



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI, INFORMATIKAI ÉS
VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

SZAKDOLGOZAT

Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése

Korpai Richárd
Mechatronikai mérnök BSc
Gyártási rendszerek mechatronikája

Győr, 2021

Feladat-kiíró lap szakdolgozathoz

Hallgató adatai

Név: *Korpai Richárd*

Neptun-kód: *WSMZ28*

Szak: *Mechatronikai mérnök BSc*

Specializáció: *Gyártási rendszerek mechatronikája*

Tagozat: *nappali*

A szakdolgozat adatai

Kezdő tanév és félév: *2020/21/2*

Nyelv: *magyar*

Típus: *nyilvános*

Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése

Feladatok részletezése:

- 1) Szakirodalmi áttekintés az ipari kommunikáció, logikai vezérlők, termelésirányítás témakörében.
- 2) Gyártócella jelenlegi architektúrájának elemzése, külső termelésirányítási rendszer követelményeinek, szükséges eszközeinek meghatározása.
- 3) Gyártócella fejlesztése, logikai vezérlők programozása, hálózati protokoll és kommunikáció kidolgozása.

Belső konzulens adatai

Név: *Szántó Norbert*

Tanszék: *Járműgyártási Tanszék*

Beosztás: *egyetemi tanársegéd*

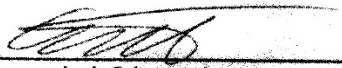
Külső konzulens adatai

Név:

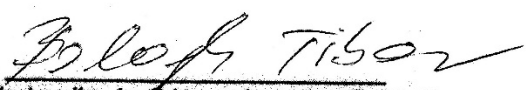
Munkahely:

Beosztás:

Győr, 2021.01.24.


belső konzulens


külső konzulens


Mechatronika és Gépszerkezetek Tanszék
Dr. Balogh Tibor tanszékvezető, egyetemi docens

Nyilatkozat

Alulírott, Korpai Richárd, Mechatronikai mérnök, BSc szakos hallgató kijelentem, hogy a Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése című szakdolgozat feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

2021.05.13.

a beadás dátuma

Korpai Richárd

hallgató aláírása

Kivonat

Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése

A szakdolgozatom témája egy Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése, amely felkészíti az Ipar 4.0 követelményeinek a teljesítésére. Ennek a megvalósulása érdekében a gyártócellának képesnek kell lennie egy MES rendszerrel való együttműködésre, továbbá kiber-fizikai rendszert kell alkotnia, hogy a szenzorokon és aktuátorokon keresztül kölcsönhatásba tudjon lépni a fizikai világgal és az onnan érkező információkat a számítástechnikai eszközök egymás között cserélni tudják.

A szakdolgozat során bemutatásra kerül a gyártócella, majd a fejlesztés előtti állapota és a fejlesztéshez szükséges hardver, valamint szoftverek. A hardveres bővítés után a gyártócella képes OPC UA szervert üzemeltetni, ezáltal harmadik fél számára biztosítható az adatküldés és adatfogadás. A szoftveres fejlesztés során a gyártócella folyamatos gyártás alapú működése rendelés alapúra változott és két üzemállapottal rendelkezik a helyszíni és távoli működtetés biztosítása érdekében.

Az infokommunikációs fejlesztés után a gyártócella egy OPC UA szerverrel rendelkezik, amely egy MES rendszerrel áll kapcsolatban. Továbbá az OPC UA szerveren keresztül összeköttetésben áll egy virtuális környezetben létrehozott másával (digitális iker), ahol szimulációk és gyártási folyamattervezések hajthatók végre. A végrehajtott infokommunikációs fejlesztés hatására a gyártócella megfelel az Ipar 4.0 követelményeinek és készen áll a digitális gyártásra való átállásra.

Abstract

Infocommunication development of Festo educational manufacturing cell

The topic of my dissertation is the infocommunication development of a Festo educational manufacturing cell that prepares it to meet the requirements of Industry 4.0. To accomplish this, the manufacturing cell must be able to work with an MES system and create a cyber-physical system to interact with the physical world through sensors and actuators and exchange information from there with computing devices.

The dissertation presents the manufacturing cell, then its pre-development condition and the hardware and software required for development. After the hardware expansion, the manufacturing cell is able to operate an OPC UA server, thus providing data transmission and data reception to third parties. During software development, the continuous production-based operation of the manufacturing cell changed to order-based and has two operating states to ensure on-site and remote operation.

After infocommunication development, the manufacturing cell has an OPC UA server that is connected to an MES system. Furthermore, the OPC UA communicates via a server with a copy created in a virtual environment (digital twin) where simulations and manufacturing process designs can be performed. As a result of the infocommunication development, the manufacturing cell meets the requirements of Industry 4.0 and is ready to switch to digital production.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Szakirodalom áttekintés	2
2.1. Gyártórendszerek, gyártási folyamatok, folyamatfejlesztés.....	2
2.2. Ipari automatizálás	8
2.2.1. PLC és HMI eszközök.....	9
2.2.2. OPC UA	14
2.3. Az Ipar 4.0 és összetevői, alkalmazott technológiái.....	15
3. Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése	21
3.1. A kutatólaboratórium bemutatása	21
3.2. Az infokommunikációs fejlesztés célja	22
3.3. Gyártócella bemutatása.....	23
3.4. Felhasznált programok.....	31
3.5. Fejlesztési lépések.....	33
3.5.1. Hardver fejlesztés.....	37
3.5.2. Szoftver fejlesztés	38
3.6. Értékelés.....	49
4. Összefoglalás.....	51
5. Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezetés

Az információs technológiák fejlődésével, mint például a dolgok internete, a felhőalapú számítástechnika és a big data elemzés, megalakult az intelligens gyártás kora, amit negyedik ipari forradalomnak vagy Ipar 4.0-nak hívnak. Az Ipar 4.0 középpontjában az információáramlás áll. Egy termék vagy szolgáltatás életciklusának minden szakaszából egyre több adatot nyerhetünk ki, melyet használható információkká alakíthatunk. Ezeknek az információknak a megfelelő feldolgozása elősegíti a gyártási folyamat fejlesztését, mellyel jelentős mértékben csökkenthető a költsége. Ahhoz, hogy minél több adatot nyerhessünk ki egy termék vagy szolgáltatás életciklusából szükséges, hogy a gyártásban részt vevő eszközök kommunikáljanak egymással.

A megfelelő kommunikáció kialakításával a gyártásban lévő eszközök összekapcsolhatóvá válnak egy virtuális környezetben létrehozott másával, ahol szimulációkat és gyártási folyamattervezést valósíthatunk meg. Továbbá lehetségessé válik egy MES-sel való együttműködés, ami a termelési tevékenységek tervezését, irányítását és optimalását, a rendelések kezelését irányítja. Az IoT segítségével az eszközök vezérelhetők webes felületről, az adatokat egy szerverre gyűjthetők és a kommunikáció az interneten keresztül történhet.

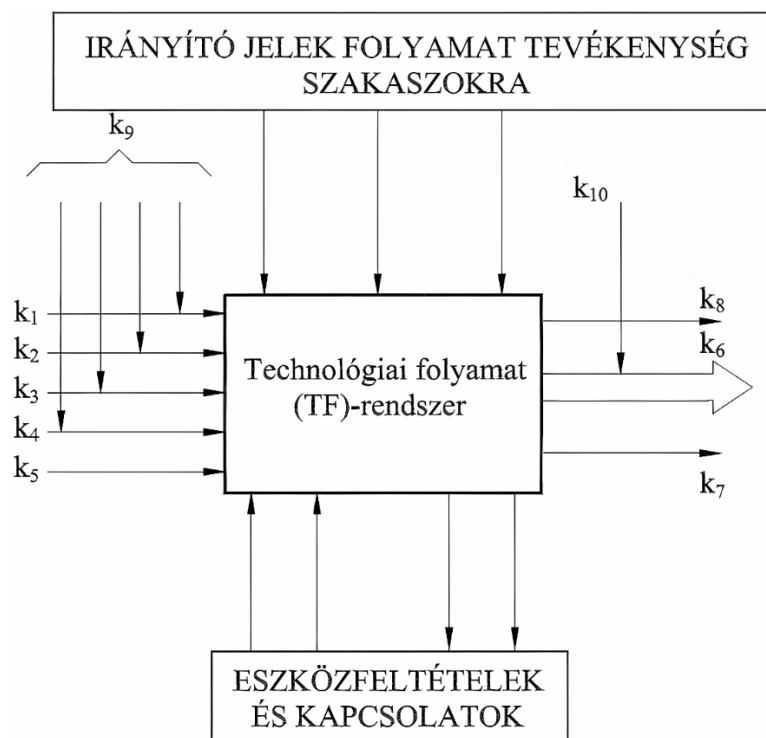
A szakdolgozatom célja, hogy a győri Széchenyi István Egyetemen található Kiberfizikai gyártórendszerek laboratóriumban lévő Festo oktatási gyártócellának az infokommunikációs fejlesztésével lehetőséget biztosítsak ipari kommunikációs protokollokon keresztüli adat továbbításra a labor eszközök között, valamint az informatikai rendszerek felé, amellyel megfelelné az Ipar 4.0 elvárásainak.

2. Szakirodalom áttekintés

2.1. Gyártórendszerek, gyártási folyamatok, folyamatfejlesztés

A gyártás, termelés irányítása, technológiájának, eszközháttérének, azaz gyártórendszerének tervezése, egymással összefüggő optimalizációs feladatok, célszerű módszerekkel való megoldásának rendszere. Ezt igényli a rendszerszemléletű megközelítés, amiből következik, hogy biztosítani kell a gyártórendszer működésének optimumát. Ennek érdekében a gyártás előkészítés(nek) és irányítás(nak) különböző rendszereinek együtt kell működniük. [1, 2]

A gépipari gyártási rendszer egy olyan rendszer, amelyben anyagi javak előállítása folyik (1. ábra). Ehhez annak környezetéből a rendszerbe anyag, energia, információ, munkaerő jut ($k_1 \dots k_5$), amelyek a rendszerben zajló folyamatok hatására a rendszer környezetébe való kimeneten – értéket és használati értéket jelentő – termékben (k_6), nyereségben realizálódik. [1, 2]



1. ábra: A technológiai folyamat-rendszer kapcsolatai [1, 2]

A k_1 a nyers - és segédanyagokkal, félkész termékekkel és kereskedelmi árukkal való ellátás folyamata, a k_2 az energiával való ellátás, a k_3 a gépek készülékek, szerszámok, mérőeszközök és egyéb technikai feltételek biztosításának folyamata és a

k4 az előmunkával való ellátás folyamata. Ezek együttesen a gyártás anyagi ellátásnak, kiszolgálásnak folyamatát jelentik. A k5 a gyártáshoz szükséges és annak során keletkező információk biztosításának, illetőleg feldolgozásának folyamata (gyártmány és gyártási tervek, gyártási programok kidolgozása, operatív gyártásirányítás, stb.). Ez összefoglalóan a gyártás konstrukciós és technológiai előkészítését, valamint a gyártásirányítást jelenti. A k6 a technológiai folyamat végtermékének felhasználási, hasznosítási folyamata (a szerelés technológiai folyamata, a kész gépek üzemeltetése a felhasználás területén stb.), a k7 a hulladékanyagok kezelésének, hasznosításának vagy megsemmisítésének folyamata, a k8 a hulladékegyergia hasznosításának folyamata, a k9 a technológiai folyamatba „bemenő” anyagok, energia, előmunka és információk ellenőrzésének folyamata, és a k10 a technológiai folyamatot elhagyó végtermékek ellenőrzésének rendszere. [1, 2]

A rendszerben zajló folyamatok közül azoknak a természeti és tudati folyamatoknak az összességét, amelyek eredményeként az anyagok és félkésztermékek a rendeltetésnek megfelelő késztermékké (gyártmánnyá) válnak, gyártási folyamatnak nevezzük. A gyártási folyamat fizikai megvalósításának területe és eszköze a gyártási rendszer (gyártórendszer, azaz a munkahelyek összessége, plusz kapcsolódásaik). [1, 2]

Az információs folyamatok a gyártási folyamat azon része, amelyek közvetlenül nem változtatják a gyártás tárgyának tulajdonságait, viszont hordozzák az előbbi megvalósító anyagi folyamatok tervezéséhez, ütemezéséhez, irányításához, végrehajtásához és ellenőrzéséhez szükséges adatokat. Jelentőségük a modern CNC vezérlés, a számítógépes irányítás, a rugalmas gyártásautomatizálás, az intelligens gyártás fejlesztésével és elterjedésével egyre növekszik. [1, 2]

Gyártórendszer

A gyártórendszer (MS – Manufacturing System) a gyártási fő- és segédfolyamatokat megvalósító gyártóberendezésekből, eszközökből, továbbá az előbbieket irányítását, felügyeletét ellátó részrendszerekből áll (2. ábra).



2. ábra: Gyártórendszerek fő egységei [1, 2]

Az egyes alrendszerek további egységekre, részrendszerekre tagozódnak. Pl. maguk a (gyártó) berendezések is rendelkezh(et)nek saját irányító, vezérlő és felügyeleti egységgel, amelyek hierarchikus kapcsolatban állnak a gyártórendszer irányító rendszerével (cellavezérlés, gyártórendszer irányítás). [1, 2]

Rugalmas gyártórendszerek

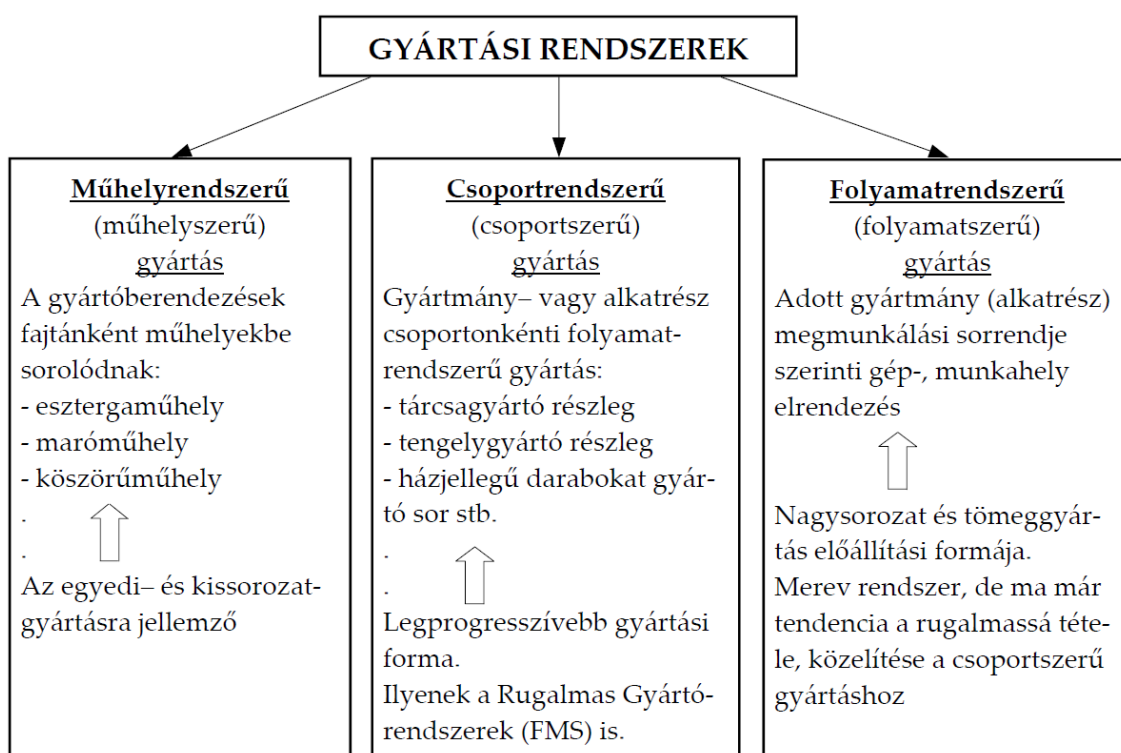
A rugalmas gyártórendszerek a csoportszerű gyártáson belül a legkorszerűbb megvalósítási formát jelentik. Tervezésük a csoporttechnológia (GT – Group Technology) elvének következetes alkalmazásával valósul meg. Ennek segítségével dönthető el, hogy a rugalmas gyártórendszer milyen alkatrészcsoport megmunkálására legyen felkészítve. A rugalmas gyártórendszerek fő építőelemei a következők:

- Rugalmas gyártórendszer (FMS – Flexible Manufacturing System): NC-CNC szerszámgépek, automatizált anyag és szerszámszállító eszközök, automatizált tisztító/mosó, mérő, tesztelő berendezések integrált számítógépes irányítású komplexuma, mely minimális kézi beavatkozással és rövid átállási időkkel képes megmunkálni egy specifikus alkatrészcsalád bármely tagját az előre meghatározott képességeknek megfelelően és előre definiált ütemezés szerint.
- Rugalmas gyártóegység (FMU - Flexible Manufacturing Unit): egy NC/CNC szerszámgép, általában megmunkálóközpont vagy esztergaközpont, szerszámtárral és automatizált szerszámcsereelővel, munkadarab (esetleg többpalettás) tárolóval, automatikus munkadarab (paletta)cserelővel, automatizált mérőegységgel és felügyeleti funkciókkal. Következésképpen az egység képes részben emberi felügyelet.
- Rugalmas gyártócella (FMC - Flexible Manufacturing Cell): két vagy több

NC/CNC szerszám gép, többnyire megmunkálóközpont, saját vagy közös munkadarab (esetleg többpalettás) tárolóval, automatikus munkadarab-/paletta cserélővel és szerszám tároló és cserélő egységgel, automatizált mérőeszközökkel és folyamat felügyelettel. A cella működését egy cellavezérlő számítógép irányítja, az emberi felügyelet minimalizálását segítve. [1, 2]

A gyártási rendszerek fajtái

A gyártási rendszerek meghatározó elemei a gyártóberendezések. Ezek elrendezésétől függ az adott alkatrész útja a gyártás során, ami jelentős hatással van a gyártásközi anyagmozgatás és raktározás, kapacitás-, idő- és költségigényére, az alkatrészgyártás átfutási idejére, a gyártási rendszer rugalmasságára (átállíthatóság egyik gyártmányról a másikra). A gyártási rendszerek három fajtáját különböztetjük meg (3. ábra). Egy-egy vállalatnál általában ezek vegyesen fordulnak elő, tehát akár mindhárom létezhet más-más gyártási feladat elvégzésére. [1, 2]



3. ábra: Gyártási rendszerek fajtái [1, 2]

A műhelyrendszerű (vagy műhelyszerű) gyártás lényege, hogy a

gyártóberendezések fajtájaként vannak csoportosítva egy-egy helyen, amit általában műhelynek nevezünk. A műhelyrendszerű gyártás esetében, ha az alkatrész megmunkálása több különböző típusú műveletből áll, akkor a munkadarab vándorol egyik műhelyből a másikba. [1]

A csoportrendszerű (vagy csoportszerű) gyártás estében a gyártandó alkatrészféléseket csoportosítjuk és a technológiai folyamat szempontjából hasonló alkatrészek megmunkálására egy gyártórendszert hozunk létre. A csoportrendszerű gyártás esetében a munkadarab a technológiai sorrendnek (a csoporttechnológiának) megfelelően a gyártórendszeren belül vándorolnak egyik gyártóberendezésről a másikra. [1]

A folyamatrendszerű (vagy folyamszerű) gyártást egy-egy konkrét gyártmány, alkatrész gyártására szervezzük. Ilyenkor a gyártóberendezéseket az adott gyártmányra, alkatrészeire érvényes technológiai sorrend szerint telepítjük. A magas tömegszerűségi mutató megengedi (gazdaságossá teheti) az adott gyártmány (alkatrész) előállításához célgépek, speciális szerszámok, készülékek alkalmazását. Ez a gyártási forma merev, nehezen állítható át más gyártmány (alkatrész) gyártására még azonos alkatrészcsoporton belül is. Tartósan igényelt tömeggyártás esetén ez a gazdaságos gyártási forma. [1]

Folyamszerű gyártás és kivitelezési formája

Adott gyártmány, alkatrész gyártására felkészített gyártási forma. Itt a gyártóberendezéseket a munkadarabok gyártásának technológiai sorrendje szerint rendezzük sorba. A munkahelyeket a technológiai sorrendnek megfelelően helyezik el (pl. egyenes, kör vagy U alakban). A folyamszerű gyártásnak a hangsúlyozott termék vonatkozású felépítése, az azonos vagy nagyon hasonló termékek magas darabszámának meglétét feltételezi, úgy, hogy alkalmazása csak – nagysorozatú, ill. tömeggyártás – gyártásfajtáknál lehetséges. Jellemzője, hogy az anyagáramlás stabilitása konstans, automatizált szállító rendszereket (pl. görgős pályák, folyamatos működésű anyagmozgató gépek) alkalmaz, a gyártási feladatok stabilitása lehetővé teszi különleges és speciális eszközök alkalmazását (ami a relatív tömegszerűség megnövekedése révén) gazdaságossá válhat. Ennek következtében a folyamatos

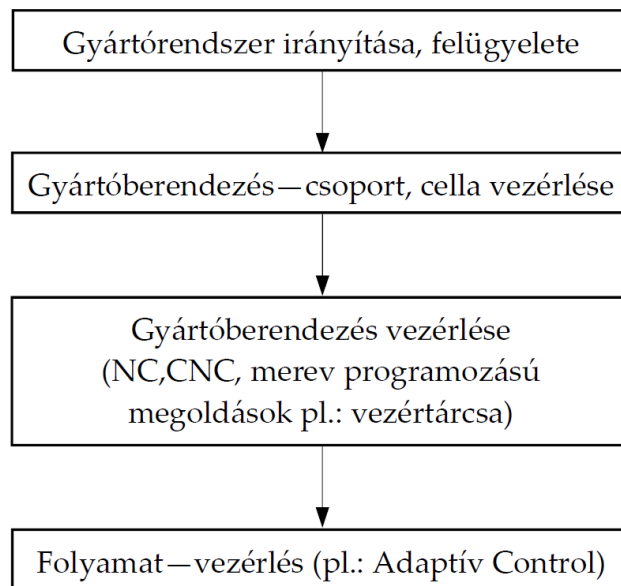
gyártást nagyon produktívan lehet kialakítani, mindazonáltal nagyon specializált és költséges beruházásokat igénylő gyártásforma, ami a dinamikusan változó piaci igények kielégítését nem képes segíteni. Az átfutási idők jelentősen csökkenthetők produktív gyártóberendezések használatával, valamint a műveleti ütemidők összehangolásával. [1]

A folyamszerű gyártásnál a munkaállomások összeláncolási módjának szempontjából két kivitelezési forma különböztethető meg.

- Folyamatos gyártás merev ütemezéssel: Az időbeli lefolyás itt folyamatos (pl. futószalag), esetleg diszkrét elemekkel a munkadarab a technológiai sorrend szerint halad munkaállomásról munkaállomásra.
- Folyamszerű gyártás rugalmas ütemezéssel: A munkaállomások közötti pufferszakaszok bevezetésével megkísérli biztosítani az időbeli rugalmasságot. Ezzel a váratlan meghibásodások és ütemidőbeli eltérések áthidalhatók a következő állomásokra ható következmények nélkül. A műszaki megoldás lényege, hogy tárolókat, puffereket (pl. körforgó tárolókat) teszünk be a munkaállomások közé, melyek lehetővé teszik az időbeli eltérések kiegyenlítését. [1]

Gyártási folyamatok irányítása, felügyelete

A gyártórendszerek funkcionális építőelemei a gyártórendszer irányítása és felügyelete alatt működnek. Ez az irányító és felügyelő rendszer hierarchikus. Az irányítás és felügyelet fő hierarchia szintjei a 4. ábrán láthatóak.



4. ábra: A gyártórendszer irányításának, felügyeletének hierarchikus szintjei [1, 2]

A felső szinten a gyártási folyamat közvetlen irányítása, szabályozása található. Ezt követően a gyártóberendezés irányítása, majd a gyártóberendezések csoportjának irányítása (cellavezérlő) következik. Végül az előbbieket összefogó, összehangoló gyártórendszerirányítás, folyamat-vezérlés és felügyelet. [1, 2]

2.2. Ipari automatizálás

Az önműködő irányítás az irányításnak (amely egy folyamatot elindít, fenntart, megváltoztat vagy megállít) az a módja, amikor valamennyi irányítási részművelet kezelői beavatkozás nélkül megy végbe. Az irányítási művelet a következő részműveletekből áll: érzékelés, ítéletalkotás, rendelkezés, beavatkozás. [3]

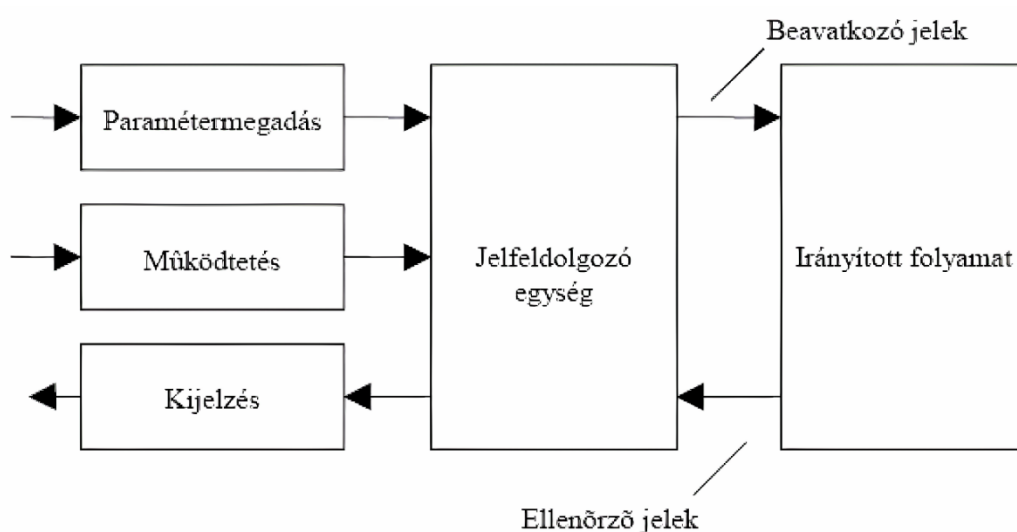
A vezérlőberendezés összefoglaló neve mindazon szerveknek, amelyek hatnak a vezérelt berendezésre (szakaszra). A vezérlőberendezés részei az érzékelő-és/vagy parancsadó szervek, a jelformálók, a logikai döntést végző és a beavatkozószerv, valamint az esetleges jelátalakítók. A beavatkozó, amely rendszerint magában foglalja a végrehajtó szervet és a beavatkozószerket, szerkezetileg legtöbbször a vezérelt berendezéshez tartozó, de funkcionálisan a vezérlőberendezés részeként számon tartott szerv. Bár a vezérlési folyamatban esetlegesen nem vesznek közvetlenül részt, de a vezérlőberendezés részét képezik az ember-gép kapcsolatot biztosító kijelző- és regisztrálókészülékek, kezelőelemek is. [4]

A vezérlőkészülék a vezérlési algoritmust valósítja meg. A vezérlési algoritmus olyan logikai összefüggésrendszer, amely a kívánt beavatkozójeleket állítja elő a folyamatot jellemző változók mért értékeiből és/vagy a vezérlést befolyásoló feltételekből. [4]

2.2.1. PLC és HMI eszközök

A programozható logikai vezérlők (Programmable Logical Controllers – PLC) az irányítási feladatokat tárolt program alapján valósítják meg. Napjainkban a vezérlési, irányítási feladatok túlnyomórészt PLC-k látják el. [3]

Az irányítás tárgyát képező technológiai folyamat, berendezés, gép stb. jelenti az irányított rendszert. Az irányítórendszer pedig mindazon szervek és készülékek együttese, amelyek együttműködése révén az irányított rendszer irányítása megvalósul. Az irányítási folyamat általános blokkvázlata látható az 5. ábrán: [5]



5. ábra: Az irányítási folyamat általános blokkvázlata [5]

Az ember-gép kapcsolat eszközei

Az ember gép kapcsolat eszközei (Man-Machine Interface, MMI vagy Human-Machine Interface, HMI) a kezelő és a PLC közötti kommunikációt teszik lehetővé. [4]

Az utóbbi időben egyre általánosabb, hogy a PLC-k helyi (technológia közeli) adatmegjelenítő és beviteli eszközei az ipari kivitelű terminálok. A nagy PLC-gyártók mindegyike gyártja az interaktív terminálokat is, amelyek alapvetően az adott PLC-típussal képesek együttműködni (kommunikálni). [4]

Az interaktív terminálok gyártmányválasztéka igen széles. Az egyszerűbb (olcsóbb) típusoknál, pl. 4 sorban és 20 oszlopban (egyszínű) alfanumerikus karaktereket jeleníthetünk meg. Az ilyen típusú eszközök csúcsmodellje napjainkban képpontot tartalmazó színes képernyőt jelent. Adatbeviteli eszközként a választék a néhány gombot tartalmazó ipari billentyűzettől az érintésre vagy nyomásra érzékeny képernyőig terjed. A két véglet között számos közbenső teljesítményű eszköz van akár egyetlen gyártó típusválasztékában is. [4]

Az eszközök közös (gyártótól független) vonásai a következők.

- A terminálok két nagy csoportja különíthető el: az alfanumerikus és a grafikus szimbólumok megjelenítésére alkalmas csoport.
- A képernyőn frissítve megjelenő információk (szövegek, számok, grafikai objektumok színe stb.) a PLC aktuális változóinak (bites, bájtos, szavas) értékétől függnnek.
- Az interaktív terminálok soros kommunikációs vonalon (masterként) saját hatáskörben kérdezik ciklikusan a PLC változóinak az értékét.
- Az interaktív terminál adatbeviteli eszközein (tasztatúra, érintésre érzékeny képernyő) a kezelő adatai soros kommunikációs vonalon keresztül a PLC változóiba íródnak.
- Az interaktív terminálok programjának fejlesztése külső számítógépen (PC), a terminál gyártója által biztosított fejlesztőrendszerrel történhet. [4]

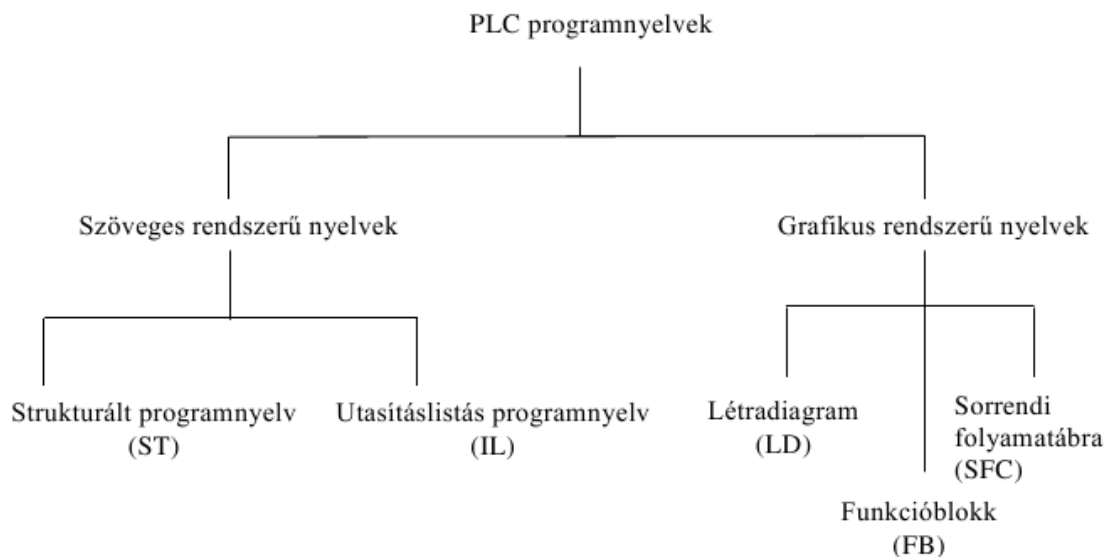
PLC programnyelvek

Az IEC 1131 szabvány a PLC felhasználói programnyelveket két osztályba sorolja: szöveges rendszerű és grafikus szimbólumokat alkalmazó programnyelvek. [4]

A szöveges szimbólumokkal leírt vezérlési feladat rendszerint egy compiler (fordító) révén kerül a programmemóriába letöltésre. A szöveges rendszerű programnyelveknek két megvalósítási formáját engedélyezik. Az egyik a magas szintű programnyelvekkel (Pascal vagy C) támogatott strukturált felhasználói programnyelv, a másik szöveges programnyelv az utasításlistás felhasználói programnyelv. [4]

A grafikus szimbólumokkal leírt és megszerkesztett vezérlési feladat a fejlesztőrendszerben egy letöltőprogram (külön menüpont) révén tölthető le a PLC-be.

A 1131-3 szabvány háromféle grafikus szimbólumot alkalmaz: létradiagramos, funkcióblokkos és sorrendi folyamatábrán alapuló programnyelvet. A szabvány a következő PLC nyelveket definiálja és ajánlja. [4]



6. ábra: PLC programnyelvek [4]

A szakdolgozatomban két programozási nyelvet használtam fel, így ezeket mutatom be részletesebben.

A létradiagramos programozási nyelv (Ladder Diagram, LD vagy LAD) az áramútervből alakult ki, így a létradiagramok az áramútervek szoftver megfelelői. Bár a létradiagramok (LAD) az áramútervek programozási megfelelői, lényeges különbség közöttük, hogy csak logikai egyenletek leírására szolgálnak, nem tartalmaznak speciális, és csak az érintkezős hálózatokra jellemző összevonásokat és elemei csak az adott PLC funkcionális szoftverelemei lehetnek. A létradiagramok főbb elemei:

- kontaktusok;
- huzalozás;
- logikai kimenetek (Output, Flag, MERKER);
- időzítők;
- számlálók;
- különleges elemek (pl. léptetőregiszter, PID blokk). [5]

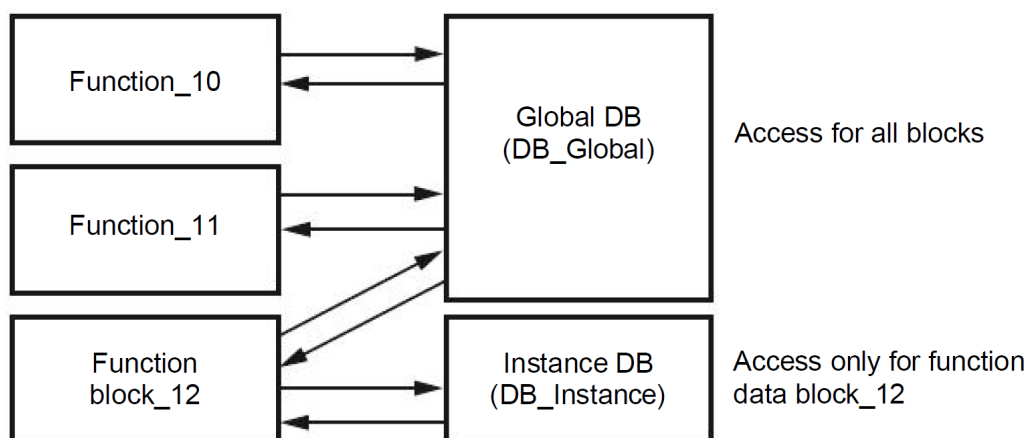
Az SCL (Structured Control Language – strukturált vezérlési nyelv) egy magas szintű Pascal szintaxisra épülő programozási nyelv. A nyelv megfelel a 61131-3

szabványban meghatározott strukturált szöveg (ST) programozási nyelvnek. A magas szintű nyelvi elemek mellett az SCL a PLC tipikus elemeit tartalmazza nyelvi elemként, mint például bemenetek, kimenetek, időzítők, blokkhívások stb. Támogatja a blokk koncepciót és lehetővé teszi a blokkok programozását a szabványoknak megfelelően. [6]

Data block (adat blokk)

A logikai blokkoktól eltérően a data block-ok nem tartalmaznak utasításokat, csak a felhasználói adatok memóriájaként szolgálnak. A data block-ok tehát változó adatokat tartalmaznak (bemenetek, kimenetek, bit memóriák), amelyeket a felhasználói program használ. Kétféle data block létezik:

- Globális data block: A felépítése tetszés szerint meghatározható. A globális data block-ok olyan adatokat tárolnak, amelyeket az összes többi block felhasználhat (7. ábra).
- Az eseti adat blokk (instance data block): Csak a társított funkcióblokk fér hozzá. [7]



7. ábra: Globális és eseti data block[7]

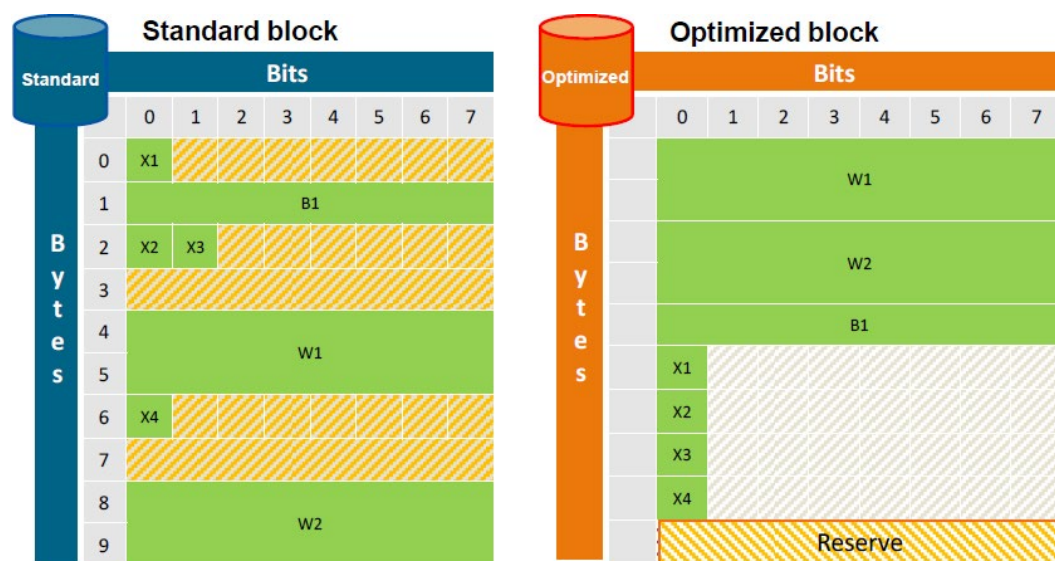
Function block-ok és instance data block-ok

A function block-ok olyan logikai blokkok, amelyek tartósan tárolják a bemeneti, kimeneti és ki-bemeneti változókat, valamint a statikus változókat egy instance data block-ban, hogy elérhetők legyenek a blokk végrehajtása után is. Emiatt memóriával rendelkező blokkokként is emlegetik őket. Az ideiglenes változókat azonban nem tárolja az instance data block-ban, azok csak egy ciklusidőre állnak rendelkezésre. A function

block hívásakor a szoftver automatikusan lefoglal egy memóriaterületet, amely tartalmazza a function block által használt adatokat. Ez a memóriaterület data block-okban valósul meg. Lehetőség van többszörösen összetett instance data block-ok létrehozására, amiket multi instance-oknak nevezünk. Ezáltal a function block-ban meghívott function block-oknak a memóriaterületük az instance data block-on belül lévő instance data block-okban helyezkednek el rétegesen. [7]

Optimalizált data block

Az 1500-as PLC-k optimalizált adattárolásra is képesek, ami azt jelenti, hogy a változókat automatikusan rendezik el a data block-okban méret szerint. Ezzel a módszerrel minimálisra csökkenthető a változók által foglalt hely és az elérési idejük is nagyban csökken, mivel az 1500-as PLC processzora közvetlenül tudja őket írni és olvasni egyetlen gépi paranccsal. Ezek a data block-ok csak szimbolikusan érhetők el. A 8. ábrán bal oldalt látható egy egyszerű data block, jobb oldalt pedig egy optimalizált. [8]



8. ábra: Optimalizált data block [8]

Látható, hogy a data block elejére kerültek a nagyobb változók és megszűntek a kihasználatlan adatközök. A boolean változók bájt-ként tárolódnak a gyorsabb hozzáférés érdekében, így a vezérlőnek nem kell maszkolnia az elérést. [8]

PROFINET

A PROFINET egy nyílt ipari ethernet szabvány az automatizáláshoz. Két változat létezik belőle a PROFINET IO és a PROFINET CBA. A szakdolgozatom során csak a PROFINET IO-t használtam, így ez kerül bemutatásra.

A PROFINET IO a moduláris automatizálási koncepció kivitelezéséhez integrálja az elosztott I/O-val való valós idejű kommunikációt. Ezáltal a terepi buszok funkcióit valósítja meg és lehetővé teszi a paraméterezést, diagnosztizálást, konfigurálást, valamint a riasztások kezelését. [9]

S7 kommunikáció

Az S7 kommunikációt, mint homogén SIMATIC kommunikációt, a gyártóspecifikus kommunikáció jellemzi a SIMATIC CPU-k között (nem nyílt szabvány). Az S7 kommunikációt migrációra és a meglévő rendszerekhez való csatlakozásra használják. Az S7 kommunikáció segítségével a CPU adatokat cserél egy másik CPU-val, amely során a vételi adatokat automatikusan nyugtázza a küldő CPU miután a felhasználó megkapta azokat. Az S7 kapcsolatok konfigurálhatók az egyik vagy mindkét végén. A kommunikáció kétféleképpen megvalósítható. A CPU-ba integrált PROFINET vagy PROFIBUS DP interfészen vagy CP/CM interfészen.

A mindkét végén konfigurált S7 kommunikáció során a kommunikáció paraméterei mindkét partnernél megtalálhatók. Ez a fajta konfiguráció lehetővé teszi PUT/GET függvények használatát, amelyek az adatok írására és olvasására használhatók a két CPU között. [10]

2.2.2. OPC UA

Az Ipar 4.0 az informatikai rendszerek termeléséből származó nagy mennyiségű adatok intenzív felhasználását, kiértékelését és elemzését jelenti vállalati szinten. Az Ipar 4.0 alkalmazásával a termelési és a vállalati szint közötti adatcsere gyorsan növekszik. A siker előfeltétele azonban az információ- és adatcsere egységes szabványa. Az OPC UA szabvány különösen alkalmas különféle szintű adatcserére az operációs rendszerektől való függetlenségének, biztonságos továbbítási eljárásainak és az adatok szemantikai leírásának köszönhetően. A gépi adatok (vezérelt változók, mért értékek

vagy paraméterek) szintén ilyen módon továbbíthatók. Ennek a koncepciónak fontos eleme, hogy az OPC UA kommunikáció párhuzamosan valósulhat meg a valós idejű kommunikációval az időkritikus, gépi szintű adatátvitel érdekében. Az OPC UA nagymértékben skálázható, így következetes információcsere lehetséges az érzékelők, vezérlők és MES vagy ERP rendszerek között. Az OPC UA nemcsak adatokat, hanem az adatokkal (adattípusokkal) kapcsolatos információkat is elérhetővé teszi, ugyanakkor lehetővé teszi az adatok gépileg értelmezhető hozzáférését. [10]

Siemens OPC UA kommunikáció

Egy S7 vezérlőrendszerrel való szabványosított kommunikációhoz, amely minden platformra és gyártóra vonatkozik, a Siemens egy OPC UA kommunikációs protokollt biztosít. A TIA Portal V15-ös verziójától és a SIMATIC S7-1500 vezérlő V2.5-ös verziójától lehetőség nyílik OPC UA metódusok meghívására a kliensnek az integrált OPC UA szerver segítségével. Ezzel a funkcióval kiegészítve nemcsak a vezérlőrendszer OPC UA változóinak olvasására vagy írására van lehetőség, hanem az OPC UA-n keresztül komplex funkcionális szekvenciák is elindíthatók. Ez szinte teljes M2M (machine-to-machine) kommunikációt tesz lehetővé az OPC UA-n keresztül az üzemek hálózatba szervezéséhez vagy az üzemek MES rendszerrel való vezérléséhez. [11]

2.3. Az Ipar 4.0 és összetevői, alkalmazott technológiái

Az intelligens gyárban a gyártási folyamatokat valós időben és az igényeknek megfelelően kell vezérelni, akár távolról is. Ennek a biztosítása érdekében robosztus hálózatokra van szükség, amik a folyamatos adatcserét szolgáltatnak.

Ipar 4.0

Az Ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, melynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő egy olyan „okos” gyárát hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján. A koncepció

figyelembe veszi a feldolgozóipar fokozott számítógépesítését, ahol a fizikai objektumok zökkenőmentesen integrálódnak az információs hálózatba. Ennek eredményeként a gyártási rendszerek vertikálisan hálózatba vannak kapcsolva a gyárak és vállalkozások üzleti folyamataival, és vízszintesen kapcsolódnak a térben szétszórott, valós időben kezelhető értékhálózatokhoz - a megrendelés leadásától a kimenő logisztikáig. Az Ipar 4.0 főbb jellemzői:

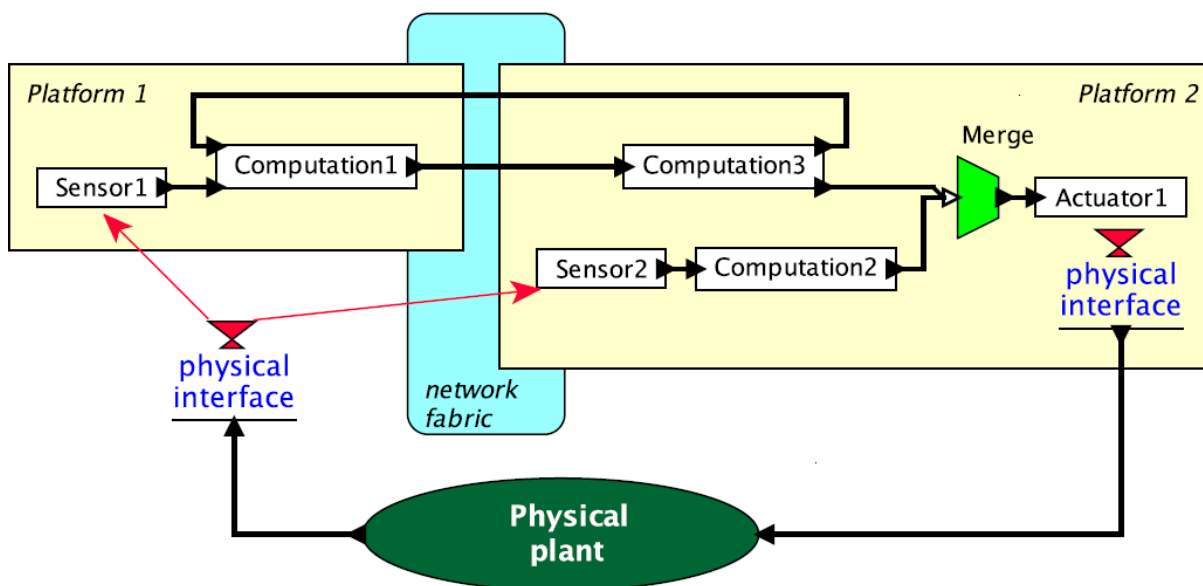
- Átjárhatóság: a kiber-fizikai rendszerek (munkadarab-hordozók, összeszerelő állomások és termékek) lehetővé teszik az emberek és az intelligens gyárak számára, hogy összekapcsolódjanak és kommunikáljanak egymással.
- Virtualizáció: az intelligens gyár virtuális másolata úgy jön létre, hogy összekapcsolja az érzékelők adatait a virtuális üzem modellekkel és szimulációs modellekkel.
- Decentralizáció: a kiber-fizikai rendszerek képessége arra, hogy önállóan döntsenek, és helyben termeljenek az olyan technológiáknak köszönhetően, mint a 3d nyomtatás.
- Valós idejű képesség: az adatok gyűjtésére és elemzésére, valamint a származtatott betekintések azonnali benyújtására való képesség
- Szolgáltatás orientáció.
- Modularitás: az intelligens gyárak rugalmas alkalmazkodása a változó követelményekhez az egyes modulok cseréjével vagy bővítésével [12]

CPS (cyber physical system – kiber-fizikai rendszer)

Az eredeti számítógép önálló eszköz volt, amely a számítási feladatokra és az információfeldolgozásra összpontosított. Miközben ma is számítógépeket használunk ezekre a feladatokra, a számítógépek mindenütt történő használata a beágyazott rendszereken belül történik. A beágyazott rendszer egy adott célra tervezett mechanikus vagy elektromos rendszerbe integrált hardverből és szoftverből áll. Az óráktól a kamerákon át a hűtőszekrényekig manapság szinte minden gyártott termék beépített mikrovezérlővel és szoftverrel ellátott beágyazott rendszer. A kiber-fizikai rendszer fogalma a beágyazott rendszerek általánosítása. [13]

A kiber-fizikai rendszer számítástechnikai eszközök gyűjteményéből áll, amelyek egymással kommunikálnak, és szenzorokon, valamint aktuátorokon keresztül egy visszacsatolási hurokban kölcsönhatásba lépnek a fizikai világgal. Az ilyen rendszerek egyre inkább mindenhol megtalálhatók, az intelligens épületektől az orvostechikai eszközökön át az autókig. [14]

Egy tipikus kiber-fizikai rendszer a 9. ábrán látható.



9. ábra: Kiber-fizikai rendszer [14]

Három fő komponensből tevődik össze. Először egy fizikai üzemből, ami a kiber-fizikai rendszer fizikai része. Ez egyszerűen a rendszernek az a része, ami nem számítógépekkel vagy digitális hálózatokkal valósul meg. Állhat mechanikai alkatrészekből, biológiai vagy kémia folyamatokból vagy emberi operátorokból. Másodszor, van egy vagy több számítási platform, amelyek érzékelőkből, aktuátorokból, egy vagy több számítógépből és (esetleg) egy vagy több operációs rendszerből állnak. Harmadszor, van egy hálózati eszköz, amely biztosítja a számítógépek kommunikációs mechanizmusait. A platformok és a hálózati eszköz együttesen alkotják a kiber-fizikai rendszer „kibernetikus” részét. [14]

Bár a CPS biztosítja a fizikai és a kibernetikai komponensek közötti zökkenőmentes interakció kereteit és mechanizmusát, főként az akadémiai kategóriába tartozik, és a tudományos elvek ellenőrzésére összpontosít, nem pedig a mérnöki alkalmazások gyakorlati optimalizálására. Ezért bevezetik a digitális ikert (DT) mint a számítógépes

fizikai fúzió gyakorlati módja. [15]

Digital twin

Az új technológiák, például a felhőalapú számítástechnika, a dolgok internete (IoT), a big data és a mesterséges intelligencia (AI) gyors fejlődésével elérkezett az intelligens gyártás korszaka. Ennek megfelelően különféle nemzeti gyártásfejlesztési stratégiákat terjesztettek elő, mint például az Ipar 4.0, az Ipari Internet, a kiber-fizikai rendszeren (CPS) alapuló gyártás. Nyilvánvaló, hogy a kiber-fizikai fúzió elérése döntő lépés az intelligens gyártás megvalósításához. A digitális ikert (DT) a kiber-fizikai fúzió gyakorlatias módjaként mutatják be. Segít egy intelligensebb gyártási rendszer kifejlesztésében, nagyobb hatékonysággal és megbízhatósággal. [15]

A digitális iker egy termék, egy gép, egy folyamat vagy egy teljes gyártóberendezés virtuális duplája. Ez tartalmazza az eredetihez kapcsolódó összes adatot és szimulációs modellt. A digitális ikrek nemcsak lehetővé teszik a termékek elképzelését, szimulálását és előállítását, mint a múltban, hanem a gazdaságosság, a teljesítmény, a robusztusság vagy a környezeti kompatibilitás javítása érdekében is megtervezhetők. A termék virtuális ikre digitális árnyékként is elkísérheti az értéklánc minden szakaszán - a tervezéstől a gyártáson át a szervizelésig, sőt az újrahasznosításig is. [16]

A digitális árnyék olyan adatprofil, amely az egész életciklus alatt asszociál a megfelelő entitással, és minden adatot és tudást magában hordoz, hogy tükrözze a sajátos alakját a múltbeli, jelenlegi és várható jövőbeli állapotának. A digitális árnyékban lévő adatokat egyetlen elektronikus dokumentumban tárolják, és egy dedikált szoftverszolgáltatás vagy szoftverágens aktívan kezeli. Ezáltal az adatok egységesen és hatékonyan integrálódnak és kerülnek feldolgozásra a fontos információk előállítása érdekében. [15]

Mivel a digitális iker egy virtuális reprezentáció, amely a fizikai partner adatait hordozza az egész életciklus alatt, hasonló a digitális árnyék fogalmához. A két kifejezés azonban továbbra is különbözik egymástól, és a digitális iker a következő szempontok szerint felülmúlja a digitális árnyékot: A digitális iker nagy pontosságú digitális tükörmodellt tud nyújtani az entitás intuitív és alapos leírására. A modell alapján a fizikai folyamatok és tevékenységek a végrehajtás előtt érvényesíthetők, ami csökkenti a

kudarca kockázatát. A modell az entitással szinkronban működik, és összehasonlítást nyújthat a tényleges és a szimulált teljesítmények között, hogy megkapja különbségüket, ami fontos az értékelés, az optimalizálás és az előrejelzés szempontjából. A digitális ikerben szereplő adatok nemcsak a fizikai világból származnak, hanem a virtuális modellekből is, és egyes adatok a két világ adatainak összeolvadásából származnak, például szintézis, statisztika, asszociáció, klaszterezés, evolúció, regresszió, és általánosítás. Ezért a digitális ikerben az adatok mennyisége nagyobb a pontosabb és átfogóbb információk előállításához. [15]

MES

A MES műhelyszintű számítógépes gyártásirányítási funkciók olyan együttese, melynek feladata a termelési tevékenységek tervezése, irányítása és optimalizálása, a függő rendelkezések kezelésétől az eredmények jelentéséig. [17]

A MES része a gyártásmenedzsment rendszernek, folyamat-közeli szinten van hatással azok optimalizálására, így felelős a gyártásvezérlésért. Közvetlenül kapcsolódik az üzemi folyamatokhoz, így valós időben teszi lehetővé a termék-előállítás vezérlését- és ellenőrzését. Egyidejűleg olyan gyártási folyamatokkal kapcsolatos adatok gyűjtése is megvalósul, amik támogatják a folyamatok optimalizálását illetve lehetővé teszik a folyamatokban rejlő hibák feltárását. [18]

Adatgyűjtési szinten a modern MES rendszerek támogatják az univerzálisan használható interfész lehetőségeket. Sok esetben az összekapcsolandó géppark régi és új gépek keverékéből áll, amelyek vezérlői különböző kommunikációs módszereket biztosítanak. A moduláris jellege és a MES által kínált konfigurációs lehetőségek nagy szerepet játszanak különösen a folyamatinterfészekben. [19]

Az OPC UA által történő adatátvitel (objektum-összekapcsolás és beágyazás a folyamat vezérléséhez) a gép vagy a telepített vezérlővel való közvetlen kommunikációra szolgál. Ennél a módszernél az adatgyűjtő program OPC UA kliensen keresztül kommunikál a gép vezérlőjében megadott címterülettel. Ez azt jelenti, hogy az adatgyűjtő program egyrészt meghatározott OPC UA-változókon keresztül hozzáférhet az ebben a címtérben tárolt összes információhoz, másrészt írhatja az ezen a címtéren található adatmezőket. Az OPC UA kliens feladata logikai kapcsolat létrehozása a

felhasználói programok és az OPC UA változók között. Az OPC UA kommunikáció egyik előnye, hogy független a protokoll és a vezérlő verzióitól. Ennek azonban hátránya, hogy a gyakran használt LAN-on keresztüli kommunikáció magas hálózati rendelkezésre állást igényel. [19]

3. Festo oktatási gyártócella infokommunikációs fejlesztése

A Festo oktatási gyártócella a Széchenyi István Egyetemen az ÚT-110-es Kiber-fizikai gyártórendszerek laboratóriumában található. Célja, hogy labor körülmények között új, később az iparban is használható technológiák kifejlesztését biztosítsa.

3.1. A kutatólaboratórium bemutatása

A laboratórium két gyártócellából és több robotos munkaállomásból áll. A két gyártócella közül az egyik a Festo oktatási gyártócella (10. ábra), ami a szakdolgozatom témája, a másik egy Fanuc ikerrobot cella. A két gyártócella és a robotos munkaállomások közötti anyagmozgatást egy AGV (Automatic Guided Vehicle – automatikusan vezetett jármű) biztosítja. A laboratórium fő tevékenységi köre az alábbi feladatcsoportokba sorolható:

- Szituáció-tudatos, erőforrás-hatékony és robusztus termelésstervezés és irányítás
- I4.0 megoldásokat használó, demonstrációs mini gyártó- és logisztikai rendszer
- Kooperatív és adaptív termelési és logisztikai hálózatok tervezése és működtetése
- Robusztus kooperatív kontrol kiber-fizikai rendszerekben
- I4.0 megoldások az energia-hatékony és fenntartható gyártás támogatására



10. ábra: Festo oktatási gyártócella

3.2. Az infokommunikációs fejlesztés célja

A gyártócella infokommunikációs fejlesztésének a célja, hogy lehetőséget biztosítson ipari kommunikációs protokollokon keresztüli adat továbbításra a labor eszközök között, valamint az informatikai rendszerek felé. Ez a fejlesztés utat engedhet olyan technológiáknak, mint például a MES (Manufacturing Execution System – termelés végrehajtási rendszer), digitális iker, IoT (Internet of Things – dolgok internete). Elsődleges célom a gyártócella távoli vezérlésének a megvalósítása. Így lehetőség nyílna a gyártócella adatainak valós idejű monitorozására, esetleges beavatkozások végrehajtására, más hálózatokkal való kommunikációra. A gyártócella infokommunikációs fejlesztése lehetővé tenné a gyorsabb, pontosabb termék gyártást, a gyártás folyamata és a gyártás közben történő információáramlás transzparens lenne. A

transzparens információáramlás felhasználható lenne adatelemzés és további gyártás optimalizálás céljából. Ezzel a fejlesztéssel megvalósítható lenne a digitális gyártásra való felkészültség. A gyártócella összekapcsolható lenne egy virtuális környezetben létrehozott másával (Digital Twin), ahol szimulációkat és gyártási folyamattervezést valósíthatunk meg, így növelve a gyártási folyamatok hatékonyságát. Továbbá képessé válna egy MES-sel való együttműködésre is, mellyel külső hálózattól érkező utasításokat tudna végrehajtani és folyamatos információáramlást biztosítana. Egy ilyen rendszer segítségével, más gyártócellákkal lenne képes a rendszer kommunikálni, így a termék elkészítése mindig a megfelelő időben, ütemezetten történne, megszűnnének a várakozások és a fölösleges mozgások. Az IoT utat nyitna olyan lehetőségeknek, mint például: vezérlés webes felületről, adatgyűjtés egy szerverre, kommunikáció az interneten keresztül.

3.3. Gyártócella bemutatása

A gyártócella nyolc állomásból áll, melyek sorban vannak összekapcsolva egymással, de az állomások külön-külön is működő egységet képeznek. A gyártócella beavatkozó eszközei pneumatikus, elektropneumatikus és elektronikus úton működnek, vezérlésük PLC-n keresztül történik. A nyolc állomásnak a vezérlését a nyolcadik állomás kivételével egyenként egy Siemens S7-313C-3DP PLC látja el, ezek rendelkeznek egy 16 digitális bemenettel és 16 digitális kimenettel rendelkező bővítő modullal. A nyolcadik állomás vezérlését egy Siemens S7-315-2DP PLC végzi, melyre a robottal való kommunikáció miatt van szükség. Továbbá az összes állomáson lévő PLC tartalmaz egy Siemens CP343-1 Lean kommunikációs modult. Ez a modul teszi lehetővé az állomások közötti kommunikációt profineten keresztül. A gyártócella csak zárt kommunikációra képes, azaz a gyártócella bármely állomására közvetlen kapcsolódva elérhető az összes többi állomás, viszont távolról nem érhetőek el. A gyártócella állomásai ugyan azzal a kezelőpanellel (11. ábra) vannak ellátva, mellyel az egyes állomásokat indítani, leállítani és újraindítani lehet.



11. ábra: Kezelőpanel

A gyártócella feladata, hogy három választható színű hengerbe egy hőmérő óralapot illesszen, melyeket a végén a kívánt módon, egy palettára helyezzen el az elszállításra várva, amik az 12. ábrán láthatók. A három henger közül a piros és a fekete műanyagból, az ezüstszerű fémből készült és valós munkadarabokat hivatottak szimbolizálni. A megkülönböztetésüket a gyártócellában lévő szín-és induktív szenzorok teszik lehetővé.



12. ábra: Palette, munkadarabok és hőmérő óralapok

A gyártás úgy indítható el, hogy az első állomástól haladva egyenként megnyomjuk a reset gombot, így alapállapotba helyezzük őket. Ezután a start gombok megnyomásával kezdetét veszi a gyártás. A gyártás addig történik, amíg el nem fogy az összes gyártandó munkadarab, vagy le nem állítjuk vagy be nem telik az összes hely a gyártócellában.

A gyártócella állomásai:

- a) Munkadarab adagoló (FE01)
- b) Munkadarab ellenőrző (FE02)
- c) Munkadarab előkészítő (FE03)
- d) Óralap ráhelyező (FE04)
- e) Préselő (FE05)
- f) Raktározó (FE06)
- g) Szelektáló (FE07)
- h) Palettázó (FE08)

a) Munkadarab adagoló (FE01)

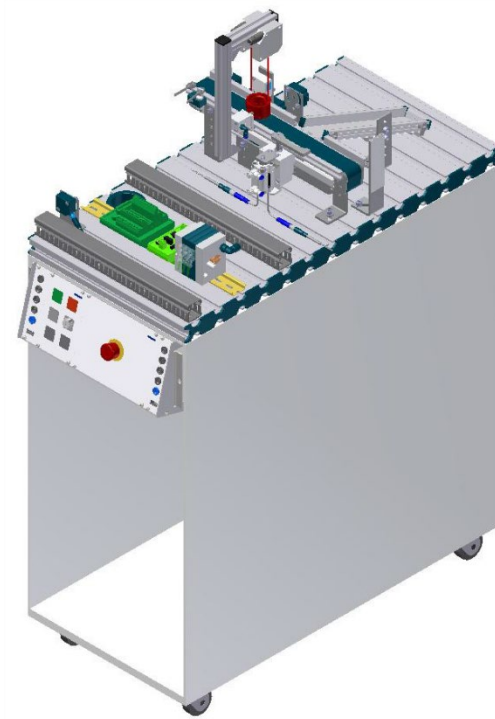
A munkadarab adagoló állomás (13. ábra) látja el a gyártócellát a megfelelő típusú nyersanyagokkal. Ezek a nyersanyagok típus szerint három függőleges tárolóban helyezkednek el. A tárolók a típus számának sorrendjében adagolják a hengereket. A tárolóból kikerülve a henger egy futószalagra érkezik, ami az állomás végére szállítja először, majd szabad jel esetén átadja a következő állomásnak. A három tároló alján található egy közelség érzékelő szenzor, mely jelzi a PLC számára, hogy van-e kiadható munkadarab.



13. ábra: Munkadarab adagoló állomás [20]

b) Munkadarab ellenőrző (FE02)

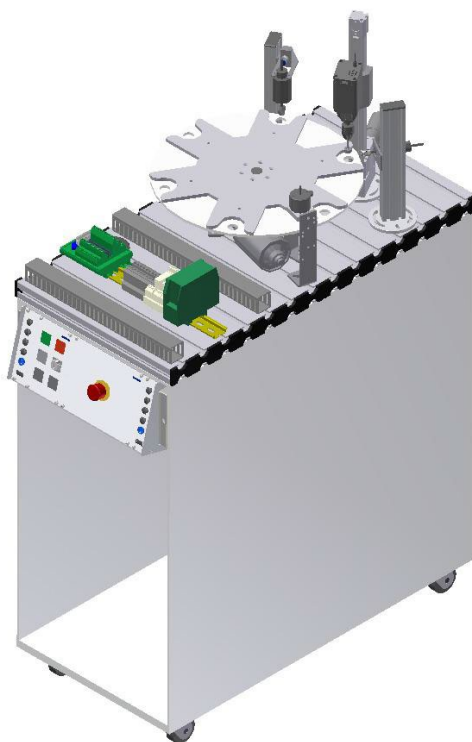
Az ellenőrző állomás (14. ábra) ellenőrzi a beérkező munkadarabok színét és magasságát, ami alapján eldönti, hogy bekerülhet-e a termelésbe. A megfelelő munkadarabokat továbbítja az előkészítő állomásnak, a nem megfelelőket pedig egy csúszdára tereli. A csúszdán lévő munkadarabokat emberi beavatkozással kell eltávolítani, különben hat munkadarab után kézi újraindítást igényel az állomást, mivel utána már nem képes több selejtet befogadni.



14. ábra: Munkadarab ellenőrző állomás [20]

c) Munkadarab előkészítő (FE03)

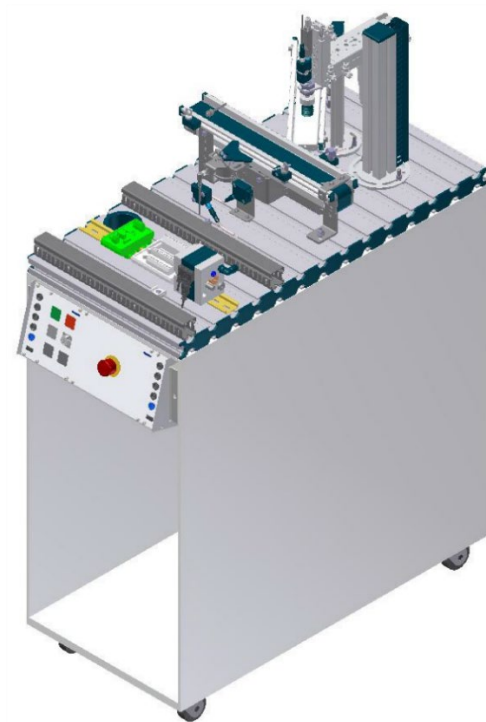
A munkadarabok egy körasztalra (15. ábra) érkeznek, ahol az állomás mélységmérést és fúrás szimulációt végez rajtuk. A körasztalon lévő munkadarabokon párhuzamosan végzi a fúrást és a mérést. Az „előkészített” munkadarabokat továbbítja a következő állomásnak.



15. ábra: Munkadarab előkészítő állomás [20]

d) Óralap ráhelyező (FE04)

Az óralap ráhelyező állomáson (16. ábra) egy pneumatikusan meghajtott karra szerelt vákuumos megfogó az óralapokat az óralap tároló csúszdáról felvéve ráhelyezi az érkező munkadarabokra, majd továbbítja a préselő állomásnak. Az óralap tároló csúszda feltöltését manuális kell végrehajtani. Az óralap tároló kiürülésével az állomás nem adja tovább a munkadarabokat.



16. ábra: Óralap ráhelyező állomás [20]

e) Préselő (FE05)

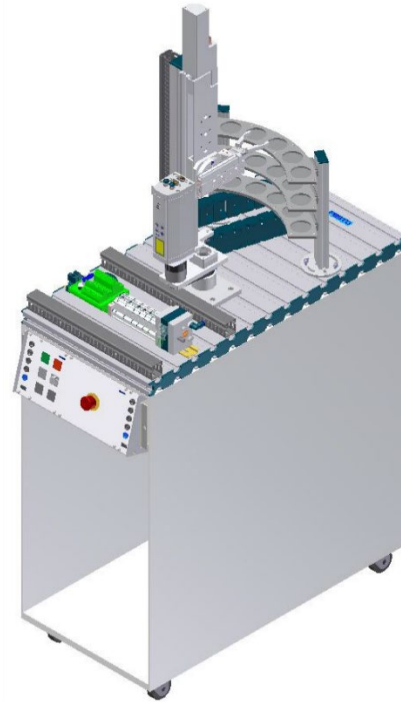
A préselő állomás (17. ábra) az óralappal érkező hengereket egy megfogóval a préshez mozgatja, majd a préselés befejeztével a késztermékeket a raktározó állomás felé továbbítja.



17. ábra: Préselő állomás [20]

f) Raktározó (FE06)

A raktározó állomás (18. ábra) a beérkező késztermékeket egy manipulátor segítségével meghatározott koordináták alapján eltárolja egy három szintes, szintenként hat férőhelyes raktárban színek szerint szortírozva, majd azokat szabad jel esetén továbbítja.



18. ábra: Raktározó állomás [20]

g) Szelektáló (FE07)

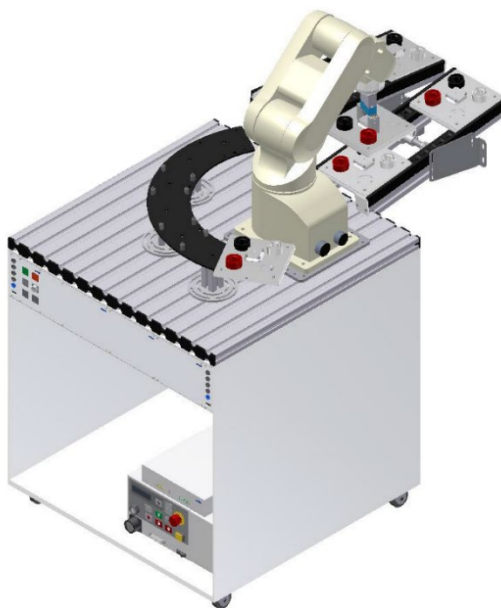
A szelektáló állomás (19. ábra) az érkező késztermékeket továbbítja a palettázó állomásnak. Amennyiben nincs több hely a palettázó állomáson, úgy színek szerint szelektálja a kész munkadarabokat három különböző csúszdára. Az ellenőrző állomáshoz hasonlóan hat munkadarab esetén manuális beavatkozás szükséges a munkadarabok eltávolításához, különben több munkadarabot nem képes befogadni.



19. ábra: Szelektáló állomás [20]

h) Palettázó (FE08)

A palettázó állomás (20. ábra) a beérkező kész munkadarabokat egy Mitsubishi robot négyesével palettákra helyezi. Ezeket a palettákat két irányba képes továbbítani a robot. Az egyik irány az AGV felé történő átadás, ebben az esetben egy félkör alakú paletta tárolóra helyezi el a robot a palettákat, amely négy paletta tárolására képes. A másik irány egy pókrobotnak való továbbítás, amely nem része a szakdolgozatomnak, így csak a folyamat szempontjából lesz megemlítve a későbbiekben.



20. ábra: Palettázó állomás [20]

3.4. Felhasznált programok

A fejlesztés során három különböző szoftvert használtam fel. A PLC és a HMI programozásra a TIA Portalt, az információs modell létrehozásához a SiOME-t és az OPC UA szerver megfelelőségének az ellenőrzésére a Prosyst alkalmaztam.

Siemens TIA Portal

A TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal – Teljesen Ingerált Automatizálási Portál) teljes hozzáférést tesz lehetővé az egész digitalizált automatizálási folyamathoz, a digitális tervezéstől és az integrált mérnöki munkától a transzparens működésig. A Digitális Vállalat részeként a TIA Portal bevezette a PLM (Product Lifecycle Management – termékélelciklus kezelés) rendszert a szoftverbe, így egy rendszeren belül lehet kezelni a tervezést, a gyártást és az analízist. A MES (Manufacturing Execution System – termelés végrehajtási rendszer) integrálásával maradéktalanul kihasználhatóvá válnak az Ipar 4.0-ban rejlő lehetőségek. A TIA Portal V15.1-jelű verziója gyorsabbá és kényelmesebbé teszi a mérnöki munkát, leegyszerűsödnek a folyamattal kapcsolatos diagnosztikai műveletek, egyszerűbbé válik az utólagos módosítás/bővítés. A TIA Portal integrálja az automatizálási projekt minden fontos elemét: biztonságot, védelmet, vezérlést, HMI-t, hajtásokat, kimeneteket és bemeneteket, és még a mozgásvezérlést és az energia hatékonyságot is. A TIA Portal segítségével egyszerre több ember dolgozhat egyazon projekt fájlban, hála a folyamatos, automatikus szinkronizálásnak, ezáltal nagyon jól lehet csapatban dolgozni ugyanazon a projekten anélkül, hogy akadályozva lenne egymás munkája. Általános szabály, hogy minél később találjuk meg a hibát annál drágább válik a javítás. Annak érdekében, hogy minél kevesebb hiba merüljön fel a tényleges üzembe helyezés során a TIA Portal lehetőséget biztosít a PLCSIM Advanced segítségével, hogy a kockázatot és az erőfeszítést csökkentve egy virtuális környezetet teremtve, szimulálható és optimalizálható a teljes gyártócella és azoknak a komponensei. [21]

SiOME (Siemens OPC UA Modeling Editor)

Az OPC UA kommunikációs protokoll lehetővé teszi, hogy saját szabványokat alkossunk az OPC UA információs modellhez. Ezekkel a funkciókkal szabványosított

szerver interfész hozható létre. A rendszerrel való kommunikációhoz az OPC UA kliensnek csak a meghatározott szabványt kell ismerniük, anélkül, hogy figyelembe venné a rendszerről és annak eszközeiről szóló részletes információkat. A platformfüggetlen OPC UA protokoll és a kísérő specifikációk kiterjesztése nagyban megkönnyíti a gyártók közötti szabványosított kommunikációt és csökkenti a megvalósítási erőfeszítéseket. [22]

Általánosságban elmondható, hogy az információs modellek az elkészített objektumtípusok, változók, referenciák, események és adatok halmaza. Az OPC UA alapinformációs modell fölötti első szintű információs modell új típusokat tartalmaz, amelyek az OPC UA alapinformációs modell alapvető típusaitól öröklődnek. A következő szintű információs modellek használhatják ezeket az új típusokat vagy az alapinformációs modell típusokat. Vannak kész általános információs modellek, amelyeket információs modell specifikációknak hívunk. Az OPC UA információs modell sok általános típust tartalmaz, amelyekre általában az OPC UA szerverek többségében van szükség. Ezek a típusok például olyan adattípusok, mint az egész szám és a karaktersorozat, vagy a hivatkozási típus, például a „has child – gyermeke van”. Így minden OPC UA szerver ugyanazzal az alapstruktúrával rendelkezik. Az információs modell meghatározza egy üres OPC UA kiszolgáló címterét. Ez azonban nem jelenti azt, hogy minden szervernek meg kell adnia ezeket az alaptípusokat. Az OPC UA az öröklést használja a típusok meghatározásakor. Például minden adattípus öröklődik egy alapadattípustól, hasonlóan az eseményeknek, objektumoknak, referenciáknak és változóknak is megvan a saját alaptípusuk. [23]

A Siemens OPC UA Modeling Editor egy olyan szoftver, amellyel lehetőségünk nyílik saját OPC UA információs modell létrehozására vagy meglévő információs modell módosítására. Az információs modellben meghatározott adatstruktúrát összekapcsolhatjuk a TIA Portal-ban lévő adatstruktúrával, így biztosítva az összeköttetést az információs modell és a PLC között. A Siemens OPC UA Modeling Editor a következő funkciókkal rendelkezik:

- Változók, objektumok, metódusok létrehozása
- Az információs modell XML fájlba való mentése és importálása
- TIA Portal projekt importálása a TIA Openness interfészen keresztül, ami

egy olyan API (application programming interface – alkalmazásprogramozási interfész), amely lehetővé teszi a TIA Portal használatát egyedi alkalmazás esetén.

- Az OPC UA adatstruktúra gyors összekapcsolása az OPC UA információs modellben található adatstruktúrával drag & drop módszerrel.
- Átfogó hozzáférés-felügyelet a hozzáférési jogok beállításával
- Az OPC UA csomópontok leírásának a meghatározása
- A csatlakoztatott OPC UA szerver alapdiagnosztikája [24]

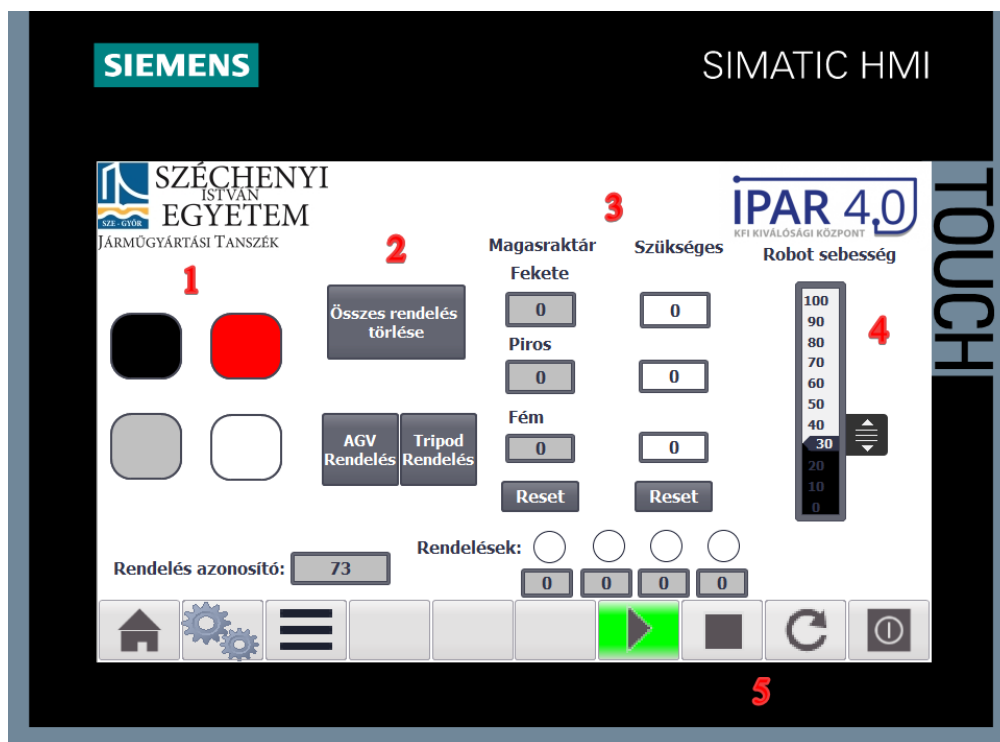
Prosys OPC UA Client

A Prosys OPC UA Client egy általános célú OPC UA kliens. Segítségével kapcsolatot létesíthetünk egy OPC UA szerverrel, amelynek az állapotáról visszajelzéseket láthatunk, monitorozhatjuk az információs modellen lévő változókat és parancsokat hívhatunk meg. Továbbá lehetőségünk van az adatok írására, amennyiben ez engedélyezve van a szerver oldalon. [25]

3.5. Fejlesztési lépések

A gyártócella hardveres és szoftveres fejlesztésének a bemutatása előtt a fejlesztés által elvárt állapotot mutatom be a könnyebb átláthatóság miatt.

A gyártócella helyszíni és OPC UA-n keresztüli működtetéséhez két üzemállapot került létrehozásra. A két üzemállapot közül a HMI kijelzőjén választhatunk, majd a választás után ugyanitt elindítható a gyártás a gyártócella szemrevételezése és alaphelyzetbe állítása után. A szemrevételezésre azért van szükség, mert az előző gyártásokból a nem megfelelő leállítás során maradhatnak munkadarabok az állomásokon, amik helytelen működéshez vezethetnek. A folyamatos gyártás alapú működés átprogramozásra került egy megrendelés alapú gyártásra. A rendeléseket a HMI manuális képernyőjén vagy OPC UA-n keresztül lehet létrehozni, melyek során a három választható típusú munkadarabok közül egyszerre maximum négy darabot választva a kívánt elrendezésben és kimeneti irányba (AGV vagy tripod) megrendelhetők. A manuális működtetéshez szükséges HMI kijelző képernyője a 21. ábrán látható.



21. ábra: HMI manuális

1. A paletta négy helyét ábrázolja, amire rányomva változtatja a színét annak függvényében, hogy milyen munkadarabot szeretnénk az adott helyre rendelni. Ezek a színek a fekete, piros, szürke és fehér. A fehér színt választva azt jelenti, hogy oda nem kerül munkadarab.
2. A következő gombok segítségével lehet megrendelni a kiválasztott munkadarabokat. Itt eldönthetjük, hogy a tripod felé adja tovább a megrendelést vagy az AGV-nek.
3. A bal oldali oszlop a magasraktárban található munkadarabok számát írja ki típus szerint. Az alatta található reset gombbal tudjuk kiüríteni a rendszerben a raktárt. Törléskor figyelni kell, hogy nem maradt-e bent munkadarab. A jobb oldali oszlop segítségével meg tudjuk határozni, hogy a raktárnak mekkora kezdőkészlete legyen. Ezt a funkciót később részletezem.
4. A robot sebessége állítható egy csúszka segítségével nulla és száz százalék között.
5. A gyártócellát vezérlő gombok, sorrendben: start, stop, reset és kikapcsoló gomb. A gyártócella bekapcsolásakor elsőként a reset gomb megnyomása

szükséges, hogy alaphelyzetbe álljanak az állomásokat. Utána a start gomb sötétzöld színnel jelzi, ha elindítható a gyártócella. Elindítás után a start gomb neonzöld színre vált jelezve, hogy elindult a gyártócella. A stop gomb megállítja a gyártócellát és pirosra vált a megnyomása esetén. A kikapcsoló gomb kikapcsolja a HMI-t.

Az OPC UA-n keresztül történő működtetéshez szükséges HMI képernyője (22. ábra) a manuálishoz hasonlítva lényegesen egyszerűbb és letisztultabb. A reset gombbal -hasonlóan az előző kijelzőhöz - alaphelyzetbe állítható a gyártócella az előzetes szemrevételezés után. Az alaphelyzetbe állás után az eddig sötétzölden világító start gombot megnyomva neonzöld színre vált. A gomb megnyomása után a gyártócella engedélyezi az OPC UA-val a kommunikációt, így utána már képes a távolról való működtetésre, ami a start gomb megnyomásáig tiltva van üzembiztonsági szempontból. Az üzemmódok közötti váltáshoz minden esetben újraindítás és teljes újra konfigurálás szükséges.



22. ábra: HMI MES

A megrendelés alapú gyártásra való átprogramozás során több állomás funkciója

változott. Rendelés esetén az adagoló állomás egyenként a kiválasztott típusú munkadarabokat a futószalagra helyezi, melyet szabad jel esetén átenged az ellenőrző állomásnak. Az ellenőrző állomás a munkadarab megfelelősége mellett (szín és magasság) ellenőrzi, hogy a munkadarab típusa azonos-e a megrendelt munkadarab típusával. Egyezés esetén bekerül a gyártásba, ellenkező esetben a selejt csúszdára tereli a munkadarabot és jelzi az adagoló állomásnak, hogy nem volt megfelelő a munkadarab. A nem megfelelő munkadarabot az adagoló állomás pótolja. A gyártásba került munkadarabok a raktározó állomásig a kezdeti állapottal megegyezően készülnek, egyedül a munkadarabok követhetőségével bővültek ezek az állomások. A raktározó állomáshoz érkezve ismét ellenőrzésre kerül a munkadarab. A színérzékelő segítségével - az ellenőrző állomáshoz hasonlóan - a munkadarab típusát ellenőrzi, hogy megegyezik-e a megrendelt munkadarab típusával. Amennyiben megfelelő a típus úgy továbbadja a munkadarabot a szeparáló állomásnak. Eltérés esetén eltárolja a munkadarabot a raktárban és visszajelzést küld az adagoló állomásnak, hogy a hiányzó típusú munkadarabot pótolja. Az eltárolt munkadarabot regisztrálja a rendszerben, így amint olyan színű rendelés érkezik, mint ami a raktárban van, akkor a raktárból szolgálja ki.

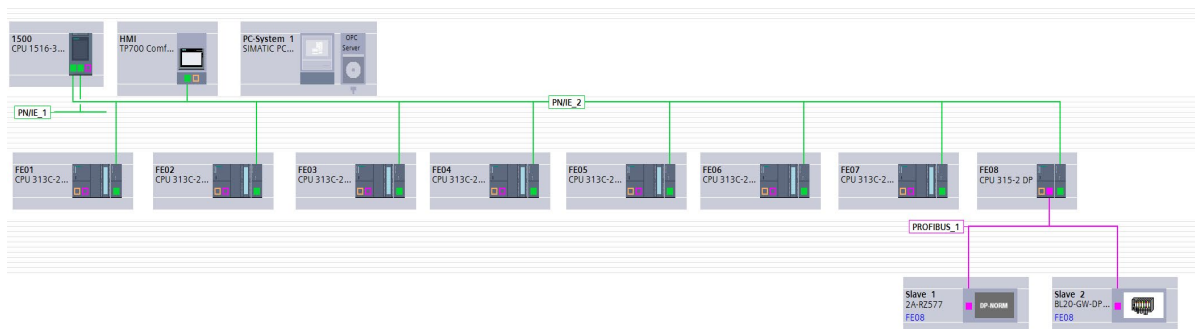
Továbbá a raktározó állomás esetén integrálásra került egy raktárfeltöltő funkció, ami segítségével a raktárt a három munkadarab típusal, típusonként maximum hat darabbal előre feltöltethetjük. Ennek segítségével a palettázó állomás gyorsabban kiszolgálható, így csökkentve a várakozási időt. A szeparáló állomás a megrendelés alapú gyártás és a munkadarabok kétszeri ellenőrzésének a hatására kihasználatlanná vált, a munkadarabok továbbításán kívül már más funkciót nem lát el. Miután a szeparáló állomás továbbította a munkadarabot a palettázó állomásnak a robot a palettatárolón lévő palettára a kívánt elrendezésben felhelyezi azt. Miután a megfelelő mennyiségű munkadarab felkerült a palettára a robot továbbítja a kiválasztott megrendelési irányba. Az AGV-nek való továbbítás esetén a paletta egy külön erre a célra kialakított átadó állványra helyezi a palettát, majd folytatja a megrendelések teljesítését mindaddig, amíg lehetséges, vagy amíg az AGV el nem kéri a munkateret. Munkatér kérés esetén a robot befejezi az elkezdett munkát és alaphelyzetbe áll, biztosítva ezzel a rendelés biztonságos átadását. Miután az AGV átvette a rendelést az

üres palettát visszahelyezi és vissza adja a munkateret a palettázó állomásnak, ami eltávolítja az átadó állványról a palettát és folytatja a gyártást.

3.5.1. Hardver fejlesztés

A kiindulási állapotban a gyártócella állomásai csak egymással voltak képesek kommunikálni és ezeket az állomásokat csak úgy lehetett elérni, hogy az első vagy az utolsó állomásra csatlakoztattuk a számítógépet profinet interfészen keresztül vagy bármelyik állomásra egy SIMATIC PC adaptert csatlakoztattunk MPI interfészen keresztül. A profineten keresztül azért csak az első és az utolsó állomásra lehetett kapcsolódni, mivel a CP343-1 Lean kommunikációs modul két profinet csatlakozóval rendelkezik és a gyártócella állomási sorban vannak összekapcsolva. Ez azt jelenti, hogy az első állomásból egy profinet kábel csatlakozik a másodikba, a másodikból a harmadikba és így tovább. Ezért a kommunikációs modulnak az első és utolsó állomás kivételével mindkét profinet csatlakozója foglalt. Az MPI interfészen keresztüli kapcsolódás ritkán volt használva a számítógép kötött helye és a SIMATIC PC adapter kábelhosszúsága miatt.

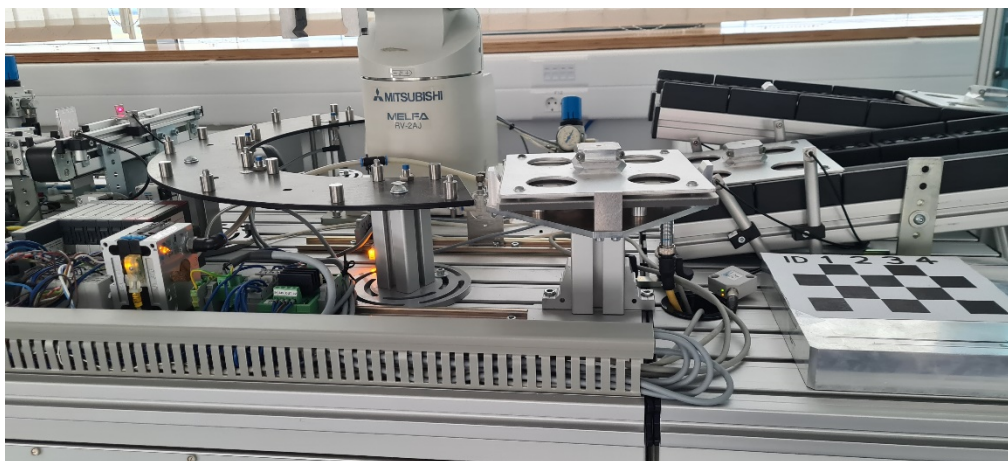
Az OPC UA megvalósításához a gyártócella ki lett bővítve egy Siemens S7-1516-3 PN/DP PLC-vel, ami egy firmware frissítés után képes OPC UA szerver létrehozására. Ez a PLC 3 csatlakozó interfésszel rendelkezik, két profinettel és egy profibusszal. A két profinet interfész közül az egyik két-port switch, ami egy PLC-n belül található switch. Két különböző profinet csatlakoztatása után képes őket egy hálózatban lévőként kezelni. A gyártócella könnyebb kezelhetősége és további fejlesztési lehetőségek miatt beépítésre került egy érintőképernyős HMI TP700 Comfort panel. Ez egy 7 inches, 800x480-as felbontású, vertikális elrendezésű TFT érintőképernyős panel, ami két darab profinet interfésszel rendelkezik, így könnyen összekapcsolható a gyártócellával. Az egyszerűbb elérhetőség miatt a hálózat egy switch-el lett kiegészítve, amibe a gyártócella első állomása, a HMI és az 1516.os PLC lett bekötve a számítógép mellé, melynek a TIA Portal-ban készült hálózati topológiája a 23. ábrán látható.



23. ábra: Hálózati topológia

A topológián látható, hogy az 1516-os PLC egyik profinet interfésze szabadon van. Ezen az interfészen bekonfigurálható egy másik hálózathoz kapcsolódó IP cím, így akár egyszerre két különböző hálózatról is rá tudunk kapcsolódni a PLC-re, biztosítva ezzel egy MES-sel való együttműködést.

Továbbá a nyolcadik állomás ki lett bővíve egy paletta tárolóval (24. ábra), ami az AGV-vel való együttműködést segíti elő.



24. ábra: Paletta tároló

Ezeknek a hardveres fejlesztéseknek az alkalmazásával meg lett teremtvén minden szükséges feltétel ahhoz, hogy a gyártócella távolról vezérelhető legyen és egy MES-sel vagy egy virtuális környezetben létrehozott másával együtt működjön.

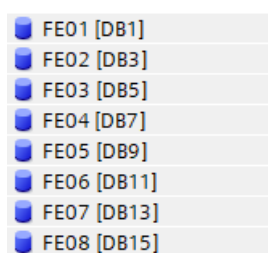
3.5.2. Szoftver fejlesztés

Tia portal V15.1

Mindeddig a PLC-k között ISO on TCP kapcsolat állt fent, mely egy ilyen komplex

megrendeléseken alapuló rendszer kiszolgálásához túlságosan megterhelő a 300-as PLC-k számára, ezért ezt megszüntettem. Helyette a teljes kommunikációt a PLC-k között átvette az 1500-as PLC. Ennek az egyik legnagyobb előnye, hogy minden adat megtalálható azon a PLC-n, ami OPC UA szerverként működik, így sokkal egyszerűbb a szükséges adatok feldolgozása és az OPC UA serveren történő megjelenítése. Továbbá ez lehetőséget biztosít a HMI-n keresztüli gyártócella indításra, mivel az 1500-as PLC küldi a jelet a 300-asoknak.

Ahhoz, hogy az OPC UA-n keresztül mindegyik állomás adatait látni lehessen, szükséges a megfelelő kommunikáció kialakítása a gyártócella és az 1516-os PLC között. Ez a 300-as PLC-k hardveres korlátja miatt egy úgynevezett PUT/GET függvény párossal valósítható meg. Erre azért van szükség, mert máshogy nem küldhetők el a szükséges adatok az 1516-os vagy a 300-as PLC-knek. Az adatok elküldéséhez először a TIA Portal-on belül a Devices & networks fülön létre kell hozni a PLC-k között egy úgynevezett S7 kapcsolatot. Mind a nyolc kapcsolat létrehozásakor bekonfigurálásra kerül egy local ID, aminek segítségével majd a PUT/GET függvény tudni fogja, hogy melyik két PLC közötti kapcsolatról van szó. Ezután a 300-as PLC-ken egyenként, egy erre a célra készített data block-ba kell áthelyezni azokat az adatokat, amiket látni szeretnénk az 1516-os PLC-n, majd a GET függvény egyenként a nyolc darab 300-as PLC-ről a data block-okat átmásolja az 1516-os PLC-n található előre meghatározott data block-okba (25. ábra).



FE01 [DB1]
FE02 [DB3]
FE03 [DB5]
FE04 [DB7]
FE05 [DB9]
FE06 [DB11]
FE07 [DB13]
FE08 [DB15]

25. ábra: Data block-ok az állomásokról

A data block-okban található változók tartományát a PUT/GET függvénynek pontosan meg kell határozni, hogy melyik állomás melyik data block-jából mekkora tartományt szeretnénk átmásolni. A GET függvénynek szüksége van egy impulzus jelre a lefuttatáshoz, így a PLC-n található leggyorsabb memória órajel kerül felhasználásra, ami 10Hz. A PUT függvény működése megegyezik a GET függvényével, annyi

különbséggel, hogy az 1516-os PLC-ről másol át adatokat a 300-asokra. Ezzel lehetőség van parancsok és adatok küldésére. A működése is megegyező a GET függvénnyel, itt is 10Hz-es impulzus jel lett felhasználva. Az 1516-os PLC-n lévő data block-ok változói a 26. ábrán látható logika alapján lettek létrehozva.

FE01								
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA	Writable from HMI/OPC UA	Visible in HMI engineering
1	Static							
2	FE01 Tároló 1 bent	Bool	0.0	false	☐	☒	☒	☒
3	FE01 Tároló 1 üres	Bool	0.1	false	☐	☒	☒	☒
4	FE01 Tároló 2 bent	Bool	0.2	false	☐	☒	☒	☒
5	FE01 Tároló 2 üres	Bool	0.3	false	☐	☒	☒	☒
6	FE01 Tároló 3 bent	Bool	0.4	false	☐	☒	☒	☒
7	FE01 Tároló 3 üres	Bool	0.5	false	☐	☒	☒	☒
8	FE01 Kifutás érzékelő	Bool	0.6	false	☐	☒	☒	☒
9	FE01 Következő állom.	Bool	0.7	false	☐	☒	☒	☒
10	FE01 Start gomb	Bool	1.0	false	☐	☒	☒	☒
11	FE01 Stop gomb	Bool	1.1	false	☐	☒	☒	☒
12	FE01 Automata / nod...	Bool	1.2	false	☐	☒	☒	☒
13	FE01 Reset	Bool	1.3	false	☐	☒	☒	☒

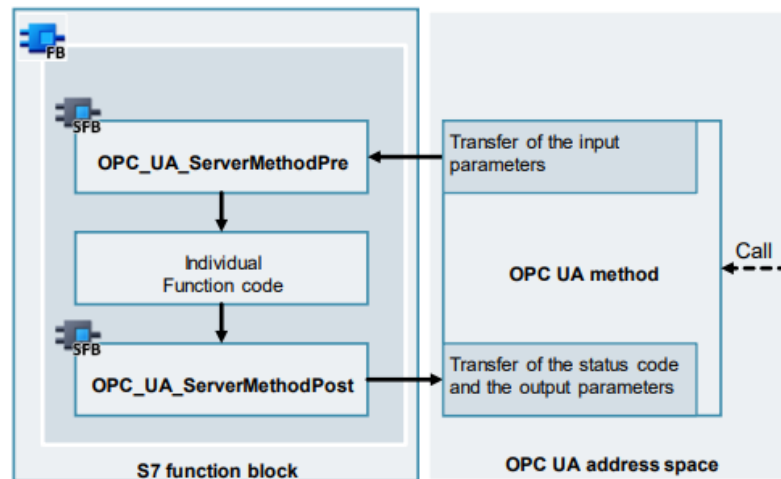
26. ábra: FE01 data block

Az Accessible from HMI/OPC UA oszlopban, amelyik változót nem szeretnénk, hogy megjelenjen a szerveren, kieszedjük a pipát. A Writeable from HMI/OPC UA oszlopban azt tudjuk eldönteni, hogy a változót írhatjuk-e HMI-n vagy OPC UA-n keresztül. A Visible in HMI engineering oszlop a HMI engineer programnak való hozzáférést tudja korlátozni.

A gyártócellánál az optimalizált data block-ok használata lenne célszerű a szakirodalmi áttekintésben olvasható előnyei miatt, de az nem mindenhol lehetséges, mivel az optimalizált data block-ok csak szimbolikusan hozzáférhetők, amire a PUT/GET függvények nem képesek, így a kommunikációhoz szükséges data block-ok mindegyike egy egyszerű data block, ami nagyobb mennyiségű adat küldésnél több számítási erőforrást igényel, mintha optimalizált data block-ot használnánk.

Az 1516-os PLC a TIA Portal segítségével konfigurálásra került, melynek során aktiválva lett az OPC UA szerver. Ehhez a szerverhez két darab IP cím lett meghatározva, az egyik IP cím a gyártócella hálózataról érhető el, a másik IP cím a MES-en keresztül. A szerverre való csatlakozáshoz szükséges egy szerver interfész létrehozása, amit információs modellnek hívunk. Az információs modell konfigurálása mellé még hozzá tartozik a metódusok létrehozása. A metódus egy PLC-n lévő függvény, ami akkor fut le, ha meghívásra kerül, ami történhet PLC-n belül vagy akár OPC UA-n keresztül. A TIA Portal-on belül a metódusok úgy hozhatók létre, hogy először csinálunk egy függvény block-ot, amire azért van szükség, mert az OPC UA

szerver létrehozásához szükséges rendszer függvények data block-jai egy függvényen belül kell, hogy legyenek. Ezek a rendszer függvények az OPC-UA_ServerMethodPre és OPC-UA_ServerMethodPost. A metódus meghívásakor a bemeneti paraméterek (ha vannak) átkerülnek az OPC-UA_ServerMethodPre rendszer függvénybe, majd ezután a saját programunkba. Ezenkívül még indikál egy változót, amivel jelzi, hogy a metódus meg lett hívva egy kliens által. Ezután lefut a saját programrészünk, majd a végén kiküldjük a kimeneti paramétereket (ha vannak) az OPC-UA_ServerMethodPost rendszer függvénynek. A kimenetek kiküldése után még be kell állítani egy interfész paramétert is, amely jelzi a függvény számára, hogy a kód végrehajtásra került. Ez a rendszer függvény továbbítja a kimeneti paramétereket és az állapotkódot az OPC UA kliensnek. A metódus hívás folyamata a 27. ábrán látható.



27. ábra: Metódus hívás [11]

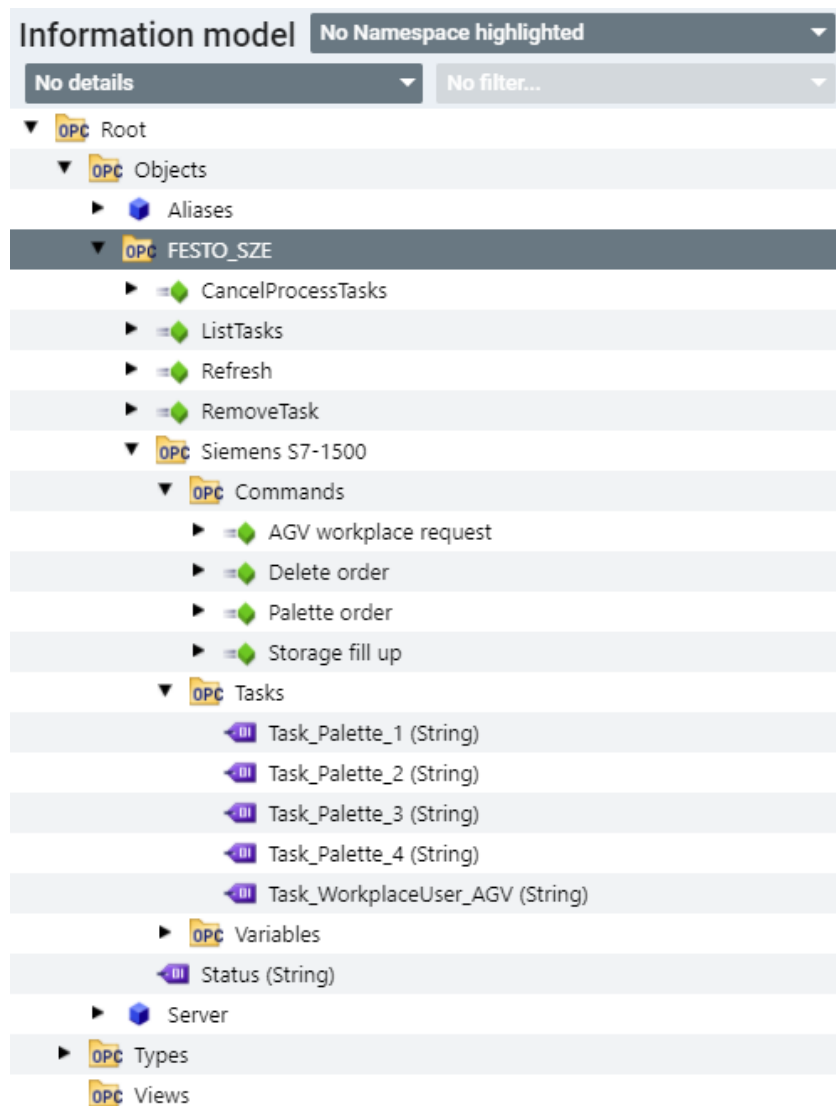
A metódusok segítségével a gyártócellában megrendeléseket lehet létrehozni, törölni, lekérdezni és nyomon követni. A gyártócellában lévő négy aktív megrendeléshez hozzá tartozik négy darab task, aminek segítségével folyamatosan visszajelzést kapunk a rendelés állapotáról. A négy darab task egy string alapú változó, aminek az értékeit az 1516-os PLC módosítja valós időben. Ezekben a taskokban megtalálható a cella azonosítója, a megrendelés azonosítója és a megrendelés állapota. Miután a TIA Portal-ban az 1516-os PLC-n a megfelelő változók a data blockokban vannak, a metódusok és a taskok létre lettek hozva, a program készen áll az információs modellel való párosításra, amit a SiOME-ban kell létrehozni és végrehajtani. A SiOME és a TIA Portal információs modelljének párosítása után a TIA Portal-on belül az 1516-

os PLC szerver interfész menüpontjánál ki kell választani az információs modellt és rá kell tölteni a PLC-re. Ezután elérhetővé válik az OPC UA szerveren keresztül.

SiOME 2.0.4

Minden csomópont az OPC UA címtérben egyedi azonosítóval rendelkezik. Ez a csomópont azonosító egy névteret tartalmaz (namespace), hogy megkülönböztesse az azonosítókat a különböző alrendszerektől és egy azonosítót, amely lehet numerikus érték, karakterlánc vagy GUID (Global Unique Identifier – Globálisan egyedi azonosító). A szerver által definiált névterek változók, amik változtathatók. Mielőtt létrehoznánk a saját OPC UA információs modellünket először egy saját névteret kell létrehozni. [26]

A saját névtér létrehozása után az OPC UA információs modell (28. ábra) következett, ami a MES-sel való kommunikációhoz szükséges.



28. ábra: Információs modell

Ennek az információs modellnek egy előre meghatározott feltételrendszernek kell megfelelnie, melynek a következő elvárásai vannak:

- Gyártócella diagnosztikai metódusok létrehozása
- A gyártócella azonosításához szükséges leírások kitöltése az információs modellben
- Az előre meghatározott metódusok ki és bemeneti adattípusainak megfelelő deklarálása

A gyártócella diagnosztikai metódusok a FESTO_SZE mappán belül találhatók, amik az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat: Diagnosztikai metódusok

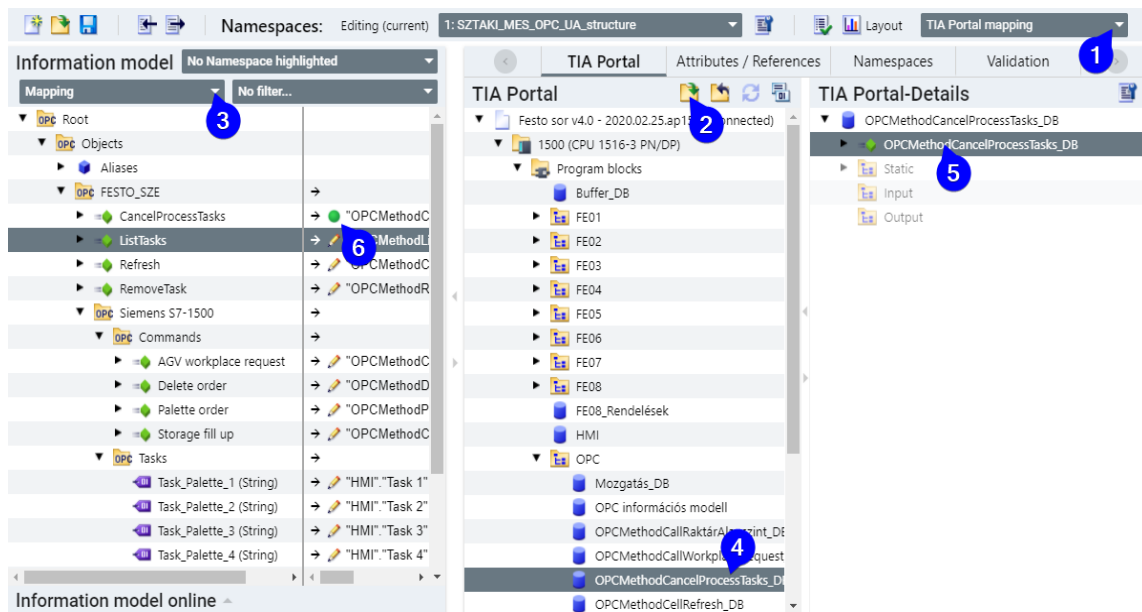
Metódus	Leírás	Bemeneti paraméter	Kimeneti paraméter
CancelProcessTasks	Rendelés törlése a bufferből rendelési azonosító alapján.	-Int16 „ProcessID”: rendelési azonosító	-Bool „Status”: Sikeres törlés esetén „1”. -Int16 „Number”: Törölt rendelések száma.
ListTasks	Megadott szűrési feltételek alapján a kért taskokat megjeleníti.	-Int16 „TargetID”: Task azonosítója vagy „-1”. Utóbbi esetben az összes taskot megjeleníti. -Int16 „Status filter”: Megrendelés állapot-azonosítója vagy „-1000”, ami esetén minden taskot megjelenít.	-String „Tasks”: Megrendelések és azoknak az állapotai.
Refresh	Az OPC UA kapcsolat frissítése.	-Nincs	-Bool „Status”: Sikeres frissítés esetén „1”.
RemoveTask	Kész, elvitelre váró rendelés törlése.	- Int16 „TargetID”: Cella azonosító. -Int16 „TaskID”: Task azonosító.	-Bool „Status”: Sikeres törlés esetén „1”.

A gyártócella metódusai az Siemens S7-1500 mappán belül a Commands mappában található, amik a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat: Gyártócella metódusok

Metódus	Leírás	Bemeneti paraméter	Kimeneti paraméter
AGV workplace request	Munkatér kérés az AGV-nek.	-Bool „Workplace request”: Munkatér kérés esetén „1”, visszaadás esetén „0”.	-Int16 „Azonosító”: Munkatér átadás azonosítója.
Delete order	Rendelés törlése azonosító alapján.	-Int16 „Azonosító”: A törölni kívánt rendelés azonosítója.	-Bool „Status”: Sikeres törlés esetén „1”.
Palette order	Paletta rendelés. A Pos_1-2-3-4 bemeneti változók egy paletta négy szabad helyére való munkadarabválasztást jelenti.	-Bool „AGV/Tripod”: Rendelés kimeneti iránya. AGV esetén „1”, tripodnál „0”. -Int16 „Pos_1-2-3-4”: Munkadarab típus választás. (0 – semmi, 1 – fekete, 2 – piros, 3 – fém).	-Int16 „orderID”: Rendelési azonosító.

Az információs modellben található metódusok, taskok és változók működéséhez a SiOME segítségével párosításra kerültek a TIA Portal-ban lévő metódusokkal, taskokkal és változókkal. A párosítás művelet a 29. ábrán kerül bemutatásra.

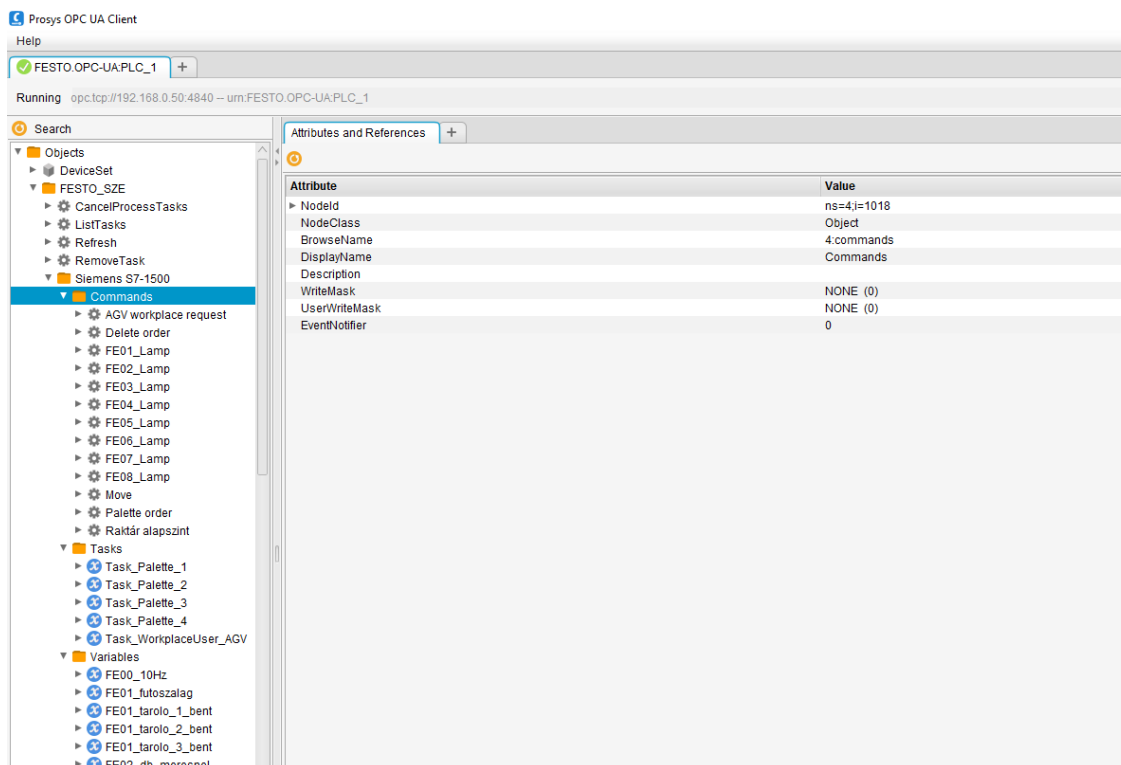


29. ábra: SiOME és TIA Portal párosítás

1. A legördülő listából ki kell választani a TIA Portal mapping-ot.
2. A TIA Portal projekt fájl megkeresése a számítógépen, majd betöltése.
3. Az információs modellnél lévő legördülő listából ki kell választani a Mappingot
4. Megkeresni a párosítani kívánt data block-ot a PLC programon belül.
5. A TIA Portal-Details fülön a data block-ot lenyitva zöld ikonnal látszik a metódus, melyet drag&drop módszerrel áthúzzunk az információs modell fülön található metódushoz.
6. Sikeres párosítás esetén zölddel jelzi a program a sikerességet, ellenkező esetben narancssárgával jelöli.

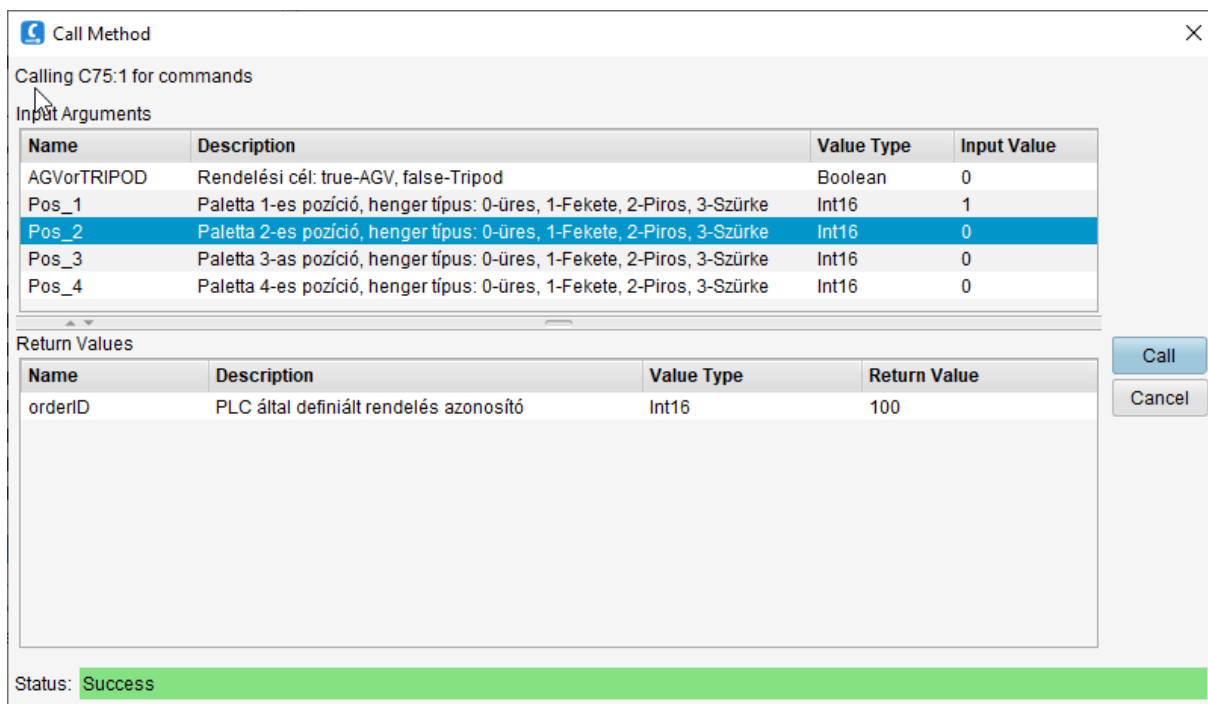
Proslys OPC UA Client

A Proslys-en keresztül rácsatlakoztam az OPC UA szerverre, amely során ellenőriztem az információs modell felépítésének a megfelelőségét. Ahogy a 30. ábrán látható a diagnosztikai metódusokat a FESTO_SZE mappán belül, a gyártócella metódusai a Commands mappában, a taskok a Tasks mappában és a változók a Variables mappában találhatók, az elvártnak megfelelően.



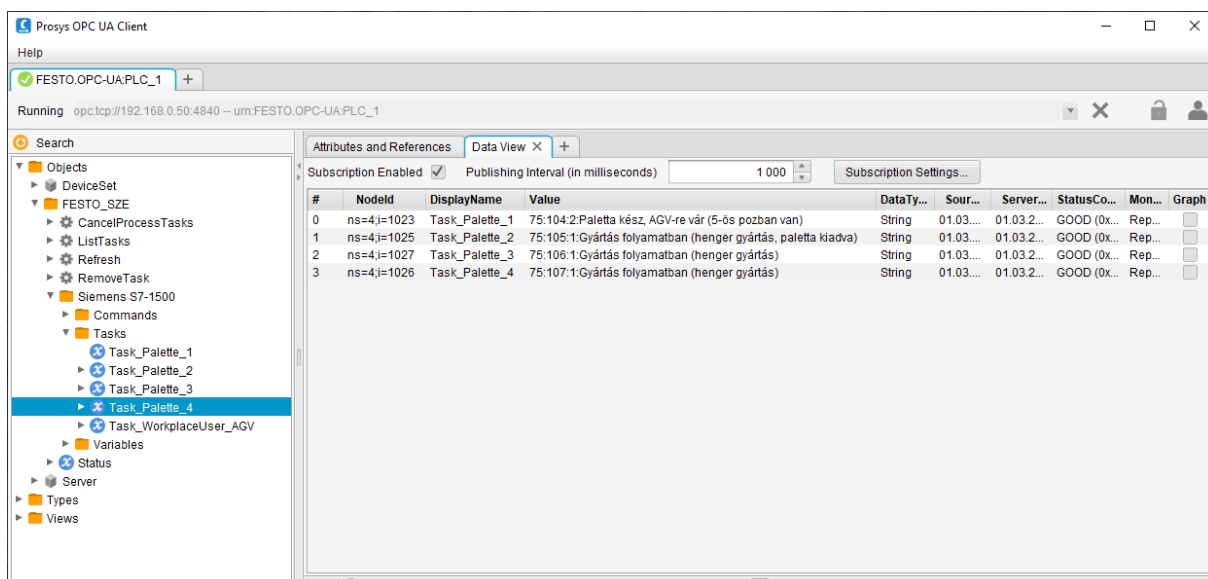
30. ábra: Prosys

Az információs modell ellenőrzése után a metódusok működését teszteltem. A metódusokat rájuk jobb gombbal kattintva és a „Call Method” opciót választva meghívhatók. A metódusok közül a paletta rendelés metódusát mutatom be részletesebben. Ennek a metódusnak a Prosys-ben lévő ablaka a 31. ábrán látható. A name (név) oszlopban a bemeneti változók nevei találhatók, a description (leírás) oszlopban a változók leírása, a value type (változó típus) oszlopban a típusaik és az input value (bemenet típus) oszlopban a bevinni kívánt értékek vannak. Az ablak alsó felében a visszatérési változó, annak leírása, típusa és visszatérési értéke látható. Ennél a metódusnál a visszatérési érték a rendelésnek az azonosítója. A metódus meghívását az ablak jobb oldalának a közepén elhelyezkedő Call gombbal valósíthatjuk meg.



31. ábra: Paletta rendelés

A paletták megrendelése után kiválasztottam a rendelésekhez tartozó taskokat és a programon belül átváltottam ezeknek a taskoknak a valós idejű monitorozására (32. ábra). Ezt a taskokra jobb gombbal kattintva a Monitor lehetőséget kiválasztva tettem meg. A monitorozás során a value (érték) oszlopban lévő értékek megfigyelésével megállapítottam, hogy minden kiírt érték megfelel az elvártnak.



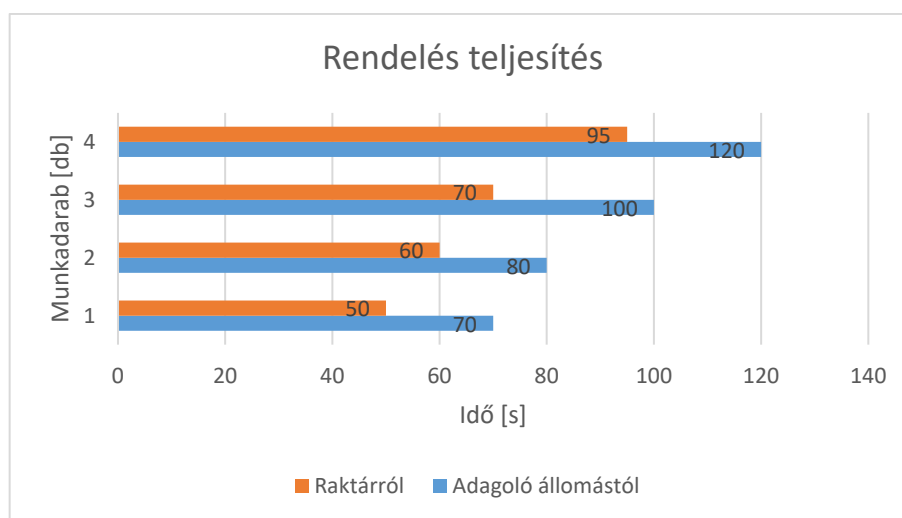
32. ábra: Task monitorozás

3.6. Értékelés

Az infokommunikációs fejlesztés hatására a gyártócella képessé vált az OPC UA-n keresztül harmadik fél számára az adattovábbításra és az adatfogadásra. Az adatfeldolgozás helyi szinten, az 1516-os PLC-n történik, így egy nagyon stabil, folyamatos és információáramlás szempontjából transzparens kapcsolat jött létre a MES-sel. A gyártócella adatai az OPC UA segítségével valós időben monitorozhatók, a metódusok által távolról beavatkozhatunk a gyártásba és a helyi adatfeldolgozás révén információkat gyűjthetünk adatelemzés céljából. Továbbá a gyártócella összekapcsolhatóvá vált egy virtuális környezetben létrehozott másával, ahol a gyártási folyamatok szimulálhatók.

A gyártócella megrendelés alapú gyártásra való átprogramozása után lehetővé tette a rendelések nyomon követését, a gyártásban előforduló esetleges hibás munkadarabok automatikus pótlását. A HMI-n keresztül látható lett a teljes gyártás megfigyeléséhez szükséges összes állapot, változók, megrendelések és ennek segítségével elindítható lett a gyártócella, amely lényegesen megkönnyítette és gyorsította a gyártócella működésbe állását.

A raktár előre meghatározott szintjéig való feltöltés lehetősége által a rendelt paletták munkadarabokkal történő kiszolgálása gyorsabban zajlik. A palettákra egy vagy kettő munkadarab rendelése esetén 20 másodperccel, három munkadarab rendelésénél 30 másodperccel, négy munkadarab rendelésénél pedig 25 másodperccel hamarabb lett kiszolgálva a rendelés, ami a 33. ábrán szemléltetve van.



33. ábra: Rendelés teljesítés

A méréseket 30%-os robot sebesség mellett hajtottam végre, amiket a raktározó állomás munkadarabért történő elindulásától indítottam és a palettázó robot alaphelyzetbe állásáig mértem. Az adagoló állomástól történő rendelés esetén a mérést a munkadarab futószalagra helyezésétől ugyanúgy a palettázó robot alaphelyzetbe állásáig mértem. A mérési adatok átlagát vettem alapul.

Négy munkadarab rendelése esetén megfigyelhető, hogy már nem gyorsul a rendelés kiszolgálása raktárról, mint három munkadarab rendelésénél. Ennek az az oka, hogy a raktározó manipulátor sebessége korlátozza a gyorsabb rendelés teljesítést.

4. Összefoglalás

A szakdolgozatomban egy Festo oktatási gyártócellának az infokommunikációs fejlesztését mutattam be. A fejlesztés megkezdése előtt felkutattam és elemeztem a szükséges irodalmakat, majd ismertettem az infokommunikációs fejlesztés célját. Ezután a gyártócella került bemutatásra, amely során mind a nyolc állomás funkciójára egyenként kitértem és ismertettem a gyártócella fejlesztés előtti állapotának az elindítási folyamatát.

Majd az infokommunikációs fejlesztéshez szükséges szoftverek funkcióit részleteztem. A könnyebb áttekinthetőség miatt, először az infokommunikációs fejlesztés utáni állapotot mutattam be, majd ennek az állapotnak a létrejöttéhez szükséges hardveres és szoftveres fejlesztéseket. A hardveres fejlesztés során a gyártócella kibővítésre került egy 1516-os Siemens PLC-vel, ami már képes kiaknázni az Ipar 4.0 által biztosított lehetőségeket és készen áll a digitális gyártásra való átállásra. A szoftveres fejlesztésen belül a három általam felhasznált szoftverben történő fejlesztési folyamatokat mutattam be részletesen. A Siemens TIA Portal segítségével a gyártócella átprogramozásra került, fel lett készítve egy termelés irányítási rendszerrel való együttműködésre és konfigurálásra került az OPC UA szerver. A SiOME szoftverben az OPC UA-hoz szükséges információs modell lett létrehozva, amely elengedhetetlen az eszközök közötti kommunikációhoz. A Prosys szoftverrel az OPC UA megfelelőségének az ellenőrzését végeztem.

A hardveres és szoftveres fejlesztés után a Festo oktatási gyártócella megfelel az Ipar 4.0 követelményeinek, képes harmadik fél általi adatfogadásra és adatküldésre az OPC UA-n keresztül, ugyanakkor a helyszíni vezérlés is lehetséges, amit a gyártócellának a két üzemállapota biztosít. A termelési folyamat egy MES rendszer segítségével irányíthatóvá vált, a folyamatos gyártás helyett megrendelés alapú gyártás történik. Továbbá a gyártócella összekapcsolhatóvá vált egy virtuális környezetben létrehozott másával, ahol a gyártási folyamatok szimulálhatók, ezzel megvalósítva a digitális ikert.

A kitűzött infokommunikációs fejlesztési célokat a sikeres tesztelési eredmények után elértnek tekintem.

5. Irodalomjegyzék

- [1] Dudás I., Cser I.: *Gépgyártástechnológia IV.*, „Könyv:” Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 337 p., 2003
- [2] Dr. Kardos K., Jósmai J.: *Gyártási folyamatok tervezése*, „Könyv:” Széchenyi István Egyetem, Győr, 265 p., 2006
- [3] Ajtonyi I.: *PLC és SCADA-HMI rendszerek*, „Könyv:” AUT-INFO Kft., Miskolc, 290 p., 2007
- [4] Dr. Ajtonyi I., Dr. Gyuricza I.: *Programozható irányítóberendezések, hálózatok és rendszerek*, „Könyv:” Műszaki Könyvkiadó Kft., Budapest, 525 p., 2010
- [5] Hodossy L.: *Programozott vezérlések I.*, „Könyv:” Széchenyi István Egyetem, Győr, 121 p., 2006
- [6] *Siemens*:
<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1200/sce-051-201-scl-s7-1200-r1709-en.pdf>, 2021.04.14
- [7] *Siemens*:
<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/basics-programming-s7-1200/sce-031-200-fb-programming-s7-1200-r1709-en.pdf>, 2021.04.14
- [8] *Siemens*:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/040/90885040/att_970576/v1/81318674_Programming_guideline_DOC_v16_en.pdf, 2021.04.14
- [9] *Siemens*:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/908/78028908/att_32073/v1/78028908_SIMATIC_Comm_DOKU_v21_e.pdf, 2021.04.14
- [10] *Siemens*:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/925/59192925/att_901175/v1/s71500_communication_function_manual_en-US_en-US.pdf, 2021.04.14
- [11] *Siemens*:

- https://cache.industry.siemens.com/dl/files/885/109756885/att_952832/v1/109756885_OpcUa_ServerMethods_DOC_V10_en.pdf, 2021.04.14
- [12] Smit J., Kreutzer S., Moeller C., Carlberg M.: *Industry 4.0*, „Könyv:” Európai Parlament, Brüsszel, 90 p., 2016
- [13] Alur R.: *Principles of Cyber-Physical Systems*, „Könyv:” MIT Press, Cambridge, 446 p., 2015
- [14] Lee A. E., Seshia A. S.: *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition*, „Könyv:” MIT Press, Cambridge, 564 p., 2016
- [15] Tao F., Zhang M., Nee A.Y.C: *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, „Könyv:” Academic Press, Cambridge, 282 p., 2019
- [16] Siemens:
<https://new.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/digitaltwin/digital-twin.html>, 2021.04.14
- [17] Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék:
http://ait.iit.uni-miskolc.hu/~hornyak/pdf/MES_fuct_mod_meth.pdf, 2014.04.14
- [18] Seacon Europe, Industry4: www.industry4.hu, 2021.04.14
- [19] Kletti J.: *Manufacturing Execution System – MES*, „Könyv:” Springer, Berlin, 272 p., 2007
- [20] Festo: www.festo.com, 2021.04.14
- [21] Siemens:
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:0c66eeeb-b67d-4c98-aa0d-290f82d5c0d2/7801-09-tia-p-ipdf-en-181029-1.pdf>, 2021.04.14
- [22] Siemens:
[https://support.industry.siemens.com/cs/document/109755133/siemens-opc-ua-modeling-editor-\(siome\)-for-implementing-opc-ua-companion-specifications?dti=0&lc=en-MX](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109755133/siemens-opc-ua-modeling-editor-(siome)-for-implementing-opc-ua-companion-specifications?dti=0&lc=en-MX), 2021.04.14
- [23] Harju J.: *Plant information models for OPC UA: case copper refinery*, „MSc disszertáció”, Tampere University of Technology, Automation Engineering, 2015
- [24] Siemens:

https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109755133/109755133_SiO_ME_MAN_V22_en.pdf, 2021.04.14

[25] *Prosys*:

<https://downloads.prosysopc.com/opcua/apps/UaBrowser/dist/4.0.6-268/Prosys OPC UA Browser UserManual.pdf>, 2021.04.14

[26] *Siemens*:

<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-communication/sce-092-300-opc-ua-s7-1500-r1807-en.pdf>, 2021.04.14