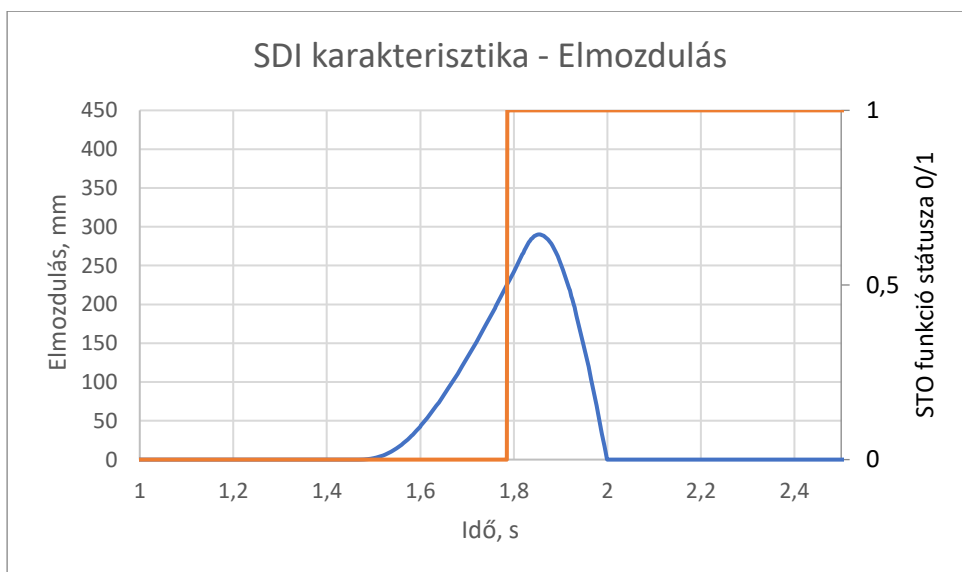
Az SDI alkalmazása azoknál a hajtásoknál előnyös, ahol a biztonsági funkció aktiválása után egy előre meghatározott irányba kívánjuk a munkahenger mozgását vezérelni a leállásig. A rendszer előnye, hogy a biztonsági funkció megakadályozza az aktiválás után a nem kívánt irányban történő elmozdulást, amelyet a biztonsági funkció kikapcsolásáig fent is tart az ellenoldali kapra nyomás alatt tartásával.

Az általam alkalmazott lineáris hajtás esetén az SDI aktiválásakor az „A” és „B” szelep áramellátását elveszük és a munkahengert a kiindulási „0” pozícióba mozdítjuk.

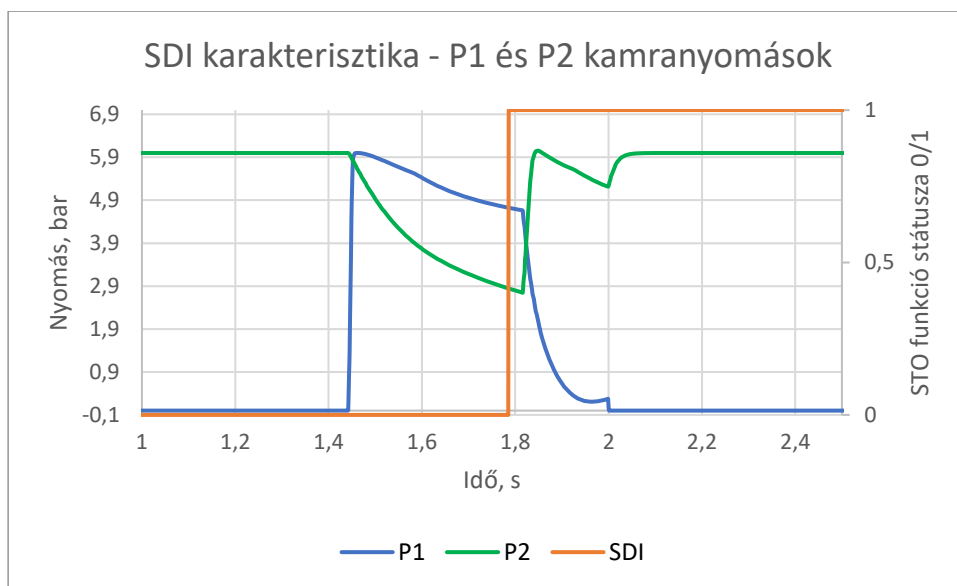
A biztonsági funkció aktiválása után a szelepektől elveszük a 24 V-ot és rugó ellenében alaphelyzetbe állnak, így azonnal megkezdődik a munkavégző biztonságos irányban történő mozgatása az ellenkező oldali kamrába vezérelt nyomás és a mozgás irányában lévő kamra leszellőztetésének segítségével. A folyamat végén a munkavégző a kiindulási állapotban áll meg.



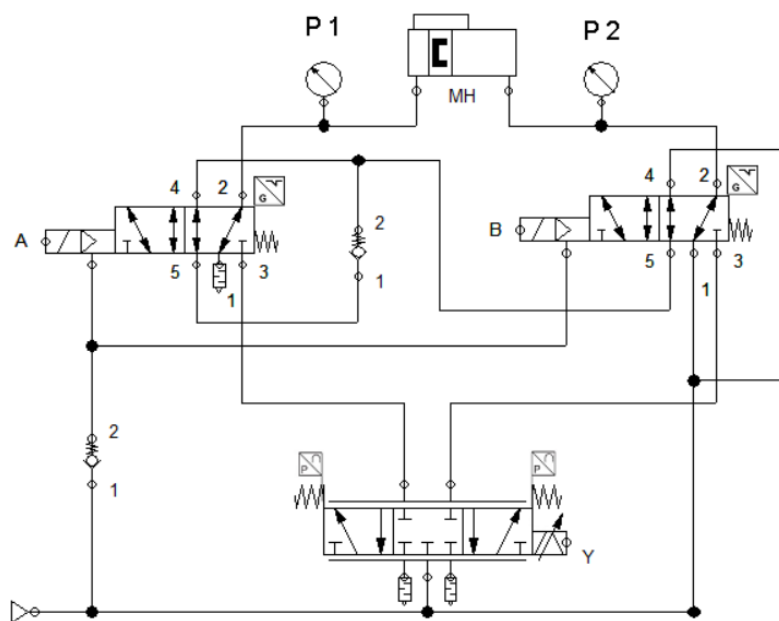
36. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger mozgási sebességének karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



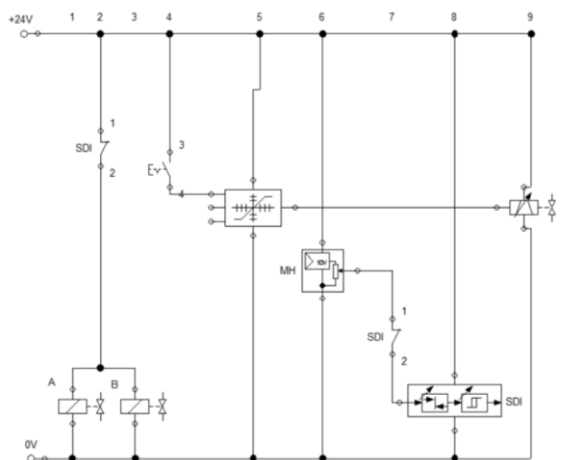
37. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



38. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



39. ábra A vizsgált lineáris hajtómű SDI biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus kapcsolási rajza



40. ábra A rendszer elektromos kapcsolási rajza

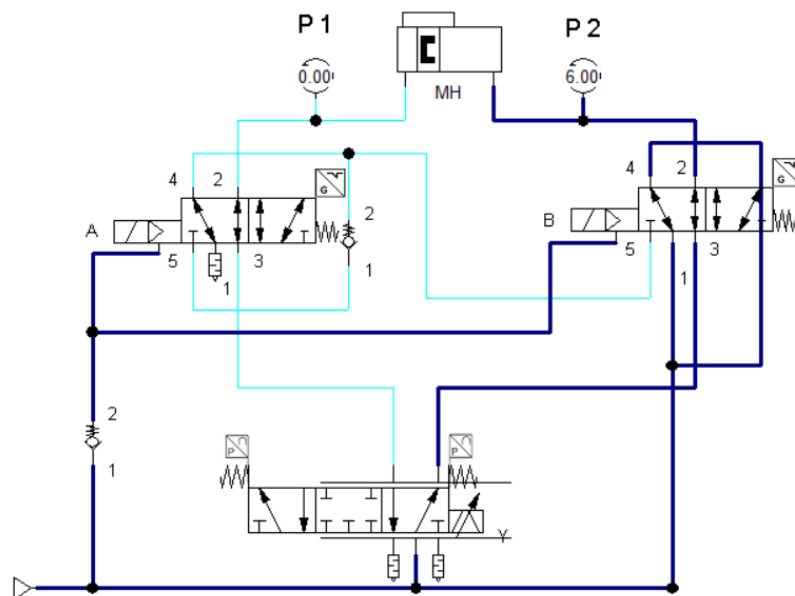
**Az SDI biztonsági funkcióval ellátott rendszer jellemzői:**

Funkciók:

- Váratlan indítás elleni védelem (2 csatornás)
- Biztonságos mozgásirány (1 csatornás)
- A biztonságos mozgásirány sebességének szabályozhatósága (1 csatornás)
- A kompresszor állandó levegőellátása nem lekapcsolható, a rendszertől független.

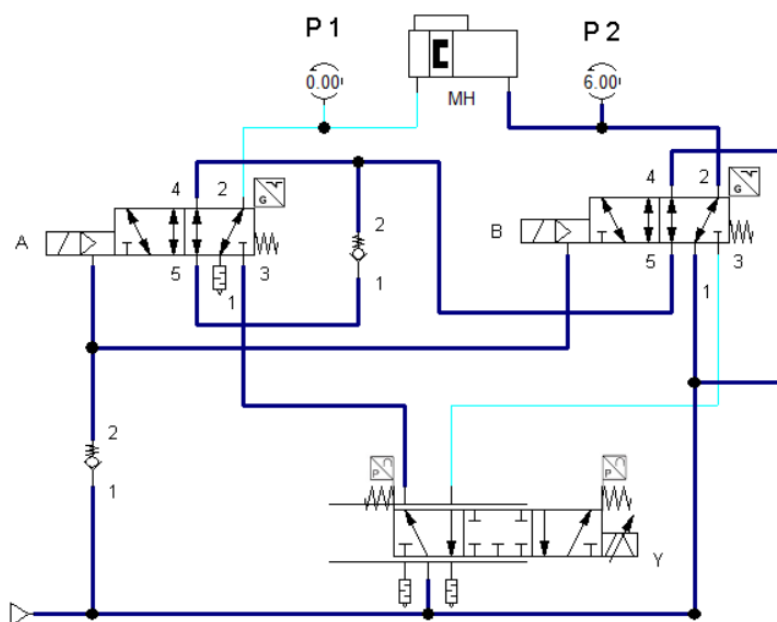
5 táblázat Az SDI biztonsági funkcióval ellátott rendszer műszaki jellemzői

	Jelölés	Biztonságos mozgásirány	Akaratlan indítás
Kategória	Cat	2	3
Teljesítmény szint	PL	d	d
Diagnosztikai lefedettség	DC	Közepes	Közepes
Tervezési integritás	CCF	>65%	>65%
Csatornák száma	Channels	1	2



41. ábra Kiindulási állapot a feltöltött rendszerrel

A rendszer indítását követően a munkahenger jobb kamráját feltöltjük az üzemi 6 bár nyomással. Az STO-hoz hasonlóan az “A” és “B” szelepek feszültség alatt szabad légáramlást biztosítanak.



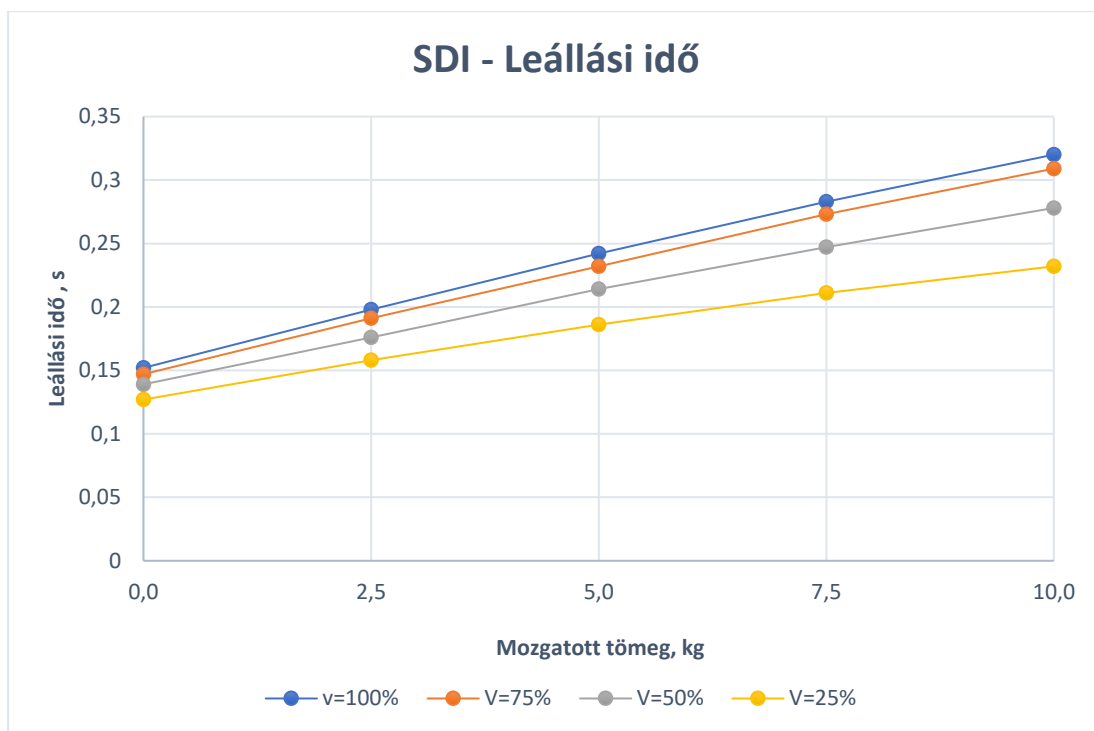
42. ábra Az SDI aktiválása utáni nyomáseloszlás

A biztonsági funkció aktiválása után a munkahenger a kijelölt biztonságos irányba kezd el mozogni az irányhoz tartozó kamra leszellőztetésével és az ellenoldalon lévő kamrában történő üzemi 6 bar nyomás segítségével. A mozgási folyamat addig tart, míg a munkahenger el nem éri a kiindulási pozíciót. A leállási időt befolyásolja a munkahenger sebessége és a mozgatott tömeg. Aktív biztonsági állapotban a munkahenger nem tud a kijelölt iránnyal ellentétes mozgást megvalósítani, eről az ellenoldali kamra állandó nyomás alatt tartása gondoskodik.

**A mérés során kiértékelt eredmények a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében:**

*6. táblázat Az SDI biztonsági funkció mellett mért szimulációs értékek*

SDI			
Sebesség	Tömeg, kg	Leállási idő, s	Pozíció, mm
100%	0,0	0,152	0
	2,5	0,198	0
	5,0	0,242	0
	7,5	0,283	0
	10,0	0,32	0
75%	0,0	0,147	0
	2,5	0,191	0
	5,0	0,232	0
	7,5	0,273	0
	10,0	0,309	0
50%	0,0	0,139	0
	2,5	0,176	0
	5,0	0,214	0
	7,5	0,247	0
	10,0	0,278	0
25%	0,0	0,127	0
	2,5	0,158	0
	5,0	0,186	0
	7,5	0,211	0
	10,0	0,232	0



43. ábra Leállási idő a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében SDI biztonsági funkció alkalmazásával

Ennél a biztonsági funkció alkalmazásánál jól megfigyelhető, hogy a vizsgált sebességtartományokban a tömeg függvényében lineárisan nő a leállási idő. Minél nagyobb a mozgatni kívánt tömeg, annál tovább tart a leállási idő. Sebesség függvényében minél kisebb sebességgel működtetjük a munkahengert, annál rövidebb a teljes leálláshoz szükséges idő.

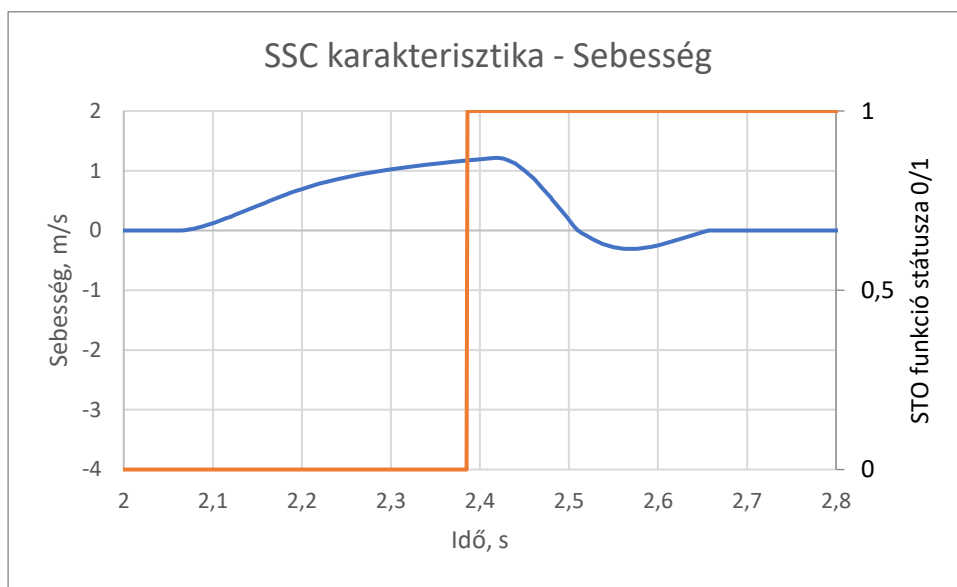
A biztonsági funkció végén mindig a 0 mm kiindulási pozíciót veszi fel a munkahenger.

#### 4.8. SSC - Biztonságos leállítás és bezárás

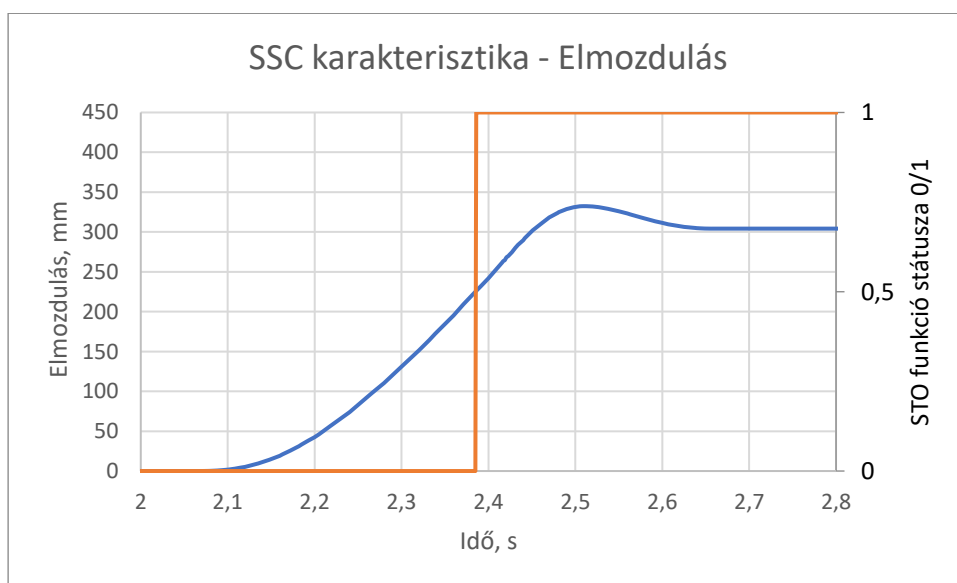
Az SSC alkalmazása azoknál a hajtásoknál előnyös, ahol a biztonsági funkció aktiválása után a munkahengert 1 adott pozícióban kívánjuk tartani. Ez az állapot a két kamra lezárásával érhető el. Ez a biztonsági funkció nem alkalmas hosszú távú pozícióban tartásra, mivel a résveszteség miatt idővel veszít a tárolt nyomásértékből. A rendszer legnagyobb hátránya a karbantartás során fentálló túlnyomás okozta robbanásveszély. Karbantartás előtt mindig ügyelni kell a rendszer energiamentesítésére.



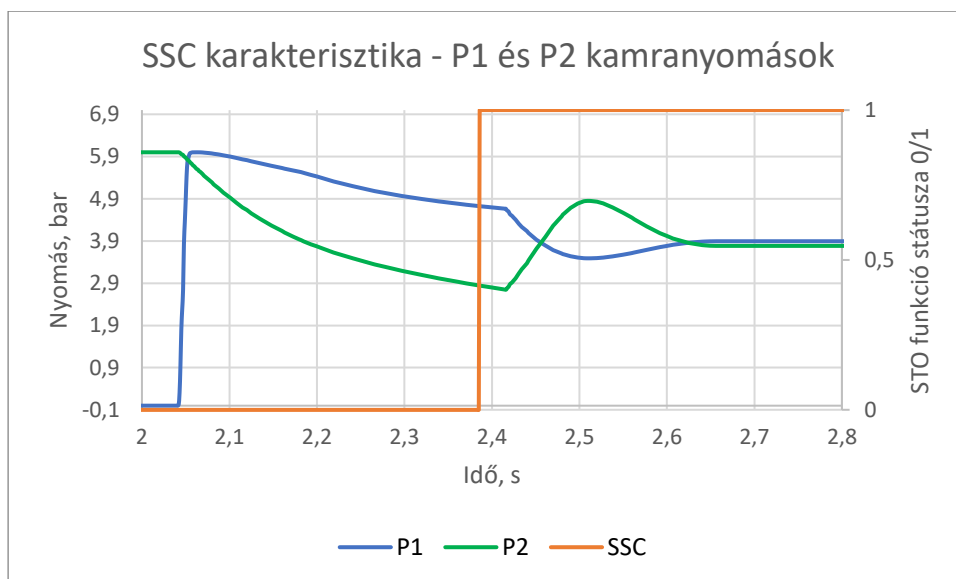
Az általam alkalmazott lineáris hajtás esetén az SSC aktiválásakor az „A” és „B” szelep áramellátását elveszük és a szelepek alaphelyzetbe állásának következtében a munkahenger kamráiban lévő nyomást bezárjuk. A bennük tárolt energiát felhasználjuk a munkahenger mozgásának leállítására.



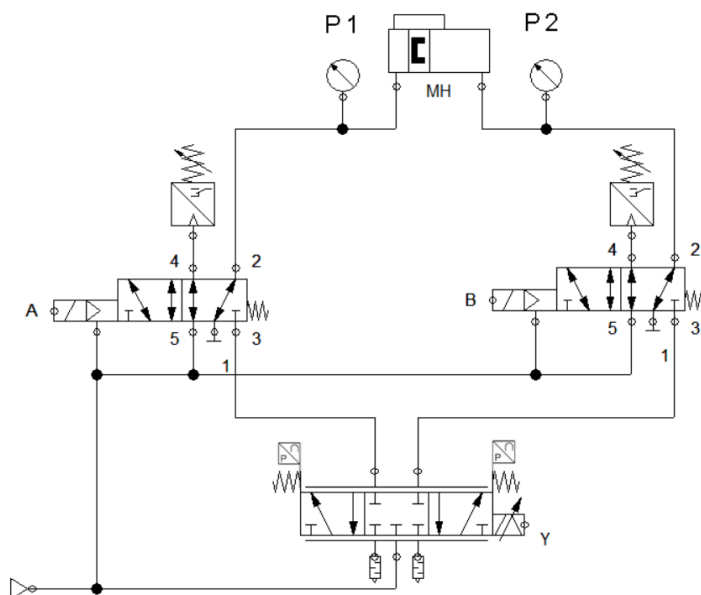
44. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger mozgási sebességének karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



45. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett

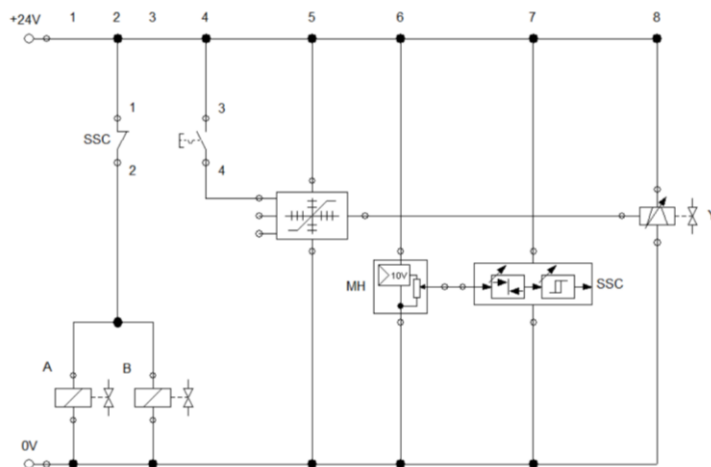


46. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



47. ábra A vizsgált lineáris hajtómű SSC biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus kapcsolási rajza

Az „A” és „B” jelöléssel rendelkező monostabil mágnesszelepek végzik a biztonsági funkció aktiválása után a munkahenger kamráinak lezárását és ezzel a tárolt energia bezárását, amely segíti a munkahenger mozgásának leállítási folyamatát.



48. ábra A rendszer elektromos kapcsolási rajza

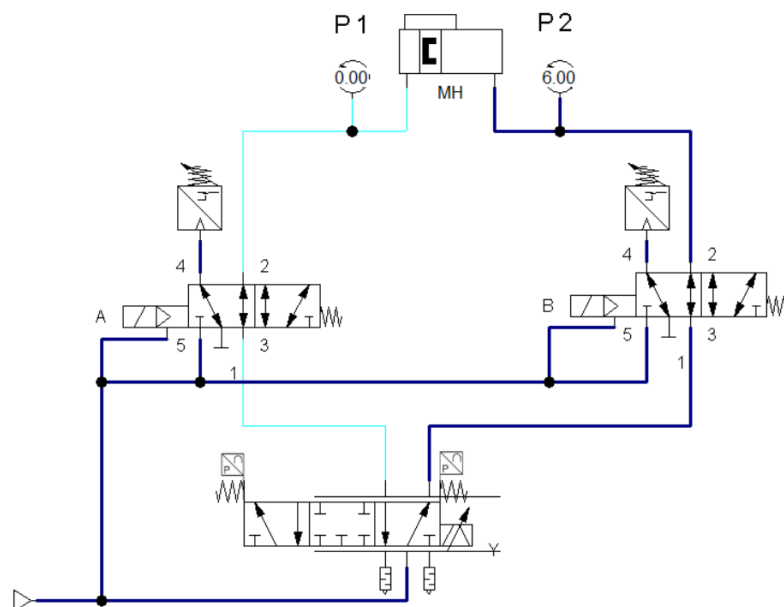
### Az SSC biztonsági funkcióval ellátott rendszer jellemzői:

Funkciók:

- Váratlan indítás elleni védelem (2 csatornás)
- Biztonsági intézkedés: Mozgásmegállítás (2 csatornás)
- Leállítási kategória EN 60204-1 szerint: "1" vezérelt leállítás, majd a leállítás elérésekor a teljesítmény elvétele nem befolyásolja a megállított pozíció tartását.
- A kompresszor által biztosított levegőellátás kikapcsolható (2 csatornás)

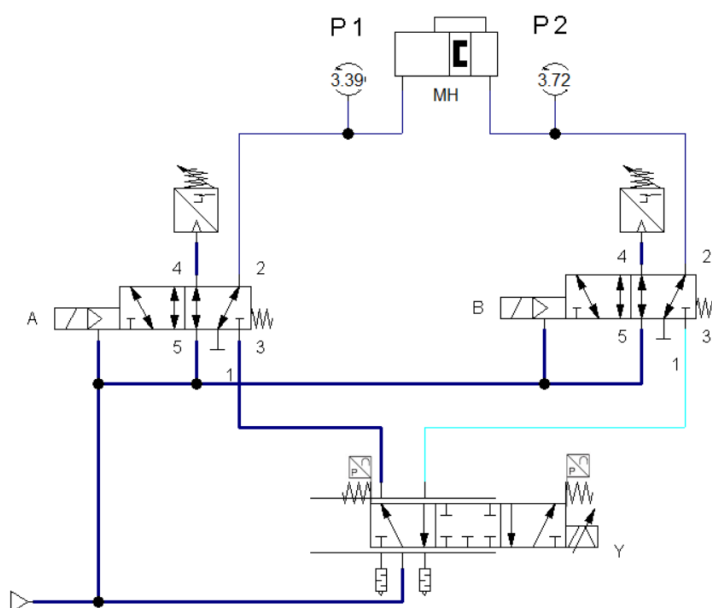
7. táblázat Az SSC biztonsági funkcióval ellátott rendszer műszaki jellemzői

	Jelölés	Biztonságos megállítás, pozíciótartás és akaratlan elindítás elleni védelem
Kategória	Cat	3
Teljesítmény szint	PL	d
Diagnosztikai lefedettség	DC	Magas
Tervezési integritás	CCF	>65%
Csatornák száma	Channels	2



49. ábra Kiindulási állapot a feltöltött rendszerrel

A rendszer indítását követően a munkahenger jobb kamráját feltöltjük az üzemi 6 bár nyomással. A biztonsági szelepek feszültség alatt szabad légáramlást tesznek lehetővé a munkahenger kamrái részére.



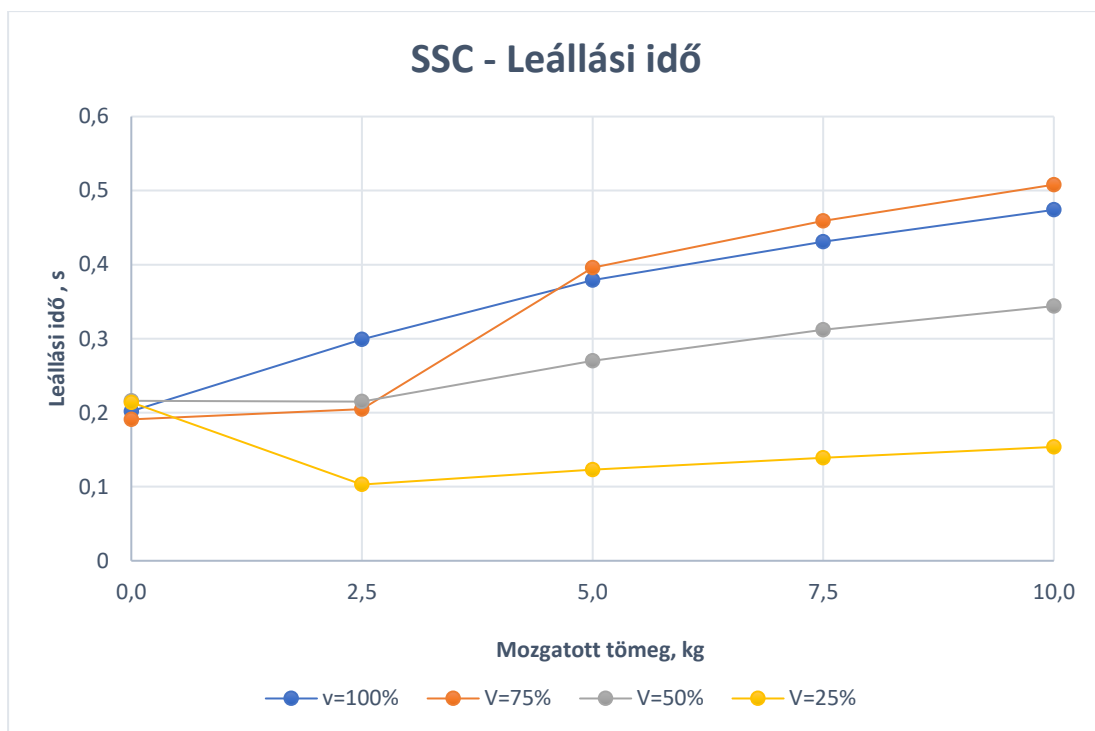
50. ábra Az SSC aktiválása utáni nyomáseloszlás

A biztonsági funkció aktiválása után a munkahenger kamrába bezárjuk a munkaközeget és a zárt állapotban a kamrákban lévő adott nyomáson bezárt munkaközeget felhasználjuk a mozgás megállítására. A munkahenger a kétoldalt bezárt nyomás hatására mielőbbi leállásra kényszerül. A szimuláción jól megfigyelhető a két kamrában mért nyomásérték megtartása a biztonsági funkció aktiválása után, a leállást követően. A leállási időt befolyásolja a munkahenger sebessége és a mozgatott tömeg súlya.

**A mérés során kiértékelt eredmények a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében:**

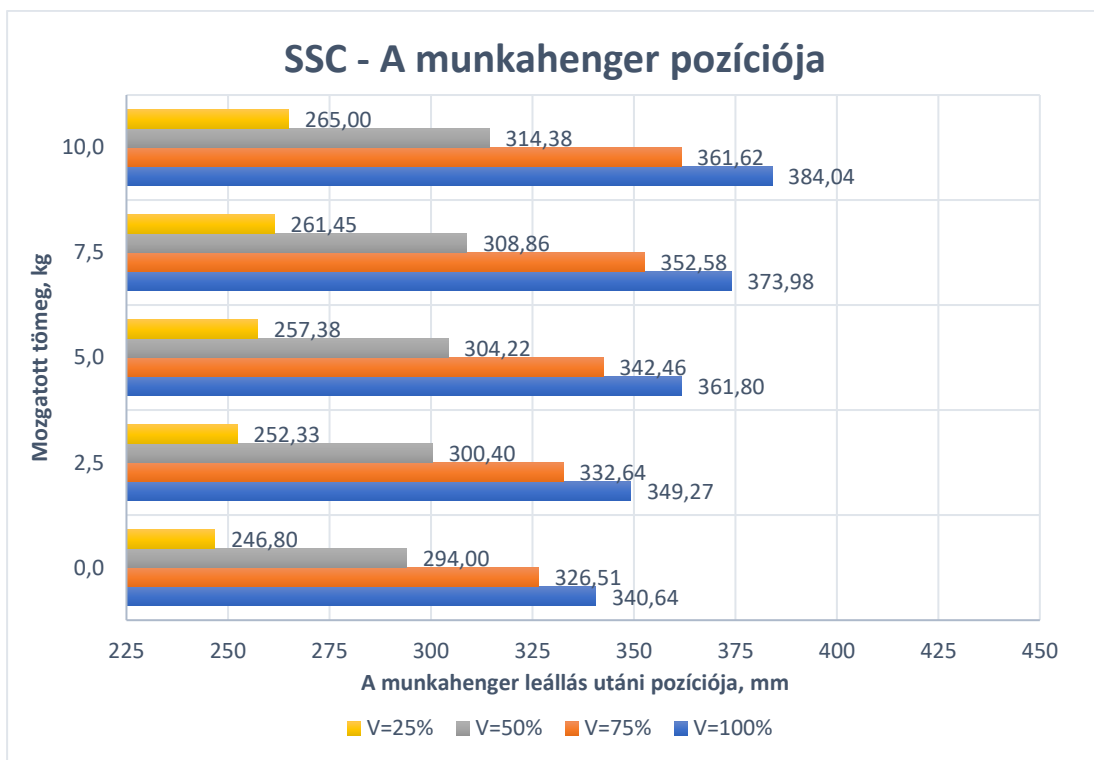
8. táblázat Az SSC biztonsági funkció mellett mért szimulációs értékek

SSC				
Sebesség	Tömeg, kg	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,0	0,202	340,64	115,64
	2,5	0,299	349,27	124,2709
	5,0	0,379	361,80	136,8012
	7,5	0,431	373,98	148,9758
	10,0	0,474	384,04	159,0391
75%	0,0	0,191	326,51	101,51
	2,5	0,205	332,64	107,6415
	5,0	0,396	342,46	117,462
	7,5	0,459	352,58	127,5759
	10,0	0,508	361,62	136,6156
50%	0,0	0,216	294,00	68,99529
	2,5	0,215	300,40	75,4043
	5,0	0,27	304,22	79,2244
	7,5	0,312	308,86	83,8593
	10,0	0,344	314,38	89,38
25%	0,0	0,214	246,80	21,79508
	2,5	0,103	252,33	27,3269
	5,0	0,123	257,38	32,3774
	7,5	0,139	261,45	36,45
	10,0	0,154	265,00	39,998

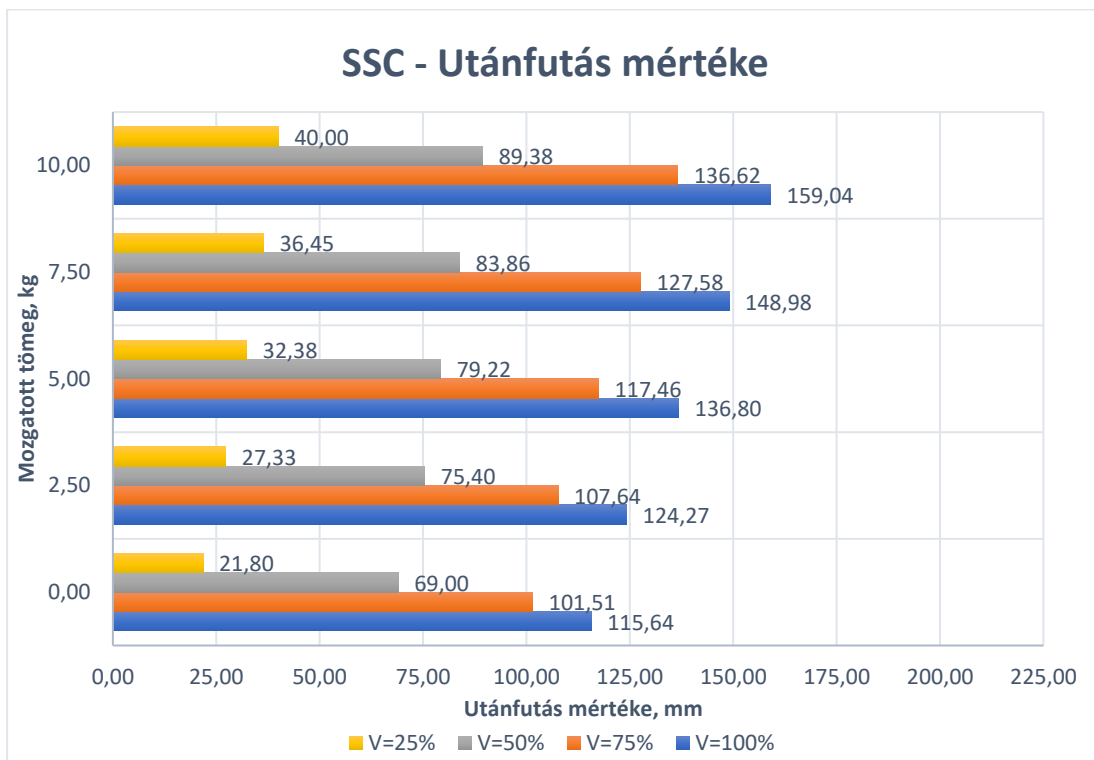


51. ábra Leállási idő a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében SSC biztonsági funkció alkalmazásával

Ennél a biztonsági funkció alkalmazásánál jól megfigyelhető, hogy a vizsgált sebességtartományokban a mozgatott tömeg súlyának növelésével nő a leállási idő. Minél nagyobb tömegű terhet mozgatunk, annál tovább tart a munkahenger biztonságos megállítása.



52. ábra A munkahenger leállás utáni pozíciója SSC biztonsági funkció alkalmazásával

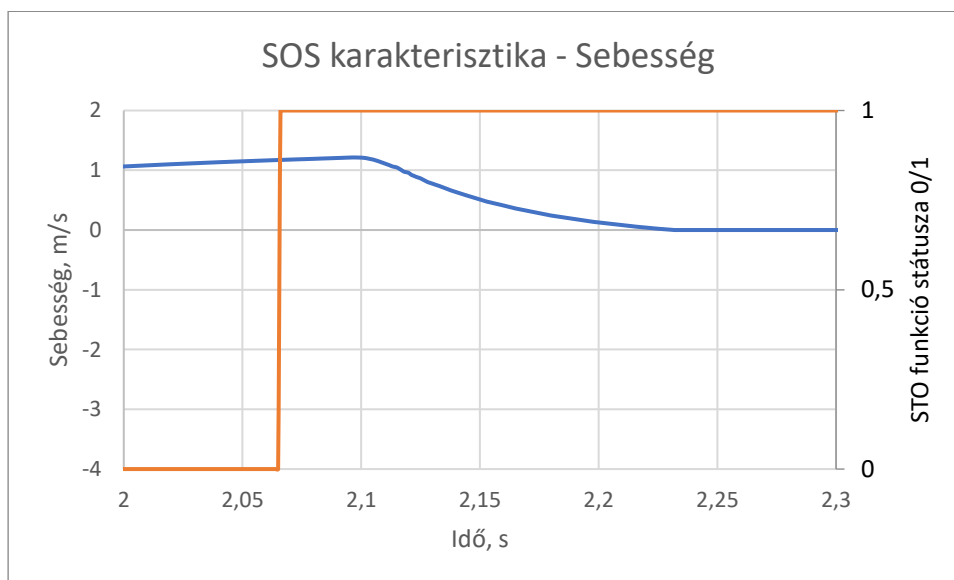


53. ábra A munkahenger elmozdulásának mértéke SSC biztonsági funkció alkalmazása után

A munkahenger leállítás utáni pozíciójára a sebesség nagyobb hatással van, mint a mozgatni kívánt tömeg mennyisége. A mozgatott tömeg súlya, adott működési sebesség mellett, csekély hatást gyakorol a munkahenger leállítás utáni pozíciójára.

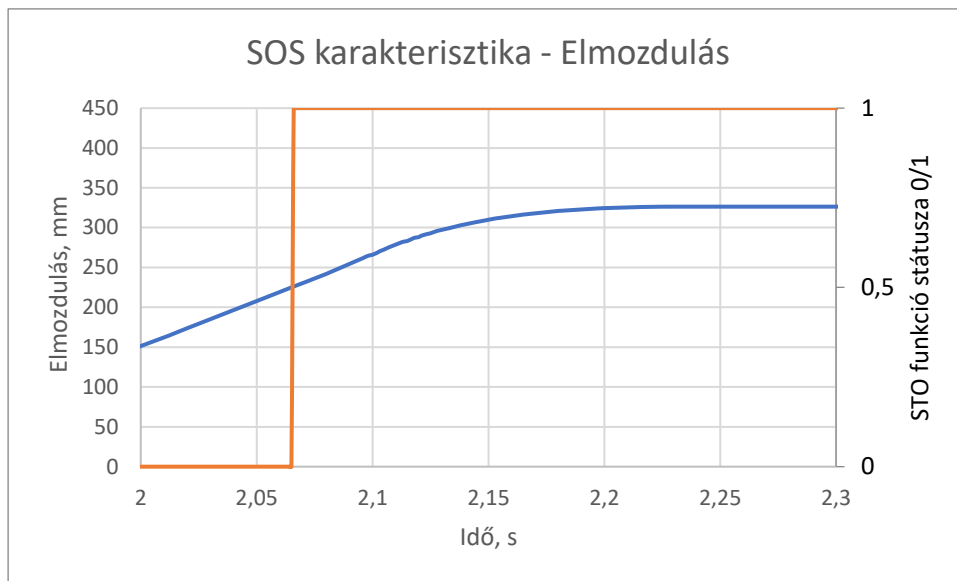
#### 4.9. SOS - Biztonságos üzemi leállítás

Az SOS biztonsági funkció az SSC-hez hasonlóan az aktiválás után a munkahengert az aktiváláskor meglévő pozícióban kívánja tartani. Az SSC-vel ellentétben nem csak a kamrák lezárását végzi, hanem a kamrák nyomásának rendszer nyomásra történő feltöltése révén a munkahengert az adott leállítási pozícióban tartja. A növelt kamranyomás miatt és a biztonsági funkció után is fennálló állandó nyomás révén sokáig tartható a rögzített pozíció és a résvesztés nem okoz pozícióvesztést.

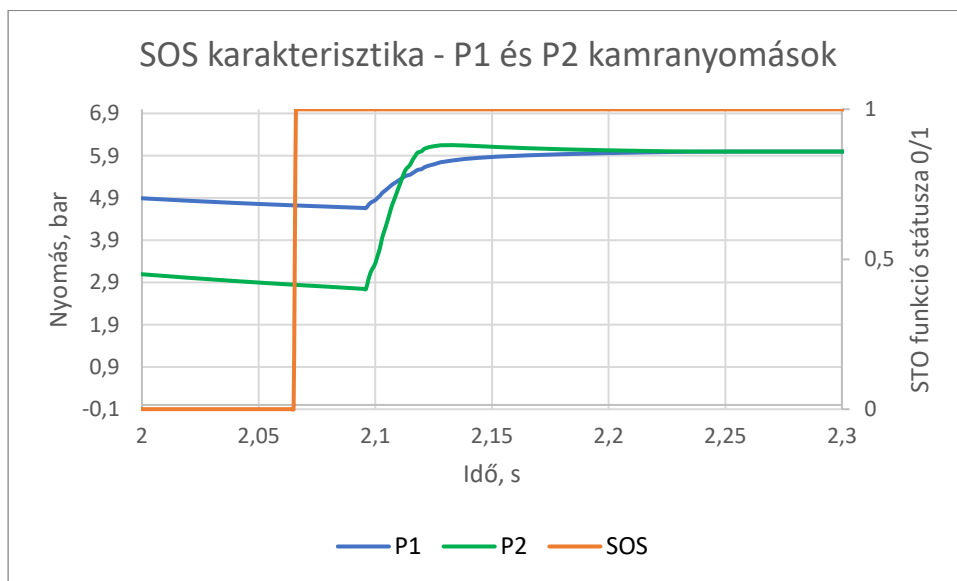


54. ábra SOS biztonsági funkció munkahenger mozgási sebességének karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett

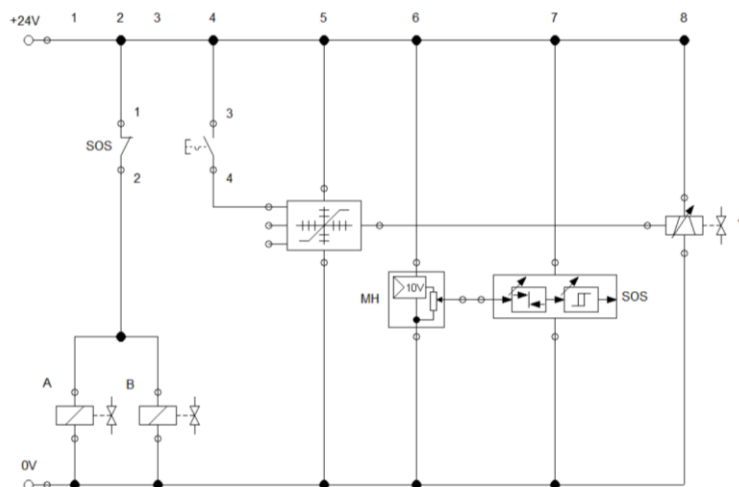




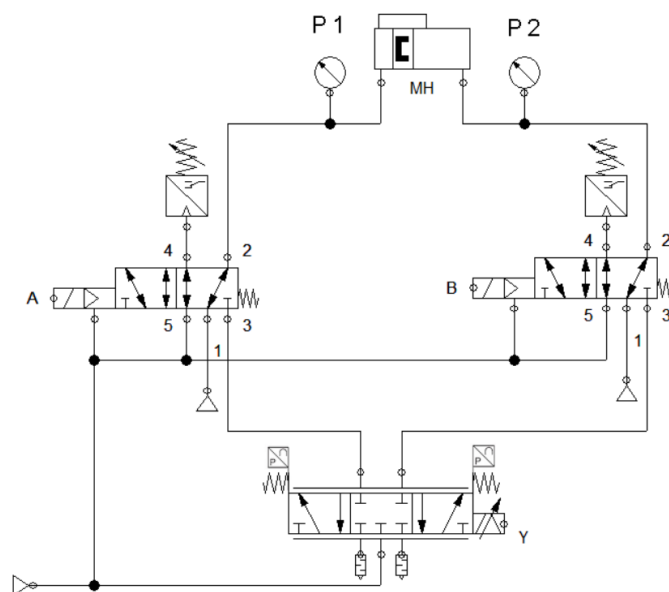
55. ábra SOS biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



56. ábra SOS biztonsági funkciónak munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 50%-os sebesség és 5 kg-os mozgatott tömeg mellett



57. ábra A vizsgált lineáris hajtómű SOS biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus kapcsolási rajza



58. ábra A rendszer elektromos kapcsolási rajza

Az „A” és „B” jelöléssel rendelkező monostabil mágnesszelepek a biztonsági funkció aktiválása után, a munkahenger kamráit nyomás alatt tartják. A 24 V vezérlő jel kapcsolása után szabadon engedik a munkahenger mozgásának proporcionális szeleppel történő szabályzását. A biztonsági funkció aktiválása után a szelepektől elveszük a 24 V-ot és rugó ellenében alaphelyzetbe álnak. A folyamat során A SSC biztonsági funkcióhoz hasonlóan bezárja a munkahengerekbe a nyomást viszont nem csak a lezárás pillanatában meglévő nyomásértéket biztosítja, hanem a mágnesszelepeken keresztül történő plusz üzemi

nyomással történő megtáplálás segítségével, mindkét kamra nyomásértékét üzemi nyomás szintre növeli és tartja, ezzel gyorsabb leállást és erősebb pozíciótartást biztosít, amely a nagyobb tömegek mozgatása esetén előnyösebb. A biztonsági funkció megfelelő működése megköveteli az állandó üzemi nyomás biztosítását, így az SOS aktiválása után az üzemi nyomást szinten kell tartani.

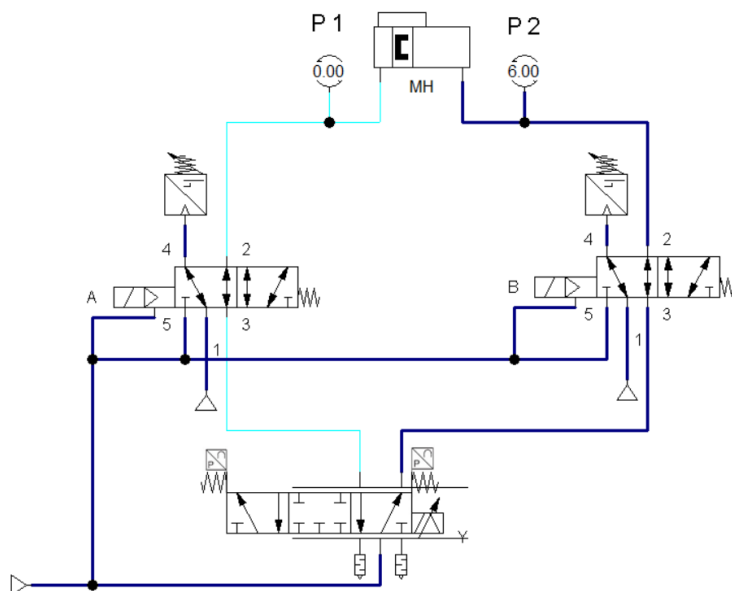
### **Az SOS biztonsági funkcióval ellátott rendszer jellemzői:**

Funkciók:

- Váratlan indítás elleni védelem (2 csatornás)
- Biztonságos mozgásirány (1 csatornás)
- Leállítási kategória EN 60204-1 szerint: "1" vezérelt leállítás, majd a leállítás elérésekor a teljesítmény elvétele nem befolyásolja a megállított pozíció tartását.
- A kompresszor állandó levegőellátása szükséges a biztonsági megállítási pozíciótartása érdekében (2 csatorna).

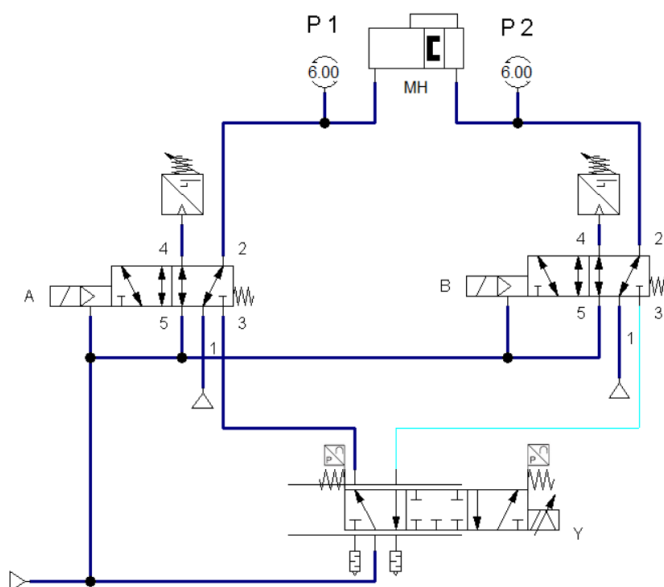
#### *9. táblázat Az SOS biztonsági funkcióval ellátott rendszer műszaki jellemzői*

	Jelölés	Biztonságos megállítási, pozíciótartási és akaratlan elindítás elleni védelem
Kategória	Cat	3
Teljesítmény szint	PL	d
Diagnosztikai lefedettség	DC	Magas
Tervezési integritás	CCF	>65%
Csatornák száma	Channels	2



59. ábra Kiindulási állapot a feltöltött rendszerrel

A rendszer indítását követően a munkahenger jobb kamráját feltöltjük az üzemi 6 bár nyomással. A biztonsági szelepek 6 bár nyomásmegtáplálást kapnak, amely a biztonsági szelepek alaphelyzetbeállása esetén folyamatosan biztosítja a megfelelő légnyomást a munkahenger pozícióban tartásához.



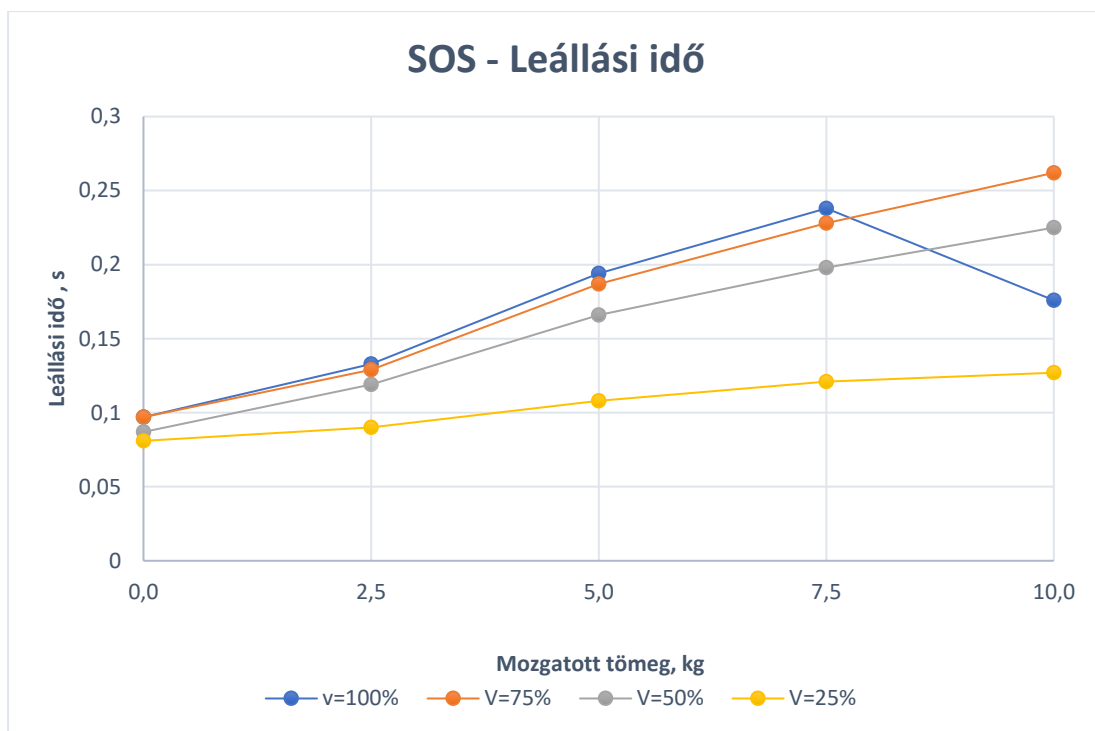
60. ábra Az SOS aktiválása utáni nyomáseloszlás

A biztonsági funkció aktiválása után a munkahenger kamráiban a biztonsági szelepeken keresztül továbbított plusz üzemi nyomás segítségével növeljük a nyomást 6 bar üzemi szintik, amely az SSC hez hasonlóan leállítja a munkahenger mozgását, viszont állandó üzemi nyomást biztosít a munkahenger kamráiban a folyamatos pozícióban tartáshoz.

**A mérés során kiértékelt eredmények a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében:**

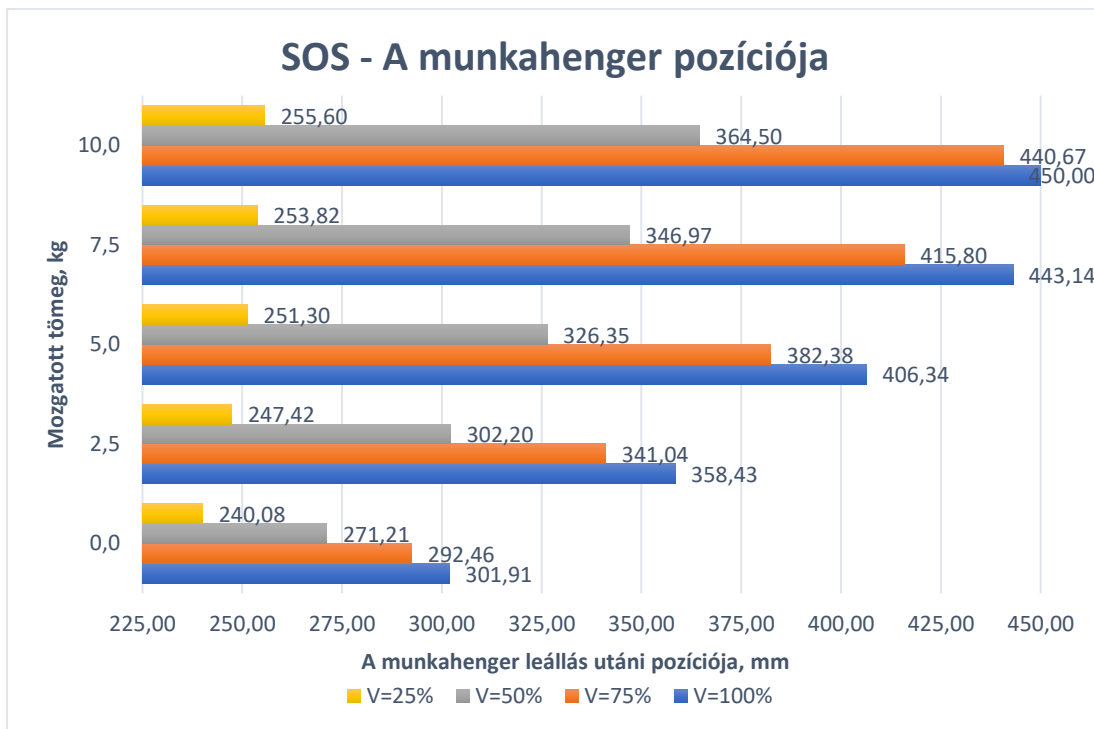
*10. táblázat Az SOS biztonsági funkció mellett mért szimulációs értékek*

SOS				
Sebesség	Tömeg, kg	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,0	0,097	301,91	76,9149
	2,5	0,133	358,43	133,4258
	5,0	0,194	406,34	181,3385
	7,5	0,238	443,14	218,1355
	10,0	0,176	450,00	225
75%	0,0	0,097	292,46	67,46482
	2,5	0,129	341,04	116,03673
	5,0	0,187	382,38	157,3765
	7,5	0,228	415,80	190,7997
	10,0	0,262	440,67	215,6698
50%	0,0	0,09	271,21	46,21465
	2,5	0,119	302,20	77,1983
	5,0	0,166	326,35	101,3465
	7,5	0,198	346,97	121,9688
	10,0	0,225	364,50	139,4979
25%	0,0	0,081	240,08	15,08496
	2,5	0,09	247,42	22,4154
	5,0	0,108	251,30	26,2969
	7,5	0,121	253,82	28,8169
	10,0	0,127	255,60	30,5997

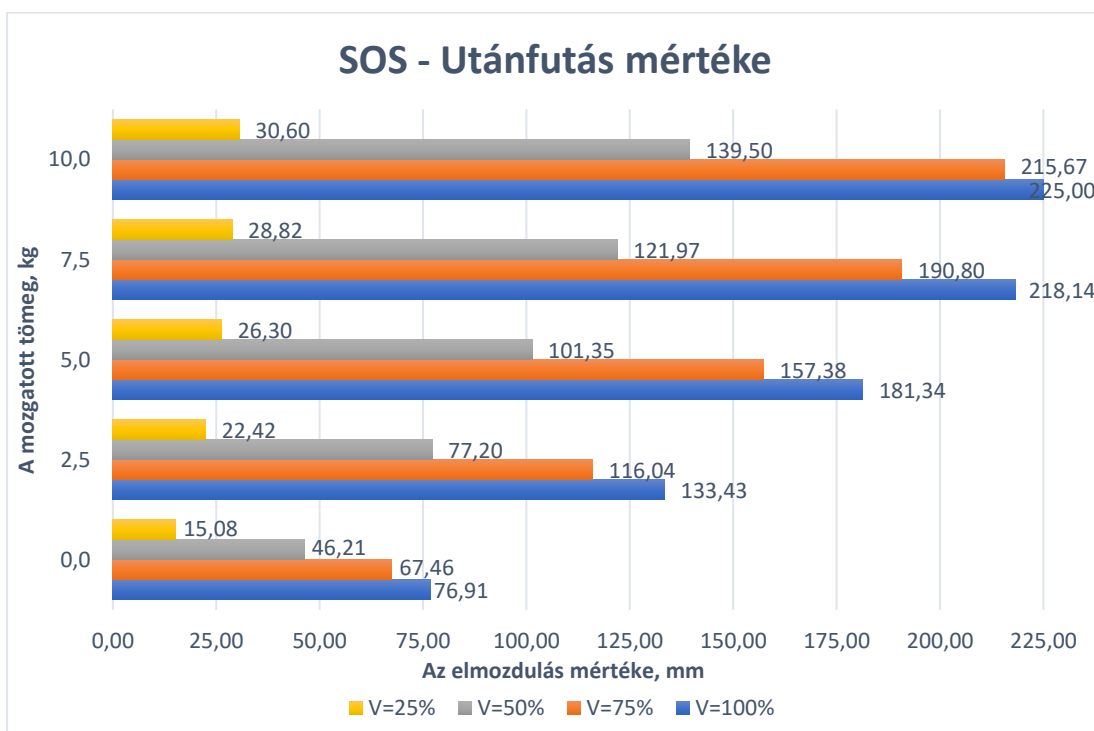


61. ábra Leállási idő a sebesség és a mozgatott tömeg függvényében SOS biztonsági funkció alkalmazásával

Ennél a biztonsági funkció alkalmazásánál jól megfigyelhető, hogy a vizsgált sebességtartományokban a mozgatott tömeg függvényében lineárisan nő a leállási idő. Minél nagyobb tömeget mozgatunk, annál tovább tart a leállási idő hasonlóan, mint az SSC esetében. A sebesség függvényében, minél nagyobb sebességgel működtetjük a munkahengert, annál hosszabb ideig tart a munkahenger biztonságos megállása.



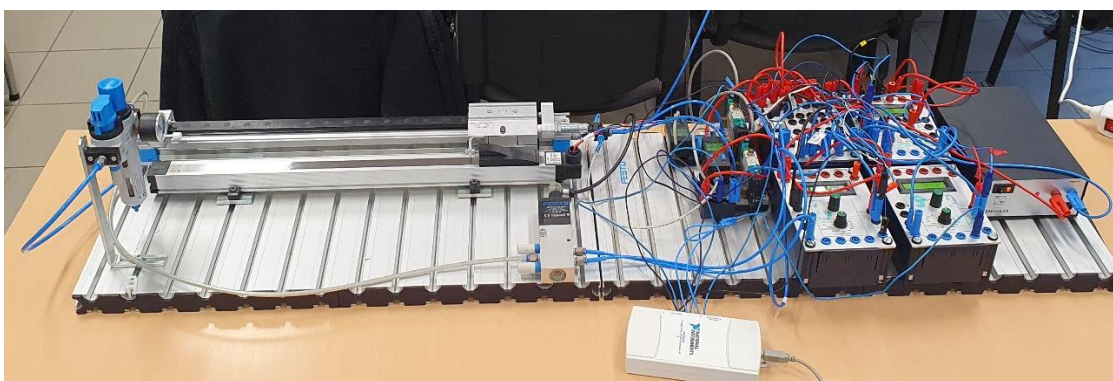
62. ábra A munkahenger leállás utáni pozíciója SOS biztonsági funkció alkalmazásával



63. ábra Az utánfutás mértéke SOS biztonsági funkció alkalmazásával

## 5. A biztonsági funkciók valós környezetben történő vizsgálata

A Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem, Műszaki Intézet, Mechatronika tanszék laborjában megépítésre került az STO, SDI, SSC és SOS biztonsági funkcióval kialakított pneumatikus lineáris hajtás működési modellje. A pneumatikus rendszerek működésének analizését és a méréseket MATLAB szoftver segítségével végeztem el.



64. ábra Az összeállított pneumatikus lineáris hajtás működésvizsgálata

A méréseket mozgatott tömeg nélkül, maximális sebesség mellett vizsgáltam.

11. táblázat A valós vizsgálat mérési eredményei

Biztonsági funkció	Mérési eredmények		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
STO	0,158	284,00769	59,00769
SDI	0,448	0	0
SSC	0,058	248,4522	23,4522
SOS	0,065	249,583545	24,583545

A mérési eredmények kiértékelése után az adott biztonsági funkciókhoz tartozó mozgásjellemzőket összevettem a szimulációs környezetben végzett tesztek eredményeivel.

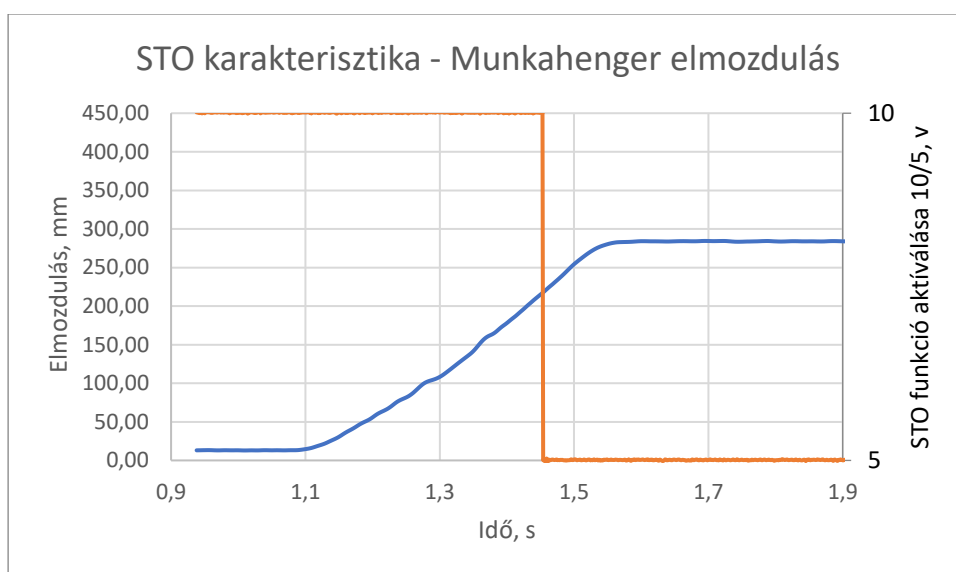
A mozgásjellemzőket leíró karakterisztikák megegyeznek az adott biztonsági funkciók szimulációs karakterisztikájával.

A mérés során a lineáris hajtómű mozgási sebessége 0,6 m/s volt, míg a virtuális szimuláció során 2,01 m/s maximális sebességről történt a biztonsági funkció aktiválása utáni működésvizsgálata.

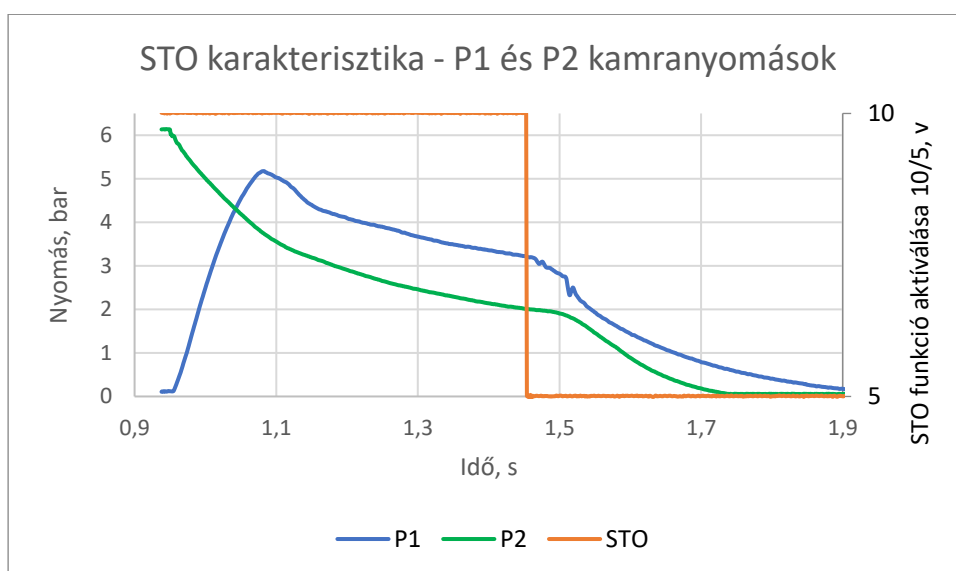


Szintén befolyásolta a mérési eredmények kimenetelét a légtömlő átmérője ( $d=4$  mm), a csatlakozók, amelyek plusz fojtásként jelentkeztek a mérés alatt, illetve a szimuláció során alkalmazott fojtó visszacsapó szelepek nem kerültek beépítésre a valós mérőkörbe.

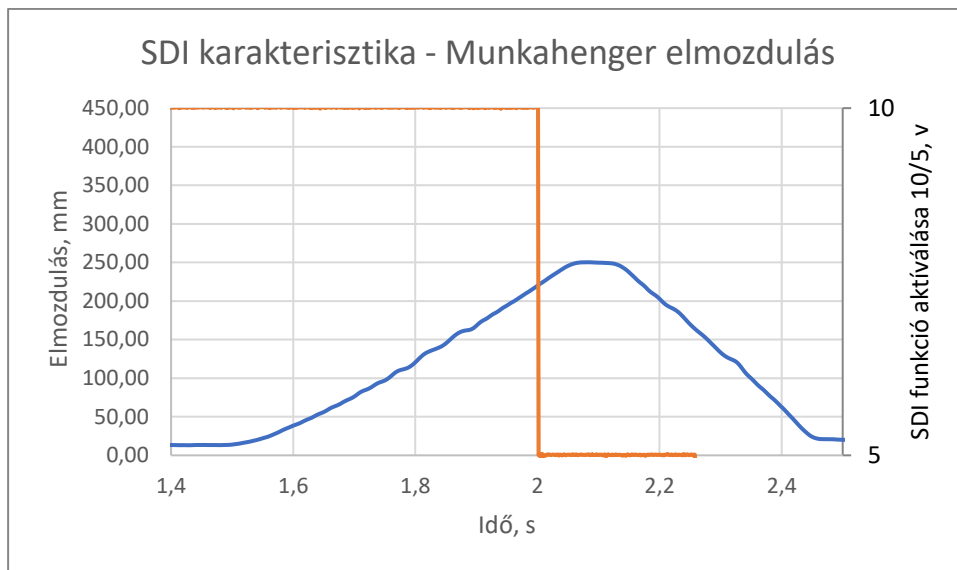
A megépített rendszer által vizsgált mozgásdinamikák megfelelően szemléltették a virtuális környezetben történő vizsgálatok kapott eredményeit.



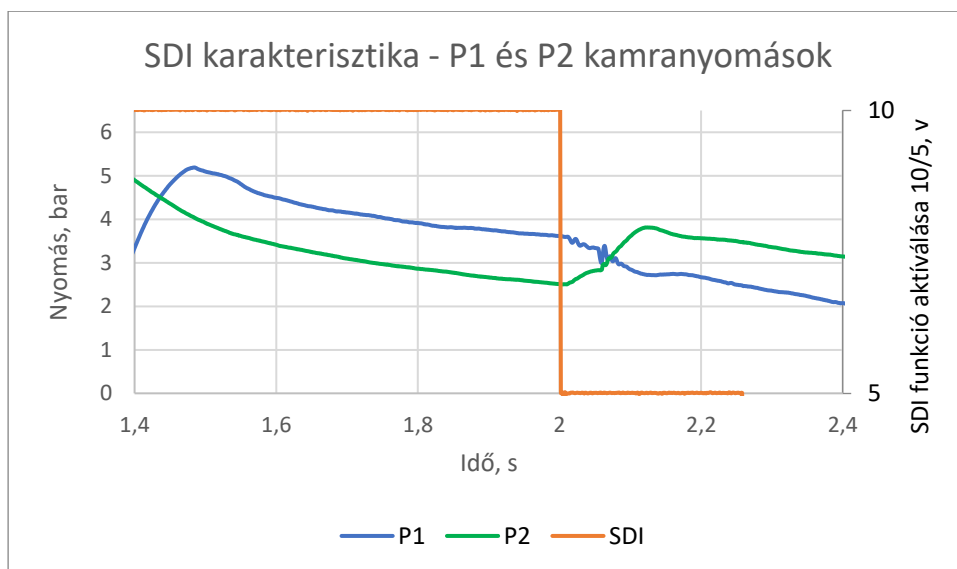
65. ábra STO biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgatott tömeg nélkül valós teszt alatt.



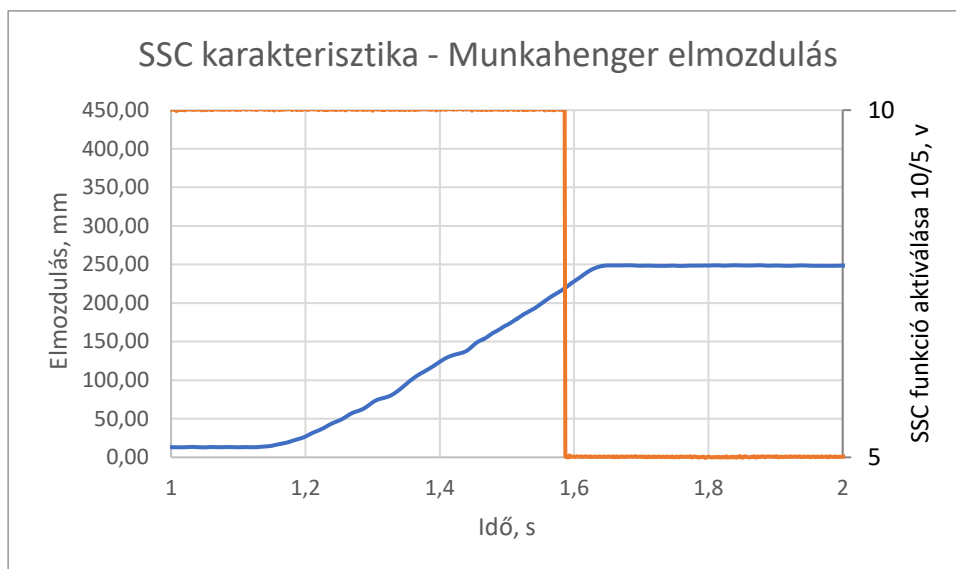
66. ábra STO biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgatott tömeg nélkül valós teszt alatt.



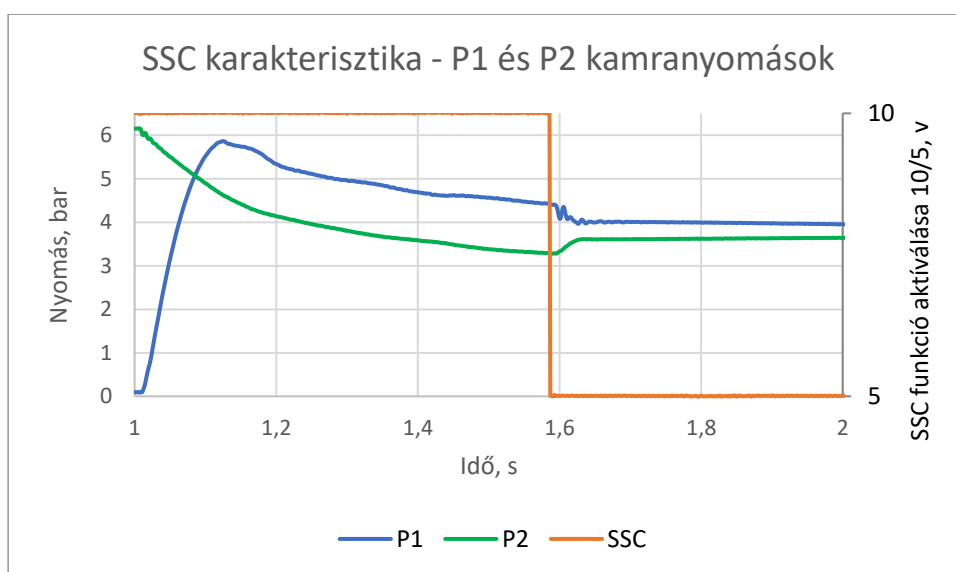
67. SDI biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgatott tömeg nélkül valós teszt alatt.



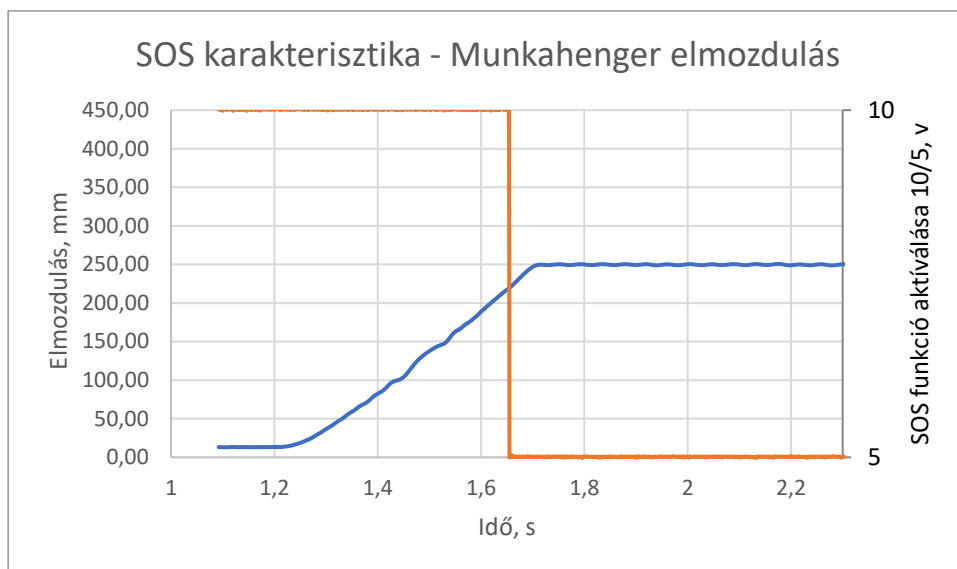
68. ábra SDI biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgatott tömeg nélkül valós teszt alatt.



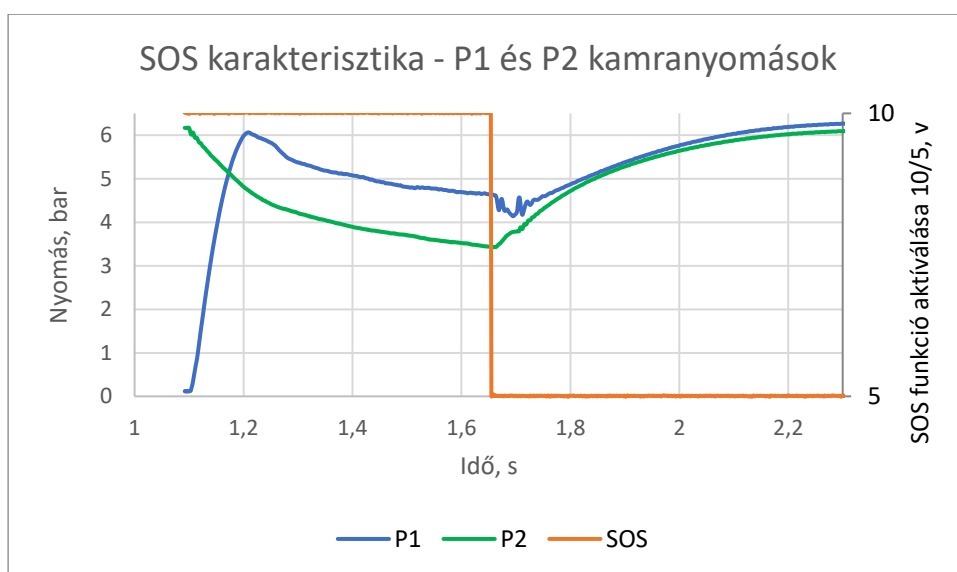
69. SSC biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgató tömeg nélkül valós teszt alatt.



70. ábra SSC biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgató tömeg nélkül valós teszt alatt.



71. SOS biztonsági funkció munkahenger elmozdulásának karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgatott tömeg nélkül valós teszt alatt.



72. ábra SOS biztonsági funkció munkahenger P1 és P2 kamrájában lévő nyomásváltozás karakterisztikája 100%-os sebesség mellett mozgatott tömeg nélkül valós teszt alatt.

## 6. A szimulációs eredmények kiértékelése

### 6.1. A biztonsági funkciók összehasonlítása adott mozgási sebességeknél:

Az összehasonlítást adott sebességtartományokban (100%, 75%, 50%, 25%) vizsgálom a mozgatott tömeg függvényében annak érdekében, hogy az adott működési sebességnél adott tömegek mozgatása esetén, melyek a leghatékonyabb biztonsági funkciók a leállási idő és a leállás utáni elmozdulás mértékének tekintetében.

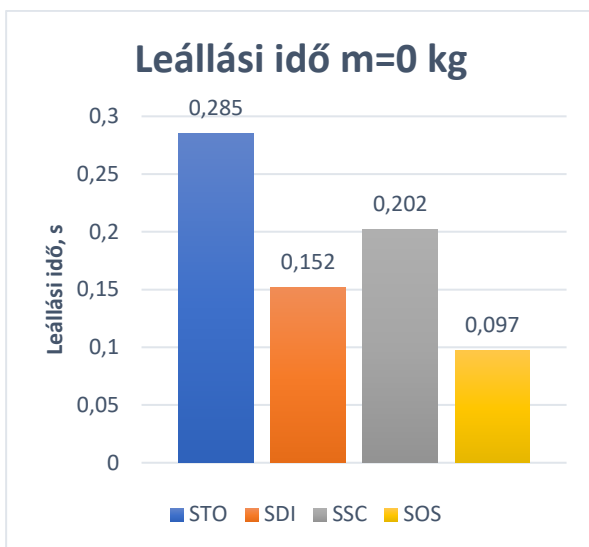
#### 6.1.1. 100% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók:

12. táblázat 100%-os sebesség mellett mért értékek

Tömeg, kg	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,285	393,52	168,515	0,152	0	225
2,5	0,183	450	225	0,198	0	225
5	0,129	450	225	0,242	0	225
7,5	0,124	450	225	0,283	0	225
10	0,124	450	225	0,32	0	225
Tömeg, kg	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,202	340,64	115,64	0,097	301,91	76,91
2,5	0,299	349,27	124,27	0,133	358,43	133,43
5	0,379	361,80	136,80	0,194	406,34	181,34
7,5	0,431	373,98	148,98	0,238	443,14	218,14
10	0,474	384,04	159,04	0,176	450,00	225

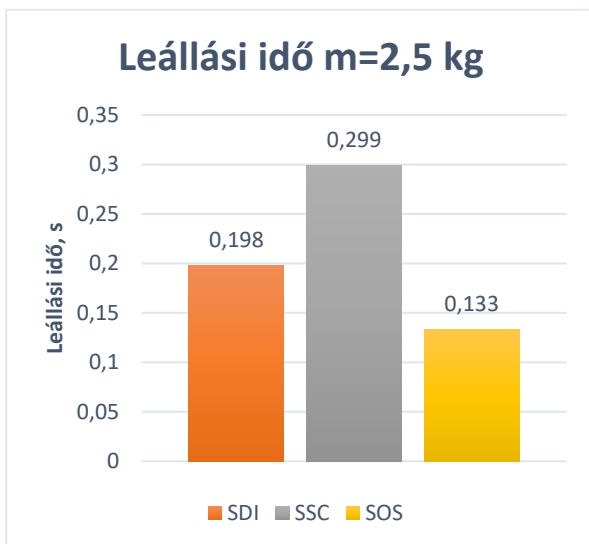
Az összehasonlítás érdekében, a különböző tömegű mozgatott súlyok esetén a legrövidebb leállási időhöz viszonyítom a többi funkció által teljesített leállási időtartamot.

Ahol a munkahenger pozíciója eléri a lökethossz végét a biztonsági funkció aktiválása után, ott nem valósul meg az adott biztonsági funkció megfelelő végrehajtása a beállítási paraméterek mellett.



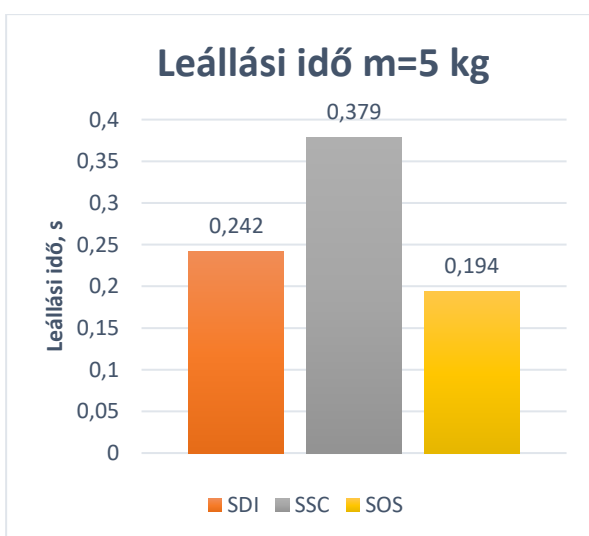
Terhelés nélküli szimuláció esetén az STO-val megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>0,097 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,055 sec	+56,7 %
SSC	+0,105 sec	+108,2 %
STO	+0,188 sec	+193,8 %



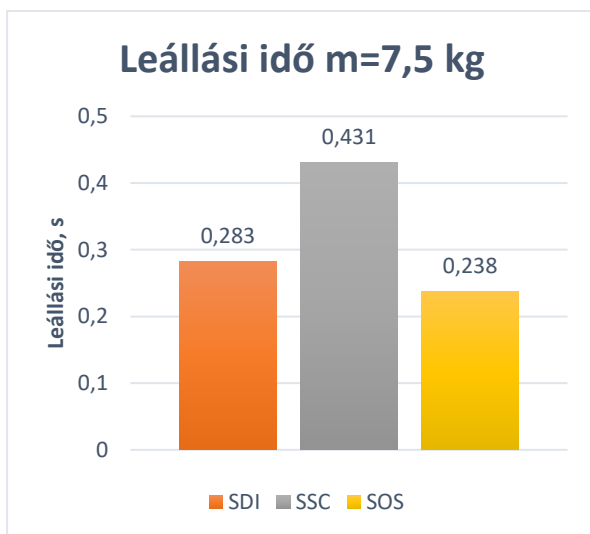
2,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SSC által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>0,133 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,065 sec	+48,9 %
SSC	+0,166 sec	+124,8 %
<i>STO</i>	<i>Elérte a lökethossz végét</i>	



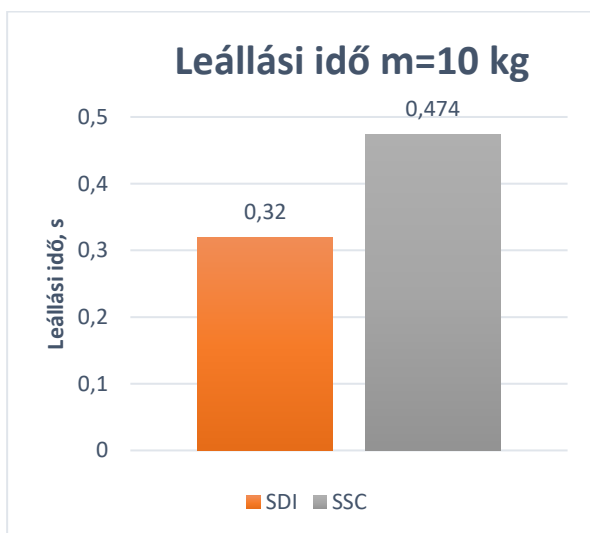
5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SSC által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>0,194 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,048 sec	+24,7 %
SSC	+0,193 sec	+95,4 %
<i>STO</i>	<i>Elérte a lökethossz végét</i>	



7,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SSC által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,238 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,045 sec	+18,9 %
SSC	+0,193 sec	+81,1 %
<b>STO</b>	<b>Elérte a lökethossz végét</b>	



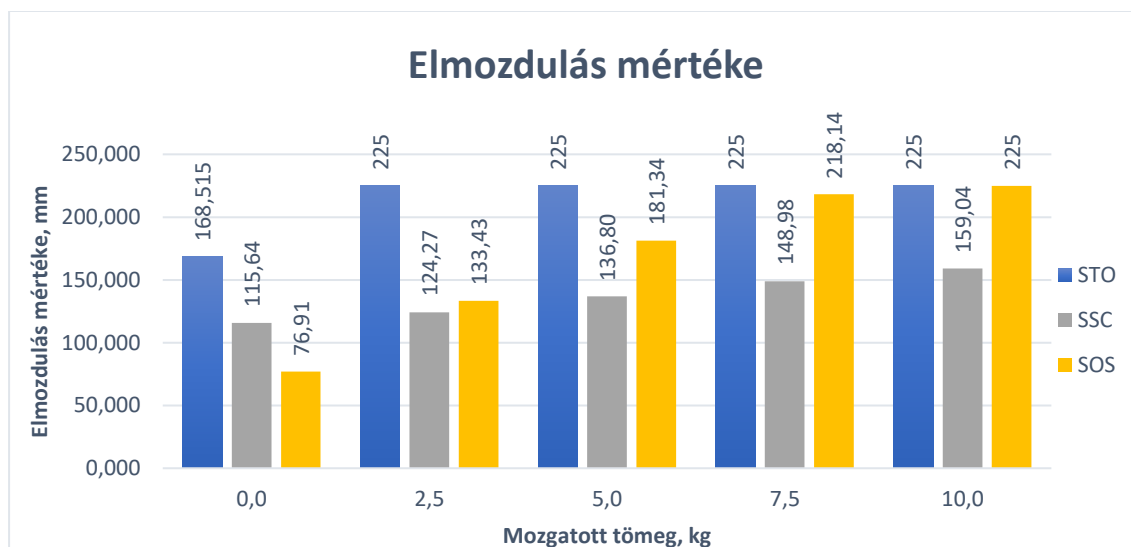
10 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SSC által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SDI</b>	<b>0,32 sec</b>	<b>100 %</b>
SSC	+0,154 sec	+48,1 %
<b>SOS</b>	<b>Elérte a lökethossz végét</b>	
<b>STO</b>	<b>Elérte a lökethossz végét</b>	

73. ábra Biztonsági funkciók összehasonlítása 100%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

Az 73. ábrán megfigyelhető, hogy az SSC biztonsági funkció rendelkezik a leghosszabb leállási idővel a legtöbb esetben 100%-os mozgási sebesség mellett. Csak terhelésmentes futás esetén van az STO-nak hosszabb leállási ideje. STO biztonsági funkció esetén a 100%-os sebesség mellett végzett vizsgálatoknál ténylegesen megvalósított biztonságos leállásról csak terhelésmentes futásnál beszélhetünk. A többi esetben a mozgatott tömeg súlyának növelésének hatására, a munkahenger teljes lökethosszon végigfut a biztonságos leállítás folyamat befejezése előtt. Nagy sebességű mozgás esetén az SOS biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus lineáris hajtás eredményezi a legrövidebb leállási időt, míg a jelen feltételek mellett, különböző tömegek mozgatásánál az SSC rendelkezik a leghosszabbat leállási idővel.

Az elmozdulás mértékét csak STO, SSC és SOS esetén érdemes összehasonlítani, mivel SDI esetében mindig a kiindulási pozícióba mozgatom a munkahengert a biztonsági funkció aktiválása után. Az elmozdulás mértékének akkor van jelentősége, ha a munkahenger leállási idején felül a biztonsági funkció aktiválása után a teljes megállásig megtett út (utánfutás) szintén fontos paraméter a lineáris hajtás tervezésekor.



74. ábra Utánfutás összehasonlítása 100%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

A nagy sebesség következtében a munkahenger a legtöbb esetben nagy leállási utat tesz meg. STO esetében a terheletlen futás kivételével, 100%-os sebesség mellett, minden mozgatott tömeg esetében eléri a lökethossz végét a biztonsági funkció aktiválása után, így nem beszélhetünk ezekben az esetekben megvalósult biztonságos leállásról. A többi biztonsági funkció esetében az utánfutás mértékét a mozgatott tömeg növelésével arányosan nő.

13. táblázat Pontozásos besorolás a mozgatott tömeg függvényében (4 a legjobb, 1 a legrosszabb)

Tömeg, kg	Leállási idő				Elmozdulás mértéke		
	STO	SDI	SSC	SOS	STO	SSC	SOS
0	1	3	2	4	2	3	4
2,5		3	2	4		4	3
5		3	2	4		4	3
7,5		3	2	4		4	3
10		4	3			4	
<b>Összesen:</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>13</b>



A sraffozott mezők esetében nem teljesült a biztonsági funkció

100% - os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg tekintetében a legrövidebb leállási idővel végbemenő biztonsági funkció az SOS és a leghosszabb leállási idővel rendelkező az SSC.

Ha fontos a mozgásirány és egy adott pozícióba leállás, SDI, ha az aktiválástól számított legrövidebb túlfutással kívánjuk megvalósítani a biztonsági funkciót akkor az SSC a legjobb választás a különböző mozgatott súlyok esetében, és SOS az kisebb tömegek mozgatása esetén.

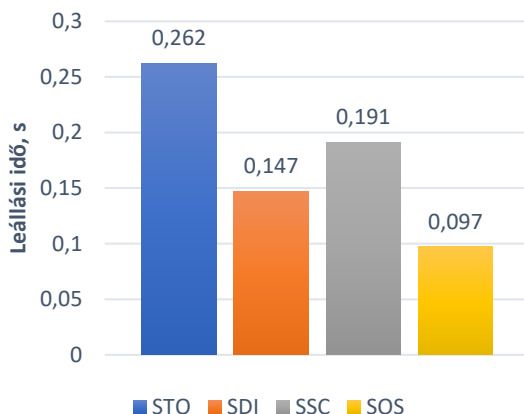
6.1.2. 75% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók:

14. táblázat 75%-os sebesség mellett mért értékek

Tömeg, kg	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,262	373,63	148,63	0,147	0	225
2,5	0,217	423,78	198,78	0,191	0	225
5	0,168	450	225	0,232	0	225
7,5	0,148	450	225	0,273	0	225
10	0,146	450	225	0,309	0	225
Tömeg, kg	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,191	326,51	101,51	0,097	292,46	67,46
2,5	0,205	332,64	107,64	0,129	341,04	116,04
5	0,396	342,46	117,46	0,187	382,38	157,38
7,5	0,459	352,58	127,58	0,228	415,80	190,80
10	0,508	361,62	136,62	0,262	440,67	215,67

Az összehasonlítás érdekében, a különböző tömegű mozgatott súlyok esetén a legrövidebb leállási időhöz viszonyítom a többi funkció által teljesített leállási időtartamot.

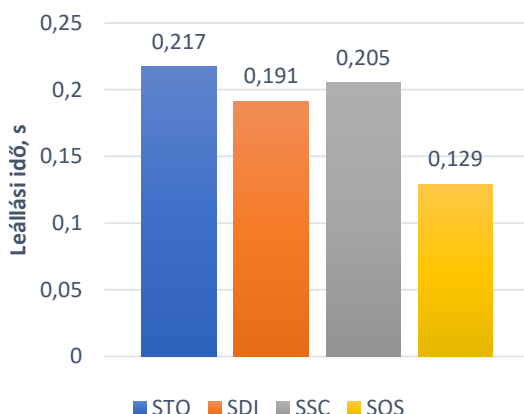
### Leállási idő m=0 kg



Terhelés nélküli szimuláció esetén az STO-val megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,097 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,05 sec	+51,5 %
SSC	+0,094 sec	+96,9 %
STO	+0,165 sec	+170,1 %

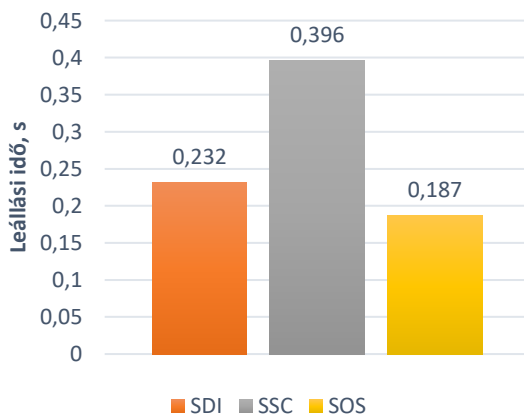
### Leállási idő m=2,5 kg



2,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az STO-val megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,129 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,062 sec	+48,1 %
SSC	+0,076 sec	+58,9 %
STO	+0,088 sec	+68,2 %

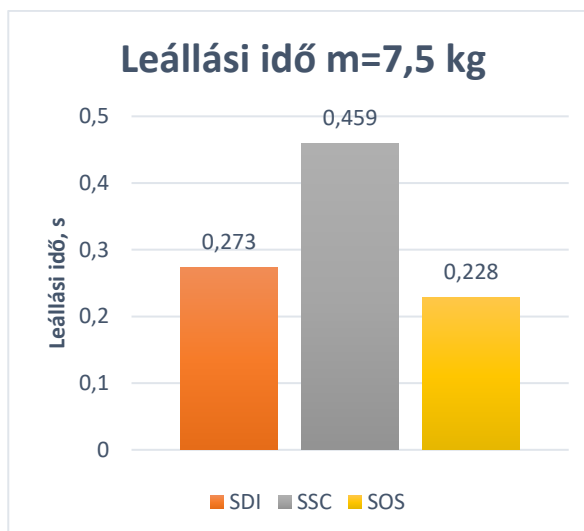
### Leállási idő m=5 kg



5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

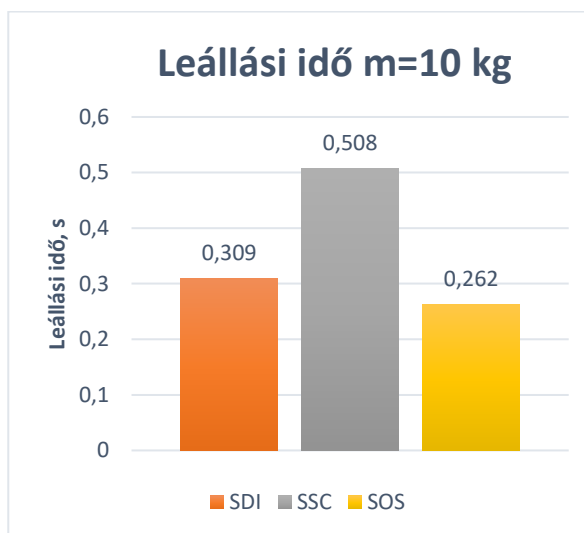
<b>SOS</b>	<b>+0,187sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,045 sec	+24,1 %
SSC	+0,209 sec	+111,8 %

**STO** *Elérte a lökethossz végét*



7,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-val megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az STO által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,228 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,045 sec	+19,7 %
SSC	+0,231 sec	+101,3 %
<b>STO</b>	<b>Elérte a lökethossz végét</b>	

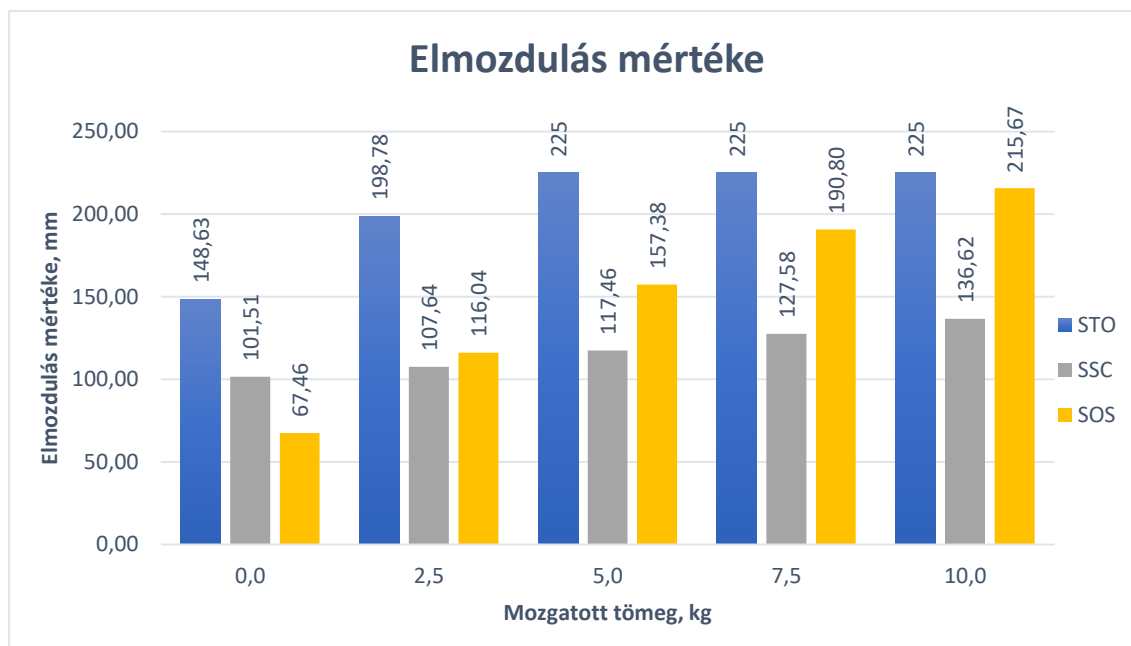


10 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-val megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,262 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,047 sec	+17,9 %
SSC	+0,246 sec	+93,9 %
<b>STO</b>	<b>Elérte a lökethossz végét</b>	

75. ábra Biztonsági funkciók összehasonlítása 75%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

Az **75. ábrán** megfigyelhető, hogy 0 és 2,5 kg tömegek mozgatása esetén, amikor az STO biztonsági funkció lökethossz alatt képes végbe menni, az STO-val ellátott pneumatikus rendszer rendelkezik a leghosszabb leállási idővel. Az SSC biztonsági funkcióval ellátott rendszer a második leghosszabb leállási idővel rendelkezik 75%-os mozgási sebesség mellett. SDI és SOS biztonsági funkcióknál a mozgatott tömeg súlyának növelésével nő a leállásig eltelt idő. 75 % - os sebességnél, az összes tömeg esetében az SOS biztonsági funkcióval ellátott lineáris hajtás rendelkezik a legrövidebb leállási idővel.



76. ábra Utánfutás összehasonlítása 75%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

STO biztonsági funkcióval ellátott lineáris hajtásnál az adott paraméterek függvényében végrehajtott biztonságos leállítás 5 kg és 5 kg-ot meghaladó mozgatott tömeg esetében 450 mm-es lökethossz alatt nem kivitelezhető. SSC és SOS esetében hasonló a végeredmény, mint a 100% -os mozgási tartományban végzett mérésnél, viszont a mozgatott tömeg súlyának csökkentése arányosan csökkentette mindkét biztonsági funkció esetében az aktiválás utáni megtett út mértékét a megállásig. SOS esetében ez 67-215 mm, SSC-nél 101 – 136 mm. SSC funkciónál a felső és alsó határérték közötti eltérés csökkent, amiből következik, hogy a sebesség csökkenésével csökken a rendszer érzékenysége a leállítás utáni megtett útra.

15. táblázat Pontozásos besorolás a mozgatott tömeg függvényében (4 a legjobb, 1 a legrosszabb)

Tömeg, kg	Leállási idő				Elmozdulás mértéke		
	STO	SDI	SSC	SOS	STO	SSC	SOS
0	1	3	2	4	2	3	4
2,5	1	3	2	4	2	4	3
5		3	2	4		4	3
7,5		3	2	4		4	3
10		4	3	4		4	3
<b>Összesen:</b>	2	16	11	20	4	19	16

A sraffozott mezők esetében nem teljesült a biztonsági funkció

75% - os működési sebesség mellett a mozgatott tömegek tekintetében a legrövidebb leállási idővel végbemenő biztonsági funkció az SOS a leghosszabb leállási idővel rendelkező az SSC.

Ha az aktiválástól számított legrövidebb mozgással kívánjuk megvalósítani a biztonsági funkciót akkor az SSC a legjobb választás, de kisebb tömegek mozgatása esetén az SOS -is megfelelő mértékben csökkenti a munkahenger leállás utáni túlfutását.

*6.1.3. 50% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók:*

*16. táblázat 50%-os sebesség mellett mért értékek*

Tömeg, kg	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,198	328,39	103,39	0,139	0	225
2,5	0,202	357,88	132,88	0,176	0	225
5	0,235	383,01	158,01	0,214	0	225
7,5	0,27	404,47	179,47	0,247	0	225
10	0,289	422,44	197,44	0,278	0	225
Tömeg, kg	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,216	294,00	69,00	0,09	271,21	46,21
2,5	0,215	300,40	75,40	0,119	302,20	77,20
5	0,27	304,22	79,22	0,166	326,35	101,35
7,5	0,312	308,86	83,86	0,198	346,97	121,97
10	0,344	314,38	89,38	0,225	364,50	139,50

Az összehasonlítás érdekében, a különböző tömegű mozgatott súlyok esetén a legrövidebb leállási időhöz viszonyítom a többi funkció által teljesített leállási időtartamot.

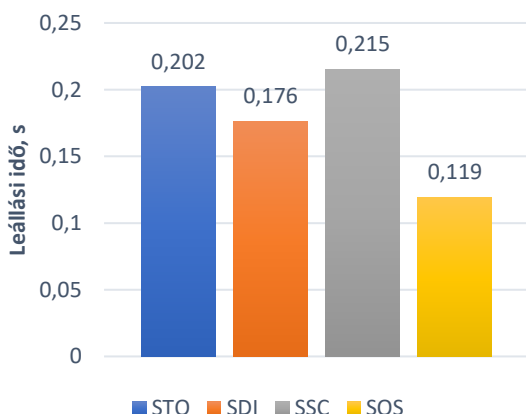
### Leállási idő m=0 kg



Terhelés nélküli szimuláció esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,087 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,052 sec	+59,8 %
STO	+0,111 sec	+127,6 %
SSC	+0,129 sec	+148,3 %

### Leállási idő m=2,5 kg



2,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

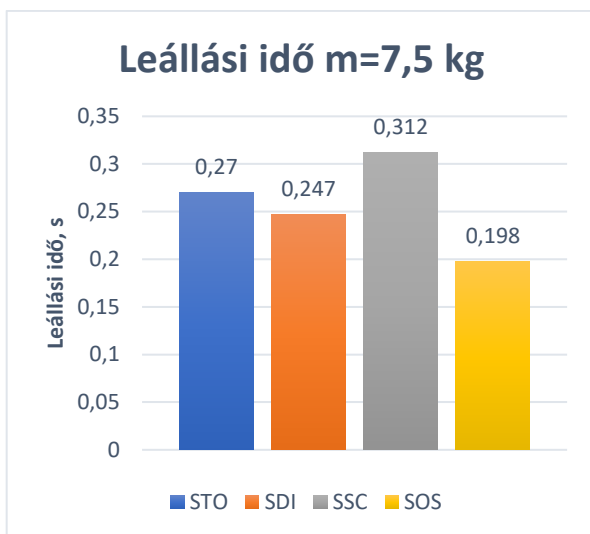
<b>SOS</b>	<b>+0,119 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,057 sec	+47,9 %
STO	+0,083 sec	+69,7 %
SSC	+0,096 sec	+80,7 %

### Leállási idő m=5 kg



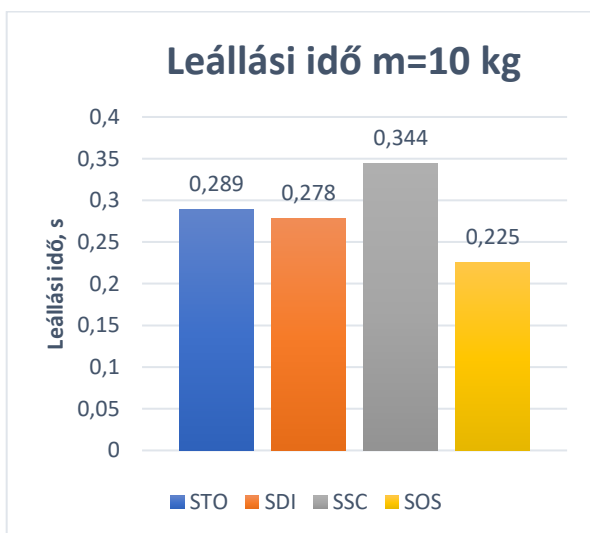
5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,166 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,048 sec	+28,9 %
STO	+0,069 sec	+41,6 %
SSC	+0,104 sec	+62,7 %



7,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,198 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,049 sec	+24,7 %
STO	+0,072 sec	+36,4 %
SSC	+0,114 sec	+57,6 %

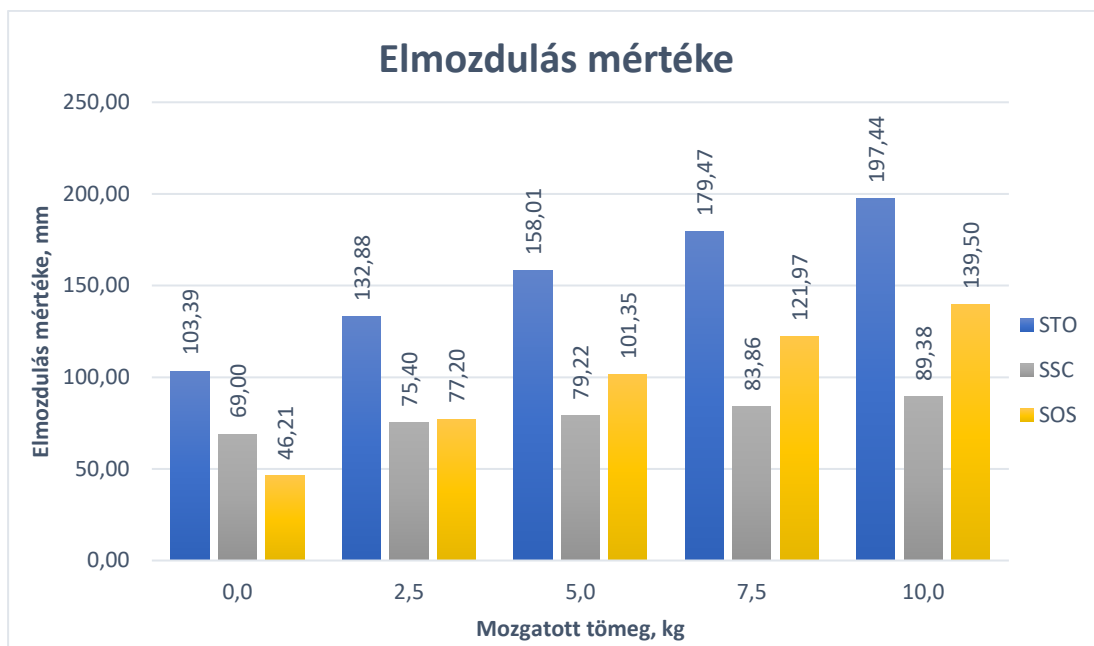


10 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,225 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,053 sec	+23,6 %
STO	+0,064 sec	+28,4 %
SSC	+0,119 sec	+52,9 %

77. ábra Biztonsági funkciók összehasonlítása 50%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

A 77. ábrán megfigyelhető, hogy az SSC biztonsági funkció rendelkezik a leghosszabb leállási idővel terheletlen állapot kivételével minden esetben 50%-os mozgási sebesség mellett. Mind a négy biztonsági funkcionál megfigyelhető, hogy a mozgatott tömegek mennyiségének növelése a leállásig eltelt idő megnövekedésével jár.



78. ábra Utánfutás összehasonlítása 50%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

A mérsékelt sebesség következtében már megfigyelhető a mozgási sebesség csökkenésének hatása a biztonsági funkció után megtett munkahenger elmozdulásának mértékében. STO esetében ebben a sebességtartományban már meg tudja valósítani a biztonságos leállítást mind az öt eltérő súlyú mozgatott tömeg esetében. SSC és SOS esetében már határozottabb a csökkenés mértéke. SOS-sel megvalósított biztonsági funkció terheletlen állapotban 46.21 mm és 10 kg-os mozgatott tömeg mellett 139,5 mm elmozdulással valósítja meg a teljes leállítást. SSC esetében 69-89,4 mm-es távon leállítja a munkahenger mozgását. SOS esetében az utánfutás mértéke még jelentős, 103-197 mm közé tehető.

17. táblázat Pontozásos besorolás a mozgatott tömeg függvényében (4 a legjobb, 1 a legrosszabb)

Tömeg, kg	Leállási idő				Elmozdulás mértéke		
	STO	SDI	SSC	SOS	STO	SSC	SOS
0	2	3	1	4	2	3	4
2,5	2	3	1	4	2	4	3
5	2	3	1	4	2	4	3
7,5	2	3	1	4	2	4	3
10	2	3	1	4	2	4	3
<b>Összesen:</b>	10	15	5	<b>20</b>	10	<b>19</b>	16



50 % -os működési sebesség mellett a mozgatott tömegek tekintetében a legrövidebb leállási idővel végbemenő biztonsági funkció az SDI és a leghosszabb leállási idővel rendelkező az SSC.

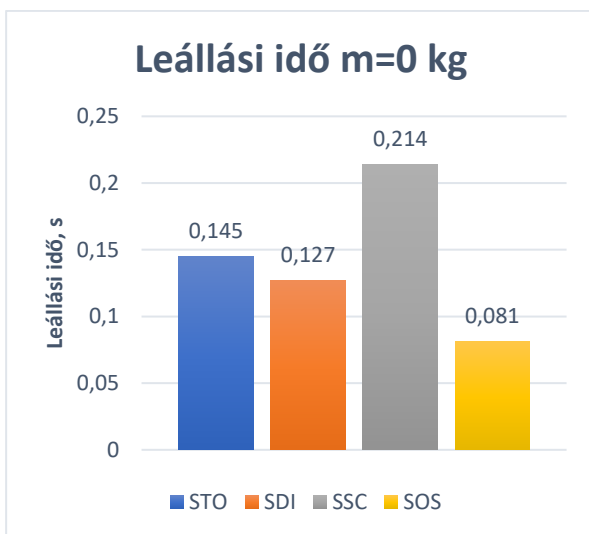
Ha az aktiválástól számított legrövidebb mozgással kívánjuk megvalósítani a biztonsági funkciót, akkor az SSC a legjobb választás

#### 6.1.4. 25% -os sebesség mellett vizsgált biztonsági funkciók:

##### 18. táblázat 25%-os sebesség mellett mért értékek

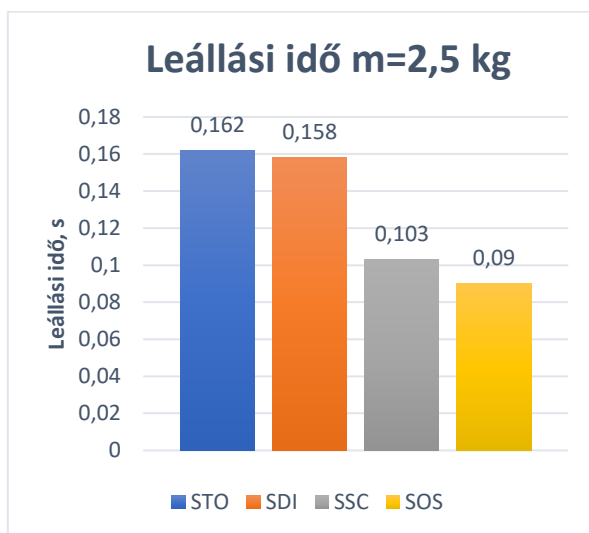
Tömeg, kg	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,145	259,04	34,04	0,127	0	225
2,5	0,162	262,50	37,50	0,158	0	225
5	0,166	265,08	40,08	0,186	0	225
7,5	0,171	266,78	41,78	0,211	0	225
10	0,175	267,93	42,93	0,232	0	225
Tömeg, kg	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
0	0,214	246,80	21,79508	0,081	240,08	15,08
2,5	0,103	252,33	27,3269	0,09	247,42	22,42
5	0,123	257,38	32,3774	0,108	251,30	26,30
7,5	0,139	261,45	36,45	0,121	253,82	28,82
10	0,154	265,00	39,998	0,127	255,60	30,60

Az összehasonlítás érdekében, a különböző tömegű mozgatott súlyok esetén a legrövidebb leállási időhöz viszonyítom a többi funkció által teljesített leállási időtartamot.



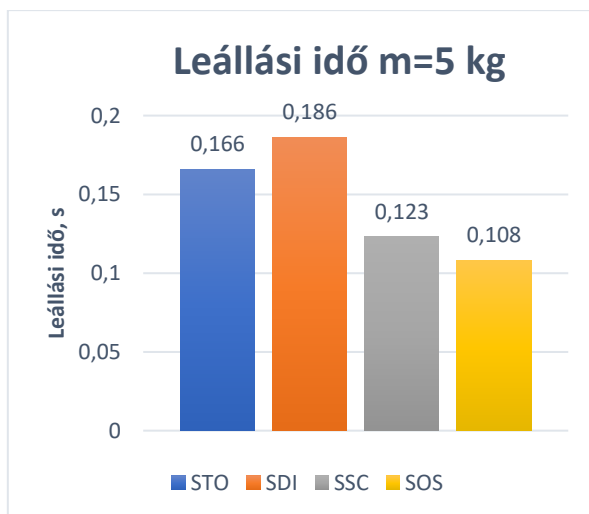
Terhelés nélküli szimuláció esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,081 sec</b>	<b>100 %</b>
SDI	+0,046 sec	+56,8 %
STO	+0,064 sec	+79 %
SSC	+0,133 sec	+164,2 %



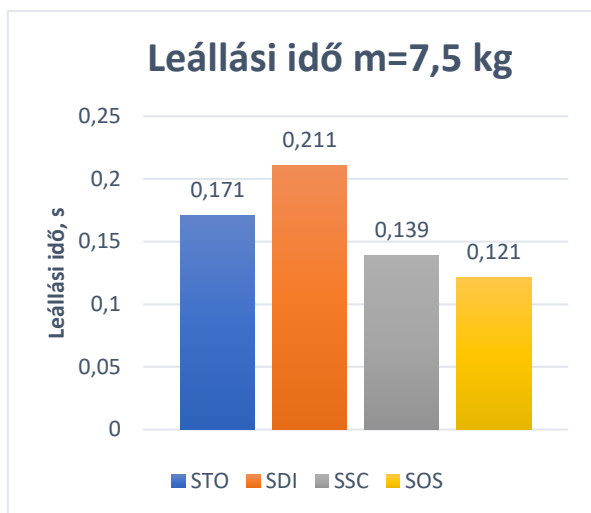
2,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az STO-val megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SOS által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,09 sec</b>	<b>100 %</b>
SSC	+0,013 sec	+14,4 %
SDI	+0,068 sec	+75,6 %
STO	+0,072 sec	+80 %



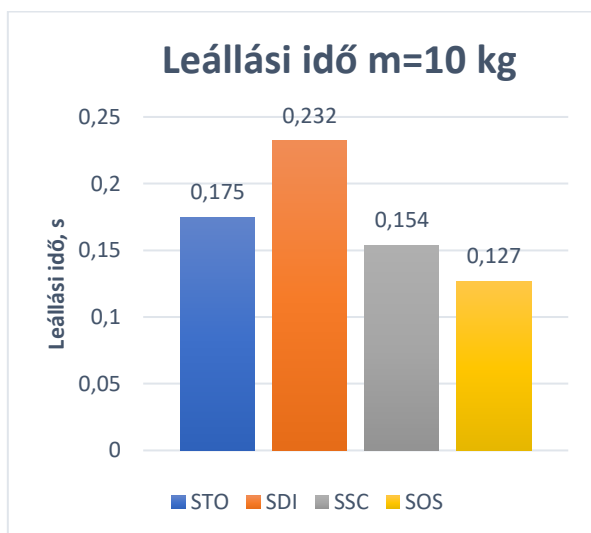
5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SDI-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SDI által megvalósított biztonságos leállás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,108 sec</b>	<b>100 %</b>
SSC	+0,015 sec	+13,9 %
STO	+0,058 sec	+53,7 %
SDI	+0,078 sec	+72,2 %



7,5 kg-os terhelés szimulációja esetén az SDI-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SDI által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,121 sec</b>	<b>100 %</b>
SSC	+0,018 sec	+14,9 %
STO	+0,05 sec	+41,3 %
SDI	+0,09 sec	+74,4 %

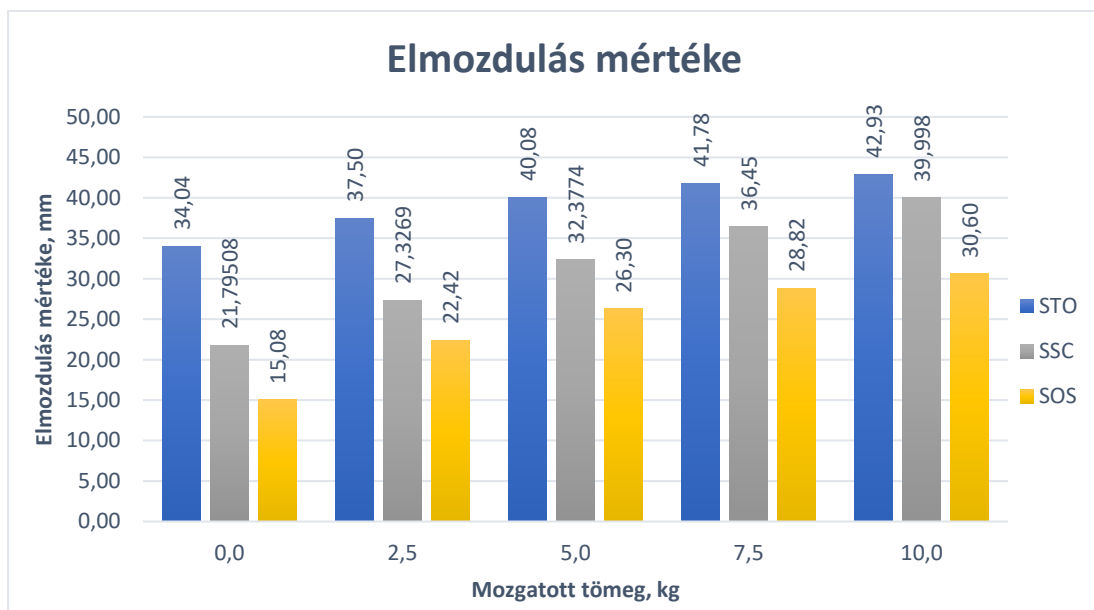


10 kg-os terhelés szimulációja esetén az SSC-vel megvalósított biztonsági funkció leállási ideje tart a legtovább. A leghamarabb az SDI által megvalósított biztonságos leállítás valósul meg.

<b>SOS</b>	<b>+0,127 sec</b>	<b>100 %</b>
SSC	+0,027 sec	+21,3 %
STO	+0,048 sec	+37,8 %
SDI	+0,105 sec	+82,7 %

79. ábra Biztonsági funkciók összehasonlítása 25%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

A **79. ábrán** megfigyelhető, hogy a mozgatott tömeg mennyiségének növekedésével az SDI rendelkezik a leghosszabb leállási idővel 5 kg feletti terhelés esetén. Terhelés nélkül az SSC leállási időtartama tart a legtovább. 2,5 kg -os tömeg mozgatása mellett minimális eltéréssel az SDI és STO-val ellátott rendszer leállása tart a legtovább.



80. ábra Leállási idők összehasonlítása 25%-os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg függvényében

A 25% -ra csökkentett sebesség következtében már határozottan érezhető a mozgási sebesség csökkenésének hatása a biztonsági funkció után megtett munkahenger elmozdulásának mértékében. STO esetében ebben a sebességtartományban terhelés nélkül 34 mm, maximális 10kg-os mozgatott tömeg esetében 43 mm az utánfutás a teljes megállásig. SSC esetében ez a távolság 22-40 mm -re csökkent. SOS rendelkezik a legrövidebb út alatt történő leállással. Ez az érték terhelés nélkül 15 mm, 10kg mozgatott teher mellett 30,5 mm távolságra mérséklődik.

19. táblázat Pontozásos besorolás a mozgatott tömeg függvényében (4 a legjobb, 1 a legrosszabb)

Tömeg, kg	Leállási idő				Elmozdulás mértéke		
	STO	SDI	SSC	SOS	STO	SSC	SOS
<b>0</b>	2	3	1	4	2	3	4
<b>2,5</b>	1	2	3	4	2	3	4
<b>5</b>	2	1	3	4	2	3	4
<b>7,5</b>	2	1	3	4	2	3	4
<b>10</b>	2	1	3	4	2	3	4
<b>Összesen:</b>	9	8	13	<b>20</b>	10	15	<b>20</b>

25 % -os működési sebesség mellett a mozgatott tömeg tekintetében a legrövidebb leállási idővel végbemenő biztonsági funkció az SOS és a leghosszabb leállási idővel rendelkező az SSC.

Ha az aktiválástól számított legrövidebb mozgással kívánjuk megvalósítani a biztonsági funkciót akkor az SSC és SOS biztonsági funkcióval ellátott rendszereket kell alkalmaznunk.

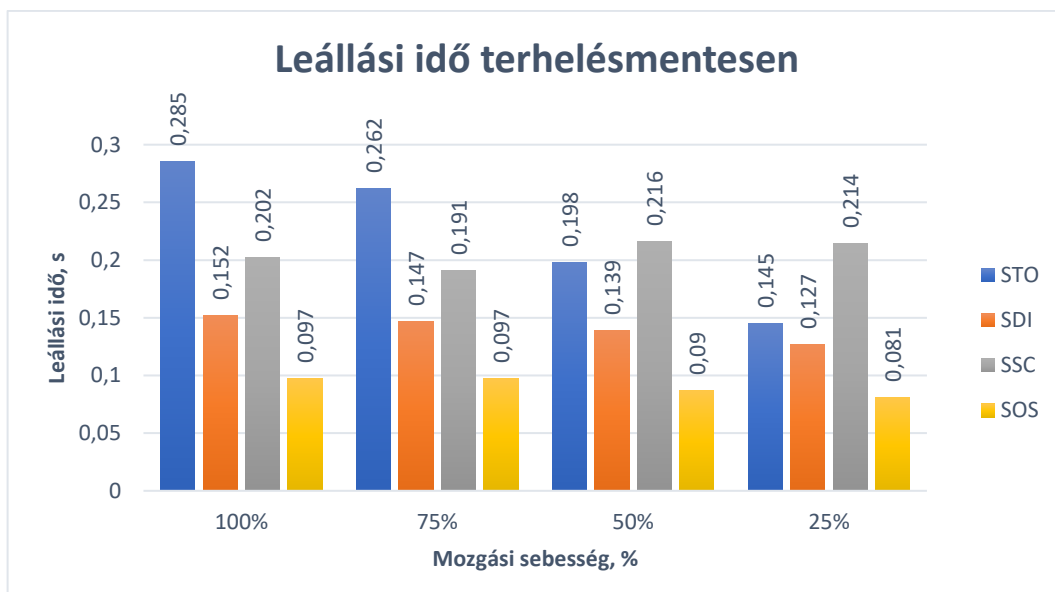
## 6.2. A biztonsági funkciók összehasonlítása a mozgatott tömegek függvényében:

Az összehasonlítást a mozgatni kívánt tömegek mellett (0 kg, 2,5 kg, 5 kg, 7,5 kg, 10 kg) vizsgálom a sebesség függvényében annak érdekében, hogy az adott terhelés alatt melyek a leghatékonyabb biztonsági funkciók a leállási idő tekintetében.

### 6.2.1. Terhelés nélkül vizsgált biztonsági funkciók:

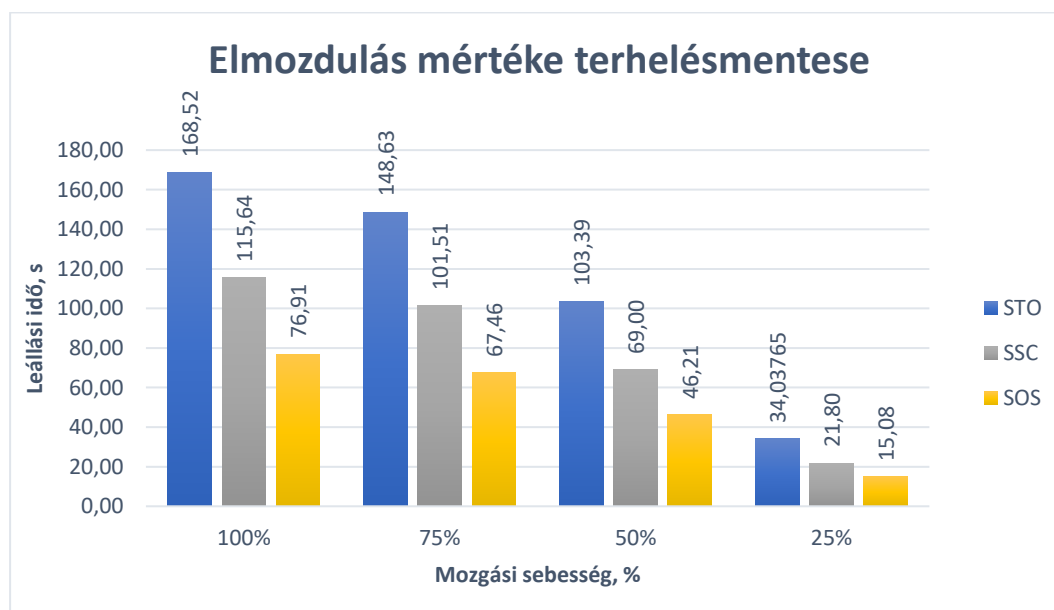
20. táblázat terhelés nélkül mért értékek

Sebesség	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
<b>100%</b>	0,285	393,52	168,52	0,152	0	225
<b>75%</b>	0,262	373,63	148,63	0,147	0	225
<b>50%</b>	0,198	328,39	103,39	0,139	0	225
<b>25%</b>	0,145	259,04	34,03765	0,127	0	225
Sebesség	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
<b>100%</b>	0,202	340,64	115,64	0,097	301,91	76,91
<b>75%</b>	0,191	326,51	101,51	0,097	292,46	67,46
<b>50%</b>	0,216	294,00	69,00	0,09	271,21	46,21
<b>25%</b>	0,214	246,80	21,80	0,081	240,08	15,08



81. ábra Leállási idők összehasonlítása terhelés nélkül a sebesség függvényében

Terhelés mentes működés esetén 100% és 75% -os mozgási sebesség mellett az STO biztonsági funkcióval ellátott rendszernek van a leghosszabb leállási ideje, míg alacsony sebességtartományban az SSC biztonsági funkcióval ellátott rendszernek tart a legtovább a leállítás. Ezen a terhelési szinten a sebességtől függetlenül az SOS biztonsági funkció rendelkezik a legrövidebb leállási idővel.



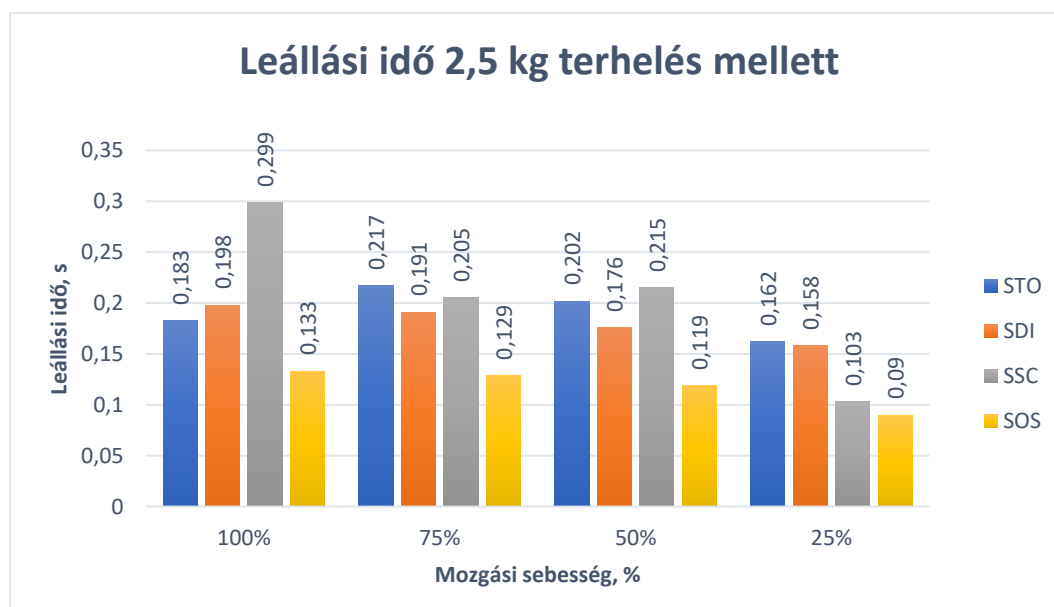
82. ábra Utánfutás összehasonlítása terhelés nélkül a sebesség függvényében

Pozicionálás szempontjából az SOS rendelkezik a biztonsági funkció aktiválása utáni legkisebb elmozdulással, míg az STO a legnagyobbval.

6.2.2. 2,5 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók:

21. táblázat 2,5 kg-os terhelés mellett mért értékek

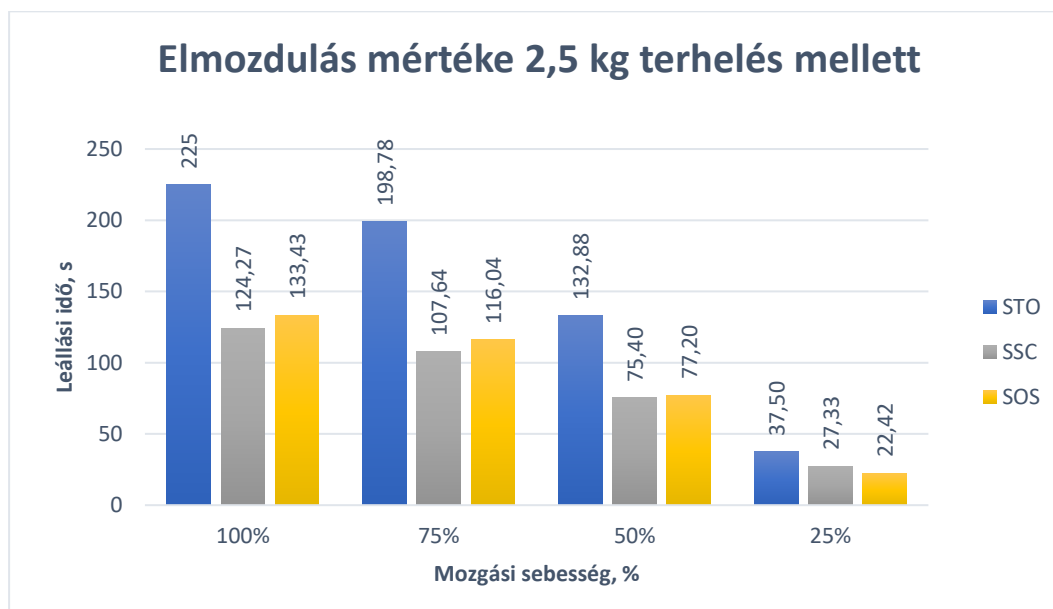
Sebesség	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,183	450	225	0,198	0	225
75%	0,217	423,78	198,78	0,191	0	225
50%	0,202	357,88	132,88	0,176	0	225
25%	0,162	262,50	37,50	0,158	0	225
Sebesség	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,299	349,27	124,27	0,133	358,43	133,43
75%	0,205	332,64	107,64	0,129	341,04	116,04
50%	0,215	300,40	75,40	0,119	302,20	77,20
25%	0,103	252,33	27,33	0,09	247,42	22,42



83. ábra Leállási idők összehasonlítása 2,5 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében

2,5 kg-os terhelés esetében az SSC-nek van a leghosszabb leállási ideje maximális sebesség mellett, de ennél a terhelési volumennél a sebesség csökkenése az SSC biztonsági funkció

leállási idejét csökkenti a legjobban. A sebességtől függetlenül itt is az SOS biztonsági funkcióval ellátott lineáris hajtásnak van a legrövidebb leállási ideje.



84. ábra Utánfutás összehasonlítása 2,5 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében  
Az elmozdulás mértéke az SSC-nél a legrövidebb, de 25%-os sebesség mellett az SOS kis mértékben, de rövidebb utánfutással áll meg.

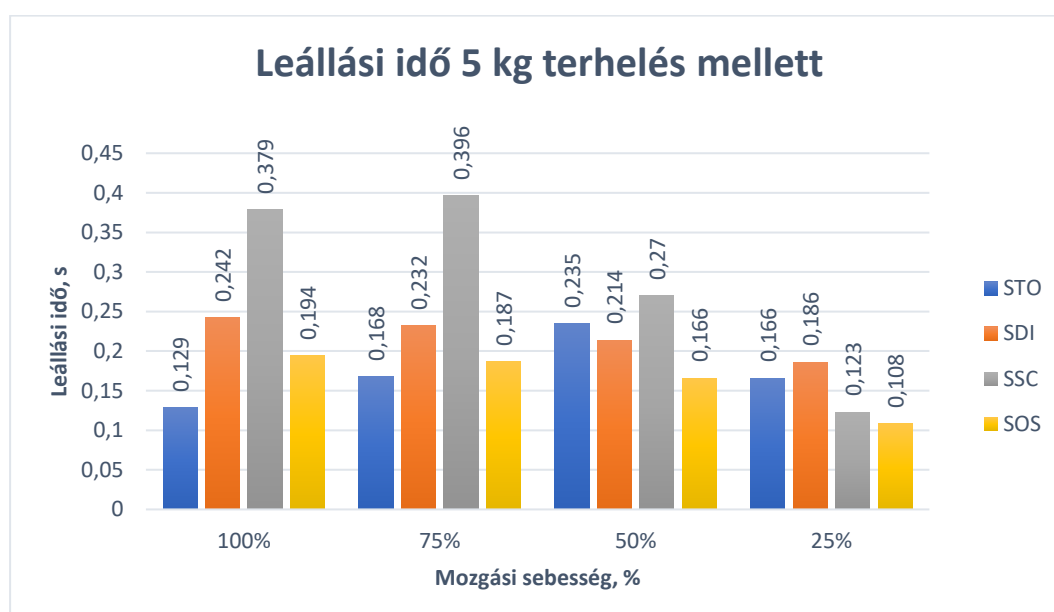
### 6.2.3. 5 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók:

22. táblázat 5 kg-os terhelés mellett mért értékek

Sebesség	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,129	450	225	0,242	0	225
75%	0,168	450	225	0,232	0	225
50%	0,235	383,01	158,01	0,214	0	225
25%	0,166	265,08	40,08	0,186	0	225

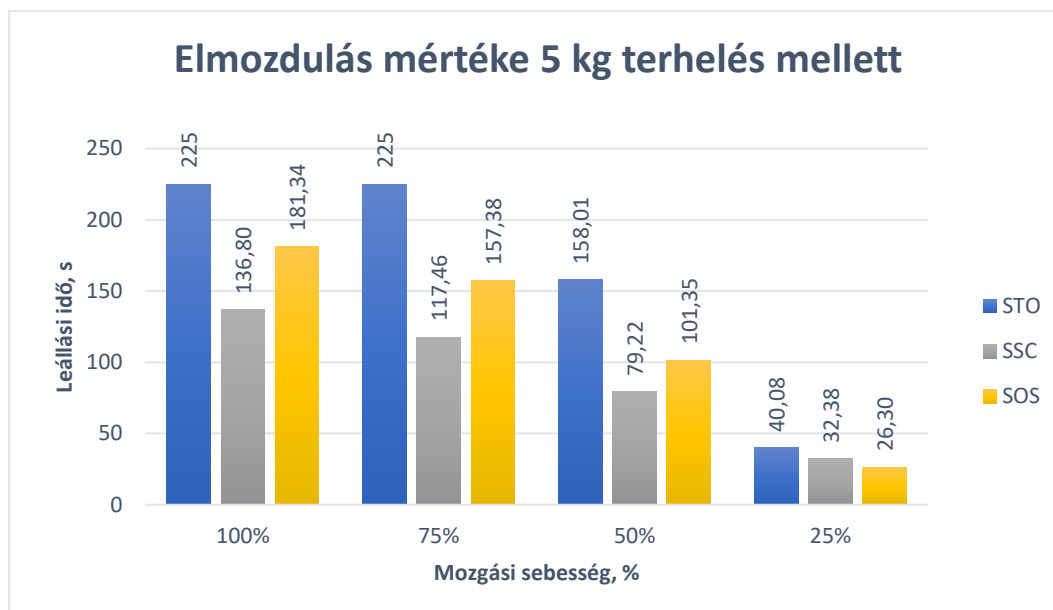


Sebesség	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,379	361,80	136,80	0,194	406,34	181,34
75%	0,396	342,46	117,46	0,187	382,38	157,38
50%	0,27	304,22	79,22	0,166	326,35	101,35
25%	0,123	257,38	32,38	0,108	251,30	26,30



85. ábra Leállási idő összehasonlítása 5 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében

5 kg-os terhelés mellett az SOS rendelkezik a legrövidebb leállási idővel, mivel az STO esetében a 100% és 75%-os sebességtartományban lévő biztonsági funkció nem teljesül a lökethossz vége előtt. Az SSC magasan a leghosszabb leállási időt hozza ekkora terhelés mellett egészen 25%-os sebességig, Az SDI 5 kg-is terhelés mellett vizsgált leállási idő tekintetében kevésbé érzékeny a sebességre. A négy mérési sebességtartomány esetén minimális a leállási idők közötti különbség.



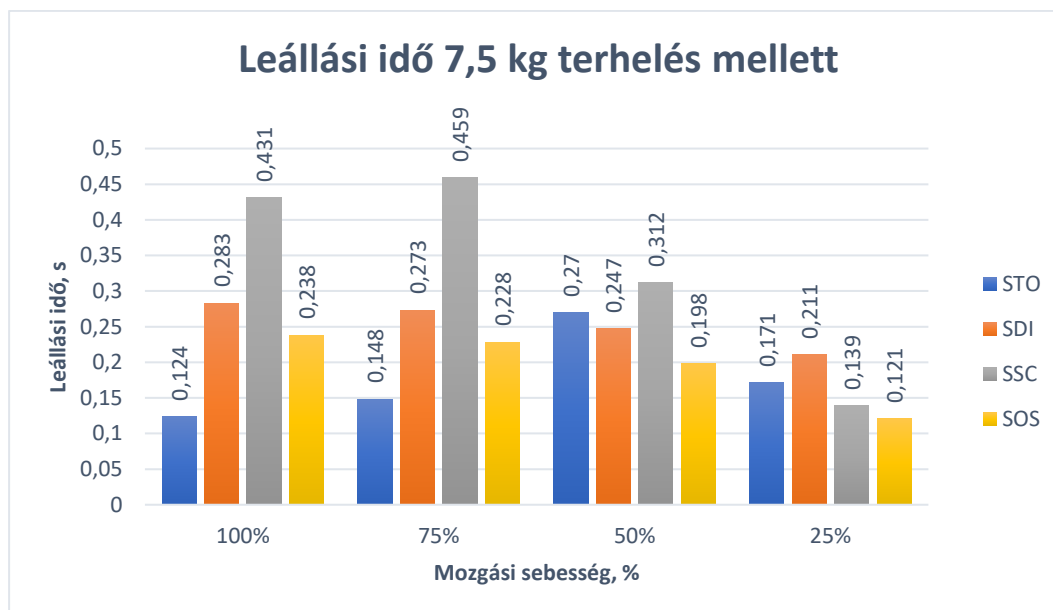
86. ábra Utánfutás összehasonlítása 5 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében

Az STO 100-75% sebességtartományban nem tudja megállítani végállás előtt az 5 kg-os terhelést. Ennél a terhelési volumennél az SSC rendelkezik a jogrövidebb túlfutással egészen 25%-os sebességig, ahol az SOS teljesít jobban.

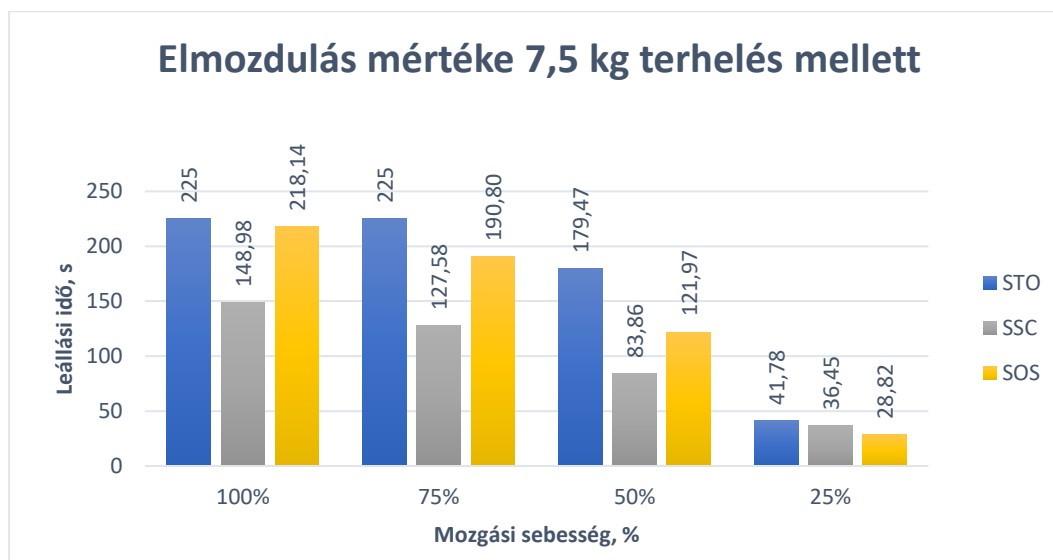
#### 6.2.4. 7,5 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók:

23. táblázat 7,5 kg-os terhelés mellett mért értékek

Sebesség	STO			SDI		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,124	450	225	0,283	0	225
75%	0,148	450	225	0,273	0	225
50%	0,27	404,47	179,47	0,247	0	225
25%	0,171	266,78	41,78	0,211	0	225
Sebesség	SSC			SOS		
	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,431	373,98	148,98	0,238	443,14	218,14
75%	0,459	352,58	127,58	0,228	415,80	190,80
50%	0,312	308,86	83,86	0,198	346,97	121,97
25%	0,139	261,45	36,45	0,121	253,82	28,82



ábra 87 Leállási idő összehasonlítása 7,5 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében  
7,5 kg-os terhelés mellett az SSC – vel ellátott pneumatikus lineáris hajtás rendelkezik a leghosszabb leállási idővel 25%-os sebességcsökkentésig. 100-75% -os sebesség mellett az STO löketvégig megy így nem beszélhetünk leállási időről. Ennél a terhelésnél a SOS áll meg a leghamarabb.

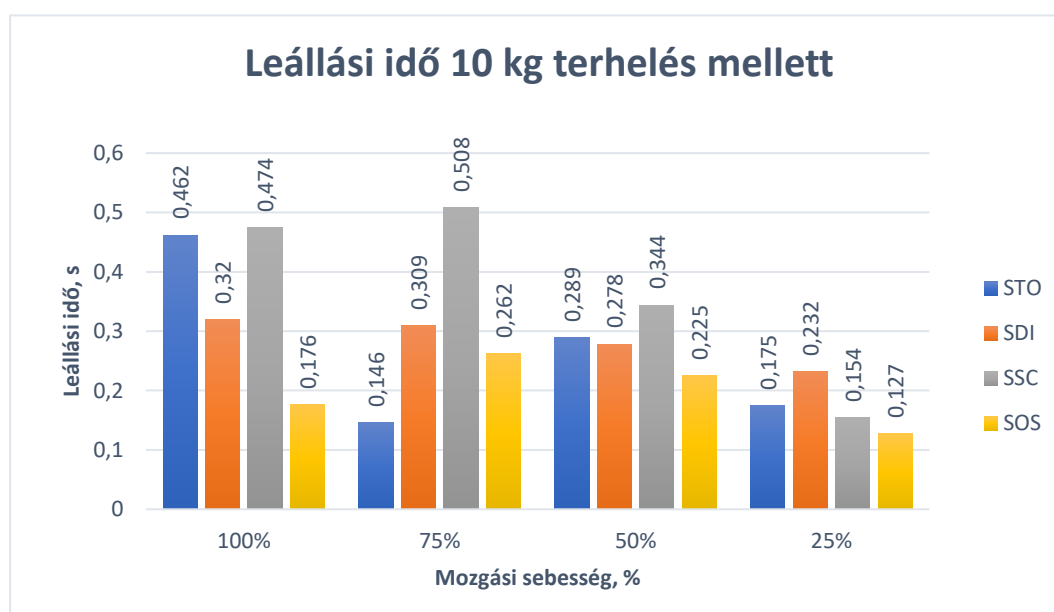


88. ábra Utánfutás összehasonlítása 7,5 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében  
Az SSC biztonsági funkcióval ellátott rendszernél a sebesség csökkentésével arányosan csökken a funkció aktiválása után megtett úthossz. Ugyan ez megfigyelhető az SOS esetében is. STO esetében 50%-os sebesség csökkenéstől tudja megállítani a 7,5 kg-os tömeget.

6.2.5. 10 kg-os terhelés mellett vizsgált biztonsági funkciók:

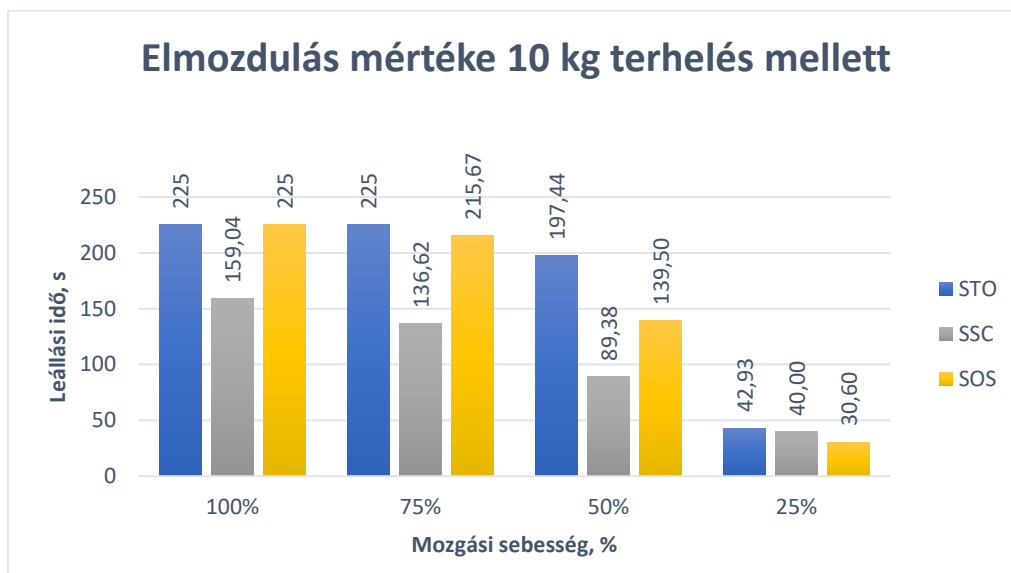
24. táblázat 10 kg-os terhelés mellett mért értékek

	STO			SDI		
Sebesség	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,462	450	225	0,32	0	225
75%	0,146	450	225	0,309	0	225
50%	0,289	422,44	197,44	0,278	0	225
25%	0,175	267,93	42,93	0,232	0	225
	SSC			SOS		
Sebesség	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm	Leállási idő, s	Pozíció, mm	Elmozdulás mértéke, mm
100%	0,474	384,04	159,04	0,176	450,00	225
75%	0,508	361,62	136,62	0,262	440,67	215,67
50%	0,344	314,38	89,38	0,225	364,50	139,50
25%	0,154	265,00	40,00	0,127	255,60	30,60



89. ábra Leállási idő összehasonlítása 10 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében  
Maximális 10 kg-os terhelés mellett az SSC rendelkezik a leghosszabb leállási idővel 50%-os mozgási sebességig, majd ez alatt az SDI biztonsági funkcióval ellátott rendszernek tart a legtovább a leállás. Az STO magasabb sebességtartományban (75-100%) nem tudja

lökethossz alatt megállítani a 10 kg-os terhet. SDI esetében a sebességváltozás nincs nagy hatással a leállási idejére. SOS ennél a terhelésnél is a legrövidebb leállási időt biztosítja a rendszer számára.



90. ábra Utánfutás összehasonlítása 10 kg-os terhelés mellett a sebesség függvényében

100%-os sebesség mellett mind az STO, mind a SOS eléri a löketvéget leállás előtt, és csak az SSC tudja biztonságosan leállítani a mozgást. STO esetében a végig futás 75%-os sebességnél is fent áll, és csak az 50%-os és az alatti sebesség mellett tudja biztonságosan leállítani a 10kg-os teher mozgását. Az SSC minden esetben teljesíti a biztonságos leállítási feltételeit.

### 6.3. Eredmények összegzése:

Az eredményeket a két megközelítési szempontból összegzem annak függvényében, hogy a munkahenger mozgási sebessége, vagy a munkahengerrel mozgatott tömeg alapján vizsgáljuk a biztonsági funkciók hatékonyságát.

Az átláthatóság érdekében pontozási rendszert alkalmaztam, ami a leállási idő függvényében történő minősítésnél 4 a legrövidebb leállási idő és 1 a leghosszabb.

A leállás utáni túlfutás besorolásánál a biztonsági funkció aktiválása után a legrövidebb út alatt megállított lineáris hajtás 4-est, a leghosszabb utat megtett 2-as jelölést kapott. Ennél a vizsgálatnál az SDI nem kapott besorolást, mivel a biztonsági funkció sajátossága az adott

irányba mozgás és pozicionálás, így a szimuláció során ennek a funkciónak van a legnagyobb, de funkcióját tekintve szükséges elmozdulása.

A szemléletesség miatt a legjobb **Zöld** a legrosszabb besorolás **Sárga** jelzést kapott. Ahol szám helyett „X” látható, ott a lökethossz alatt nem valósult meg a biztonságos leállítás.

**A munkahenger mozgási sebessége szerinti biztonsági funkciók összehasonlítása:**

25. táblázat Leállási idő szerinti összehasonlítás

V	100%					75%				
m, kg	0	2,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10
STO	1	X	X	X	X	1	1	X	X	X
SDI	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SSC	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SOS	4	4	4	4	X	4	4	4	4	4
V	50%					25%				
m, kg	0	2,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10
STO	3	3	3	3	3	2	1	2	2	2
SDI	2	2	2	2	2	3	2	1	1	1
SSC	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
SOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

26. táblázat Utánfutás szerinti összehasonlítás

V	100%					75%				
m, kg	0	2,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10
STO	2	X	X	X	X	2	2	X	X	X
SSC	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4
SOS	4	3	3	3	X	4	3	3	3	3
V	50%					25%				
m, kg	0	2,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10
STO	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SSC	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3
SOS	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4

## A munkahenger által mozgatott tömeg szerinti biztonsági funkciók összehasonlítása:

27. táblázat Leállási idő szerinti összehasonlítás

m, kg	0				2,5				5			
V	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
STO	1	1	2	2	x	1	2	1	x	x	2	2
SDI	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	1
SSC	2	2	1	1	2	2	1	3	2	2	1	3
SOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
m, kg	7,5				10							
V	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%				
STO	x	x	2	3	x	x	2	2				
SDI	3	3	3	1	4	3	3	1				
SSC	2	2	2	3	3	2	1	3				
SOS	4	4	4	4	x	4	4	4				

28. táblázat Utánfutás szerinti összehasonlítás

m, kg	0				2,5				5			
V	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
STO	2	2	2	2	x	2	2	2	x	x	2	2
SSC	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	3
SOS	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4
m, kg	7,5				10							
V	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%				
STO	x	x	2	2	x	x	2	2				
SSC	4	4	4	3	4	4	4	3				
SOS	3	3	3	4	x	3	3	4				

Leállási idő szempontjából az SOS biztonsági funkció teljesít a legjobban független a sebesség és a mozgatott tömeg változásától.

Utánfutás szempontjából a mozgatott tömegek esetében és magasabb sebességtartományokban az SSC biztonsági funkcióval ellátott lineáris hajtás áll meg a biztonsági funkció aktiválását követően a legrövidebb elmozdulás alatt, míg tehermentes működés és alacsony (25%) sebességtartományban az SOS biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus rendszer hajtja végre a biztonságos leállást a legkisebb mértékű utánfutás mellett.

## 7. Minőségbiztosítás:

Pneumatikában a minőség biztosításáért a pneumatikus rendszer részegységeit gyártó cég felel. A részegységek minőségéért és élettartamáért vállalja a felelősséget abban az esetben, ha az általa rögzített módon és feltételek mellett van üzemeltetve és karbantartva.

A pneumatikus rendszer megfelelő karbantartása, amely biztosítja a gyártó által meghatározott működési feltételeket, a gyártó által átadott műszaki dokumentáció részét képezi. A karbantartás hiánya vagy nem megfelelő elvégzése, illetve nem a gyártó által előírt eszközök és kenőanyagok használata befolyásolhatja az alkatrész minőségét és a gyártói garancia elvesztéséhez is vezethet, amely része a gyártó minőségbiztosítási rendszerének.

A gyártó a terméke minőségbiztosítását az ISO 1900-as szabványcsalád révén biztosíthatja. A minőségbiztosítással az ISO 19001, ISO 19002 és ISO 19003 szabvány foglalkozik részletesen.

Az ISO 1901 a minőségirányítási rendszernek való megfeleléssel foglalkozik. Az ISO 1902 a gyártással és telepítéssel. Az ISO 1903 a minőségbiztosítással a végső ellenőrzés során.

## 8. Gazdasági Számítás

A diplomamunkámnál alkalmazott pneumatikus lineáris hajtást mind a négy vizsgált biztonsági funkcióval ellátott rendszer esetében ugyan azon részegységek alkotják. Az STO, SDI, SSC, SOS biztonsági funkciók megfelelő kivitelezéséhez módosításra kerültek az adott mérőkörökben a munkaközeg áramlását biztosító légvezetékek bekötésének kialakítása és a biztonsági funkció vezérlésében eszközölt módosítások.

Mivel a négy mérőkört azonos egységek alkotják, gazdasági szempontból a rendszerek kialakításának költségei megegyeznek az egy mérőkört alkotó részegységek összköltségével.

29. táblázat A mérőkörök kialakításának összköltsége

Megnevezés	Gyártó	Típus	Mennyiség	Ár
Szűrő szabályzó-olajzó egység	FESTO	FRC-1/8 – D - MINI	1 db	54.188 Ft
5/3- es Proporcionális útszelep	FESTO	MPYE-5-1/8-LF-010-B	1 db	453.990 Ft
5/2-es Monostabil mágnesszelep	FESTO	VSVA-B-M52-MZH-A2-1R5L	2 db	97.738 Ft



Lineáris hajtómű	FESTO	DGPL-25-450-PPV-A-KF-B	1 db	1.271.990 Ft
Analóg útmérő	FESTO	MLO-POT-0450-TLF	1 db	867.990 Ft
Analóg nyomás szenzor	FESTO	SDE-1-D10-G2	2 db	40.946 Ft
mérő-adatgyűjtő kártya	National Instruments	NI USB-6211	1 db	567.000 Ft
Asztali tápegység	FESTO	Edutrainer 24 V DC	1 db	33.990 Ft
Alapjel képző	FESTO	Edutrainer	2 db	96.850 Ft
Bemeneti jel vezérlőpanel	FESTO	Edutrainer	1 db	45.600 Ft
Vezérlő panel	FESTO	Edutrainer	1 db	65.900 Ft
Sűrített levegő tömlő	FESTO	197383-1 PUN-H-4X0,75-BL	5 m	2.135 Ft
Gyorscsatlakozó	FESTO	QS4 10/CS	5 db	8.560 Ft

**Összesen: 3.606.877 Ft**

A rendszer kialakításának költségét befolyásolhatja a részegységek egymáshoz viszonyított helyzete. A nagyobb távolságok a kiépítés szempontjából növelik a léghálózat sűrített levegő tömlő mennyiség igényét, amely kismértékben, de növeli a rendszer kialakításának összköltségét.

---

## 9. Összefoglaló:

Célkitűzésem volt az arányos pneumatikus lineáris hajtásnál alkalmazható biztonsági funkciók (STO, SDI, SSC, SOS) összehasonlító vizsgálata a munkavégző sebessége és a mozgatott tömeg függvényében.

Az irodalmi áttekintésben a pneumatikáról, a pneumatikában használt arányos lineáris hajtásról, a gép direktíváról, az ISO 12100-2010 és az 13849-1 biztonságot érintő szabványokról és a kiválasztott négy biztonsági funkcióról nyújtottam részletes ismertetést.

A szimulációhoz Festo típusú pneumatikus termékeket választottam és elkészítettem Fluidsim programmal a négy különböző biztonsági funkcióval ellátott pneumatikus rendszerek modelljét és a vezérlésükhöz szükséges elektromos kapcsolásokat. A pneumatikus rendszereket felépítő részegységek paramétereit egységesen állítottam be. A megfelelő összehasonlítás érdekében kiválasztottam a vizsgált sebességtartományokat és a mozgatott tömegek mennyiségét.

Lefuttattam az összes beállítási paraméterrel a szimulációt és kimentettem az adatokat az összehasonlító elemzés érdekében.

A biztonsági funkciók vizsgálatát valós környezetben is elvégeztem maximális mozgási sebesség mellett és mozgatott tömeg nélkül. A valós rendszer mozgásjellemzőit MATLAB szoftverrel rögzítettem a kiértékelés és összehasonlítás érdekében. Összehasonlítottam a valós és a szimulációs környezetben végzett tesztek elmozdulási és kamrák nyomásváltozásának karakterisztikáját.

A biztonsági funkciók vizsgálata alapján történő felhasználhatóságának eredményét két szempont szerint vizsgáltam. Az egyik a munkahenger működési sebessége, amely a maximális sebesség %-os csökkentésével végeztem, a másik a munkahenger által mozgatott különböző tömegű terhelésekből adódó eltérések. A vizsgálat során fő szempont volt a biztonsági funkcióval ellátott arányos pneumatikus lineáris hajtás biztonsági funkció aktiválása utáni túlfutás mérése és a mozgás megállításához szükséges leállási idő meghatározása. A biztonsági funkciók összehasonlítása során ezt a két paramétert vettem alapul.

---

A szimulációkról részletes elemzést készítettem mind a sebesség, mind az utánfutás esetében annak érdekében, hogy az adott beállítások mellett mely biztonsági funkciók nyújtják a leghatékonyabb védelmet.

Végezetül, az eredményeket összevetve elkészítettem egy összefoglaló táblázatot, amelyben pontozási rendszer alapján minősítettem az adott sebesség és mozgatott tömegek melletti biztonsági funkciók hatékonyságát.

## **10.Summary:**

My goal was to compare the safety functions (STO, SDI, SSC, SOS) applicable to the proportional pneumatic linear drive as a function of the working speed and the moved mass.

In the literature review, I gave information about the pneumatics systems, the proportional linear drive, the machinery directives, the ISO 12100-2010 and 13849-1 safety standards and the selected four safety functions.

For the simulation, I chose pneumatic products from Festo and I created the mechanical models with their electrical controlling system to make analysis about the work process differences of four safety functions. I set the parameters of the components that make up the pneumatic systems uniformly. In order to make a proper comparison, I selected the examined speed ranges and the amount of moved masses.

I ran the simulation with all setup parameters and saved the data for comparative analysis.

I also tested the safety functions in a real environment at maximum translation speed and without moving mass. I recorded the motion characteristics of the real system with MATLAB software for evaluation and comparison. I compared the characteristics of the displacement and chamber pressure changes of the tests performed in the real and simulated environments.

Based on the test of the safety functions, I examined the result of usability from two points of view. One is the operational speed of the working cylinder, which I did by reducing the maximum speed by %, the other one is the differences resulting from the loads of different weights moved by the working cylinder. During the test, the main aspect was the measurement of the overrun after the activation of the safety function of the proportional pneumatic linear drive with safety function and the determination of the stop time required

to stop the movement. When comparing the security functions, I used these two parameters as a basis.

I made a detailed analysis of the simulations for both speed and overrun in order to determine which safety functions provide the most effective protection in addition to the given settings.

Finally, after comparing the results, I prepared a summary table in which I classified the efficiency of the safety functions with set speed and moved masses based on a scoring system

## **11. Köszönetnyilvánítás:**

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Földi László József tanár úrnak, aki a szakdolgozat során adott hasznos ötleteivel, tanácsaival, valamint a szakdolgozat készítése közben felmerülő kérdéseimmel kapcsolatban készséggel állt rendelkezésemre.

## 12. Nyilatkozatok

### NYILATKOZAT

Alulírott **Bezzegh Péter Tamás**, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, **Műszaki Intézet, Szent István Campus, Gépészmérnöki** szak 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: 2023 év 04 hó 18 nap

  
Hallgató

### NYILATKOZAT

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

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom\*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*

Kelt: 2023 év 04 hó 25 nap

  
\_\_\_\_\_

---

**\*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!**

### 13. Irodalomjegyzék:

- [1] BGIA Report 2/2008e (2009) Functional safety of machine controls-Application of EN ISO 13849.  
<https://www.dguv.de/medien/ifa/en/pub/rep/pdf/rep07/biar0208/rep22008e.pdf>
- [2] Dr. Földi László, Berencsi Bence: Ipari gépek CE jelölése és biztonsága az EU-s és hazai szabályozás tükrében, Budapest, 2022
- [3] EN ISO 12100: Safety of machinery. General principles for design. Risk assessment and risk reduction (2015)
- [4] EN ISO 13849-1:2015 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design
- [5] FESTO: Guideline for functional safety – Pneumatic and electric solutions 2022  
[https://www.festo.com/PDF\\_Flip/safety/en/files/assets/downloads/Safety%20engineering%20guidelines.%20Pneumatic%20and%20electric%20solutions.pdf](https://www.festo.com/PDF_Flip/safety/en/files/assets/downloads/Safety%20engineering%20guidelines.%20Pneumatic%20and%20electric%20solutions.pdf)
- [6] Georgi Popov, Bruce K. Lyon, Bruce Hollcroft: Risk Assessment, 2016
- [7] IFA Report 2/2017e Functional safety of machine controls – Application of EN ISO 13849  
<https://www.dguv.de/medien/ifa/en/pub/rep/pdf/reports-2019/report0217e/rep0217e.pdf>
- [8] ISO 13855: Safety of machinery — Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body (2010)
- [9] Kéri János: Pneumatika érthetően, Budapest, 2019
- [10] Mayerné Sárközi Eszter: Pneumatikus Lineáris hajtások energiahatékony pozíciószabályozása, PhD értekezés, Gödöllő, 2019
- [11] European Agency for Safety and Health at work-Directive 2006/42/EC-new machinery directive  
<https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2006-42-ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council>
- [12] Festo (2017) Linear drives DGP/DGPL, Product catalog
- [13] Festo (2022) Proportional directional control valves MPYE, Product catalog

- [14] Festo (2022) Standards-based valves, to ISO 5599-1, Product catalog
- [15] Omron: Gépbiztonsági útmutató 2012/2013  
[https://assets.omron.eu/downloads/catalogue/hu/v7/y207\\_machine\\_safety\\_catalogue\\_hu.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/catalogue/hu/v7/y207_machine_safety_catalogue_hu.pdf)
- [16] Raptis Dimitrios: Pneumatika-elektropneumatika-rendszertechnika,  
Szombathely, 2015
- [17] SICK: Útmutató a biztonságos gépekhez – Hat lépés a biztonságos géphez  
[https://cdn.sick.com/media/docs/0/00/400/special\\_information\\_guide\\_for\\_safe\\_machinery\\_hu\\_im0062400.pdf](https://cdn.sick.com/media/docs/0/00/400/special_information_guide_for_safe_machinery_hu_im0062400.pdf)