

Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Villamosmérnöki és
Mechatronikai Tanszék



Tetszőleges transzlációs pozicionálás megvalósítása ipari vezérlővel

Készítette: **Tóth Xénia Erzsébet**, HM8R9N, mechatronikai mérnök hallgató

Belső konzulens: **Dr. Tóth János**

Tanszékvezető: **Dr. Husi Géza**

Debrecen

2014.

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalom

ÁBRAJEGYZÉK	3
BEVEZETÉS	5
1. Transzlációs mozgás elmélete és gyakorlata	6
1.1. A mozgás elméleti háttere	6
1.2. Pozicionálási módok	8
1.3. Mozgási profilok	9
1.4. Gyári adatok alapján a mozgási jellemzők kiszámítása	10
2. A felhasznált hardver eszközök ismertetése	13
2.1. Szervo motor és vezérlő egysége	13
2.1.1. A Festo EMMS-AS szervomotor	15
2.1.2. A Festo CMMS-AS motorvezérlő.....	16
2.2. Az elektromos meghajtású lineáris egység	17
2.3. A kinematikai lánc pneumatikus transzporterrel.....	19
2.4. A Festo CPX típusú PLC	21
3. Programozási környezetek, kommunikáció	22
3.1. Motorvezérlő konfigurálása	22
3.1.1. Home pozíció felvétele.....	22
3.1.2. Digitális vezérlés	23
3.1.3. Jog, Teach üzemmód.....	24
3.2. CODESYS környezet bemutatása	25
3.3. A feladat megoldáshoz használt CAN kommunikáció	26
3.3.1. A CAN interfész konfigurálása	27
3.3.2. A felhasznált modell kommunikációjának felépítése.....	28
3.3.3. Record Select Mode	30
3.3.4. Direct Mode.....	31
3.4. A munkaasztal pozicionálása PID szabályozóval	32
3.5. Elektromos meghajtású lineáris egység vezérlése	34
3.6. A mozgás vizualizációja.....	35
3.7. A lineáris egységeken mért adatok megjelenítése.....	37
4. Fejlesztési lehetőségek	39
5. Összefoglalás	40
6. Irodalom jegyzék	41

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Transzlációs mozgás típusai, [2]	6
2. ábra: Egyenletesen változó mozgás kezdősebességgel, [2].....	6
3. ábra: Descartes-féle koordináta rendszer, [2]	8
4. ábra: Relatív pozicionálás	8
5. ábra: Abszolút pozicionálás.....	8
6. ábra: Háromszög mozgási profil	9
7. ábra: Átlagsebesség vizsgálata	9
8. ábra: Trapéz mozgási profil.....	10
9. ábra: Elektromos meghajtású lineáris egység alapadatainak meghatározása, [3].....	11
10. ábra: Nyomaték meghatározáshoz szükséges adattábla, [3].....	11
11. ábra: Az összeállított modell.....	13
12. ábra: A Festo léptető és szervó motorok nyomaték-fordulatszám viszonyai, [4].....	14
13. ábra: AC szervó motor szerkezeti felépítése, [4]	14
14. ábra: Festo EMMS-AS-55-S-TM szervó motor, [5].....	15
15. ábra: A megvalósított zárt hatásláncú rendszer	15
16. ábra: A szervomotor gyári adatai, [6].....	16
17. ábra: Festo CMMS-AS-C4-3A-G2 motorvezérlő, [7].....	16
18. ábra: Vezérlő egység kézi funkciói	17
19. ábra: A kettő felhasznált fogas szíjas lineáris egység.....	18
20. ábra: A felhasznált Rexroth pneumatikus nyomásszabályozó szelep	19
21. ábra: Mágneskuplungos pneumatikus transzporter	19
22. ábra: SM6-AL típusú útmérő szenzor [11]	20
23. ábra: A transzportert működtető pneumatikus kapcsolás rajza.....	20
24. ábra: A PLC modulkonfigurációja	21
25. ábra: Festo Configuration Tool kezelői felülete.....	22
26. ábra: A home pozícióban aktuális adatok felvételének paraméterei	23
27. ábra: Szoftveres végállások meghatározása	23
28. ábra: A vezérlő digitális ki- és bemenetei	24
29. ábra: Jog paraméterek beállítása	24
30. ábra: A CoDeSys szintjei [17].....	25
31. ábra: CODESYS fejlesztő környezete	26

32. ábra: Motorvezérlő CAN csatlakozója, [19]	27
33. ábra: HPP modul CAN csatlakozója, [19]	27
34. ábra: CANopen beállítása az FCT kezelő felületén	27
35. ábra: CANopen beállítása CODESYS felületén	28
36. ábra: A vezérléshez használt byte-ok feladatai, [19]	28
37. ábra: Az eszközök kommunikációja.....	29
38. ábra: A PLC programban deklarált vezérlő bitek	30
39. ábra: A PLC programban használt Record Select vezérlő bitek.....	30
40. ábra: A PLC programban használt Direct Mode vezérlő bitek	31
41. ábra: A FCT programban Direct Mode konfiguráció	31
42. ábra: A szabályozás hatásvázlata.....	32
43. ábra: A PID szabályozáshoz használt változók, és a programkód	34
44. ábra: Elektromos meghajtású lineáris egységet vezérlő programrészlet.....	34
45. ábra: Az elkészített megjelenítő felület	35
46. ábra: A szervó motorhoz tartozó Trace Data	37
47. ábra: Sampling Trace megjelenítése	37
48. ábra: Trendek a Vizualizációban	38
49. ábra: Többtengelyes manipulátor, [30]	39
50. ábra: Az összeállított rendszer.....	40

BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem Műszaki Karának Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszékén a mechatronikai mérnöki képzés alatt különböző iparban és oktatásban felhasznált eszközöket ismertem meg. A Festo Kft. által szervezett WordSkills világverseny magyarországi mechatronika szakmacsoport magyar válogatott keretében való felkészítések során különféle ismereteket szereztem a vezérlőkről, mérőrendszerekről, mérőállomásokról, és a szenzortechnikáról.

A korábbi TDK dolgozatomban kifejlesztett mérőrendszer kapcsán betekintést nyertem egy Programozható Logikai Vezérlő (Rexroth IndraControl L20 PLC), a méréshez szükséges szenzorok, illetve egy ipari megjelenítő egység kommunikációjába. A DE-HIGH VOLTAGE csapat korábbi tagjaként az elektromos autó fejlesztése során is szereztem tapasztalatokat különféle hajtástechnikákról. Az előző évi TDK során pedig megvalósítottam egy olyan összetett rendszert (HMI, PLC, szervo- és léptető motorok integrációjával), amelynek betanítható volt egy felhasználó által meghatározott sorrendi folyamat. Ekkor a felhasznált motorok diszkrét értékekre pozicionáltak, kizárólag forgó mozgást végezve.

Munkám során az általam felhasznált szervo motor forgó mozgását transzlációssá alakítottam, így egy lineáris egységen vett fel különböző diszkrét pozíciókat, meghatározott sebességgel. A pozíció felvételnek voltak korlátai, újrakonfigurálás nélkül, csak előre definiált, legfeljebb 64 helyzetet tudott felvenni. A kitűzött célom, hogy kettő az iparban használt, de eltérő segédenergiával (elektropneumatikus, elektromos) működő tengelyen transzlációs pozicionálást valósítsak meg. A pneumatikus egység pontos pozicionálásához a levegő összenyomhatóságából adódóan szükséges volt egy PID szabályozás létrehozása is. Az elektromos egység esetén arra törekedtem, hogy tetszőleges pozíció és sebesség váljon felvehetővé.

A megszerzett ismeretek birtokában a választásom egy Festo szervo motorra, Festo CPX-CEC programozható logikai vezérlőre (PLC), lineáris mozgatópályákra illetve egy mágnes kuplungos pneumatikus transzporterre esett. Célom a kapcsolat létrehozása a PLC és a motor között CANOpen kommunikációval, FHPP adat profilon keresztül. Létrehoztam továbbá egy vizualizációs kezelőfelületet a rendszer irányításához, a mozgási paraméterek valós idejű megfigyeléséhez, az adatok mentéséhez.

1. TRANSZLÁCIÓS MOZGÁS ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA

Az általam létrehozott rendszer pontos gyakorlati megvalósíthatósága és alkalmazhatósága érdekében szükséges volt a mozgások matematikai hátterének vizsgálata, a mozgás jellemzőinek kiszámítása.

1.1. A MOZGÁS ELMÉLETI HÁTTERE

A merev test általános mozgása haladó (transzlációs) és forgó (rotációs) komponensből áll. A *transzlációs* mozgás során (1. ábra) a test minden pontjának elmozdulása, így sebessége, gyorsulása is azonos. Ennél a mozgástípusnál a test minden pontja ugyanolyan alakú és hosszúságú pályán mozog, az egyes pontok pályái egymáshoz képest párhuzamos eltolással fedésbe hozhatók.

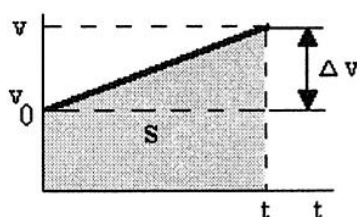
A *rotáció* során a pontok szögelfordulása, így a szögsebessége, szöggyorsulása is azonos. Forgó mozgásnál a pontok pályái körívek, a körök középpontjai a rotáció tengelyén (forgástengely) vannak [1].

Transzláció fajtája	Sebesség (v)	Gyorsulás (a)
Egyenletes	Állandó	Nincs
Egyenletesen változó	Egyenletesen változó	Állandó
Egyenetlenül változó	Egyenetlenül változó	Változó

1. ábra: Transzlációs mozgás típusai, [2]

Egyenletesen változó transzlációs mozgás, v_0 kezdősebességgel

A $t=0$ időpillanatban fennálló (v_0) kezdősebesség egyenletesen változik a Δv – vel, a gyorsulás pedig állandó.



2. ábra: Egyenletesen változó mozgás kezdősebességgel, [2]

Mivel a megtett út az $f=v(t)$ diagram trapéz területével egyenlő (2. ábra), ezért [2]:

$$s = v_0 t + \frac{(v-v_0)t}{2} = t(v_0 + \frac{v-v_0}{2}) = t(0.5 v_0 + 0.5 v) \quad (1)$$

$$2 s = t (v + v_0) \Rightarrow s = \frac{v+v_0}{2} t \quad (2)$$

Mivel a gyorsulás: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \Delta v = a \Delta t, \quad (3)$

ezért az (1) összefüggésből kiszámítható:

- a megtett út: $s = v_0 t + \frac{a}{2} t^2$ (4)

- a pillanatnyi sebesség: $v = v_0 + a t = v = \sqrt{v_0^2 + 2 a s}$ (5)

- átlagsebesség: $\bar{v} = \frac{v+v_0}{2} = v_0 + \frac{a t}{2} = \frac{s}{t}$ (6)

Ha az anyagi pont pályája nem ismert, akkor vektormennyiségek alkalmazása válik szükségessé:

$$\vec{r}_t = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\vec{v}_{(t)} = \frac{d\vec{r}_{(t)}}{dt} \quad (8)$$

$$\vec{a}_{(t)} = \frac{d\vec{v}_{(t)}}{dt} = \dot{\vec{v}}_{(t)} = \ddot{\vec{r}}_{(t)} \quad (9)$$

A körmozgás legegyszerűbben egy olyan síkbeli polárkoordináta-rendszerben írható le, amelynek origója a kör középpontja. A helyvektor nagysága ekkor állandó: $r = R$, ahol R a kör sugara.

Általános görbe vonalú mozgás esetén a gyorsulásnak két komponense van:

- a tangenciális komponens a sebesség nagyságának változását,
- a centripetális komponens, amely a sebesség irányának változását írja le.

Ha a mozgás egyenes vonalú, akkor $a_{cp} = 0$, ha pedig a mozgás egyenletes, akkor $a_t = 0$ [1].

Körmozgást leíró skaláris mennyiségek, kapcsolatuk a transzlációs mozgással:

Körmozgás esetén célszerű pályamenti sebességekről szögmennyiségekre áttérni:

$$\varphi(t) = \frac{s(t)}{R} \quad (10)$$

$$\varepsilon(t) = \dot{\omega}_{(t)} = \ddot{\varphi}_{(t)} \quad (11)$$

Egy pálya menti mennyiségből a hozzá tartozó szögmennyiséget a sugárral való osztással kapható meg:

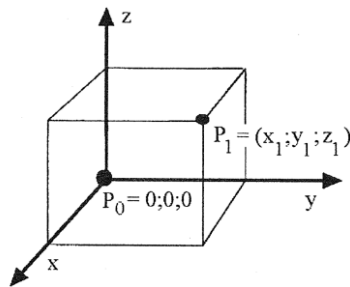
$$\varepsilon(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{a(t)}{R} \quad (12)$$

$$v_{(t1)} = v_{(t0)} + \int_{t0}^{t1} a_{(t)} dt \longrightarrow \omega_{(t1)} = \omega_{(t0)} + \int_{t0}^{t1} \varepsilon_{(t)} dt \quad (13)$$

$$s_{(t1)} = s_{(t0)} + \int_{t0}^{t1} v_{(t)} dt \longrightarrow \varphi_{(t1)} = \varphi_{(t0)} + \int_{t0}^{t1} \omega_{(t)} dt \quad (14)$$

Egy manipulátor munkavégzése során, felépítésétől függően a térben transzlációs és/vagy rotációs mozgást végez. A mozgási útvonal meghatározása érdekében, egy koordináta-rendszerben definiálni kell a munkavégzéshez szükséges koordinátákat. Az általam

használt TT kinematikai rendszer leírását célszerű Descartes-féle koordinátákkal végezni (3. ábra), ahol az x , y , z adatokat távolságban megadni. A három tengely három koordinátasíkot határoz meg [2].



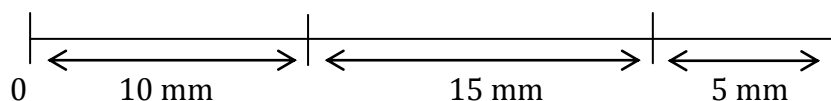
3. ábra: Descartes-féle koordináta rendszer, [2]

1.2. POZICIONÁLÁSI MÓDOK

A pozicionálás pontossága nagy mértékben függ a szabályozás visszacsatoló ágában található pozíciómérő eszköztől, ami működését tekintve lehet abszolút vagy relatív mérőrendszer.

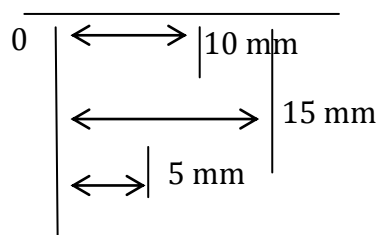
Közvetlen útmérő rendszer esetében a mérés az egyenes vonalú mozgó tengelyen valósul meg. Közvetett útmérő rendszereknél a mért értékekből közvetve lehet (áttételből, motor tengely megtett fordulatszámából) a kívánt pozícióértékeket meghatározni [2].

A **relatív**, vagy másnéven inkrementális pozicionálás alkalmazásakor (4. ábra), ha a 0 pozícióból 10 mm pozitív irányú elmozdulás után azt a parancsot adjuk, hogy érje el a 15 mm-t akkor a következő érték számítását az aktuális (10 mm) pozíciójától újra kezdi. Ezzel a módszerrel a legnagyobb a pontatlanság előfordulásának valószínűsége.



4. ábra: Relatív pozicionálás

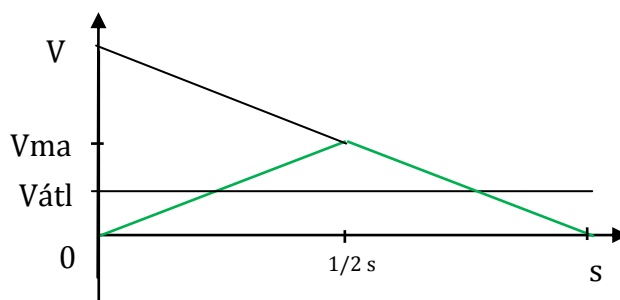
Az **abszolút** esetben (5. ábra) a 0 ponthoz képest történik a pozicionálás. Az előző példában használt értékekkel a 10 mm elérése után 5 mm-t halad tovább jobbra, így érkező a 15 mm-es pozícióba:



5. ábra: Abszolút pozicionálás

1.3. MOZGÁSI PROFILOK

A **háromszög mozgási profil** esetében (6. ábra) azt feltételezve, hogy egy állandó gyorsulással egy adott távolságot tesz meg egy test, akkor végsebességét az adott távolság végén éri el. Ezt fordított esetben megvizsgálva, ha a végsebességéről konstans lassítással megteszi a test ugyanazt a távolságot, akkor azt elérve a sebessége nullára csökken. Az így elérhető maximális sebesség a két egyenes metszéspontjában található, ami egyúttal a megtett távolság, valamint a megtett idő felét is kijelöli. Tehát az út első felében gyorsul a test, majd a második felében lassul.



6. ábra: Háromszög mozgási profil

Az átlagsebesség meghatározása:

$$t_{gyorsulás} = \frac{t}{2} \quad (15)$$

$$v_{átl} = \frac{s}{t} \quad (16)$$

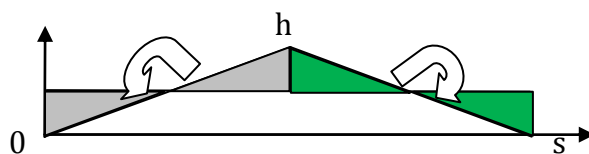
$$v_{max} = 2 \cdot v_{átl} \quad (17)$$

Ha a kezdősebesség nulla:

$$a = \frac{v_{max}}{t_{gyorsulás}} \quad (18)$$

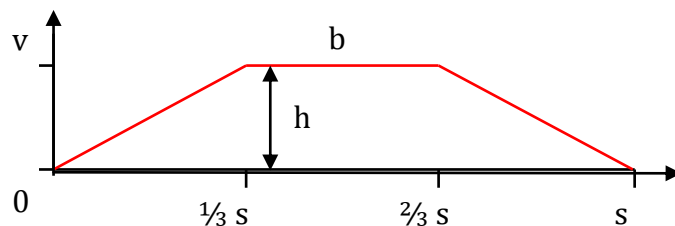
$$A_{háromszög} = s \cdot \frac{h}{2} \quad (19)$$

A szürke és a zöld háromszög áthelyezésével egyszerűen kiszámítható az így kapott négyzet területe (7. ábra), ami az átlagsebességet adja meg. Mivel az eredeti háromszög magassága kétszerese a téglalapénak, így következik, hogy a maximális sebesség is kétszerese az átlagsebességnek.



7. ábra: Átlagsebesség vizsgálata

A **trapéz mozgási profil** (8. ábra) 3 egyenlő részből tevődik össze, ami alapján felosztjuk a megtett távolságot is. Az első szakaszban felgyorsul a maximális sebességre, a második szakaszban tartja azt, végül a harmadik egységben álló helyzetig lassít a test mozgása során.



8. ábra: Trapéz mozgási profil

$$v_{max} = 1,5 \cdot v_{átl} \quad (20)$$

$$A_{trapéz} = (s + b) \cdot \frac{h}{2} \quad (21)$$

A két típust összehasonlítva, azzal a feltétellel, hogy a megtett távolság és az átlagsebesség mindkettő esetben egyenlő nagyságú, megállapítható, hogy a háromszög profilnál magasabb a maximális sebesség, míg a trapéz profilnál nagyobb a gyorsulás értéke. Ezzel szemben az energiaszükséglete a trapéz típusnak kevesebb, mivel annak kisebb a kapott terület nagysága.

1.4. GYÁRI ADATOK ALAPJÁN A MOZGÁSI JELLEMZŐK KISZÁMÍTÁSA

A pontos pozicionálás érdekében előzetes számításokat végeztem a különböző mozgási jellemzők meghatározására, az elektromos meghajtású lineáris tengely gyári adatai alapján.

A szükséges paraméterek:

- a mozgatott tömeg [kg],
- a megtett távolság [m],
- a mozgáshoz szükséges idő [s],
- a tengely orientációja.

Az alábbi adatokkal számolva (9. ábra):

Tömeg = 1 kg

Lökethossz = 300 mm

Idő = 0,75 s

Orientáció = vízszintes

Mozgási profil = háromszög

Az átlagsebesség kiszámítása:

$v_{átl} = \text{megtett távolság} / \text{idő}$

$$v_{átl} = \frac{0,3}{0,75} = 0,4 \text{ m/s} \quad (22)$$

Maximális sebesség a háromszög mozgási profilhoz:

$$v_{max} = 2 \cdot v_{\text{átl}} = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ m/s} \quad (23)$$

Gyorsulás a háromszögmozgási profilhoz:

$a = v_{max} / t_{acc}$ (gyorsulási idő = 1/2 teljes mozgáshoz szükséges idő)

$$a = \frac{0,8}{0,375} = 2,1 \text{ m/s}^2 \quad (24)$$

Szükséges erő:

$$F = m \cdot a = 1 \cdot 2,1 = 2,1 \text{ N} \quad (25)$$

General technical data		8	12	18	25	40	63
Size		8	12	18	25	40	63
Constructional design		Electromechanical axis with toothed belt and recirculating ball bearing guide					
Guide		Recirculating ball bearing guide					
Mounting position		Any					
Max. working stroke ¹⁾	GK [mm]	1 ... 650	1 ... 1000	1 ... 1000	1 ... 3000 ²⁾	1 ... 4000 ²⁾	1 ... 4500 ²⁾
	GV [mm]	–	–	1 ... 920	1 ... 2900	1 ... 3830	1 ... 4250
	GA [mm]	–	–	–	1 ... 1800	1 ... 1800	–
Max. working load	[kg]	1.5	3	6	20	50	120
Max. feed force F_x	[N]	15	30	60	260	610	1500
Max. radial force ³⁾	[N]	103	77	290	307	984	2600
Radial force ⁴⁾	[N]	56	96	117	235	370	840
Radial force ⁵⁾	[N]	40	70	80	140	170	400
Max. driving torque	[Nm]	0.08	0.18	0.5	2.6	9.7	42
Max. no-load driving torque ⁶⁾	[Nm]	0.05	0.08	0.2	0.5	1.0	4.5
Max. speed	[m/s]	3	3	3	3	3	3
Max. acceleration	[m/s ²]	15	20	20	50	50	50
Repetition accuracy	[mm]	±0.08			±0.1		

9. ábra: Elektromos meghajtású lineáris egység alapadatainak meghatározása, [3]

Nyomaték kiszámítása:

Az M nyomaték az erő és a fogasszíj tárcsa sugarának szorzatával számítható ki (10. ábra).

Toothed belt		8	12	18	25	40	63
Size		8	12	18	25	40	63
Tensile stress ¹⁾	[%]	0.04	0.1	0.2	0.11	0.1	0.15
Pitch	[mm]	2	2	2	3	5	8
Effective diameter	[mm]	10.18	12.09	16.55	20.05	31.83	56.02
Feed constant	[mm/rev.]	32	38	52	63	100	176

10. ábra: Nyomaték meghatározáshoz szükséges adattábla, [3]

$$r = \frac{16,55}{2} = 8,275 \text{ mm} = 0,008275 \text{ m} \quad (26)$$

A motor szükséges nyomatéka:

$$M = F \cdot r = 2,1 \cdot 0,008275 = 0,0173775 \text{ Nm} \quad (27)$$

A tömeg mozgatásához szükséges nyomaték+nyomaték a belső súrlódások legyőzéséhez:

$$0,0173775 + 0,2 = 0,2173775 \text{ Nm} \quad (28)$$

Forgási sebesség

A táblázatból szintén kiolvasható az előtolás, ami 52 mm/fordulat. Tehát a motor tengelyének egy körbefordulásakor a szán 52 mm-t mozdul el a fogas szíjas tengelyen.

A szükséges körülfordulások számának meghatározásához a teljes távolságot kell elosztani az egy körülforduláshoz tartozó elmozdulással.

$$fordulat = \frac{lökethossz}{előtolás} = \frac{300}{52} = 5,769 \text{ fordulát} \quad (29)$$

$$forgási \text{ sebesség} = \frac{fordulat}{idő} = \frac{5,769}{0,75} = 7,692 \text{ fordulát/s} \quad (30)$$

$$max. \text{ forgási sebesség} = 7,692 \cdot 2 = 15,384 \text{ fordulát/s} \quad (31)$$

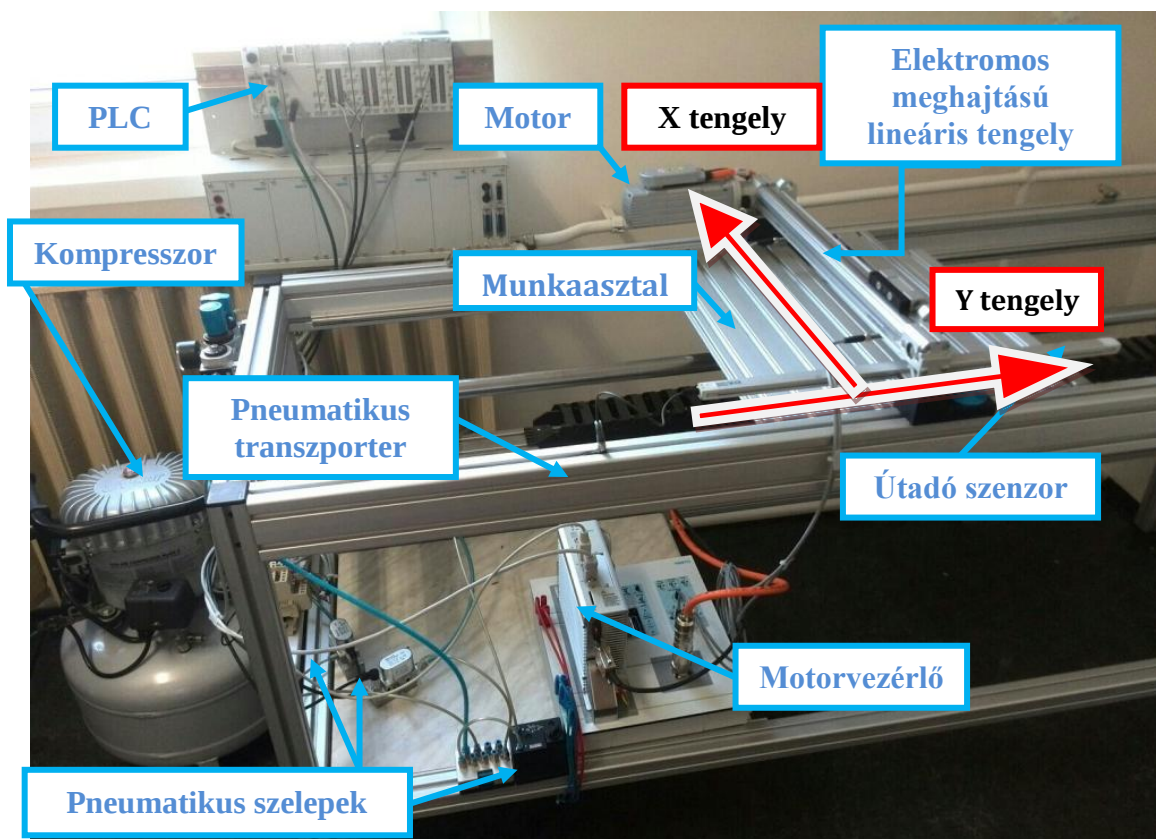
A forgási sebesség rpm-ben (percenkénti forgás) kifejezve:

$$7,692 \cdot 60 = 461,52 \text{ rpm} \quad (32)$$

A maximális forgási sebesség így $2 \times 462 = 924 \text{ rpm}$.

2. A FELHASZNÁLT HARDVER ESZKÖZÖK ISMERTETÉSE

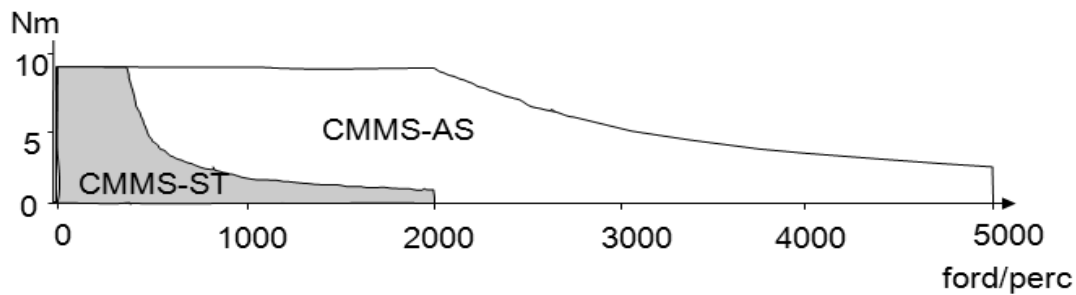
TDK dolgozatomban alapja pozícionálási feladat megvalósítása volt lineáris tengelyen egy Festo szervo motorral (X irány). Ennek kinematikai láncát egy újabb, arra merőleges transzlációs tengellyel is kibővítettem (Y irány). A kiegészítő tengelyen való mozgást egy mágnes kuplungos pneumatikus transzporter valósítja meg. A munkaasztal lineáris mozgást végez a szervo motor által irányított elektromos meghajtású tengely alatt (11. ábra). Az egységek irányítását és összehangolását a PLC (Programmable Logic Controller) végzi.



11. ábra: Az összeállított modell

2.1. SZERVO MOTOR ÉS VEZÉRLŐ EGYSÉGE

A váltóáramú szervo motorok kefe nélküli szinkron motorok, melyeknek egyik legfőbb tulajdonsága, hogy adott fordulatszámon az áramerősség növelésével nagy nyomaték leadására is képesek. Így nagy tömegek mozgathatók velük, továbbá magas a pozícionálási pontosságuk.

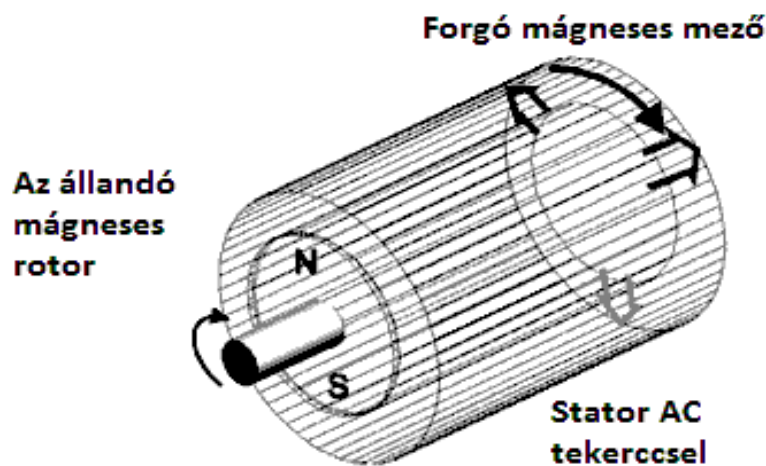


12. ábra: A Festo léptető és szervo motorok nyomaték-fordulatszám viszonyai, [4]

Az iparban igen elterjedtek, fordulatszám tartományuk tágabb határok között mozog, mint a léptetőmotoroké (12. ábra). Ezekből kifolyólag vezérlésük lehet nyomaték vagy fordulatszám alapú szabályozás. A bemenő villamos jel (feszültség vagy áram) hatására a kimenő jel szögelfordulás vagy mechanikai elmozdulást eredményez. A létrejövő elfordulási szögről az információt egy érzékelő nyújtja (például: abszolút vagy inkrementális enkóder). A kefe nélküli szervo motor felépítését tekintve egy háromfázisú álló-, és egy állandó mágnesű forgó részből áll (13. ábra). A rotor forgási sebessége függ az állórész tekercselésében indukálódott forgó mágneses mező frekvenciájától. A rotor szinkronban mozog a stator mágneses mezejével, és azt azzal megegyező fordulatszámmal követi.

$$n = \frac{2f}{p} \quad (33)$$

A fenti összefüggésből látható, hogy a motor fordulatszáma (n) egyenesen arányos az állórész frekvenciájával (f), illetve fordítottan a pólusszámmal (p).



13. ábra: AC szervo motor szerkezeti felépítése, [4]

2.1.1. A FESTO EMMS-AS SZERVOMOTOR

Az általam használt motor egy Festo EMMS-AS-55-S-TM (14. ábra), amelynek neve tartalmazza a motor típusát és fizikai paramétereit:

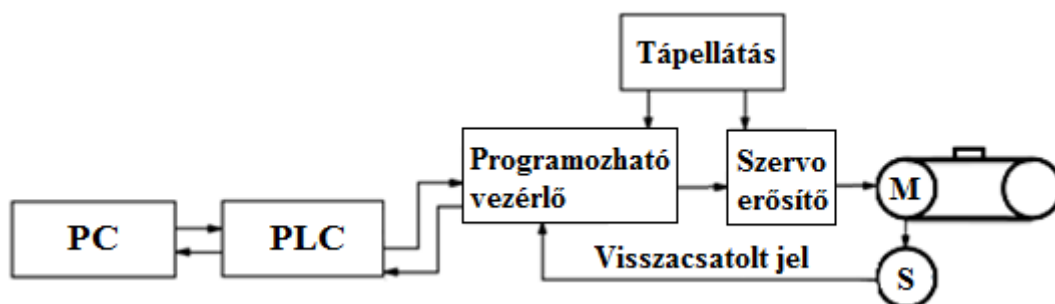
EMMS:	Motor
AS:	Szervo motor
55:	Karima méret [mm]
S:	Teljes hosszúság (Small)
TM:	Végcsatlakozó, többfordulatú



14. ábra: Festo EMMS-AS-55-S-TM szervo motor, [5]

A háromfázisú kefe nélküli szervo motornak a tengelyére fel van szerelve egy induktív többfordulatú enkóder is, ami információkat küld vissza a motortól a vezérlő felé, tehát egy zárt hurkú rendszert hoz létre.

Ebben a zárt hatásláncú szabályozási folyamatban (15. ábra) a PLC továbbítja az információkat a motorvezérlő felé a kívánt motorparaméterekről úgy, mint a forgási irányról, a megteendő távolságról, a sebességről és a gyorsulásról.



15. ábra: A megvalósított zárt hatásláncú rendszer

A szenzor (enkóder) vizsgálja az adott pillanatban az aktuális értéket, és erről egy visszacsatolást küld a vezérlőnek. A valós és a kívánt értékek összehasonlítása után eldönti, hogy szükséges-e korrekció, amennyiben igen, a vezérlő elvégzi azt. Ez folyamatosan

ismétlődik, amíg az utasításnak megfelelő értékek be nem állnak. A befejezett mozgásról a visszajelzés befut a PLC-be, ami ezután kiadja a következő mozgási utasítást.

A felhasználó számára fontos információkat is jelez a PC-n futó vizualizációs felület.

A szervo motor gyári adatai (16. ábra):

Névleges nyomaték	0,68 Nm
Névleges sebesség	6600 rpm
Névleges feszültség	360 V
Néveleges áramerősség	1,2 A
Tartónyomaték álló helyzetben	0,98 Nm
Tartó áram	1,76 A
Maximális sebesség	7330 rpm
Nyomatékcúcs	2,7 Nm
Maximális áramfelvétel	5 A

16. ábra: A szervomotor gyári adatai, [6]

2.1.2. A FESTO CMMS-AS MOTORVEZÉRLŐ

A szervomotor irányításához szükséges egy motorvezérlő egység, melynek további funkciói a beérkező jelek, információk feldolgozása, valamint a PLC-vel történő kommunikáció. Az általam használt Festo CMMS-AS-C4-3A-G2 motorvezérlő (17. ábra), amelynek paraméterei:

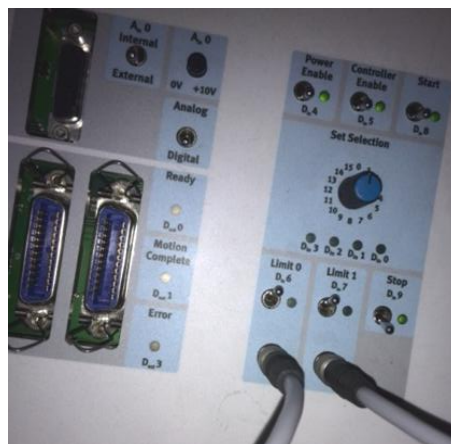
- CMMS: Standard motorvezérlő
- AS: Váltóárammal való működés (synchronus)
- C4: Névleges áramerősség (4 A)
- 3A: Névleges feszültség (230 V AC/50... 60 Hz)
- G2: Második generáció



17. ábra: Festo CMMS-AS-C4-3A-G2 motorvezérlő, [7]

A maximális áramerősség értéke 10 A, továbbá az RS-232 soros porton létrejövő jelsebesség 9600-115000 bits/s között határozható meg. A vezérlőhöz csatlakozik hálózati feszültség, amit továbbít a motorhoz, a vezérlést pedig +24 VDC megáplálás biztosítja. Található rajta egy 7 szegmenses kijelző, amely jelzést ad az aktuális program állapotáról, valamint hibakódok megjelenítésére is alkalmas. A vezérlőegységben található beépített fékezés szabályozás, valamint több vezérlő esetén master-slave kapcsolati mód beállítására is van lehetőség. Az eszköz képes RS-232/485 és CANopen, (DeviceNet, Profibus) szabványos ipari kommunikációs interfészen keresztül kommunikálni. A számítógéppel a RS-232-es porton hoz létre kapcsolatot, így a hozzá tartozó szoftverrel (FCT) konfigurálható a vezérlő. Az analóg bemenete -10 V-tól 10 V-ig, analóg kimenete 0 V-tól 10 V-ig terjedő feszültség tartományban ad értéket.

Az analóg vezérlést a vezérlőhöz csatlakozó kézi működtetésű potenciométer teszi lehetővé. A digitális vezérlés egy 16 állású kapcsolóval jön létre, a 0 állással a home, a többivel pedig az előzetesen szoftveresen definiált legfeljebb 63 pozíció, az ahhoz rendelt mozgási viszonyokkal (fordulatszám, gyorsulás, lassulás) érhető el a start impulzus kapcsolása után (18. ábra).



18. ábra: Vezérlő egység kézi funkciói

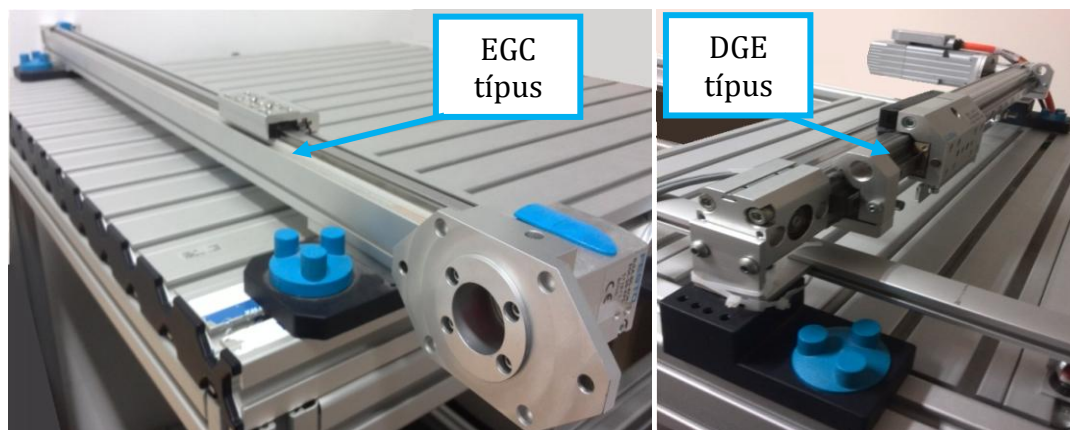
A felületen található még a Start, Stop, és különböző engedélyező kapcsolók is, mint például a Power Enable, vagy Control Enable, illetve egy a digitális vagy analóg vezérlési mód közötti váltásért felelős kapcsoló [6].

2.2. AZ ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ LINEÁRIS EGYSÉG

A Festo által gyártott különböző lineáris elektromos tengelyek közül (pl.: fogasszíjas-vagy orsóhajtás), amelyek kompatibilisek az általuk gyártott motorokkal, kettőt használtam fel a lineáris mozgás megvalósításához. A tesztelési fázisban használt EGC típus (19. ábra)

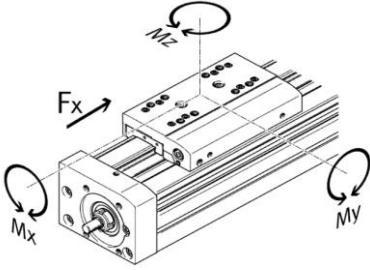
sajátossága volt, hogy mindkét oldalán és a fogas szíjas tengely mindkét végén található motorcsatlakozás, így a motor pozícióját bármikor meg lehet változtatni.

A korábbi, DGE típust (19. ábra) használtam fel végül az integrált rendszerben. Ennek lökethossza fele a EGC típusúnak, viszont nagyobb erőhatásokra van méretezve.



19. ábra: A kettő felhasznált fogas szíjas lineáris egység

A kettő lineáris tengely technikai paramétereinek, a szánt erő terhelések, illetve kialakításuk típusának összehasonlítása:

EGC-50-600-TB-KF [9]	DGE-18-300-ZR-LV-RK-KG-KF-GK [3]
EGC: Fogas szíjas tengely	DGE: Fogas szíjas tengely
50: Karima átmérő [mm]	18: Karima átmérő [mm]
600: Lökethossz [mm]	300: Lökethossz [mm]
TB: Fogas szíj hajtás	ZR: Fogas szíj hajtás
KF: Golyóscsapágyazás	LV: Hajtótengely balra elől
	RK: Nincs hajtótengely jobbra
	KG: Tengelykapcsoló ház
	KF: Golyóscsapos vezeték
	GK: Standard szán
	
Max. előtoló erő (F_x): 50 [N]	Max. előtoló erő (F_x): 60 [N]
Erők (F_y, F_z): 650 [N]	Erők (F_y, F_z): 930 [N]
Nyomatékok (M_y, M_z): 10 [Nm]	Nyomatékok (M_y, M_z): 45 [Nm]
Nyomaték (M_x): 3,5 [Nm]	Nyomaték (M_x): 7 [Nm]
Max. sebesség: 3 [m/s]	Max. sebesség: 3 [m/s]
Max. gyorsulás: 50 [m/s ²]	Max. gyorsulás: 50 [m/s ²]

2.3. A KINEMATIKAI LÁNC PNEUMATIKUS TRANSZPORTERREL

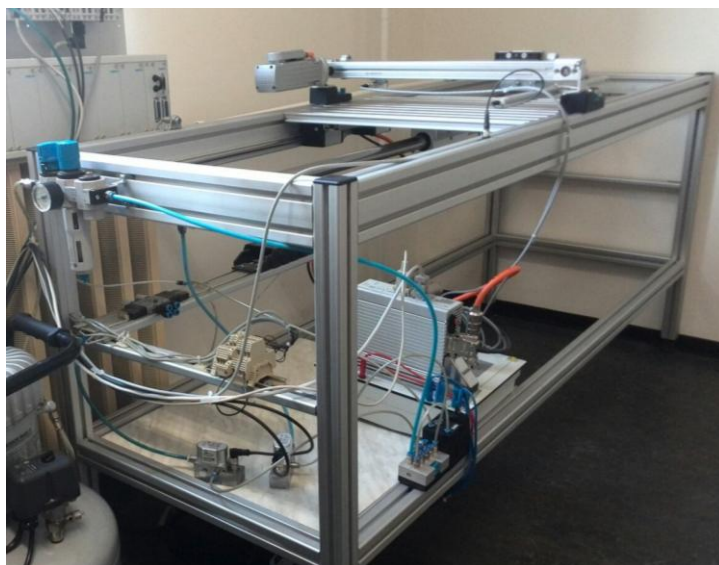
A lineáris egység kinematikai láncát egy arra merőleges transzlációs tengellyel bővítettem ki, így növelve a rendszer munkaterét. A kiegészítő tengely funkcióját egy mágnes kuplungos pneumatikus transzporter tölti be. Pneumatikus hajtások esetében előny, hogy a munkahenger sebessége, valamint a hatóerő fokozat nélkül állítható, viszont körülményes a pontos pozicionálás a levegő összenyomhatósága miatt.

A pneumatikus transzporter mozgásához kettő Rexroth ED02 típusú elektropneumatikus nyomásszabályozó szelepet használtam (20. ábra), amelynek bemenetére 4-20 mA áramerősséget adva, azzal arányosan 0-10 bar közötti nyomásértéket enged át. Ennek ellenőrzése érdekében a kimenetén megjelenő szintén 4-20 mA áramerősséget figyelve vizsgálható az aktuális töltőnyomást [10].



20. ábra: A felhasznált Rexroth pneumatikus nyomásszabályozó szelep

A mágneskuplungos pneumatikus transzporter (21. ábra) munkaasztalának pontos pozicionálásához felhasználtam egy Bosch Rexroth SM6-AL útdő-szenzort (22. ábra) melynek mérési tartománya 0-503 mm közé esik.



21. ábra: Mágneskuplungos pneumatikus transzporter

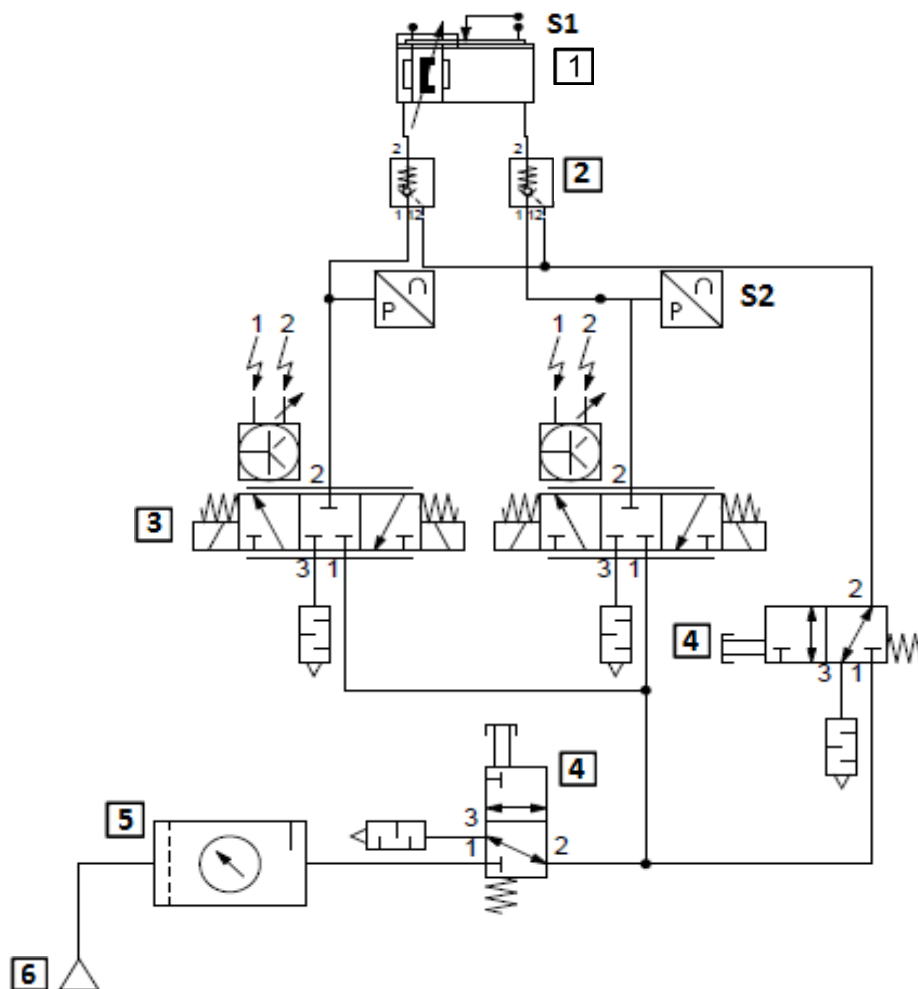
A mért pozíciónak megfelelően a szenzor 0-10 V-ig analóg feszültség jelet ad ki, melyet a PLC analóg bemeneti modulján fogad.



22. ábra: SM6-AL típusú útmérő szenzor [11]

A Rexroth D&E Scheme Editor szoftverrel terveztem meg a pneumatikus egység kapcsolási rajzát (23. ábra).

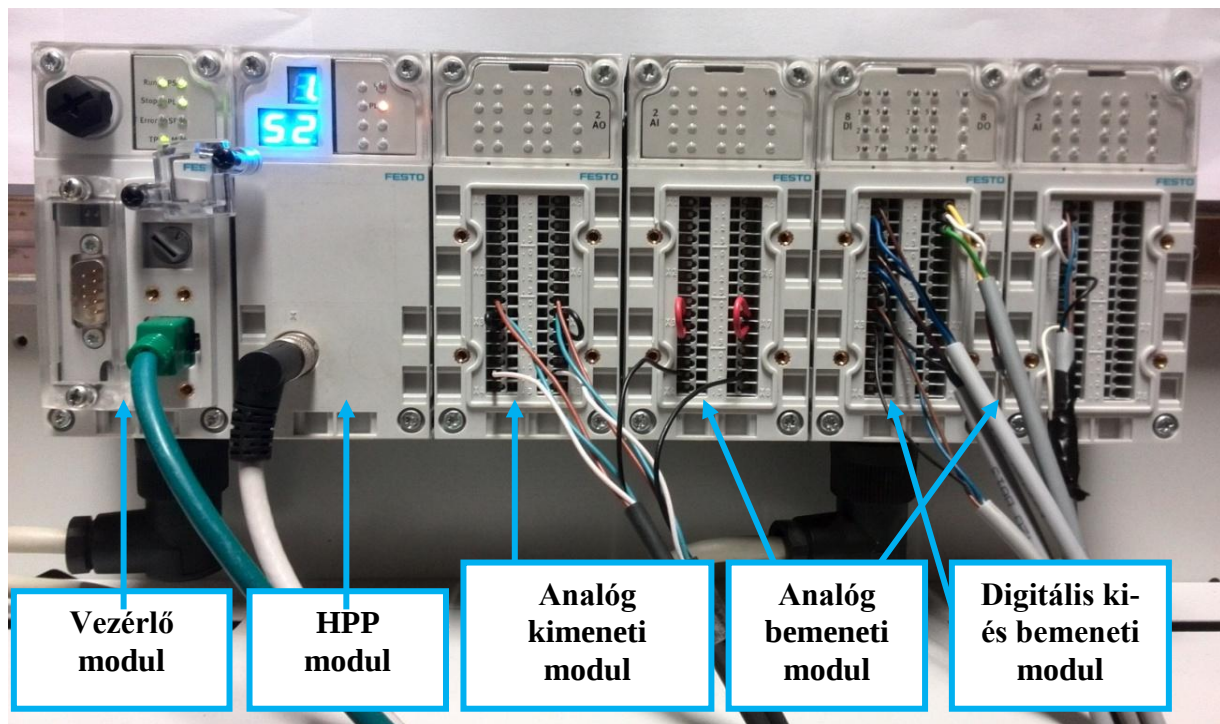
A pneumatikus kapcsolás az alábbi elemekből épül fel: egy kettős működtetésű mágneskuplungos pneumatikus transzporter (1) útdó szenzorral felszerelve (S1), vezérelt visszacsapó szelepek (2), nyomásmérésre is használt (S2) elektropneumatikus nyomásszabályozó (3), monostabil, alaphelyzetben zárt, kézi működtetésű 3/2-es pneumatikus útváltó szelep (4), levegőelőkészítő egység (5), kompresszor (6).



23. ábra: A transzportert működtető pneumatikus kapcsolás rajza

2.4. A FESTO CPX TÍPUSÚ PLC

A vezérlés központi egysége egy Festo CPX típusú moduláris felépítésű PLC (Programozható Logikai Vezérlő). Az általam használt kivitel 6 modulból épül fel (24. ábra), vezérlőegységnek a Festo CPX-CEC-M1 típust választottam. Feladata a motor, illetve a pneumatikus arányos szelepek vezérlése, a szabályozás megvalósítása, a szenzor adatok begyűjtése, illetve a számítógéppel való kommunikáció, amit soros porton keresztül valósít meg. A CPX-CM-HPP kommunikációs modullal a vezérlő 4 különböző drive-ot vezérelhet CAN buszon keresztül. Ehhez a motorvezérlő konfigurációja szükséges, amit a Festo Configuration Tool (FCT) szoftveren keresztül állítottam be. A kommunikáció az erre a célra fejlesztett FHPP (Festo Handling and Positioning Profile) adat profilon keresztül valósul meg.

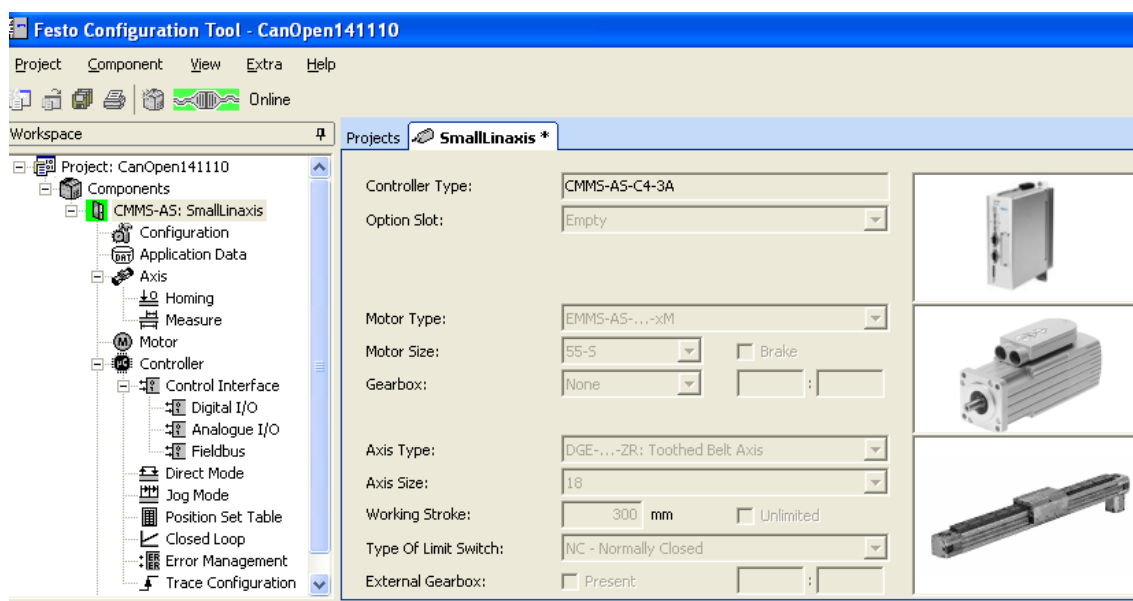


24. ábra: A PLC modulkonfigurációja

3. PROGRAMOZÁSI KÖRNYEZETEK, KOMMUNIKÁCIÓ

Ahhoz, hogy az általam kitűzött feladatot sikeresen elvégezzem, elsősorban a fenti eszközök egymás közötti kommunikációját kellett megvalósítani. Ehhez elengedhetetlen volt az eszközökhöz tartozó fejlesztői környezetek megismerése, mint az FCT konfiguráló program, és a CODESYS programozó szoftver. Ezen programokkal végeztem el az eszközök megfelelő beállítását az optimális működés érdekében.

3.1. MOTORVEZÉRLŐ KONFIGURÁLÁSA



25. ábra: Festo Configuration Tool kezelői felülete

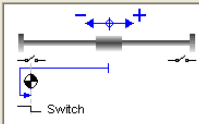
A Festo Configuration Tool szoftver segítségével a szervó motor vezérlője konfigurálható, a programon belül a vezérlő kiválasztásával, illetve az adott motor, valamint a lineáris egység különböző gyári paramétereinek megadásával (25. ábra).

A programban közvetlen visszajelzést kapunk a motor aktuális állapotáról is (pl.: pozíció, sebesség, hőmérséklet, stb.).

3.1.1. HOME POZÍCIÓ FELVÉTELE

Homing: Pozícionálási folyamat, amely során a referencia pont, azaz a tengely mérési referencia rendszerének nullpontja kerül meghatározásra.

Dynamic Data		Selected Axis: DGE-18-300-ZR: Toothed Belt Axis	
No.:	0	Homing Method:	Limit switch
Target Position:	0,00 mm	Destination:	Limit switch
Actual Position:	-0,02 mm	Direction:	☒ Negative ☐ Positive
Velocity:	0,00 mm/s	Method Description:	17: Limit switch negative
Motor Current:	0,03 A	Parameters	
Temp. Power St.:	34 °C	Search:	Velocity [mm/s]: 33,00 Acceleration [m/s ²]: 1,000
Pwr Stage Volt.:	307,5 V	Crawl:	17,00 1,000
Flying Measure:	0,00 mm	Running:	65,00 1,000
		Torque Threshold:	%
		Axis Zero Point:	3,00 mm
		Options	
		☒ Go to the axis zero point after homing	
		☐ Homing at controller enable	

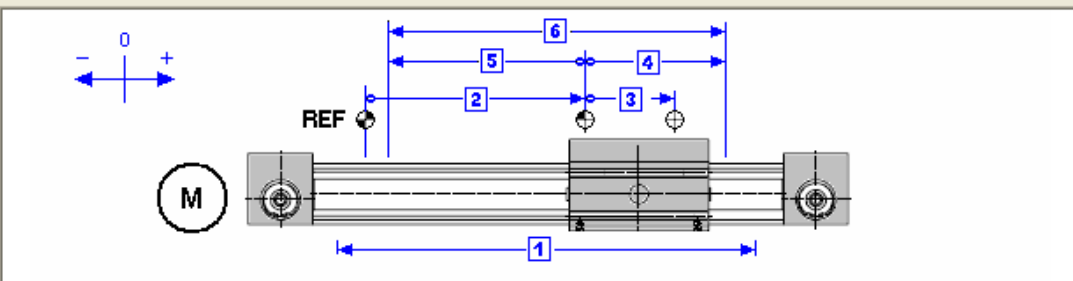


Save Offset To Encoder

26. ábra: A home pozícióban aktuális adatok felvételének paramétereit

Az enkóder nulla pozíciójának megadásához alaphelyzetben zárt SIES-8M induktív szenzort alkalmaztam, amit a lineáris tengely végében helyeztem el. A szenzor megközelítésének paramétereit beállíthatóak (26. ábra). Ezen felül szoftveresen is meghatároztam a végállásokat a biztonságos működés érdekében (27. ábra).

Selected Axis: DGE-18-300-ZR: Toothed Belt Axis	
Working Stroke:	1 300,00 mm Usable Stroke: 6 300,00 mm
Axis Zero Point:	2 3,00 mm Feed Constant: 52,00 mm
Project Zero Point:	3 0,00 mm
SW Limit Positive:	4 297,00 mm Internal Gear Ratio: :
SW Limit negative:	5 -3,00 mm External Gear Ratio: 7 :



27. ábra: Szoftveres végállások meghatározása

3.1.2. DIGITÁLIS VEZÉRLÉS

Az analóg módon történő vezérlés használatával sebesség és nyomatékszabályozásra van lehetőség. A digitális vezérlés (28. ábra) alkalmazása esetén pozíció és sebesség szabályozás valósítható meg. Ekkor 63 állapot tárolható a Position Set Table-ben, az elmozdulás értékével, illetve a mozgás dinamikáját (sebesség, felfutási és lefutási idő, gyorsulás) meghatározó 8 beállított profil valamelyikének használatával együtt. A pozíciók a DIN0-4 és DIN5-6 bináris kódjaként adhatóak meg. A 0. sorszámú kitüntetett szerepet tölt be, ekkor tér vissza a motor a már korábban beállított 0, azaz home pontjába. A beállítások megkönnyítése érdekében, ezek

közvetlenül a programból is tesztelhetőek. A vezérlő rendelkezik digitális kimenetekkel, melyek információt adnak arról, hogy a vezérlő egység készen áll a parancsok fogadására, hogy befejezte a motor a mozgást, valamit visszajelzést ad az esetleges hibákról is. A DIN 9, DIN12 Mode Selection bitekkel jön létre az üzemmódok közötti váltás.

28. ábra: A vezérlő digitális ki- és bemenetei

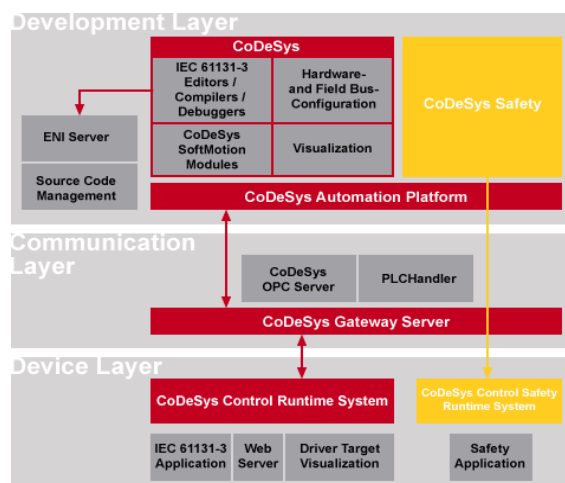
3.1.3. JOG, TEACH ÜZEMMÓD

A Jogging/Teaching móddal megvalósítható a manuális pozicionálás, illetve elmenthető a szán aktuális pozíciója is. A „Record Select” bemenetek bináris kombinációjával adható meg a választott pozíció mentési helye (a Position Set Table-ben). Ebben a módban a DIN10 és DIN11 inputokkal a mozgás iránya választható ki. A mozgás kezdeti sebessége 50 mm/s, majd 1 s elteltével 200 mm/s, ezzel a sebességgel veszi fel a pozíciókat, amik eltárolhatóak a meghatározott memória területekre (29. ábra).

29. ábra: Jog paraméterek beállítása

3.2. CODESYS KÖRNYEZET BEMUTATÁSA

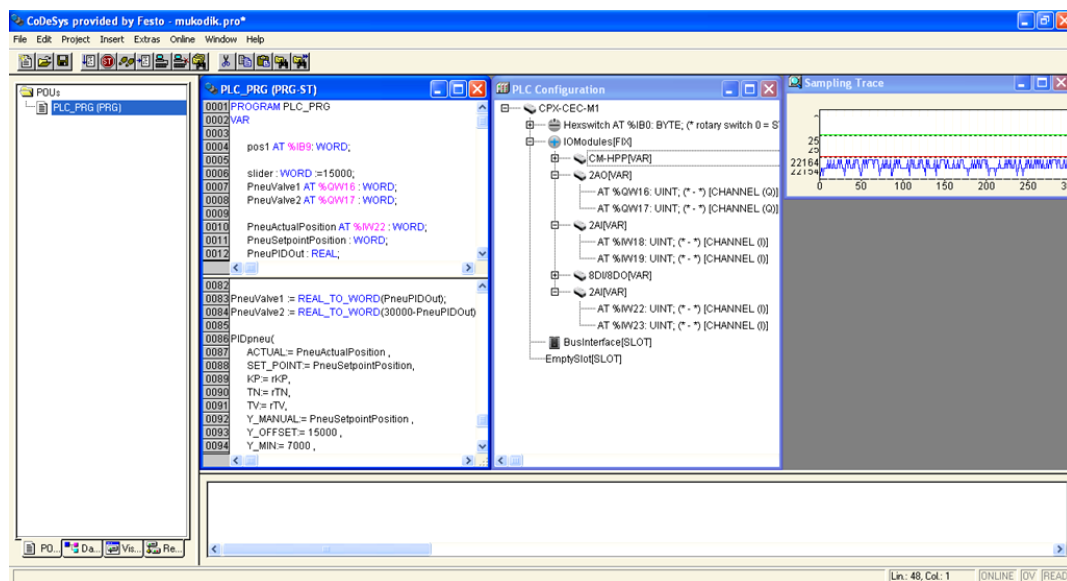
A CPX-CEC PLC programozói környezete a CODESYS 2.3 nevű szoftver. Az IEC 61131-3 szabványon alapuló CODESYS PLC programozó és fejlesztőkörnyezetet a Smart Software Solution fejlesztette ki. Hat PLC programozási nyelvet támogat (IL, LD, FBD, SFC, ST, CFC), szorosan nem kapcsolódik egy PLC gyártóhoz sem, egyre szélesebb körben válik elterjedtté (például: Rexroth, Schneider Electric, Festo, stb.).



30. ábra: A CoDeSys szintjei [17]

A szoftver szerkezete három fő részre osztható (30. ábra). A fejlesztői rétegben alakítható a PLC program, bekonfigurálhatóak a PLC hardver paraméterei, moduljai, illetve kiválasztható többféle kommunikációs típus is. Mindezek mellett rendelkezik egy vizualizációs felülettel, amin egyedi megjelenítő felületek is elkészíthetők. A kommunikációs réteg, a CoDeSys Gateway Server biztosítja a kapcsolatot a fejlesztői réteg és az eszköz réteg között. Az eszköz rétegben a programfuttatásért felelős a Control Runtime System, ami további lehetőséget biztosít webes távfelügyeleti rendszer kiépítésére, valamint egyéb eszközök speciális beállítására a Driver Target Visualization-nel.

Az általam megírt program a POU-s fül megnyitásával tekinthető meg (31. ábra), a Visualization felületen a létrehozott grafikus megjelenítő felület szerkeszthető, felügyelhető. A Resources menüben a különböző konfigurációk, speciális beállítások végezhetők el, valamint változók értékeinek rögzítése, mentése, grafikus megjelenítése. A munkám során strukturált programozási nyelvet (ST- Structured Text) használtam, amely Pascal-hoz hasonló szöveges programozási nyelv.



31. ábra: CODESYS fejlesztő környezete

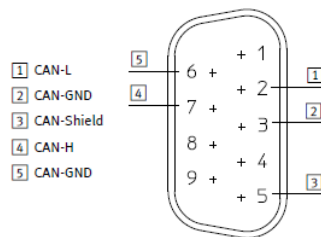
3.3. A FELADAT MEGOLDÁSHOZ HASZNÁLT CAN KOMMUNIKÁCIÓ

A teljes rendszer vezérléséhez szükséges volt egy olyan kommunikációs csatorna, amelyen az eszközök közötti adatcsere, illetve a szenzoradatok megosztása történik. Ez CAN protokollon, CANopen buszrendszeren FHPP adat profillal valósult meg.

Az eleinte járműiparnak fejlesztett CAN protokoll (Controller Area Network) az ISO/OSI modell fizikai és adatkapcsolati rétegét hozza létre. Eszerint a kommunikációs csatornán meghatározza az adatok átvitelének módját, kódolásukat és a hálózatra kapcsolódó eszközök hozzáférését is. A CAN protokollra két buszrendszer épül, a CANopen és a DeviceNet, így határozva meg a rendszeren belüli alkalmazási réteget. Egyenrangú készülékek közötti kommunikáció, adatátvitel jön így létre egy soros buszrendszeren. Alapesetben a CAN rendszer nem használ címeket, az üzenetekhez egyedi azonosítókat rendel prioritással. A CANopen rendszer viszont megkülönbözteti a részt vevő készülékeket, kijelölt, egyedi üzenetazonosítók alkalmazásával [16].

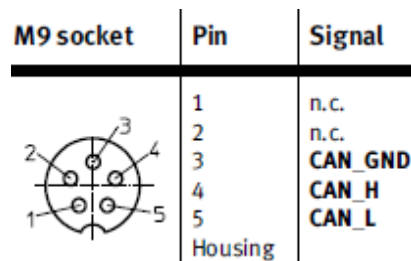
Az adatok és változók továbbítása folyamatadat objektumokkal (PDO-Process Data Object) történik. Az adatokat COB-ID (Communication Data Identifier) címekkel látja el, ami tartalmazza a forrást és a célt, ez szolgáltatja a kapcsolatot a két állomás között [17].

Az adatközlésben kettő kommunikációs módszer alkalmazása lehetséges, az egyik, amely során a motorvezérlő minden paraméterhez való kapcsolódásról visszaigazolást küld, ez az SDO (Service Data Object), valamint a nem megerőstett csatlakozási mód (PDO).



32. ábra: Motorvezérlő CAN csatlakozója, [19]

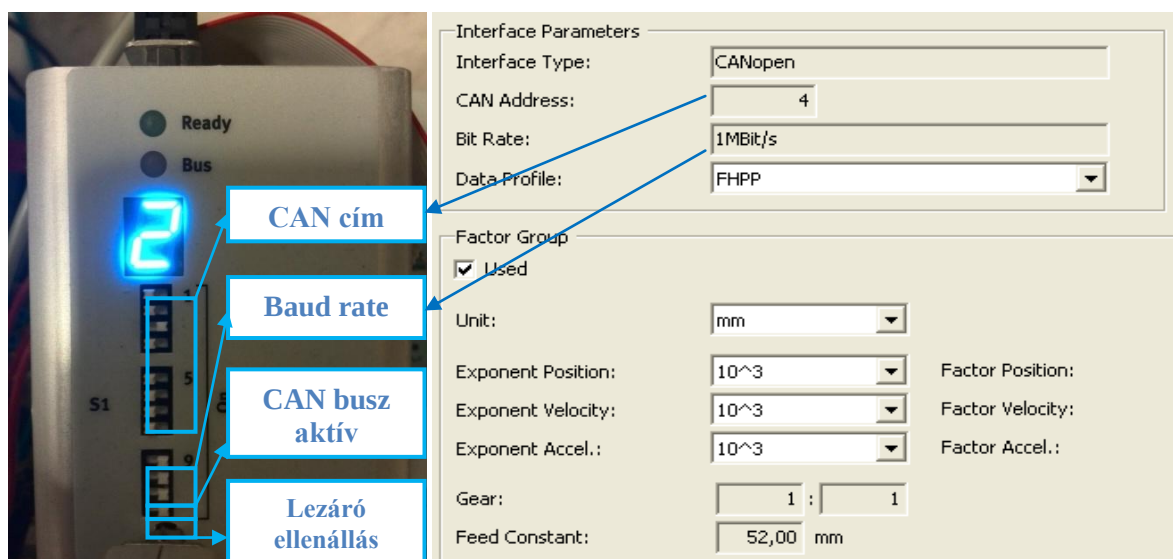
Az általam használt CMMS termékcsaládnál a CAN interfész már a motorvezérlőbe integrált. A kommunikáció a motorvezérlő felől egy 9 pólusú DSUB (32. ábra) csatlakozón keresztül történik, amely a CPX-CM-HPP modulba egy ötpólusú M9 foglalattal csatlakozik (33. ábra). A kommunikáció az FHPP adatprofilon keresztül megy végbe. Maximális vonalhossza 30 méter, az elérhető legnagyobb adatátviteli sebesség 1 MBit/s.



33. ábra: HPP modul CAN csatlakozója, [19]

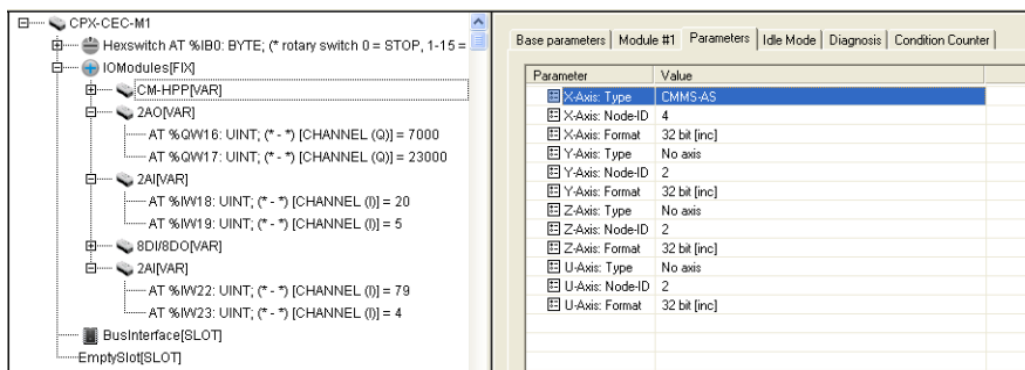
3.3.1. A CAN INTERFÉSZ KONFIGURÁLÁSA

A CAN interfész aktiválását a motorvezérlőn található megfelelő DIP kapcsolóval kell engedélyezni. Ezek felhasználásával beállítható az eszköz címe, illetve az adatátviteli sebessége. Az FCT-ben szükség van a CANopen interfész és jellemzőinek kiválasztására (34. ábra).



34. ábra: CANopen beállítása az FCT kezelő felületén

A PLC szoftverében is végre kell hajtani a megfelelő busz paraméter beállításokat. Ezt a modulok konfigurációja során célszerű elvégezni, megadva a HPP kommunikációs modul és a motorvezérlő közös Node azonosítóját és a vezérlő típusát, továbbá lehetőség van ezen felül még 3 vezérlő (Y, Z, és U tengelyekre) bekonfigurálására is (35. ábra).



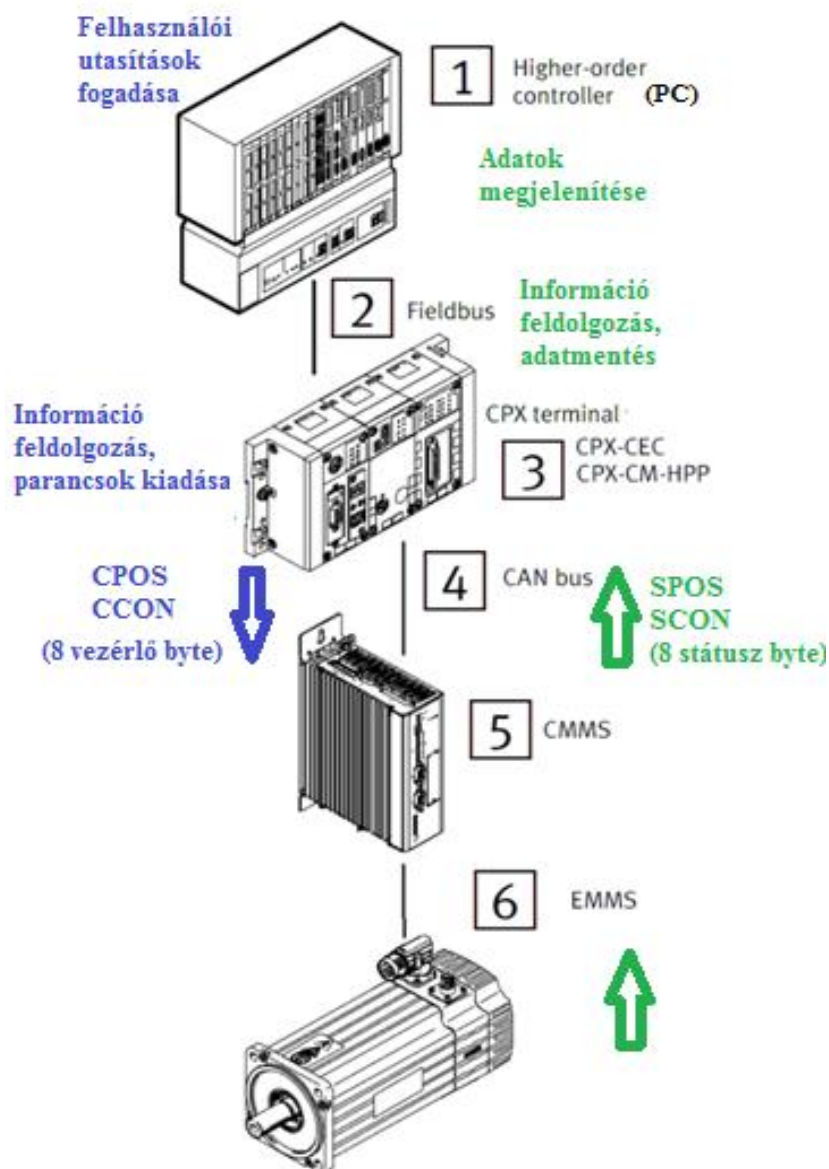
35. ábra: CANopen beállítása CODESYS felületén

3.3.2. A FELHASZNÁLT MODELL KOMMUNIKÁCIÓJÁNAK FELÉPÍTÉSE

A 37. ábraán látható a rendszer kommunikációjának a vázlatos felépítése. Az FHPP adat profilt használva a motorvezérlőnek a 4 tengely konfigurálásához és irányításához CAN buszon keresztül 32 byte-nyi adatterület áll rendelkezésre. A négyből egyet használva 8 byte-ot veszek igénybe a motorok irányításához (36. ábra).

„Record Select” beavatkozási mód					
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5-8
Kimenő adat X tengely	CCON	CPOS	Record száma	Foglalt	Foglalt
Bemenő adat X tengely	SCOS	SPOS	Record száma	RSB	Aktuális pozíció
„Direct” beavatkozási mód					
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5-8
Kimenő adat X tengely	CCON	CPOS	CDIR	Beállított érték 1 (sebesség)	Alapjel értéke 2 (pozíció, erő, nyomaték)
Bemenő adat X tengely	SCON	SPOS	SDIR	Aktuális érték 1 (sebesség)	Aktuális érték 2 (pozíció, erő, nyomaték)

36. ábra: A vezérléshez használt byte-ok feladatai, [19]



37. ábra: Az eszközök kommunikációja

Opcionálisan választható a már korábban bemutatott digitális vezérlés (Record Select Mode) mellett egy Direct Mode beállítása is. Ebben a módban a korlátozott diszkrét értékek helyett tetszőleges pozíciók és sebesség értékek konfigurálhatóak be a mozgáshoz. Mindkét beállítással dolgozva az első két Control byte megegyezik (38. ábra).

0022	(*INPUT VARIABLES*)				0080	(*OUTPUT VARIABLES*)			
0023					0081				
0024	(*SCON IB4*)				0082	(*CCON AT QB1*)			
0025	bScon	AT %IB4	:	BYTE;	0083				
0026					0084	xEnable	AT %QX0.0	:	BOOL;
0027	xEnabled	AT %IX2.0	:	BOOL;	0085	xNCStop	AT %QX0.1	:	BOOL;
0028	xOpen	AT %IX2.1	:	BOOL;	0086	xBrake	AT %QX0.2	:	BOOL;
0029	xWarn	AT %IX2.2	:	BOOL;	0087	xReset	AT %QX0.3	:	BOOL;
0030	xFault	AT %IX2.3	:	BOOL;	0088	xLock	AT %QX0.4	:	BOOL;
0031	x24VL	AT %IX2.4	:	BOOL;	0089	xOpm1_dir	AT %QX0.5	:	BOOL;
0032	xLock_i	AT %IX2.5	:	BOOL;	0090	xOpm2	AT %QX0.6	:	BOOL;
0033	xOpm1_i	AT %IX2.6	:	BOOL;	0091				
0034	xOpm2_i	AT %IX2.7	:	BOOL;	0092	(*CPOS AT QB2*)			
0035					0093				
0036	(*SPOS IB5*)				0094	xHalt	AT %QX0.7	:	BOOL;
0037	bSpos	AT %IB5	:	BYTE;	0095	xStart	AT %QX0.8	:	BOOL;
0038					0096	xHorn	AT %QX0.9	:	BOOL;
0039	xHalt_i	AT %IX2.8	:	BOOL;	0097	xJogp	AT %QX0.10	:	BOOL;
0040	xAck	AT %IX2.9	:	BOOL;	0098	xJogn	AT %QX0.11	:	BOOL;
0041	xMC	AT %IX2.10	:	BOOL;	0099	xTeach	AT %QX0.12	:	BOOL;
0042	xTeach_i	AT %IX2.11	:	BOOL;	0100	xClear	AT %QX0.13	:	BOOL;
0043	xMov	AT %IX2.12	:	BOOL;					
0044	xDev	AT %IX2.13	:	BOOL;					
0045	xStill	AT %IX2.14	:	BOOL;					
0046	xRef	AT %IX2.15	:	BOOL;					

38. ábra: A PLC programban deklarált vezérlő bitek

3.3.3. RECORD SELECT MODE

A Record Select Mode-ban a motorvezérlőben előre eltárolt pozíciók és a mozgás dinamikai paraméterei hívhatók elő. A 2.1.2. és a 2.1.3. fejezetben tárgyalt beállításokkal használható ekkor a vezérlő. A PLC programban deklarált változók a 39. ábraán láthatóak.

0048	(*RECORD SELECT MODE*)			
0049				
0050	bRecord_no	AT %IB6	:	BYTE;
0051				
0052	(*RSB AT IB7*)			
0053	xRc1	AT %IX3.8	:	BOOL;
0054	xRcc	AT %IX3.9	:	BOOL;
0055	xFnum1	AT %IX3.11	:	BOOL;
0056	xFnum2	AT %IX3.12	:	BOOL;
0057	xFgrp1	AT %IX3.13	:	BOOL;
0058	xFgrp2	AT %IX3.14	:	BOOL;
0059	xFunc_irs	AT %IX3.15	:	BOOL;
0060				
0061	dwAct_pos	AT %IB8	:	DINT;
0101				
0102	(*RECORD SELECT MODE*)			
0103				
0104	bRecord_sel	AT %QB2	:	BYTE;
0105				

39. ábra: A PLC programban használt Record Select vezérlő bitek

3.3.4. DIRECT MODE

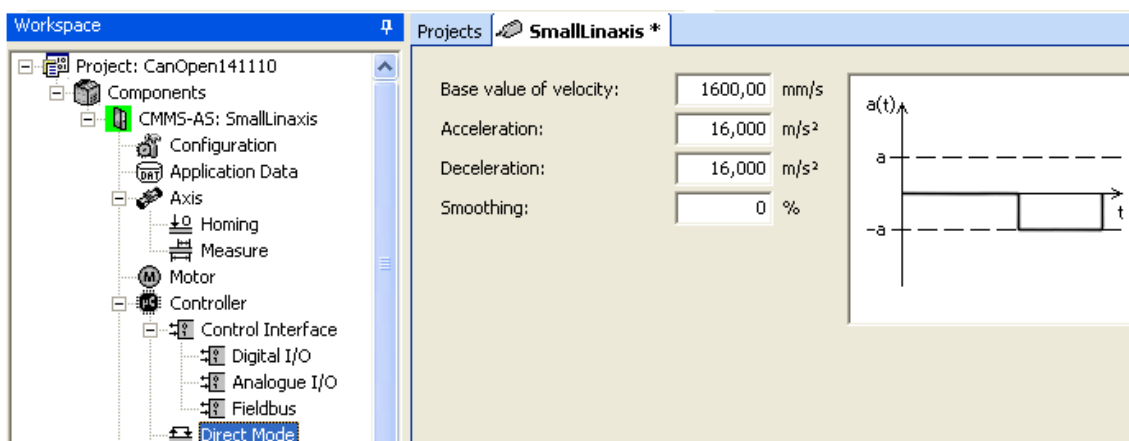
A módváltással lehetőségünk van a szabad pozicionálásra, paraméterezésre. Az első kettő Control és Status byte kivételével a többi új funkciót kap (40. ábra).

A CDIR terület xCom1 és xCom2 változóival lehet választani pozíció, sebesség, erő és nyomatékszabályozási üzemmód közül.

0064	(*DIRECT MODE*)			0106	(*DIRECT MODE*)		
0065				0107			
0066	(*SDIR AT IB6*)			0108	(*CDIR AT QB3*)		
0067	xAbs_i	AT %IX3.0	:BOOL;	0109	xAbs	AT %QX1.0	:BOOL;
0068	xCom1_i	AT %IX3.1	:BOOL;	0110	xCom1	AT %QX1.1	:BOOL;
0069	xCom2_i	AT %IX3.2	:BOOL;	0111	xCom2	AT %QX1.2	:BOOL;
0070	xCont_i	AT %IX3.3	:BOOL;	0112	xCont	AT %QX1.3	:BOOL;
0071	xVlim_i	AT %IX3.4	:BOOL;	0113	xCtog	AT %QX1.4	:BOOL;
0072	xXlim_i	AT %IX3.5	:BOOL;	0114	xXlim	AT %QX1.5	:BOOL;
0073	xFast_i	AT %IX3.6	:BOOL;	0115	xFast	AT %QX1.6	:BOOL;
0074	xFunc_id	AT %IX3.7	:BOOL;	0116	xFunc	AT %QX1.7	:BOOL;
0075				0117			
0076	bAct_speed	AT %IB7	:BYTE;	0118			
0077	dwAct_value	AT %IB8	:DINT;	0119	bSetpoint_speed	AT %QB3	:BYTE;
				0120	dwSetpoint_value	AT %QB4	:DINT;

40. ábra: A PLC programban használt Direct Mode vezérlő bitek

A 4. Byte, a Stepoint value felel a sebesség nagyságának százalékos értékéért, a maximuma (100 %) az FCT-ben beállított [mm/s] érték (41. ábra). Az 5.- től a 8. byte-ig terjedő adatterületen a szán pozíciója adható meg 0,001 mm pontossággal.

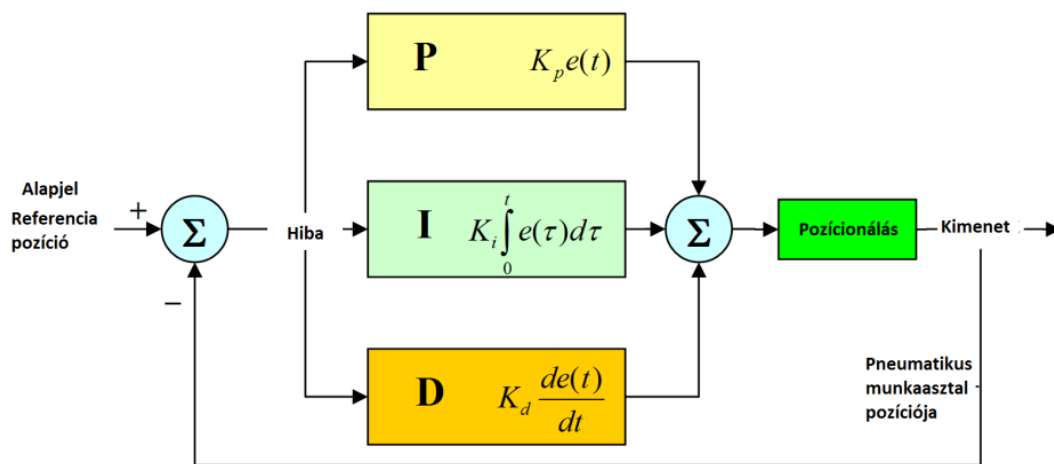


41. ábra: A FCT programban Direct Mode konfiguráció

3.4. A MUNKAASZTAL POZÍCIONÁLÁSA PID SZABÁLYOZÓVAL

A pneumatikus transzporter munkaasztalának pozícionálásához a CODESYS-ben előre definiált PID funkcióblokkot használtam. Ez könnyen paraméterezzhető, egyszerű behangolást tesz lehetővé pontos pozícionálással.

A szabályozás lényege, hogy a szabályozott jellemző mért y értékét (Pneumatikus munkaasztal pozíciója) összehasonlítja az y_0 alapjellel. A különbségükből (a hibajelből, e – error) ezután megadható az új beavatkozó jel (u) értéke, hogy a y közelebb kerüljön y_0 alapjelhez. A PID szabályozás három tag, egy arányos (P), egy integráló (I) és egy deriváló (D) párhuzamos kapcsolásával valósul meg (42. ábra).



42. ábra: A szabályozás hatásvázlata

Az arányos (P) tag a pillanatnyi bemenő jellel, illetve a mindenkor hibajellel (e) arányos vezérlőjelet (u) ad. Ha a szabályozás csak arányos jeleget mutat (0 típusú), akkor a szabályozott jel bizonyos nagyságú hibával éri el az állandósult állapotot. A maradó szabályozási eltérés csökkenthető az arányos tag erősítésének növelésével (de a túl nagy K_p -vel rendelkező P-tag instabil rendszert eredményezhet). Az integráló tag a statikus tulajdonságokat javítva olyan járulékos vezérlőjelet szolgáltat, amely a hibák előző időbeli összegétől (integráljától) függ. A deriváló tag a rendszer dinamikai tulajdonságait javítja, a kimenetek túlvezérlésével, a gyors változások esetén javítja a követési tulajdonságokat, állandósult állapotban nincs hatása [20], [21].

PID szabályozás átviteli függvénye:

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de}{dt} \quad (34)$$

ahol: K_P : arányos átviteli tényező,
 K_I : integráló átviteli tényező [1/s],
 K_D : differenciáló átviteli tényező [s],
 $e(t)$: az aktuális hiba,

$$K_{PID}(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_N s} + T_V s \right). \quad (35)$$

Mivel $K_I = \frac{K_P}{T_N}$ és $K_D = K_P \cdot T_V$. (36)

A programban a PID funkcióblokk meghívása után definiáltam a be- és kimeneteit, valamint értéket adtam az átviteli tényezőknek [22]. A PID szabályozás használatával a cél az, hogy a szabályozás túllendüléseit és a beállási időt lecsökkentse, illetve a szabályozás pontosságát növelje.

A szabályozás hangolását a Ziegler-Nichols módszerrel végeztem el. Ennek hátránya, hogy a szabályozási kört a stabilitás határán kell működtetni, előnye viszont, hogy nincs szükség az egységugrásra adott válaszfüggvényre.

Első lépésként a szabályozási körben az integráló és deriváló tag hatását zérusra csökkentettem ($T_I = \infty$, $T_D = 0$), így az erősítési tényezőt növeltem egészen a zárt rendszer stabilitásának határáig. Ekkor a kimenet állandósult állapotban, szinuszosan leng az alapjel körül, így határozva meg a K_{PKRIT} kritikus erősítési tényezőt, valamint a T_{KRIT} kritikus periódusidőt. Ziegler-Nichols módszer – hangolási paraméterek segítségével számoltam ki a szabályozás időállandóit [23]:

P	$K_P = 0,45 K_{PKRIT}$	-	-
PI	$K_P = 0,45 K_{PKRIT}$	$T_I = 0,85 T_{KRIT}$	-
PID	$K_P = 0,6 K_{PKRIT}$	$T_I = 0,5 T_{KRIT}$	$T_D = 0,12 T_{KRIT}$

A szabályozás kimenetének megfelelően egymással ellentétesen vezérlem a két elektropneumatikus nyomásszabályozó szelepet. A pozicionálást a kisebb hibákra érzéketlenebbé tettem azáltal, hogy a szelepeket vezérlő tartományt leszűkítettem (Y_{min} , Y_{max}) (43. ábra). A szabályozás pozicionálási pontossága tized mm-es nagyságrendbe esik, ami a működéssel szemben támasztott követelményeknek megfelel.

0007	PneuValve1 AT %QW16 : WORD;	0083	PneuValve1 := REAL_TO_WORD(PneuPIDOut);
0008	PneuValve2 AT %QW17 : WORD;	0084	PneuValve2 := REAL_TO_WORD(30000-PneuPIDOut);
0009		0085	
0010	PneuActualPosition AT %IW22 : WORD;	0086	PIDpneu(
0011	PneuSetpointPosition : WORD;	0087	ACTUAL:= PneuActualPosition ,
0012	PneuPIDOut : REAL;	0088	SET_POINT:= PneuSetpointPosition,
0013	PIDpneu: PID;	0089	KP:= rKP,
0014		0090	TN:= rTN,
0015	xPIDMan: BOOL;	0091	TV:= rTV,
0016	xPIDReset: BOOL;	0092	Y_MANUAL:= PneuSetpointPosition ,
0017	rKP: REAL:=1.5;	0093	Y_OFFSET:= 15000 ,
0018	rTN: REAL:=1;	0094	Y_MIN:= 7000 ,
0019	rTV: REAL:=0.004;	0095	Y_MAX:= 23000 ,
		0096	MANUAL:= xPIDMan,
		0097	RESET:= xPIDReset,
		0098	Y=>PneuPIDOut,
		0099	LIMITS_ACTIVE=> ,
		0100	OVERFLOW=>);

43. ábra: A PID szabályozáshoz használt változók, és a programkód

3.5. ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ LINEÁRIS EGYSÉG VEZÉRLÉSE

Az elektromos meghajtású lineáris egységet vezérlő program alap szerkezetét a Case függvény használatával valósítottam meg, a korábban részletezett vezérlő byte-ok alkalmazásával (44. ábra).

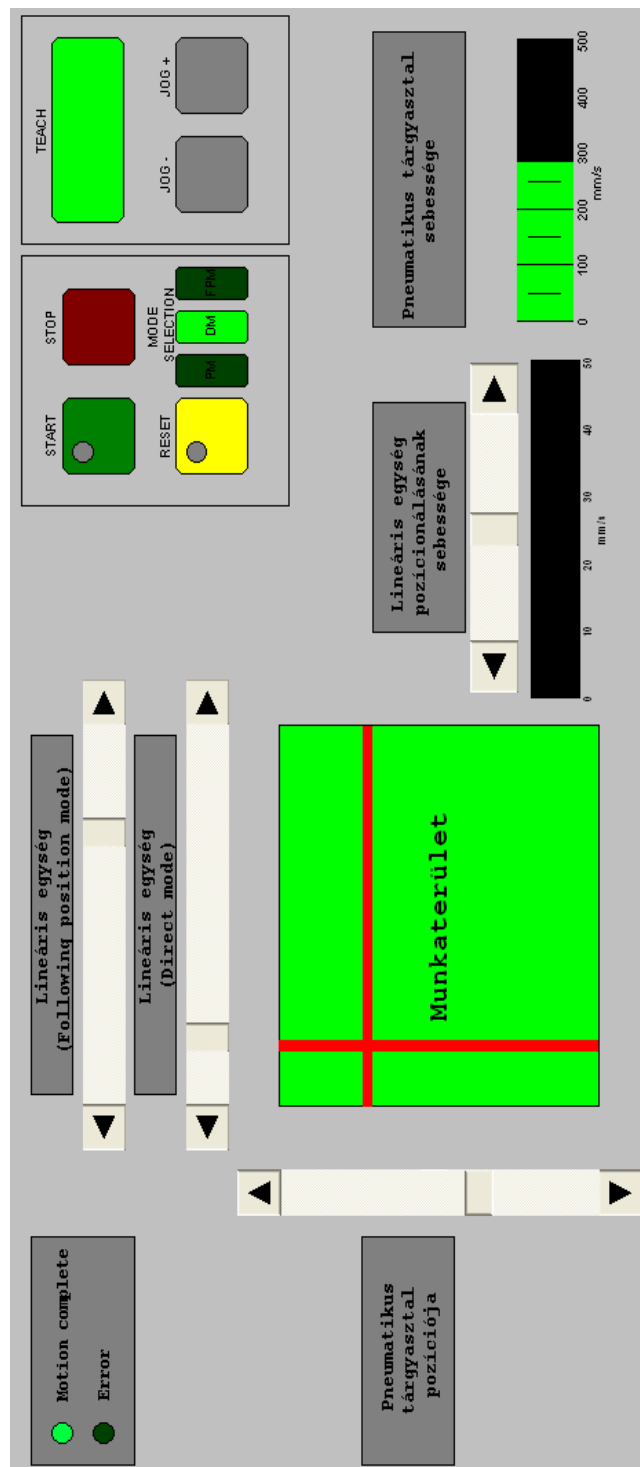
```

0009 CASE iStep OF
0010 (* Clear variables*)
0011 1: dwXaxis1 := 0;
0012    dwXaxis2 := 0;
0013    iStep := 2;
0014
0015 (* Establishing ready status*)
0016 2: xLock:= TRUE;
0017    IF x24VL AND NOT xLock_i THEN
0018        xEnable := TRUE;
0019        xNCStop := TRUE;
0020        iStep := 3;
0021    END_IF
0022
0023 3: IF (NOT xEnabled AND NOT xOpen) OR xFault THEN
0024        xReset := TRUE;
0025        iStep := 2;
0026    END_IF
0027
0028 IF xEnabled AND xOpen AND NOT xFault AND NOT xWarn THEN
0029    xHalt:=TRUE;
0030    iStep:=4;
0031 END_IF

```

44. ábra: Elektromos meghajtású lineáris egységet vezérlő programrészlet

3.6. A MOZGATÁS VIZUALIZÁCIÓJA



45. ábra: Az elkészített megjelenítő felület

A funkciók tesztelésére készített felhasználói interfész (45. ábra) a CODESYS 2.3 programban található vizualizáció készítő felülettel lett létrehozva. A készített kezelőfelületen elérhetővé kellett tennem a pneumatikus tárgyasztal és az elektromos meghajtású tengely

szánjának (az ábrán: lineáris egység) pozicionálását, amelyeket csúszkákkal valósítottam meg. Az általuk behatárolt munkaterületet is megjelenítve, a csúszkák állapotához hozzárendelt függőleges és vízszintes piros szakaszok metszéspontja megmutatja az elektromos szán középpontjának függőleges vetületét a munkaterületen.

Az operátor a kezelőpanellel irányíthatja a rendszert. Itt került elhelyezésre a Start, Stop, Reset gomb és a Mód választó kapcsolók. Az aktuális állapotokról a státusz LED-ek adnak visszajelzést.

A bal oldali függőleges csúszka felel a pneumatikus tárgyasztal pozíciójának megadásáért. A lineáris egység pozicionálásához három mód közül is lehet választani a vezérlőpanelen található kapcsolókra kattintva. A jobb oldali skálák üzemmódtól függetlenül kijelzik a szánok aktuális sebességét.

- Record Select Mode

Kiválaszthatóak a „Record-ok”, azaz az eltárolt pozíciók egyike. A beállításokat követően a rendszer a Start nyomógombra indul. Másik lehetőség a Jog+, Jog-gombokkal a manuális pozicionálás megvalósítása, illetve új pozíció betanítása a kezelőpanelen lévő Teach gombbal.

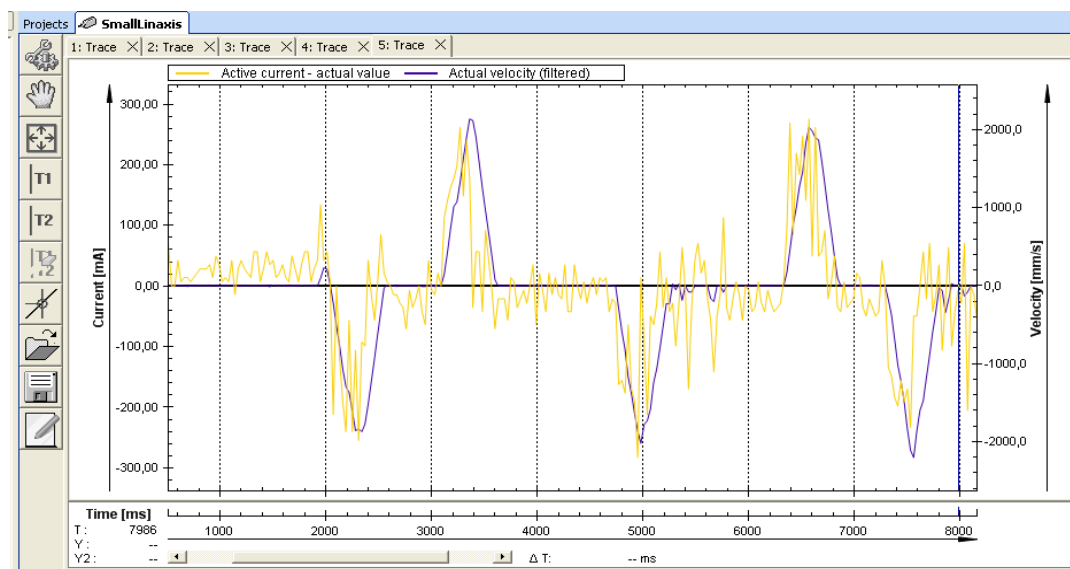
- Direct Mode

A munkaterület fölött található Direct módhoz tartozó csúszkával beállítható a szán adott pozícióra, illetve a munkaterület jobb oldalán lévő skála segítségével hozzárendelhető a mozgáshoz sebesség érték is. A beállításokat követően a rendszer a Start nyomógombra indul.

Másik lehetőség az általam kialakított Following Position Mode, ezzel a lineáris egység szánya valós időben folyamatosan képes lekövetni a csúszka mozgását és annak változási sebességét is, amellyel arányosan végzi mozgását a szán.

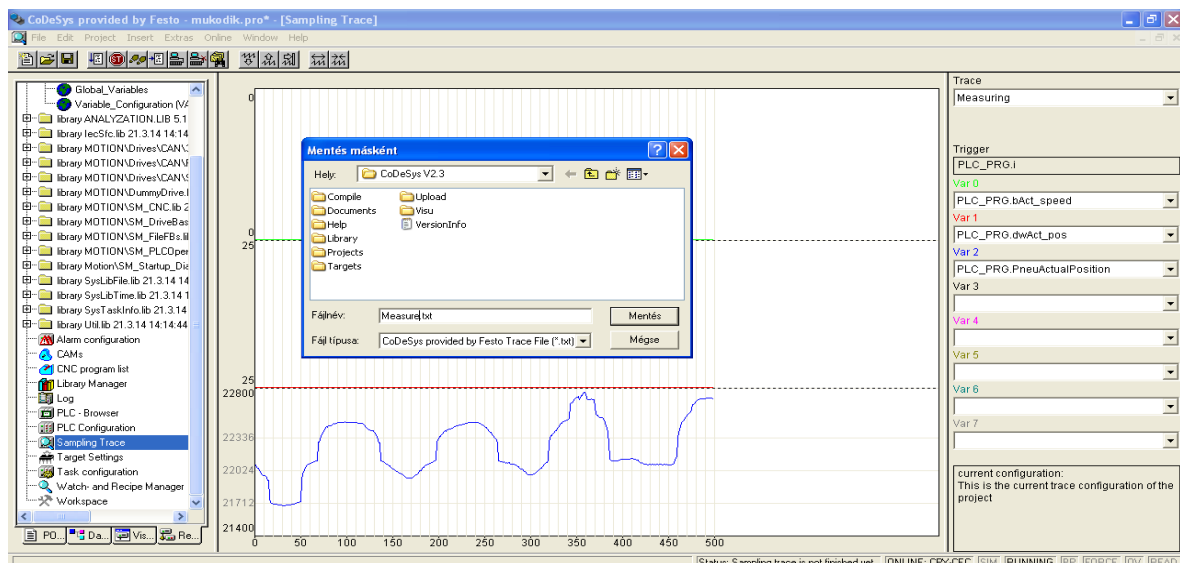
3.7. A LINEÁRIS EGYSÉGEKEN MÉRT ADATOK MEGJELENÍTÉSE

Az FCT lehetőséget biztosít egy *Trace data* funkcióval a megadott csatornák vizsgálatára meghatározott mintavételi ideig. Az 46. ábraán látható, hogy különböző paraméterek ábrázolhatóak az idő függvényében grafikonos formában. Jelen esetben a motor forgásirányának megfelelő sebességét és a felvett áramerősség látható az idő függvényében. A mérési eredmények elmenthetők.



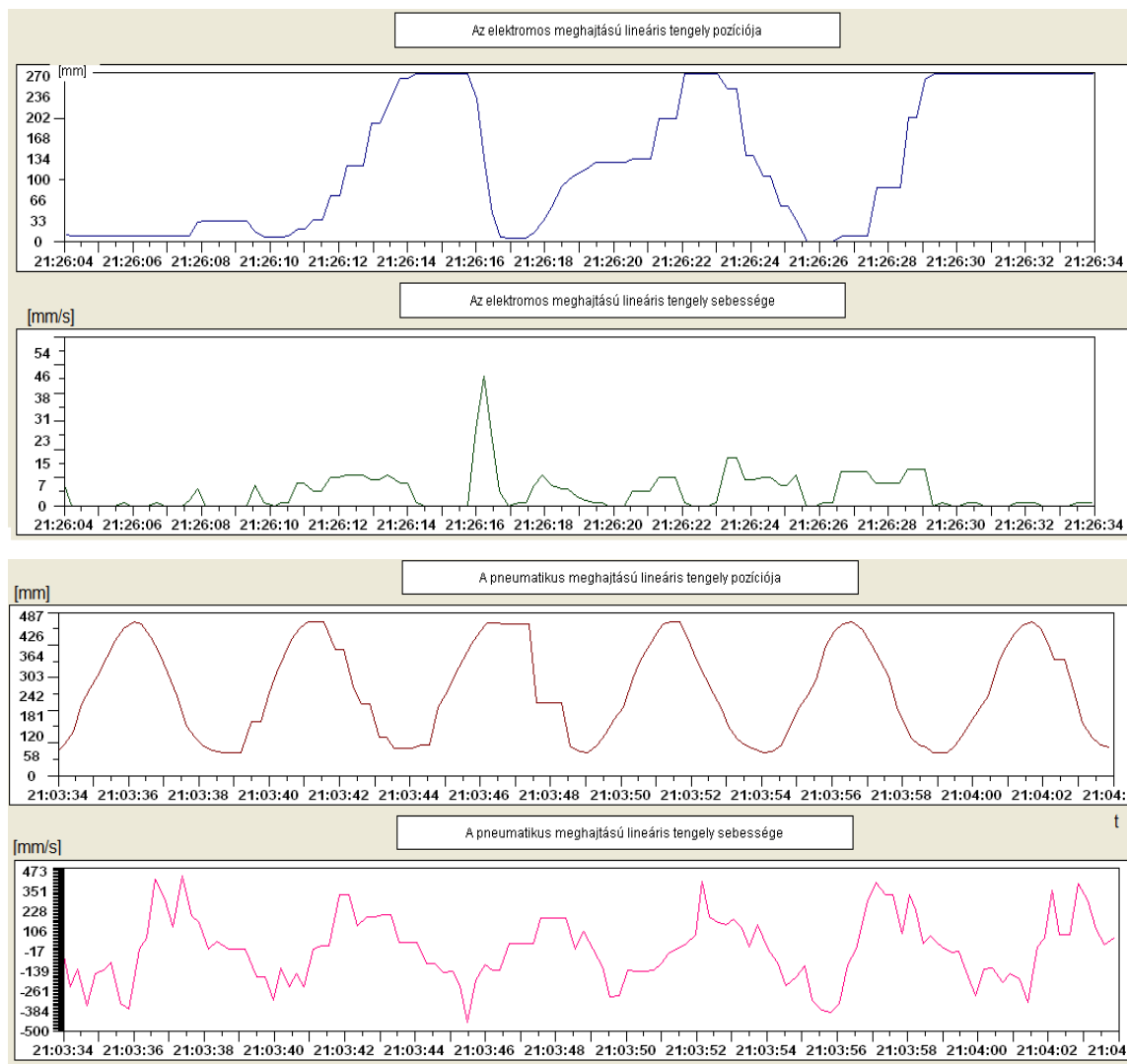
46. ábra: A szervo motorhoz tartozó Trace Data

A CODESYS környezetben két lehetőség is van az adat megjelenítésre, illetve mentésre. A Sampling Trace menüben a megjeleníteni kívánt paraméterek megadhatóak és a trigger jel is kijelölhető (47. ábra). A jellemzője, hogy 10-40 ms-onként történik mintavétel, így az eredmény részletes, és valós időben követhető.



47. ábra: Sampling Trace megjelenítése

Hátránya, hogy a .txt formátumba történő adatmentés csak manuálisan végezhető. A folyamatos mentés a Vizualizáción keresztül állítható be (48. ábra). Itt figyelemmel kísérhető a pneumatikus tárgyasztal és a elektromos meghajtású szán aktuális pozíciója, illetve sebessége az idő függvényében.



48. ábra: Trendek a Vizualizációban

4. FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

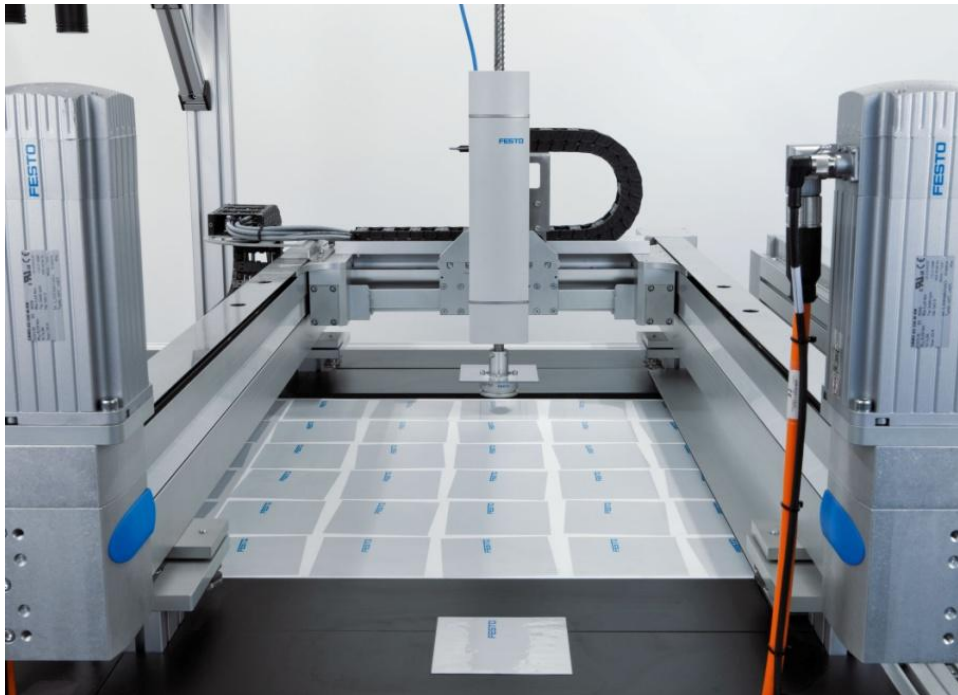
Az általam létrehozott - igény szerint rugalmasan változtatható - rendszer széles körben alkalmazható. A jelen konstrukció, mint kéttengelyes CNC, bővíthető különböző fejegységekkel például:

- toll, tus: így képes a munkaasztalra helyezett felületen megjeleníteni a programban előre definiált grafikai elemeket (plotter funkció),
- nagyenergiájú lézer fej: amivel végezhető vágási művelet, kontúrkövetés, felületellenőrzés, gravírozás vagy QR kód készítés,
- kivágó penge: ennek felszerelésével matricavágó, késes plotter kialakítható,
- megfogó egység: (pneumatikus vagy elektromos) palettázási, áthelyezési, válogatási folyamat megvalósításához.

A konstrukció motorral és elektromos tengellyel kiegészítve alkothat egy TTT többtengelyes részben zárt kinematikai láncú manipulátort, így nagy pontosságú térbeli pozicionálásra is alkalmassá válik (49. ábra).

Modbus TCP/IP kommunikáció létrehozása is jövőbeli cél, az adatmentés és a pontosabb adatfeldolgozás érdekében (Matlab, LabVIEW, stb.).

A távfelügyelet (Webserver) megvalósítása is fontos cél lehet. Ennek segítségével a létrehozott megjelenítő felület mobil eszközökön is nyomon követhető, irányítható.

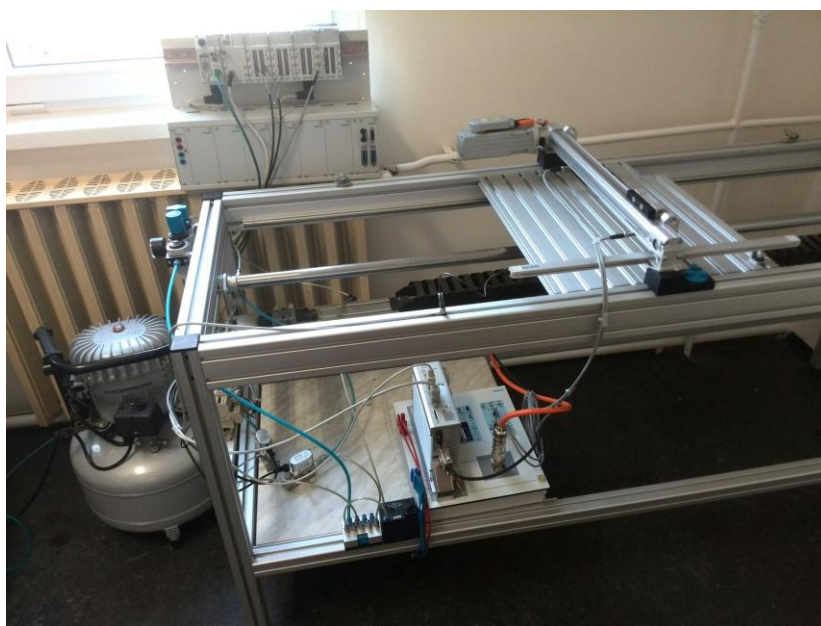


49. ábra: Többtengelyes manipulátor, [30]

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ipari folyamatokban a lineáris mozgások, valamint a megfelelő pontosságú pozicionálás kivitelezése fontos, körültekintést igénylő feladat. Dolgozatom elkészítése során kettő különböző segédenergia felhasználású lineáris tengely irányítását valósítottam meg. Az általam elkészített modell felépítését tekintve két fő részre tagolható, egy pneumatikus valamint egy elektromos egységre. Az y tengely irányába történő mozgást egy mágneskuplungos pneumatikus transzporter végzi, az x tengely irányába egy szervo motor által meghajtott lineáris egység pozicionál.

Megismerkedtem a Festo szervo motorral és lineáris hajtástechnikával, valamint ezek vezérlő szoftvereivel. Létrehoztam a Festo CPX-CEC PLC-vel a CANopen kommunikációs hálózatot FHPP adat profilon keresztül. Ismertettem a PLC-re megírt, a modell irányítását megvalósító programot. Ennek során bemutattam a rész-egységek kommunikációját, valamint a működést befolyásoló beállítási lehetőségeket, amellyel a szervo motort különböző üzemmódokban működtettem. Egy PID szabályozást használtam fel a pneumatikus transzporter munkaasztalának pozicionálására. Rövid áttekintést adtam az alkalmazott szoftverek kezeléséről, illetve a programozási környezetekről. Dolgozatomban bemutattam a kezelő személy és a szervo rendszer közötti kommunikációhoz és a teszteléshez elkészített felhasználói felületet. A működés vizsgálatához a pozíció és sebesség paraméterek grafikonokon valós időben megfigyelhetők, elmenthetők a későbbi elemzés, diagnosztika céljából.



50. ábra: Az összeállított rendszer

6. IRODALOM JEGYZÉK

- [1] http://www.fke.bme.hu/oktatas/kornyezetMernok/Mecha_km.pdf
Letöltve: 2014.11.26.
- [2] Dr. Donner Csaba: A robottechnika alapjai, 2003, Zalaegerszeg
- [3] http://www.festo.com/cat/de_de/data/doc_engb/pdf/en/dge-zr_en.pdf
Letöltve:2014.11.05.
- [4] David Hoey, Dan Sandoval, Edward Gasper: TP 800 e-drives - Reference notes, Festo Didactic GmbH & Co., D-73770 Denkendorf, 2002
Letöltve: 2014.04.20.
- [5] <http://www.electroquip.co.uk/festo-servo-motor/festo-emms-as-55-s-tm-550108>
Letöltve: 2013.10.20.
- [6] http://www.festo.com/cat/en-us_us/data/doc_enus/PDF/US/EMMS-AS_ENUS, PDF
Letöltve: 2013.10.22.
- [7] http://eplandata.de/portal/en_US/part/FES.572986?cookieset=1 Letöltve:2013.10.20.
- [8] http://ftp.cnhungary.com/Varsanyi_Peter/Pdf-ek/Szerszamgepek_epito_elemei.pdf
Letöltve:2014.12.01.
- [9] http://www.festo.com/rep/bg_bg/assets/pdf/EGC-TB_EN.PDF
Letöltve: 2014.10.20.
- [10] http://www.aventics.com/fileadmin/brp/images_animations/products/product_highlights/series_smc6_sm6-al/swf_img_4.jpg
Letöltve: 2014. 11.10.
- [11] http://www.aventics.com/fileadmin/brp/images_animations/products/product_highlights/series_smc6_sm6-al/swf_img_4.jpg
Letöltve: 2014. 11.12.
- [12] Ajtonyi István: PLC és SCADA-HMI rendszerek I. 1. kötet. PLC programozás az IEC 61131-3 szabvány szerint, AUT-INFO Kiadó Miskolc, 2007. 290 p. ISBN: 9789630631655.
- [13] http://www.festo.com/cat/de_de/data/doc_de/pdf/de/cpx_de.pdf
Letöltve: 2014. 11. 12.
- [14] [Festo - Modular electrical terminal CPX http://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_engb/PDF/EN/CPX_EN.PDF
Letöltve: 2014. 11. 10.
- [15] <http://www.esco.be/Automation/img/Codesys-flow-En.gif>
Letöltve: 2014. 10. 25.
- [16] <http://hu.scribd.com/doc/76799552/Buszrendszerek>
Letöltve: 2014. 10. 25.
- [17] http://www.moeller.hu/ipaut/binary/can_netvar_hasznalat.pdf
Letöltve: 2014. 10. 25.
- [18] <http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/319397/555696g1.pdf>
Letöltve: 2014. 11.12.

- [19] <http://www.eet.bme.hu/~nagyg/elektronika/A%20digitalis%20PID%20szabalyozo.pdf>
Letöltve:2014.11.03.
- [20] U. Tietze, Ch. Schenk: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000. ISBN: 9631600106.
- [21] <http://www.kahlert.com/web/download/pid-einstellregeln.pdf>
Letöltve:2014.10.25.
- [22] http://www.ms.sapientia.ro/~martonl/Docs/Labs/IRI_L7.pdf
Letöltve: 2014.12.10.
- [23] <http://www.electroquip.co.uk/festo-servo-motor/festo-emms-as-55-s-tm-550108>
Letöltve: 2014.11.10.
- [24] http://www.festo.com/cat/hu_hu/products_DGE_ZR
Letöltve: 2014.10.20.
- [25] <http://laurenceyuyi.files.wordpress.com/2010/12/untitled7.png?w=700> Letöltve: 2014.11.10.
- [26] Gyuricza István, Dr. Ajtonyi István: Programozható irányítóberendezések - Hálózatok és rendszerek - 10484 Műszaki Könyvkiadó, 2002.
- [27] Ajtonyi István: PLC és SCADA-HMI rendszerek II. Ipari kommunikációs rendszerek II. 2. kötet. Miskolc, AUT-INFO Kiadó, 2008., 408 p.
- [28] Ajtonyi István: Ipari kommunikációs rendszerek I. 1. kötet. AUT-INFO Kiadó, Miskolc, 2008. 431 p. ISBN szám: 9789630658133.
- [29] Villamos hajtások és mozgásvezérlők - 7. rész, Lineáris motorok, Magyar elektronika 2007/1.2 <http://www.q-tech.hu/pdf/PR/Villamos%20hajtások%20es%20mozgasvezerlok-7.pdf>
Letöltve: 2014.12.08.
- [30] http://ww1.prweb.com/prfiles/2012/06/21/9630291/Anuga_0212_H_Portal_2.jpg
Letöltve: 2014.12.03.

Köszönetnyilvánítás

*Ezúton szeretnék köszönetet mondani **Dr. Tóth János** Tanár Úrnak szakmai ötleteiért, segítőkézségéért, és építő tanácsaiért, amelyekkel hozzájárult a dolgozatom elkészüléséhez.*

*Köszönettel tartozom továbbá **Szabó Norbert**nek, a Festo Kft. Didactic referensének, az eszközök rendelkezésemre bocsátásáért.*