



A felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása a Pannon Egyetemen

EFOP-3.4.3-16-2016-00009



# Digitális gyártás és kommunikációs protokollok

## Digitális tananyag

*Szerzők:*

*Dr. Gyurika István Gábor*

*Márton Zoltán*

*Dr. Fodor Dénes*



## 1. Bevezetés 5

- 1.1. A gyártás fejlődéstörténete.....6
- 1.2. A „gyártás” tudománnyá válása .....6

## 2. A digitális gyártás folyamatrendszere 16

- 2.1. A digitális gyártás definíciója, jellemzői .....17
- 2.2. A digitális gyártás működési módja, architektúrája.....19
- 2.3. A digitális gyártás modellezési rendszere.....27
  - 2.3.1. Digitális gyártási rendszerek organizációs modellje [15].....31
  - 2.3.2. A digitális gyártási rendszer funkcionális modellje .....34
  - 2.3.3. A digitális gyártási rendszer információs modellje .....36
  - 2.3.4. A digitális gyártási rendszer működési és irányítási modellje.....39
- 2.4. A digitális gyártási koncepció alkalmazása a termék előállítási folyamatokban 42
  - 2.4.1. Virtuális prototípus, mint számítástechnikán alapuló gyártási módszer .....43
  - 2.4.2. Virtuális prototípusok elmélete .....45
  - 2.4.3. Virtuális prototípusok alkalmazása a gyártásban .....47
  - 2.4.4. A virtuális prototípus alkalmazása a virtuális alapú gyártásban.....48

## 3. Gyártási információk a digitális gyártási szisztémában 50

- 3.1. A gyártási információk informatikai jellemzői.....51
- 3.2. Gyártási információkkal kapcsolatos alaptételek [6] .....58

## 4. Intelligens gyártás a digitális gyártási megoldásokban 65

- 4.1. Intelligens multi-szenzor rendszerek és adatbányászat a gyártási folyamatban 65
  - 4.1.1. Intelligens multi-szenzor rendszerek .....66
  - 4.1.2. Adatbányászat [6].....70
  - 4.1.3. Tudásszerzés és –termelés a termék teljes gyártási életciklusában .....74
  - 4.1.4. Intelligens tudásbázis alapú gyártórendszerek .....75
- 4.2. Autonóm gyártórendszerek fejlesztési lehetőségei .....78
  - 4.2.1. Gyártórendszerek autonómiája.....78
  - 4.2.2. Autonóm számjegyes vezérlésű eszközök.....82
  - 4.2.3. Gyártórendszerek öntanuló képessége .....83
- 4.3. Intelligens gyártórendszerek főbb megoldásai .....87
  - 4.3.1. Multi-ágens gyártórendszerek .....88
  - 4.3.2. Holonikus gyártórendszerek .....92

## 5. A CANopen általános jellemzése 97

- 5.1. A CANopen alapozása – CAN alkalmazási réteg .....97



5.2. Nyolc rétegűvé válik az OSI modell – CANopen .....98

## **6. A CANopen eszközmódellje 101**

## **7. Az objektumkönyvtár 102**

7.1. Kódolási szabályok.....102  
7.2. Az objektumkönyvtár felépítése .....103  
7.3. Az objektumkódok.....106  
7.4. A hozzáférési attribútumok.....106

## **8. A kommunikációs modellek 108**

## **9. Szolgáltatás Adat Objektumok (SDO) 112**

9.1. Az SDO-k konfigurálása.....113  
9.2. Szegmentált átvitel .....114  
9.2.1. Letöltés szegmentált átvittel .....115  
9.2.2. Szegmentált SDO feltöltés .....118  
9.3. Gyorsátvitel .....120  
9.4. Blokkátvitel.....122  
9.4.1. SDO letöltés blokkátvitellel .....122  
9.4.2. SDO feltöltés blokkátvitellel .....125  
9.5. SDO átvitel megszakítása .....130

## **10. Folyamat Adat Objektumok (PDO) 131**

10.1. A PDO-k konfigurálása .....131  
10.2. A műveleti adatobjektumok leképezési szabályai .....132  
10.3. A műveleti adatobjektumok nyújtotta szolgáltatások .....134  
10.4. Műveleti adatobjektumok átvitele .....135  
10.4.1. Kezdeményezés .....135  
10.4.2. Átvitel .....135  
10.5. Multiplexált PDO-k .....136

## **11. Vészhelyzet Objektumok 138**

## **12. Időzítés 141**

12.1. Egyszerű szinkronizációs séma - Sync.....141  
12.2. Kibővített szinkronizációs séma – Sync és időbélyeg .....143



## **13. A Profibus kialakulása és architektúrája 144**

- 13.1. A PLC kommunikációs vonalak fejlődése .....144  
13.2. A Profibus architektúrája .....144

## **14. A Profibus-DP kommunikációs protokoll 147**

- 14.1. A Profibus-DP változatai.....147  
14.2. A Profibus-DP Fizikai Rétege az RS-485 .....147  
14.3. A Fieldbus Adatkapcsolati Réteg (FDL) .....149  
14.3.1. Biztonsági Réteg.....150  
14.4. A Profibus-DP Alkalmazási Rége .....153  
14.4.1. A Profibus-DP Mester-Szolga modellje .....153  
14.4.2. A hálózat elindulása.....154  
14.4.3. Ciklikus adatcsere .....158  
14.4.4. Eszköz diagnosztika.....159  
14.4.5. Opcionális funkciók.....164  
14.4.6. Aciklikus adatátvitel .....166  
14.4.7. Izokron adatátvitel .....166  
14.4.8. Szolga-szolga kommunikáció .....167

## **15. A Profinet protokoll architektúrája 169**

- 15.1. A ProfiNET adatkapcsolati rétege.....169  
15.2. A ProfiNET alkalmazási rétege .....172

## **Felhasznált Irodalom 195**



## 1. Bevezetés

A különböző alkatrészek- és gépegységek gyártási folyamatának optimalizálási igénye több évtizedre nyúlik vissza. A gyártási technológiák javítása, a termelékenység növelése, az alkalmazott szerszámok élettartamának meghosszabbítása mind olyan elsődleges célfüggvénnyé vált, mely függvények alapján számos új eljárás, algoritmus, matematikai modell készült. Az utóbbi évtized informatikai fejlődésének köszönhetően olyan számítástechnikai háttértudás áll a gyártástudományt fejlesztő mérnökök rendelkezésére, mely háttér révén integrálni lehet a termék előállítási életciklusa valamennyi állomásán megjelenő feladatot, központosítani lehet a teljes gyártási életciklus működtetését, fenntartását, ellenőrzését és hiba esetén a beavatkozást. Az informatikai fejlődés mellett a vevői igények is jelentős mértékben átalakultak, az új igénytípusok pedig szintén új fajta gyártási megközelítési megoldások kifejlesztését követelték meg.

A negyedik ipari forradalom hatására a gép- és alkatrészgyártásban is előkerültek a magas szintű adatbányászati elemek, az egyes gyártási életciklusban gyűjthető paraméterek, adatok kezelése és a megszerzett információk birtokában az aktuális előállítási folyamat változtatásának, javításának lehetősége. Az ipar 4.0, a korszerű számítástechnika, valamint a piaci igények jelentős megváltoztatása eredményezte a „digitális gyártástudomány” kialakulását. A digitális gyártás alapfeltevése, hogy a piaci igényekre akkor lehet gyors és hatékony választ adni, ha a termék előállítási folyamat valamennyi elemének irányítását számítógépes környezetbe integráljuk és az egyes gyártástervezési elemeket digitális környezetben készítjük el. A digitális környezet nem csupán hatékonyabb megvalósítási módot és leredukált mérnökórákat jelent, hanem egy olyan, folyamatosan bővülő központi adatbázishoz is juthatunk, mely adatbázisból mesterséges intelligenciával dolgozó döntési hálók, megvalósító alkalmazások is dolgozni tudnak. A digitális gyártástudomány hatására tehát a termelékenység növekedni tud, a mérnökórák hatékonysága javul és a jövőbeli gyártástervezési megoldásokhoz egyre bővülő tudástárat is birtokolni tudunk.



### **1.1.A gyártás fejlődéstörténete**

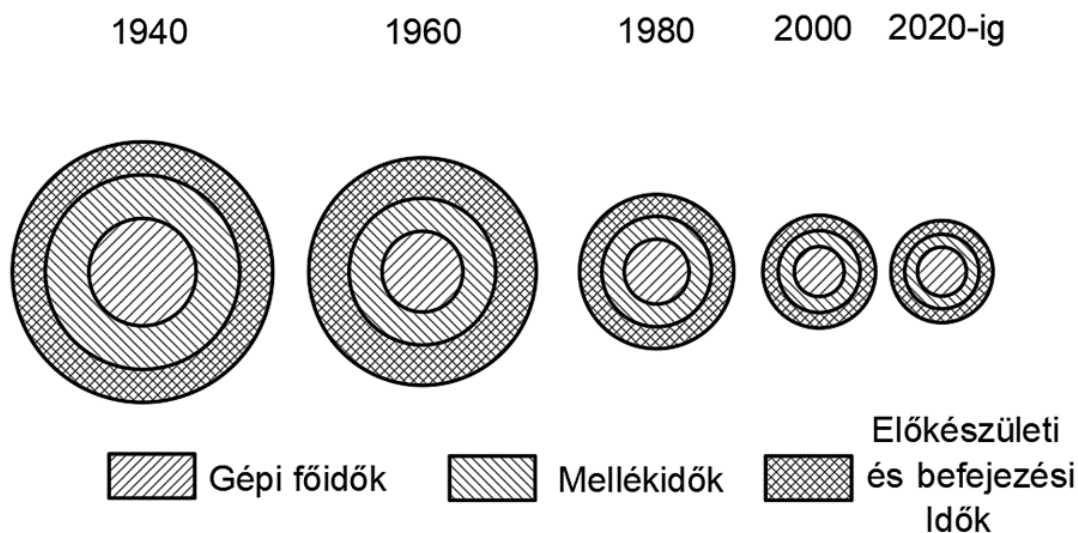
Az ember fejlődéstörténetében a gyártás mindig a készségek fejlesztését igényelte. A korai időkben a vadászathoz és halászathoz alkalmazott - elsősorban kő - szerszámok pattintásának, továbbá a megfelelő alapanyag kiválasztásának gyakorlata folyamatosan generálta a szerszámok előállítási megoldásainak fejlődését. Természetesen ezekben az időkben az ember ezen egyszerű kőszerszámok készítése során nem gondolt bele a gyártás fogalmába, azonban ma már láthatjuk, hogy az akkori primitív gyártási, szerszám előállítási lépések nagyban segítették az ember fejlődését. A bronzkorra kialakultak az első kézműves formák és ezen területen tevékenykedő „mesterek” a kitapasztalt technológiai tudást átadták fiatalabb társaiknak, mely által folyamatosan bővült az adott szakterületen megtalálható és alkalmazható szakmai háttér, kialakult egy kezdetleges (először a szakemberek fejében található, később írott formában megjelenő), az adott szakterülethez köthető adatbázis. A bronzkorban a szerszámkészítési technológiákat kiegészítette a különböző étkezési eszközök és használati tárgyak előállításának tudása, illetve az első öntészeti eljárásokat is ezen korból származtatjuk. Az ókorban kialakult céhek már jóval magasabb szervezetségi szinttel rendelkező technológiai háttérrel tudtak használni termékeik előállításánál, mely háttér alapján a további fejlődési lehetőségek is adva voltak. Ez a céhes berendezkedés egészen a 17. századig általános maradt, azonban a század eddig soha nem tapasztalt műszaki fejlődésének köszönhetően a gyártás fokozatosan szakképzett technológiává fejlődött. A gőzgép, a szövőgép és a vágógép feltalálása végképp megpecsételte a hagyományos értelemben vett kézműves és céhes berendezkedést és megkezdődött az áttérés a jelenleg is tapasztalt szisztémába, vagyis a gyártási folyamatok önálló társadalmi elemmé való kialakulásába.

### **1.2.A „gyártás” tudománnyá válása**

A XVIII. században megindult nagyarányú gépesítés a következő évszázadban tovább folytatódott, az elektromos áram elterjedését követően pedig általánossá vált a mechanikai gépgyártás, az embert kiszolgáló, emberi műveleteket helyettesítő eszközök, berendezések kifejlesztése. Az új technológiák és berendezések forradalmasították a gyártási folyamatokat és megalkották az „automatizálás” fogalmát is. Az automatizálás hatására jelentős mértékben felgyorsultak az alkatrész előállítási

folyamatok, a korábbi kétkezű munkák gépesítésével pedig a dolgozók feladatai is jelentős mértékben átalakultak. Míg korábban a kézműves embernek komoly és közvetlen felelőssége volt a termék megalkotásában, az első ipari forradalmat követően a gépkezelőknek egyre kisebb felelősségük volt, hiszen a gyártó gépek egy megadott szisztéma alapján, akár nagyobb sorozatban is előállíthatták ugyanazon a technológiai színvonalon termékeiket. Ezen időszak alakította ki a gyártást, mint tudományt, ugyanis ettől kezdve a gyártás nem egy szakképzettséget, vagy technológiát, hanem már egy komoly háttérrel rendelkező tudomány jelentett.

A gyártás, mint tudomány ezt követően további jelentős fejlődésen ment keresztül. A gép- és alkatrész előállítási technológiák a huszadik század második felétől korábban nem tapasztalható mértékben változtak, alakultak át, mely átalakulás eredményeképpen magasabb termelékenységi értékeket, jobb minőségeket kaphattak a szakemberek. A termelékenység növekedésének igénye generált számos olyan technológia fejlődést, amelynek hatásait mind a mai napig érezzük.



1-1. ábra: A gyártástechnológia XX. századi fejlődéstörténete

Az 1-1. ábrán látszik, hogy az utóbbi 75-80 évben hogyan változott egy alkatrész előállítására fordítandó időtartomány. Az 1940-es években az általános gyártóberendezések az egyetemes esztergagépek, konzolos marógépek voltak. Ezen



gépek esetében még egyáltalán nem lehet beszélni a mai értelemben vett automatizálásról, hiszen kezelésük teljes mértékben manuális volt, mind a beállítási feladatok megoldásánál, mind a tényleges gyártási műveletek megvalósításánál a gépkezelő munkás szakértelmére, ügyességére volt bízva az előállítás sikeressége. Egyértelmű tény továbbá, hogy ezen egyetemes szerszámgépek működtetéséhez komoly szakmai tudás kellett, mely szakmai tudást az igazán hatékony gyártás megvalósítása érdekében több éves tapasztalattal kellett fűszerezni. Hiába voltak azonban ezen szerszámgéptípusok a mai berendezésekhez képest kezdetlegesek, a korábbi „kéműves” technológiákhoz képest hatalmas fejlődési lépcsőt jelentettek. Az egyetemes gépek esetében tehát kiemelten magas előkészületi és befejezési idővel kellett számolni, továbbá ezekkel a gépekkel magas termelékenységet azért sem lehetett előállítani, mert főhajtóművük és ágyszerkezetük nem volt alkalmas a nagy vágósebességek és előtolások elérésére. A gyártástechnológia fejlődés mellett ugyanis a mechanikai tudásháttér sem volt elég fejlett ahhoz, hogy a jelentős vágósebességi értékek és kiváló felületi minőségek eléréséhez magas szintű alapozást és nagyfokú merevséggel rendelkező szerszámgépeket állítsanak elő. A gépeken használt megmunkáló eszközanyagok területén szinte egyeduralkodónak számítottak a szerszámacélok, mely csoporton belül a gyorsacélokkal lehetett a legnagyobb termelékenységet elérni. A gyorsacélok (HSS – High Speed Steel) ugyan a hagyományos értelemben vett szerszámacélokhöz képest akár 8-10-szeres megmunkálási sebességgel is tudtak dolgozni, köszönhetően magas ötvöző tartalmuknak, azonban kedvezőtlen melegkeménységi mutatószámaik okán a megmunkálás közvetlen környezetének hőmérsékletnövekedése hatására gyorsan kilágyultak, így a ma – különösen a nagysebességű megmunkálások során alkalmazott - általánosnak mondható vágási sebességeket és előtolási paramétereket megközelíteni sem tudták.

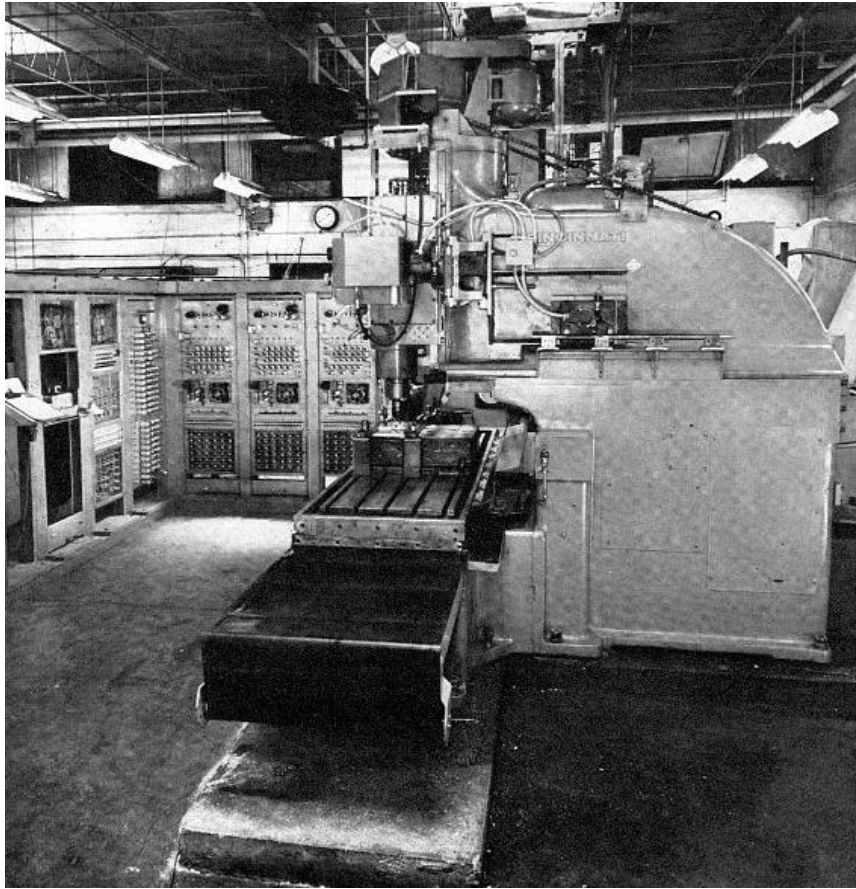
A gyártástudományban 1952 hatalmas mérföld volt. Az amerikai hadsereg megrendelésére ebben az évben fejlesztették ki a Massachusetts-i Műszaki Egyetemen (MIT) a számjegyes vezérlés technológiáját és a hozzá tartozó vezérlést. Az első NC vezérlésű szerszámgép egy marómű volt, mely a szállító repülőgépek szárnygeometriáját állította elő, automatikus megmunkálás révén (1-2. ábra). A 60-as







évekre általánossá vált az NC gépek alkalmazása, egyre nagyobb teret hódított el az egyetemes gépektől az alkatrész- és gépgyártással foglalkozó gyáraknál. A számjegyes vezérlésű szerszámgépek alkalmazásával jelentős mértékben lerövidültek az előkészületi- és átállási idők, melynek két fő oka volt. Az egyik ok a programvezérlési háttér volt, ugyanis az NC esztergákat, vagy fúró-maró műveket nagyon rövid idő alatt be lehetett programozni az adott feladat végrehajtására, az automatikus gyártás révén pedig az emberi kezelés során szerepet játszó bizonytalanság és az emberi gondolkodás idővesztése is kiküszöbölésre került. A másik ok a számjegyes vezérlésű megmunkálógépek szerszámtárainak kifejlesztése volt. Az egyre nagyobb tárhellyel rendelkező gépeknél ugyanis jóval ritkábban kellett szerszámot cserélni, mint az egyetemes és konzolos szerszámgépek esetén. A hatvanas években - elsősorban szintén a nagy termelékenységgel és magas technológiai paramétereken dolgozni tudó NC gépek megjelenésének köszönhetően – a szerszámanyagok területén is jelentős fejlődés mutatkozott. A szerszámacélok mellett egyre nagyobb arányban jelentek meg a különböző keményfém anyagok és bevonatos szerszámok, melyek segítségével csökkenteni lehetett a megmunkálási időket, ugyanis ezen nagy keménységgel rendelkező anyagokkal magasabb technológiai paraméterek is beállíthatóvá váltak. A 60-as években tehát az előkészületi- és a tényleges gyártási idők is jelentős mértékben leredukálódtak, köszönhetően az akkori gyártástechnológiai fejlesztéseknek.



1-2. ábra: 1952-ben kifejlesztett NC marógép az MIT laborjában [1]

Következő jelentős fejlődési szint a 80-as évekre alakult ki a gyártási tudományok területén. Ekkorra vált kereskedelmi forgalomban is általánosan és egyre alacsonyabb költséggel beszerezhetővé a személyi számítógép. Az informatika nagyarányú fejlődésének köszönhetően a gyártástudományok területén korábban nem gondolt irányítástechnikai szintek, kommunikációs rendszerek váltak megvalósíthatóvá. A számítástechnika és –tudomány eredményeként a tömeggyártási területeken megjelentek az első olyan rugalmas gyártócellák, melyek esetében már nem csupán a megmunkálást, hanem az alkatrész-kiszolgálást is automatizálni lehetett. Egy rugalmas cella minden esetben egy megmunkáló (fúró, maró, esztergáló, köszörülő, stb.) gépből és az őt kiszolgáló robotból, vagy robotok halmazából áll. Az automatikus munkadarab kiszolgálás eredményeként jelentős mértékben csökkentek ismét az előkészületi- és befejezési idők, továbbá sokkal pontosabbá váltak a megmunkálások, szűkebb tűrések, jobb méret- és helyzetpontosságok is elérhetővé váltak, hiszen a robotizált munkadarab-



behelyezés minden esetben pontosabb, mint az ember által megvalósított beállítás. Szintén megjelentek az első CAM alapú CNC programtervező és szimulációs szoftverek, melyek segítségével felgyorsult az NC programok írása, illetve az egyre komplexebbé váló vevői igények kielégítése megvalósíthatóvá vált. A CAD/CAM rendszerek ekkor még természetesen nem álltak azon a technológiai színvonalon, mint manapság, de a komplexebb geometriákkal rendelkező munkadarabok gyártóprogramjainak előállításánál már akkor is egyedüli megoldásnak számítottak. Szerszámok és szerszámanyagok oldaláról is jelentős fejlődés volt tapasztalható a 60-as és 80-as évek közötti időszakban. A váltólapkák alkalmazásával új szerszámkonstrukciók terjedtek el, de a cserélhető lapkák új anyagtechnológiai és gyártástudományi kihívás elé is állította a mérnököket. A szerelhető lapkakivitel esetében ugyanis fejleszteni kellett a sajtolási technológiákat és a bevonatolási megoldásokat egyaránt. Egyre általánosabb szerszámanyagként jelentek meg a kerámiák, melyek segítségével tovább lehetett növelni a termelékenységet. A kerámia szerszámok először tömör kivitelben kerültek forgalomba, később azonban ezen anyag esetében is megjelentek a cserélhető lapkás kivitelek.

A 2000-es évekre a számítástechnika és az egyes műszaki, technológiai ágazatok fejlődésnek köszönhetően tovább csökkentek a gyártási-, valamint az átállási idők. Az új évezredre általánossá váltak a számítógéppel integrált gyártórendszerek (CIM), mely rendszerek révén egy alkatrész komplett megmunkálása, gyártmánnyá való összeállítása, akár csomagolása automatikus úton vált megvalósíthatóvá. Egy rugalmas gyártórendszerben mérőcella található a gyártási folyamat elején, mely cella feladata meghatározni, hogy az adott előgyártmányból a gyártási folyamat eredményeképpen előállhat-e a vevői igényeket kielégítő késztermék. Az előgyártmány a mérési fázist követően egy raktárcellába kerülhet, ahol a központi számítógépbe tárolt adatok alapján bármikor előhívható, a tényleges gyártás megkezdéséhez. A raktárcellából szállítócella segítségével jut el az előgyártmány az egyes megmunkáló cellákig. A szállítócella lehet a megmunkálási szint feletti egység, melynek fizikai megvalósulása a felsőpályás portálorobot. Lehetséges a megmunkálási szinten is szállítócellát alkalmazni. Ennek megoldása például a szállítószalagos továbbítás. Létezik azonban megmunkálási szint alatti technológia is, melynek gépegysége a robotkocsi. A megmunkáló cellákban az





előgyártmány félkész termékké, majd késztermékké alakul át. Ezen átalakulás közben újabb mérőcellák is beilleszthetők a gyártási folyamatba. Ezek a mérőcellák elsősorban a gyártásközi méret- és pozícióellenőrzéseket hivatottak megvalósítani. A gyártási folyamatok végén ismét mérőcella áll készen, hogy leellenőrizze a vevői igények szempontjából lényeges méreteket, tűréseket, illesztéseket, pozíciókat. A számítógéppel integrált gyártórendszerek részét képezheti ezt követően valamilyen összeállító cella. Lehet szerelőcella, ahol SCARA (szelektív engedékenységgű karral rendelkező robottípus) egységek végzik az egyes alkatrészek gyártmányra való összeállítását. Számos helyen létezik hegesztőcella, ahol akár 10-12 hegesztő robot dolgozik összehangoltan annak érdekében, hogy a gyártmány elkészüljön. A gyártmányok összeállításáért felelős egységeket követően egy csomagolócella is rendelkezésre állhat, hogy az elkészített gyártmányokat különböző mennyiségekbe összerendezzék és becsomagolják. Az integrált gyártórendszerek tehát egy komplett gyártási és szerelési folyamatot képesek már megvalósítani, melynek eredményeképpen tovább csökkentek az átállási időtartományok. A CIM ugyanakkor nem csupán a tényleges gyártási folyamat magas fokú automatizáltságát és rugalmasságát jelenti. A CIM foglalja magában a magas szintű minőségmenedzsmentet (Total Quality Management), a mindent az idejében gyártási szisztémát (Just In Time), a konkurens mérnökséget (Concurrent Engineering), valamint a karcsú gyártási megoldásokat (Lean Manufacturing). A gyártástudomány szempontjából szintén mérföldkő volt a 2000-es évek, ekkora vált ugyanis technikai értelemben is megvalósíthatóvá a nagysebességű megmunkálás. A technológia elméletét már a második világháborúban kidolgozták, azonban csak az új évezred elejére jelentek meg azon informatikai és szerkezeti fejlesztések, melyek segítségével hatékony megoldásokat tudtak kifejleszteni a területen. A nagysebességű megmunkálások során az eddig néhány ezer fordulat/perc-es tartományokból a 40-50.000 fordulatos technológiákra is át lehetett állni. Ez a gyártástechnológiai fejlesztés elsősorban a gépi főidők csökkentésében játszottak szerepet. Szerszámanyagok oldaláról a szuperkemény anyagok, így az ipari gyémánt és a kőbős bór-nitrid alkalmazása is egyre gyakoribbá vált. Az új szerszámanyagokkal nem csupán a kiemelten nagy keménységgel rendelkező munkadarabok megmunkálása vált egyszerűbbé, hanem az elérhető előtolás és fordulatszám értékek is megnövekedtek.





Napjainkban azt tapasztalhatjuk, hogy a gyártástudománnyal és –technológiával kapcsolatos fejlődés töretlen. Jelenleg már kereskedelmi forgalomban kaphatóak, várhatóan 2020-ig pedig általános alkalmazásúvá válnak azok az univerzális CNC szerszámgépek, amelyek azonos munkatéren belül több előállítási technológiát is megvalósítanak. A 2000-es évek végére már általánossá váltak azon univerzális CNC szerszámgépek, amelyek hasonló teljesítménnyel képesek esztergálási, fúrési és marási műveletelemeket megvalósítani, azonban ezen új generációs gépek esetében egy egységbe integrálódhat be például a marás, az esztergálás, a homokszórás, illetve a komplett mérési technológia is. Amennyiben az integrált gyártórendszereket, vagy akár kisebb gyártósorokat is hasonló gépekkel szerelnek fel, jelentős mértékben fog tovább csökkenni az átállási- és előkészületi idők rendszere, hiszen ebben az esetben egy ilyen új generációs szerszámgép elképzelhető, hogy akár 4-5 hagyományos gépet is kiválthat. Szintén a legújabb korszak képviselőjeként tekinthetünk azon univerzális szerszámgépekre, amelyek a hagyományos forgácsolási technológia mellett additív technikákat is alkalmazni tudnak, egyazon géptesten belül (1-3. ábra). Az additív technikák révén jelentős mértékben csökkenthetőek a prototípusgyártási idők, beleértve az előkészületi- és befejezési időt, valamint a gyártási időtartományokat egyaránt. Az univerzális gépek alkalmazásával tovább javulnak a méretpontosságok, helyzet- és alakműveletek, hiszen komplex alkatrészek esetén is minimalizálni lehet az átfogási műveleteket. Jelenleg informatikai oldalról is komoly fejlődés tapasztalható. A negyedik ipari forradalom révén előtérbe kerültek a teljes gyártási folyamatra érvényes információbányászat és adatbázis-előállítás, mely adatbázisok alapján akár tanuló rendszerek segítségével lehet javítani a gyártási hatékonyságon, termelékenységen, pontosságon. Szintén az ipar 4.0 hatására már megjelentek azok a kollaboratív robottechnikák, amelyek biztonságosan tudnak az ember közelében dolgozni, így egyre több kiszolgálási feladatot képesek automatizálni a rugalmas gyártórendszerekben a mérnökök.



1-3.ábra: Mazak – hagyományos és additív gyártástechnológiával is dolgozó – univerzális CNC szerszámgép [2]

A komplex gyártási folyamatok megtervezésének fejlődését a digitális gyártás tudományterület kialakulása jelenti napjainkban. A digitális gyártás segítségével ugyanis számítógépes környezetben tervezhetőek meg a gyártóbázisok és üzemcsarnokok, az üzemeken belüli gépelhelyezések, munkadarab- és egyéb anyagáramlások, illetve a különböző logisztikai folyamatok. A számítógépes szoftverek segítségével gyorsan és sok esetben automatikusan lehet optimalizálni ezen paramétereket, mely optimalizálás eredményeként tovább javulhatnak az átállási idők, de akár a gépi főidők is csökkenthetőek. A digitális gyártástudomány részét képezi az számítógéppel segített konstrukciós és gyártástervezés is, illetve a robotprogramok automatikus előállítása is. Ezen elemek az ipar 4.0 adatbázis-generáló célkitűzésének eredményeképpen öntanuló elemekkel is felvértezhető. A digitális gyártás jelenlegi szintjén már az egyes munkaállomásokon dolgozó munkások mozgásstratégiája,



A felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása a Pannon Egyetemen

EFOP-3.4.3-16-2016-00009



mozgásrendszere is megtervezhető, melynek révén lerövidíthetővé váltak az egyes állomásokon alkalmazható ciklusidők is.

A történelmi áttekintés során egyértelműen látható, hogy jelenleg legalább olyan mértékű fejlődés tapasztalható a gyártástudományok területén, mint akár a 60-as, vagy a 80-as években, a korábbi évtizedekhez hasonló szintű mérföldkövek jelennek meg most is. Az egyik ilyen mérföldkő pedig napjainkban a digitális gyártás, mely egy kiemelten új és a jövőben várhatóan egyértelműen meghatározó tudományterülete lesz a gyártásnak.



## 2. A digitális gyártás folyamatrendszere

A huszadik század második felében tapasztalható nagyarányú gyártástudományi fejlődésnek egyértelmű támogatást és háttérrel adott a számítástudományi területeken megjelenő újítások. A gyártási tudományok esetében lényeges fejlődési mérföldköveket a mikroelektronika, az automatizálás, a számítógépek, a távközlés, a hálózatok és az informatika területén találhatunk. A huszonegyedik század, amelyet "hálózatkiépítés" és "informatizálás" jellemez, megváltoztatja az információ és a tudás megszerzésének, feldolgozásának, cseréjének és felhasználásának módját. Ezen változások eredményeképpen új fogalmak, új elméletek, új technológiák és ötletek jelentek meg a napi életben és a tudományos területeken egyaránt. Egyre gyakrabban használják a mindennapi életben a „digitális könyvtár”, a „digitális vállalkozás”, a „digitális gazdaság”, vagy akár a „digitális pénz” fogalmát [3]. A negyedik ipari forradalom időszakában a nemzetgazdaság egyik fő hajtómotorjaként szereplő feldolgozóipar teljesen új kérdésekkel, új problémákkal szembesül. Az új típusú, sok esetben nem lineáris szervezési struktúrákat, gyártási környezetet egyre nehezebb a hagyományos ellenőrzési stratégiákon keresztül működtetni. A vevői igények egyre gyorsabban és szélsőségesebben változó környezete szintén komoly kihívás elé állítja a feldolgozóipart, ezen belül is a gép- és alkatrészgyártással foglalkozó szektorokat. A gyorsan változó vevői igények mellett a globalizáció is egyre nagyobb kihívások elé állítja a gyártó cégeket. Az olcsó munkaerővel és jelentős nyersanyagbázissal rendelkező országok feldolgozóipari vállalataival szemben minden esetben hathatós választ kell tudnia adni egy magasabb fizetésekért dolgoztató, de általánosságban véve magasabb minőségi színvonalat is biztosító cégnek. Ezen változások és tényezők következtében mélyreható változások kezdődtek meg a gyártási információszerzés, információgyűjtés és –feldolgozás területén, de ezek a változások generálták az új típusú gyártási szemléletek és megoldások kialakulását is [4]. A digitalizálás a feldolgozóipar életciklusának elengedhetetlen hajtóerejévé vált, így a digitális gyártás egy tudományos alapokon nyugvó, de az ipari igényeket maximális mértékben kielégítő módszerként válik az egyre komplexebb termékszerkezetek, az egyre személyre





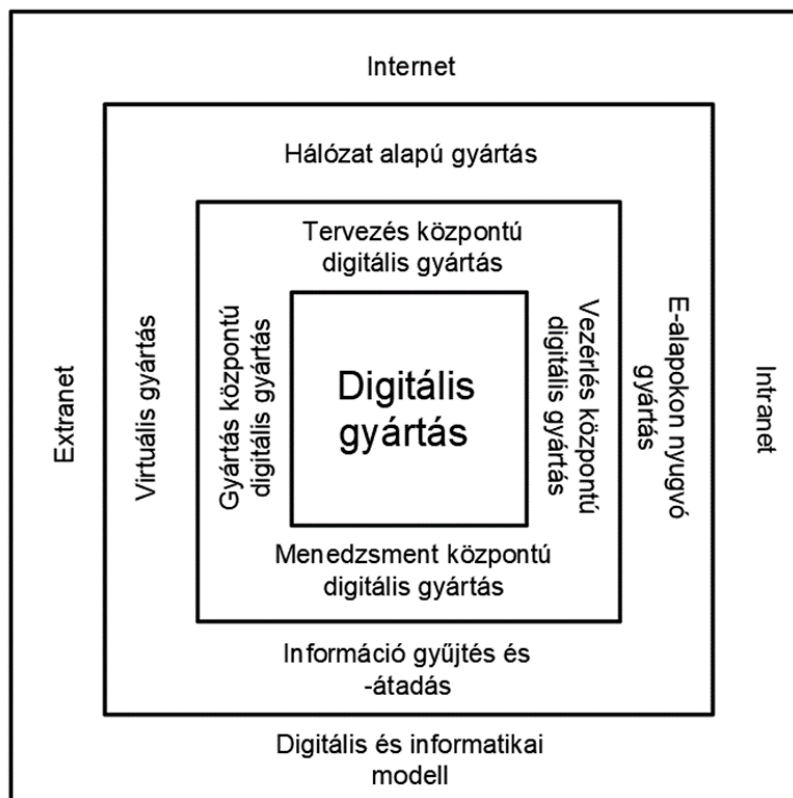
szabottabb, sokrétűbb fogyasztási igények és a jelentős méretű gyártási hálózatok szerves részévé.

### **2.1.A digitális gyártás definíciója, jellemzői**

A digitális gyártás olyan gyártási folyamat, amely - a virtuális valóság, a számítógépes hálózatok, a gyors prototípusgyártási megoldások és a fejlett adatbázisok támogatásával - a vevői igényeken alapulva elemzi, megszervezi és újraegyesíti a termékinformációkat, a folyamatinformációkat és az erőforrás-információkat, továbbá végrehajtja a termék gyártási életciklusának egyes szakaszaiban megvalósítandó feladatokat, a gyártervezéstől kiindulva, a konstrukciós- és gyártástervezési szimuláción át egészen a mozgás-szimulációig bezárólag. A gyártástechnológia új tudományágaként különböző gyártási tudományokat szintetizál, és képviseli a fejlett gyártási technológia fő irányvonalát. A digitális gyártás fő jellemzője, hogy a különböző tervezési, folyamatbeli, gyártási és kezelési információkat, valamint a gyártási tudást és készségeket digitális hálózatokon keresztül továbbítják a gyártóknak, digitális jelek formájában [5].

Egy globális gyártási struktúrában a vevők és a felhasználók digitális hálózaton keresztül küldik el igényeiket, követelményeiket egy előállítandó alkatrész, alcsoport, főcsoport, vagy gyártmány esetében. Ezen digitális hálózaton beérkező információk alapján a gyártók már az árajánlattétel szintjén alkalmazhatják a digitális gyártástudományhoz köthető lehetőségeket, a rendelkezésre álló szerszámok adatbázisban szereplő tulajdonságai, az alkalmazandó szerszámok geometriai mérete, hatékony gyártáshoz szükséges technológiai paramétertartományai, a gyártási komplex költségszámításokhoz szükséges dolgozói bérek, gépköltségek, áramköltségek és üzemi területfoglalási költségek alapján. A vevői megrendelést követően digitális logisztikai szolgáltatások segítségével, virtuális körülmények között tervezhető meg az anyagok, előgyártmányok, szerszámok beszerzési ideje, körülményei. A digitális konstrukciós- és gyártástervezési megoldásoknak köszönhetően a mérnöki órakeretek minimális felhasználásával lehet előállítani azon gyártási folyamattervezési alapinformációkat, melyek segítségével a termelésirányítási terület kidolgozhatja az integrált gyártórendszerekkel való feladatmegoldás sorrendiségét, az egyes gépek leterhelését. Nyilvánvaló, hogy a „digitális gyártás” koncepciója a digitális technológia, a hálózati

információs technológia, a gyártási technológia, valamint a digitalizálási folyamat elkerülhetetlen eredménye, a gép- és alkatrészgyártással foglalkozó vállalkozások, a gyártási rendszerek és a termelési rendszerek összefonódásának eredménye. A különböző gyártóberendezésekben, gyártóeszközökben például a vezérlő változók digitális jelek. A gyártástechnológiával foglalkozó vállalkozásoknál mindenfajta információ (grafika, adat, tudás és technika) digitális formában van, amelyeket digitális hálózatokon keresztül lehet továbbítani az egyes üzemi csoportoknak. A globális gyártási vállalkozásokban a felhasználók digitális hálózatokon keresztül publikálják az információikat, a vállalatok (nagy, közepes és kicsi) pedig ezáltal együttműködve gyorsan és agilisan termelik a termékeket. A digitális gyártási környezetben a magánszemélyek, vállalkozások, üzletházak, eszközök, értékesítési ügynökök és piacok alkotják a hálózat csomópontjait az interneten keresztül. A 2-1. ábrán a digitális gyártás, mint tudományterület és egyben hatékony ipari megoldás köré kiépült, alkalmazott globális rendszer elemeket láthatjuk.



2-1.ábra: Digitális gyártás információs környezete [6]



## **2.2.A digitális gyártás működési módja, architektúrája**

Az új filozófiának és működési módnak köszönhetően a digitális gyártás a XXI. században a feldolgozóipar fejlődésének elsőszámú mozgatórugójává vált. A digitális gyártási szisztéma hatására az előállítási tevékenységek időtől, helyszíntől és távolságtól függetlenné, a gyárthatósági vizsgálatok, valamint a konstrukciós- és gyártástervezési folyamatok a közös megoldási algoritmusok révén előre kiszámíthatóvá válnak. A digitális gyártás újítja meg a hagyományos gyártás tudományos alapjait és alakítja át a termék gyártási életciklusát átfogó digitális mennyiségi meghatározássá. Az új tudomány kialakulása révén számos alapvető elmélet és kulcsfontosságú technológiai megoldás kerül előállításra, így például a termékinformáció digitális megjelenítése, a gyártók folyamatának modellezése és szimulációja, a digitális prototípus-technológia és a nyílt numerikus vezérlési technológia.

A digitális gyártás megvalósításának előfeltétele a termék digitális modelljének létrehozása és a termék teljes életciklusának digitális meghatározása. A leggyakrabban vizsgált termékmodellek a geometriai modell, fizikai modell, tudásmodell és prototípus modell. A geometriai modell és a tudásmodell többnyire statikus jellegű modellek, elsősorban a terméktervezéshez és gyártáshoz alkalmazhatóak. A fizikai modell és a prototípus modell dinamikus szimulációs modellek, amelyeket termékorientált teljesítményelemzésre használnak [7, 8]. A digitális gyártás egyik legfontosabb jellemzője, hogy nem csak a hagyományos konstrukciós adatokkal és grafikai információkkal foglalkozik, hanem nagy mennyiségű empirikus ismeretet és egyéb, nem geometriai jellegű információkat is felhasznál. Annak érdekében, hogy a digitális gyártási technikát a technológiai innováció elősegítésére fordítsák, szükség van a domináns tudás digitalizálására a területen. A szélsőséges gyártási folyamatban oly módon szükséges a fizikai paraméterek (teljesítmény, hő, hang, rezgés, sebesség, hibák stb.) digitalizálása és ezeknek a paraméterek az átalakítása, hogy a számítógép alapú tervező rendszerek megértsék [9].

A hálózati környezetben a gyártóegységek digitális információk fogadására, kezelésére és esetleges továbbítására való képessége a digitális gyártástudomány fontos jellemzője. Egy integrált gyártórendszer csak abban az esetben képes ugyanis a digitális gyártástudomány által felállított követelményeknek megfelelni, ha az öt felépítő



számjegyes vezérlésű (CNC) szerszámgépek, munkadarabokat és szerszámokat kiszolgáló manipulátorok és ipari robotok, az automata hegesztőgépek, valamint a CNC koordináta mérőgépek önállóan is képesek ezen digitális adatforgalom és –feldolgozás megvalósítására. Egy hálózati környezetben ezen egységekben megvalósuló mozgások tervezése, a teljesítménymodellezés, az állapotfelismerés és az automatikus felügyelet, az önálló szabályozás és az önszerveződés funkcióknak mind alkalmazkodni kell a gyors termékfejlesztéssel és a piaci igényekre való gyors reagálással kapcsolatos elvárásoknak. A digitális berendezések jellemzői a mozgás digitalizálásán túl a vezetési folyamat digitális modellezése, a szenzoradatokon alapuló paraméterek azonosítása és az irányítás automatikus módosítása [10, 11].

A digitális gyártástudomány működési módja és architektúrája jelenleg is folyamatosan változik, hiszen egy kiemelten új tudományterületről, a korábbi hagyományos szisztémákhoz képest jelentősen különböző megoldásról van szó. A digitális gyártás architektúráját egyértelműen a termék teljes gyártási életciklusa során megvalósuló folyamatokkal lehet a legjobban leírni. A digitális gyártás alapvetően azt jelenti, hogy egy termék tervezése, szimulációja és gyártása digitális környezetben valósul meg. Ezen folyamatnak megfelelően, a vevői igények és megrendelések beérkezését követően első lépésben egy koncepcionális tervezést kell megvalósítani, mely tervezési folyamat során digitális környezetben előáll egy előzetes tervezési, anyagbeszerzési, logisztikai tervrendszer. A konstrukciós előtervezést számítógépes környezetben, 3 dimenziós tervező rendszerek segítségével valósítják meg, az előgyártmány beszerzéséhez szükséges anyagbeszerzési és logisztikai feladatokat szintén számítógépes programok által tervezik meg. Következő fázisban kerül sor a tényleges terméktervezésre, mely művelet során digitális formában előállnak azon véglegesnek tekinthető műhelyrajzok, összeállítási rajzok és robbantott ábrák, melyek használatával megkezdődhet a gyártási folyamat tervezési szakasz. A gyártási folyamat tervezés előtt sok esetben gyors prototípus technológiával előállítják a gyártmány első példányát. Ebben a fázisban a termék még nem képes maradéktalanul megfelelni a vevői elvárásoknak, sem anyagszerkezeti, sem konstrukciós szempontból (pl. bennszülött alkatrészek), azonban az összeállítás helyességének, a gyártmány várható alkalmazásának szempontjából már vizsgálhatóvá válik az egység. A gyártási



folyamattervezési szakaszban digitális környezetben kerül sor a megmunkálási műveletek és azok sorrendjének megtervezésére, a műveletelemek és műveletelem-sorrendek meghatározására, a gépválasztásra, a forgácsolási folyamatok során alkalmazásra kerülő szerszámok kiválasztására, a befogási tervek elkészítésére. Valamennyi feladatelem hatékony megoldása átfogó mérnöki ismereteket igényel, azonban a digitális gyártási szisztémának köszönhetően számos segítséget kaphat a gyártásterveket számítógépek környezetben előállító szakember. A szerszámgép választásnál például komplett digitális adatbázis áll a mérnök rendelkezésére, mely adatbázisból naprakész információkat kaphat a vállalatnál található gyártóberendezések mennyiségéről, minőségéről, jelenlegi állapotukról, vagy akár aktuális leterheltségéről is. A szerszámok kiválasztásánál is digitális háttér adhat tájékoztatást a jelenleg fellelhető megmunkáló eszközök számáról, típusairól, gyártóiról, geometriájáról, a szerszámmal megvalósítható technológiai paramétereikről, illetve a rövid határidővel beszerezhető további eszközökről.

Nagyon lényeges azonban látni, hogy a digitális gyártástudomány nem csupán a tényleges termékelőállítási műveletek előkészítéséből, megtervezéséből és a megvalósításból áll, hanem számos olyan feladat megoldására kell összpontosítani, amely a hagyományos értelemben vett gyártási folyamattervezési területeken nem szokványos. Alapvető fontosságú például, hogy a gyártással kapcsolatos helyi erőforrások általánosan és a teljes gyártási folyamat során összehangoltak legyenek. Ha az erőforrások nem elégségesek vagy az adott gyártó cég alapvető kompetenciája korlátozott, akkor partnerkeresést és gyártói kapcsolatokat kell létrehozni a feladat megoldásához. A digitális gyártási szisztéma alapján ezen a ponton termelési erőforrásokat terveznek és a gyártási folyamatokat figyelemmel kísérik annak biztosítására, hogy a termékek a meghatározott igények szerint valósuljanak meg. A gyártási folyamat hatékonyságának biztosítása érdekében először is meg kell szerezni a potenciális piacok termékigényeit, melynek érdekében össze kell gyűjteni a piaci információkat, elemezni az ügyfelek igényeit és élni a piaci lehetőségekkel. Ennek biztosítása érdekében, hogy a termék gyártási célja teljesüljön, a terméket gyorsan el kell indítani a piacon, miután elkészült, annak érdekében, hogy megfelelő piaci részesedéssel rendelkezzen és piaci előnyhöz jusson, melyből egyenesen generálódik a

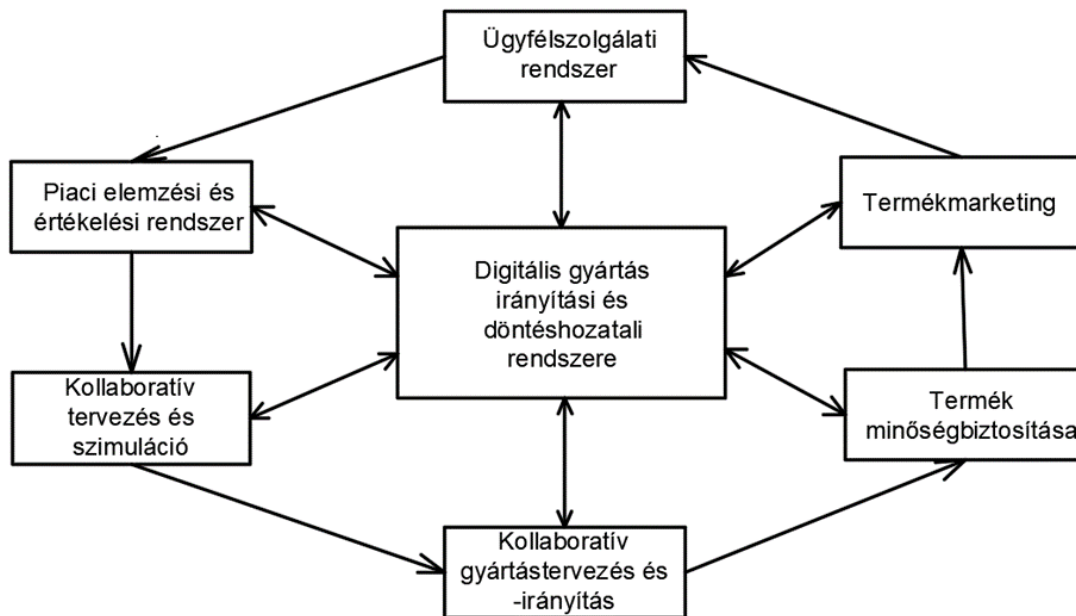


megfelelő profitráta megvalósulása. Ezen feladatok megvalósítása érdekében szükség van a marketingre és visszajelzési információk gyűjtésére a felhasználók számára, valamint a lehető legtökéletesebb termék-karbantartási és szervizmunkák támogatására.

A számítógépes hálózat fontos feltételeket biztosít a digitális gyártási rendszereken belül generálódó információk továbbításához, a gyártási erőforrások megosztásához és a gyártási rendszerek működésének optimalizálásához. A hálózati környezetben a digitális gyártási szisztéma nagyobb hangsúlyt fektet az alkotó egységek közötti koordinációra és együttműködésre, valamint a gyártási környezethez való független alkalmazkodásra, mint a hagyományos értelemben vett gyártási technológiák és irányítási környezetek. A digitális gyártási tudományban azonban az információáramlás megvalósításán túl nagy hangsúlyt kell fektetni a felügyeleti rendszerek és az automatikusan működő beavatkozó algoritmusok adatokkal történő komplex kiszolgálására, a magas hatékonyságú gyártás ugyanis jelenleg már elképzelhetetlen ezen egységek megfelelő működése nélkül.

A fenti folyamatokból látható, hogy a digitális gyártási rendszer nem egyszerű gyártási folyamat; számos olyan kapcsolatot is magában foglal, mint például az érintett piaci kereslet, gyártási szervezet, marketing és termék-karbantartás, informatikai háttér. Ennek okán nyilvánvaló, hogy a digitális gyártási rendszereknek a hatékony és stabil működésnek sok alrendszert kell tartalmaznia, ilyenek például a gyártást megvalósító cégek, cégek közötti szövetségek irányítását és döntéshozatalát, a piaci kereslet elemzését, a termék életciklusának tervezését és szimulációját, az együttműködésen alapuló gyártási menedzsmentet, a termékeket előállító berendezések folyamatos és hatékony ellenőrzését, a termékminőség-menedzsmentet, a termékmarketinget és az ügyfélszolgálatot irányító modul.

A fenti elemzések, valamint a valós ipari gyártási környezet alapján, a digitális gyártás működési módját bemutató blokkvázlatot, a digitális gyártástudomány egyes alrendszereit láthatjuk az 5. ábrán.



2-2.ábra: Digitális gyártási szisztéma működési módja [3]

A 2-2. ábra alapján az egyes alrendszerek feladatai a következők:

**Egyéni vagy szövetségi gyártás irányítási és döntéshozatali rendszere:** Az egész gyártó szervezet, komplex gyártási struktúra alapvető irányítási és döntéshozatali rendszere, amely felelős a vállalat műszaki és a műszaki oldallal kapcsolatos üzleti tervének, működésének, ellenőrzésének és karbantartásának kezeléséért. Tulajdonképpen ez az alrendszer adja a gerincét magának a szisztémának. Az „egyén” a legkisebb független gyártási egység, mely lehet gyártási részleg, önálló műhely, digitális alapokon dolgozó intelligens gyártóberendezés vagy független vállalkozás. A „szövetség” olyan szervezet, amely számos digitális gyártói egyénből áll, és megvalósíthatja a termék integrált funkcióját, teljes előállítását.

**Piaci elemzési és értékelési rendszer:** Elsősorban a piaci információk gyűjtéséért, a meglévő piaci termékek nyomon követéséért felelős, elsősorban az új piaci igények elemzése és megvalósíthatósági elemzések értékelése során.

**Kollaboratív konstrukciós tervezési és szimulációs rendszer:** Az új termék iránti kereslet, valamint a vevői igények alapján ez az alrendszer hangolja össze a gyártásban résztvevő cégek konstrukciós tervező egységeit és felhasználja saját alapvető kompetenciáit, előnyeit a közös és hatékony terméktervezés elérése érdekében. A



konstrukciós tervezésen túl ez az alrendszer felel a megtervezett termék szimulációjának és gyors prototípuskészítésének megvalósítása területén is. Az alrendszer esetében egyértelműen lényeges szempont, hogy az előbb említett műveleteket alacsony előállítási költség, az elérhető legjobb minőség és hatékony környezetvédelem szempontjából valósítsa meg [12].

**Kollaboratív gyártási folyamattervező és –irányító rendszer:** Ez a rendszer felelős a konstrukciós tervek, összeállítási tervek, valamint a különböző logisztikai és anyagszerkezeti információk alapján a termék komplex gyártási folyamattervének elkészítéséért. Szintén ezen alrendszer biztosítja a termelő vállalatnál található gépek és berendezések beszerzésével, működtetésével, ellenőrzésével kapcsolatos tevékenységeket. Az alrendszer további feladatai közé tartoznak a gyártási folyamat sorrendiségét meghatározó elsődleges és másodlagos optimalizálási műveletek [13].

**Termék minőségbiztosítását megvalósító rendszer:** Ezen alrendszer felelős a termékek minőségével kapcsolatos elvárások felderítéséért, az ehhez kapcsolódó adatgyűjtésért, valamint adatkezeléséért, mely műveletek elősegítik a minőségi termékek piacra jutását. A minőségi elvárásokon belül megkülönböztethetünk mérethelyességet, felületi minőségi helyességet, termék várható élettartamával kapcsolatos elvárásokat és egyéb minőségbiztosítási eseteket.

**Termékmarketing rendszer:** Ez az alrendszer felelős a termékmarketing-stratégia megfogalmazásáért és végrehajtásáért, valamint a termékek kereskedelmi forgalomba hozataláért, a legnagyobb értékesítési hozam elérése és a termékgyártás céljának elérése érdekében.

**Ügyfélszolgálati rendszer:** Ezen alrendszer felelős a termékek működési élettartama során felmerülő karbantartási feladatok megvalósításáért, valamint a termékek helyes használatával kapcsolatos tájékoztatásért, de ugyanezen rendszer felel a piaci hírnév megszerzéséért és a termékek társadalmi előnyeinek előmozdításáért is. Az alrendszer által gyűjtött információk további előnye, hogy akár bemenő paraméterként is funkcionálhatnak egy új termék piaci elemzésében.

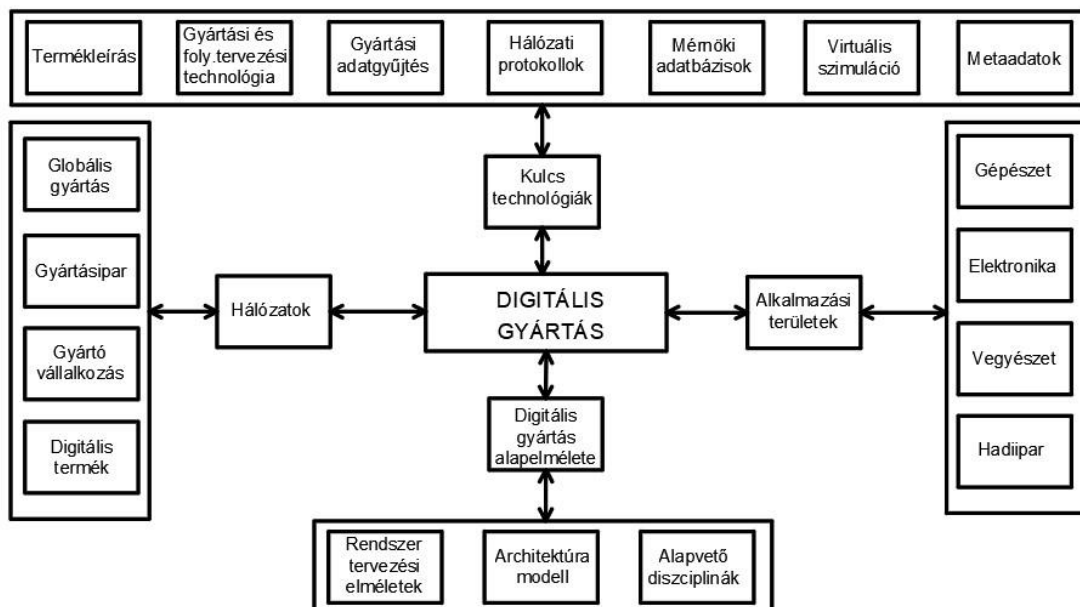
Az 2-2. ábrán látható blokkvázlatban az alrendszerek általánosságban véve a digitális gyártási rendszeren belül függetlenek, azonban a valóságban az egyes alrendszerek és az alrendszerekben megvalósuló feladatok, műveletek egymáshoz kapcsolódnak és



bonyolult informatikai rendszert alkotnak. A digitális gyártási rendszer működési struktúrájának stabilnak, nyitottnak és robusztusnak kell lennie ahhoz, hogy megfeleljen az állandóan frissítendő technológiai fejlesztéseknek. Ezért a teljes rendszer architektúra-modelljének összeállításánál ezen gondolatokat mindenképpen figyelembe kell venni, továbbá meg kell alkotni egy ésszerű szervezeti modellt, működési és kontroll modellt egyaránt.

A digitális gyártás formai háttéréről, a digitális gyártás meghatározásáról és konnotációjáról, valamint a digitális gyártási rendszer működési szisztémájáról könnyen megállapítható a digitális gyártási rendszer architektúrája, amely magában foglalja a digitális gyártási tudomány alapvető elméleteit, a digitális gyártási technológia legfontosabb technológiáját, digitális gyártás hálózatot és az alkalmazási területeket egyaránt. A digitális gyártási rendszer architektúráját a 2-3. ábra mutatja.

Az ábrán látható, hogy a digitális gyártástudomány kulcstechnológiái közé tartozik az úgynevezett termékleírási technológia, a gyártási folyamattervezési és –irányítási technológia, a gyártási adatgyűjtés, -tárolás és –feldolgozás technológiája, a különböző hálózati protokollok és technológiák, a mérnöki adatbázis technológiák, a virtuális szimulációs technikák, valamint a metaadat-technológia.



2-3. ábra: A digitális gyártási rendszer architektúrája [forrás: Fundamentals of Digital Manufacturing]



A digitális gyártástudományhoz szorosan kapcsolódó kulcstechnológiák részei, feladatai [14]:

**Termékleírási technika:** egy digitális leírási formát jelent a termékinformációk szempontjából. Ilyen tipikus, általánosan alkalmazott leírási szintaxis például a STEP formátum, mely egyre inkább elfogadott szabványként van jelen a konstrukciós tervezési és gyártástervezési területeken egyaránt.

**Gyártási és folyamattervezési technológia:** magába foglalja azon digitális gyártástervezési megoldásokat, melyeket az általános értelemben vett gyártástudomány során is alkalmaznak, használnak. Ezen túl, ez a technológiai modul gyűjti az információkat a megmunkálások során generálódó megmunkálási környezetváltozásokról is. Ilyen változási paraméter lehet például a szerszámkopások mértéke, a karbantartási idők és azok tervezése.

**Gyártási adatgyűjtés, -tárolás és -feldolgozás technológiája:** ez a technológia foglalja össze a komplex gyártási folyamathoz tartozó tudást, mely tudáshoz köthető információkat folyamatosan gyűjti, tárolja és ajánlásokként alkalmazza.

**Hálózati protokollok és technológiák:** a hálózati támogatási technológiára utal, amely garantálja az együttműködő informatika rendszer tervezését és működtetését távoli, heterogén környezetekben. A területen beszerezhető megoldások közül a „grid” hálózati technológia a leghatékonyabb, amely alkalmazza és fejleszti a hálózati technológiát, garantálja a hálózati erőforrások függetlenségét, valamint az alkalmazások hatékony és biztonságos megosztását.

**Mérnöki adatbázis technológiák:** A mérnöki adatbázisokat számos helyen fel lehet használni a digitális gyártási szisztémában. Gyakorlatilag a folyamatosan töltődő mérnöki adatbázisok alkalmazásával valósulhat csak meg a valós digitális gyártás és az öntanuló rendszerek használata.

**Virtuális szimuláció technológiája:** A technológia részét képezi a konstrukciós tervezési szimuláció, a szerszám-pálya generálást követő digitális megmunkálási tervezés, valamint a gyorsprototípus-gyártás során alkalmazott szimulációs környezet. A metaadatok segítségével érti meg egy hálózat az adott adathoz tartozó elsődleges célt, alkalmazási lehetőségeket



A digitális gyártási tudományhoz szorosan kötődő „valós hálózatok” egységen belül értjük a gyártási folyamat megtervezésének és megvalósulásának különböző hálózatokkal való megsegítését. Ez a támogatás kihat a teljes digitális gyártási életciklusra. A globális hálózatok, mint például az Internet, kiváló lehetőség ad arra, hogy az egymástól akár több ezer kilométerre lévő gyártóbázisok, vagy akár különálló cégek hatékonyan tudjanak egymással együttműködni, a digitális alapokon generálódó tervezési és gyártási információk átadása pedig ezen hálózatokon gyorsan és egyszerűen valósulhat meg. Ezekkel a hálózatokkal lehet nyomon követni továbbá a termék gyártási életciklusán túl akár az üzemeltetési ciklusát is, az üzemeltetési életciklus nyomon követésével és például a karbantartások idejének és műveleteinek pontos detektálásával pedig akár egy irányított karbantartási becslést is adhatunk.

Az „alkalmazási területek” modulnál látható, hogy a digitális gyártástudomány valóban egy kiemelten interdiszciplináris terület, ugyanis egy hatékony digitális gyártástervezéshez elengedhetetlen a megfelelő gépészeti, elektromos, vegyészeti, könnyűipari és egyéb tudományok átfogó ismerete.

### **2.3.A digitális gyártás modellezési rendszere**

Mivel a digitális gyártási rendszer összetett rendszer, nehéz a hozzá tartozó globális folyamatrendszert pontos modell segítségével leírni. A területen található tudományos publikációk alapján látszik, hogy a digitális gyártási rendszer jellemzőit tükröző absztrakt modell több szempontú modellezési szisztéma alkalmazásával írható le és mutatható be.

A digitális gyártási rendszer általános megértése érdekében elemezni kell egy termék teljes életciklusát. Első fázisban a piaci követelménynek és elérendő célok alapján meghatározzák a kifejlesztendő, előállítandó termék várható értékét. Ezt követően kerül sor a termék előállításával kapcsolatos technológiák és elérhető források elemzésére. Amennyiben ezen tervezési, előkészítési fázis során azt tapasztalják, hogy az új termék gyártására vonatkozó alapvető kompetencia nem teljesen megvalósítható az adott cégen belül, egy megfelelő gyártási partnerrel létrehoznak egy úgynevezett virtuális gyártási szövetséget. A megfelelő kompetencia háttér kiépítését követően valósul meg a termék konstrukciós tervezése, virtuális tesztelési környezetben történő szimulálása és egy, vagy több termékprototípus gyártása. Ezen lépések végén a



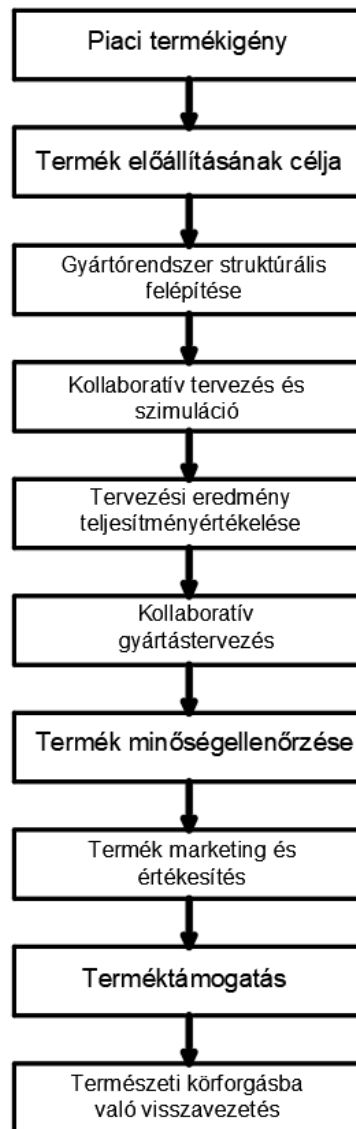
szimulációs és prototípus egységek alapján az eredményeket a kielégítendő igényeknek megfelelően kiértékelik. A konstrukciós tervek és a hozzá kapcsolódó szimulációk kiértékelése után készülnek el a gyártási folyamattervek, az általános gyártási szisztémákkal korreláló alapokon. A gyártástervek alapján megtörténik a termék nullszériájának előállítása, mely széria ezt követően egy alapos minőségellenőrző folyamaton megy keresztül. Végül, amikor a termék forgalomba kerül és megvalósul az értékesítése, a karbantartási és szerviz szolgáltatásokat a felhasználók igényeinek megfelelően kell biztosítani mindaddig, amíg a termék piaci céljai befejeződnek. Egy termék életciklusa a 2-4. ábrán követhető nyomon.

Az előző bekezdésben foglaltakat figyelembe véve levonhatjuk a következő kulcsfontosságú tényezőket:

Feltételezzük, hogy a piaci termékigény a rendszer inputja, és a kimenet a várható termékprofit.

Amennyiben feltételezzük, hogy a rendszer legfontosabb összetevő elemei közé tartoznak a virtuális gyártási szövetség tagjai, a digitális gyártási rendszer fő architektúrájának működtetésére szolgáló hálózati támogató berendezések, a hálózati támogató berendezések üzemeltetésére szolgáló irányítási szoftverek, általános ismeretek (beleértve az adatok, információk, szabályok, módszerek összességét) és a digitális gyártás elosztott erőforrásai, akkor a digitális gyártási rendszer szervezetének, működésének és irányításának bármelyike a fenti elemek egy bizonyos kombinációját jelenti.

A fenti elemzés alapján a digitális gyártási rendszer általános meghatározása is megvalósíthatóvá válik.



2-4. ábra: Egy termék teljes életciklusa

A digitális gyártási rendszerek függőségének általános formuláját a [1] alapján a következő egyenlet írja le:

$$DMS = \{U, M, T, E_q, E_s, K_w, R_E, D_T, P, G\}$$

A formulában található – a modellezés szempontjából kulcsfontossággal bíró - paraméterek értelmezései:

- „U” a piaci kereslet



- „M” a gyártási szövetség tagjai
- „T” a termékgyártás célcsoportja
- „Eq” a rendszer futó platformjának hálózati támogató egysége
- „Es” a hálózati támogató berendezések szoftvercsomagja
- „Kw” az általánosított tudás halmaza
- „RE” a termékgyártási erőforráskészlet
- „DT” a digitális rendszerek működését támogató technológiacsomag
- „P” a megközelítési probléma megoldása
- „G” az értékelési funkciók halmaza

A formula által leírt modellben található részhalmazok által létrehozott elemek különböző további részhalmazokat hozhatnak létre, és az alcsoportok közötti kapcsolatokat az alrendszerek különböző struktúráiba lehet összeállítani. A digitális gyártási rendszer egy komplex nagyszabású rendszer, melynek számos optimalizálási célja van, ezért azt a rendszertudomány szemszögéből érdemes leírni és tanulmányozni. A fenti modell azt mutatja, hogy a digitális gyártási rendszer két vagy több elemből (alrendszerből) áll, amelyek egymástól különbözőek, azonban egyértelműen összefüggenek egymással. Ezek a korrelációk alkotják a gyártási rendszer szerkezetét, amely meghatározza a rendszer sajátosságait. Továbbá a fenti általánosított modell biztosítja a rendszer irányíthatóságának, hozzáférhetőségének és stabilitásának megszerzésére vonatkozó elemzési alapot.

A fent leírt modell néhány fontos következtetést is tartalmaz. Elsőként azt, hogy a rendszer szervezeti felépítésének modelljét a létrehozott rendszer kulcselemeinek megfelelően kell kialakítani, és fokozni kell a menedzsment hatékonyságát azáltal, hogy elszakadnak a szervezeti struktúra konzervatív irányítási módjától. Másodsor, a rendszer nyitottságának és kompatibilitásának erősítése érdekében a hierarchikus struktúra szerint a rendszerértékelést, a döntéshozó funkciót, a rendszerirányítási folyamatot, valamint a tudásrendszert különböző szinteken kell kezelni. Harmadszor, a működési és ellenőrzési struktúra modellnek párhuzamosan kell alkalmaznia a többfunkciós alrendszer futtatását a rendszer stabilitásának és működési hatékonyságának javítása érdekében. Negyedszer, az információs erőforrásokat

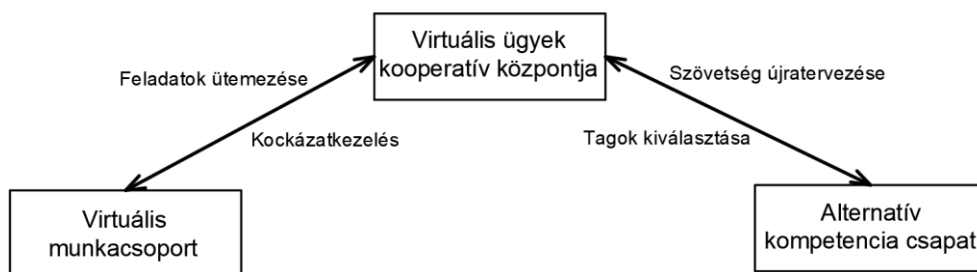
egységes formában kell megtervezni és kezelni, ugyanis a hagyományosan alkalmazott megoldások független hozzáférése és kezelése megváltozik annak érdekében, hogy az erőforrásokat teljes mértékben kihasználja.

### 2.3.1. Digitális gyártási rendszerek organizációs modellje [15]

A digitális gyártási rendszer általánosított modellje szerint az organizációs modellnek a konstrukciós rendszer kulcsfontosságú elemeivel és a digitális gyártási rendszer működési jellemzőivel összhangban kell lennie annak érdekében, hogy megfeleljen a stabilitás, a megbízhatóság, az operációs és irányítási rendszer bővíthetősége és a nagyfokú hatékonyság igényének.

A digitális gyártási rendszer alkotóelemei: gyártási cél, személyzet, gyártási források, támogató berendezések és technológiák az operációs rendszer platformjára, általános tudásrendszerekre stb. A termékre vonatkozó követelményrendszert először a piac elemzésével hozták létre, amely után a vevői igények alapján, a gyártási célnak megfelelően a kompetenciák harmonizálásra kerülnek. Az elérhető kompetencia birtokában az egyes gyártási források ütemezése tudományos irányítási módszerrel történik, a hálózati technológia és a hálózati környezet támogatásával. A fenti műveletek megvalósulását követően elérhetjük a rendszergyártási célokat. Ezen cél eléréséhez a legfontosabb elemek a személyzet, a tudás és a hálózatok. Továbbá, a digitális gyártási rendszer szervezeti felépítésének tükröznie kell a korszerű gyártási rendszerek jellemzőit is, melynek alapja a fejlett gyártási technológia és szerkezet. A fejlett gyártási rendszerek közös jellemzői, hogy rugalmasak, párhuzamosak, agilisek, továbbá hogy hatékonyan és stabil módon működnek.

A digitális gyártási rendszerek kétrétegű organizációs struktúramodelljét lehet látni a 2-5. ábrán.



2-5. ábra: Digitális gyártási rendszerek organizációs struktúramodellje



A 2-5. ábra híven tükrözi a rendszer rugalmasságát, átkonfigurálhatóságát és mutatja be jellegzetes hálózatait. Az organizációs modell dinamikusan válaszol a szervezeti struktúrák változására, továbbá nincs olyan rögzített, általános és konzervatív eleme, mely a hagyományos gyártó szervezeteket jellemzi. Az új struktúra magában hordozza a rendszer gyors reagálásának lehetőségét. Az ábrán szereplő legfontosabb összetevők magukban foglalják a virtuális szervezet kulcsfontosságú elemeit, továbbá megtestesítik a virtuális szervezet jellemzőit. A modellben szereplő kulcselemek feladatai:

**Alternatív kompetencia csapat:** A csapat tagjait a virtuális gyártási szövetség vezetősége választja ki, mely tagokat az egyes ajánlattevő gyártó szervezetek terjeszthetnek fel, az alapvető kompetenciák által meghatározott szakmai területek támogatására. Ezen jelöltek az alapkompenciáknak megfelelően csapatokba osztják be, majd minden egyes részfeladathoz egy vagy több jelöltet választanak ki és az optimális kombinációt a feladat különböző tulajdonságai alapján készítik el. A kiválasztási metódus eredményeként létrejön egy virtuális munkacsoport. Az alternatív kompetencia csapatnak képesnek kell lennie arra, hogy a legfontosabb munkafolyamatok során kezelni tudja az esetleges felmerülő kockázatokat, lépni tudjon a problémás ügyekben, megoldást tudjon találni a generálódó negatív esetekre. A csapat további nagyon fontos szerepe, hogy felelős a belső és külső hálózatok létrehozásáért és fenntartásáért, valamint a külső vállalkozásokkal való kapcsolatfelvételért.

**Virtuális munkacsoport:** Ez az a munkacsoport, amely az alternatív kompetencia csapatból választott tagok aktuális kombinációjától függően, a digitális gyártási folyamat valamely lényeges, kiemelt prioritású szakaszában a lokális feladatok megoldásáért felelősek. Az adott feladat befejezése után a virtuális munkacsoport feloszlik.

**Virtuális ügyek kooperatív központja:** A „Virtuális ügyek kooperatív központja” a virtuális gyártási szövetség menedzsment osztálya, amely felelős az „Alternatív kompetencia csapat”, a „virtuális munkacsoportok” és az egész szervezőhálózat koordinálásáért, ellenőrzéséért és irányításáért, valamint a külső kapcsolatokért.

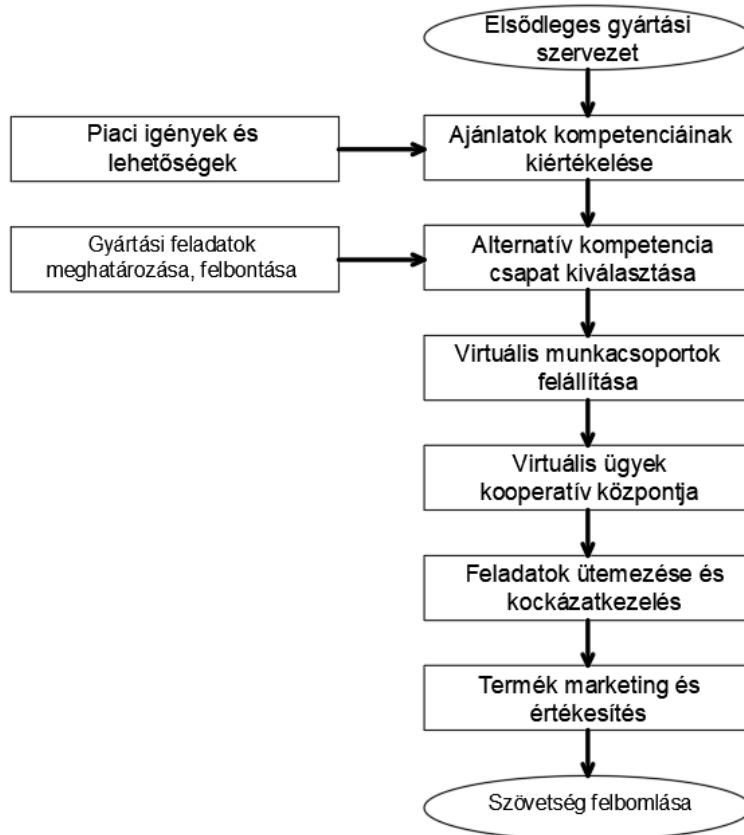
Egy termék komplex előállításához tehát számos esetben nem elegendő a gyártást elvállaló vállalat kompetenciája és/vagy kapacitása. Ebben az esetben virtuális gyártási





szövetségeket köt az üzem azon más vállalatokkal, amelyek hatékonyan egészítik ki az anyacég kompetenciáit. Egy virtuális gyártási szövetség megszervezésének és létrehozásának gondolata a digitális gyártási rendszerek organizációs modelljében a következő:

A termékpiac iránti kereslet, vagy piaci lehetőségek felmérését követően a virtuális gyártási szövetség várható vezetője (aki a termék előállításának irányítását elvállalja és várhatóan a legnagyobb kompetencia hányadot fogja képviselni a szövetségben belül) a gyártópiaci lehetőségek elemzését követően az internetes partnerek irányába felkéréseket terjeszt fel az együttműködés érdekében. Miután megkapta a partnerek válaszait, a szövetségi vezető értékeli saját alapvető kompetenciáit, majd a várható szövetségesek kompetencia elemeinek elemzését követően megalkotja az alternatív kompetencia csapatot. A kompetencia csapat felállítását követően a prioritást élvező szakmai területekre, várható felmerülő problémákra kidolgozza a virtuális munkacsoportok felépítését, megválasztja tagjait. Ezen munkacsoportok, az alternatív kompetencia csapat, valamint a gyártási szövetség koordinálásához pedig kiépítésre kerül a virtuális ügyek kooperatív központja. A termék digitális gyártási folyamatának megalkotásakor az alternatív kompetencia csapat felelős a feladatok ütemezéséért, a virtuális munkacsoportok koordinálásáért, a hálózatkezelésért, a kivételek kezeléséért, valamint felügyeli és kezeli a szövetség kockázatát. Az alternatív kompetencia csapatnak van tehát a legkomplexebb feladata a digitális gyártástervezési folyamatban, így a csapatot alkotó megfelelő tagok kiválasztása nagyon lényeges feladat és nagy felelősséggel járó döntés. Az egyes részterületekhez kialakított virtuális munkabizottságok munkájuk végeztével feloszlanak, valamennyi szakember visszatér az alternatív kompetencia csapatba és ügynevezett készenléti állapotba kerül. Ez a készenléti állapot akkor szűnik meg, amikor egy új feladat generálódik és a problémák megoldásához ismét kiválasztják, mint az adott területhez értő szakembert. A virtuális gyártási szövetség működési folyamatát a 2-6. ábra jeleníti meg.



2-6. ábra: Virtuális gyártási szövetség működési folyamata

### 2.3.2. A digitális gyártási rendszer funkcionális modellje

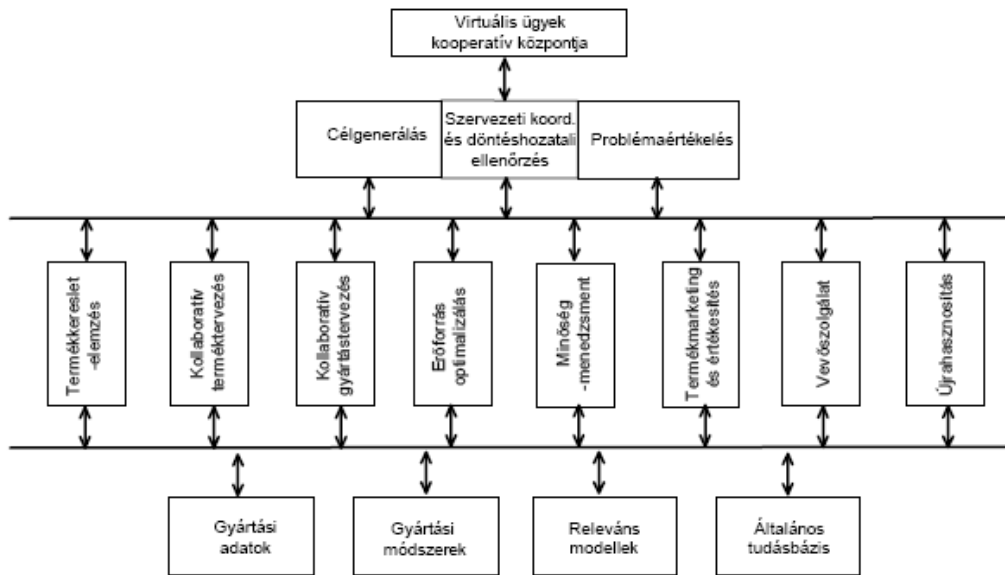
A digitális gyártási rendszer funkcionális modellje a digitális gyártási rendszer kötelező funkcióinak és követelményeinek átfogó elemzésére, a különböző funkciók közötti kapcsolat tisztázására és a rendszer konkrét tervezésének és megvalósításának közvetlen irányításának megismerésére alkalmas. A termékelőállítás teljes életciklusa szerint a digitális gyártási rendszer általános funkciómodellje az integrált modellre alapozva validálható a rendszertudomány hierarchiaelmélete alkalmazásával.

Az alapmodell felépítési ábrája alapján látható, az egész digitális gyártási rendszer tulajdonképpen nem más, mint a különböző felmerülő problémák megoldásának rendszere. Ebben a rendszerben a bevétel az új termékek piaci igénye, míg a kibocsájtás az új termékek előállításával nyert előnyrendszer. A külső bemeneti információk megszerzése után a rendszer által generált, integrált gyártási megoldást az általánosított tudásrendszeren keresztül lehet meghatározni, a berendezést támogató operációs platformok, technikák és gyártási erőforrások segítségével. A termék teljes életciklusára



optimális szervezeti és működési rendszert az értékelési térben a rendszerértékelési szabályok szerint határozzák meg. A problémák megoldásának folyamatát le kell bontani a különböző funkcionális alrendszerekre, amely rendszerek teljesítik a termék különböző szakaszokban történő előállításához tartozó feladatokat. A rendszerek hierarchiájának elmélete szerint a probléma generálásának, az eredmények értékelésének és a problémák szervezésének, döntéshozatalának, valamint ellenőrzésének funkcióit a rendszer felső szintjére kell helyezni, és a problémák megoldásának alfunkcióit ezen szint útmutatásai szerint kell kialakítani. Továbbá a problémák megoldásához és az értékeléshez szükséges alapadatoknak, módszereknek és ismereteknek az adott rendszerhez tartozó, a célhoz köthető általános tudásbázisból kell származniuk, beleértve az adatbázist, a modellalapot, a konkrét tudásbázist és a már meglévő sikeres döntéshozatali rendszereket és információs bázist. A modellben a szervezatközpont és a tagok egyaránt felhasználók, akik csatlakoznak az egyes funkciók működéséhez és végrehajtásához, a rendszer interakcióján keresztül. Ezen elgondolások és szabályok alapján a digitális gyártási rendszer – az integrált működési követelményekkel és feladatokkal kombinálva - általános funkcionális szervezeti modellje a 2-7. ábrán látható.

A digitális gyártási rendszer funkcionális modelljének központi eleme a „Virtuális ügyek kooperatív központja” modul. A 2-7. ábrán található funkcionális modell három fő szintre tagolódik. Az első szint a virtuális ügyek kooperatív központja és a digitális gyártási szövetség tagjai által alkotott rendszerkezelő szint. A kooperatív központ átveszi a teljes rendszer feladatelosztását és koordinációjáért felelős irányítását három, a „célgenerálás”, a „szervezeti koordináció és döntéshozatali ellenőrzés”, valamint a „problémaértékelés” alrendszereken keresztül. A második szinten található alrendszerek alapján a digitális gyártási szövetség tagjai teljesítik a saját területükhöz kapcsolódó feladatokat. A második szint tehát egy olyan problémamegoldó szint, amelyet a termék tervezésével, gyártásával és kezelésével kapcsolatos alrendszerek alkotnak, mely alrendszerek párhuzamosan működnek és az első szinten meghatározott feladatokat látják el. A harmadik szint a gyártási adatok, a gyártási módszerek, a releváns modellek, valamint a menedzsmeni tudás tárolására használt általánosított tudásrendszer.



2-7. ábra: Digitális gyártási rendszer funkcionális modellje

### 2.3.3. A digitális gyártási rendszer információs modellje

A digitális gyártási rendszerhez tartozó információs modell megalkotásának és alkalmazott felépítésének célja az ésszerű és kényelmes információtárolás és –kezelés, az organizációs modellben megtervezett logika alapján. Jelen modellben az információkezelés két szinttel rendelkező irányítási struktúrát alkalmazhat: a tagok információinak interdomain kezelését, valamint az erőforrások információinak tartományon belüli kezelését. A modellben a „domain” definíció szerint olyan irányító csomópontokra utal, amelyek koordinálják és szabályozzák a hálózati tagok csomópontjait, és amelyek forrásokat biztosítanak a virtuális gyártási szövetség számára.

A domáink közötti információkezelés a tagok domain csomópontalapadatainak kezelését jelenti, amelyet egy ügynevezett kezelési csomópont valósít meg és az egész rendszer egy virtuális szervezetet, egy logikai formát képez, a fenti információkezelésnek megfelelően. Ennek megfelelően az egész rendszer egységes tervezése és működtetése kényelmesen elvégezhető. Nyilvánvaló, hogy a felügyeleti modulnak kell kezelnie a különböző tagokhoz tartozó alapszintű információkat, például a QoS információkat, a regisztrációs adatokat, a megbízhatósági besorolásokat. Mindeközben

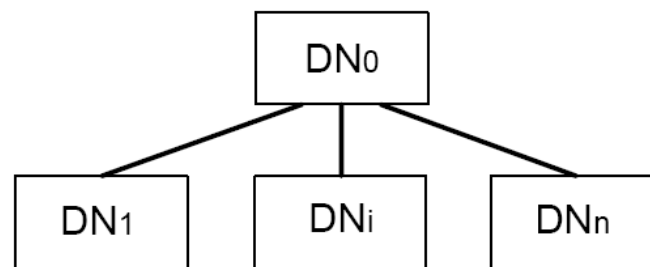


valamennyi szintnek használnia kell az alapvető kezelési adatokat, megkönnyítve a tagok domain- és kezelési tartományának azonosítását, valamint a rendszerinformációk továbbítását.

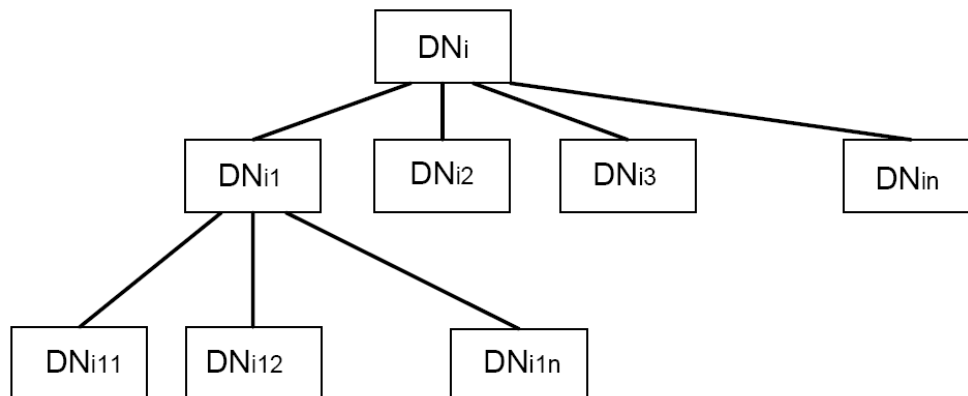
A domainen belüli információkezelés lényege, hogy a kezelési tartománynak és a tagtartománynak saját forrásukat is kezelniük kell. A tag-domain elsősorban a tartományon belüli erőforrás-entitás információit kezeli. Mivel a digitális gyártási szövetség egy tagjának a virtuális szövetség számára biztosított erőforrás-egysége különböző típusú lehet, a rendelkezésre álló erőforrás-egységet az egész rendszer erőforrásainak csoportosítási kritériumai szerint kell besorolni és kezelni annak érdekében, hogy az megfelelően reagálhasson a domain csomópontához tartozó menedzsment műveletekre. A gazdálkodási területen belüli információkezelés során a teljes virtuális szövetségi rendszer erőforrás-információit teljes egészében menedzsmenti elemnek kell tekinteni, ezért az egész rendszer erőforrásait osztályozásnak és kezelésnek kell alávetni, egy erőforrás-osztályozó segítségével.

A digitális gyártási rendszer információkezelésének funkcionális követelményei szerint a tartományon belüli információszerkezeti modellt egy kétrétegű irányítási struktúra rendszerben lehet kialakítani, mely rendszer alkotja tulajdonképpen a digitális gyártási rendszer tényleges információszerkezeti modelljét. Ezen modell az alapja az adatszerkezet tervezésnek és ez a modell tárolja a rendszer specifikus információit, amint ez a 2-8. és 2-9. ábrán is látszik. A tartományok közötti információkezelés kétrétegű fa típusú szerkezeti modelljét a 2-8. ábrán láthatjuk, amely a kezelődomain csomópontból (DN0) és a tagok tartományi csomópontjaiból (DN1 ... DNn) állnak. Ez a struktúra a teljes rendszerben megjelenő információs halmazok kezelésére szolgál, mely halmazokat a „Virtuális ügyek kooperatív központja” modul információs központjában tárolnak. A 2-9. ábra a tartományon belüli információszerkezeti modellt és a DN<sub>i</sub> a tartományinformációs struktúra gyökércsomópontját mutatja be. Az információs osztályozás minden nagy kategóriája tovább osztható a következő kategória csomópontjainak, valamint az információs tulajdonságok hasonlósága szerinti alcsoportokra. A háromtagú struktúrában levő csomópontok megfelelnek az információs entitásoknak és minden csomópont egy csomópontnévből és annak attribútumaiból áll, amelyek az információs entitások összetett tartalmát reprezentálják. A tartományon

belüli információszerkezeti modell egyidejűleg alkalmazkodik a kezelési tartományhoz és a tagok tartományaihoz. Az előbbi az információs osztályozási szabványnak megfelelően kezeli az egész rendszerben generálódó információkat, míg az utóbbi csak az erőforrások megfelelő kezelését végzi, amelyeket a szövetség tagjai a rendszerinformáció-besorolás szerint támogatnak és engedélyeznek az egész szövetség számára.



2-8. ábra: Tartományok közötti információkezelés fa struktúrája



2-9. ábra: Tartományokon belüli információszerkezeti modell

A 2-8. és 2-9. ábrákon található információs modellen belül az alábbi műveleteket lehet megvalósítani és szabályokat alkalmazni:

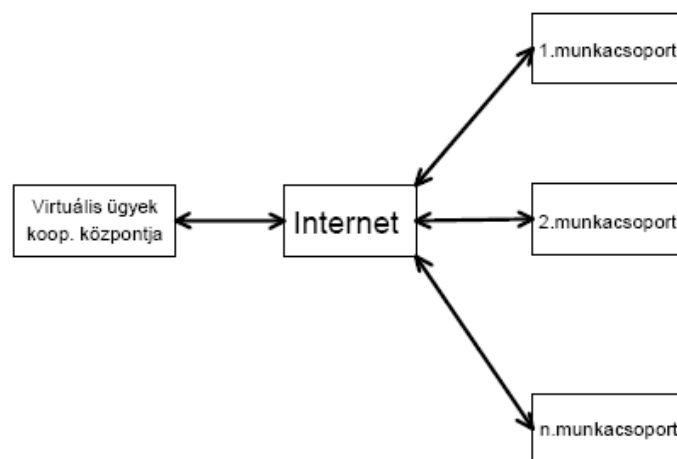
- Információcsomó hozzáadása és törlése egyszerű. Ha egy csomópontot hozzáadunk és/vagy törlünk, akkor nincs hatása más csomópontok állapotára.

Ezért a csomópontok könnyen csatlakozhatnak és kiléphetnek, ami garantálja, hogy a rendszerfunkciók zavartalanul átszervezhetőek.

- Egy információs csomópont egyszerű megváltoztatása. Ha egy csomópont a másik gyökércsomópontra transzponálódik, alcsomópontjai nem lesznek megváltoztatva, ami biztosítja az adatszerkezet integritását.
- A korábbi adatok statisztikáit és elemzését nem befolyásolja a csomópontok változása. Ha egy csomópont megváltozik, a csomópontok múltbeli adatai még mindig az eredeti alrendszerhez tartoznak, ezért a statisztikai elemzés eredményeit nem befolyásolja.

#### 2.3.4. A digitális gyártási rendszer működési és irányítási modellje

A digitális gyártási rendszer kétszintű réteggel rendelkező szervezeti modellként aposztrofálható, mely rétegeket a „virtuális ügyek kooperatív központja”, illetve a „virtuális munkacsoportok” használják. A két szintű információs modell egyes elemei között nagyszámú internetes csomópont található annak érdekében, hogy a kommunikáció és az irányítás a lehető leghatékonyabban és leggyorsabban megvalósulhasson. A digitális gyártási rendszer egyszerűsített működési és irányítási modelljét a 2-10. ábrán láthatjuk.



2-10. ábra: Digitális gyártási rendszer működési és irányítási modellje



Az ábrán szereplő központi internetes hálózat egyes platformjai hatékonyan elhelyezhetőek mind a központhoz tartozó irányító bázison, mind az egyes munkacsoportok és a csoportokon belüli tagok székhelyein. Nagyon lényeges szempont az internetes kapcsolódás adatbiztonsága, mely védeni tud a külső beavatkozások, adathalászatok ellen.

A digitális gyártási rendszer működési és irányítási modelljének megalkotásánál előtérbe kerültek a multiágens rendszerek alkalmazása. A multiágens rendszerek (multi-agent system, MAS) alkalmazásával korábban számos területen hatékonyan dolgoztak ki a fejlesztők különböző modellezési rendszereket. Egy multi-ágens rendszer tagjai folyamatos interaktív kapcsolatban állnak, kommunikálnak egymással, megosztják az információikat. A multiágens rendszerben egy-egy tag csak részfeladatokat tud végezni, mivel a feladat egészéhez szükséges összes adat és módszer nem áll egyetlen adott tag rendelkezésére. Így a közös tudásukat felhasználva, cselekedeteiket összehangolva oldanak meg összetett feladatokat. Kommunikációjuk és koordinációjuk azért létfontosságú, mert a teljes rendszerre vonatkozó ismeretek és célok hiányában tevékenységük kaotikussá válna. Ezen struktúrák igazán hatékonyan dinamikusan változó környezetben működnek. Az ágenstechnológia jelenét és alkalmazhatóságát az ágensek egyéni és rendszerszintű interaktív képességeinek, valamint a multi-ágens rendszerek hatékonyságának folyamatos növelése határozzák meg. A hálózatok, és a nyílt, elosztott rendszerek terjedése megváltoztatják a számítógépes feladatok megoldásának módjait. Egymástól független, viszonylag egyszerű egyedek tömegesen képesek együtt dolgozni. Az alkalmazások részletes újraírása nélkül, módosítható és újjáépíthető (flexibilis) rendszert alkotva kooperálnak és ha ellenérdekeltek, versengenek.

Az ágens alapú műveleti struktúra a következő jellemzőkkel rendelkezik:

- A centralizáció és az elosztás kombinációja: A „virtuális ügyek kooperatív központja” alkalmazza az elosztott architektúrát, amely a hálózat egyik csomópontja, de a teljes digitális gyártási rendszer logikusan alkalmazza a centralizált menedzsment gondolatát is. Más szóval, a „virtuális ügyek kooperatív központja” felelős az erőforrások és a virtuális vállalkozások feladatainak egységes kezeléséért, és a szövetség tagjai is rendelkeznek saját





menedzsment platformokkal, amelyek felelősek a helyi erőforrások és feladatok egységes kezeléséért és végrehajtásáért. Ennek a struktúrának a jellemzői nemcsak a Virtuális ügyek kooperatív központjának átfogó ütemezéséhez alkalmasak, hanem a szövetség tagjainak független működéséhez is előnyösek.

- A rendszerirányítás hierarchiája és a csomópontok működése: Az egész rendszer egy hierarchikus menedzsment jellemzőjével rendelkezik, amely összhangban áll a műveleti csomópontok hierarchiaszégmensében kifejezetten jellemző funkciófüggvény-struktúrával. A „virtuális ügyek kooperatív központja”, valamint a digitális gyártási szövetség tagjai két rétegre vannak felosztva annak érdekében, hogy aktualizálják a működés menedzselését. A kooperatív központ működési csomópontjában a kooperatív központ vezetésének felső szintje található, amely felelős a külső kapcsolatfelvételért és a belső funkciók ütemezéséért. Az egyéb funkciós ágensek az alsó szinten helyezkednek el, és a rendszer specifikus funkcióit teljesítik. A fő ágens ügynökség a szövetségi tag csomópontjain belül található, és felelős a tag csomópontok külső kapcsolatainak és belső működésének kezeléséért. A többi funkciós ágens az alsó rétegben helyezkedik el, ők felelősek további specifikus funkciók végrehajtásáért. A hierarchikus struktúra világos és pontos annak érdekében, hogy az egész rendszer könnyen kezelhető legyen.
- Nyitottság: Mivel a rendszer elfogadja az elosztott hálózati csomópontok működését, a szövetség tagjai könnyedén hozzáadhatók vagy törölhetők a rendszer átszervezése közben, mely által növekszik az egész rendszer stabilitása.
- Karbantarthatóság: Minden csomópont és lokális rendszer önálló modulként futtatható a multiágens technológiának köszönhetően. Ezért a megfelelő funkció-ágens diagnosztizálható és elemezhető a rendszer karbantartásakor, ami egyértelműen növeli a rendszer robusztusságát.



## **2.4.A digitális gyártási koncepció alkalmazása a termék előállítási folyamatokban**

A digitális gyártás a különféle diszkrét, szisztematikus, dinamikus, nemlineáris és időben változó szempontok gyártási folyamatainak, felszerelésének, technológiájának, szervezésének, menedzselésének, marketingjének és szabályozásának kutatásával foglalkozik. Egy kutatási folyamat azonban csak abban az esetben lehet igazán hatékony, ha az elméleti vizsgálatok eredményeképpen az ipari gyakorlatban alkalmazható technológiákat és megoldásokat fejlesztenek a mérnökök. A digitális gyártási szisztéma ipari gyakorlatban történő alkalmazásánál, az elméleti kutatás sokrétűségének megfelelően, számos összetett problémát kell megoldani ahhoz, hogy valóban alkalmazható megoldásokkal lehessen dolgozni. Ilyen megoldandó problémák lehetnek például a gyártási rendszerek és ipari folyamatok számítási problémáinak a digitalizálása, a különböző modellek megalkotásának kérdése, vagy éppen a hatékony számítási algoritmusok kidolgozása. A digitális gyártási szisztéma alkalmazásához és közvetlenül a fenti problémák megoldásához elengedhetetlen a számítógéppel segített gyártási módszerek alkalmazása, a fejlett IT megoldások használata.

A számítástechnika alapú gyártás célja a számítástechnikai geometriák, feldolgozási elvek, szenzor-információk, hálózati vezérlések, valamint a számítási intelligencia módszerek integrálása a komplex gyártási folyamattervezésbe. Ennek megfelelően, a számítástechnika alapú gyártás feladata kiterjed a gyártástervezést megelőző lépések tervezésére (konstrukciós tervezés, anyagválasztás), a tényleges gyártási folyamattervezési megoldásokra (művelettervek készítése, elsődleges és másodlagos optimalizálások), illetve a folyamatmegvalósulás irányítására (diagnosztika, beavatkozás) egyaránt.

A számítástechnika alapú gyártás tehát gyártási módszertant, számítástechnikán alapuló gyártási modellt, valamint gyártási elméleti egységeket foglal magában. Számítástechnikai geometriát és más elméleti alapokat alkalmaz, számításokon alapuló intelligens módszereket használ fel és különböző kapacitású számítógépekkel dolgozik a numerikus ábrázoláshoz, a számításhoz, a minőségi érveléshez és a fizikai mennyiségek feldolgozásához, ideértve az erőt, a hőt, a hangot, a vibrációt, a sebességet és a gyártási hibák figyeléséhez, a folyamatmodellezéshez, az irányítási tervezéshez, ütemezéshez és a



komplex problémák számításának és elemzésének irányításához. Végző soron a gyártási rendszer és -folyamat problémái összefoglalhatók a számítógépek által kiszámított formális modelleként, amelyek a gyártási rendszert és a folyamatot irányíthatóvá és kiszámíthatóvá teszik. A számítástechnikán alapuló gyártási megoldások révén a termelékenység növelhető, a gyártási ciklusidők csökkenthetők, a megmunkálások költségei leredukálhatók.

#### **2.4.1. Virtuális prototípus, mint számítástechnikán alapuló gyártási módszer**

Az utóbbi években a gyártástechnológia területén elterjedt azon irányvonal, melynek lényege a tényleges fizikai prototípus előállítások minimalizálása. A hagyományos gyártástechnológiában a konstrukciós tervezést követően létrehoznak minimum egy, de általában több prototípust, amelyen méréseket, alkalmazási vizsgálatokat hajtanak végre annak érdekében, hogy meggyőződjenek az adott alkatrész, vagy gyártmány jóságáról, hatékonyságáról. Ezen valós prototípus előállításnak egyértelmű előnye, hogy kézzel fogható egységekkel lehet a méréseket, vizsgálatokat megvalósítani, azonban hátrányként lehet megfogalmazni a prototípus előállításához tartozó jelentős mértékű idővesztést, illetve azon mérnökórák költségeit, melyek során a termék gyártásához szükséges dokumentációkat előállítják. A számítástechnikán alapuló gyártási folyamattervezés alkalmazásánál azonban már rendelkezésünkre állnak azon szimulációs szoftverek, amelyek segítségével hasonló hatékonysággal lehet megvizsgálni a virtuális alapon megjelenő prototípus tulajdonságait, mintha egy kézzel fogható, valós termékkel dolgoznánk. A virtuális prototípus segítségével tehát jelentős költségpórolást és időmegtakarítást lehet elérni. A virtuális prototípus alkalmazásának további előnye, hogy az első verzióhoz képesti esetleges változtatásokat gyorsan, újabb valós gyártás megvalósítása nélkül lehet megtenni, így javítva tovább az idő- és költséghatékonyságot.

Egy virtuális prototípus nem feltétlenül rendelkezik a végtermék összes jellemzőjével, de elegendő kulcsfontosságú tulajdonsággal bír ahhoz, hogy a konstrukciós tervezést a termék követelményeihez igazíthassa. Ez teszi lehetővé például azt, hogy a különböző technikai háttérrel rendelkező emberek közvetlenül kapcsolatba lépjenek a tényleges terméktervezéssel és virtuális környezetben értékeljék annak működését. Ezenkívül egy



virtuális prototípust gyorsan létrehozható és módosítható a tervezési folyamat korai szakaszaiban, ami azt jelenti, hogy a tervező a tervezési folyamat során más alternatív tervek is figyelembe vehet, mely alternatívák kidolgozásával és mérésével jobb tervezési döntéseket hozhat.

A fizikai prototípusokra épülő hagyományos tervezési módszerekhez képest a virtuális prototípusok a következő jellemzőkkel rendelkeznek [16]:

- A virtuális prototípus-technológia a termék szempontjából optimalizáló perspektívát valósít meg. Egyidejű mérnöki tervezésen alapul, így a terméktervezés koncepciója gyorsan elemezhető és különböző tervezési lehetőségek állíthatók össze az „érzékeny” paraméterek hatásaival szemben, és a vizualizációs technológia segítségével a valóságoshoz hű környezetben vizsgálhatóak az egyes lehetőségek várható hatékonyságai.
- Alacsonyabb fejlesztési költségekkel, rövidebb fejlesztési ciklusokkal és magasabb termékminőséggel rendelkezik. Egy termék digitális modelljének létrehozása a számítógépes technológia segítségével minimalizálni tudja a költségeket és időbeli korlátokat. Alkalmassá teszi a virtuális teszt megvalósítására, amelyre egy fizikai prototípus nem képes, továbbá teljes mértékben megszünteti a fizikai prototípus gyártásának és tesztelésének szükségességét az optimális gyártási folyamat és termékparaméterek eléréséhez. Így nem csak a költségek és az idő feltételeinek korlátozásait fogja megoldani, hanem lerövidíti a fejlesztési ciklust és javítja a termékminőséget.
- Fontos eszköz a dinamikus digitális gyártási szövetség eléréséhez. A virtuális prototípus egy digitális modell, így a termékinformációkat a hálózaton keresztül lehet továbbítani, az eredményeket megvitatni, a különböző alternatívák hatékonyságait megbeszélni. A virtuális prototípus alkalmazásával tehát nagyfokú párhuzamosságot lehet megvalósítani a digitális gyártási szövetség egyes tagjainak tevékenységei között.

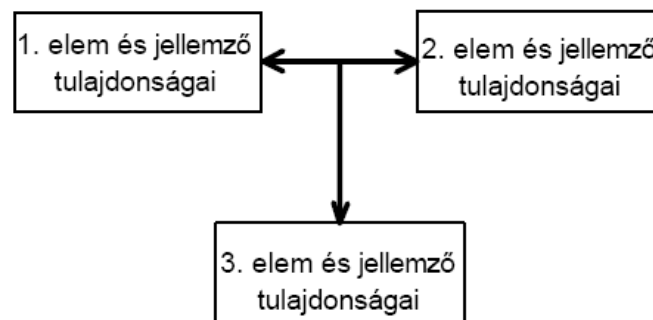


## 2.4.2. Virtuális prototípusok elmélete

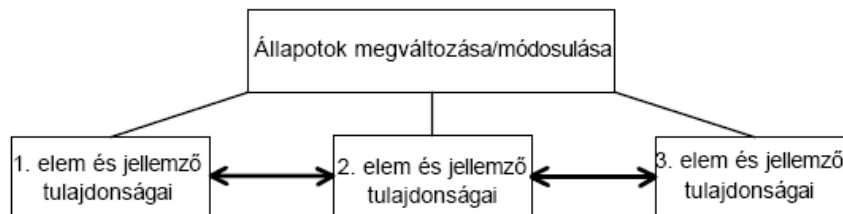
A virtuális prototípusokon alapuló gyártástervezés tehát fizikailag megjelenő kezdeti gyártmányok, vagy alkatrészek megvalósítása nélkül, szimulációs tesztek alapján, virtuális geometriákon és megoldásokon keresztül vizsgált termék- és gyártmányfejlesztést jelent. A virtuális prototípusgyártás elméletének kialakításakor az alábbi szempontok játszanak főszerepet [17]:

- **Termékprezentáció és –modellezés:** A virtuális prototípus-modellek teljesen új perspektívát kínálnak, különösen az internetes kereskedelmi partnerek számára, ugyanis valóság-hű érzetet keltenek, illetve a korszerű szimulációs programok révén virtuális körülmények között tesztelhetőek a Világ bármely pontján. Ezen előnyök megvalósulásának érdekében a termékfejlesztési folyamatot integrálják a konstrukciós- és gyártástervezés valamennyi tevékenységi szintjébe, továbbá a virtuális prototípus rendszerének átfogó termékadat-modellt kell létrehozni, amely magában foglalja a termékfejlesztési folyamatot, valamint a különböző szintű és mélységű információs rendszereket. A virtuális prototípus rendszer számos szimulációs és elemzési alkalmazást tartalmaz. A termékinformációkat minden szimulációs és diagnosztikai alkalmazásnak meg kell értenie annak érdekében, hogy megfeleljenek a különböző alkalmazási igényeknek, amelyek a termékinformációs követelmények különböző absztrakt szintjeit jelentik. Ugyanakkor a virtuális prototípusok nem korlátozódnak a tervezés értékelésére, hanem magában foglalják az összes további tervezési lépést, vagyis a gyártástervezést, a marketinget, az életciklus alatti felügyeletet is. Ennek érdekében olyan termékmodellt kell megalkotni a virtuális prototípus szisztémában, amely valamennyi feladat megvalósításához kellő mélységű alapot tud szolgáltatni. Zouping és társai [18] rámutatnak arra, hogy a virtuális prototípus komplex modelljének tartalmaznia kell a statikus objektummodell, az állapot modell és a dinamikus modell prototípusát, melyet a 2-11. a-b-c. ábrán lehet látni. A prototípus statikus objektummodellje a prototípus objektumai közötti kapcsolatokat, valamint az egyes tulajdonságok közötti

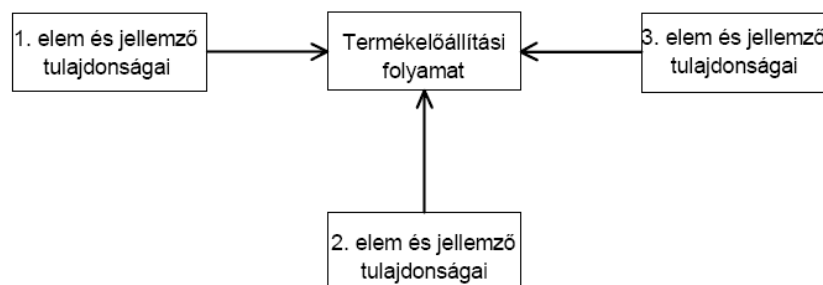
kapcsolatokat mutatja be. Az állapotmodell az adott objektum tartomány prototípusának leírását, valamint a hozzá tartozó geometriát és fizikai jellemzőit mutatja be. A dinamikus modell pedig nem más, mint az objektumok prototípusa az adott tartományi állapotban.



2-11.a. ábra: Virtuális prototípus statikus objektummodellje



2-11b. ábra: Virtuális prototípus állapotmodellje



2-11.c. ábra: Virtuális prototípus dinamikus modellje



- **Ember-gép együttműködés:** A virtuális prototípusok fő jellemzője, hogy az alkalmazott interaktív módban a virtuális valóságot használják, így a felhasználók a prototípust ezen virtuális környezetben megjeleníthetik, digitális formában megérinthetik, akár meghallgathatják a folyamat jellemzőit, így szereve megfelelő mennyiségű információt ahhoz, hogy következtetni tudjanak a prototípus jóságára, hatékonyságára. Az ipari alkalmazások követelményeinek való megfelelés érdekében a virtuális valóságnak áttörést kell biztosítania többek között a tervezési, gyártási anomáliák felderítésében, az on-line elemzésben és szimulációban, a vizuális és interaktív fejlesztő környezetek kialakításában. A szimuláció során előforduló hatásokat ugyanis a fejlesztőmérnöknek reálisan kell megélnie annak érdekében, hogy megfelelő következtéseket tudjon levonni.
- **Szimuláció és analízis:** A virtuális gyártási rendszerben a termékfejlesztés magában foglalja a tervezési folyamat szimulációját, a gyártási folyamat szimulációját, az egyes gyártási fázisok elemzését, a tervezési eredmények értékelését, a tervezési folyamat korai visszacsatolását, a fizikai változások csökkentését és elkerülését. Az ideális helyzet az, hogy minden szimulációs és elemzési modul beépül egy virtuális környezetbe, és képes a valós időben való futtatásra. Ezt az optimális esetet azonban általában az alkalmazott számítógépek számítási teljesítménye és erőforrásai korlátozni szokták, így teljes mértékű virtuális megjelenítés és elemzés ritkán valósulhat meg. A közeljövő feladata azon számítástechnikai potenciálok kiépítése, melyek révén általánosítani lehet a teljes virtualizációt és virtuális tesztelést.

### 2.4.3. Virtuális prototípusok alkalmazása a gyártásban

A virtuális prototípusok alkalmazását manapság számos szimulációs és diagnosztikai alkalmazás teszi elérhetővé, megvalósíthatóvá. A megfelelően modellezett 3D-s szimulációs technikák hasznos kockázatkezelési eszközként alkalmazhatók, de a végleges konstrukciós terv finomhangolására is kiválóan használhatóak [19]. Hasonló szimulációs technológiák azonban nem csak a gyártás területén, hanem a



folyamatrendszerek, közlekedési rendszerek és egyéb szolgáltatási tevékenységek területén is elérhetővé váltak az utóbbi időben. A virtuális prototípusok fontos szerepet játszhatnak tehát a teljes konstrukciós- és gyártástervezési folyamat megalkotásában. A gyártás megkezdése előtt a virtuális prototípus hasznos vizuális eszközt jelent a tervezés és a gyártás kivitelezésének ellenőrzésénél, a megvalósíthatósági elemzés támogatásánál, valamint képes meghatározni az adott alkatrész és a végleges gyártmány alakját, összeszerelését, tesztelését. A termék gyártása után elemezheti a termék teljesítményét és megbízhatóságát. A virtuális prototípus tehát az alapkonceptiótól az egész folyamat befejezéséig alapvető eszköz tud lenni a fejlesztéshez. A virtuális prototípus technológia összefoglalva a termékgyártásban a következő szerepeket töltheti be:

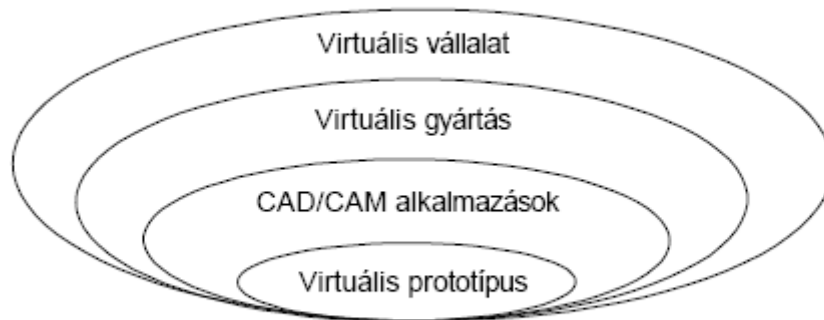
- A virtuális prototípus részben vagy akár egészben (bizonyos speciális körülmények között) helyettesítheti a fizikai prototípusok iránti igényt. Bizonyos esetekben tehát fizikai prototípus már egyáltalán nem szükséges. A számítógéppel segített tervezés (CAD) kiváló eszköz a tervezési ciklusok rövidítésére és a költségek csökkentésére. Gyártás előtt a tervezőmérnökök könnyen használhatják a virtuális prototípust a terv módosításához.
- A tervezés minden szakaszában elvégzett tesztelés révén a virtuális prototípus képes a jövőbeli termékek hatékony értékelésére a tesztelők számára.
- A virtuális prototípus használatával a digitális körülmények közötti műszaki követelmény-tervezés, a gyártási környezeti kialakítás, valamint a karbantartástervezés könnyen és hatékonyan valósulhat meg. Ezen kívül a projekt előzetes kutatása és modellfejlesztése érdekében a virtuális prototípus keretet biztosít a teljes folyamat alrendszerének összekapcsolására.

#### **2.4.4. A virtuális prototípus alkalmazása a virtuális alapú gyártásban**

A virtuális prototípusok célja a virtuális valóság technológiájában található előnyök teljes mértékű kihasználása, valamint a virtuális objektumok feltérképezésének interaktív funkciója a terméktervezés, az interaktív modellezés, valamint elemzés oldalról a geometria, valamint a gyártás szempontjából. A virtuális gyártás integrált, szintetikus gyártási környezetként definiálható, amely fokozza a döntéshozatal és az



ellenőrzés valamennyi szintjét. A virtuális gyártási szisztéma alapelképzelése az, hogy lehetőséget biztosítson az "Előállítás a számítógépbe" definíció megvalósítására, vagyis a teljes előtervezési, konstrukciós- és gyártástervezési, folyamatirányítási, karbantartási és életciklus menedzsment feladatok virtuális környezetben történő alkalmazására. A virtuális gyártási megoldásokat alapul vevő virtuális gyártási rendszer (VMS) a termékek, a gyártás, valamint az előnyök és kockázatok előállításának költségeire összpontosít, a világszínvonalú terméktervezés és gyártás céljával. A 2-12. ábra szemlélteti a virtuális gyártás szélesebb körű kiterjesztését a magasabb dimenziók felé.



2-12. ábra: Virtuális gyártás kiterjesztett esete



### 3. Gyártási információk a digitális gyártási szisztémában

A számítógépes hálózatok és az informatika utóbbi évtizedekben tapasztalható nagyarányú fejlesztése lehetővé tette a különböző gyártó vállalkozások számára, hogy mintegy „belépve” az információs korszakba, tevékenységeik jelentős részét informatikai alapon szervezzék, valósítsák meg. A gyártási informatika egy új interdiszciplináris terület, amely kombinálja a gyártástechnológiát, az információs tudományt, a rendszertudományt, az ellenőrző tudományt, valamint a vezetéstudományt. Elsősorban az információk logikus kifejezését, az optimális elosztást és a gyártási folyamatok, gyártási rendszerek hatékony működését kutatja. A gyártási információk digitalizálása a gyártási folyamatokat és a gyártási döntéseket szabályozhatóvá és láthatóvá teszi. Ezenkívül, mivel a digitalizált gyártási információ egy széles körű hálózaton (WAN) átvihető egy bizonyos protokollsorozattal, a gyártási információk általában megoszthatók és akár az egyes információs halmazok megfelelő intelligencia háttérével együtt is működhetnek. A digitális gyártást az információk vezérlik, a gyártási informatika pedig a digitális gyártási tudomány egyik alapvető elméletévé vált. A gyártási informatika magában foglalja a gyártási információk elvét és tulajdonságait, a gyártási információk mérését és megvalósítását, az önszerveződést, valamint a gyártási információk és az információbiztonság szintézisét. A gyártási informatika tárgyalása előtt érdemes átgondolni a gyártási információk főbb tulajdonságait. A gyártás egyfajta társadalmi irányba történő kibocsátással záródó tevékenység, amelyet a szükségletek és a nyereség ösztönöz, vagyis ebből a szempontból a gyártás nem más, mint egyfajta információ-intenzív kimeneti tevékenység. Ebben az értelemben az információs és gyártási tevékenységek nagymértékben integráltak; ezért az információs tulajdon a gyártási tevékenységek egyik alapelve. Annak érdekében, hogy teljes mértékben kiaknázhassák a gyártási információk hatékonyságát, és fokozzák a feldolgozóipari vállalkozások versenyképességét, elengedhetetlen a gyártási információkra vonatkozó szabályok - a gyártás információs elvének - megvitatása. Az információ áthatja az összes gyártási tevékenységet, melynek eredményeképpen elmondható, hogy a gyártási információk elengedhetetlen termékelemek, valamint hogy a gyártási információk egy része gyártási terméknek tekinthető [20].



### 3.1.A gyártási információk informatikai jellemzői

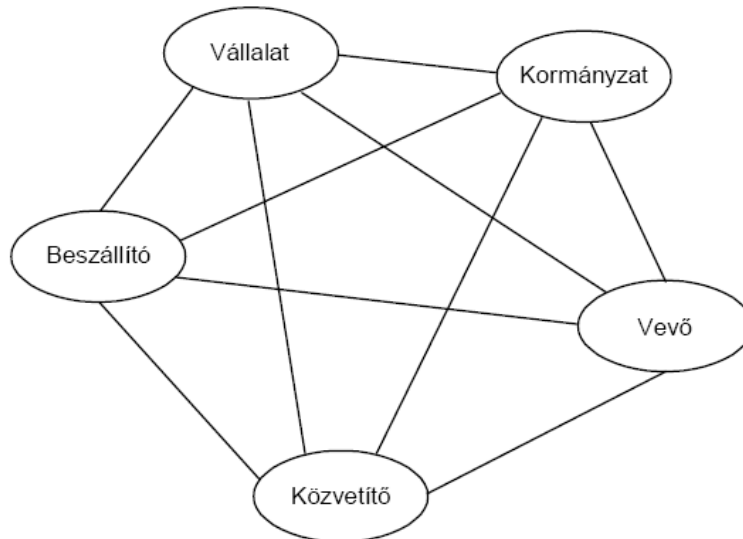
A gyártási információk pontos megértéséhez szükséges megismerni a területhez köthető főbb tulajdonságokat, jellemzőket és fogalmakat.

#### *A gyártási tevékenységek jelentősége*

A termékek életciklusában figyelembe vett gyártási tevékenységek magukban foglalják a termék- és formatervezéssel, a csomagolással, és/vagy összeszereléssel, az értékesítéssel, valamint a természeti környezetbe való visszaforgatással kapcsolatos követelményeket is. Az ilyen folyamatokban végzett tevékenységeket mind gyártási tevékenységnek nevezhetjük. A legtöbb gyártási tevékenység szekvenciális és párhuzamos formában létezik és minden esetben rendelkezik a szükséges információkkal és kontrollal. Tipikus példa erre az értékesítés utáni szolgáltatás, ahol a szükséges információk a termék megtervezett életszakaszai, a várható elhasználódás ideje és milyensége, a nem megfelelő használat eredményeképpen generálódható károsodások mértéke és például az emberre való veszélyessége. Kontrollként lehet megemlíteni a vevői reklamációkat, a termék használati életciklusa során a tapasztalatok megszerzését, kérdőívek kitöltését, véleményezést. Hasonló terület a számjegyes vezérlésű szerszámgépek működtetése, ahol az információk közé sorolhatjuk a CNC gépek műszaki paramétereit, így a munkatér nagyságát, a szerszámtár méretét, a szerszámcsere idejét és milyenségét, az alkalmazható befogási rendszereket, a gép áramfelvételét, a használható géporaköltséget, stb. Kontrollként akár ember által végzett felügyelet is elképzelhető, de a digitális gyártási szisztéma alkalmazásakor elkerülhetetlen az automatikus felügyeleti rendszerek használata, távdiagnosztika és akár távszerviz megvalósítása.

A piacon egy gyártási értékesítési tevékenységi rendszer minden esetben áll egy vevőből, legalább egy beszállítóból, közvetítőkből, a kormányzathoz köthető kompetens egységből, valamint a tényleges gyártást megvalósító gyártó cégből. A rendszerben elméletileg valamennyi egység között megvalósulhat a kétirányú információáramlás, illetve az általános értelemben vett anyagáramlás egyaránt (3-1. ábra). A kétirányú információáramlási folyamat állhat egy vevői igény továbbításából a beszállító, közvetítők és ténylegesen a gyártó cégek irányába, ellentétben pedig érkező információ a vevő irányába az adott termék legyártási költségeiről, tényleges beszerzési

áráról, módosítási javaslatokról. Hasonló példákat számos esetben le lehetne vezetni, de könnyen belátható, hogy ezen információáramlási rendszer csak akkor működik hatékonyan, ha megfelelő kommunikációs fórumok állnak a rendelkezésre.



3-1. ábra: Gyártási tevékenységek kapcsolati hálója

A tranzakciók kockázatának csökkentése érdekében többek között az alábbi követelmények és stratégiák alkalmazhatóak, a rendszerben található információs megoldások segítségével:

- A vállalkozásoknak meg kell felelniük a vonatkozó jogszabályoknak és előírásoknak
- A vállalkozásoknak információkat kell cserélniük az információmennyiségek homogenizálása érdekében
- A közvetítőt a tranzakció egyenlőségének biztosítására lehet indukálni.

### ***A gyártási tevékenységek jellemzői***

A gyártási tevékenységek jellemzői általánosságban jól leírhatóak, viszont fontos kiemelni, hogy az adott tényleges ipari feladat megvalósításakor ezen jellemzőket a feladatrendszerekhez specializálni szükséges. A gyártási tevékenységek alapvető jellemzői a következők:



a) **Cél jellemző.** Minden gyártási tevékenységnek egyértelmű célja van. Mivel a termelés célja az ügyfelek igényeinek kielégítése és a vállalkozások előnyben részesítése, az összes szubaktivitásnak egyértelműen célzatosnak kell lennie. A célokat tehát egyértelműen kell megfogalmazni, esetlegesen pedig olyan célrendszereket kell kiépíteni, ahol az egyes célelemek hierarchikus felépítést mutatnak.

b) **Emberi jellemző.** A gyártási tevékenységek olyan termelési tevékenységek, amelyek emberi tevékenységeket foglalnak magukban, a társadalmi igények kielégítésére. Nagyon lényeges szempont ezért az emberi jellemzők megfelelő mértékű ismerete, hiszen a rendelkezésre álló emberi erőforrás nélkül nem valósítható meg hatékonyan a gyártási tevékenység belüli műveletek összehangolása, irányítása.

c) **Anyagi jellemző.** A gyártás hagyományos meghatározása az, hogy a nyersanyagokat eladható termékekké alakítsák át. A modern termelés nemcsak hasznos termékeket, hanem úgynevezett „lényegtelen” termékeket is magában foglal, például szoftvertermékeket, szolgáltatásokat stb.. Természetesen ezen lényegtelen termékek is szükségesek, a legtöbb esetben pedig nélkülözhetetlenek a vevői igények maradéktalan kiszolgálásához, de a termékek nem szerves részei a legyártott terméknek, hozzá csak közvetetten kapcsolódnak.

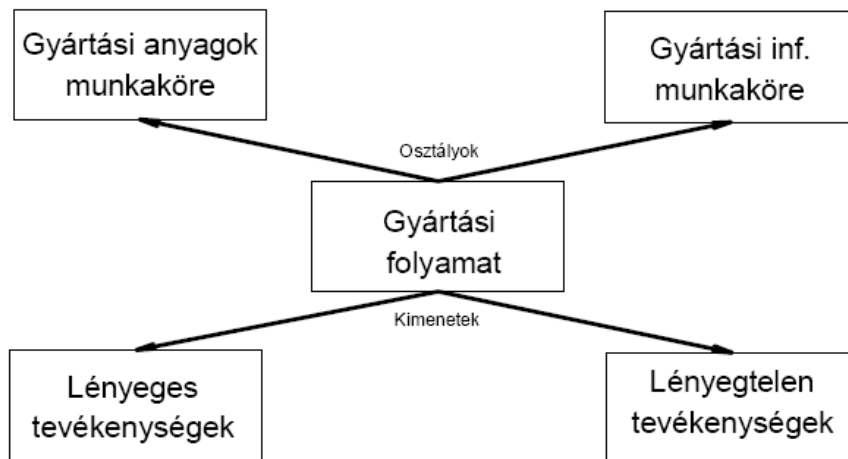
d) **Információs jellemző.** A gyártás információs tulajdonságát a fenti három jellemző határozza meg. Semmiféle gyártási tevékenység nem folytatható információgyűjtés, feldolgozás és az információk alapján generált utasítások nélkül.

#### ***Gyártási tevékenységek információs tulajdonságai***

Egyértelmű, hogy egy gyártási tevékenység a szükséges információs rendszer nélkül nem tudja megvalósítani azt a feladatot, amely miatt magát a tevékenységet generálták. Egy vevő hiába határozza meg részletesen a gyártandó termékkel kapcsolatos igényeit, ha ezen információkat nem kapja meg azon gyártó cég, amely az információk alapján a beszállítóktól előgyártmányokat, alapanyagokat, szerszámokat kér. Egy kormányzati szerv se tud megfelelő információk nélkül a következő 2-5-10 évre hatékony előrejelzést készíteni annak érdekében, hogy mely termékek esetében érdemes támogatásokat fogantatosítani, mely területen tevékenykedő gyártó cégeket kell megsegíteni azon célból, hogy egy jövőbeli húzóágazat alapjait megteremtsék. Ezen két

példa kiválóan mutatja, mennyire lényeges ismerni a gyártási tevékenységek komplett információs rendszerét.

A gyártási folyamatok kimenetele szempontjából a gyártási tevékenységek két fő osztályba sorolhatók: lényeges kibocsátású, avagy hasznos tevékenységek és lényegtelen kimeneti tevékenységek. A lényeges tevékenységek közé tartozik a feldolgozási módok három típusa: anyagcsökkentés (például forgácsolási folyamat), anyagkonzisztencia és az anyagfelhalmozódás (például gyors prototípus). A lényegtelen tevékenységek lehetnek a már korábban említett különböző szolgáltatások, vagy irányító szoftverek. A 3-2. ábra mutatja be a gyártási tevékenységek ezen területen érvényes irányítási ábráját.



3-2. ábra: Gyártási tevékenységek információs rendszere

### ***Gyártási információk tulajdonságai***

A hálózatok gyors fejlődése és a kialakult „információs társadalom” jellemzői miatt az emberi tevékenységek manapság egyáltalán nem tudnak elszakadni azon információmennyiségtől, amelyet szinte kötelezően ismerniük kell ahhoz, hogy hatékony feladat végrehajtást tudjanak megvalósítani. A gyártási tevékenységek esetében is hasonló a helyzet, természetesen a gyártásra, mint tudományterületre fókuszálva és specializálódva.

#### a) Információk által irányított gyártás

Minden gyártási tevékenységet a gyártási információk alapján tudnak elvégezni, így nagyon lényeges a megfelelő információs halmaz összegyűjtése. Napjainkban a

54



gyártástechnológiai tudomány alapján elmondható, hogy megfelelő igény esetén a termék akkor állítható elő, ha az alkalmazható fejlett gyártási módszer, erőforrások és megfelelő gyártási információk beszerezhetők. A számítógépes és hálózati technológiák támogatásával az IT információk is egyre nagyobb hatást gyakorolnak a gyártásra. Az információk által vezérelt gyártási technológia és a gyártási tevékenységek egyre hatékonyabbá válnak és egyre nagyobb területen szorítják ki a hagyományos, manuális konstrukciós- és gyártástervezési folyamatokat.

#### b) Gyártási információk értéke

A digitális gyártási szisztémában a gyártási információk jellemzői, azok értékei jelentős mértékben eltérnek a hagyományos gyártástervezési struktúrákban megtalálható, a gyárakkal, berendezésekkel, nyersanyagokkal, energiával, finanszírozással, személyzettel kapcsolatos információktól. Bár ezen gyártási információk is időben korlátozottak, jóval nagyobb hatékonysággal lehet őket alapként kezelni, mint a hagyományos megoldásoknál található információs csomagokat. Annak érdekében, hogy a vállalkozások fenntarthatóvá váljanak a fejlesztéshez a digitális tevékenységek világában, feltétlenül szükséges a vállalati erőforrások pontos és ésszerű konfigurálása, így a gyártási információ az új erősséggé válik, és új esélyt nyújt a nyereségszerzésre. A gyártás megvalósítása számos döntéshozatali eredményen múlik. Lényeges elem ezért az, hogy a gyártási tevékenységekhez tartozó információk gyorsan és rugalmasan módosíthatóak legyenek, mely módosításokat a gyártási szövetség valamennyi tagja naprakészen megkapjon és kezeljen.

#### *A gyártási információk alapelvei*

A gyártási információk alapelveinek kidolgozásakor elsődleges cél volt a minél hatékonyabb információáramlás, az azonos elveken való gondolkodás és a minél gyorsabb kommunikáció megvalósítása, többek között ezen információk leegyszerűsítései által. A gyártási információk alapelvei a következők:

- **A gyártási információkkal kapcsolatos befektetés és a "csökkenő haszon" elve közötti ellentmondás.** A vállalati működésben alapelveként leírható, hogy az állandó befektetés által generált haszon csökken. Előnyös tulajdonság, hogy a gyártási információkkal kapcsolatos befektetések nem követik a "csökkenő előny" elvet. A gyártási információk létrehozása, összevonása, frissítése,



valamint összevetése a vállalati erőforrásokkal, a személyzet alkalmasságával és erőforrásaival nem képezi a „csökkenő haszon” részét, tehát mindenképpen érdemes a digitális gyártási szisztémában ezen műveletek megvalósítani.

- **Gyártási információ/tőke fontossága.** A gyártási információ a gyártási tevékenységen belül domináns erő, az előnyök és a hatékonyság folyamatos növekedését döntően a vállalkozás domináns erőforrásai határozzák meg, így elmondható, hogy a gyártási információk fontossága megkérdőjelezhetetlen. Emiatt is fontos meghatározni azt a mechanizmust, amely a gyártási információk előnyeit szolgálja, megszilárdítja a fejlett gyártási információk vezetési képességét, és a gyártási információkat a vállalkozás eszközeinek részévé teszi.
- **A gyártási folyamatok materializálódása.** Annak érdekében, hogy hatékony és eladható terméket kapjunk, a gyártási információkat a megfelelő termékekre kell specializálni és alkalmazni. A materializálódás azt jelenti, hogy a gyártott termék valamely paraméterét (például méret, alak, keménység és anyag) a gyártási információk ismeretében megváltoztatják, mely változtatás eredményeképpen azonban a gyártási információ rögzülni fog a változtatást generáló kívánalomhoz. Általában a materializálás folyamata visszafordíthatatlan és a folyamat minőségének és a termelésnek minden esetben figyelembe kell venni. Általánosságban elmondható, hogy a materializáció is a gyártási információkra támaszkodik, és maga az információs rendszer ismerete teszi lehetővé a megvalósulását.

### ***Információgyártás a feldolgozóipari vállalkozás fejlődésének gyorsulási tényezőjeként***

Egyértelmű előnyként értelmezhető, hogy a gyártási információk gyorsítani tudják a szükséges egyéb információk beszerzését a piacról. A gyártási információk ma már úgynevezett mainstream-ek a globális gyártás fejlesztésében, az információs technológia fejlődése és alkalmazása gyorsítja a tudás naprakésszé tételének sebességét, csökkenti a tudás terjesztésének költségeit, javítja az információk és ismeretek megosztásának szintjét, és felgyorsítja a tudományos technika alkalmazását. A





tájékoztatás fokozatosan egyre fontosabb tényezővé válik a fejlesztésben és a gyártásban. Például a vállalat előrejelzési piacának és döntéshozatalának képessége javítható a termékek keresleti és kínálati információinak összpontosításával, amely pontos útmutatást adhat a piaci kockázatokról és egyúttal akár ezen kockázatok csökkentését és minimalizálását is generálhatja. Az informatika gyors előrehaladása és alkalmazása révén a tájékoztatás egyre kényelmesebbé és egyszerűbbé válik. Az információk korrekt alkalmazása továbbá támogatni tudja a tartós döntéshozatalt, a lehetőségek kihasználását, az új piacok megnyitását, a kereskedelmi költségek csökkentését és a vállalkozás hatékonyságának növelését.

A gyártási információk továbbá felgyorsíthatják a termékek új generációinak kifejlesztését és lerövidíthetik a forgalomba kerülő termékek fejlesztési, de akár életciklusbeli időtartamát. A prototípus- és próbatermékek alacsonyabb költségek mellett érhetőek el, következésképpen a döntéshozatali folyamat és a virtuális tervezés érvényességét elő kell segíteni, ha pontos digitális modellt szeretnénk generálni. A hálózaton megosztott nyilvános gyártási információk révén a gyártási tevékenységek kapacitása maximálisan javítható. Ezért a gyártási tevékenység képes lesz tovább növelni a gyártási vállalkozás nyereségét és ezáltal a jövőbeli fejlesztését.

A jelentős mértékű gyártási információgenerálás arra is ösztönzi a személyzetet, hogy kommunikáljanak egymással, képzésben részesüljenek, valamint ösztönözzék a tudományos technika fejlődését a vállalkozásban. Egyre több információtechnológia, mint például az oktatási és tanulmányi hálózatok esetében egyre inkább szükség van arra, hogy a vállalkozások számítógépet és hálózatokat használjanak a személyzet képzése során annak érdekében, hogy elősegítsék az egész gyártócsapat teljesítményét. Például a gyártási tevékenységben szerepet játszó teljes csapat teljesítményét hatékonyan lehet javítani, fejleszteni egy e-Training, e-Learning, vagy e-Performance keretrendszer használatával. A különböző osztályokban vagy a virtuális szervezetben dolgozó személyzet kényelmesen és hatékonyan tud kommunikálni, a vezetés képes lesz megvizsgálni és meghatározni az egyes tagok munkáját, szerepét, a várható és a tényleges hatékonyságát. Eközben az információs technológiát a hagyományos feldolgozóipar átalakításával és korszerűsítésével, tervezésének, gyártásának és forgalmazásának megváltoztatásával alkalmazzák, ami elősegíti az üzleti folyamatok



újratervezésének és szervezeti átalakításának előmozdítását, a hagyományos termékek technológiai tartalmának javítását, a hagyományos termékekhez képes az erőforrások és a termelési hatékonyságok jobbítását.

### **3.2. Gyártási információkkal kapcsolatos alaptételek [6]**

A gyártási információkkal kapcsolatos alaptételek segítenek egyértelműen meghatározni, hogy az adott gyártási tevékenység során milyen típusú, mélységű és számú információval lehet a hatékony előállítást, kereskedelmet, életcikluson át tartó felügyeletet és újrahasznosítási megoldásokat kidolgozni, alkalmazni.

#### **a) Az információk kettőssége**

Az információ maga egy absztrakt fogalom és nem fizikai jelenség. Az információk fő tulajdonságai, hogy kiadhatóak, továbbíthatóak, tárolhatóak és észlelhetőek. Ezen műveletek megvalósítása érdekében az információkat valamilyen fizikai hordozóhoz kell kötni, vagyis az információt valamilyen anyag vagy energia alapú szerkezet segítségével kell továbbítani.

Mivel a gyártási tevékenységek magukban foglalják az emberek társadalmi teljesítményének jellemzőit, a gyártási rendszerek nemcsak objektív tulajdonságokat, hanem szubjektív attribútumokat is tartalmaznak. A gyártási rendszerek ezen kettősségének megismerése segít megérteni a gyártási rendszerek objektív és szubjektív tulajdonságait. Ezért a gyártási rendszerek a következő három típusba sorolhatók:

- Szubjektív és objektív gyártási rendszerek. Ilyen rendszerek közé tartozik az ember által működtetett gyártási létesítmények, a CAX tervezőrendszerek, a személyi számítógépek, stb.
- Célkitűzési rendszerek. Ezek a rendszerek különböző típusú objektumokból állnak, ilyenek például a megmunkálási eszközök és a rugalmas gyártási rendszerek (FMS-ek), amelyeket előre meghatározott programok által ipari kódolt robotokat, gyártóeszközöket, stb. vezérelnek.
- Szubjektív döntéshozatali rendszerek. Ezek kognitív egységekből állnak, mint például a vállalat igazgatósága és a gyár vezető testülete.

A valós világban ezek a gyártási rendszerek és tevékenységek három fajtája gyakran ugyanabban az időben létezik. További alaptétel, hogy az egyes rendszertípusok



dinamikusan változtathatják besorolásukat. Például a karbantartási szakaszban az FMS egy szubjektív és objektív gyártási rendszer típusa, de amint befejezi a karbantartást a gyártósori elemeken, visszatér az objektív gyártási rendszerek csoportjába.

A kognitív entitások létezése és a háromféle gyártási rendszer állandó változásai miatt a gyártási rendszer viselkedése nagyon bonyolulttá válik, ami nehézséget okoz a gyártási rendszerek modellezésében és kifejtésében. A bonyolultságot az is jelzi, hogy sok jelenlegi modellezési technika alakult ki párhuzamosan, mely modellezési technikák valamilyen területen specializált megoldásokhoz alkalmazható csak. További probléma, hogy a pontos és egyszerűsített dinamikus modellek egyszerűen csak az objektív gyártási rendszerekhez, például a marási rendszerhez építhetők, mivel a kognitív egységek csatlakozása nem lehetséges ilyen formában.

## **b) Gyártási információk további jellegzetességei**

### ***A gyártási információk továbbítási jellemzői***

A kommunikációs adattovábbítástól eltérően, a gyártási információk küldésének és átvitelének egyedi sajátosságai vannak:

- A klasszikus gyártási tevékenységek, különösen a legenerált, vagy előállított gyártási információk jelentős forrásokat emésztnek fel mind számítástechnikai, mind emberi erőforrás oldaláról. Ezen jellegzetességen túl további problémaként tud jelentkezni, hogy amennyiben a gyártási információkban hiba található, az általa megvalósított termék előállítás során komoly veszteségek generálódhatnak. Ilyen jellegzetességgel rendelkező gyártási információ például a konstrukciós tervezés eredményeképpen születő CAD rajz, vagy 3 dimenziós testmodell, illetve a tényleges forgácsolást megvalósító CNC program, de akár egy logisztikai információs rendszer is tartalmazhat olyan mértékű hibát, amely jelentős bevételkiesést eredményezhet a gyártó cégnek. A fenti veszélyek ismeretében is meg kell próbálni ezen információs rendszereket a lehető leggyorsabban előállítani, mert a sokszor ellenőrzött, lassan generálódó információk ugyanúgy költséget és ezáltal veszteségeket jelenthet egy cégnek, így kompromisszumos megoldást



kell találni az információk előállításának sebessége és az esetleges hibák „elviselése” között.

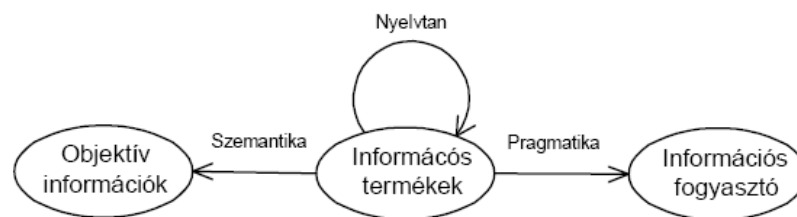
- Az ontológia és a gyártási téma interferenciája elkerülhetetlen. Mivel a gyártási tevékenységek szinte minden esetben kapcsolódnak a gyártó vállalkozások társadalmi oldalához, a gyártási információk továbbításának sokfélesége (pl. Elektronikus jelek, optikai jelek, fájlok, video- és hanganyagok továbbítása) és a gyártási környezet emberi háttere miatt generálódhatnak interferencia jelenségek. A videó és hanganyagok, fájlok oldaláról továbbá előjöhetnek a személyiségi jogi kérdések, melyeket egy gyártási információt generáló digitális gyártási rendszernek figyelembe kell venni.

### ***Gyártási információk minőségének értékelési jellemzői***

A hagyományos értelemben vett, általánosan alkalmazott információkhoz hasonlóan a gyártási információk is sebezhetőek olyan műveletekkel, mint a hozzáadás, a törlés, a módosítás, a konverzió és az interferencia. A gyártási információ minőségének biztosítása ezért kiemelten nehéz és komplex feladat. Objektív és gyakorlati körülmények között a gyártási információk minőségi értékelése felhasználható a termék életciklusának több szakaszában, például az információ minőségének értékelése a folyamat szakaszában, a gyártási folyamat értékelése, a marketingértékelés és a profitértékelés.

A gyártási rendszereken belül a gyártási információk határozott, egységes kifejezőmódja az alapvető követelmény, ezért számos tényező létezik az információ minőségének biztosításához. Először is fontos megállapítani egy összefüggést az objektum és a szimbólum ontológiájának leírására. Például egy ERP rendszer az egyes részlegek pontos információitól függ. Ha ez a feltétel nem teljesül, a pontos információ minősége nem számítható ki. Továbbá, az információ leírása is időt emésztő művelet. Például egy gyártóegység kapacitásának meghatározása, az alapanyagok, félkész- és késztermékek tárolási információi, vagy az ügyfelektől kapott megrendelőlap feldolgozása mind időigényes feladat. Az idő előrehaladtával azonban ezen információk megváltozhatnak. Így mindenképpen rögzíteni kell, hogy az adott gyártási információt mikor generálták, mert csak ebben az esetben lehet a későbbiekben egyértelműen

meghatározni, hogy az információs csomag előállításakor az információk tartalma időszerű volt-e. Ezen kívül, a térinformáció is alapvető fontosságú a gyártási rendszer információ minőségének szempontjából. Például, ha az anyaggal és a termékekkel kapcsolatos térbeli információk előre ismertek, akkor a tárolási idő és a szállítási idő előre becsülhető, jóval magasabb szintű minőségbiztosítással lehet tehát számolni, mind ellenkező esetben. Végezetül, meg kell fontolni az információk mennyiségi és minőségi kifejezését. Amennyiben túl összetett minőségbiztosítási rendszert dolgozunk ki, a minősítési feladat hosszú idő után és jelentős költségekkel, akár emberi erőforrások bevetésével zárulhat, a relatíve kevés elemet magában hordozó minőségbiztosítás viszont várhatóan kevésbé hatékonyan tudja majd minősíteni az egyes gyártási információkat. Az információ minőségének az átfogó információk alapján történő mérése három részből állhat: nyelvtani részből, szemantikai elemekből és pragmatikus tartományokból (3-3. ábra).



3-3. ábra: Információ minőségének értékelési rendszere

A gyártási információ minősége két fő részből tevődik össze, objektív elemekből és szubjektív tulajdonságokból. Ezen két elem megfelelő kombinálásának eredményeképpen az információminőség értékelése komplex és teljes körű lehet, magába foglalhatja az információs ontológiát, a felhasználók rendeltetési helyét és az információk felhasználásának milyenségét, jóságát, valamint az információ környezetének különböző várható képességeit.

A gyártási információ minőségének számszerűsítése érdekében megfelelő osztályozásra van szükség. A gyártási információkhoz hasonlóan a termékinformációkat többféle sorozattal lehet leírni, amelyek idővel, térrel, vevői igényekkel és dimenziókkal változhatnak. Ami a gyártási információk objektív és hiteles értékelését illeti, egyes



információk könnyen értékelhetők. Ilyen például a szabványos alkatrészek minőségi értékelése, a számlák nem megfelelése, az alkatrészméret és az összeszerelési méret közötti eltérés. Másrészt más információkat, például a versenytársak adataival kapcsolatos vagy a piacon lévő hasonló termékekre vonatkozó információk feldolgozása már jóval összetettebb feladatot rónak a minőségbiztosítási rendszerekre és az azokat működtető szakemberekre. Ezen összetett minőségbiztosítási területek leírásához több módszert is kidolgoztak az utóbbi években, melyek közös jellemzői a lehető legmagasabb minőségbiztosítási fokozat megvalósítása, a többcsatornás bemeneti és kimeneti rendszerek megvalósítása és alkalmazása, a tárolt információk jövőbeli alkalmazhatósága, mint tapasztalatszerzés, illetve a többszöri újraellenőrzés, melyet a korszerű számítástechnikai elemekkel már gyorsan és egyszerűen meg lehet oldani.

#### ***A gyártási információk és döntések változó minősége***

A gyártási információk alapján az irányító rendszerek különböző döntéseket hoznak létre, mely döntések közvetlenül befolyásolják az adott termék előállítási folyamat hatékonyságát és minőségét. Tipikus példa erre egy olyan gyártócella, amelyben egy automatikusan működő CNC köszörűgép munkál készre nagysorozatban egy csapágyhelyet, azonban a köszörűkorong kopása miatt műszakonként akár többször is módosítani kellene a szerszám korrekciós méretét, vagy a megvalósított szerszám pályát. Ennek érdekében a köszörűgép után egy mérőegységet helyeznek el, amely valamennyi alkatrész esetében megméri a pontos átmérőket, majd az átmérők elemzéséből, mint gyártási információkból döntést generál a szerszámkorrekciók módosítása érdekében. A döntés akkor generálódik, amikor a mérőegység detektálja, hogy a köszörűvel megvalósított végleges alakadás során egyre közelebb kerülünk a tűrésmező széléhez. Amennyiben nem születne meg ez a döntés, rövid időn belül selejtes termékek kerülnének le a gyártósorról.

A fenti példából egyértelműen látszik, hogy egy gyártási döntés nagymértékben meghatározza a gyártási tevékenységek minőségét. A következő egyenletet elemezve elmondhatjuk, hogy a gyártási döntés minősége (DQ) a következő feltételek, paraméterek alapján generálódik:

- IQ a kapcsolódó gyártási információ minősége
- AQ a döntési stratégia és a döntési módszer minősége



- EQ a környezetminőség
- WQ a végrehajtási feltétel és a környezetminőség

A gyártási döntések minőségét befolyásoló paraméterek függőségét a következő egyenlet határozza meg:

$$DQ = d(IQ, AQ, EQ, WQ)$$

Az egyenletben a „d” befolyásoló tényező nem más, mint a döntési minőség és az összes döntésváltozó (változók, amelyek befolyásolhatják a döntést) közötti függőségi paraméter.

### ***A gyártási információk önszervező jellegzetességei***

Minden tevékenységnek, így a gyártási tevékenységnek is vannak céljai. Ezen célinformációk egyértelműen függnak a vevői igényektől, melyek lehetnek általános megfogalmazások, de akár komplex követelményrendszerek is. Azonban a célmeghatározás nem csupán a vevői paraméterek alapján kerül meghatározásra, hanem figyelembe kell venni az elérhető kapacitásokat, az előállító cégek méretét, jellemzőit, az egyes gyártósorokon megvalósítható forgácsolás, vagy egyéb alakadás minőségi kérdéseit. A gyártási tevékenységek során generálódó, a célokat megfogalmazó információk tehát nem egyszerű felépítésűek, hanem összetett háttérrel rendelkező, az idő előrehaladtával esetlegesen módosuló anyagok. A gyártási információk önszervező képessége azt jelenti, hogy a végső cél megfogalmazása alapján a digitális gyártási szisztémát alkalmazó központi döntéshozó szerv automatikusan, vagy emberi segítséggel lebontja a fő célt az egyes állomáshelyekre köthető „alcélokra”, mely célelemeket az egyes szövetségi tagokhoz, majd azt követően a tagok előállító egységeire tovább bontva küldheti a célokat felhasználó állomáshelyekre.

Yovits [4] jelezte, hogy az önszervezésre vonatkozó kutatás az 1950-es évek végén kezdődött. Az elmúlt fél évszázadban a kutatást nagymértékben alkalmazták a biológia, az automatizálás, a kognitív tudomány, a viselkedés és vezetés tudomány, a rendszerelmélet, a közgazdaságtan, a társadalomtudomány területén egyaránt. Az információ szempontjából az önszervezőképesség önmagában elősegíti a pozitív visszacsatolást a megrendelések növelése érdekében. Az önszervezés olyan folyamat, amelyben a folyamat belső rendszere, amely általában egy nyílt rendszer,



A felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása a Pannon Egyetemen

EFOP-3.4.3-16-2016-00009



komplexitásban növekszik anélkül, hogy azt valaki külső forrásból irányítaná vagy kezelné.

Az önszervezésben rejlő információgeneráló magatartásnak néhány lényeges jellemzője van:

- Információmegosztás
- Autonóm, rövid hatótávolságú kommunikáció
- Mikroszkopikus döntés (minden egyes cellában csak az adott egység viselkedése a lényeges, más egységek figyelmen kívül hagyása)
- Párhuzamos működés
- Teljes koordináció és iteratív optimalizálás.





## 4. Intelligens gyártás a digitális gyártási megoldásokban

Az intelligens gyártás azt jelenti, hogy az emberi szakértők intelligens gyártási tevékenységét számítógépeken szimulálják, a gyártás valamennyi szakaszában (kezdve a gyártervezéstől, a logisztikai szimulációkon át a tényleges megmunkálási folyamatok virtuális teszteléséig) rugalmas és integrált módon. Ezen szimulációs eredményeket pedig felhasználják a gyártási probléma elemzésénél, az erőforrások és költségek becslésénél, a különböző alternatívák kidolgozásánál, vagy akár egy komplex gyártórendszer finomprogramozásának megvalósításánál. Az intelligens gyártási algoritmusok eredményeképpen az emberi szakértők gyártási intelligenciája gyűjthető, tökéletesíthető, rugalmasan alkalmazható. A terület főbb kutatási tartalmai közé tartozik az intelligens tevékenység és az intelligens gép, valamint ezen két terület kapcsolódási pontjainak és közös megvalósulásainak elemzése.

Az intelligens gyártás a digitális gyártási tudomány alapvető elméleti rendszerének kulcsfontosságú része. A digitális gyártási szisztémában manapság már általánosan alkalmazzák az intelligens digitális gyártervezést, logisztikai tervezést, az intelligens digitális konstrukciós tervezést, az intelligens digitális megmunkálást, az intelligens digitális vezérlést és irányítást, az intelligens digitális folyamattervezést, az intelligens digitális karbantartást és diagnózist. Az információs fúzió és a tudásintegráció az intelligens gyártási rendszer (IMS) legfontosabb része, amely közvetlenül befolyásolja a rendszer funkcióinak és a termék megvalósításának minőségét és hatékonyságát.

Intelligens gyártási eljárások nélkül tehát nem lenne hatékony a digitális gyártási szisztéma, úgy is mondhatjuk, hogy ezen két terület kizárólag együttesen képes a mai kor igényeit kielégíteni, mely korban a számítástechnika és a virtuális megjelenítés alapvető követelményként jelenik meg a gyártó cégek területén.

### 4.1. Intelligens multi-szenzor rendszerek és adatbányászat a gyártási folyamatban

Az intelligens megmunkálási technológia, mint az IMS legfontosabb technológiája, olyan problémák megoldására törekszik, amelyeket a hagyományos megmunkálási technikák nem tudnak megoldani, vagyis az intelligens megmunkálási technológia feladata a számítástechnikán alapuló, modern megmunkálási megoldások követelményeinek adaptálása a teljes gyártási és szerelési folyamatot megvalósító

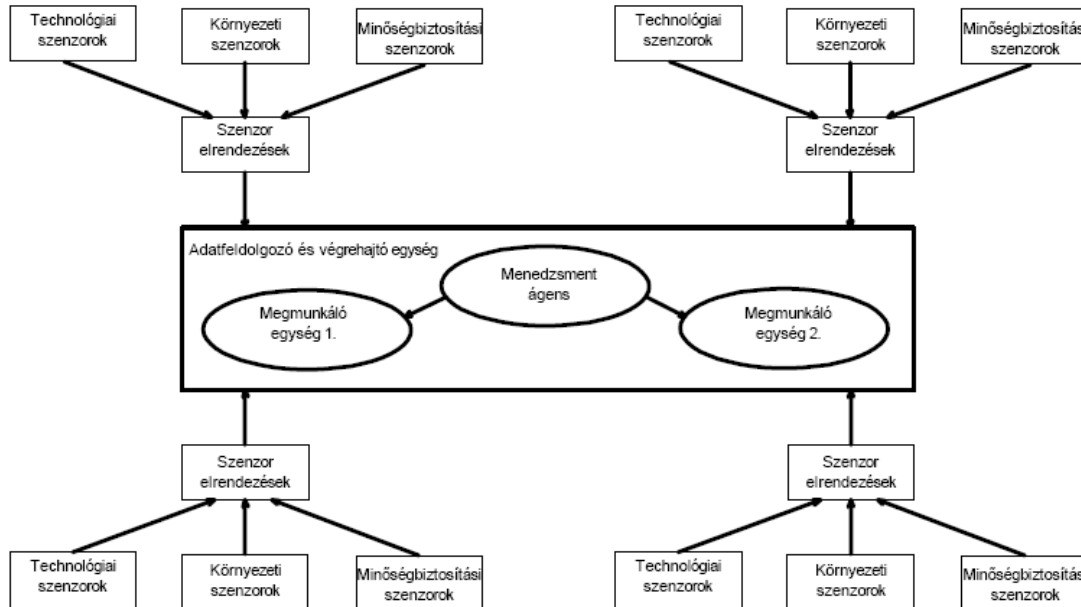


rugalmas gyártórendszerek irányító egységeibe [21]. Az intelligens megmunkálási technológia célja egy olyan háttér megteremtése, melynek segítségével és alkalmazásával az intelligens gyártórendszerek (IMS) folyamatosan fejleszhetővé, magasabb szintűvé válnának. Egy gyártási folyamatban számos tényező befolyásolhatja a megmunkálási eredményt közvetlenül vagy közvetve a folyamatban, például a munkadarab durvasága meghaladja az előírt egyenletességi követelményeket, az anyag merevsége heterogén, a munkadarab geometriája túlzottan torzulttá vált, a szerszám gép hőtorzításának káros hatásai és így tovább. Ezért a hagyományos feldolgozási technológiák és algoritmusok alkalmazásával nagyon nehéz megtalálni az optimális technológiai paramétereket. Olyan rendszerre van tehát szükség, amely globálisan figyelni tudja és számításba veheti az adott gyártási környezetben előforduló problémákat, gyártási nehézségeket és ezen paraméterek ismeretében tudja meghatározni az előállításhoz szükséges optimális értékeket. Az intelligens megmunkálás figyelembe veszi az elméletet, az emberi tapasztalatokat és az előbb említett környezeti változókat, automatikusan állítja be az adott megmunkálási esethez tartozó legjobb folyamatállapotot és ezen komplex háttérismeret alapján képes meghatározni olyan technológiai megoldásokat és paramétereket, melyek alkalmazásával jobb minőség, nagyobb gazdasági haszon, vagy jobb gépkihasználat érhető el. Az intelligens megmunkálás három fő algoritmus-eleme az intelligens felügyelet, az intelligens döntés és az intelligens végrehajtás. Az intelligens döntések úgynevezett intelligens monitoron (felügyeleten) alapulnak, mely felügyelet alapeleme a nagy pontosságú, nagy megbízhatóságú, nagy információs és erősebb valós idejű teljesítményt nyújtó érzékelő- és vezérlési technológia, amely képes az ismeretlen környezetet dinamikusan adaptálni.

#### **4.1.1. Intelligens multi-szenzor rendszerek**

A tudomány és a technológia fejlesztésével az utóbbi évtizedben a különböző területeken alkalmazott érzékelők teljesítménye jelentősen javult, továbbá kifejlesztettek olyan többérzékelős, rendszerorientált multi-szenzor rendszereket, amelyek segítségével közös irányítási központtal több paramétert is gyűjteni lehet és a paraméterek egységes hatásainak ismeretében lehet változtatni az alkalmazott technológiai sajátosságokon. Az

összetett dolgok állapota tehát különféle szenzorrendszerek alkalmazásával és a meglévő tudás integrálásával együttesen szerezhető meg.



4-1. ábra: Intelligens adatgyűjtés általános felépítési rendszere [22]

A digitális gyártás egyik alaptézise a gyártási információk diszkrétizálása és digitalizálása. Az irányítás, az ellenőrzés, a monitorozás és a diagnosztika követelménye nem teljesíthető egyetlen érzékelő használatával. Emiatt olyan intelligens, többérzékelős rendszerekre van szükség, amelyek képesek komplexen szolgáltatni a szükséges adatokat. Az intelligens multi-szenzor rendszerek elmélete az érzékelést, a vezérlést, a számítástechnikát, az információfeldolgozást, a hálózati kommunikációt, a mesterséges intelligenciát és a hozzájuk kapcsolódó egyéb műszaki technológiákat foglalja magában. Szenzorok és adatgyűjtő rendszerek alkalmazásával a szakértők, digitális gyártás esetében pedig az irányító központi számítógépek nyers adatokat kapnak a gyártási folyamatról. Ezen nyers adatok feldolgozásának mikéntje a tulajdonképpeni fő feladat a területen. Egy gyártási folyamatban a különböző folyamatinformációk rendkívül összetettek és időben általában folyamatosan változnak. Ezen tulajdonságokat alapul véve valóban szükség van egy olyan multifunkciós rendszerre, amely a mesterséges intelligenciát alkalmazva a gyűjtést követően megfelelő döntésre tud jutni, mely döntések alapján irányítani, illetve beavatkozni tud. Maga az intelligens adatgyűjtés komplexitását jól szemlélteti a 4-1. ábra.



A digitális gyártási rendszerben a gyártási berendezések intelligenciája, amelyet a számjegyvezérlésű (CNC) szerszámgép és a rugalmas gyártórendszer (FMS) képvisel, hatékony módszer a megmunkálási hatékonyság javítására, biztosítva a munkadarab megmunkálási pontosságát és a munkadarab felületi minőségének vevői igények szerinti megvalósítását. A valóban hatékony folyamatok megvalósítására azonban érzékelőkre van szükség a különböző szinteken található gyártóberendezések esetében is. Az intelligens gyártási rendszerek megvalósításához ugyanis szükséges a valós és éles gyártási műveletekhez tartozó lehető legtöbb információs típusnak a gyűjtése, feldolgozása és a szerzett adatok alapján a módosítása. A piacon jelenleg számos érzékelőtípus lehet találni és fejlődésük folyamatos, az új technológiák megjelenése nem is évben, inkább hónapokban mérhető. Általánosságban el lehet mondani, hogy alapvetően a következő területekre specializált szenzorokat lehet megtalálni a piacon:

- A mozgó folyamat vezérlésére alkalmazott érzékelő. Ilyen például a helyzetérzékelő, a sebességérzékelő, a szögsebesség-érzékelő.
- A megmunkálás folyamatában alkalmazott érzékelő. Például az erőérzékelő, a teljesítményérzékelő, nyomásérzékelő
- A megmunkálási folyamat monitorozásában és diagnosztizálásában alkalmazott érzékelő. Ilyen érzékelő lehet például a rezgésérzékelő és a hőmérsékletérzékelő.

Az adott környezetben alkalmazandó megfelelő érzékelők kiválasztása nagyon lényeges feladat, hiszen egy rosszul megválasztott szenzorrendszer használatával nem csupán az intelligens megmunkálási szisztéma válik alacsony hatékonyságúvá, hanem a szenzorok beszerzésének költségvonzata is negatív színben tűnik fel a gyártó cégnél. Külön tudományterületként lehet tehát aposztrofálni a szenzortechnikát, melynek eredményeképpen a szakembereknek sok esetben tanfolyamokat kell elvégezniük ahhoz, hogy hatékonyan ki tudják választani a megmunkálási folyamathoz használni kívánt szenzorrendszereket. A multi-szenzor rendszerek tipikus alkalmazási területei az automatizáltan működő szerszámgépek esetében:

#### **a) Szerszámgép főorsójának vizsgálata**



A számjegyes vezérlésű szerszámgépek főorsója különféle szenzorokkal van felszerelve. Szenzor ad visszajelzést például az aktuális fordulatszámról, de szintén érzékelővel lehet megoldani az úgynevezett indexelési műveletet, amikor a főorsót 360°-on belüli elforgatásra szeretnénk használni (például egy munkadarab nullpontbemérő eszköz alkalmazásánál). A főorsókat ezeken túl sok esetben védeni szokták túlmelegedés ellen. Ekkor hőmérsékletérzékelő szenzort helyeznek el, mely érzékelő azonnal jelez, amint olyan hőmérséklettartomány alakul ki a főorsó körül, amely már káros lehet a szerszámgép főegységére. A túlzottan magas hőmérséklet jelzésére a CNC szerszámgép vezérlése automatikusan leállítja a főorsó forgását. Szintén szenzorikusan lehet minimalizálni például az esetleges gyorsmeneti ütközések során generálódó és komoly költségeket eredményező főorsó töréseket. Egy erőmérő szenzorral ugyanis gyorsan reagálni lehet a gyorsmeneti ütközés során hirtelen megnövekedő erőhatásokra. A szenzor jelzése alapján szintén a CNC vezérlés az, amelyik reagál, de ebben az esetben nem csupán a főorsó forgását állítja le, hanem a mozgási tengelyeket hajtó szervomotorokat is megállítja. A legújabb fejlesztések eredményeképpen pedig a főorsókat fel lehet szerelni olyan rezgésmérő szenzorokkal, amelyek jelezni tudják a vezérlésnek a káros rezgési tartományokat. A vezérlés pedig az információ birtokában automatikusan módosítani tudja a fordulatszámot, egy kedvezőbb rezgéstartomány felé mozdítva a folyamatot.

#### **b) Szerszámkopás vizsgálata**

A szerszámok elhasználódási folyamata és az elhasználódás előre becslése jelenleg is folyamatosan kutatott terület, ugyanis elméleti alapokon kezelve a kérdést, nagyon nehéz tapasztalati információk nélkül nagy pontossággal előre becsülni a megmunkáló eszközök kopási mértékeit, elhasználódásának időbeli pillanatát. A multi-szenzor technológiák alkalmazásával azonban az elméleti háttérrel hatékonyan lehet megerősíteni a valós idejű felügyeletet. A szerszámok kopásának jelzésére számos szenzorikai fejlesztés érhető el a piacon, az egyik legrégebbi és legáltalánosabb megoldás a területen az erőmérő szenzor. Az erőmérő szenzor esetében a felügyeletet ellátó számítógép egységbe egy előzetesen tapasztalati úton meghatározott erőlefutási görbét lehet rögzíteni. Ezen elméleti (bár gyakorlati úton meghatározott) görbére egy felső és egy alsó tűrésmezőt kell illeszteni, majd egy erőmérő szenzor segítségével valós időben



figyelni kell az aktuális megmunkálási folyamatot. Abban az esetben, ha ezen tőrésmezőn kívül esik a megmunkálási folyamat, az erőmérő szenzor jelet küld a CNC vezérlésnek, amely megállítja az automatikus gyártási folyamatot és jelzést küld a kezelőszemélyzetnek, miszerint elkopott, vagy eltört a megmunkáló eszköz. Szintén szerszámkopás figyelésére használják az akusztikus emissziós szenzorokat, a rezgés érzékelőket, illetve a vizuális szenzorokat is.

### c) Ultraprecíziós szerszámgépek szenzorikai felügyelete

Ultraprecíziós megmunkológépek egyik fő jellegzetessége, hogy általuk általában a mikrométeres tartományon belül pontosságot és kiváló felületi minőséget lehet előállítani. Ahhoz azonban, hogy ezen kiemelkedő pontosságot és felületet elérjük, számos szenzoros megoldást kell beintegrálnunk a rendszerbe. A területen szintén általános a rezgésmérő szenzor, hiszen egy káros rezgéstartomány pillanatok alatt tönkretelheti a nagy pontosságú megmunkálás eredményét, tehát a megmunkálás szempontjából hátrányos rezgéstartományok kiküszöbölésére gyors reagálású multi-szenzoros rendszereket érdemes alkalmazni. A rezgések minimalizálása mellett legalább annyira lényeges dolog a környezeti hőmérséklet állandó értéken tartása. Ultraprecíziós megmunkálás esetében akár pár tized Celsius-fok is túrésen kívülre helyezheti a legyártott, vagy éppen gyártás alatt álló termékek lényeges méreteit, így nagyon fontos több helyen is mérni a hőmérsékletet, melyet szintén multi-szenzoros rendszerben érdemes megvalósítani.

Ezen három példa is kiválóan illusztrálta, milyen lényeges feladat az automatikusan működő gyártórendszerek és ezen rendszereken belül található CNC szerszámgépek multi-szenzoros kiépítése, mely kiépítés hatására megvalósulhat az intelligens megmunkálási szisztéma.

#### 4.1.2. Adatbányászat [6]

Általánosságban véve az adatbányászat olyan tudományterület, amely elsősorban mesterséges intelligenciát és/vagy statisztikai módszereket használ fel a potenciális bonyolultsági viszony vagy az adatban lévő modell feltárására és megkeresésére. Az adatbányászat, amely az eredeti adatokból származó tudást tanulmányozza és összegzi, indukciós folyamat. Az adatbányászat általában a következő alapvető folyamatokat tartalmazza:



1. Adatgyűjtés: Bányászati kérdések elemzése, bányászati feladatok megerősítése, bányászati adatok bányászati feladatokkal történő összegyűjtése.
2. Adatfeldolgozás: Elsőként megtisztítja az adatokat, kizárja a tranziens jeleket, az információs zajokat annak érdekében, hogy kizárhassa a hibás paramétereket és következtetéseket, majd a megmaradó adatokat az adatbányászatnak megfelelő formátumra konvertálja.
3. Adatbányászat: Ebben a szakaszban a futó adatok szerint válassza ki a bányászati módszert (például döntési fákat, neurális hálózatokat), majd tárolja a bányászati eredményeket.
4. Tudásértékelés: Különböző elemeket alkalmaz a bányászati eredmények kiértékeléséhez, és megvizsgálja, hogy a megszerzett tudást mely területek hasznosíthatják.

Az adatbányászat feladata az is, hogy rejtett mintákat találjon az adatokban. A talált minták, vagyis modellek általában két kategóriába sorolhatók: leíró jellegű (leíró) és projektív típusú (prediktív). A leíró bányászati modell gyűjti, összegzi és ténylegesen ismerteti az adatbázis általános adatait. A prediktív bányászati feladatok elsősorban a jövőbeli tendenciák kiszámításához, a jelenlegi adatokból származó előrejelzések készítéséhez használatosak

Számos adatbányászati módszer létezik. Jelen tanulmánynak nem célja az adatbányászati megoldások részletes ismertetése, de általánosságban elmondható, hogy a piacon található módszerek az alábbi készségeket foglalják magukban:

- A biotechnológia lekövetése (neurális hálózat, genetikai algoritmusok, immun evolúciós algoritmus stb.)
- Statisztikai elemzési módszerek (immunizációs kontroll tervek, korrelációs analízis, regressziós analízis, faktorelemzés stb.)
- Egyéb statisztikai módszerek (durva készletek, fogalmi fák és AQ11)
- Döntési fák módszerei (ID3, C4.5 stb.)
- Fuzzy elméleti módszerek

A digitális gyártás során végzett adatbányászat célja, hogy óriási mennyiségű adatot, rejtett, ugyanakkor hasznos információkat gyűjtsön, tároljon és ezek alapján olyan



tudást bocsásson ki, amely képes hatékony döntéstámogatást nyújtani az online monitorozáshoz, a hibamegállapításhoz, a modell azonosításához, a vezérlési stratégiák tervezéséhez és az automatikus felügyelethez a gyártási folyamat során. Jól látható, hogy a digitális gyártási szisztémában az adatbányászatnak kiemelkedő szerepe van, ugyanis akár az első feladatoktól, magától a gyárak tervezésétől kezdve hatékony döntésekkel tudja ellátni az irányító számítógépet, valamint a kezelő szakszemélyzetet az általa gyűjtött adatok alapján, de ugyanolyan hasznos a tőle kapott segítség a gyártási folyamattervezésben és a gyártást követő digitális gyártási műveletekben. Kiváló és korszerű példa a szerszámgépek főalkatrészeinek állapotfelügyelete annak érdekében, hogy a meghibásodás előtt figyelmeztesse a felhasználókat az adott főalkatrész cseréjének szükségességéről. A gépkezelők és programozók elől rejtve maradó hibák jelzésére szintén kiválóan használhatóak az adatbányászati folyamatban gyűjtött, feldolgozott információs rendszerek. Az adatbányászati megoldások alkalmazásával tehát javíthatunk a selejtszázalékon, minimalizálhatjuk a karbantartások során kieső időt, növelhetjük a termelékenységet, melynek eredményeképpen a bevételeket és a nyereséget is maximalizálhatjuk. A következőkben két, a digitális gyártási szisztémához közvetlenül köthető adatbányászati megoldás kerül bemutatásra.

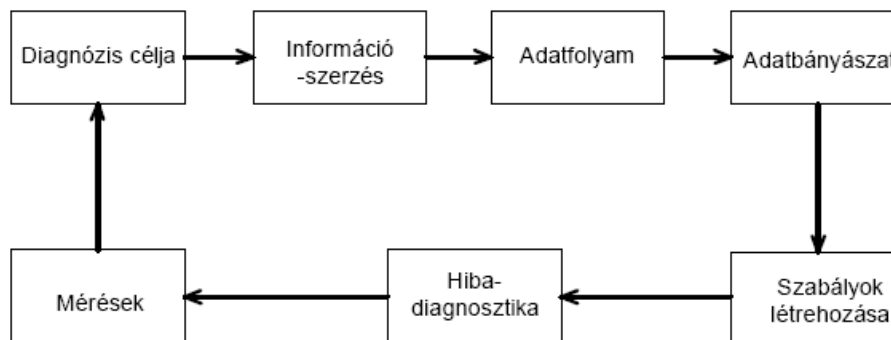
### **Hibadiagnosztikán alapuló adatbányászat**

A berendezések hibáinak diagnosztizálása során, amelyek többnyire az érzékelők által összegyűjtött adatokkal foglalkoznak, szükség van az eredeti paraméterek folyamatának figyelemmel kísérésére, ideértve a folyamatbeli, a technológiai háttérű és a rezgési információkat is. Szintén szükséges, hogy a külső zavaró jeleket, amelyeket az érzékelők vesznek fel, valamint a távvezetékek által bevezetett zajt kiküszöbölje a rendszer. A hatékony döntési rendszer megalkotása érdekében ezen komplex információtartalmak mellett gyűjteni szoktak más rendszerekből érkező jeleket, riasztási adatokat egyaránt. Az alkalmazás eredményeképpen vagy előre becsülhető a várható hibamegjelenés a szerszámgép, vagy éppen egy kiszolgáló egység esetében, vagy valós időben, mielőtt még a kezelők felismernék a problémát, jelezni lehet a hibát a központ számítógépnek.

A hibaadatokat főként két szempontból vizsgálják [6]: az első a megbízható tesztek adatelemzése, amely kiegészíti a numerikus vezérlőberendezések megbízhatósági



értékelését; a második a mechanizmust tanulmányozó kudarc modellen alapul, és intézkedéseket tesz a számszerűsítő berendezések megbízhatóságának javítására. A meghibásodási mód típusok alkalmazása tekintetében általában egy eszközt, valószínűséget és statisztikát tekintünk új megközelítésként. A sikertelenségi minták azonosítása érdekében egy érettebb fejlett elméletet, ehhez kapcsolódó szabályokat fogadunk el, amelyek a változók közötti összefüggés megtalálására és végül a szükséges szabályok szerinti osztályozás megvalósítására szolgálnak. Ezen szabályok alapján megerősíthetjük az új adatok hibáit, osztályozhatjuk azokat, meghatározhatjuk a hiba típusát, megérthetjük az okokat és megszüntethetjük azokat. A bányászati rendszer tervezési stratégiáját az 4-2. ábra mutatja.



4-2. ábra: Bányászati rendszer tervezési stratégiája

### **Adatbányászati tevékenység a digitális marketing területén**

A termékértékesítés során a számítógépek, a kommunikáció, a hálózatépítés és a mesterséges intelligencia technológia kihasználásával a vállalati erőforrások mozgósítják a marketingtevékenységeket, mely ezáltal képes teljesíteni a termékekkel és szolgáltatásokkal kapcsolatos igényeket. Ezt a folyamatot hívják digitális marketingnek [23]. A megfogalmazásnak két aspektusa is van:

- Az Internet alapú vállalati marketing menedzsment tevékenységek, vagyis a tudás és az információforrások digitalizálása
- A mennyiségi menedzsment eszközök használata a menedzsment problémák kezelésére, amit úgynevezett menedzsment kiszámíthatóságnak neveznek.

A vállalati adatbázis-rendszer nagyszámú termékértékesítési rekordot és ügyfél információt tartalmaz. Ezen adatbázisrendszer teljes körű felhasználása révén az



információelemzés átfogó képet adhat a múltban, a jelenben és a jövőben a piaci folyamatokról és meghatározhatja a legértékesebb ügyfélcsoportokat a versenypiacon annak érdekében, hogy az üzleti vezetők időben és pontos döntéseket hozhassanak.

A digitális feldolgozóipari vállalkozások elemzési lehetőségeinek növelése érdekében a piacon és az értékesítési tevékenységekben az adatbányászati technikákat alkalmazzák a digitális marketingre is. Az adatbázisok osztályozási módszereit arra használják, hogy megtalálják termékeik értékesítésének szabályszerűségét és az ügyfélbázis jellemzőit a vállalkozás adatbázisának nagy mennyiségű információi alapján azzal a reménnyel, hogy erős technikai támogatást nyújthassanak a vállalkozások számára ahhoz, hogy a termékfejlesztés, a gyártás, az értékesítés és a szolgáltatási stratégia tudományosabb és hatékonyabb legyen.

#### **4.1.3. Tudásszerzés és –termelés a termék teljes gyártási életciklusában**

A tudásmérés a mesterséges intelligencia fontos része, amely együttműködik a mesterséges intelligencia eszközeivel, így az adattárházakkal, a tudásszabályokkal, a logikai érvelésekkel, valamint a digitális gyártástervezéshez köthető CAX technológiákkal, például a számítógéppel segített tervezéssel, folyamattervezéssel, megmunkálással, robotirányítással. Ezen együttműködés tehát a termék teljes gyártási életciklusában megvalósul és hatékonyan segíti a gyártó cégeket a vevői igények kielégítésében, illetve az ebből következő közvetlen célok megvalósításában. A tudástervezés és -szerzés bevezetése a termékek teljes életciklusának fázisaiba a vállalati probléma elemzésével segítheti a feldolgozó vállalkozást abból a célból, hogy hatékonyan és gyorsan megismerje, megszerezze, kifejlessze, tárolja, szállítsa és újjászervezze a termékfelhasználás ismeretét, így a tudás feldolgozható, felhalmozható és alkalmazható fogalommá válik.

A gyártási tudás a termékek információs jellemzői szerint alakítható formában, precíziós, összeszerelési és vizsgálati jellemzőkkel, valamint anyagtechnológiai ismeretekkel áll a digitális gyártási rendszerek rendelkezésére. A termelési folyamathoz köthető gyártási tudás a tervezési ismeretekre, a különböző gyártási, alakadási ismeretekre, az összeszerelési ismeretekre, marketing ismeretekre épül, de akár még az újrahasonosítással kapcsolatos tudásra is bővíthet. Ez a típusú tudás magában foglalja az úgynevezett makroszkópos alakadást (pl. lyukasztás, vágás, kovácsolás stb.) és a



mikroszkópos módosításokkal kapcsolatos ismereteket (például edzés, hőkezelés, bevonatolás) egyaránt. A felhasználás szerinti tudás általános ismeretekre, pénzügyi tudásra, speciális technikára bontható

A gyártási tudás szoros kapcsolatban áll a gyártási folyamattal. Számos aspektusa és szintje van, amely nagyjából szétválasztható a termékismeretre és feldolgozási ismeretekre. A termékismeret a termékek jellegét kifejező információk, amelyek magában foglalják a geometria alakját, méretét, különböző tűrési és illesztési követelményeit, az alapanyag geometriáját, anyagtechnológiai jellemzőit, a műszaki szabályok és a műszaki követelmények minden formáját. A feldolgozási ismeretek magukban foglalják az irányítási információkat (gyártástechnológiai ismeretek) és a menedzsment ismereteket a termék-előállítási fázisban. A termék teljes életciklusának modellezési elmélete szerint a termékismeret megosztható terméktervezési ismeretekre, termékgyártási ismeretekre, termékfelügyeleti ismeretekre és termék visszahívási ismeretekre.

#### **4.1.4. Intelligens tudásbázis alapú gyártórendszerek**

Az adatbányászati eredményekre alapozó, tudásbázissal működő gyártórendszerek képzik a jelen egyik fő fejlesztési irányvonalát a gyártásautomatizálás területén. Ezek az intelligens elemekből összeállított gyártórendszerek képviselik jelenleg a negyedik ipari forradalom fő célját, vagyis a folyamatokból szerzett információk gyűjtése, feldolgozása, kiértékelése eredményeképpen öntanuló, folyamatosan fejlődő, a gyártási és karbantartási paramétereket előre becslő rendszer megvalósítását.

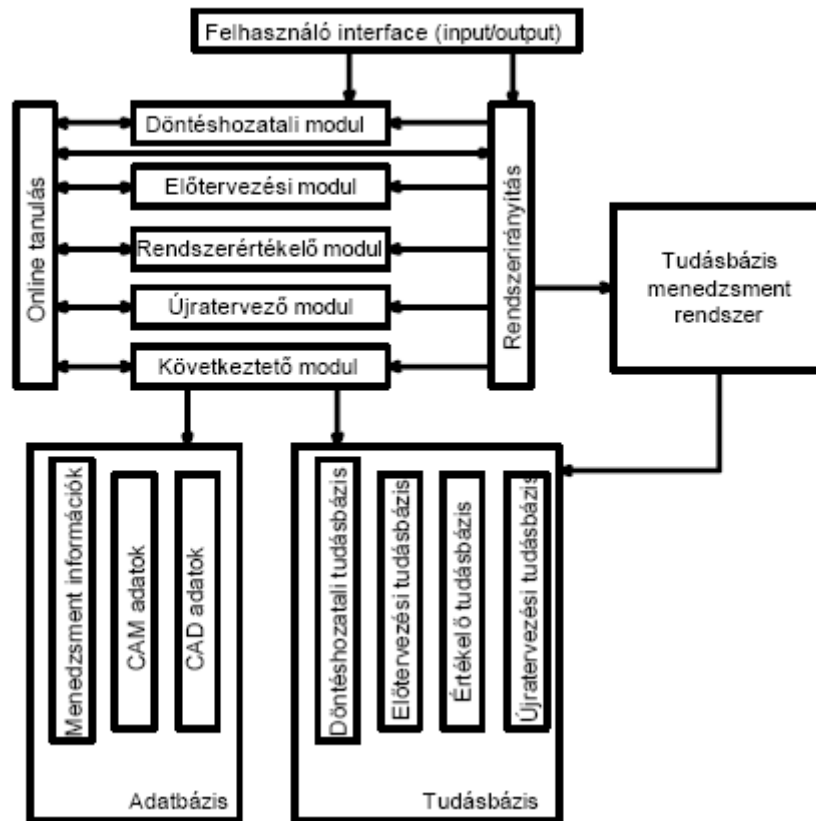
Az intelligens alapon működő, tudásbázissal rendelkező gyártórendszereknél az értékelési modulokban lejátszódó elemzések fő feladata az érvelés megállapításai és a tudásbázis értékelési ismeretei alapján a tervezési vagy folyamatrendszer értékelése, irányítása. A rendszertechnika, az értéktervezés, a döntéselmélet, az operatív kutatás és a fuzzy matematika megfelelő ismereteinek felhasználásával, valamint az átfogó értékelés elkészítéséhez szükséges megfelelő intézkedések elfogadásával, a rendszer értékelési indexének ismeretével hatékony és megfelelő döntést hozhatnak az egyes modulok, amely döntések rendszeresen kihatnak a gyártási folyamat aktuális, vagy következő szakaszaira. Az értékelés a szakértői szintre épül, így számos tapasztalattal és kiterjedt ismeretekkel jár, továbbá több algoritmust is alkalmaz, mint például az



indextervezés, vagy a programok eredménymutatóival kapcsolatos megoldások. Ezenkívül az alkatrészek és egyéb eszközök különböző értékelési mutatókat is tartalmazhatnak. Az értékelés másik fontos feladata az, hogy visszacsatolási információkat nyújtson az újratervezési folyamat számára, így segítve a döntést az esetleges módosítások megvalósításával kapcsolatban.

Az intelligens tudásalapú gyártórendszer (IKBMS) architektúráját a 4-3. ábra mutatja be. Ezen gyártórendszer típusok esetében az újratervezés modul az egyik kulcsfontosságú szakasz. Az értékelő modul és a döntéshozatali modul visszajelzési információi alapján, valamint a szakértői ismeretek felhasználásával a rendszer feladata az eredeti javaslat esetleges módosítása és az új tervezési megoldás kidolgozása.

A döntéshozatali modul feladata annak ellenőrzése, hogy a tervezési rendszer által generált új megoldások eredményei elérték-e az elfogadhatósági indexeket, mely indexek alapvetően a vevői igények részletes elemzéséből származtathatóak. Az elfogadhatósági döntéshozatalnak két jelentése van: először ellenőrizni, hogy az adott tervezési rendszer elfogadható-e, másrészt pedig a megvalósíthatósági/tervezési rendszer számára egy tárolóterület megnyitása. Általánosságban elmondható, hogy ezen algoritmusok eredményeképpen párhuzamosan több elfogadható terv kerül kidolgozásra, mely alapján több rendszer áll a döntéshozatali modul rendelkezésre, mely rendszerekből a modulnak képesnek kell lennie az átfogó értékelési mutatók szerint értékelni és kiválasztani a legjobb rendszert.



4-3. ábra: Intelligens tudásbázis alapú gyártórendszer architektúrája

Az IKBMS rendszer a digitális gyártási szisztéma számos területén alkalmazható, de közvetlenül a tényleges gyártástervezési fázisban van szerepe. Ez a fázis foglalja magába a feldolgozó szerszám kiválasztását, a szerszám gép kiválasztását, a befogási rendszer meghatározását, a megmunkálási technológia kiválasztását és így tovább. A különböző területek összetett tudásszinttel rendelkeznek, ezért a kifejezőmód a rendszerben nem azonos. Például a megmunkálási módszerek és a megmunkálóeszközök más szempontok szerint választódnak ki, más típusú módszerekre és modellekre van szükség.

A meglévő ismeretek alapján, és egy adott alkalmazási körre törekedve megállapíthatók a megfelelő döntéshozatali szabályok és a megoldandó logikai döntési módszerek. Ezért a megmunkálási módszerekhez és a megmunkálási eszközökhöz kapcsolódó megoldások generatív szabálymódszerekkel fejezhetők ki. Az előgyártmány és a késztermék geometriája, tűrésezei például a konstrukciós tervező tapasztalatából



származik, mely ismereteket nehéz általános szabályokkal lefedni, ezért egy intelligens gyártási környezet a mesterséges neurális hálózat ismeretterjesztő formáját alkalmazza a tudás kifejezésére.

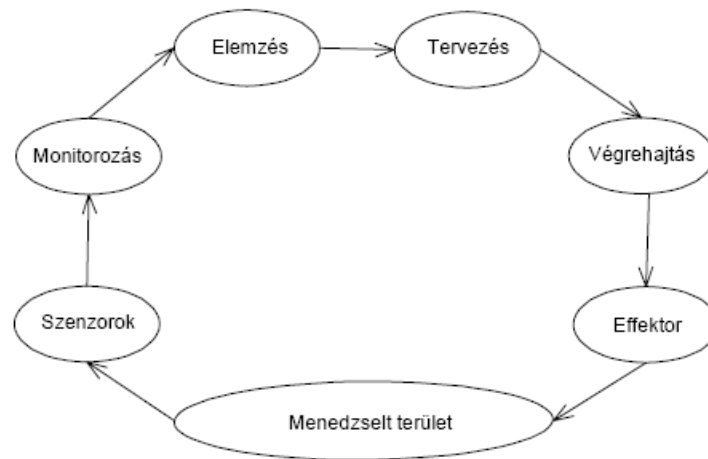
## **4.2. Autonóm gyártórendszerek fejlesztési lehetőségei**

Az intelligens gyártórendszerek kifejlesztésekor az elsődleges cél az volt, hogy a kiterjesztett értelemben vett gyártási folyamat valamennyi elemébe mesterséges intelligenciát alkalmazzanak, mely intelligenciaegységek elősegítik a gyártórendszer öntanuló képességét, a gyártórendszerek autonomizálására való törekvést. A gyártórendszerekben zajló folyamatok jelentős részénél már nem csupán kísérleti stádiumban találhatunk mesterséges intelligencián alapuló öntanuló rendszert, hanem ipari szinten is kipróbált, a piacon beszerezhető megoldásokkal is dolgozhatunk.

### **4.2.1. Gyártórendszerek autonómiája**

Az autonómia az intelligens gyártórendszerek egyik fontos egysége és tervezési célja. A gyártási rendszer számos nemlineáris és dinamikus folyamatot foglal magában, mely folyamatok a gyakran változó környezetben módosítási igényeket támasztanak a központi irányító számítógép elé. Pierre Massotte 1995-ben írta le egy autonóm rendszer definícióját folyóiratcikkében. Elmagyarázta, hogy az autonóm rendszereknek, mint az emberi agynak, folyamatosan optimalizálniuk kell magatartásukat. Az optimalizálás nemlineáris és dinamikus folyamatok kombinációját foglalja magában, ami a rosszul meghatározott viselkedési komplexitás kezelését és kontrollját jelenti. Az autonóm rendszer magába foglalja a képzést, a tanulást és az adaptív képességeket, mely műveleteket a mesterséges intelligencia technológiák segítségével old meg [24]. A magas szintű autonómia rendszerek kialakításának egyik legfontosabb követelménye a tervezési, ütemezési, diagnosztikai és ellenőrzési funkciók integrálása. Egy autonóm gyártási rendszernek meg kell felelnie a következő tervezési követelményeknek [25]: a rendszernek meg kell terveznie elsődleges céljait, majd ezen célok érdekében generálnia kell egy megvalósítási tervet. A rendszernek természetesen ezt követően képesnek kell lennie az adott terv végrehajtására, majd figyelemmel kell kísérnie a megvalósuló gyártás környezetét. Egy hatékony autonóm rendszernek az egész folyamat alatt kognitív és komplex diagnosztikai képességekkel kell rendelkeznie.

Ezen követelmények alapján a gyártási rendszer autonómiájának megvalósításához szükséges funkciókat tartalmazó keretrendszer leírását az 4-4. ábrán láthatjuk [26]. Az ábrán a monitor modul az ellenőrzött objektum, vagy vizsgált elem mért értékeit és állapotadatait érzékelők segítségével összegyűjti abból a célból, hogy az ellenőrzött műveleteket hatékonyan felügyelhesse. Az analízátor és a tervező szerepe az, hogy összehasonlítsa a monitor adatait a korábban rögzített tapasztalati információkkal, az ellenőrzési szabályokkal, valamint a szakértői ismeretekkel, majd meghatározza az ellenőrzött objektum, vizsgált elem főbb műveleteit. A végrehajtott rész megvalósítja az effektorok, aktuátorok által végrehajtott műveleteket az ellenőrzött objektumnál, vizsgált elemnél.



4-4. ábra: Gyártási rendszer autonómiájának megoldása [26]

Egy hagyományos gyártási modellben a gyártó szakemberek, vagy csapatok a kizárólagos döntéshozók (hivatkozva a magas szintű döntéshozatalra) a gyártási rendszerben. Magának a gyártási rendszernek egyáltalán nincs autonómiája, és a különböző alrendszerek csak a szakértő mérnökök, vagy technikusok döntéshozatalának megfelelően működnek. Az intelligens gyártórendszerek esetében a különböző alrendszerek ember által generált általános döntéshozatali megoldásait a számítógép intelligenciája váltja fel, mivel a folyamathoz tartozó alrendszerekben a számítógép és a benne található, mesterséges intelligencia alapú irányító program az önálló döntéshozatali képesség alapja. A teljes gyártási folyamat integrálása a döntéshozatali



koordináció különböző alrendszerain keresztül valósul meg, melyet összefoglalóan tudásintegrációnak hívunk. Ennek megfelelően egy intelligens gyártórendszer esetében a termék teljes gyártási folyamatában az erőforrásokkal (beleértve az anyagáramlást, az energiaáramlást és az információáramlást) kapcsolatos információk párhuzamosan több alrendszer irányító modulba is továbbítódnak.

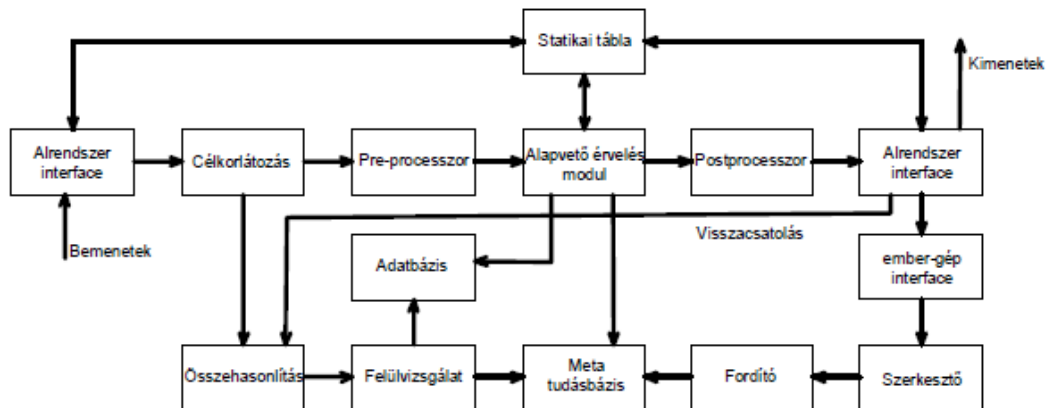
Az alrendszerek egységessége és a döntéshozatal automatizálására való képességük egy bizonyos (mesterséges) intelligens autonómia-testet jelent, mely az intelligens gyártórendszer egyik alapvető összetevőjévé válik. Minél magasabb a döntéshozatali automatizálás szintje, annál magasabb az intelligencia szintje is és így annál erősebb az autonómia. A gyártási feladatok bonyolultsága azonban az egyes alrendszerek kölcsönös koordinációjától függ. Ez függ az IMS önszerveződésének vagy döntéshozó képességétől is, azaz a döntéshozó szervezet megfelelő alrendszereitől, koordinációjától, irányításától és integrációs képességétől. Ennélfogva az IMS nem más, mint egy lényegében önmagában elosztott gyártási rendszer, melynek alapvető jellemzője az egyes alrendszereknek az "autonómiája", valamint ezen alrendszerek közötti folyamatos kapcsolódás és együttműködés.

Az intelligens gyártórendszerek alapvető követelménye az önszervező képesség. Az IMS támogatja az egyes szervezetek termelőegységeit egy előre meghatározott elosztási modell alapján, melynek hatására az önszerveződő termelési egységekből álló teljes rendszer megfelelő módon tud működni, lehetővé téve a vállalatok számára, hogy tevékenységeik során koordinálják az egység leghatékonyabb működését a különböző irányítás szintek (vállalati szint, gyártói szint, workshop szint) esetén.

Egy önszerveződő rendszer egy olyan speciális struktúrából álló rendszer, amely kialakítási jellegzetességei segítségével javíthatja az információk generálódását, áramlását, feldolgozását. Amennyiben egy intelligens gyártórendszer képes önszerveződő alrendszerek kezelésére, kevesebb információmennyiség mellett is hasonló hatékonyságot lehet elérni az irányítástechnikában és az autonómiában, mint a hagyományos felépítési struktúrák során.

Egy intelligens gyártórendszerhez köthető önszerveződési megoldás alapvető egységszerkezetét a 4-5. ábra mutatja be [26].





4-5. ábra: Intelligens gyártórendszer önszervezésének struktúrája [6]

Az egységszerkezetben az alábbi főbb modulok találhatóak meg:

- **Alrendszer interface.** Az alrendszer interface valósítja meg az intelligens gyártórendszerek részeként működő alrendszerek közötti kapcsolódást, melynek eredményeképpen létrejöhet a hatékony irányítás és ellenőrzés. Az interface további feladata, hogy az egyes alrendszerek nem szabványos adatformátumait azonos nyelvi szabvány formátumra változtassa, továbbá hogy az alrendszerhez köthető nyelvi szabványok és az alrendszerek esetében alkalmazott nyelvi szabályszerűségeket összehangolja. Az interface bemenete az egyes információs rendszerekből kapott adatok, kimenete pedig egy együttműködésen alapuló döntéshozatal eredménye, mely döntéshozatal elsősorban a nemlineárisan dolgozó alrendszerek kezelésére irányul.
- **Célok és korlátok moduljai.** Ezen modulok határozzák meg és kommunikálják azon feladatokat és korlátozó feltételeket, amelyeket a rendszernek teljesítenie kell. Az alapismeretek könyvtára a rendszerirányítás megvalósításának alapja. A modulban generálódó tartalom és feladatok összessége számos modulnak bemenő információja, de természetesen az egyes alrendszereknek is közvetlen bemenetei.
- **Statikai tábla.** A külső memóriában egy dedikált tárolóterület épül fel a rendszer működésének megőrzéséhez szükséges információk elhelyezésére. Ez



azért van így, mert az intelligens szoftverrendszer teljes integrációja esetleg nem tud egyszerre futni a rendszerben, mert túl sok memóriára van szüksége. Ezt a különálló tárolóterületet nevezzük statikai táblának.

- **A rendszer alapadatbázisa.** Az intelligens alapokon működő komplett gyártási környezet által megosztott adatbázis, amelyet meg kell különböztetni az egyes alrendszerek adatbázisaitól, amelyek csak részlegesek és csak egy adott alrendszer számára használhatóak.
- **Az alapvető érvelés modulja.** A metaadatok diszperziójának és az alapvető tudás kifejeződésének különböző formajellemzőivel az alapvető érvelést számos indoklási módszer integrálja. Az alapvető érvelés modulja a teljes rendszer kontrolljának, koordinálásának és használatának elérése érdekében működtetheti és feldolgozhatja a referenciamodell összetett és változatos ismereteit, információit.

#### **4.2.2. Autonóm számjegyes vezérlésű eszközök**

Az intelligens alapokon működő, integrált számjegyes vezérlésű eszközök a jövő automatizált gyártási megoldásai, hiszen az öntanuló képesség eredményeképpen folyamatosan optimalizálni tudják a teljes megmunkálási környezetet, az alkalmazott stratégiákat és paramétereket. Az autonóm számjegyes vezérlésű eszközök felépítésében három fő szintet lehet megkülönböztetni:

##### ***1. Alapvezérlő szint***

Ez a szint felelős az általános számjegyvezérlési (kapcsolási és út jellegű) funkciók megvalósításáért. A nagy sebességű intelligens vezérlési algoritmusok segítségével javítható a rendszer válaszsebessége és növelhető a rendszer robusztussága. Nemlineáris intelligens kompenzációs technológiák alkalmazhatók a megmunkálás nagy pontosságú követelményeinek kielégítésére.

##### ***2. Intelligens döntéshozatali szint***

Ezen szint főleg a releváns döntések meghozatalára, a modulok működési állapotának és paramétereinek az alapvezérlői szintbe, vagy a saját szintjébe történő hozzáigazítására szolgál, mely feladatokat tudásbázis által támogatottan, az ellenőrzött objektum valós idejű státuszának és megmunkálási specifikációjának megfelelően tudja megvalósítani.



Az intelligens döntéshozatali szint ezen kívül a teljes rendszer valós idejű felügyeletéért is felelős. A szinten négy modult tudunk megkülönböztetni. Ezek a modulok a folyamatok tervezése, az önálló vezérlés, a felügyelet és diagnózis, valamint az intelligens felület moduljai. A rendszerben az autonóm vezérlőmodul az egyik legfontosabb elem, ugyanis itt valósul meg a komplett gyártási rendszer autonóm vezérlése. Az intelligens döntéshozatali szint további feladata, hogy érzékelők segítségével rögzítse és felügyelje a gyártási rendszer működési állapotát. Az információk feldolgozását és a feldolgozás alapján az eredmények generálását szintén ez a végrehajtási szint végzi el. A feldolgozási eredmény és a tudásadatbázis támogatásával az autonóm vezérlőmodul döntéseket hoz az érvelés alapján az alapszabályozási réteg működési állapotának és paramétereinek módosítására.

### **3. Tanulási és szervezeti szint**

Ezen a szinten valósul meg ténylegesen az öntanulás, mely művelet kiegészül érvelések és döntéshozatalok sorával. A tanulási és szervezeti szint vállalja az egész rendszer működési környezetének azonosítását és érzékelését, amely magában foglalja a megmunkálási folyamatot, az alapvető vezérlőréteg és az intelligens döntéshozó réteg működési állapotát. Ezt követően döntéseket hozhat arról, hogy megváltoztatja a tudásbázist és a tudásforrást az ellenőrzési szabályok egy bizonyos részének vagy bizonyossági tényezőjének módosítása érdekében.

Az elosztott mesterséges intelligenciával, amelyet széles körben alkalmaznak a gyártásban, az elosztott autonóm gyártási rendszereket elosztott autonómiával látják el. A gyártási rendszer funkciója és logikai szerkezete több ágensen alapulhat. Az elosztott autonóm gyártási rendszerben a koordináció és az együttműködés fontos kérdések. A több, autonóm ágens alapon dolgozó, elosztott gyártási rendszer integrációjára vonatkozóan olyan módszert javasoltak, amely magában foglalja az elosztott hálózati rendszerben dolgozó gyártási rendszer felépítésének módját, az autonóm ügynök funkcióját és logikai struktúráját, az ügynökök közötti információcserét és a koordinációs protokollt [20].

#### **4.2.3. Gyártórendszerek öntanuló képessége**

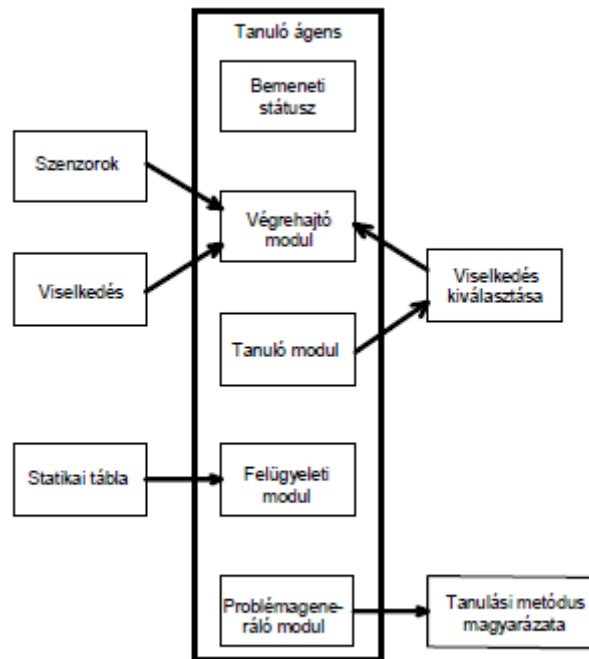
Az információfeldolgozás és a tudásszintézis fontos kapcsolat az intelligens gyártórendszerek alkalmazása területén. A témában közvetlen hatással van magára az



operációs rendszerre és a termék teljesítésének minőségére és hatékonyságára egyaránt. A gyártási folyamatok öntanuló készségének megértése és összefoglalása, valamint a döntéshozatali ismeretek szintézise, az intelligens gyártás területén tényleges kapcsolódási ponttá válik.

Maga a tanulás egy olyan rendszer átalakítása, amely a külső környezethez illeszkedik, és mely átalakítás révén a jövőben ugyanazon, vagy hasonló feladatok megoldására a rendszer tökéletesebbé válik. A tanulási folyamatot egy ügynök valósíthatja meg, a 4-6. ábrán látható módon. Az ábrán látható folyamatban először egy „Végrehajtó modul” megkapja a külső környezet érzékelési adatait és a belső környezet állapotinformációit. Ezt követően a modul kiválaszt egy ügynököt (ágenst) a külső pozícióból érkező tevékenység végrehajtására. A "felügyeleti modul" a külvilág teljesítményértékelési szabványait használja fel, és a "modulok problémájának" tanulmányozását és értelmezését végzi, mely értelmezésben szerepet játszik a „Tanulási modul” és a „Végrehajtó modul” is. A tanulás megvalósulását végző ügynöknek a tudáshoz való hozzáféréshez a következőket kell biztosítania:

- Integritás. Az ügynöknek a lehető legtöbb információt kell összegyűjtenie a széles körű tudás alkalmazásának jellemzőiről
- Proaktívnak kell lennie. Tanulni a különleges körülmények korlátozott példáiból annak érdekében, hogy megteremthesse az általános szabályokat, melyek alapján előrejelzéseket tud készíteni.
- Az információk megértésének, a tanulási folyamatnak és a tudáshoz való hozzáférésnek könnyen érthetőnek kell lennie az emberek és a gépek között
- Az evolúció, a ciklus, a viselkedés és a jó teljesítményű tanulás eredményei továbbra is felhalmozódnak és fejlődnek, továbbá a nem hatékony, káros műveleteket és a rossz eredményeket továbbra is el kell felejtetni.



4-6. ábra: Öntanuló gyártórendszer ágens struktúrája

A gépi háttérű önképzés sokféleképpen kategorizálható. A következő felsorolás mutatja be a napjainkban legáltalánosabban alkalmazott tanulási stratégiákat:

1. Rote learning:

A rote learning egy ismétlésen alapuló memorizációs technológia. Az ismétlések hatására rögzülnek a szükséges információk az adatbázisban, mely paramétereket a jövőben alkalmazni lehet optimalizálási feladatok esetén.

2. Útmutatások alapján történő tanulás: Az öntanuló rendszer megszerzi a tudást a környezetből és átalakítja azt egy rendszerszerű formára, majd ötvözi az új ismereteket a meglévőkkel.

3. Analógiai alapú tanulás: A tanulási rendszer rögzíti és összeszedi a meglévő ismereteket, az új koncepciókat és a területhez köthető hasonló készségeket, majd ezeket összeveti, átalakítja és közös alapokra helyezi.

4. Induktív tanulás: A tanulási rendszer a koncepció általános leírását generálja a környezetre gyakorolt induktív következtetéseken keresztül.



A fenti felsorolásból és magyarázatból kitűnik, hogy egyetlen tanulási stratégia sosem elegendő a komplex öntanuló képesség megvalósításához, tehát minden esetben az egyes tanulási stratégiák kombinációjával érdemes fejleszteni az öntanuló folyamatokat. Az öntanulás széles körben használatos az intelligens gyártórendszerek területén, elsősorban a csoporttechnológia, termék- és folyamattervezés, gyártási ütemezés, folyamatmodellezés és monitorozás, folyamatvezérlés és diagnosztika tárgyaiban. Az alábbiakban két példát veszünk górcső alá, amely példákban kiemelt szerepet kaphat az öntanuló rendszerek alkalmazása:

### ***1. Konstruktív tervezés***

Az új termékek fejlesztése elkerülhetetlenül szükségessé teszi az ismételt módosításokat, az integrációt, a koordinációt, valamint a geometria és a méret optimalizálását. Ezen műveletek egyértelműen szükségessé teszik az öntanuló rendszerek új generációjának kifejlesztését a termékek tervezésének módosításával, bizonyos szerkezeti és méretváltozásokkal, valamint a környezeti változások beintegrálásával kapcsolatban. Egy öntanuló, intelligens alapokon dolgozó konstruktív tervezőrendszer automatikusan módosíthatja különböző követelmények alapján a geometriát, rugalmasságot biztosítva ezzel a tervezési kapacitásban. A tervezési modell dinamikus módosítása érdekében az objektum alakzat-struktúráját alkalmazzuk, az általános szabályokkal szemben. Az általános szabályok is alkalmazásra kerülnek, például egy tűrésmező meghatározásában, vagy szerelési elemek beintegrálása során. Ebben az esetben az öntanuló rendszer az alkalmazható szabályok alapján meghatározza a megfelelő érvelés meghajtó mechanizmusát, majd a szilárd modellt és a felületi modellezést egységes rendszerré teszi. Az öntanulás eredményeképpen a konstruktív tervezőprogramok olyan modellt hozhatnak létre, amely a leghatékonyabb tervezési automatizálást és rugalmasságot tudja biztosítani.

### ***2. Gyártási folyamatirányítás***

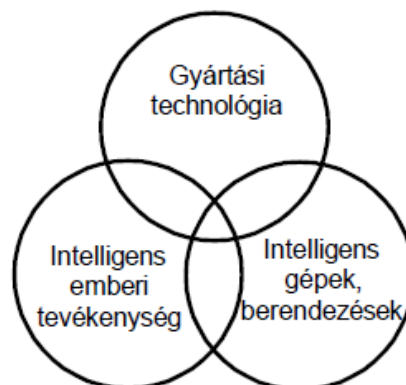
Az öntanuló rendszerek egyik leghatékonyabb alkalmazási területe a gyártási folyamatirányítás. A gyártástervezési fázis során is hatalmas adatbázist lehet létrehozni a különböző befogási módok jellegzetességeiből, a megmunkálási műveletek és műveletelemek jellemzőiből, de a folyamatirányítás másik nagy területén, a gyártórendszerekben található homogén gépcsoportok kapacitás-lekötési tervezésével

kapcsolatban is nagy háttértudást lehet szerezni. A digitális gyártási rendszerek területén tehát a gyártási folyamatirányítás a másik olyan feladat, ahol az öntanuló rendszerek kiemelt hatékonysággal tudnak dolgozni, hiszen folyamatosan tárolni tudják az újabb és újabb megmunkálási környezetben alkalmazott szerszámozási megoldásokat, munkadarab rögzítési eseteket, megmunkálási műveletterveket, azok sorrendiségét, illetve a teljes gyártási kapacitás lekötésének biztosítási megoldásait.

### 4.3. Intelligens gyártórendszerek főbb megoldásai

Az intelligens gyártással kapcsolatban nemzetközi szinten nincs elfogadott meghatározás. 1988-ban Wright és Bourno az "IM" monográfiában kimondta, hogy "az intelligens gyártás célja a gyártó munkás és a szakértelem készségeinek modellezése a tudástermelés, a szoftverrendszer, a robotvízió és a gépvezérlés területén annak érdekében, hogy az így szerzett intelligencia segítségével ipari robotok egyedi, vagy kis sorozatú gyártást végezzenek, ember általi beavatkozás nélkül. "

A területen általános definícióként van elfogadva, hogy az integrált gyártórendszer egy ember-gép alapú intelligens rendszer, amely intelligens gépekből és emberi szakértőkből áll és amely rendszer számítógépes szimulációs intelligencia tevékenységeket végez annak érdekében, hogy az emberi munka egy részét felváltsa, továbbá hogy automatikusan tudja elemezni a különböző környezeteket, feladatokat, majd az elemzések alapján önálló döntéseket tudjon hozni. A 4-7. ábrán látható egy intelligens gyártórendszer felépítése.

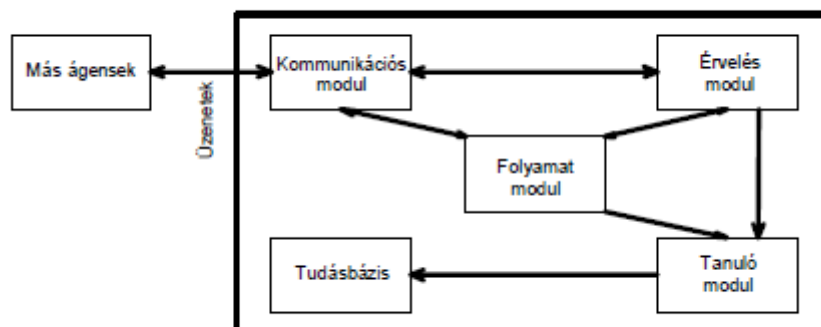


4-7. ábra: Intelligens gyártórendszer elvi felépítése

Az intelligens gyártórendszerek fejlesztésének egyik háttere a különböző mesterséges intelligencia eszközök bevetése (szakértői technológia, mesterséges neurális hálózatok és fuzzy logika) és alkalmazása. Az intelligens gyártórendszer további előnye lehet, hogy helyettesíteni tudja az emberi munkát az ipari igények mellett egyes kutatási célok elérése érdekében is, tehát az öntanulási képességet egy újabb dimenzióba tudja hozni. Az intelligens gyártórendszereknek ezen kívül képesnek kell lenniük a gyártási folyamatok teljes felügyeletére és hiba, vagy probléma esetén az azonnali beavatkozásra.

#### 4.3.1. Multi-ágens gyártórendszerek

Az intelligens ügynökök, vagyis az ágensek az 1980-as évek óta népszerűek az elosztott mesterséges intelligencia kutatásban és bár széles körben használják, még mindig nincs elfogadott definíció az ügynök fogalmára. Általánosságban véve elmondható, hogy a multi-ágens rendszerekben az ügynökök olyan számítógépes rendszerekre utal, amelyek alapvető jellemzői az autonómia, a társadalmi reakció és motiváció. Szélesebb kört magába foglaló definíció szerint az ügynök nem csupán az előző mondatban leírt tulajdonságokkal bír, hanem birtokolja a mentális fogalmak, például a tudás, a hit, a szándék és a kötelezettség emberi szellemét, továbbá a különböző érzelmi tényezőket. Az ügynök alapvető jellemzői között szerepelnek a tudás iránti cselekvés, a célok elérése érdekében történő feladatmegvalósítás. Egy modern ágens struktúrában (4-8. ábra) megtalálható a kommunikációs modul, az üzleti feldolgozó modul, az érvelési modul, a tanulási modul, az üzenetküldő és egyéb modulegység egyaránt.



4-8. ábra: Multi-ágens gyártórendszer felépítése





Az ágensnek a következő tulajdonságai vannak [27]:

1. Autonómia: az ügynökök az emberek és mások közvetlen beavatkozása nélkül működnek, továbbá ellenőrzést gyakorolnak tetteik és belső állapotuk felett. Képesek irányítani a saját cselekvéseiket, de ezen műveletek célja nem az ember kiváltása. Célközpontúak és problémáikat megoldják a felhasználók beavatkozása nélkül is.

2. Társadalmi képesség: az ágensek kölcsönhatásba tudnak lépni – egyfajta ügynöki kommunikációs nyelvjárás segítségével – más ügynökökkel

3. Reaktivitás: az ügynökök észlelik környezetüket (amely lehet a fizikai világ, a felhasználó egy grafikus felhasználói felületen, más ügynökök rendszere, illetve ezek kombinációi), és időben reagál a környezeti változásokra.

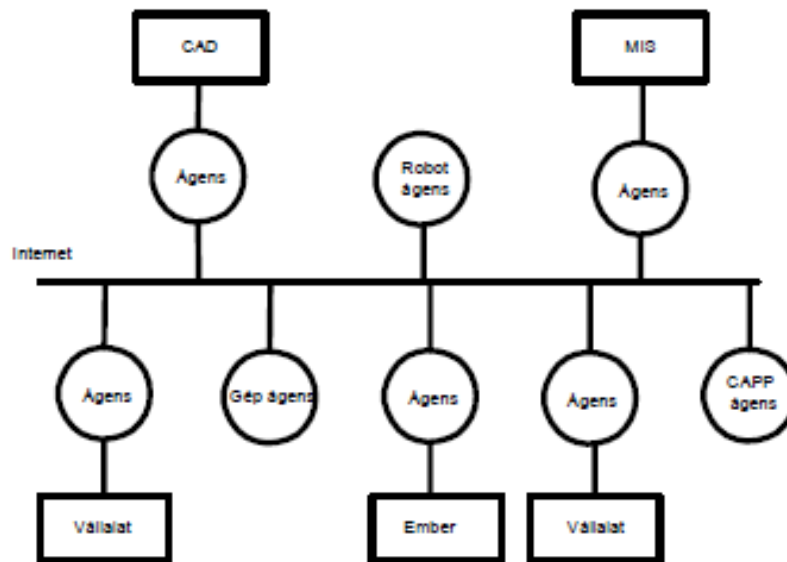
4. Pro-aktivitás: az ágensek nem csupán a környezetükre képesek reagálni. Alkalmassak különböző kezdeményezések útján célirányos magatartás és cselekvés generálására.

Az ügynök más tulajdonságokkal is rendelkezhet, ilyen például az együttműködés (az ügynöknek képesnek kell lennie arra, hogy kölcsönhatásba lépjen más ügynökökkel és esetleg emberekkel az ügynökök kommunikációs nyelvén keresztül) és a tanulás (egy ügynöknek képesnek kell lennie arra, hogy tanuljon, miközben reagál a környezetében történő változásokra).

A digitális gyártási rendszerben az ügynöknek két formája van [28]: a logikai ügynök, amely egy logikai egység vagy egy teljes funkcionalitással bíró rendszeregység, esetleg a rendszer logikai absztraktja, amelyet általában az információintegráció során használnak. A másik a fizikai tényező, vagyis a fizikai integritás egység vagy a teljes funkcióval rendelkező rendszer, amelyet általában a működési egység vagy az anyagáramlás integrálására használnak. A gyártási rendszer kutatási területein a fizikai és logikai ágensek együtt léteznek és együttműködnek egymással. A fizikai ügynök és a logikai ágens kombinációja hatékony eszköz a gyártási rendszer anyagáramának és információáramának integrálásához. A 4-9. ábra egy ügynök alapú gyártási rendszert mutat be. A kör alakú elemek fizikai tényezőt jelentenek, míg az téglalapot alakok logikai ágens.

Érdekes kérdés, hogy egy gyártási rendszer, vagy magasabb szintre lépve, egy teljes gyártó cég hány fizikai és logikai ágensre oszolhat szét. Például, ha a megvalósítandó cél egy gyártási feladat ütemezése, akkor egy szerszámgépet kinevezhetnek logikai

ügynöknek, amely felelős a feladatok elfogadásáért vagy elutasításáért. Ha azonban a vizsgálat célja az anyagáramlás integrálása, a szerszámgép úgy definiálható, mint egy fizikai ágens, amely automatikusan, szenzorok útján érzékeli a munkadarab érkezését és reagálni tud ezen érkezőkre. Amennyiben pedig a vizsgálat célja mindkét feladatot magában foglalja, vagyis az ütemezést és az anyagintegrációt is, akkor mindkét elem esetében fizikai tényezőként definiálható a szerszámgép, ahol a feldolgozó modul belső kötelezettsége a feladatok elfogadása, vagy elutasítása, míg az érzékelők felelősek a munkadarabok érkezésének automatikus észleléséért.

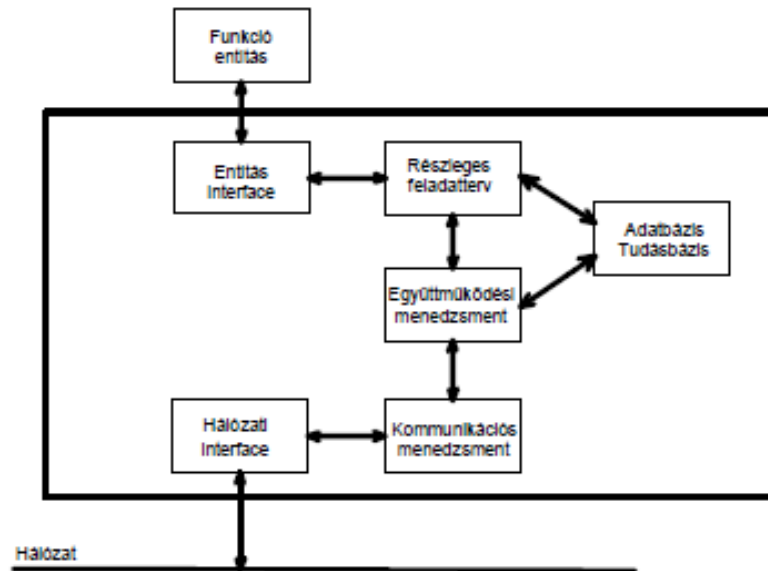


4-9. ábra: Ügynök alapú gyártási rendszer

A gyártási környezetben található ágensstruktúra általános vázlatát láthatjuk a 4-10. ábrán. A struktúra általánosan magában foglalja a következőket [29]:

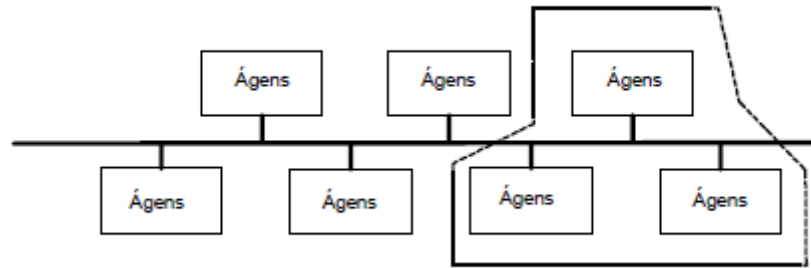
- Tudás- és adatbázis (amely az alapja tud lenni a döntéshozatalokban és döntések generálásában)
- Helyi feladat- és céltervezés (felelős a döntéshozatali kockázatokért és a funkcionális egység ellenőrzéséért, illetve szintén felelős a külső ajánlattételért és döntéshozatalért)

- Kommunikációs menedzsment (amely felelős a külső kommunikációs kapcsolatok kialakításáért).



4-10. ábra: Gyártási környezet ágensstruktúrája

Az intelligens gyártási környezetben lévő ágens egy ügynöki alapú elosztott gyártási környezetben helyezkedik el, amely környezetben kommunikációs hálózaton keresztül van lehetőség az egyes ágensek közötti párbeszédre (4-11. ábra). Általánosságban elmondható, hogy minden egyes ügynök önmagában dolgozni tudó egység és független más egységektől. Ahhoz, hogy egy ágens egy feladatot elvégezhesen vagy egyes célokat elérhesen annak érdekében, hogy megfeleljen valamilyen kívánalomnak, sokszor olyan kérdéseket kell megoldani, amelyek túlmutatnak egyetlen ügynök tudásán vagy képességén. Ezért is nagyon lényeges a multi-ágens rendszerek alkalmazása, amelynek során az egyes ügynökök képesek egymással együtt dolgozni, képesek a más ügynökök által megvalósított eredmények felhasználására és hatékony kimeneteket tudnak szolgálni szintén más ágensek irányába.



4-11. ábra: Ágensek közötti kommunikációs rendszer

Az ágensek technológiájának alkalmazása egy gyártási rendszer létrehozásához egy tipikus többágú gyártási rendszert hoz létre, melyet a 4-11 ábra szemléltet. A multi-ágens gyártórendszer felépítési modelljében különböző szinteket lehet megkülönböztetni. Ezeken a szinteken ügynökök dolgoznak, mely ügynökök felelősek az adott feladat megvalósításáért, valamennyi ügynök egy csomópont és az ügynökök egymással egyenlőségi kapcsolatban állnak. A rendszerben található gyártási egységeket az ügynökökön keresztül történő önrendelkezés jellemzi, ami hatékonyabbá és gyorsabbá tudja tenni a komplex rendszer működését. Az ügynökök közötti együttműködés révén a rendszer képes önszerveződésre is.

Az intelligens gyártási egység az a szervezet, amelyet egy adott ügynök alkot. A rendszerben található ügynökök esetében az alábbi alapelvek az érvényesek:

- Minden alapügynöknek logikai vagy fizikai entitásúnak kell lennie
- A rendszer alapvető feladatait legalább egy ügynöknek kell képviselnie
- Ágensek közötti együttműködés kötelező érvényű, mely követelmény javítja a teljes gyártási rendszer hatékonyságát.

#### 4.3.2. Holonikus gyártórendszerek

A holonikus gyártási rendszert (HMS) az intelligens gyártórendszerek kifejlesztésére indított program javasolta, egy új generációs gyártási rendszer megoldásaként. Magát a holonikus gyártórendszert egy elosztott irányítószerkezet jellemzi, mely autonóm, mégis együttműködő alapszerkezeti elemekből, az úgynevezett holonokból állnak. Az élő szervezeteket és a szociális rendszereket utánozva a holonikus gyártórendszerek képesek megőrizni a robusztusságot a dinamikus gyártási környezetben, a változó



konfigurációkhoz való alkalmazkodóképességgel és a források felhasználásának hatékonyságával. 1967-ben, Koestler a "The Ghost in the Machine" című publikációjának egy új szót, a "holont" mutatta be. A holon a görög holoszból származik. A szó első tagja a „holo”, amelynek a jelentése „egész”, vagy „teljes”, az utótagja pedig „on”, mint részekből összeálló egész.

Koestler rámutatott, hogy a "holon" függ az autonómia elemétől és szintjétől. A holon maga a függetlenségével képes kezelni a különböző eseményeket anélkül, hogy magasabb szintű utasításokat keresne és kérne. A "holon" által képviselt hatalom tehát egy magasabb szintre került. Ezen szintlépés eredményeképpen elmondható, hogy a holon egy stabil forma, mely egyedi funkciókat képes ellátni. A holon koncepciójának a gyártási rendszerbe történő bevezetése érdekében a nemzetközi együttműködési szervezetek a holonikus gyártórendszereket és kapcsolódó koncepcióit a következőképpen definiálták [30]:

1. Holon: olyan autonóm és együttműködő modul, amely a gyártási rendszerben információt, fizikai objektumokat fordít, szállít, tárol, vagy feldolgoz. A holon egy információfeldolgozó részből és egy fizikai feldolgozó komponensből áll. A holon egy másik holon része lehet. A holonnak a következő tulajdonságai vannak:

- az autonómia: egy entitás létrehozása és/vagy irányítása és/vagy stratégiájának végrehajtása
- együttműködés: az a folyamat, amelyben az entitások csoportja kölcsönösen elfogadható tervet készít, majd végrehajtja a tervet
- rugalmasság: a kiválasztási képességgel rendelkező holonok a környezeti változásokra reagálva megváltoztatják munkateljesítményüket és munkájuk terjedelmét.

2. Holon architektúra: a holonikus rendszer azt jelenti, hogy a holonok együtt dolgozhatnak egy vagy több cél elérése érdekében. A holarchia meghatározza a holonok közötti együttműködés alapszabályait, ezáltal korlátozva autonómiáját.

3. Holonikus gyártórendszerek (HMS): azon holon architektúra alkalmazása, amely szerkezetben integrálódik az összes gyártási tevékenység, mint például a gyártási szerződés aláírása, a termék geometriai és gyártástervezése, tényleges gyártása, piacra lépése és a karbantartási feladatok megvalósítása.



Egy holonikus gyártórendszerben valamennyi gyártó egység különálló holonként jellemezhető, mely holonok együttműködnek egymással oly módon, hogy ismerik egymás céljait és a közös elsődleges cél érdekében hajlandóak az együttműködésre, a viták rendezésére. Ez a folyamatos együttműködés tapasztalható a vevői igények beérkezésétől kezdve a konstrukciós tervezésen át egészen a tényleges gyártás megvalósításáig.

Az 5.33 ábrán láthatjuk a digitális gyártási szisztémában is alkalmazható holonikus rendszerek általános struktúráját, funkcióit.

Összehasonlítva a multi-ágens gyártórendszerekkel, a holonikus gyártási rendszer összpontosítja a koordinációt egy többágú gyártási struktúra révén, amely struktúra egyes elemei együttműködnek a globális optimalizálás megvalósításában. A szintekre tagolt szerkezet megkönnyíti egy összetettebb rendszer kialakítását. Alkalmazási szempontból a többágú gyártási rendszer jobban megfelel a regionális decentralizációnak, amelyben a gyártási rendszerek (például a virtuális vállalkozások és a gyártási hálózati rendszerek) viszonylag laza szerkezettel rendelkeznek, továbbá a holonikus gyártórendszer jobban alkalmazkodik a relatív koncentrációhoz is.

Hendrik Van Brussel professzor által javasolt holonikus gyártórendszer referencia modelljében [31] a gyártási rendszer három viszonylag független szempontot, erőforrást, termékeket és megvalósítási technológiát foglal magában, továbbá elemként értelmezhetőek a felhasználói igényekkel, a szállítási határidőkkel és a kínálattal kapcsolatos szempontok is. Ezért az elmélet szerint egy holonikus gyártórendszernek alapvetően háromféle alapszerkezeti modulja van:

#### 1. Erőforrás holon

Az erőforrás holon magában foglalja a fizikai egységeket (termelési erőforrásokat) és az információ feldolgozó szintet (a termelési erőforrások ellenőrzése), amely más holonok előállítási és feldolgozási kapacitását biztosítja. Az erőforrás holon szintén megőrzi az erőforrás-allokáció módszereit, valamint a termeléshez szükséges erőforrások használatához és ellenőrzéséhez szükséges szervezet tudását és folyamatát. Holon erőforrások nem mások, mint absztrakt termelési létesítmények, például gyárak, műhelyek, szerszámgépek, de lehetnek akár közlekedési autók, kések, tálcák, nyersanyagok, üzemeltető dolgozók, anyag tárolása, energia stb. Az erőforrás holon az



aktuális erőforrások állapotát is jelöli (a befejezett tevékenységek állapota, illetve azon tevékenységek állapota, amelyek még nem fejeződtek be). Az erőforrások tevékenysége módosulhat a környezet dinamikus változásainak hatására, például új rendelkezések megérkezésekor, más erőforrások károsodásakor vagy egy előgyártmány, vagy szerszám késésekor.

## 2. termék holon

Ezen holon biztosítja a technológiai és termékismereteket, a termékek minőségének biztosítása érdekében. A termék holon tartalmazza a legfrissebb információkat az egész termék életciklusán, valamint a felhasználói igények, a tervezés, a folyamat tervezés, az anyag formája, a minőségbiztosítási folyamatok és egyéb technológiai elemek információit is tárolja. A termék holonok emiatt általában a HMS rendszer más holonjainak információs kiszolgálóiként működnek.

## 3. Megvalósítási holon

Ez a holon képviseli a gyártási rendszerben betöltött feladatot, amely felelős a vevői igények alapján összeállított megbízások pontos és időben történő feldolgozásáért, de a megvalósítási holon kezeli a tényleges fizikai termékeket, tartalmazza a termék állapotmodelljét és megvalósítja az összes oda vonatkozó logikai információ feldolgozását. A holon megrendelhet készleteket, előgyártmányokat, prototípusokat, karbantartásokat, javításokat. A holon továbbá a megrendelések kezeléséért és a feldolgozó rendszer működtetéséért is.

A három alapvető holon kapcsolatát és a közöttük zajló kommunikációs folyamatot mutatja be az 5.34 ábra. Az egyes holonok közötti kommunikáció alapja a következő három terület:

1. Feldolgozási ismeretek: tartalmazza az adott feladat megvalósításához szükséges konkrét információkat és módszereket. A kommunikáció elsődlegesen arról szól, hogy a rendelkezésre álló erőforrások képesek-e a generált gyártási feladatot megvalósítani, olyan minőséggel, amelyre szükség van a vevői átvételkor, stb.

2. Termelési tudás: az adott termék előállításához használt információk és módszerek. A termelési tudás magában foglalja a munkafolyamatot, a termék megvalósítását leíró adatszerkezetet, valamint a termelési tervek értékelését.



A felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása a Pannon Egyetemen

EFOP-3.4.3-16-2016-00009



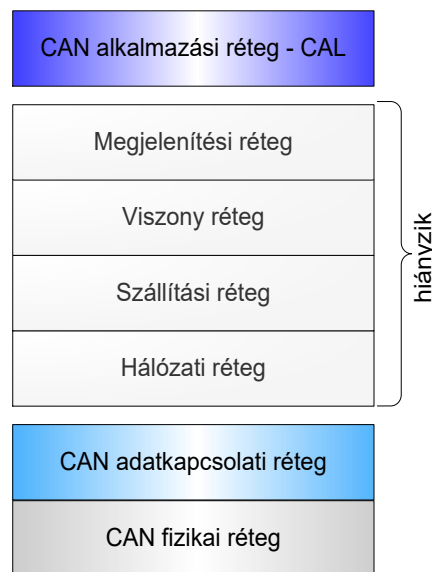
3. Feldolgozási műveletek ismerete: ezen ismeretek foglalják magukba a feldolgozási igény ismeretét, az elérhető erőforrások ismeretét, a végrehajtási folyamat ellenőrzésének, valamint a megszakítási lehetőségek ismeretét.



## 5. A CANopen általános jellemzése

### 5.1. A CANopen alapozása – CAN alkalmazási réteg

A CAN specifikációja a bitek fizikai továbbításával, azok keretezésével, alapvető, általános kérdésekkel foglalkozik, ami nem is meglepő, tekintve, hogy a fizikai és az adatkapcsolati réteg definíciójára összpontosít. Egyértelműen látszik azonban, hogy sok esetben az alapvető specifikációban foglaltakat meghaladó szolgáltatások szabványosítására van szükség, alkalmazás-specifikus finomításokra, bővítményekre, és hasonló extrákra. Ezek számára a CiA a CAN alkalmazási réteg (CAL) definiálásával tárta szélesre a kaput 1992-93-ban a buszrendszer felhasználási területének hatalmas bővülését vonva magával. Ez az új réteg tulajdonképpen a kommunikációt végrehajtó rendszer és az applikáció közötti interfésznek tekinthető (5-1. ábra).



5-1. Ábra: Kibővített CAN modell

A CAN alkalmazási rétege rengeteg szolgáltatást nyújt. Először is saját üzenetformátumokat és üzenetobjektumokat definiál, megadva ezek segítségével az egyes eszközök nyújtotta funkciók elérésének módját. Az üzenetekbe kerülő adatok kódolására is lefektet szabályokat, saját adattípusokat alkalmaz, egységesebbé téve a szállítást [32].



Mester-szolga kommunikációt alkalmazó irányítórendszerekkel segíti a rendszerüzemeltetők munkáját. Ezek közül a legfontosabb a hálózati irányító rendszer (Network Management - NMT), melyben egy kijelölt csomópont vezérli a többi csomópont inicializálását, ill. állapotváltásait. Hasonló rendszer áll rendelkezésre a rétegekkel kapcsolatos paraméterek vezérlésére (Layer Management - LMT), és az azonosítók dinamikus kiosztására (Distributor - DBT).

Az így nyert, kibővített CAN modell eléri ugyan az OSI modell csúcsát is, hiszen a rendszer tetejére került a CAN felhasználói réteg, ám a közbeeső rétegek még mindig hiányoznak. De ha jobban belegondolunk, ezek implementálására nincs igazán szükség. A hálózati réteg forgalomirányítással, hálózatok összekötésével foglalkozik, amire az adatszórás és a CAN önállósága miatt nincs szükség. Ugyanígy nem használta a szállítási réteg által garantált megbízható adattovábbítás, hiszen a CAN hiba bekövetkezte esetén az üzenetet újraküldi, s emellett igen alacsony hibaarányt garantál. A réteg másik fontos szolgáltatását, a tetszőleges hosszú üzenetek küldését pedig, ahogy a fentiekből kitűnik, a CAN alkalmazási rétege implementálja. A viszony réteg egész fogalma értelmét veszti a valós idejű applikációk esetén, míg a megjelenítési réteg szabványos adatkódolása szükségtelen, hiszen a CAL saját adatformátumokkal rendelkezik, melyek használata kötelező, s emellett az adatok jelentését az összes applikáció előre ismeri.

Ezzel megszületett a CAN alkalmazási réteg, ám sajnos el kell ismerni, hogy a CAL inkább egy remekül használható alapot teremtett későbbi fejlesztésekhez, mintsem egy önmagában igazán hatékonyan használható rendszert [33]. Számos lehetőséget, általános szolgáltatások teljes tárházát fogalmazta meg, ám mindezek használatának módját teljes mértékben a rendszer tervezőjére bízta. Tulajdonképpen ugyanazt a problémát szülte, mint ami létrejöttét eredményezte. A rendszer még mindig túlságosan általános maradt, s még mindig nem lett kellőképp kezelőbarát. Természetesen mérföldeket lépett előre, de mint azt a CANopen megálmodói helyesen észrevették, további finomításokra nyílt és nyílik lehetőség.

## 5.2. Nyolc rétegűvé válik az OSI modell – CANopen

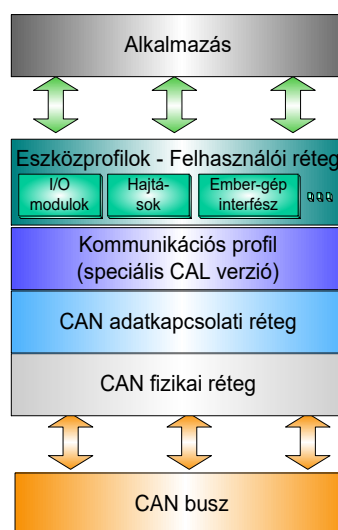
Ennek megfelelően a CiA lépett is, és publikus kezdeményezésként megkezdődött a CANopen fejlesztése, mely a CAL-re épül, s annak szolgáltatásait használva jól

98

kezelhető, egységes felületet nyújt az ipari alkalmazásokhoz, lefedve a lehetséges eszközök túlnyomó részét. Ez a nagyfokú flexibilitás és szabadság pedig ténylegesen megvalósult, mivel a projekt végig mentes maradt a piac nagy vállalatainak kizárólagos befolyásától. Sőt! A CiA-nek 1994-ben átadott rendszer jóval túlnötte az ipari automatizálás kereteit széleskörű szolgáltatásai révén [33].

A CANopen alkalmas mind elosztott, mind központosított szabályozási architektúra megvalósítására, paraméter fel- és letöltésre. A buszra fűzött eszközökhöz funkció alapján standard kapcsolódási, kezelési felületet kaptak, a rendszer gyakorlatilag valamennyi mikrokontrolleren fut, és megőrizte a CAN összes jellemzőjét.

A CANopen koncepciója a CAL finomítása, kiegészítése volt, tehát a rendszer a CAN alkalmazási rétegre épül. A CANopen szabványos módot mutat a CAL szolgáltatásainak használatára különböző profilok alkalmazásával, melyek egy része gyakorlatilag egy magasabb réteget képez (5-2. ábra). Ezt a 8. réteget sokan nevezik felhasználói rétegnek (User Layer). Ugyan akkor érdemes megjegyezni, hogy a szakmán belül nincs teljes egyetértés. A CANopen protokollt alkalmazási rétegbe helyező szakemberek szerint a CANopen csupán a CAL funkcionalitásával is rendelkező protokoll, melyre a CAL újabb változataként is lehet tekinteni [34]. A protokoll a CAN alkalmazási réteg szolgáltatásainak csak egy kisebb csoportját implementálja, ám ezek jól megválasztottak, s elegendők az ipari alkalmazások 95%-a számára [33].



5-2. ábra: A CANopennel kibővített CAN modell



Tehát a CANopen különböző részfeladatokat ellátó profilok együttesének tekinthető, melyek két fő csoportra oszthatók:

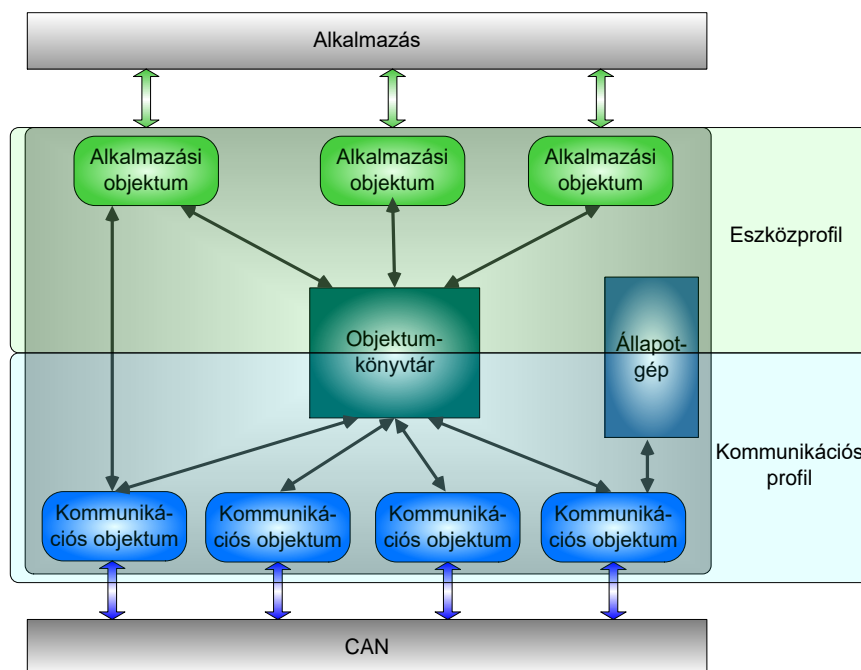
- **CANopen eszközprofilok (CANopen Device Profile):** Az eszközprofil egy adott típusú eszköz funkcionalitásainak elérési módját definiálja. A különböző eszközökhöz tartozó profilok köre folyamatosan bővül, az első szabványos profilok között az I/O modulok (DS401), a hajtások (DS402), az ember-gép interfészek (DS403) kaptak helyet.
- **CANopen kommunikációs profil (CANopen Communication Profile, DS301):** A kommunikációs profil értelemszerűen valamennyi eszközre vonatkozik, a CAL szolgáltatások használatának módját definiálja. Tulajdonképpen a CAL egy speciális változata, redukált erőforrásokkal. Ez képezi az interfészt a CAN és az CANopen eszközprofiljai között.

A profilok használatához az eszközöknek értelemszerűen meg kell felelniük bizonyos kívánalmaknak, hogy minél jobban illeszkedjenek a profilokhoz. Ennek megfelelően az eszközök tulajdonságai háromfélék lehetnek:

- **Kötelező:** a profilok használatához elengedhetetlen, hogy az adott eszköz bírjon az adott tulajdonsággal
- **Opcionális:** a profilok alkalmazásához nem szükséges, de használata előnyöket jelent
- **Gyártóspecifikus:** A flexibilitás jegyében a protokoll egyéb, az adott eszközre specifikusan jellemző tulajdonságot is engedélyez.

## 6. A CANopen eszközmodellje

A CANopen valamennyi csomópontja tekinthető egy összetett, sokcélú eszköznek, melynek feladata a kapcsolat fenntartása a CAN busz és az adott eszköz által végzett művelet között. A modellben interfészként szereplő objektumkönyvtár (Object Dictionary) az adott eszköz összes adatát, paraméterét tartalmazza indexelt formában. Ezt a táblázatot a kommunikációs objektumokon (Communication Object) keresztül írni és olvasni lehet a busz felől (6-1. ábra), így fejtve ki hatást az adott alkalmazásra az alkalmazási objektumokon (Application Object) keresztül [33].



6-1. ábra: A CANopen eszközmodellje

A kommunikációs objektumok mindegyike egy-egy specifikus kommunikációs feladatért felelős, azaz egy-egy meghatározott üzenet küldéséért, vagy fogadásáért. Ezek között adatszállítók és a rendszer általános működését irányítók is megtalálhatók. Ez utóbbiak irányíthatják az eszközök állapotváltásait is a belső állapotgépnek adva parancsokat (NMT) [35]. Vannak olyan adatszállító üzenetek is, melyek közvetlenül, az objektumkönyvtár érintése nélkül érik el az alkalmazási objektumokat (PDO).



## 7. Az objektumkönyvtár

### 7.1. Kódolási szabályok

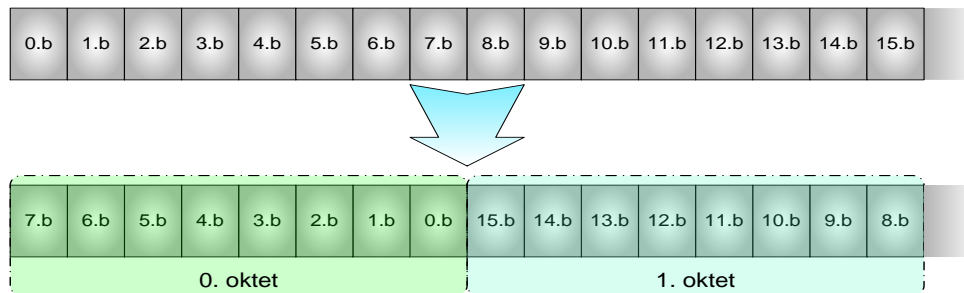
Ahogy az már korábban említésre került, a CAL saját, kötelezően használandó adattípusokat és kódolási szabályokat definiál az objektumok leírására, így tehát ezeknek megfelelően a CANopen is előre kötött adattípusokkal és kódolási szabályokkal bír.

Az előredefiniált adattípusok bevezetésével, azaz a nyers adat formája és jelentése közötti összeköttetés egységesítésével az érkező adatok vevőoldali értelmezését kívánták felgyorsítani, s egyúttal a téves értelmezés lehetőségét lecsökkenteni. Ez természetesen megköveteli, hogy az adatok formáját és jelentését a hálózat összes eleme ismerje.

Az objektum bonyolultsága alapján az adattípusok két fő fajtáját különböztetjük meg [33]:

- **Egyszerű típusok:** Az alapvető változó típusok, a boolean, az integer, a float, stb. tartozik ide. Ám az előredefiniált egyszerű típusok között dátum és idő formátumokat is találunk (DATE, TIME OF DAY), unsigned-ból és integerből pedig 8 bitestől kezdve 64 bitesig 8 bitenként külön típust (UNSIGNED8, UNSIGNED16..., INTEGER8, INTEGER16...).
- **Összetett típusok:** Az azonos adattípusú változókat összefogó tömb (ARRAY), illetve a különböző típusú adatokat összefogó rekord (RECORD) tartozik ide. A rendszerben megengedett maximális elemszám 254, ennél nagyobb elemszámú összetett változó nem lehet. Fontos megjegyezni, hogy a C-hez hasonlóan a rendszer a stringet UNSIGNED8 típusú változók tömbjeként kezeli. Az előredefiniált összetett típusok egyértelmű célt szolgálnak, PDO-k és SDO-k tulajdonságait írják le (PDO COMMUNICATION PARAMETER, PDO MAPPING PARAMETER, stb ).

A CANopen az eggyel lentebbi szinten azt is megfogalmazza, hogy a fent definiált árázadási módok használatával nyert bitfolyamokat miként kell elhelyezni a CANopen üzenetben.



**7-1. ábra: Bitsorozat adatmezőbe ültetése**

A bitsorozat oketetek sorozatává alakul, s ha a bitek száma nem volt osztható nyolccal, az utolsó oketetben kihasználatlanul maradt helyeket don't care biteknek tekintik. Előre a 0. oktet kerül, azaz a legkisebb helyiértékű biteket tartalmazó. Utána folyamatosan növekvő helyi értékű oktetek következnek (7-1. ábra).

Egy okteten, vagy másképp bajton belül szintén a legkisebb helyiértékű bit áll elől, s azt követi a többi helyiérték szerint növekvő sorrendben – azaz little endian módszer szerint. Ha új elem kerül egy adatkeretbe, az közvetlenül az öt megelőző után kerül tárolásra a fentieknek megfelelően.

## 7.2. Az objektumkönyvtár felépítése

Ahogy arról már korábban érintőlegesen szó esett, az objektumkönyvtár az adott eszközre jellemző változók, paraméterek, az un. objektumok indexelt táblázata - ezen értékeken keresztül képesek a hálózat más elemei az adott eszköz működését irányítani.

A címzés egy két részből összeálló cím segítségével történik: egy UNSIGNED16 típusú index és egy UNSIGNED8 típusú sub-index együttesével.

A sub-indexet különböző módon használja a rendszer attól függően, hogy a megcímezett objektum milyen típusú változó. Ha az egy egyszerű típus, nincs szükség a sub-index nyújtotta objektumon belüli címzésre, így az mindig 00H értékű. Viszont összetett típusok esetén, mint az array és record, a sub-index az elemek sorából jelöl ki egyet. Ez esetben a 00H sub-index-hez tartozó bejegyzés az összetett típus elemeinek számát tartalmazza, string esetén annak hosszát. Az FFH sub-index is foglalt, ennek –



ha alkalmazzák – az adott objektumról kell információt tárolnia előre definiált kódolási szabályoknak megfelelő formában. Ez az oka annak, hogy a nyolc biten címezhető 256 elem helyett az összetett típusok csak 254-et tartalmazhatnak.

Az objektumtáblát legkönnyebben egy táblázatként lehet elképzelni, melyben az objektumok tulajdonságai vannak felsorolva. A szabvány különbséget tesz főjellemezők és kiegészítő jellemezők között. A főjellemezők kategóriájába a következők tartoznak:

- **Index (Index):** az adott objektum indexe, azaz egy 16 bites szám hexadecimális formában.
- **Név (Name):** az objektum saját neve, mely egy rövid leírást tartalmaz az objektum feladatáról.
- **Szimbolikus név (Symbolic Name):** az objektum jellemzésére szolgáló név, mely egy ún. objektum kódot (Object Code) azonosít. Az objektum kódok részletesebb ismertetésére a 3.3-as fejezetben kerül sor.
- **Adattípus (Data Type):** az objektumban tárolt adat típusa, mely nem csak a 3.1-es fejezetben bemutatott előre definiált típusok valamelyike lehet, hanem akár egy gyártóspecifikus típus is.

Az objektumok kiegészítő jellemzői a következők lehetnek:

- **Hozzáférési attribútumok (Access Attribute):** azt jelöli milyen feladatok végezhetőek el az adott bejegyzésen, csak olvasható-e, esetleg írható is. Részletes ismertetésükre a 3.4-es fejezetben kerül sor.
- **Kategória (Category-Attribute):** Azt jelöli, hogy az adott objektum kötelező-e (K) az eszközprofil szempontjából, vagy csupán opcionális (O).
- **PDO leképezés tulajdonságai (PDO-mapping-supported attribute):** azt adja meg, hogy az adott objektum PDO-ba illeszthető-e, szerepel-e az alapvető PDO leképezésben, vagy egyáltalán nem illeszthető PDO-ba.
- **Értéktartomány (Value Range):** az adott objektum által felvehető értékeket adja meg.
- **Alapértelmezett érték (Default Value):** az adott objektum alapértelmezett értékét adja meg.



OBJEKTUMKÖNYVTÁR	
Index	Tartalom
0000	Nem használt
0001-001F	Egyszerű adattípusok
0020-003F	Összetett adattípusok
0040-005F	Gyártóspecifikus adattípusok
0060-007F	Eszközprofil egyszerű adattípusai
0080-009F	Eszközprofil összetett adattípusai
00A0-0FFF	Fenntartott
1000-1FFF	Kommunikációs profil adatai
2000-5FFF	Gyártóspecifikus adatok
6000-9FFF	Eszközprofil szabványos adatai
A000-FFFF	Fenntartott

**7-1 táblázat: Az objektumkönyvtár tartalmi felosztása**

Az objektumkönyvtár bejegyzései funkció szerinti csoportokba vannak rendezve (7-1. táblázat), ez alapján kapták indexüket [35]. Az első csoport, az 1000H alatti index-tartomány az adattípusok definícióját tartalmazza, azaz egyszerűen utal a dokumentációban foglaltakra. Gyakran ezek a bejegyzések csak olvasható objektumokként kerülnek be a táblába, és a reprezentált típus hosszát tartalmazzák bitekben számítva. Ennek célja a kompatibilitás erősítése különböző környezetek között, hiszen a típus definícióhoz tartozó index-szel egyértelműen meg lehet jelölni bármely paraméter típusát. Mivel ez csak optimalizáció, a tartomány bejegyzéseinek implementálása nem kötelező, a gyakorlatban általában el is hagyják.

A következő tartományt, az 1000H és 1FFFFH közöttit a kommunikációs profilhoz tartozó objektumok foglalják el. Mivel ezeket valamennyi CANopen eszköz használja, ezen szakasz implementációja minden eszköz esetén azonos.

A 2000H-tól 5FFFH-ig terjedő indextartomány a gyártó specifikus objektumoké, míg a 6000H-tól 9000H-ig terjedő tartomány az adott eszközhöz tartozó eszközprofil szabványos objektumait tartalmazza.

A gyakorlatban természetesen törekednek arra, hogy a bejegyzések számát minimalizálják, s általában a felkínált helyek számához viszonyítva a ténylegesen implementált objektumok száma valóban elenyésző. Különösen erős ez a tendencia a profil szempontjából kötelező bejegyzések esetén, de a gyártóspecifikus adatok esetén is törekednek a megkötések lazítására. Az egyetlen komolyabb kikötés magától értetődő: a



gyártónak az adott eszköz leírásában megfelelően kell dokumentálnia az objektumkönyvtár gyártóspecifikus bejegyzéseit.

### 7.3. Az objektumkódok

Az objektumok jellemezésére, általános feladatuk leírására ún. objektumkódokat használ a CANopen. Ezek a következők [33]:

- **NULL** – 0-s kód: a bejegyzés üres mivoltát jelenti.
- **DOMAIN** – 2-es kód: oktetekből felépülő adathalmazt jelent.(pl. futtatható kód)
- **DEFTYPE** – 5-ös kód: egyszerű típus definícióját jelöli.
- **DEFSTRUCT** – 6-os kód: összetett típus definícióját jelöli
- **VAR** – 7-es kód: egy egyszerű típusú változót jelöl.
- **ARRAY** - 8-as kód: egy tömböt jelöl, azaz az adott bejegyzés valójában több azonos típusú változó összessége. Ilyenkor használatos a sub-index az egyes „albejegyzések” elérésére.
- **RECORD** – 9-es kód: az ARRAY-hez hasonlóan szintén összetett típusú bejegyzést jelöl, de ezúttal több különböző típusú változó összessége alkotja az adott objektumot. Az egyes elemek megcímezése szintén a sub-index segítségével történik.

### 7.4. A hozzáférési attribútumok

Az objektumkönyvtár bejegyzésein végezhető feladatokat hozzáférési attribútumokkal adja meg a CANopen [33]:

- A **csak olvasható** változókat olyan típusú kapcsolatok esetén használják, melyekben a kliens olvasni szeretne egy távoli csomópont objektumkönyvtárából.
- A **konstans** változó a csak olvasható olyan variánsa, melyben a bejegyzés értéke nem változtatható meg.
- A **csak írható** változókat olyan típusú kapcsolatok esetén használják, melyekben a kliens ajánl adatot a szervernek, vagy valamilyen parancsot akar vele végrehajtatni.



- Az **írható-olvasható** változók alkalmazási köre az előző kettő keveréke: akkor használatosak, ha egy kliens adatot akar olvasni egy szerverről, vagy egy parancsot akar végrehajtani vele.
- Az **írható-olvasható műveleti bemenet** ill. **kimenet** attribútum arra szolgál, hogy a rendszer automatikusan tudja eldönteni egy adott bejegyzés értékéről, hogy az megfelel-e PDO-ba ültetéshez.

## 8. A kommunikációs modellek

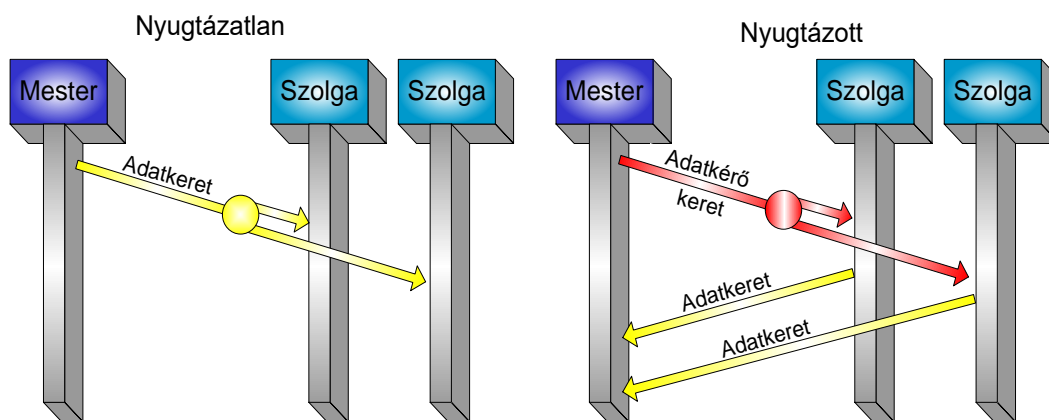
A CANopen különböző kommunikációs profilokat definiál, melyek feladatait több szolgáltatási objektum között osztja szét, melyek mindegyike egy-egy adott szolgáltatásért felel. Új kommunikációs módokat és objektumokat definiál [34].

Kihasználva a CAN által biztosított nagy rugalmasságot, a CANopen három alapvető kommunikációs modellel rendelkezik:

- Mester-szolga (Master-Slave)
- Kliens-szerver (Client-Server)
- Gyártó-fogyasztó (Producer-Consumer)

### Mester-szolga kommunikációs modell

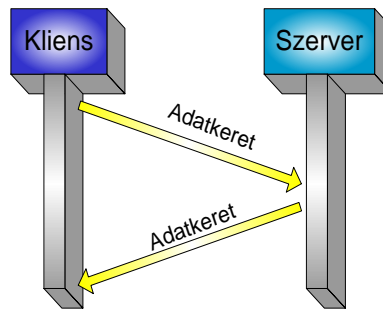
A mester-szolga kommunikációs modellben egy kitüntetett csomópont, a mester lép interakcióba a hálózat össze többi csomópontjával, a szolgákkal (8-1. ábra). A szolgáltatás nyugtázott és nyugtázatlan, általános felhasználása a hálózatvezérlés [33].



8-1. ábra: Mester-szolga kommunikációs modell

### Kliens-szerver kommunikációs modell

Ennél a megoldásnál egy csomópont, a kliens lép kapcsolatba egy másik csomóponttal, a szerverrel, ahol adatot ír, vagy olvas (8-2. ábra). Eszközkonfiguráláshoz használják, s ennek megfelelően csak nyugtázott formája létezik, ahol a válasz a művelet eredményét jelzi a kliensnek [33].

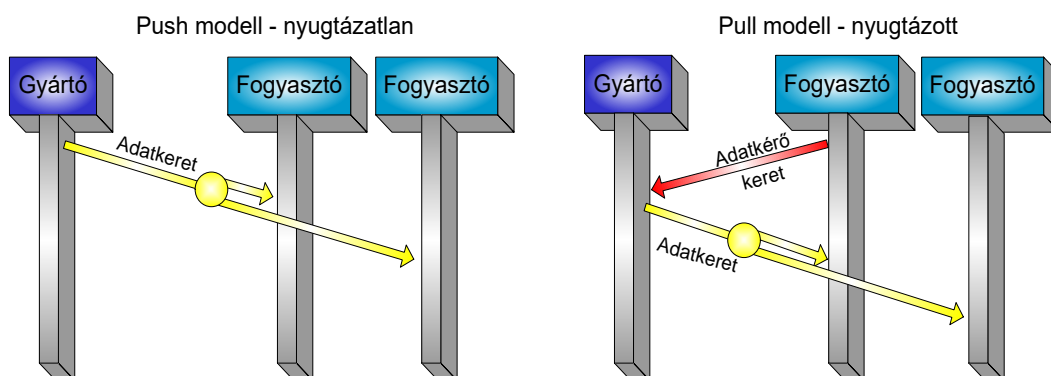


8-2. ábra: Kliens-szerver kommunikációs modell

### Gyártó-fogyasztó kommunikációs modell

Ez a modell valamelyest hasonló a mester-szolgá megoldáshoz, mivel itt is egy kitüntetett csomópont, a gyártó küld adatot több más csomópontnak (8-3. ábra). Ám azok száma nem kötött, az is előfordulhat, hogy elküldött csomagjainak nincs vevője. Tipikus felhasználása a műveleti adatok valós idejű cseréje [33].

Általában a gyártó kérés nélkül küldi az adatot a fogyasztóknak, ezt nevezik push modellnek, hiszen a kezdeményező „ellöki” magától az adatcsomagot. Azonban a protokoll lehetőséget biztosít arra, hogy bármely fogyasztó bármely időpillanatban kérje az adatot a gyártótól. Ez esetben pull (húzó) modellről beszélünk, mivel a fogyasztó gyakorlatilag magához „rántja” a számára fontos adatot egy adatkérő üzenettel. A nyugtázás szempontjából az előbbi a nyugtázatlan, az utóbbi a nyugtázott üzenetcsere osztályába tartozik (8-3. ábra).



8-3. ábra: Gyártó-fogyasztó kommunikációs modell



Természetesen több új üzenetet, azaz kommunikációs objektumot is definiál a CANopen, hogy az alkalmazások széles skálájához, a vezérelt eszközökkel való egységes kommunikációhoz minél közelebb kerüljön. A CANopen kommunikációs objektumai a hozzájuk tartozó üzenet feladata alapján három fő csoportra bonthatók. Az első a hálózatvezérlést végzi, a második az alkalmazások adataival foglalkozik, a harmadik pedig néhány speciális, előre definiált üzenetet kezel [33].

### **A hálózatvezérlést végző kommunikációs objektumok**

A mester-szolga kommunikációs modell alapján csomópontok inicializálására, állapotváltásaik irányítására használatosak. pl. NMT [34].

### **Az alkalmazások adatainak továbbítását végző kommunikációs objektumok**

Ahogy a nevük is mutatja, az adott eszközön futó alkalmazást vezérlik, annak számára szállítanak adatokat. Alapvetően kétféle kommunikációs objektum tartozik ide, a szolgáltatási és a műveleti adatobjektumok [35].

- **A szolgáltatási adatobjektumok (Service Data Object - SDO)** az indexelés alkalmazásával férnek hozzá az objektumkönyvtár bejegyzéseihez, képesek elérni valamennyit. Emiatt tipikusan konfigurációs feladatra használják őket. Valós idejű célra viszont nem megfelelőek, hiszen alkalmazásukkor először ki kell keresni a megfelelő bejegyzést az objektum táblából, majd azon a műveletet elvégezni, s csak ezután reagálnak az alkalmazási objektumok. A szolgáltatási adatobjektumok a kliens-szerver kommunikációs modell jó példái.
- **A műveleti adatobjektumok (Process Data Object - PDO)** az SDO-kkal ellentétben direkt hozzáférést biztosítanak néhány alkalmazási objektumhoz, ezáltal megfelelve a valós idejű kommunikáció sebességbeli kívánalmainak. A gyártó-fogyasztó kommunikációs megvalósítást követik.

### **A speciális kommunikációs objektumok:**

Ezen objektumok különleges feladatok elvégzésére kerültek definiálásra, s inkább a hálózat igazgatásának hatáskörébe tartoznak, mintsem az applikáció specifikus objektumok közé [33].



A felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása a Pannon Egyetemen

EFOP-3.4.3-16-2016-00009



- **A szinkronizáló objektum (Synchronisation Object - Sync)** a CANopen hálózatra kötött eszközök szinkronizálást végzi.
- **A vészhelyzet objektum (Emergency Object)** a hibakezelés során alkalmazzák a vészhelyzet jelzésére.
- **Az időbélyeg objektum (Time Stamp Object)** a teljes hálózat egységes időzítésére használható.



## 9. Szolgáltatás Adat Objektumok (SDO)

Ahogy már említettük az SDO-k arra használatosak, hogy a 16 bites indexen és a 8 bites sub-indexen keresztül férjenek hozzá az eszközök objektumtáblájában tárolt adataihoz. Emiatt lassúak, s gyakorlatilag csupán konfigurációs feladatokat látnak el, általában az alkalmazás indítása előtt. Ehhez értelemszerűen az aszinkron adatátvitel a megfelelő, és nincs szükség erős prioritású azonosítóra [33].

Viszont az eszközök objektumainak teljes skálájához hozzá tudnak férni, mely objektumok egymástól nagyban különbözőek lehetnek. Emiatt nagyobb rugalmasságot mutatnak, s akár 8 bájt nál hosszabb üzenet továbbítását is lehetővé teszik CAN telegramok láncával. Ennek megfelelően több átviteli módot ajánl a CANopen az SDO-átvitel számára [35]:

- **Gyorsátvitel (Expedited Transfer):** kis adatok szállítására kiélezett átviteli mód, melynek implementálását a CANopen specifikációja kötelezővé teszi valamennyi eszköz számára. Használatára is kötelezi őket minden, 4 bájtot meg nem haladó adat esetén.
- **Szegmentált átvitel (Segmented Transfer):** az átvitel általánosan alkalmazott módja, mely minden esetben alkalmazható. Implementálása akkor kötelező, ha az eszközben lehetőség van 4 bájt nál hosszabb objektumok implementálására is.
- **Blokkátvitel (Block Transfer):** a hosszú üzenetek átvitelére optimalizált átviteli forma, melynek implementálása teljes mértékben opcionális.

Használja az átvitel bármelyik megoldást a fenti háromból, a kezdeményező eszköz kliensként fér hozzá a szervertől funkcionáló céleszköz objektumtáblájához [33]. Mivel a kliens célja kétféle lehet, vagy ír vagy olvas, a kliens-szerver kapcsolat két különböző szolgáltatás nyújt: feltöltést (Upload) és letöltést (Download). Az átviteli módok bármelyike esetén a kliens a kapcsolat létesítője, viszont a kapcsolat lebontását mind a szervertől, mind a kliens kezdeményezheti.

Az átvitel minden esetben két szolgáltatási adatobjektum között zajlik. A szervertől oldalon egy ún. szervertől szolgáltatási adatobjektumot (Server SDO) használ a kapcsolat, míg a kliens oldalán egy kliens szolgáltatási adatobjektumot (Client SDO). A szerepek





igény szerinti felcserélődése miatt értelemszerűen minden eszköznek legalább egy kliens és egy szerver SDO-t kell implementálnia. Természetesen több SDO-val is rendelkezhet egy eszköz; a limit 128-128 mindkét típus számára, azaz egy csomópont összesen 256 SDO-val bírhat.

Mivel a szerver fogadja és válaszol is a kliens üzenetére, minden SDO-hoz két azonosítót kell rendelni, egyet-egyet irányonként. Ehhez a rendszer előredefiniált sémát biztosít, mely a 9.1 fejezetben kerül részletes tárgyalásra. Egy szolgáltatási kapcsolat létrejöttkor az SDO-k azonosítója címzi meg a hálózaton a céleszközt, majd pedig az SDO adatmezéjébe ágyazott index és sub-index a céloldal objektumtáblájának megfelelő bejegyzését. Ez utóbbi kettősét - azaz együtt az indexet és a sub-indexet – multiplexernek (Multiplexor) is nevezik.

### 9.1. Az SDO-k konfigurálása

Természetesen szükség lehet a CANopen eszköz által használt SDO-k konfigurálására is, így mindegyik SDO saját SDO kommunikációs paraméter (SDO Communication Parameter) típusú bejegyzéssel bír az objektumtáblában [2]. A szerver SDO-k indexe az 1200H-tól 127FH-ig terjed. Mint már említettük egy szerver SDO implementálása kötelező, s így értelemszerűen a hozzá tartozó objektum-könyvtárbeli bejegyzése is, mely kötelezően az 1200H indexet kapja. Mivel ez az alapvető kapcsolatok fenntartását szolgálja, beállításai nem módosíthatók. Kliens SDO-k esetén az index-tartomány 127FH-től 13FFH-ig terjed [33].

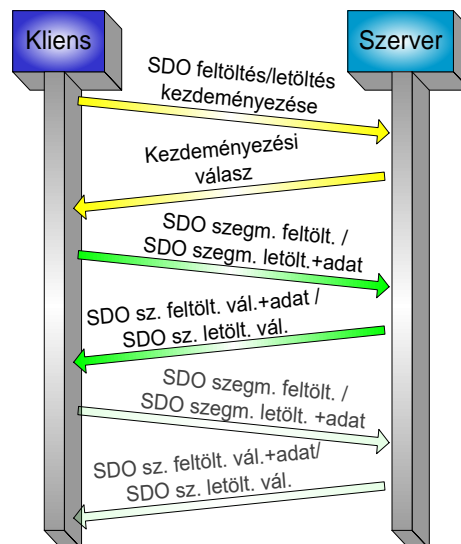
Mivel komplex konfigurálási lehetőségekről van szó, az egyes paraméterekhez sub-indexeken keresztül lehet hozzáférni az 9-1. táblázat alapján.

Szub-index	Tartalom	Adattípus	Bit száma	Érték	Jelentés
0H	Lehetséges albejegyzések száma	UNSIGNED8	31	0	Az SDO érvényes
				1	Az SDO érvénytelen
1H	A kliens-szerver üzenetek azonosítója	UNSIGNED32	30	0	Fenntartott (mindig 0)
2H	A szerver-kliens üzenetek azonosítója	UNSIGNED32	29	0	Standard üzenetazonosító
3H	Csomópont azonosító	UNSIGNED8		1	Kiterjesztett üzenetazonosító
			28-11	0	Nem használt (29-es bit 0)
				x	A kiterjesztett azonosító 28.-11. bitjei (29-es bit 1)
			10-0	x	Az azonosító 10.-0. bitjei

9-1. táblázat: A szegmentált SDO átvitel üzenetváltásai

## 9.2. Szegmentált átvitel

Ahogy arról már szó esett, a szegmentált átvitel az alapvető szállítási mód: az adat szegmensek láncolataként kerül továbbításra. Mind a gyorsátvitel, mind a blokkátvitel ebből származik [33].



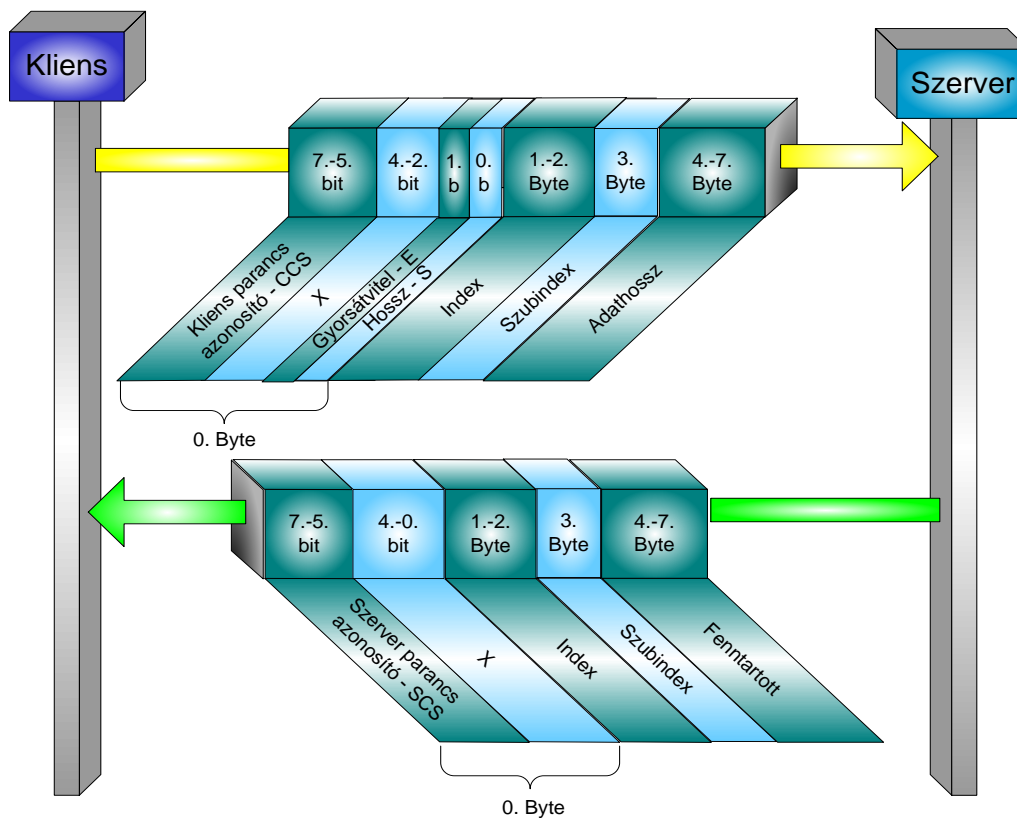
9-2. ábra: A szegmentált SDO átvitel üzenetváltásai

Egy kezdeti inicializációs fázis során jelzi igényét a kliens a szerver felé, s ha az teljesíteni tudja, a kliens elindítja az első szegmenst. Minden további szegmenst akkor

indít, ha az előzőre megérkezett a szerver válasza (9-2. ábra). A kliens minden szegmensére azonnal megérkezik a válasz, s csak ezután indul a következő.

### 9.2.1. Letöltés szegmentált átvitelrel

Kezdeményezésként a kliens egy SDO letöltést inicializáló üzenettel (Initiate SDO Download) értesíti a szervert arról, hogy objektumtáblájába szeretne írni [33]. A szerver egy inicializációs válaszüzenettel (Initiate Response) felel, jelezve, hogy kész-e az adat fogadására (9-2. ábra).



9-1. ábra: A szegmentált SDO letöltés inicializációja (adatmezők)



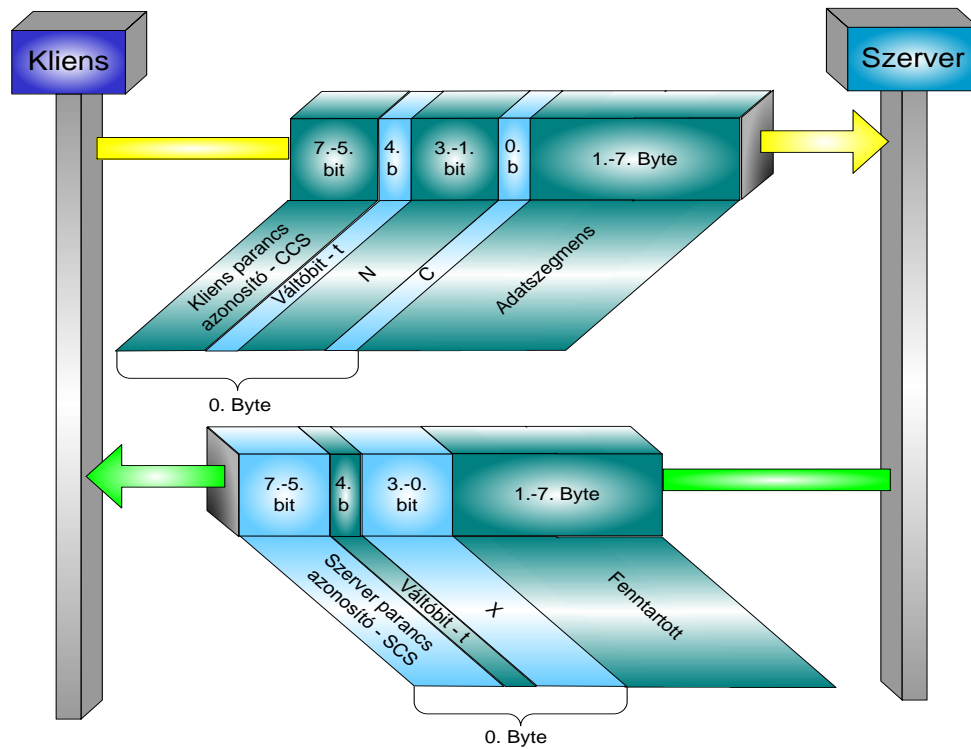
- A **kliens parancs azonosító (CCS – Client Command Specifier)** határozza meg a kliens által küldött üzenet feladatát, jelen esetben értéke 1, mely az SDO letöltés inicializálását jelöli.
- A **szerver parancs azonosítója (Server Command Specifier - SCS)** a CCS-éhez hasonló feladatot lát el, értéke jelen esetben 3, mely azt jelöli, hogy kezdeményezési válaszüzenetről van szó.
- Az **X** bitjei nem használtak, 0-ra állítandók.
- A **gyorsátvitel bit (Expedited – E)** jelzi, hogy gyorsátvitelt alkalmazunk-e (E = 1), vagy szegmentáltat (E = 0). Jelen esetben természetesen értéke 0.
- A **hossz bit (Size - S)** jelzi, hogy a 4-7 bájtok hordozzák-e a szállított adat hosszát (S = 1), vagy sem (S = 0).
- Az **adat hossza (Data Size)** mező az adathossz tárolására alkalmazható.
- A **multiplexer** egy UNSIGNED16 (az index része) és egy UNSIGNED8 (a sub-index része) típusú változókból kialakított komplex változóként kerül az üzenetbe, pontos reprezentációját a CANopen kódolási szabályai rögzítik.

Ezután indul meg az SDO szegmensek letöltése üzenetpárok láncolatán keresztül. A kliens által küldött kérés tartalmazza az adatszegmentst és a szegmentálási információkat, míg a szerver válasza a nyugtát (9-3. ábra).

Az üzenetekben található hasonló mezők szerepe egyezik az inicializáló üzenetek megfelelő mezőinek szerepével, természetesen értékük itt lehet más, mivel más feladat végzése van folyamatban. Így a CCS értéke 0, míg az SCS-é 1. Az üzenetek természetesen újabb mezőket és biteket is használnak, ezek a következők:

- A **t bit** értéke 0-ról 1-re, illetve 1-ről 0-ra vált minden egyes szegmensletöltés után. Szinkronizálásra használatos: a kliens kérésében lévő t értékének egyeznie kell az arra érkező válaszban lévő t értékével. A bit értéke az első szegmens átvitelekor 0.
- Az **N mező** használatos az adat hosszának megadására, de indirekt módon. A 7. Bájtól visszafelé számítva jelöli az első üres bájt helyét, azaz a telegramban (8-N)-től 7-ig terjedő adatbájtok a kihasználatlanok. N értéke 0 és 7 között változhat, azaz mindig kell lennie legalább egyetlen bájtnyi adatnak.

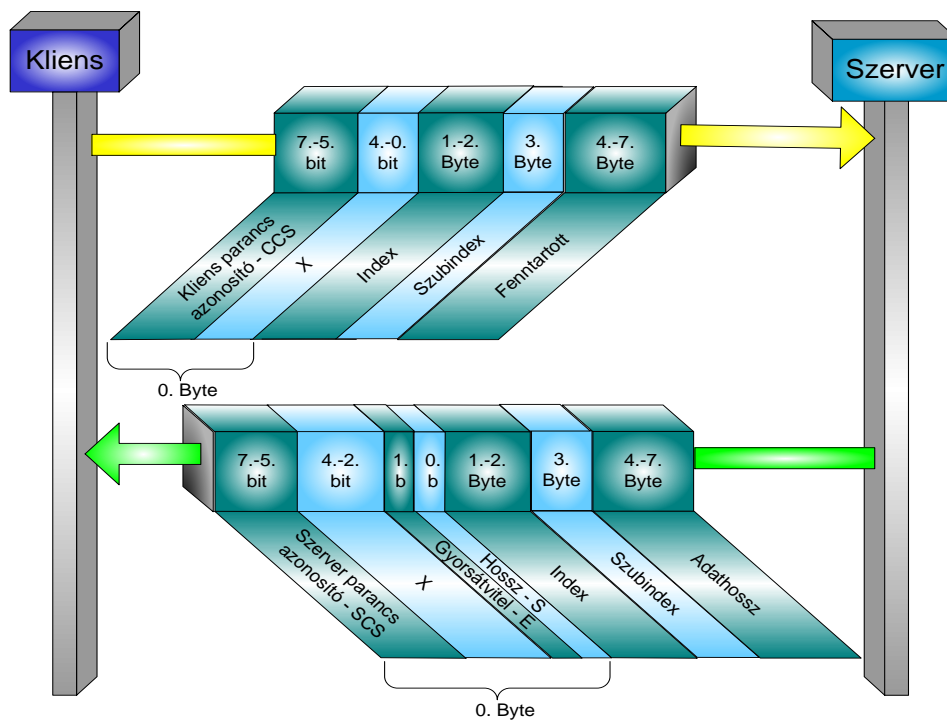
- A **C bit** azt jelöli, hogy van-e még letöltendő adat ( $C = 0$ ), vagy az átvitel az utolsóhoz érkezett ( $C = 1$ ).



9-2. ábra: A szegmentált SDO letöltés (adatmezők)

### 9.2.2. Szegmentált SDO feltöltés

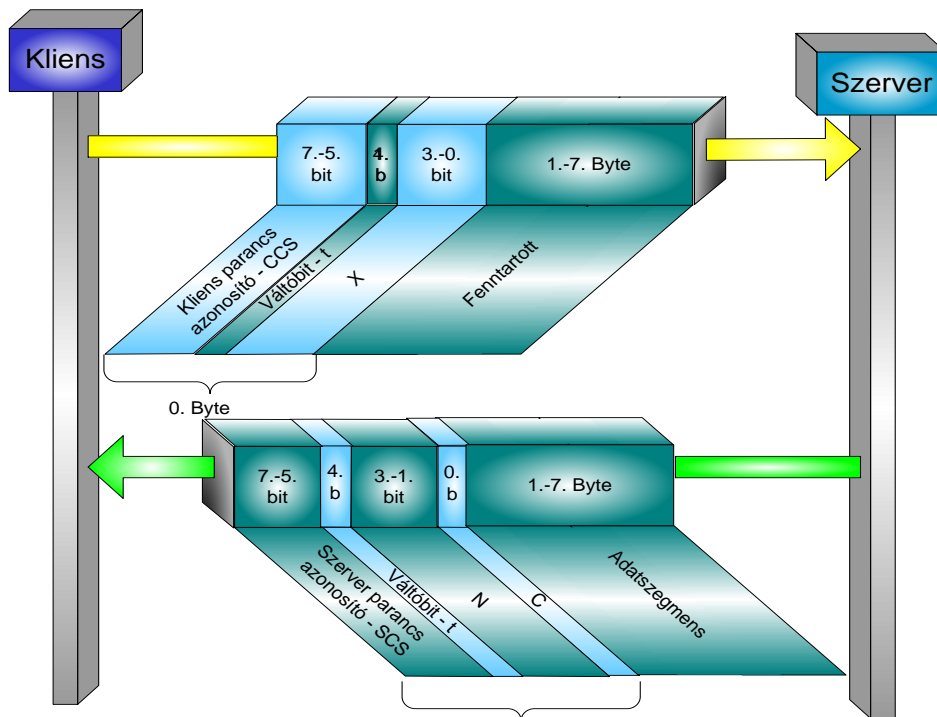
A szegmentált SDO feltöltés nagyban hasonlít az előzőekben ismertetett párjához, a szegmentált SDO letöltéshez [33]. A fő különbség az értékes adat helye: feltöltés során ez értelemszerűen nem a kliens üzeneteiben, hanem a szerver által küldött válaszokban található (9-4. ábra). Igaz, hiba esetén az adat helyett a szerver a választ annak jelzésére használja.



9-3. ábra: Szegmentált SDO feltöltés inicializálása (adatmezők)

Az adatátvitel a kliens egy SDO feltöltés kezdeményezése üzenettel (Initiate SDO Upload) indítja, mely nagyon hasonló az SDO letöltés kezdeményezése üzenethez, de a CCS ezúttal a 2 értéket veszi fel. A kezdeményezési válaszüzenetben a SCS is más, mint letöltésnél; szintén 2.

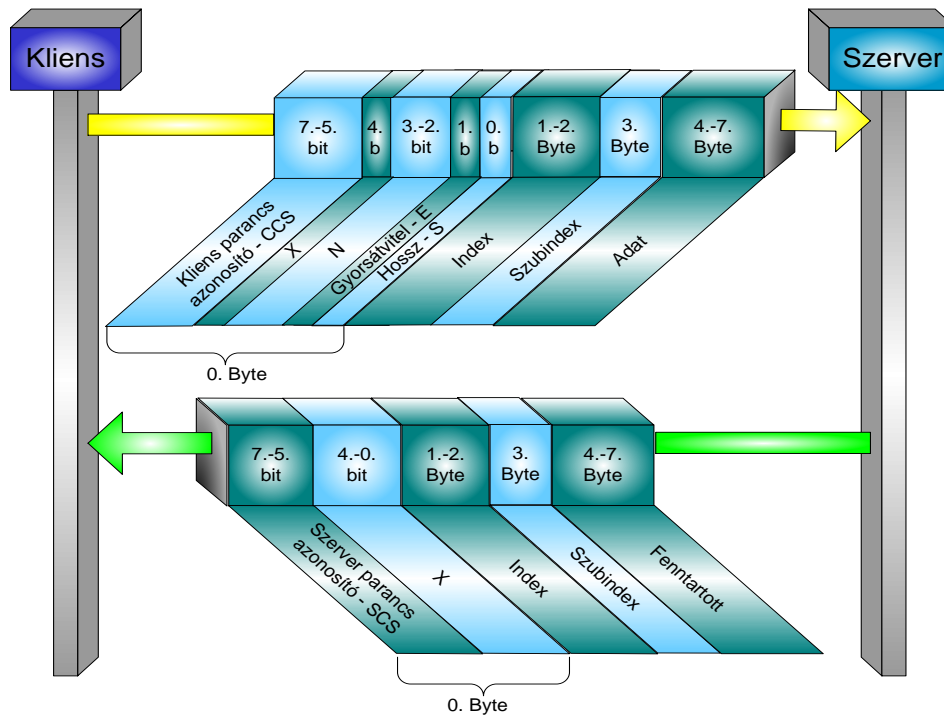
A további átvitel során a CCS értéke 3, az SCS-é 0. A fennmaradó mezők a letöltéskor megismerteknek megfelelően viselkednek (9-5. ábra).



9-4. ábra: Szegmentált SDO feltöltés (adatmezők)

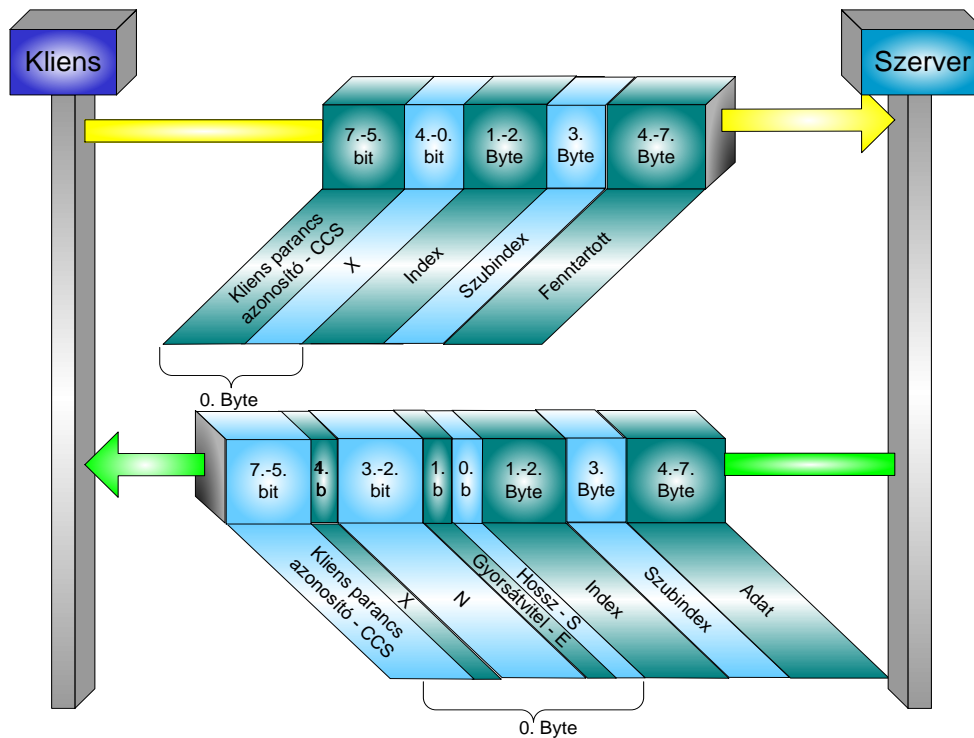
### 9.3. Gyorsátvitel

A gyorsátvitel annyiban különbözik a szegmentált átviteltől, hogy fel- vagy letöltési szándékától függően a kezdeményező üzenetet vagy a kezdeményezési válaszüzenetet egyúttal az adat továbbítására is használja, hiszen a 4 bájt még éppen elfér benne [33]. Az kezdeményezési válaszüzenet megérkezésével az átvitel befejeződik (9-6. ábra).



9-5. ábra: SDO letöltés gyorsátvitellel (adatmezők)





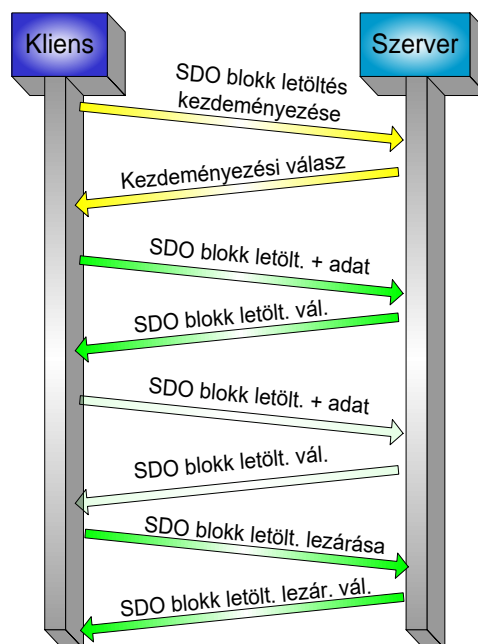
9-6. ábra: SDO feltöltés gyorsátvitellel (adatmezők)

Az E bit 1 értéke a fő különbség a gyors átvitel üzenetei és a szegmentált átvitel kezdeményező üzenetei között, attól eltekintve gyakorlatilag egyeznek. Csupán a szállított adat kap helyet a gyors átvitel üzeneteiben az adat hossza mező helyén, illetve az N az X mező rovására. Természetesen N értéke maximum 3 lehet a 4 bájtos limit miatt. Az S mező ezúttal azt jelöli, hogy az adat hossza az N mező által számítható-e indirekt módon ( $S = 1$ ), vagy nem tárolt sehhol ( $S = 0$ ). Minden más mező egyezik (9-7. ábra).

## 9.4. Blokkátvitel

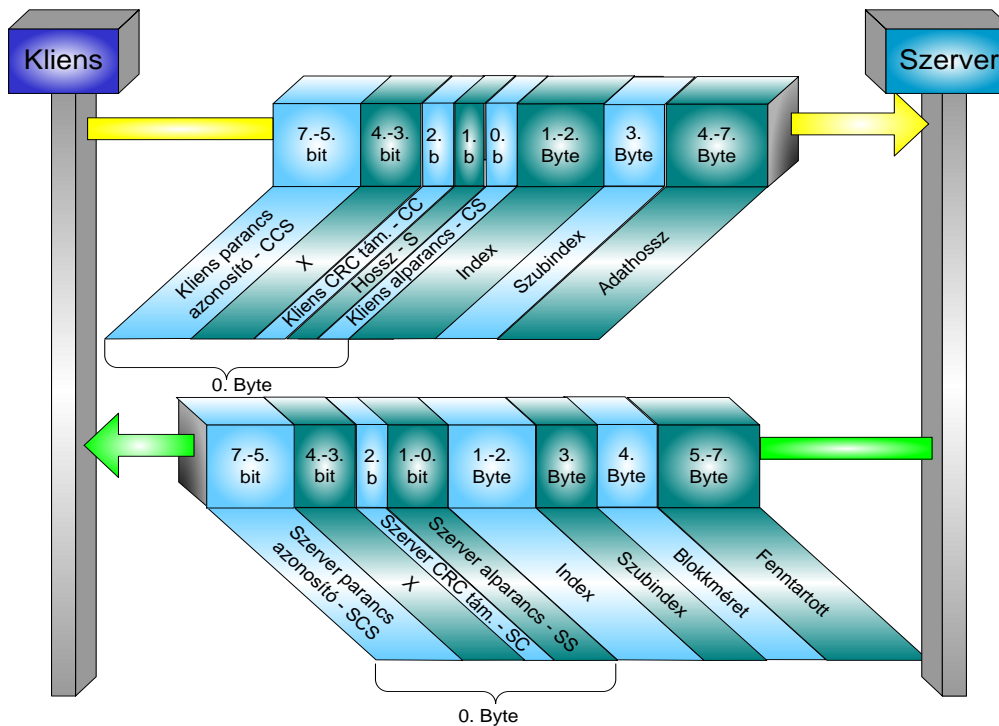
A szegmentált átvitel olyan formája, melyben az adat blokkok láncaként utazik, s az egy blokkokon belüli szegmensek nem nyugtáztak, csupán a blokk egésze. Ezzel az átvitel felgyorsul, viszont egy esetleges átviteli hiba esetén az egész blokkot kell újraküldeni. Mivel pedig egy blokkban maximum 127 db 7 bájtos szegmens vihető át, ez komoly kellemetlenséget okozhat. A biztonság növelése érdekében a blokkátvitel opcionális CRC ellenőrzést ajánl, mely során az ellenőrző összeget csak az adat részre számítják [33].

### 9.4.1. SDO letöltés blokkátvitellel



9-7. ábra: SDO blokkletöltés lépései

A megszokott módon a letöltés ezen típusa is egy inicializációs fázissal kezdődik, igaz, itt jóval több paramétert kell egyeztetni az adatok nagy mennyisége miatt (9-8. ábra). Emiatt a már ismerősnek tekinthető üzenetekben új elemek jelennek meg (9-9. ábra).

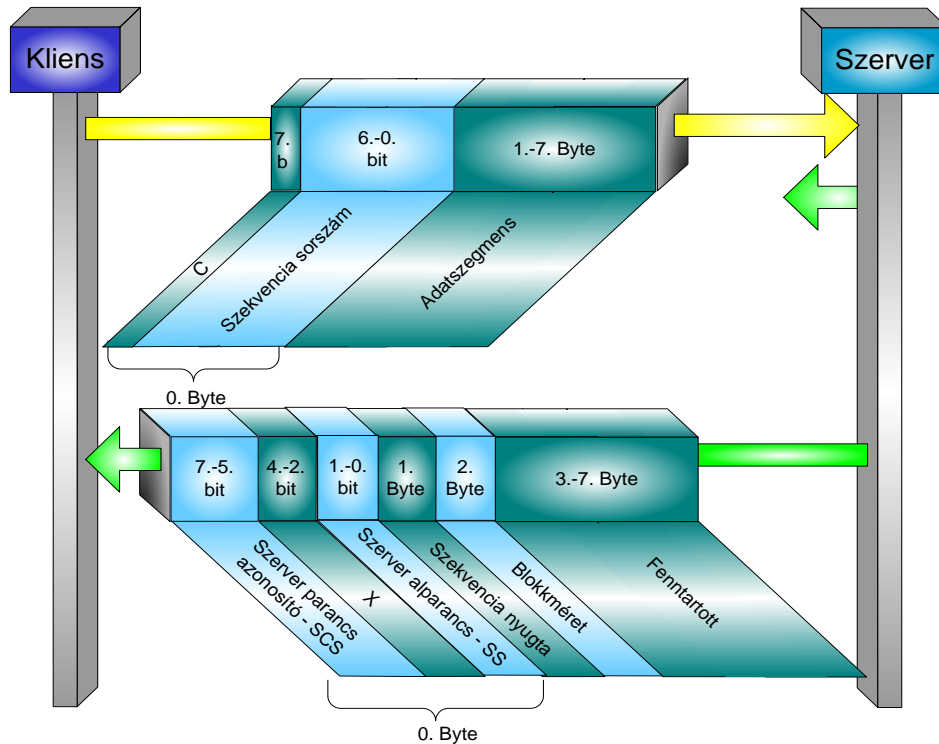


9-8. ábra: SDO blokkletöltés inicializálása (adatmezők)

- A kliensoldali CRC támogatás bit (Client CRC Support - CC) jelzi a szerver számára, hogy a kliens használja-e az említett opcionális CRC szolgáltatást (CC = 1), vagy sem (CC = 0).
- A kliens ill. a szerver alparancs (Client / Server Subcommand) a blokkátvitel különböző fázisai közötti váltásra használható, jelen esetben értékük 0.
- A blokkméret mező (Block Size Field) segítségével adja meg a szerver a kliensnek, hogy hány szegmens lehet a következő, jelen esetben az első elküldendő blokkban. Ennek az értéknek a [1, 127] tartományba kell esnie.

A CCS értéke 6, míg az SCS-é 5, a fennmaradó mezők jelentése pedig azonos a már megismertekkel.

Ezután lépünk a letöltési fázisba, ahol a következő két üzenetet használja rendszer, két új mezővel (9-10. ábra).

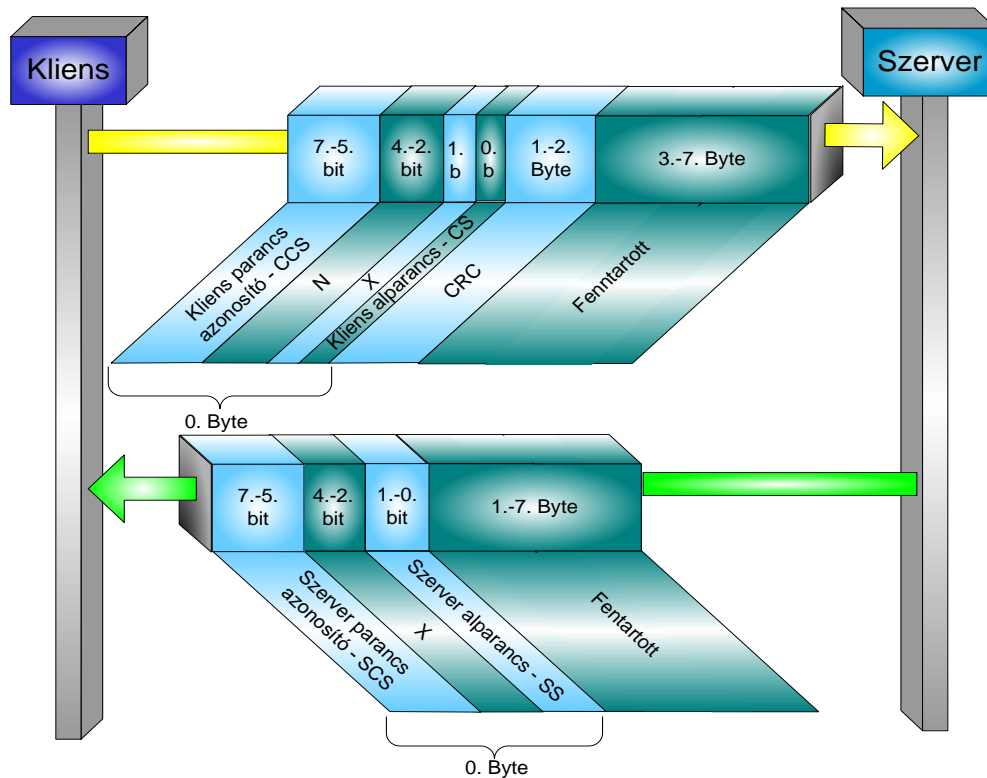


9-9. ábra: SDO blokkletöltés (adatmezők)

- A **szekvencia sorszám (Sequence Number)** tulajdonképpen egy azonosító, mellyel az átvitel egyes szegmenseit lehet megjelölni. Az első szegmens kapja az 1-es számot, a következők pedig mindig a megelőzőnél eggyel nagyobbat. A kiadható legnagyobb sorszám a 127.
- A **szekvencia nyugta mező (Sequence Acknowledge)** az utolsó hibátlanul vett szegmens sorszámát tartalmazza.

A már ismert mezők szerepe a korábbiakkal azonos, az SCS értéke továbbra is 5, az SS-é 2.

A bonyolultabb kommunikáció miatt az átvitel befejezésére külön lezáró fázt dolgoztak ki. Mielőtt a szerver nyugtázta az utolsó szegmenst, a kliens egy lezáró üzenetet küld. Ez és a szerver válasza az 9-11. ábrán látható.

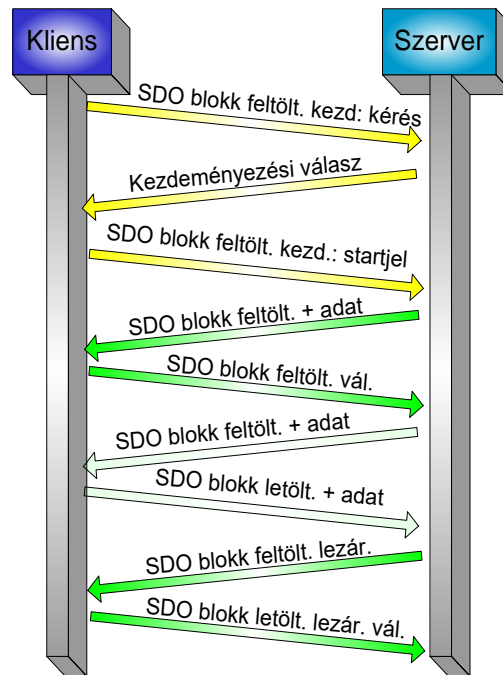


9-10. ábra: SDO blokkletöltés lezárása (adatmezők)

A CCS értéke 6, a CS-é 1, az SCS-é 5, az SS-é 1. Mivel nem biztos, hogy az utolsó szegmens mind a hét adatbájttja használatban van, azok számát az N mező adja meg a megszokott módon. A CRC mező pedig a kliens oldali számítás eredményét hordozza, feltéve, hogy a CRC opció használatban van.

#### 9.4.2. SDO feltöltés blokkátvitellel

A blokkátvitellel történő feltöltés sokban hasonlít a blokkátvitellel történő letöltés megismert folyamatához, ám bonyolultabb annál, egy üzenettel többet igényel az induláshoz [33].

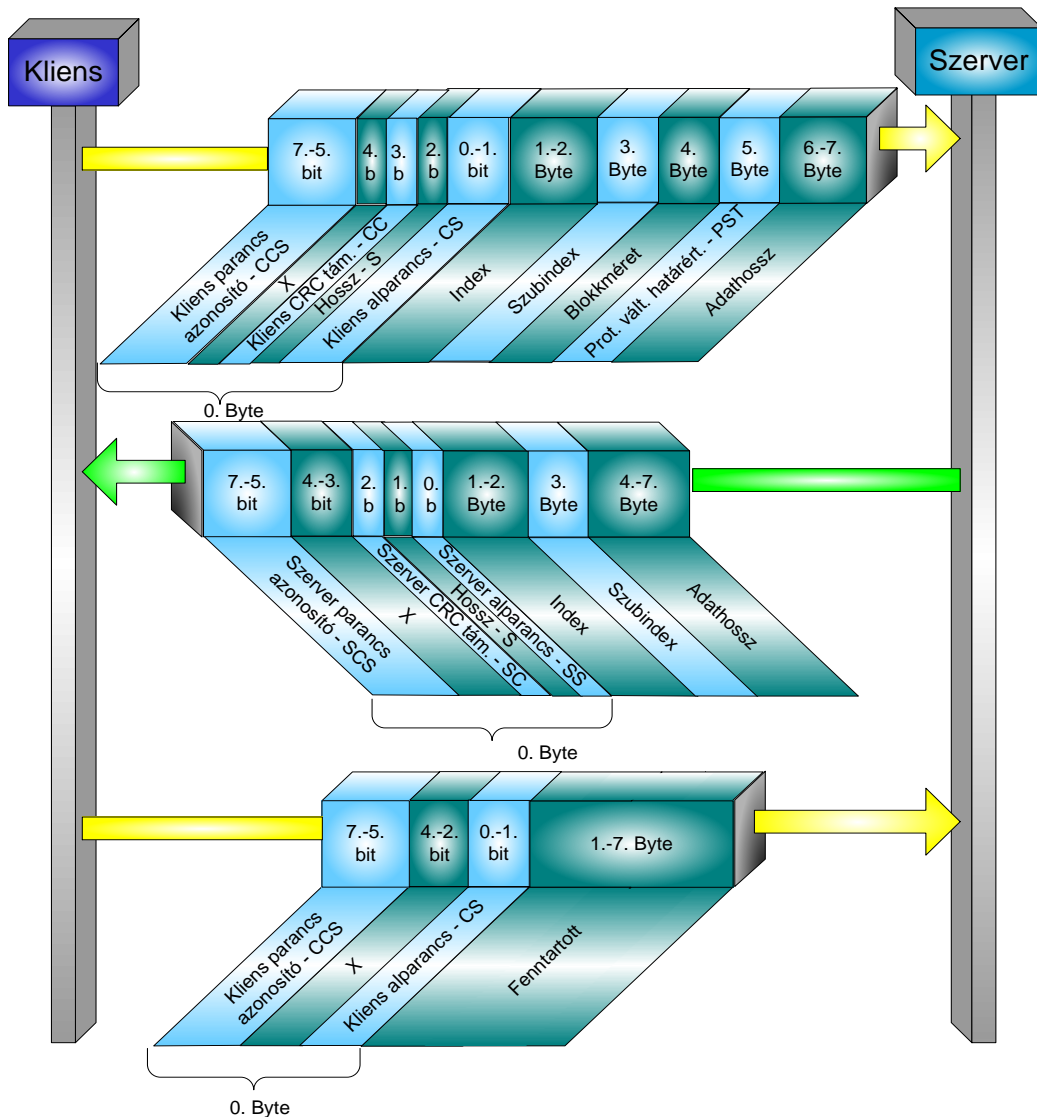


9-11. ábra: SDO blokkfeltöltés lépései

Az inicializációs fázis tehát nem két, hanem három üzenetből áll (9-12. ábra). A megszokott módon a kliens kezdeményez, első üzenetében elküldi feltöltési kérelmét és a határt, mely felett blokkátvitelt kell alkalmazni. Erre válaszul a szerver olyan üzenetet küld, melyben jelzi, lehetséges-e ez a szolgáltatás. Ha a válasz pozitív a kliens újabb kezdeményező üzenetet küld, abban az időpillanatban, mikor kész az adatok fogadására, ezzel jelezve a szervernek, hogy megkezdheti az átvitelt (9-13. ábra).

Ezután kezdődik meg az SDO blokkok feltöltése, nyugtázást használó szolgáltatás formájában (9-14. ábra). A teljes átvitel lezárását külön üzenetcserevel hajtják végre, úgy, mint a blokkátvitellel történő letöltéskor (9-15. ábra).

A kezdeményezési üzenetek valamelyest hasonlóak az eddig megismertekhez, de egy új elem is felbukkan.



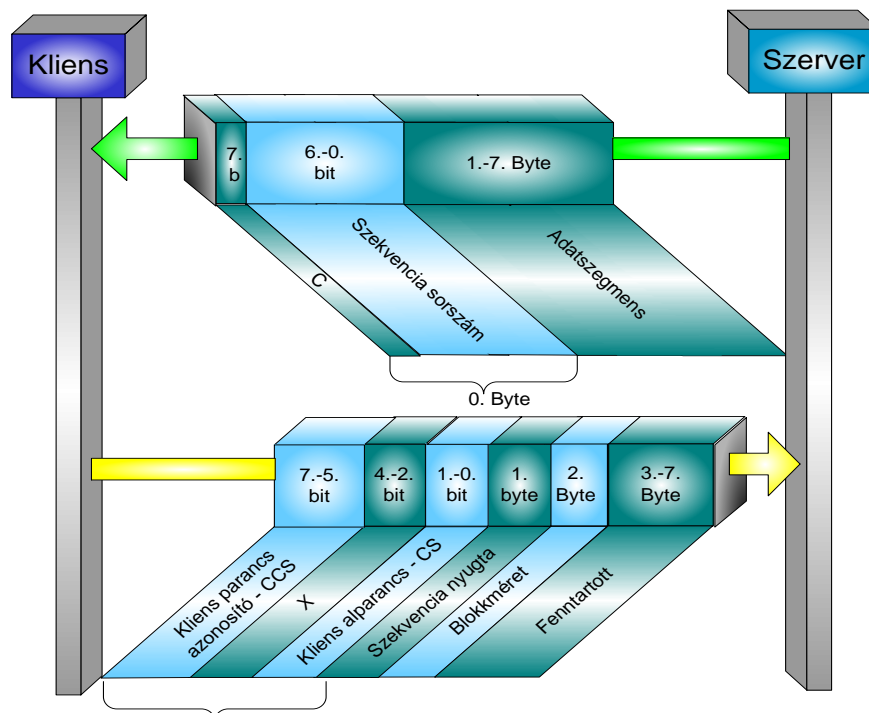
9-12. ábra: SDO blokkfeltöltés inicializálása (adatmezők)

A **protokolváltási határérték (Protocol Switch Treshold - PST)** segítségével jelzi a kliens a szervernek azt az értéket, ami alatt annak a szegmentált átvitelre, vagy a gyorsátvitelre ajánlott váltania. Ezen mező 0 értéke a váltást letiltja, de a váltás egyéb értékek mellett is opcionális. Ha viszont a váltás megtörténik, már a kezdeményezési válaszüzenet is aszerint épül fel.

Az S ezúttal azt jelöli, hogy az adat méretét tartalmazza-e a szervertől jövő üzenet a 4.-7. bájtjában (S = 1), vagy sem (S = 0), a blokk mérete mezővel pedig ezúttal a kliens

adja meg a szervernek, mekkora legyen az első érkező adatblokk. A CCS értéke 5, az SCS-é 6, a CS és az SS kezdetben nulla, a kliens második inicializációs üzenetében viszont CS értéke 3.

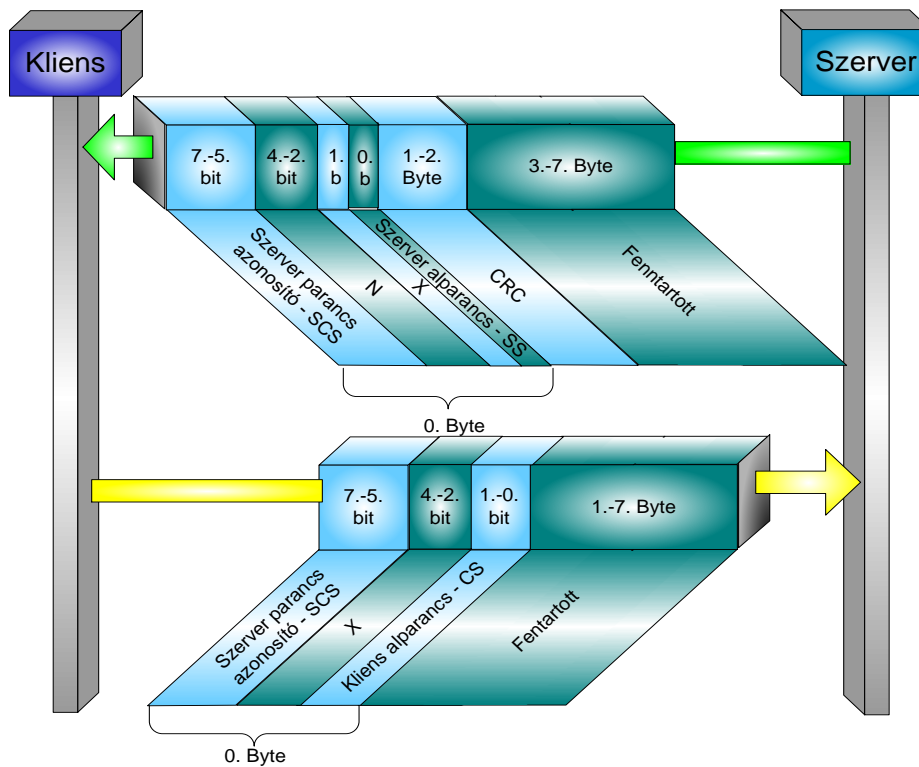
A feltöltési fázis alatt az 9-14. ábrán látható üzeneteket használja a rendszer, melyek ismert elemei a blokkátvitel letöltési fázisában használtakkal azonosak, a CCS értéke továbbra is 5, míg a CS ezúttal a 2 értéket veszi fel.



9-13. ábra: SDO blokkfeltöltés (adatmezők)

Az átvitel a harmadik fázissal, az SDO feltöltés lezárásával fejeződik be: miután a kliens nyugtázta az utolsó küldött szegmenst, a szerver lezárási üzenetet küld. Ez és a kliens válasza az 9-15. ábrán látható.



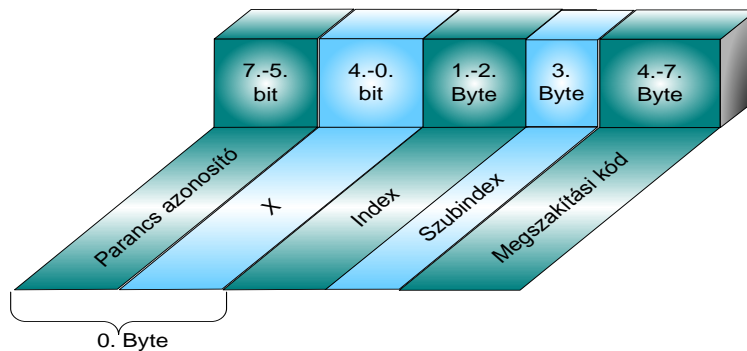


9-14. ábra: SDO blokkfeltöltés lezárása (adatmezők)

A CCS értéke ebben a fázisban 5, az SCS-é 6, míg a CS 1 az SS 0 értéket vesz fel. Mivel nem biztos, hogy az utolsó szegmens mind a hét adatbájta használatban van, azok számát az N mező adja meg a megszokott módon. A CRC mező pedig a kliens oldali számítás eredményét hordozza, feltéve, hogy a CRC opció használatban van.

## 9.5. SDO átvitel megszakítása

Ahogy az a fentiekből kitűnik, mindhárom típusú SDO átvitel legalább opcionális hibaérzékeléssel fel van ruházva. Maga a hiba jelzése azonban már külön protokollban került implementálásra, ez az SDO átvitel megszakítása protokoll [33].



9-15. ábra: SDO átvitel megszakítása (adatmező)

Ez egyetlen nyugtázatlan üzenetből áll (9-16. ábra), mely a hiba jelzésére használatos, s mind a kliens, mind a szerver bármely időpillanatban elküldheti. Mivel mindketten küldhetik, az üzenetet definiáló mezőt CCS vagy SCS helyett egyszerűen parancs azonosítónak (Command Specifier) nevezték el, mely a 4-es értéket hordozza. Magát a hibát a megszakítási kód (Abort Code) mező írja le. Ez a szolgáltatás természetesen csak az SDO átvitel hibáinak jelzésére alkalmazható, így például a váltóbitek különbözőségét jelezheti, vagy azt, hogy a fel-/letöltött adat túllépi a számára rendelt értékkészlet határait.



## 10. Folyamat Adat Objektumok (PDO)

A szolgáltatási adatobjektumokkal ellentétben a műveleti adatobjektumok rövid blokkjai direkt módon férnek hozzá az alkalmazási objektumokhoz az objektumkönyvtár megkerülésével [35]. Erre a lehetőséget az biztosítja, hogy előre rögzített PDO-leképezési szabályok alapján a PDO biteinek jelentése ismert mind a küldő, mind a fogadó számára. Emiatt a műveleti adatobjektumok alkalmasak valós idejű feladatok végrehajtására, gyors kommunikációra, melyet erős prioritású azonosítókkal támogat meg a rendszer [33].

A CANopen azonban itt is flexibilis: az arra alkalmas eszközök esetén a PDO-k biteinek leképezése SDO-kon keresztül módosítható. Ugyanez igaz a bennük foglalt adatok kódolására, adattípusaira is.

A PDO-kkal történő adatátvitel a gyártó-fogyasztó modellt követi, a gyártó oldalán az ún. továbbítási PDO-t (Transmit PDO) implementálják, míg a fogyasztó oldalán a vételi PDO-t (Receive PDO). Természetesen minden egyes PDO számára ki kell osztani egy azonosítót, melyhez a CANopen előre definiált sémát nyújt. Ez alapján négy vételi és négy továbbítási PDO-val rendelkezhet egy CANopen eszköz.

### 10.1. A PDO-k konfigurálása

Ahogy az SDO-khoz is kötelezően bejegyzést kellett rendelni az objektumtáblában, úgy a PDO-khoz is tartozik egy PDO kommunikációs paraméter típusú bejegyzés. Ezen keresztül történik a PDO-k kommunikációs adatainak beállítása (10-1. táblázat). A vételi PDO-k kommunikációs bejegyzései 1400H-tól 15FFH-ig terjednek, melyek közül alapvetően csak az első négy aktív. A továbbítási PDO-k kommunikációs bejegyzései a 1800H-tól 19FFH-ig terjedő szakaszt foglalják el, alapvetően szintén csak az első négy PDO-t aktiválva [33].

Szub-index	Tartalom	Adattípus	Kód	Átviteli mód
0H	Lehetséges albejegyzések száma	UNSIGNED8	0	Aciklikus szinkron
1H	A PDO-hoz tartozó üzenetazonosító	UNSIGNED32	1-240	Ciklikus szinkron
2H	Átviteli mód	UNSIGNED8	241-251	(fenntartott)
3H	Tiltási idő	UNSIGNED16	252	Adatkért szinkron
4H	Fenntartott	UNSIGNED8	253	Adatkért aszinkron
5H	Esemény időzítő	UNSIGNED16	254	Aszinkron
			255	Aszinkron

Bit száma	Érték	Jelentés
31	0	A PDO érvényes
	1	A PDO érvénytelen
30	0	Adatkérés engedélyezett
	1	Adatkérés nem engedélyezett
29	0	Standard üzenetazonosító
	1	Kiterjesztett üzenetazonosító
28-11	0	Nem használt (29-es bit 0)
	x	A kiterjesztett azonosító 28.-11. bitjei (29-es bit 1)
10-0	x	Az azonosító 10.-0. bitjei

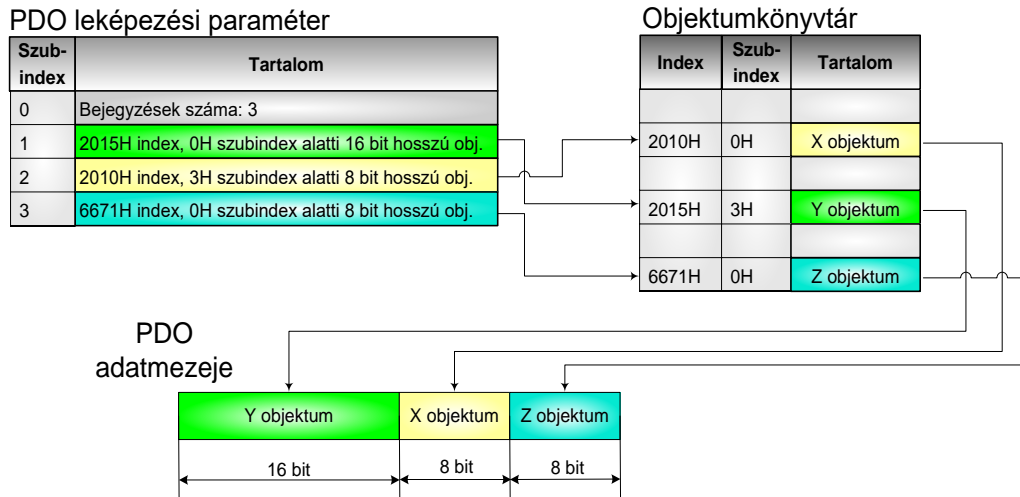
**10-1. táblázat: A PDO-k kommunikációs adatai**

A PDO által hordozott adatokra vonatkozó paraméterek beállítása a PDO leképezési paraméter nevű (PDO mapping parameter) bejegyzésen keresztül történik. Ennek indexe relatív, az adott PDO-hoz tartozó PDO kommunikációs paraméter indexéből számított, oly módon, hogy azt 200H-val megnövelik. Ez a vételi PDO-kra az 1600H – 17FFH, a továbbítási PDO-kra az 1A00H – 1BFFH tartományt eredményezi. Egy bejegyzés struktúrája a következő ábrán látható.

## 10.2. A műveleti adatobjektumok leképezési szabályai

Egy PDO nem csupán egy alkalmazási objektum által szolgáltatott értéket tudja szállítani, hiszen nyolc adatbájttal rendelkezik. Ennek megfelelően különböző adatok sorát tudja szállítani, s így a PDO leképezési paraméter is egy RECORD típusú bejegyzés lesz az objektumtáblában. A 0 sub-indexen a megszokott módon a leképezendő alkalmazási objektumok számát tárolja, a többi sub-indexen pedig a PDO-

ba kerülés sorrendjének megfelelően az egyes objektumokat index és sub-index-szel, illetve adathosszal (10-1. ábra).



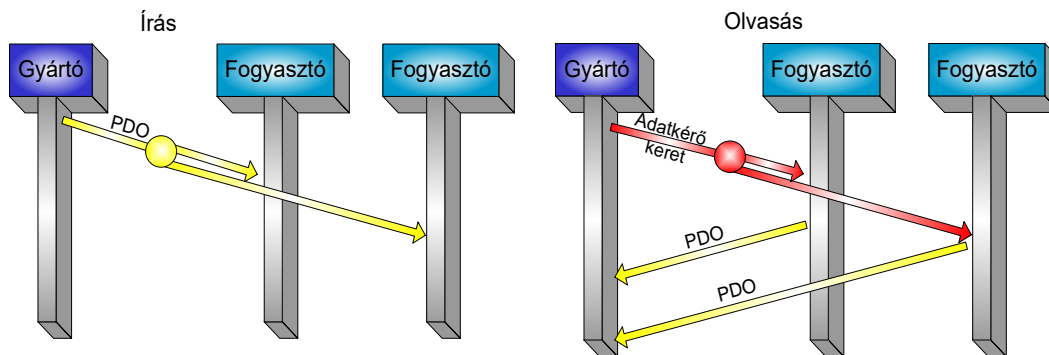
10-1. ábra: PDO leképezés

Mivel általában több távoli csomópont érdekelt különböző alkalmazási objektumok aktuális értékében, így magától adódik a kíváncsi, hogy az üzenettel több távoli csomópont igényeit is kielégítsük. Ezt az ál PDO leképezéssel (Dummy PDO Mapping) oldották meg, melyet a fogadó oldalon kell alkalmazni. A fogadó csomópontok egyszerűen egy megfelelő hosszúságú álca objektumokkal kimaszkolják a PDO azon részeit, melyek számukra érdektelenek.

A tény, hogy a PDO leképezési paramétereit szerepelnek az objektumtáblában, felveti annak lehetőségét, hogy SDO-k segítségével átírjuk azokat az adott applikáció igényeinek megfelelően. Ezt a rendszer dinamikus PDO leképezés (Dynamic PDO mapping) néven támogatja is. Természetesen az alkalmazások jó részének megfelelő a teljes időtartam alatt változatlan leképezés, melyet a specifikáció statikus PDO leképezésnek (Static PDO Mapping) nevez.

### 10.3. A műveleti adatobjektumok nyújtotta szolgáltatások

A PDO-k küldésével általában valamilyen alkalmazás-specifikus műveletet kívánunk elvégeztetni a céleszközzel. Ez alapján a vezérlő eszköztől a céleszköz felé küldött üzeneteket parancsnak (Command Message) nevezzük, míg az onnan visszaérkezőket visszajelzésnek (Feedback Message) [33]. Az előzővel értelem szerűen feladatot adunk, az utóbbival adatot nyerünk. A parancsok végrehajtásához a PDO-k két fő szolgáltatást nyújtanak, az írást és az olvasást (10-2. ábra).



10-2. ábra: A PDO-k nyújtotta szolgáltatások

Az írás a push modellt követi, mely során egy gyártó küld egy csak műveleti adatot tartalmazó PDO-t a fogyasztóknak. Ez utóbbiak számára nincs megkötés, az adat hosszát az applikáció határozza meg, az átvitel pedig nyugtázatlan.

Olvasás során egy fogyasztó műveleti adatot kér egy gyártótól a pull modellt használva. Ennek módja a fogyasztó oldaláról csupán annyi, hogy egy adatkérő üzenetet tegyen a buszra a kívánt adathoz tartozó PDO azonosítójával. Ezután azt gyártó elküldi számára.



## 10.4. Műveleti adatobjektumok átvitele

### 10.4.1. Kezdeményezés

Mivel a PDO-k az applikáció saját adataihoz vannak rendelve, mely adatok állandó feldolgozás alatt állnak, több módot ajánl a CANopen ezen adatok megszerzésére [35].

- **Adatkérő (Remotely Requested):** Ez az a mód, melyet az olvasási szolgáltatás használ, ahogy azt már tárgyaltuk. Egy adatkérő keret vétele váltja ki a PDO elküldését.
- **Időzített (Timer Driven):** A PDO elküldése egy bizonyos idő elteltével következik be. Az írási szolgáltatás használja ezt a módot.
- **Eseményvezérelt (Event Driven):** Egy, az adott eszközön belüli meghatározott esemény bekövetkezte indítja útjára a PDO-t. Az írás használja ezt a módot. Ez a gyakorlatban leginkább alkalmazott mód, ám nem kötelező egymagában használni: egy PDO egyszerre lehet erre a módra, s az időzített, vagy az adatkérő mód valamelyikére konfigurálva.

### 10.4.2. Átvitel

Mivel a CANopen több módot kínál a PDO-átvitel kezdeményezésére, nem csoda, hogy magára az átvitelre is több lehetőséget definiál [33].

- **Szinkron átvitel (Synchronous Transmission)** során a PDO-k küldése periodikus, hiszen egy periodikusan generált szinkronizáló objektum (Synchronisation Object) vételének hatására történik. Ezt egy másik eszköz állítja elő, s általában több eszköz veszi, melyek így egyszerre küldik el adataikat, ill. kezdik el feldolgozni az egy periodussal korábban kapottakat. Értelemszerűen ez a típusú átvitel eseményvezérelt.

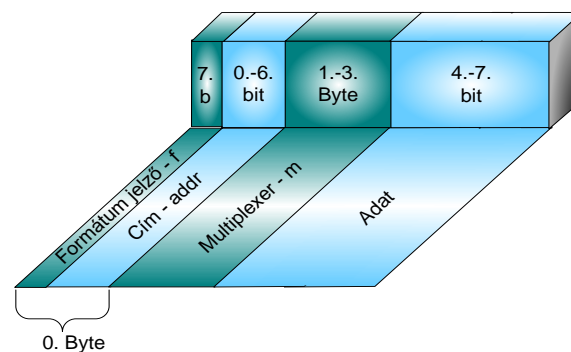
De nem kötelező egyszerűen csak a szinkronizáló objektumhoz hangolni a PDO átvitelt, ezt lehet tovább finomítani. Ciklikus szinkron az átvitel, ha csak egy bizonyos számú vett szinkronizáló objektum után történik meg a PDO elküldése. Aciklikus pedig abban az esetben, ha a szinkronizáló üzenet megérkezése után csak egy bizonyos esemény bekövetkeztékor történik meg a PDO átvitele.

- **Aszinkron átvitel (Asynchronous Transfer)** esetén a PDO küldését egy adott esemény váltja ki, mely természetesen a szinkronizáló objektumtól független. Ha ezt az eseményt egy alkalmazási objektum generálja a kezdeményezés egyértelműen eseményvezérelt, míg ha azt egy kommunikációs objektum generálja időzített és adatkérő módban is működhet az átvitel.

## 10.5. Multiplexált PDO-k

Amint az már korábban látható volt, egy PDO tartalmazhatott különböző címzetteknek szóló adatokat, melyek vételét az ál-PDO leképezéssel vevő oldali szelektálással oldották meg. Viszont egy különleges PDO formátum, a multiplexált PDO (Multiplexed PDO - MPDO) lehetőséget nyújt a küldő oldali szelektálásra [33].

Az MPDO segítségével egyszerre lehet hozzáférni a csomópontok egy csoportjának azonos objektum-könyvtárbeli bejegyzéseihez. Ehhez a címzéshez az adatmezőből kell bájtokat elvenni, minek eredményeképp az MPDO csak maximum 4 bájtnyi adatot szállíthat. Formátuma a 10-3. ábrán látható.



10-3. ábra: Az MPDO adatmezeje

Az MPDO két különböző szolgáltatást nyújt:

- **Cél címzés (Destination Mode Addressing):** Az f 1 értéke mellett, a cím mező (Address - Addr) és a multiplexer mező (Multiplexor - m) a fogadóra vonatkozó adatot tartalmaz; ekkor egy vagy több távoli csomópont azonos bejegyzését lehet





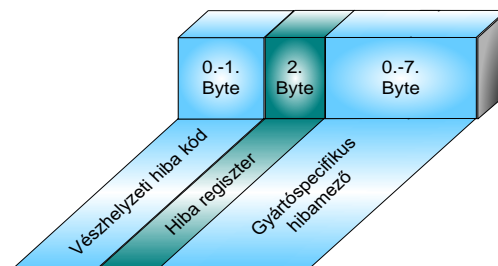
írni az adott MPDO-val. Ha a cím mező értéke 0, akkor a címzett egy csoport, ha 0-tól különböző, akkor pedig egyetlen csomópont és a mező annak azonosítóját tartalmazza. Az m a cél-bejegyzés indexét és sub-indexét tartalmazza.

- **Forrás címzés (Source Mode Addressing):** Az f 0 értéke esetén a cím mező és az m mező a forrásra vonatkozó adatokat tartalmaz; ekkor az adott MPDO-val egy csomópont tud adatot küldeni több távoli csomópont számára. A cím mező a küldő címét, a multiplexer mező a küldött bejegyzés index és sub-indexét tartalmazza. Csomópontonként csak egy ilyen típusú gyártó megengedett, s az átvitel is csak aszinkron lehet.

Mivel az MPDO leggyakoribb alkalmazása több távoli csomópont bejegyzéseinek állítása, sokan hasonlítják egy nyugtázatlan SDO szolgáltatáshoz.

## 11. Vészhelyzet Objektumok

Ha egy CANopen eszközön belül belső hiba lép fel, az eszköz elküld egy speciális üzenetet, a Vészhelyzet Objektum (Emergency). Ebben az üzenetben egy hibakód található, természetesen a DS301-ben foglaltak alapján kódolva, mely alapján meg lehet tenni a megfelelő ellenlépéseket [33]. A vészhelyzet objektum implementálása ugyan opcionális, ám ha megtörténik, a rendszer kiköti, hogy hibaként csak egy vészhelyzet üzenetet lehet küldeni, a hálózat elárasztását megelőzendő.



11-1. ábra: A vészhelyzet üzenet adatmezeje

A gyors beavatkozást segítő a vészhelyzet üzenetek erős prioritású azonosítók kapnak. Annak érdekében pedig, hogy a beavatkozás minél megfelelőbb legyen, az eszközök hiba állapota két bejegyzésben kerül tárolásra az objektum könyvtárban. Ezeket SDO-k segítségével is le lehet kérdezni.

- **Hiba regiszter (Error Register)** – 1001H index alatt: Egy státusz byte-ot tartalmaz, melynek minden bitjét egy adott hibához rendeli a DS301. Ezek implementálása nem kötelező, kivéve a 0. bitet, mely egy általános hibát fellépését jelzi, ha esetleg bekövetkezik.
- **Előre definiált hibamező (Pre-Defined Error Field)** – 1003H index alatt: Egyfajta hiba-történetet tartalmaz, a jelenleg fennálló hibák listáját, UNSIGNED32 típusú adatok tömbjeként. A 0H szubindex a tárolt hibák számát jelöli, az 1H a legfrissebb hibát, a 2H a második legfrissebbet, s így tovább. Amennyiben a hiba oka megszűnt, a hozzá tartozó elem törlődik a hibák listájából.



Minden 32 bites elem két részre bomlik: a két kisebb helyiértékű bájtt az úgy nevezett. vészhelyzeti hibakódot (Emergency Error Code) tartalmazza: közülük a nagyobb a hiba általános leírását, a kisebb pedig egy jóval pontosabb leírással szolgál. Mindkettő a CANopen szabványában rögzített kódokat használ. A 32 bit felső része gyártóspecifikus kiegészítő információt ad a hibáról (11-1. ábra).

A vészhelyzet objektum kommunikációs paraméterei 2 bejegyzéssel bírnak az adott eszköz objektumtáblájában.

- **Azonosító (Message Identifier)** – 1014H index alatt: a vészhelyzet objektum által használt CAN azonosítót tárolja egyetlen szubindexen. Az adat típusa UNSIGNED32, melyből az alsó bitek hordozzák az azonosítót, illetve a 29-es bit 1 értéke jelzi az azonosító kiterjesztett voltát. Természetesen a fennmaradó bitek fenntartottak.
- **Felfüggesztési idő (Inhibit Time)** – 1015H index alatt: UNSIGNED16 formában, 100 mikroszekundumos egységekben tárolja azt az időtartamot, mely alatt nem lehet két vészhelyzet üzenetet küldeni.

A CANopen hálózatra felfűzött eszközök hiba szempontjából két állapotban lehetnek: a hibamentes (Error Free) állapotban, ha semmi hiba nem detektált, ill. hiba történt (Error Occured) állapotban, ha legalább egy hiba feltétele teljesült. Az eszközök működésközbeni állapotváltásai a következőképpen alakulnak:

Inicializálás után az eszköz hibamentes állapotban van, s ebben is marad, ha nem történik hiba. Ekkor normál módon üzemel, s természetesen nem küld vészhelyzet üzenetet.

Ha egy hiba feltétele teljesül, az adott eszköz átlép hiba történt állapotba, vészhelyzet üzenetet küld, s a hiba alapján elvégzi a módosításokat az objektumtáblájában. Addig marad ebben az állapotban, míg valamennyi hiba meg nem szűnik. Igaz, minden hiba megszűntekor frissíti objektumtáblájának bejegyzéseit, és elküldhet egy vészhelyzet üzenetet is, melyben a hiba megszűnt (Error Reset) jelentésű 0000H vészhelyzeti hibakóddal jelzi állapotának megváltoztát.



A felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása a Pannon Egyetemen

EFOP-3.4.3-16-2016-00009



Csak ha az összes hibát eliminálták, tér vissza a hibamentes állapotba egy 0000H vészhelyzeti hibakóddal rendelkező vészhelyzet üzenetet küldve. Az üzenet többi része jelzi az összes hiba megszűntét, így egyértelműen megkülönböztethető az előző típusú üzenettől.



## 12. Időzítés

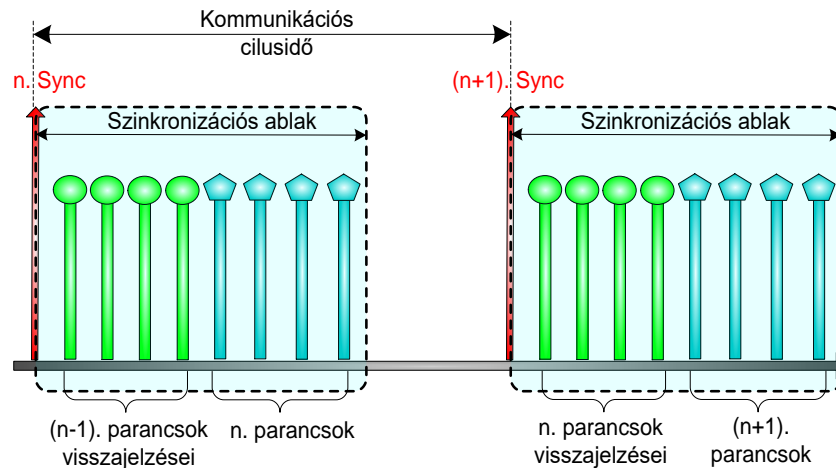
Minden ipari alkalmazásban nagy fontossággal bír az eszközök összehangolt működése, ezért ezen feladat ellátására két sémát is definiál a CANopen [33].

### 12.1. Egyszerű szinkronizációs séma - Sync

A Sync, azaz a szinkronizáló objektum célja egyfajta órajel garantálása a hálózat elemei számára, melyhez műveletvégzésüket igazítani tudják. Továbbítása gyártó-fogyasztó kommunikációs modell szerint történik, periodikusan, az ún. kommunikációs ciklusidő (Communication Cycle Period) leteltével.

A kommunikációs ciklus PDO-k által használt szakaszát szinkronizációs ablaknak nevezik. Ez az időszak, mely alatt a Sync-et követő szinkronüzeneteket elküldik, s egyúttal ennek leteltével minden eszköz biztos lehet abban, hogy az esedékes új parancs megérkezett (8-1. ábra). Általában az összes PDO célbaérkezte után egy üres szakasz is marad, mely biztosítja, hogy a következő Sync ne érkezzon meg, mikor még az előző ciklus üzenetei úton vannak [33].

Bevett gyakorlat a szinkronizációs ablakot a válaszok és a parancsok között felosztani, azaz erősebb azonosítókat adni a válaszoknak, hogy azok érjenek először célba, s utána, második fázisban engedni csak a parancsokat a buszra.



12-1. ábra: Egyszerű szinkronizáció

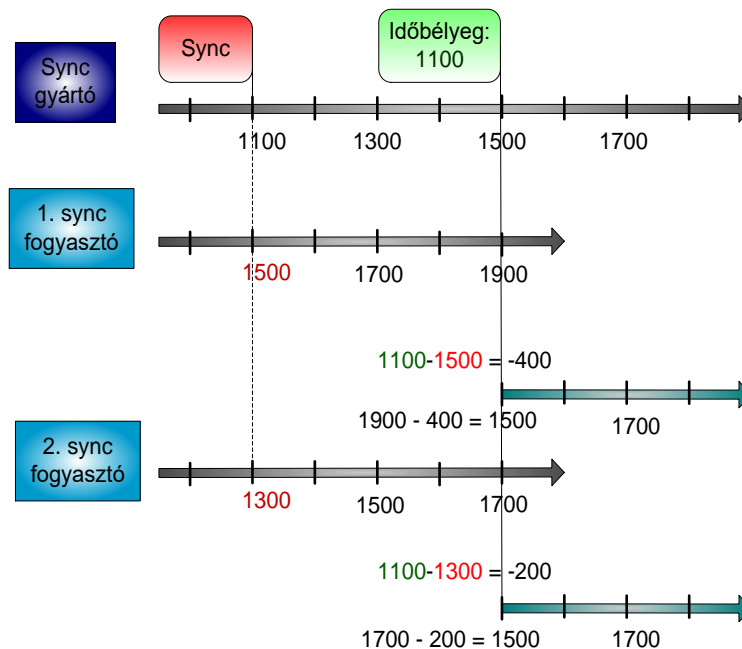
Maga a Sync üzenet egy egyszerű CAN keret formájában kerül megvalósításra, mely a 80H azonosítót kapja. Mint ahogy az SDO-khoz és a PDO-khoz is bejegyzéseket kell rendelni az objektumtáblában, úgy ezt meg kell tenni a Sync esetén is. Három különböző bejegyzés tartozik hozzá:

- **Sync CAN azonosítója (COB-ID Sync Message)** – 1005H index alatt: A szinkronizáló üzenet azonosítóját hordozza egy UNSIGNED32 típusú változóban, mind a gyártó, mind a fogyasztó köteles implementálni.
- **Kommunikációs ciklusidő (Communication Cycle Period)** – 1006H index alatt: A kommunikációs ciklusidőt tartalmazza mikroszekundumban. Ha az értéke 0, a kommunikációs ciklus ki van kapcsolva.
- **Szinkronizációs ablak szélessége (Synchronous Window Length)** – 1007H index alatt: A szinkronizációs ablak szélességét tartalmazza, mikroszekundumban. Az előző bejegyzéshez hasonlóan a 0 érték kiiktatja a szolgáltatást.

Természetesen a Sync használata nem lehet teljesen tökéletes, némi késleltetéssel mindenképpen számolni kell, a rendszer lehetséges legnagyobb üzenethossza limitálja a pontosságot. A konkrét probléma a következő: semmi sem garantálja, hogy amikor a gyártó éppen elküldené a Syncet, a hálózat kihasználatlan. Egy üzenet éppen továbbítás alatt lehet, s hiába bír a Sync a legerősebb prioritású azonosítóval, meg kell várnia, míg az aktuális üzenet továbbítása véget ér.

## 12.2. Kibővített szinkronizációs séma – Sync és időbélyeg

Azon alkalmazásokban, ahol nagyon pontos időzítésre van szükség, a szinkronizálást időbélyeg objektum használatával erősítik [33]. Ez általános időreferenciával szolgál az eszközök számára, azaz egy időpont-nap formátumú adattal.



12-2. ábra: Kibővített szinkronizáció

Minden eszköz lokálisan méri az eltelt időt, így a Sync gyártója is. Abban az időpillanatban, mikor teljes hosszában kiküldte a buszra a Syncet, a gyártó leolvassa az óráját, majd ezt elküldi egy időbélyeg üzenetben a Sync fogyasztóinak. Azok a Sync vételekor szintén leolvassák órájukat, s mikor az időbélyeget fogadják, a megjegyzett értéket kivonják a benne érkezettből, s az eredménnyel korrigálják óráikat (12-2. ábra). A Sync átvitele a push modellt követi, a hozzárendelt CAN keret azonosítója 100H.



## 13. A Profibus kialakulása és architektúrája

A CANopennel és a DeviceNETtel szemben a Profibus nem az autóiiparból érkezett, hanem az ipari automatizáláshoz fejlesztette ki a német kormány a Siemensszel és más német cégekkel együtt működve. Az első változata 1989-ben jelent meg.

### 13.1. A PLC kommunikációs vonalak fejlődése

A programozható vezérlő egységeket alkalmazó ipari automatizálás kezdetén az analóg és/vagy digitális be- és kimenetek a vezérlő egységen helyezkedtek el, melyekre a szenzorokat közvetlenül csatlakoztatták. Ahogy az automatizáltság mértéke és a berendezések összetettsége növekedett úgy egyre több gondot jelentett a jelvezetékek mennyisége, hossza és zajterheltsége. A probléma megoldásaként megjelentek a kábelkötegek és csatlakozók, melyek továbbra is az egyes jeleket külön-külön jelvezetékeken továbbították, azaz a problémák nem oldódtak meg csupán a rendezettség és az átláthatóság javult. A hosszú jelvezetékek számának a csökkentését multiplexelés és úgynevezett I/O szigetek létrehozása oldotta meg, a zajterhelés csökkentését pedig a megfelelően kialakított fizikai kommunikációs csatorna (árnyékolás, csavartérpár, stb.) és a jel kódolása biztosítja. Ezeket a megoldásokat először az egyes gépépítő cégek fejlesztették ki és alkalmazták az újabb gyártósoroknál, majd a nagyobb gyártók saját megoldásaik terjedtek el a költséghatékonyság miatt. Később ezeket a megoldásokat szabványosították. A Profibus (**PRO**cess **FI**eld**BUS**) kommunikációs protokoll elterjedését a Siemens PLC népszerűségének köszönhet.

### 13.2. A Profibus architektúrája

Sok később megjelent protokoll korábbi protokollok felhasználásával jött létre. A Profibus az RS-485 és a Fieldbus protokollokon alapul [36]. Az előbbi az úgy nevezett fizikai réteget biztosítja az utóbbi pedig a Profibus adatkapcsolati rétegének alapjául szolgál. Azonban a két protokoll között jelentős különbségek is vannak [38]. Ez egyik ilyen különbség, hogy míg a Fieldbus egy konkrét protokollt jelent, addig a Profibus különböző megoldások összefoglaló neve [37]. A másik jelentős eltérés, bár a Fieldbus és a Profibus hasonló funkciókat ellátó szegmensekre osztja a hálózatot, Profibus esetén ezeket a szegmenseket speciális csatolókkal vagy külön PLC-vel lehet csak egymáshoz

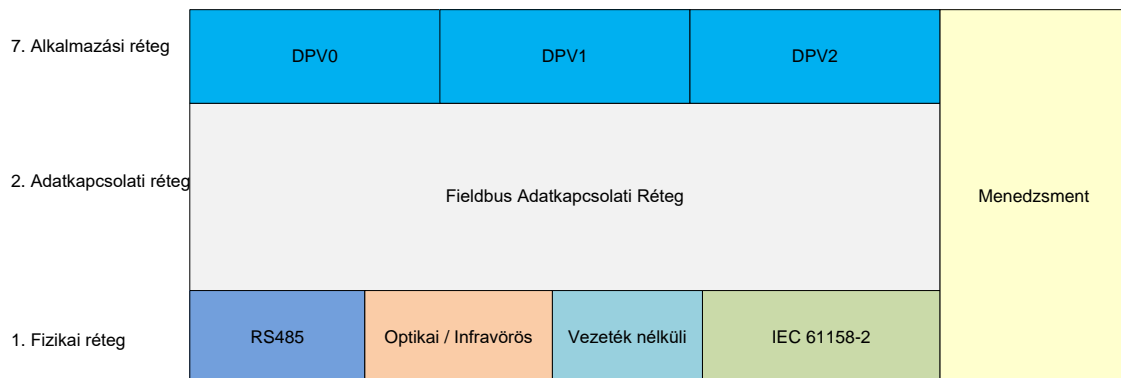


illeszteni [38], míg Fieldbus esetén közvetlenül összekapcsolhatóak [36] [38]. Mint ahogy korábban említésre került a Profibus a hálózatot különböző funkciókat ellátó szegmensekre osztja fel (13-1. táblázat).

PROFIBUS-DP	Elosztott perifériák (PC – PLC, PLC – I/O sziget, stb. kommunikáció)
PROFIBUS-PA	Folyamatautomatizálás (robbanás veszélyes berendezésekhez tervezték)
PROFIBUS-FMS	Nem determinisztikus kommunikáció (PC – PLC, PLC – PLC kommunikáció)
PROFIdrive	Elektromos meghajtásokhoz
PROFIsafe	Biztonsági körök üzemeltetéséhez

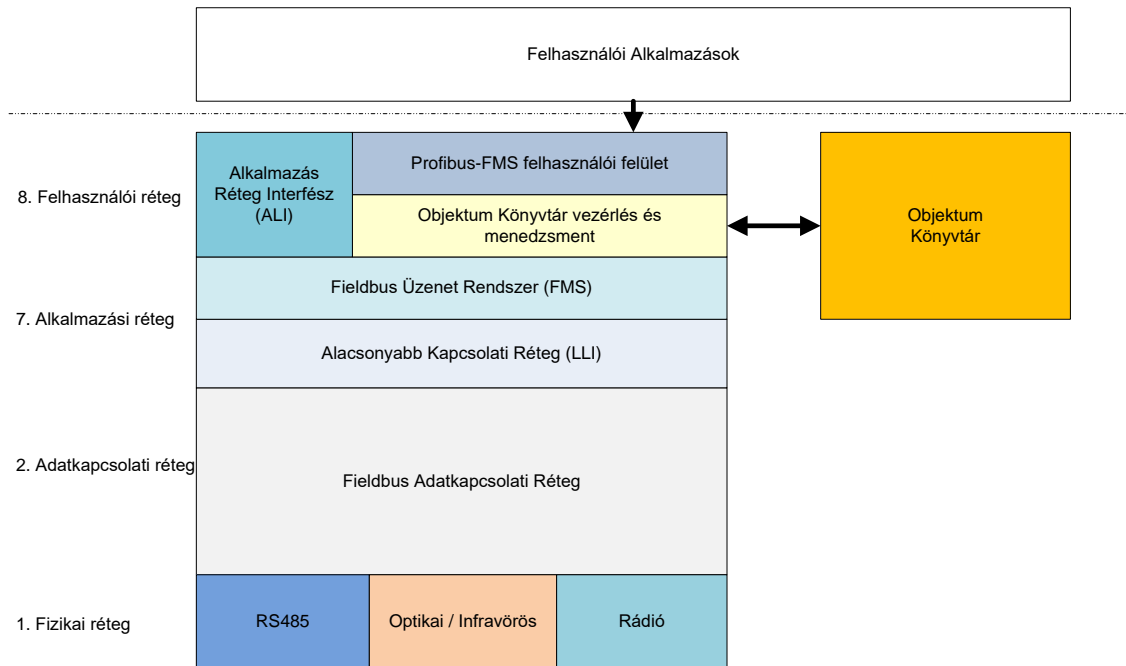
**13-1-táblázat: Profibus segmensek [38] [39] [40]**

A DP és PA variáns ugyan azt az alkalmazási és adatkapcsolati réteget használja, azonban az RS-485 helyett az IEC 61158-2 (IEC 1158-2-ként is szoktak hivatkozni rá [41]) fizikai rétegre épít (13-1. ábra). Az IEC 61158-2 szabvány olyan jel szinteket és áramkorlátokat ír elő, melyek biztonságosan használhatóak robbanás- vagy tűzveszélyes környezetben meghibásodás esetén is. Az FMS változat más felépítéssel rendelkezik (13-2. ábra).



**13-1. ábra: Profibus DP és PA modellje [36]**

A Profibus-FMS (FMS: Fieldbus Message Specification) modellje (13-2. ábra) hasonlóságot mutat a CANopen felépítésével, de csak a szerver-kliens kommunikációs modellt támogatja. Az objektum könyvtár itt is az adott eszköz hardvere, a rajta futó alkalmazás és a hálózat közötti interfészt biztosítja. Fontos megjegyezni, hogy az FMS volt az első Profibus változat, azonban a gyakorlatban alkalmatlannak bizonyult gyors I/O műveletekre, adatcserekre és ciklikus működésre, ezért hozták később létre a DP változatokat [6]. A jegyzet a DP változatok bemutatását helyezi előtérbe.



13-2. ábra: Profibus-FMS modellje [39]



## **14. A Profibus-DP kommunikációs protokoll**

### **14.1. A Profibus-DP változatai**

A Profibus-DP és PA protokollok a mester-szolga kommunikációs modellt használják [37]. Az első a DPV0 változat lehetővé tette a ciklikus és gyors adatcserét a mester és a solga csomópontok között, valamint különböző hiba diagnosztikai funkciókat biztosított. Tulajdonképpen az FMS újratervezett és optimalizált változatáról van szó. Bár az 13-1. ábra nem tartalmazta, de az objektum könyvtár ugyanúgy megtalálható benne. A többi DP változat valójában csak egyfajta funkcióbővítésként jött létre.

A DPV1 lehetővé tette, hogy az egyes csomópontok paramétereit futás közben lehessen kiolvasni és módosítani. Bevezette az intelligens vezérlők és más összetettebb eszközökkel való kommunikációt. A Profibus-PA ezzel a változattal jelenik meg először. A funkcióbővítések között szerepel még az aciklikus (esemény vezérelt) adatcsere bevezetése mester és solga csomópontok között, valamint különböző hibák és riasztások kezelésének a lehetősége is.

Az utolsó DPV2 változat a DPV1-hez képest rendelkezik egy úgy nevezett determinisztikus ciklikus-idő móddal, mely az úgy nevezett „hard real-time” rendszerek követelményeinek (például: mozgásvezérlő rendszerek) hivatott eleget tenni. A mester csomópontok tehermentesítése érdekében solga-szolga kommunikációt is lehetővé tesz, így bizonyos bemeneti jelekre a megfelelő kimeneti jelek automatikus (PLC vagy PC nélkül) képes biztosítani. További újdonságai közé tartozik még az óra szinkronizáció és az időbélyegek alkalmazása, illetve nagy mennyiségű adat le és feltöltése az egyes csomópontokba a mester csomópontokról. A PROFIdrive és PROFIsafe protokollok ennek a protokollnak a tovább eltérő irányba továbbfejlesztett és optimalizált változatai.

### **14.2. A Profibus-DP Fizikai Rétege az RS-485**

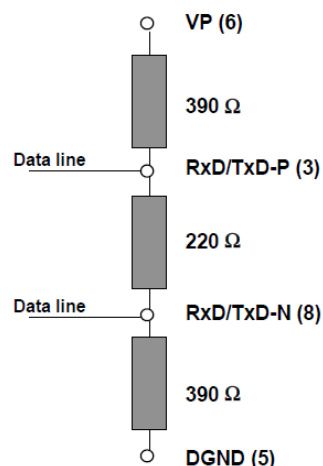
Az RS-485 szabvány 1983-ban jelent meg. Kizárólag a fizikai réteg specifikációjával foglalkozik. Kétirányú full-duplex és half-duplex kommunikációt tesz lehetővé. A legnagyobb adatátviteli sebesség, amit lehetővé tesz 10 Mbit/s (12 m távolságig), a leghosszabb távolság, ameddig a jel eljuttatható pedig 1,2 km (100 kbit/s átviteli sebesség mellett) [41]. Differenciális jelátvitelt alkalmaz, ami azt jelenti, hogy a jel egy irányba való továbbítására két vezetéknek alkalmaznak, melyeknek a szabvány előírásai

szerint úgynevezett csavart érpárokra kell lenniük, az egyik vezeték a jel negáltját, míg a másik vezeték a jelet továbbítja (14-1. ábra). Ekkor, ha elektromos zaj kerül a vezetékekre a környezetből, akkor a két vezeték közelsége miatt egyformán terhelődnek. A vevő oldalon pedig egyszerűen az eredeti és a negált jel különbségét veszik, mivel a zaj közelítőleg egyformán terhelte mindkét jelvezetékét, így a különbségük változatlan maradt. Az RS-485 szabvány szerint az adónak 1,5 V feszültség különbséget kell legalább biztosítania a kimenetei között 54 Ω-os terhelő ellenállás esetén, a vevőnek pedig már 200 mV feszültség különbség esetén egyértelműen magas szintnek kell érzékelnie a vett jelet.



14-1. ábra: Differenciális jelátvitel [41]

Az RS-485 úgynevezett „daisy-chain” topológiát támogat, mely azt jelenti, hogy az egyes csomópontok nem közvetlenül a buszra vagy egy központi csomópontra csatlakoznak, hanem egymáshoz csatlakoztatva, azaz egy csomóponton áthalad más csomópontok adata. A busz utolsó csomópontján az kimenő RS-485 csatlakozóra speciális lezáró egységet kell kötni, mely egy 120 Ω-os lezáró ellenállást tartalmaz [42]. A Profibus-DP szabvány viszont három lezáró ellenállást ír elő (14-2. ábra) [41].



14-2. ábra: Profibus lezáró ellenállásai [41]



Profibus esetén a hálózatot szegmensekre kell felosztani, egy szegmensben 32 csomópontot lehet legfeljebb csatlakoztatni. Több mint 32 csomópont esetén a szegmenseket ismétlő állomásokkal (repeaterekkel) kell összekapcsolni [41].

### **14.3. A Fieldbus Adatkapcsolati Réteg (FDL)**

Mivel a Profibus a Fieldbusra épít, így az alacsonyabb rétegek működésében sok azonosság mutatkozik. Az FDL szerepe az adat keretek kezelése, küldése, fogadása és a kommunikációs buszhoz való hozzáférés ütemezése. Az ütemezés a LAS (Link Active Scheduler, azaz Kapcsolat Aktív Ütemező) látja el.

A LAS egy determinisztikus ütemező, melyből a hálózaton mindig pontosan egy működhet. Az adatkapcsolati réteg szempontjából egy Fieldbus (és Profibus) hálózat két féle eszközből állhat: alap vagy egyszerű eszközből (Basic Device) és Kapcsolat Mesterből (Link Master). Csak Kapcsolat Mester csomópontok válhatnak a hálózatban LAS-sá. A LAS nyilvántart egy listát, az összes eszközről és pufferről a hálózatban, melyeket megadott időközönként ciklikusan küldeni kell. A LAS a hálózatban, amikor eljön az adott puffer küldésének az ideje egy „Compel Data”-nak nevezett keretet küld az adott csomópontnak, mely annak a fogadásakor üzenetszórással elküldi a pufferének a tartalmát az összes hálózatban található csomópontnak. A vevők egy azonosító segítségével meghatározhatják, hogy feldolgozzák-e az elküldött adatokat vagy nem [43].

A ciklikus kommunikáció mellett a Fieldbus biztosít egy úgy nevezett ütemezetlen kommunikációt is. Ezt a kommunikációt két ütemezett kommunikáció között engedélyezi a LAS. A LAS ilyenkor az üzenetet küldeni kívánó eszköznek egy tokent küld. A csomópont a token vétele után megkezdheti az üzenet küldését, ha nem kíván üzenetet küldeni, akkor átadhatja a token-t másik csomópontnak. Fontos megjegyezni, hogy a token csak a LAS által meghatározott ideig engedélyezi az egyes csomópontoknak az üzenetküldést. Ha lejárt az üzenetküldésre szánt idő, a LAS visszaveszi a buszrendszer vezérlését, így biztosítva a determinisztikus működését a hálózatnak.

Ezen a ponton érdemes megjegyezni, hogy Profibus-DP esetén a LAS másképpen működik, mint Fieldbus esetén, DP változatnak a működését a 14.4.1. fejezet ismerteti.



### **14.3.1. Biztonsági Réteg**

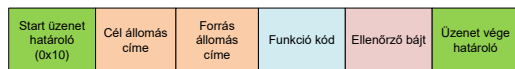
A biztonsági réteg feladata az adatintegritás biztosítása. Ezt HD=4 Hamming-távolsággal biztosítja, ami 3 bit hiba detektálását és 2 bit hiba kijavítását teszi lehetővé. Ehhez speciális üzenethatároló kódokat, páros paritás biteket, start és stop biteket, valamint szinkronizációs szünetet és ellenőrző bájtokat használ.

Az FDL réteg Profibus-DP esetén a következő szolgáltatásokat biztosítja a felsőbb rétegek számára: adatküldés válaszkéréssel (Send and request Data Reply, SDR) és nyugtázatlan adat küldés (Send Data with No acknowledge, SDN). Profibus-FMS esetén lehetőség van még nyugtázott adatküldésre (Send Data with Acknowledge, SDA) és ciklikus adatküldés válaszkérésre (Cyclic Send and request Data Reply, CSDR). Az eltérést az okozza, hogy a DP változatokat I/O modulokkal való kommunikációra optimalizálták.

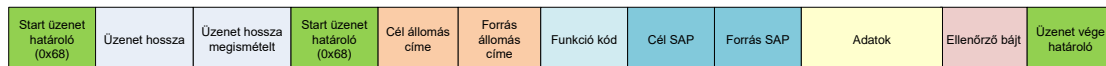
Az FDL 4+1 különböző adatkapcsolati réteg keret használ. Ezek mind az üzenethatároló kezdő bájttól értékekben, mind a keretek hosszában eltérnek. A 2-3. ábra szemlélteti a kereteket. Az aszinkron protokoll jellege miatt a start és a stop biteken kívül még egy szinkronizáló 33 bitidő hosszú szünetet tart keretküldés előtt. [41]

Az állomások vagy csomópontok címeinek a 7. bitje a címzettől és a forrás SAP (Source Service Access Point, azaz SSAP), és cél SAP (Destination Service Access Point, azaz DSAP) funkciótól függően kérést vagy választ jelöl, azaz egy fajta rejtett kliens-szerver kommunikációs módot. Az üzenetet mindig az üzenet vége bájttal zárja, mely minden esetben a 0x16 értékkel rendelkezik. Ez alól csak a rövid nyugta keret formátuma a kivétel, mely csupán egyetlen bájtból áll.

#### Adatot nem tartalmazó keret



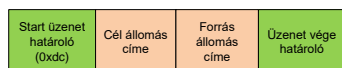
#### Változó adat hosszal rendelkező keret



#### Meghatározott hosszúságú adatot tartalmazó keret



#### Token keret



#### Rövid nyugta üzenet



#### 14-3. ábra: FDL keretek [43]

Az SAP a szolgáltatás hozzáférési pontot jelenti, ami az OSI szabványban lehetővé teszi, hogy egy adott réteg az OSI modellben egy másik réteg szolgáltatásaihoz hozzáférjen. FDL esetén a 14-1. táblázat összefoglalja a lehetséges értékeket és a hozzájuk társított funkciókat. Fontos megjegyezni, hogy DSAP és az SSAP nem minden értéket vehet fel, ami a táblázatban szerepel. Bizonyos értéket csak az DSAP és bizonyos értékeket csak az SSAP mezők vehetnek fel [43].

A funkció kód (vagy keretvezérlő kód) a keret típusát adja meg: kérést tartalmazó keret, választ tartalmazó keret, sikeres nyugta keret, sikertelen nyugta keret. Azt, hogy nyugtát vagy kérést tartalmaz a keret a funkció kód 7. bitje határozza meg. Az egyes funkció kódokat a 14-2. táblázat foglalja össze.

Változó hosszúságú üzenet esetén az üzenet hossza mező az elküldött üzenetben a cél címe mezőtől az adat mező utolsó bájtjáig tartó szakasz hosszát adja meg bájtokban mérve, így egy üzenet legfeljebb 244 bájt adatot tartalmazhat. Meghatározott hosszúságú adatot tartalmazó keret esetén a folyamat adat mező mindig 8 bájtból áll.



A token keret a mester csomópontok egymás közötti token ring protokolljának részét képezi. Fontos megjegyezni, hogy ez a token nem azonos a Fieldbus LAS esetén használt tokennal.

SAP	Funkció
0	Ciklikus adatcsere
54	Mester-mester kommunikáció
55	Csomópont hálózati címének a beállítása. (Csak 126-os gyári címmel rendelkező csomópontok esetén lehetséges, különben nem érhető el)
56	Bemenetek olvasása
57	Kimenetek olvasása
58	Vezérlő parancsok (csak szolga állomásoknál elérhető)
59	Konfiguráció lekérése
60	Diagnosztikai információ lekérése
61	Paraméterezési adatok küldése
62	Konfigurációs adatok ellenőrzése

14-1. táblázat: FDL DSAP és SSAP értékek és szolgáltatások

Funkció kód	Keret típusa
0	Pozitív nyugta
1	Negatív nyugta (FDL felhasználói vagy interfész hiba)
2	Negatív nyugta (Nem áll rendelkezésre elegendő erőforrás)
3	Negatív nyugta (SAP szolgáltatás nem áll rendelkezésre vagy letiltott)
8	FDL válasz: az adatok alsó bájttjai rendben, adat küldés OK
9	Negatív FDL nyugta
10	FDL válasz: az adatok felső bájttjai rendben, adat küldés OK
12	FDL válasz: az adatok alsó bájttjainak a küldéséhez nincs erőforrás
13	FDL válasz: az adatok felső bájttjainak a küldéséhez nincs erőforrás
132	Az adatok alsó bájttjainak nyugtázatlan küldése (SDN)
134	Az adatok felső bájttjainak nyugtázatlan küldése (SDN)
135	Fenntartott/Diagnosztikai adatok lekérése



137	FDL státusz lekérdezése
140	Adatok alsó bájttjainak nyugtázott küldése (SRD)
141	Adatok felső bájttjainak nyugtázott küldése (SRD)
142	Azonosító lekérdezése
143	LSAP státusz lekérdezése

14-2. táblázat: FDL funkció kódok és keret típusok

#### 14.4. A Profibus-DP Alkalmazási Rége

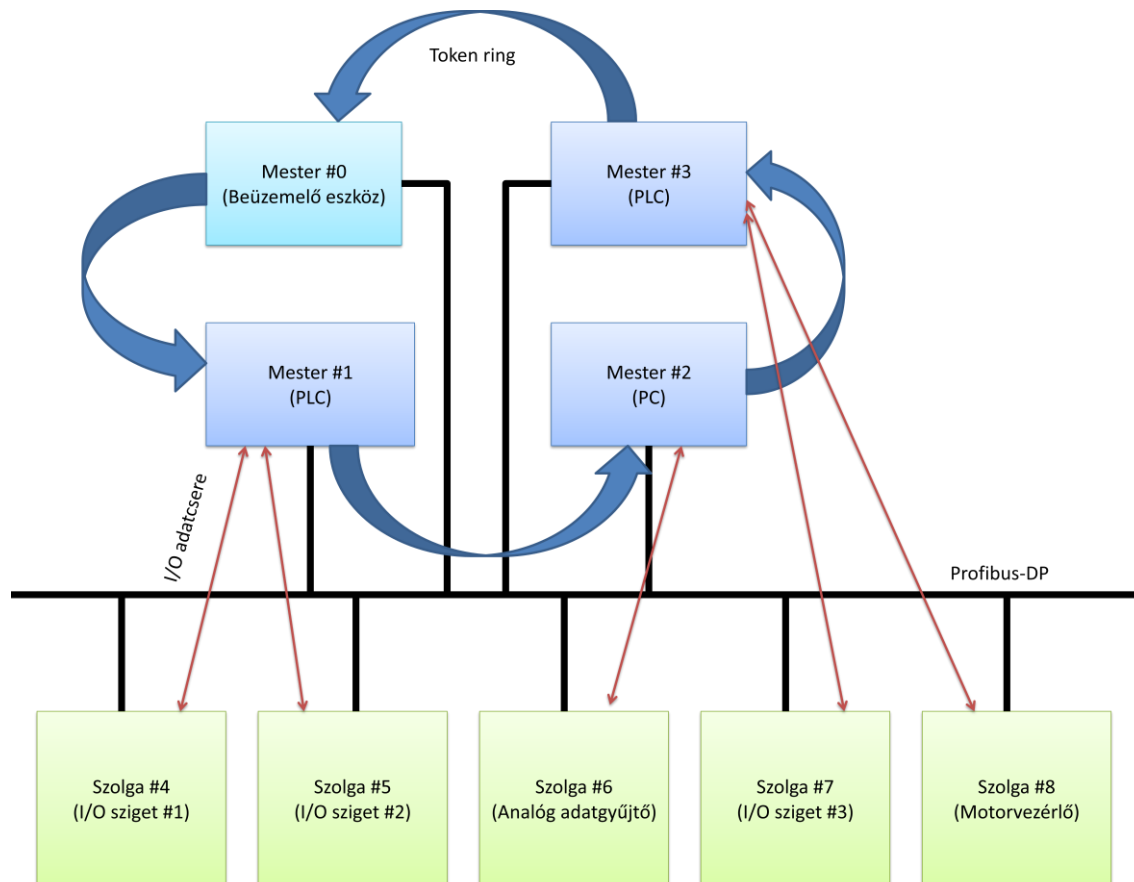
##### 14.4.1. A Profibus-DP Mester-Szolga modellje

A Profibus-DP (és PA) hálózatok kétirányú kommunikációt valósítanak meg. A kommunikációt mindenesetben a mester csomópont kezdeményezi. A kérésre a megcímezett szolga csomópont meghatározott időn belül válaszol. Egy hálózatban egyszerre több mester és szolga is lehet. A szolga állomások, mivel mindig csak a mester kérésére válaszolnak, így nem okozhatnak ütközést (ez a DPV2 esetében már nem igaz), a mesterek közül azonban mindig pontosan egy kommunikálhat. Ezt úgy nevezett „token ring” módszerrel valósítják meg. Mivel több szolga lehet a hálózaton ezért fontos, hogy az egyes csomópontokat külön-külön meg lehessen címezni. Ehhez a Fieldbus adatkapcsolati rétege biztosítja a szoftveres támogatást, az eszközök egyedi hálózati címeinek a beállítását pedig elektromos kapcsolók illetve fejlettebb eszközök esetén külön szoftver vagy konfigurációs fájl biztosítja [37].

A Profibus 128 hálózati címet tesz lehetővé a 0-tól 127-ig terjedő tartományban, viszont a 126 és 127 speciális jelentéssel bír. A 127 hálózati címmel küldött adatkereteket az összes eszköznek fogadnia kell, mivel ez az úgy nevezett üzenetszórás azonosítója. A 126-os cím pedig a hálózatról konfigurálható eszközök címe. Az adott eszközzel korlátozott kommunikációt lehet csak folytatni, amíg a konfiguráció segítségével be nem állítjuk a hálózati címét. Mester eszközöknek a 0-3 címtartomány van kijelölve, azaz a szolga eszközök a 4-125 címtartományt használhatják [44]. A gyakorlatban a legtöbb hálózat konfiguráló eszköz illetve programozói környezet a 0-s címet használja alapértelmezetten [37].

A Profibus hálózatok többsége csupán egy mestert tartalmaz, de előfordulnak több mesterrel rendelkezők is [37]. Az egyik ilyen eset a hálózat beüzemelésekor,

hibakereséskor vagy a PLC programozásakor fordul elő, amikor a PC a megfelelő perifériákon keresztül csatlakozik a Profibus hálózatra. Ilyenkor minden mester számára egy rövid időkeret létezik, melyben a buszvezérlése mellett az össze számára releváns szolgálattal kommunikál és ciklikus I/O adatcserét folytat, majd egy token keret üzenettel átadja a buszvezérlést a következő mesternek. Mindig csak egy mester kommunikálhat a szolgálattal. Ezzel megakadályozva az üzenetütközést. Miután az utolsó mesternek is befejezte a kommunikációt, a token keretet az első mesternek címezi és kezdődik előlről a folyamat (14-4 ábra).



14-4. ábra: Mesterek közötti token ring protokoll

#### 14.4.2. A hálózat elindulása

A mester csomópontok a Profibus hálózat elindítása során megkeresik a beüzemelés vagy programozás során megadott szolgálattal, programtól függően a mester állomás a szolgálattal konfigurációt, paraméterezést feltölt és elindítja őket. Ezek az információkat egy konfigurációs adatbázisból olvassák ki.



Minden mester csomópont gyártójának biztosítania kell olyan eszközt, mellyel az adott mester csomópontjának az ilyen adatbázist el lehet készíteni és le lehet tölteni rá.

Minden ilyen eszköznek támogatnia kell bizonyos előírt funkciókat:

- GSD fájlok támogatása és hardver katalógusok kezelése
- Profibus eszközök címének a megadása
- a bemenő és kimenő adatok meghatározása a mester és a szolga közötti adatcserehez
- bizonyos paraméterek kiválasztásának és beállításának a biztosítása, annak érdekében, hogy az eszköz különleges, egyedi szolgáltatásai is elérhetőek legyenek
- a busz sebességének a kiválasztása
- az adott mester számára értelmezhető konfigurációs fájl generálása

A szolga eszközök fejlesztőinek pedig biztosítaniuk kell úgy nevezett GSD fájlokat, melyek az eszköz leírását tartalmazzák. Ez a fájl írja le az, adott eszköz Profibus paramétereit (támogatott adatátviteli sebességek, lehetséges bemenő és kimenő adatok, választható indítási paraméterek, DP verzió, stb.). A konfigurációs eszközök a hardver katalógust ezekből a fájlokból építik fel. Ezeknek a katalógusoknak a segítségével kell aztán a Profibus hálózat virtuális másolatát megépíteni, az egyes eszközöket beállítani, majd az így elkészített hálózatból a program segítségével létrehozni a konfigurációs adatbázist.

A konfigurációs adatbázist ezt követően kell a mester eszközre feltölteni. Ennek a folyamata a gyártótól és a konkrét eszköztől függ. Bizonyos esetekben a PLC programjával együtt kell feltölteni, vagy külön kell csatlakozni valamilyen periférián keresztül a mester eszközre, vagy flash memória kártyára kell felmásolni a fájlt. Régebbi eszközök esetén EPROM-ba kellett égetni. Ha ezt megtettük, utána a mester eszközök már képesek a szolgákkal kommunikálni.

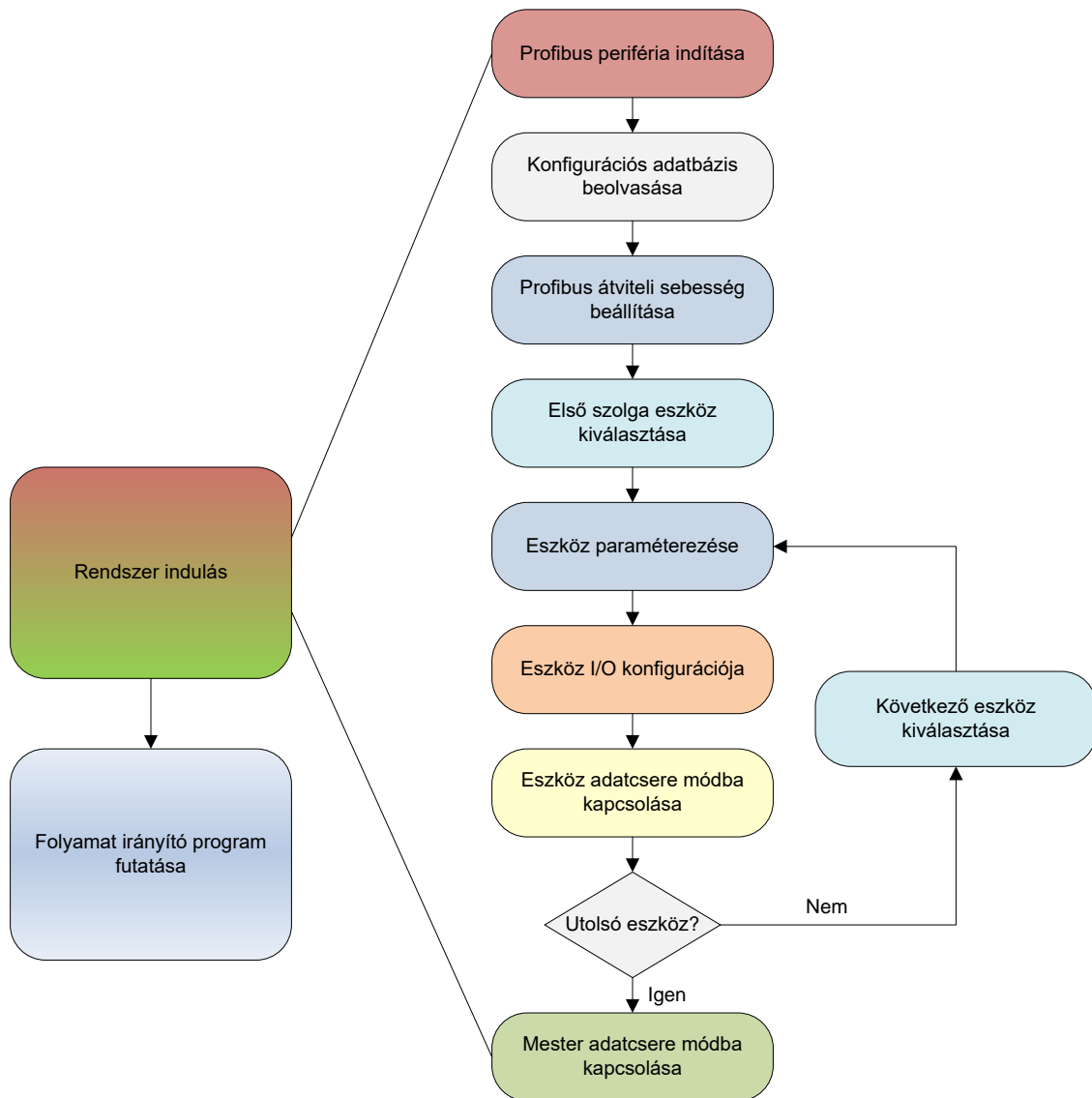
A mesternek induláskor meg kell vizsgálnia, hogy az adatbázisában szerepelő eszközök a megadott címen elérhetőek-e. Ha egy szolga eszköz elérhető volt, a mesternek működőképes állapotba majd adatcsere módba kell kapcsolnia az adott eszközt (14-5. ábra). Ehhez paraméterek le és/vagy feltöltése is hozzátartozhat. Ha



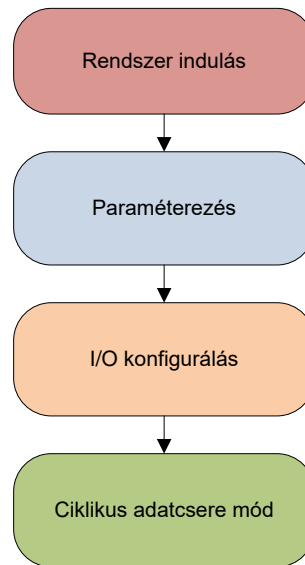
minden eszközt sikeresen elindított a mester, akkor kezdődik csak meg a mester az adatcserét, különben hibajelzést ad.

Az egyes szolga eszközök elindítása a Profibus szempontjából a következő módon megy végbe (14-6. ábra). Először a szolga eszköz elvégzi belső inicializálási lépéseket, majd aktiválja a Profibus kommunikációs felületet. Ekkor várakozó állásba kerül és várja a mester eszköz utasításait. Ha az eszköz rendelkezik paraméterekkel, akkor a mester letölti a paramétereket az eszközre. A paraméterezés után következik az I/O konfigurációs adatok letöltése. Végül pedig a mester eszköz ciklikus adatcsere módba kapcsolja a szolga eszközt [37].

Ha a mester állomás valamilyen okból újraindul a fent ismertetett folyamat megy újra végbe. Ha egy szolga eszköz leválik a hálózatról, akkor a mester eszköz érzékeli és megpróbálja újra paraméterezni, ha egy új, de ugyan olyan eszköz megjelenik az adott címmel a hálózaton, akkor a mester csomópont megpróbálja ugyan úgy elindítani. Ha sikerrel jár, akkor újra működő képes lett a teljes hálózat.



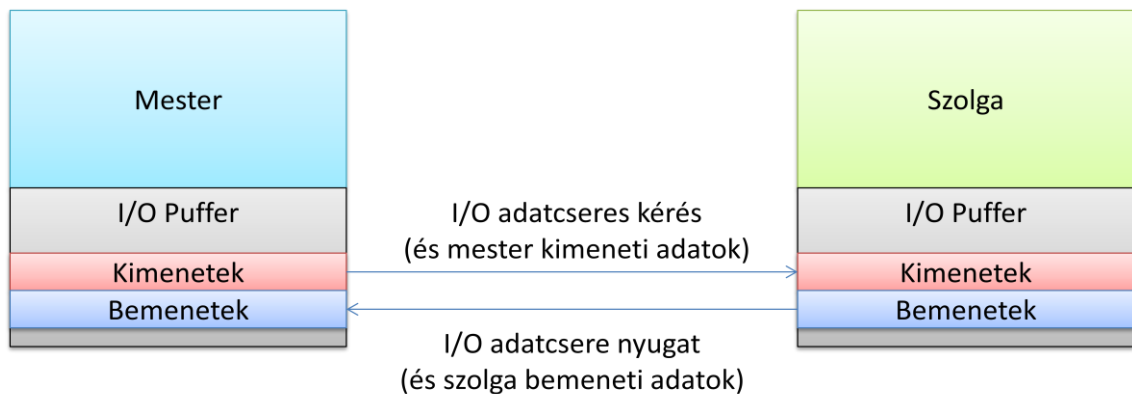
14-5. ábra: Mester eszköz indulása



14-6. ábra: Szolga eszköz indulása

### 14.4.3. Ciklikus adatcsere

A hálózat elindulása után a mesterek és a szolgák adatcsere üzemmódban vannak. Ez a folyamat abból áll, hogy az adott mester állomás a konfigurációjában szereplő összes szolga állomásnak kimenő adatokat küld, melyre azok azonnal a saját bemenő adataikkal válaszolnak (14-7. ábra). Ez a kommunikációs mód lehetővé teszi, hogy például egy PLC szempontjából a szolgálkészülők ki- és bemenetei úgy viselkedjenek, mintha közvetlenül a PLC ki- és bemenetei lennének. Általában a PLC be- és kimeneti memória területére képződnek le. Fontos megjegyezni, hogy általában a vezérlő logika és az I/O adatcsere külön álló aszinkron folyamatok. Egy logikai vezérlési ciklus alatt több I/O adatcsere történik [37]. A ciklikus adatcsere mellett lehetőség van a bemenetek és a kimenetek külön-külön olvasására is (14-8. ábra).



14-7. ábra: Ciklikus I/O adatcsere

### Ciklikus I/O adatszere keretek

Start üzenet határoló (0x68)	Üzenet hossza	Üzenet hossza megismételt	Start üzenet határoló (0x68)	Cél címe (0xxxxxxx)	Forrás címe (0xxxxxxx)	Funkció kód	I/O adatok (1-244 bájtt)	Ellenőrző bájtt	Üzenet vége határoló (0x16)
------------------------------	---------------	---------------------------	------------------------------	---------------------	------------------------	-------------	--------------------------	-----------------	-----------------------------

### Bemenet olvasása kérés

Start üzenet határoló (0x68)	Üzenet hossza	Üzenet hossza megismételt	Start üzenet határoló (0x68)	Cél címe (1xxxxxxx)	Forrás címe (1xxxxxxx)	Funkció kód	Cél SAP (0x38)	Forrás SAP (0x3e)	Ellenőrző bájtt	Üzenet vége határoló (0x16)
------------------------------	---------------	---------------------------	------------------------------	---------------------	------------------------	-------------	----------------	-------------------	-----------------	-----------------------------

### Bemenet olvasása válasz

Start üzenet határoló (0x68)	Üzenet hossza	Üzenet hossza megismételt	Start üzenet határoló (0x68)	Cél címe (1xxxxxxx)	Forrás címe (1xxxxxxx)	Funkció kód	Cél SAP (0x3e)	Forrás SAP (0x38)	Bemenő adatok	Ellenőrző bájtt	Üzenet vége határoló (0x16)
------------------------------	---------------	---------------------------	------------------------------	---------------------	------------------------	-------------	----------------	-------------------	---------------	-----------------	-----------------------------

### Kimenet olvasása kérés

Start üzenet határoló (0x68)	Üzenet hossza	Üzenet hossza megismételt	Start üzenet határoló (0x68)	Cél címe (1xxxxxxx)	Forrás címe (1xxxxxxx)	Funkció kód	Cél SAP (0x39)	Forrás SAP (0x3e)	Ellenőrző bájtt	Üzenet vége határoló (0x16)
------------------------------	---------------	---------------------------	------------------------------	---------------------	------------------------	-------------	----------------	-------------------	-----------------	-----------------------------

### Kimenet olvasása válasz

Start üzenet határoló (0x68)	Üzenet hossza	Üzenet hossza megismételt	Start üzenet határoló (0x68)	Cél címe (1xxxxxxx)	Forrás címe (1xxxxxxx)	Funkció kód	Cél SAP (0x3e)	Forrás SAP (0x39)	Bemenő adatok	Ellenőrző bájtt	Üzenet vége határoló (0x16)
------------------------------	---------------	---------------------------	------------------------------	---------------------	------------------------	-------------	----------------	-------------------	---------------	-----------------	-----------------------------

14-8. ábra: I/O adatszere keretek

#### 14.4.4. Eszköz diagnosztika

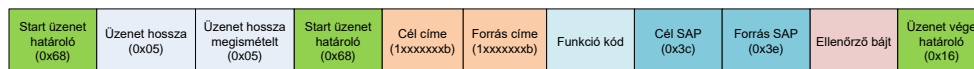
A Profibus-DP a sok diagnosztikával kapcsolatos funkciót tartalmaz, melyek az egyes eszközök hiba állapotainak a lekérdezésétől a busz vezetékének megszakadásáig képes hibák észlelésére.

Ciklikus adatszere üzemmódban, ha hiba lép fel, a szolga eszköz jelezheti a mesternek, hogy hibát érzékelt. Az ezt követő kommunikációs ciklusban a mester lekéri a diagnosztikai információkat a hibát jelző szolga állomástól. A hiba jelzések a hibaforrásaitól függően négy különböző formátuma létezik: szabványos diagnosztikai, eszközzel kapcsolatos, modullal kapcsolatos és kommunikációs csatornával kapcsolatos diagnosztikai adatok. Hiba észlelése esetén a mester eszközöknek az összes elérhető diagnosztikai adatok le kell menteniük a szolgálakról, melyekből ezt követően egy vezérlőprogrammal ki lehet olvasni. Meg kell azonban jegyezni, hogy a kiolvasás menete nem szabványos, minden mesternél eltérő lehet [37].

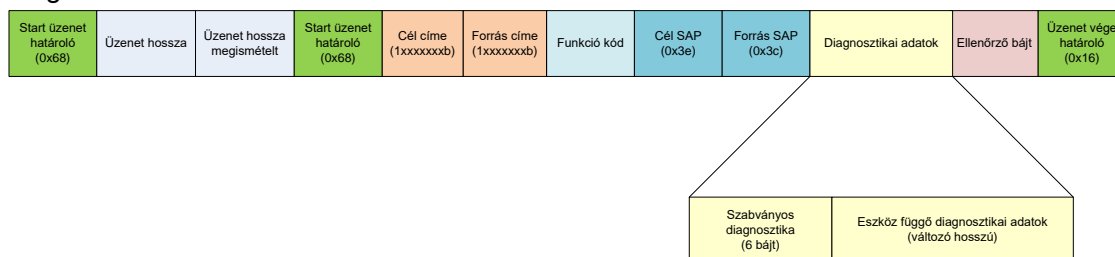
A szabványos diagnosztikai adatokat minden eszköznek támogatnia kell. Általában indulási, I/O konfigurációs, paraméterezési hibákról (az adott címen, nem a

konfigurációs adatbázisban szereplő eszköz található) tartalmaz információt, melyeknek összesen hat bájtól álló hibakódot biztosít (14-9. ábra és 14-3. táblázat) [40].

#### Diagnosztika lekérő keret



#### Diagnosztika válasz keret



14-9. ábra: keretek Diagnosztika

Bit	Szabványos diagnosztikai adatok (1. bájt)
0	<b>Diag.Station_Non_Existent:</b> A mester 1-re állítja, ha a szolga állomás egy megadott ideig nem válaszol.
1	<b>Diag.Station_Not_Ready:</b> A szolga 1-re állítja, ha nem tud adatokat küldeni.
2	<b>Diag.Cfg_Fault:</b> A szolga 1-re állítja, ha konfigurációs hibát érzékel
3	<b>Diag.Ext_Diag:</b> Ha 1, akkor a szolga eszköz specifikus diagnosztikai adatokat is küldött
4	<b>Diag.Not_Supported:</b> A szolga 1-re állítja, ha a kért szolgáltatás nem elérhető.
5	<b>Diag.Invalid_Slave_Response:</b> A szolga 0-ra állítja, és a mester 1-re ha a mester invalidnak értékeli a szolga által küldött diagnosztikai adatokat.
6	<b>Diag.Prm_Fault:</b> A szolga 1-re állítja, ha paraméterezési hibát érzékel.
7	<b>Diag.Master_Lock:</b> A szolga 0-ra állítja, a mester pedig 1-re állítja, ha a szolgát egy másik mester paraméterezte.

Bit	Szabványos diagnosztikai adatok (2. bájt)
0	<b>Diag.Prm_Req:</b> A szolga akkor állítja 1-re, ha paraméterezésre van szüksége.
1	<b>Diag.Stat_Diag:</b> Statikus diagnosztika. A szolga akkor állítja be 1-re, ha nem támogatja a felhasználói adatok küldését a diagnosztikai csomagban. Ilyenkor a mester addig küldi a lekérő kereteket, míg a szolga ezt a mezőt nullára nem állítja, ami akkor fog bekövetkezni, ha az összes felhasználói adatot át küldte.
2	<b>Mindig 1 az értéke.</b>
3	<b>Diag.WD_ON:</b> A szolga watchdog időzítőt aktivált.
4	<b>Diag.Freeze_Mode:</b> A szolga akkor állítja 1-re, ha freeze (I/O állapotok befagyasztása) parancsot kapott.
5	<b>Diag.Sync_Mode:</b> A szolga akkor állítja 1-re, ha szinkronizációs parancsot kapott.
6	<b>Fenntartott bit.</b>
7	<b>Diag.Deactivated:</b> A mester állítja be 1-re, ha a szolgát inaktívnak jelölte és eltávolítja a ciklikus adatcseréből. A szolga 0-ra kell, hogy állítsa.

Bit	Szabványos diagnosztikai adatok (3. bájt)
0-6	<b>Fenntartott.</b>
7	<b>Diag.Ext_Diag_Overflow:</b> Akkor állítja 1-re az állomás, ha több diagnosztikai





adat érhető el, mint amennyit **Ext\_Diag\_Data** (7. bájt) meghatározott, vagy szolgál esetén a diagnosztikai adatok mérete meghaladja a rendelkezésre álló küldő puffer méretét, vagy a mester esetén pedig, akkor ha a mester diagnosztikai puffere kisebb, mint az elküldött adatok.

**Bit Szabványos diagnosztikai adatok (4. bájt)**

**0-7 Diag.Master\_Add:** Annak a mesternek a címe, mely az a lekérdezett szolgálomást paraméterezte. Ha az állomás nem lett paraméterezve, akkor ennek a mezőnek az értéke: 0xff.

**Bit Szabványos diagnosztikai adatok (5. bájt)**

**0-7 A gyártó azonosítójának a felső bájtja.**

**Bit Szabványos diagnosztikai adatok (6. bájt)**

**0-7 A gyártó azonosítójának az alsó bájtja.**

**14-3. táblázat: szabványos diagnosztikai adatok szerkezete**

A diagnosztikai felhasználói adatok opcionálisak, általában 7-32 bájt hosszú és strukturáltan tartalmaz eszközfüggő adatokat, melyek az alábbiak közül egy vagy több diagnosztikai információt tartalmazhat: eszközzel kapcsolatos, modullal kapcsolatos és kommunikációs csatornával kapcsolatos adatok (2-4. táblázat).

**Bit Kibővített diagnosztikai adatok (7. bájt)**

**0-7 Ext\_Diag\_Data:** alkalmazás függő a tartalma.

**14-4. táblázat: Kibővített diagnosztikai adatok**

**14.4.4.1. Eszközzel kapcsolatos diagnosztikai adatok**

Az eszközzel kapcsolatos diagnosztikai adatok tetszőleges kódolással rendelkezhetnek. Bármilyen általános hibajelenségről tartalmazhat információt, akár a túlfeszültségtől kezdve a magas üzemi hőmérsékletig. Azt, hogy milyen fajta információt tartalmaz az **Ext\_Diag\_Data** bájt felső két bitje adja meg. Ha e két felső bit értéke 00, akkor eszközökkel kapcsolatos diagnosztikai adatokat tartalmaz. A fennmaradó hat bit pedig az adat hosszát adja meg bájtban, amibe az **Ext\_Diag\_Data** és az azt követő bájt is beletartozik, azaz az értéke legalább 2 és legfeljebb 63 lehet. Az adatok tetszőleges formátumban lehetnek.

Bájt	7. bit	6. bit	5. bit	4. bit	3. bit	2. bit	1. bit	0. bit
7	0	0	x	x	x	x	x	x
8-70	x	x	x	x	x	x	x	x

14-5. táblázat. Eszközzel kapcsolatos diagnosztikai adatok szerkezete

#### 14.4.4.2. Modullal kapcsolatos diagnosztikai adatok

Ezeknek az információknak a szerkezetét úgy alakították ki, hogy egy moduláris rendszerben az adott modul könnyen beazonosítható legyen. Ezt úgy érik el, hogy minden modulnak adnak egy azonosító bájtot, az úgy nevezett konfigurációs bájtokban pedig fenntartanak egy-egy jelző bitet. Ha az egyik modulban hiba lép fel, akkor az *Ext\_Diag\_Data* bájt felső két bitje a 01 értéket veszi fel, a többi bitje az a konfigurációs adatok hosszát adja meg [40]. A konfigurációs adatok úgynevezett little endian formátumban vannak, azaz a legkisebb helyi értékkel rendelkező bájt a legelső. Továbbá a modulok számozása 1-től kezdődik, így a bit pozíció meghatározásához 1-et ki kell vonni. Ha egy adott modul, a konfigurációban nem szerepel, annak a modulnak megfelelő bit értéke mindig nulla. Ha például egy 32 modulból álló rendszerben az 1, 13, 18, 19-es és 28-as modulok meghibásodást érzekeltek, akkor az üzenet 8. bájtjának 0. bitje, a 9. bájtjának a 4. bitje, a 10. bájtjának a 1. és az 2. bitje, a 11. bájtjának pedig a 3. bitje lesz 1-re állítva, a többi pedig 0-ra (14-6. táblázat).

Bájt	7. bit	6. bit	5. bit	4. bit	3. bit	2. bit	1. bit	0. bit	Megjegyzés
7	0	1	0	0	0	1	0	1	Modullal kapcsolatos diagnosztika. 5 bájt hosszú blokk
8	0	0	0	0	0	0	0	1	Hiba a modul #1-nél.
9	0	0	0	1	0	0	0	0	Hiba a modul #13-nál.
10	0	0	0	0	0	1	1	0	Hiba a modul #18 és #19-nél.
11	0	0	0	0	1	0	0	0	Hiba a modul #28-nál.

14-6. táblázat: Modullal kapcsolatos diagnosztikai adatok (példa)

#### 14.4.4.3. Csatornával kapcsolatos diagnosztikai adatok

A csatornával kapcsolatos diagnosztikai adatok felépítése előre meghatározott szerkezettel rendelkezik. A hibahelyét modul és csatorna alapján azonosítható be. További eszköz specifikus szerkezet bővítéseket is lehetővé tesz. Összesen három bájt hosszú ez az adat szerkezet melyből az első a *Ext\_Diag\_Data* bájt. Ebben az esetben az *Ext\_Diag\_Data* bájt felső két bitje a 10 értéket veszi fel, az alsó hat bit pedig a modul

azonosítóját tartalmazza. A következő bájt a csatornáról tartalmaz információt: a felső két bitje a csatorna jellegét adja meg (lehet bemeneti, kimeneti és be- és kimeneti csatorna), az alsó hat bit pedig az érintett csatorna számát adja meg. A harmadik bájt pedig a hiba jelleg adja meg, ahol a felső három bit a csatorna adatvonalának a szélességét (bit, 2 bit, 4 bit, 1 bájt, 1 szó, 1 duplaszó) az alsó öt bit pedig a hiba típusát adja meg (például: túlfeszültség). Az üzenet részletes adatszerkezetét a 2-7. táblázat szemlélteti [36].

**Ext Diag Data (7. bájt)**

7	6	5	4	3	2	1	0
1	0	X	X	X	X	X	X
7,6 bit = 10		5-0 bit = azonosító szám, [0; 63]					

**Csatorna információk (8. bájt)**

7	6	5	4	3	2	1	0
X	X	X	X	X	X	X	X
7,6 bit = csatorna jellege: 00 = fenntartott 01 = bemenet 10 = kimenet 11 = be- és kimenet		5-0 bit = a csatorna száma, [0; 63]					

**Hiba jellege (9. bájt)**

7	6	5	4	3	2	1	0
X	X	X	X	X	X	X	X
5-7. bit csatorna bit szélessége: 000 = fenntartott 001 = 1 bit 010 = 2 bit 011 = 4 bit 100 = 1 bájt 101 = 1 szó (2 bájt) 110 = 1 duplaszó (2 szó, 4 bájt) 111 = fenntartott			0-4. bit hiba típus: 0 = Fenntartott 1 = rövidzár 2 = alacsony feszültség 3 = túlfeszültség 4 = túlterhelés 5 = magas üzemi hőmérséklet 6 = vonal vagy vezeték szakadás 7 = felső határérték túllépés 8 = alsó határ túllépés 9 = egyéb hiba 10 - 15 = fenntartott 16 - 31 = gyártó/eszköz specifikus				

**14-7. táblázat: Csatorna diagnosztikai üzenet szerkezete**

Ha egy szolga csomópont több diagnosztikai adatot küld, mint amennyit a mester diagnosztikai puffere képes feldolgozni, akkor a mester beállítja a Diag.Ext\_Diag\_Overflow bitet. Ha a szolga állomás több diagnosztikai információt tartalmaz, mint amennyit elküldhet, akkor engedélyezett a szolga számára a blokk határok mentén történő csonkolás. Hatékonyság növelése szempontjából lehetőség van, a változó hosszúságú eszköz vagy modul diagnosztikai adatokat fix hosszúságú



üzenetként továbbítania. Ilyenkor nullával kell feltöltenie az adatokat nem tartalmazó bájtokat.

A paraméter státusz (funkció kód mező) segítségével lehet megállapítani, hogy sikeres volt-e a kívánt diagnosztikai funkció elérése.

#### **14.4.5. Opcionális funkciók**

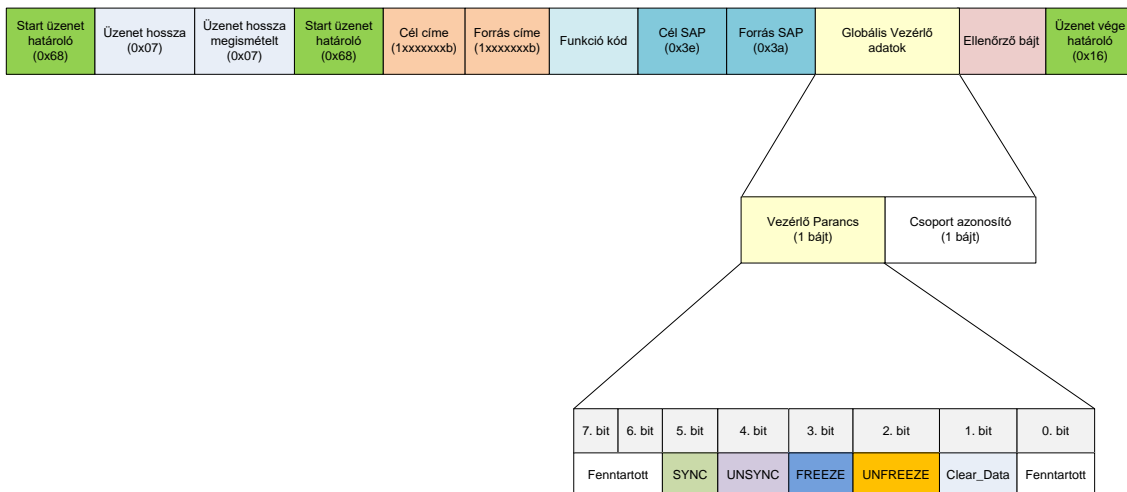
A Profibus lehetővé teszi, hogy bizonyos nem kötelező funkciókat biztosíthat az eszközeikben. Ezek a szolgáltatások közé sorolható a buszon (hálózaton) keresztüli cím beállítást, kimenetek szinkronizálását (SYNC) és a bemenetek befagyasztása (FREEZE).

A kimenetek szinkronizálása motorvezérlési lehetőségekhez nyújt szolgáltatást. Így lehetőség van, például egy futószalagon a motorok fordulatszámának a szinkronizált felfuttatását. A kimenetek szinkronizálást (SYNC) a vezérlő programból érhetjük el, ha a mester állomás támogatja ezt a funkciót. Ez a szolgáltatás úgy működik, hogy a mester bekapcsolja a szolgál állomásokon ezt a funkciót, majd a vezérlő program a megszokott módon üzemelve, a szolgálakkal I/O adat cserét folytat, azonban a kimeneteket a szinkronizációban résztvevők, addig nem dolgozzák fel, amíg egy SYNC parancsot nem vesznek. A SYNC parancs vétele után, azonban olyan gyorsan kell feldolgozni a pillanatnyi kimeneti adatokat a pufferben, amilyen gyorsan csak lehetséges. A mester csomópont a SYNC parancsot az I/O ciklusokon kívül küldi üzenetszórással. Ha a kimenetek szinkron üzemmódjára nincs többé szükség, akkor UNSYNC parancs segítségével kikapcsolhatjuk ezt a szolgáltatást a szolgál csomópontokon [37].

Bizonyos esetekben, a fentiek a fordítottjára van szükség, amikor ugyan is, a bemeneteknek kell egy összetettebb vezérlés vagy számítás során konzisztens képet adniuk a vezérelt berendezés állapotáról. Ezt a szolgáltatást biztosítja a bemenetek befagyasztása (FREEZE). Hasonlóan a kimenetek szinkronizálásához itt is a vezérlőprogram kezdeményezi és szintén szükséges a vezérlő programot futtató mester csomópont támogatása is hozzá. Ilyenkor a mester csomópont a szükséges szolgálakat FREEZE módba kapcsolja. Ekkor a szolgálak továbbra is olvassák a bemeneteiket, de a mesternek küldendő pufferben nem frissítik azokat mindaddig, amíg a mestertől FREEZE parancsot nem vesznek. Ha már nincs szükségünk erre a szolgáltatásra, akkor

a kívánt szolga állomásoknak az UNFREEZE parancsot elküldve válthatjuk vissza normál üzemmódba őket [37].

A fenti funkciókat a Profibus-DPV0 Globális Vezérlő funkcióin keresztül érhetjük el. A Globális Vezérlő lehetőség biztosít mind a szolga állomások egyenkénti címzésére, mind pedig a csoportos címzésére illetve üzenetszórásra is. A többes címzés is az üzenetszórást használja valójában, de az adatmezőben egy csoport azonosítót adhatunk meg [36]. Ennek az azonosítónak egyeznie kell a szolga eszközök paraméterezésénél megadott azonosítóval. Globális Vezérlő szolgáltatás parancsait a mester csomópont a nyugtázatlan adatküldés (SDN) FDL szolgáltatás segítségével küldi. A következő parancsok adhatóak ki a segítségével: FREEZE, UNFREEZE, SYNC, UNSYNC és Clear\_Data. Mivel nyugtázatlan üzenetről van szó, így válaszkeret sem érkezik rájuk (14-10. ábra).



14-10. ábra: Globális Vezérlő keret felépítése

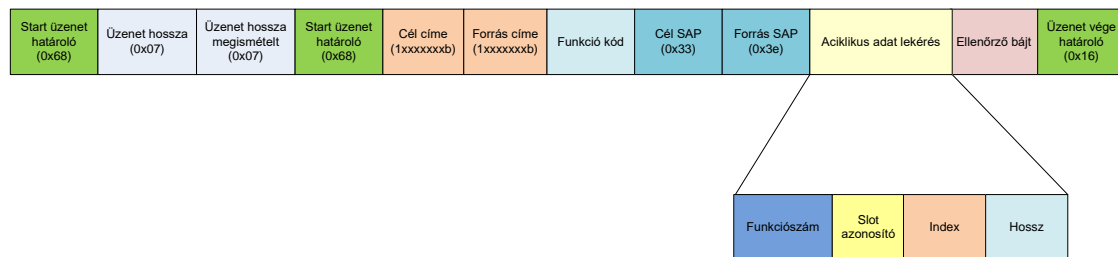
Ha egymásnak ellentmondó parancsokat ad ki a mester csomópont, akkor mindig az adott szolgáltatást kikapcsoló parancs érvényesül, azaz ha SYNC és UNSYNC parancsot egy üzenetben vesz a szolga, akkor az UNSYNC parancs fog érvényesülni, ha pedig FREEZE és UNFREEZE parancsot, akkor az UNFREEZE-t fogja végrehajtani a csomópont. A Clear\_Data mező a szolga kimeneteinek a törlését jelenti (Clear Output parancs), ha az értéke 1, és a kimenetek törlésének a megtiltást (Do Not Clear Output parancs), ha 0. Ha egy szolga Clear Output parancsot vesz, akkor vagy törli a kimeneteit vagy egy felhasználó által előre meghatározott állapotba lép át, amíg a parancsot vissza nem vonja (Do Not Clear Output) a mester csomópont. Ez utóbbi funkció a különböző

meghibásodások érzékelése esetén képes az eszközökből álló hálózatot biztonságos állapotba kapcsolni.

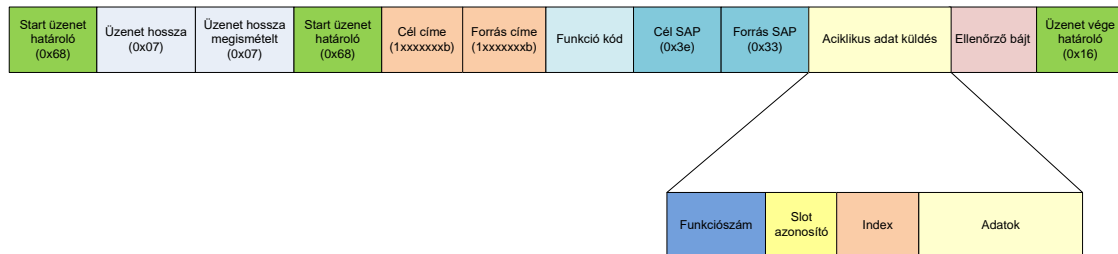
#### 14.4.6. Aciklikus adatátvitel

Profibus-DPV1 alkalmazási réteg támogatja az aciklikus adatátvitelt. A megvalósításra új SAP értékeket jelöltek ki. A ciklikus adatátvitel közötti szünetekben történik. Az adatok megcímzésére slot és index számpárt használ (ez hasonlít a CANopen index-alindex címzési módjára). A mester küld lekérő üzeneteket, melyekre a szolgálomások válaszolnak (14-11. ábra). A kommunikáció során a mester állomás úgy nevezett pollingot is használhat, azaz addig próbálja lekérdezni az adatokat a szolgáltól, amíg nem érkezik válasz.

##### Aciklikus adat lekérő üzenet



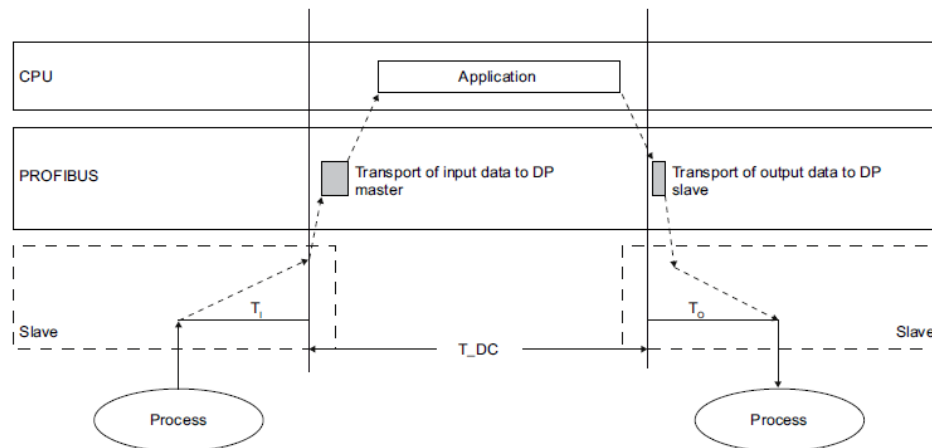
##### Aciklikus adat válasz üzenet



14-11. ábra: Aciklikus adatátvitel keretei

#### 14.4.7. Izokron adatátvitel

Az izokron adatátvitel olyan kommunikációs módot jelent mely esetén a mérés és a vezérlés között eltelt idő alacsony szórással, azaz szigorú tűrés mellett garantálható (14-12. ábra). Ez az adatátviteli mód más átviteli móddal párhuzamosan is működés képes. A mester csomópont biztosítja ilyenkor, hogy az I/O adatcsere kérések a kiválasztott szolga csomópontok irányában, megadott időközönként történjenek [45].

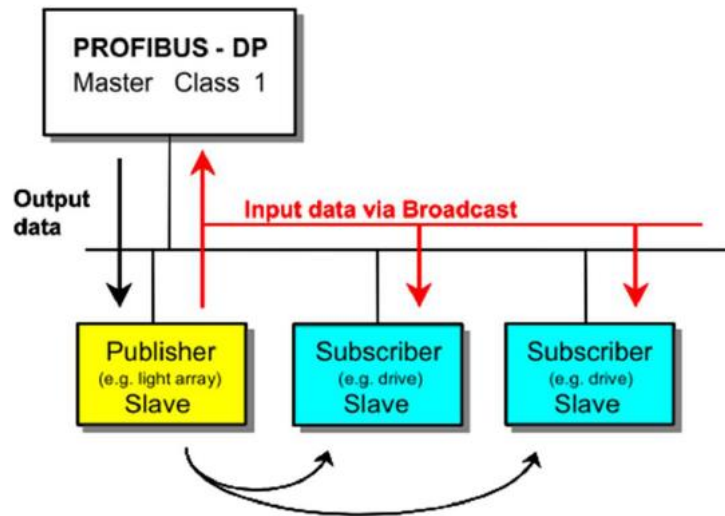


14-12. ábra: Izokron vezérlési ciklus [45]

#### 14.4.8. Szolga-szolga kommunikáció

Bizony esetekben az egyik szolga adatok beolvasására szolgál, mely alapján más szolgák a kimeneteiket megadott értékekre állítják. Ilyen esetben kevesebb kommunikációs ciklussal jár, ha nem a mester olvassa ki az adatokat a bemenet szolgáltató állomásból majd egy vezérlő logika alapján kimeneteket állít elő, melyeket ezt követően el küld a megfelelő szolga állomásoknak, hanem a mester csomópont csupán a szolga állomásnak biztosít egy idő keretet, amely alatt üzenetszórással minden állomás megkap. Az üzenet tartalmaz egy azonosítót, mely alapján a csomópontok szűrni tudják, hogy milyen üzeneteket dolgozzanak fel. A bemeneteket szolgáltató állomást kiadónak (publishernek), az adatokat feldolgozó állomásokat pedig feliratkozónak (subscribernek) nevezik. Ehhez az üzemmódhoz szükséges mind a mester mind a szolga csomópontok támogatása, a szolga csomópontok esetében fontos még, hogy valamilyen feldolgozó logikával is rendelkezzenek [45].

A szolga-szolga kommunikációhoz a mester csomópontnak a megfelelő konfigurálást végre kell hajtania a szolga csomópontokon. Meg kell adnia, hogy mely szolga csomópont milyen azonosítóval milyen adatokat tesz közzé, illetve a csomópontok közül melyek milyen azonosítóval rendelkező üzeneteket hogyan dolgozzanak fel. Ezt követően ciklikus adatsere módban adatsere üzenet hatására üzenetszórással elküldik a kért adatokat (14-13. ábra).



14-13. ábra: Szolga-szolga kommunikáció folyamata

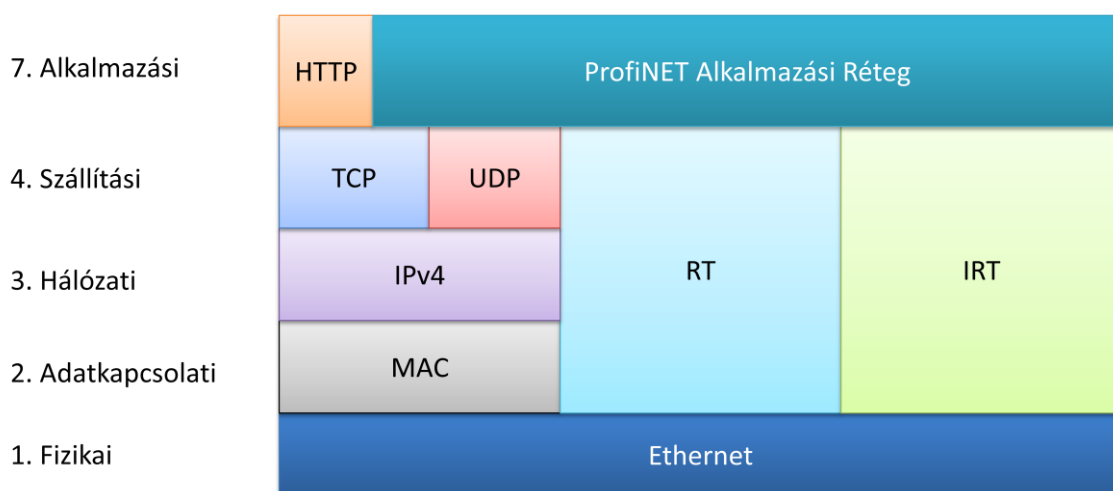


## 15. A Profinet protokoll architektúrája

Az iparban napjainkban egyre elterjedtebbé válnak az Ethernet alapú megoldások. Azonban a hagyományos kialakításuk nem alkalmas valósidejű rendszerek üzemeltetésére. Ennek legfőbb oka a MAC (Medium Access Control) protokoll ütközés érzékelésének és elhárításának (CSMA/CD) módjából adódik, de a TCP protokoll elárasztás elleni védelme illetve a hiba kezelése is okozza.

Ennek megoldására különböző cégek más-más megoldásokat biztosítanak (EtherCAT, ProfiNET, stb.). Ezek a megoldások eltérnek egymástól, de abban mindegyik azonos, hogy a TCP/IP-én keresztül biztosítják a konfigurációs, diagnosztikai, fel- és letöltési, firmware frissítési funkciókat (15-1. ábra).

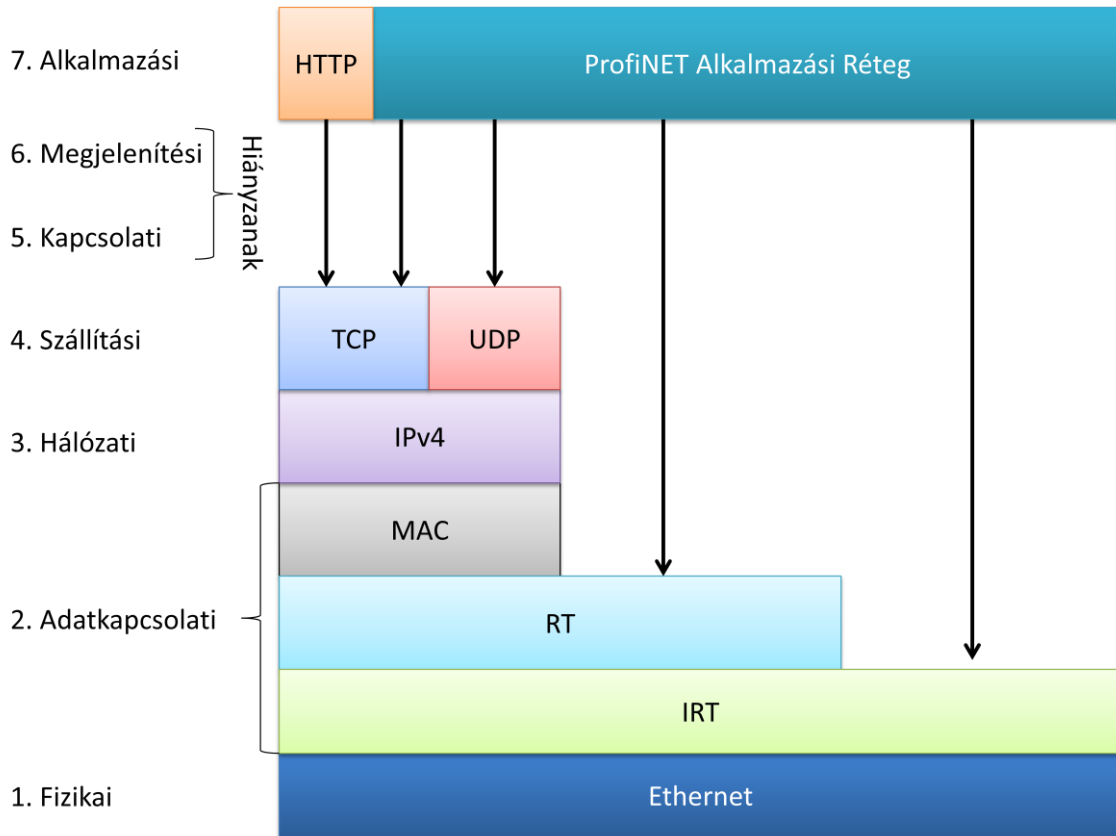
A ProfiNET fizikai rétege megegyezik a szabványos 100 Mb/s Ethretnettel (IEEE802.3) [47], azzal a különbséggel, hogy árnyékolt csavart érpárokat alkalmaznak, melyek szigetelése 300 V feszültségig átütés mentes egy vezetékér pedig 5 A áramerősség vezetésére alkalmas (ipari környezetben való használat miatt szükségesek ezek a feltételek).



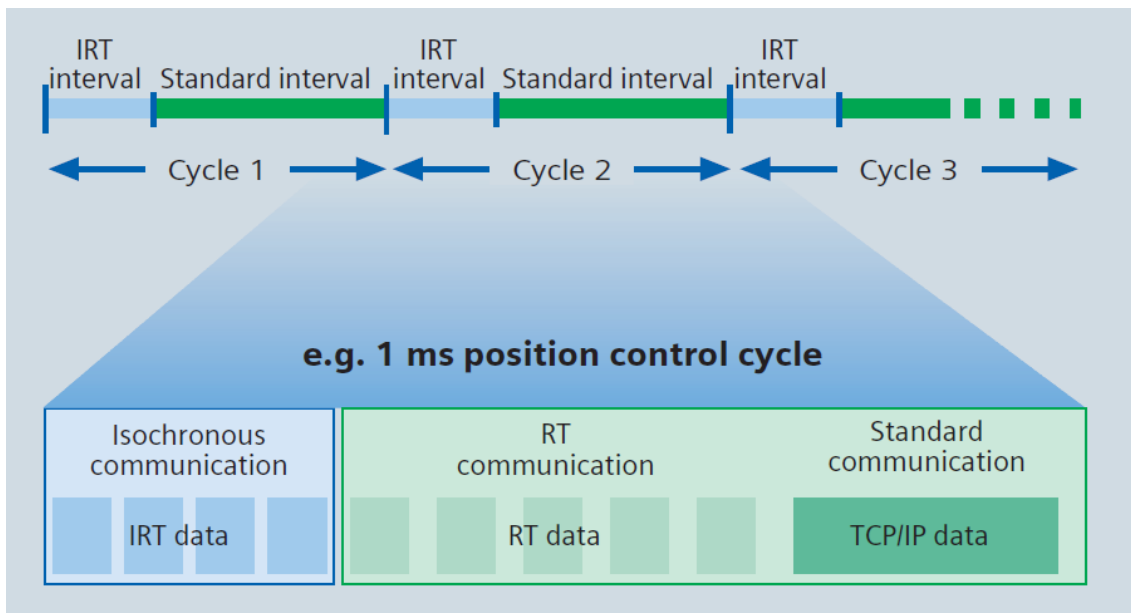
15-1. ábra: A ProfiNET architektúrája az OSI modell alapján [48]

### 15.1. A ProfiNET adatkapcsolati rétege

ProfiNET protokollnál a közeghozzáférést igazából az Isochronous Real-Time (izokron kommunikációért felelős) protokoll látja el (15-2. ábra). Ez a protokoll időszelket biztosít a Real-Time protokoll számára. Az Ethernet MAC rétege pedig a Real-Time protokoll által biztosított időszeltekben éri el a hálózatot (15-3. ábra) [48].



15-2. ábra: A ProfiNET rétegek egymásra épülése



15-3. Izokron Real-Time időszelvény kiosztása [48]

Az állomások címzésére az eszközök úgy nevezett MAC címét használja [49]. A TCP/IP (és MAC) protokollon alapuló kommunikáció segítségével megközelítőleg 50-



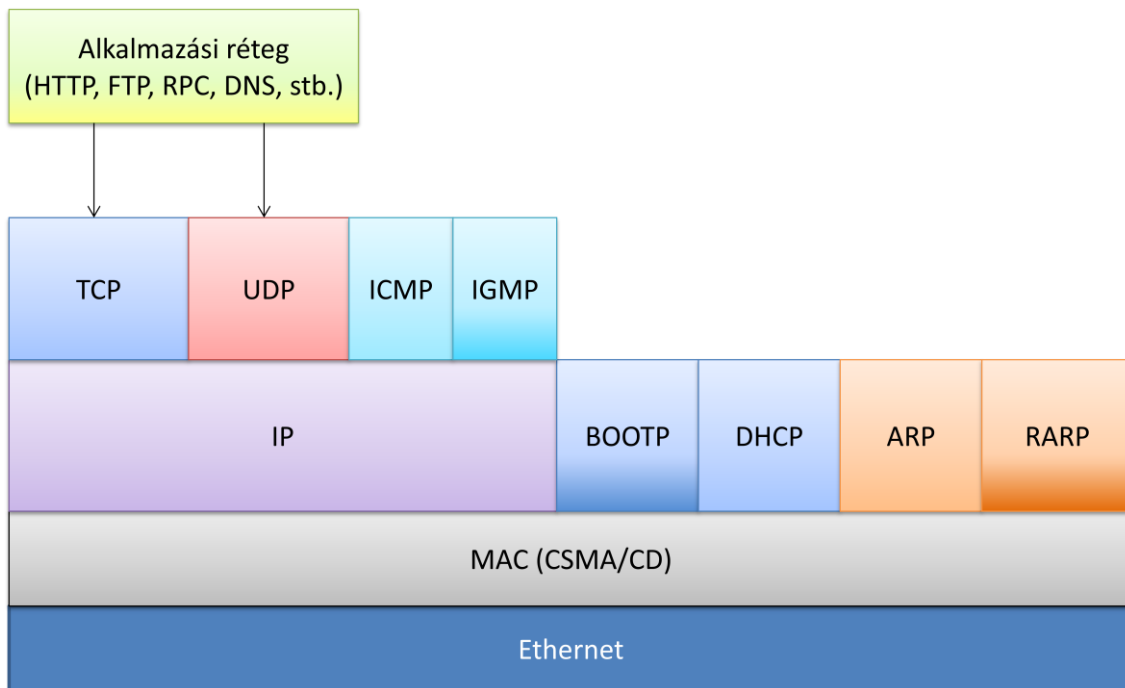
100 ms-os buszciklus idők és 5 ms körüli adatszciklus idők érhetőek el [46]. Azonban ezek állandósága nem garantálható, így olyan kommunikációhoz javasolják melynek nem idő kritikusak. Ilyenek például a konfiguráció letöltése, paraméterezés, diagnosztika (adott esetben akár számítógépen futó böngésző segítségével is), eszközmenedzsment, eszközről információk, statisztikák lekérése, üzemegységek vezérlőinek egymás közötti kommunikációja [49]. Az üzemegységek közötti kommunikációhoz UDP/IP protokollokat használ, ilyenkor egy kommunikációs ciklus hossza legfeljebb 100 ms lehet [47].

A folyamat adatai, a riasztások [46], a rendszer kritikus üzenetek továbbítása és a kommunikáció monitorozása [49] a Real-Time protokoll segítségével történik. A Real-Time protokoll üzenetei magasabb prioritással rendelkeznek, mint a MAC protokollé. Néhány száz milliszekundumos buszciklus idők és néhány (legfeljebb 10 [47]) milliszekundum körüli adatszciklus idők érhetőek el [46], 1 ms alatti szórással.

Csak izokron módban használja a ProfiNET alkalmazási rétege az Isochronous Real-Time protokollt. 250  $\mu$ s adatszciklus időket biztosít legfeljebb 1  $\mu$ s-os szórással [48]. A valódi valósídejű kommunikáció biztosítása érdekében ProfiNET-et ismerő switchek alkalmazása javasolt.

Hasonlóan a Profibushoz a ProfiNET is zárt protokoll, azonban az előbbivel ellentétben még nem szabványos és a keretek, üzenetek felépítése nem nyilvános. *Annyit lehet csak a hozzáférhető adatok alapján sejteni, hogy mivel a Profibus-DP/PA-hoz hasonló szolgáltatásokat nyújt és mindkettő lényegében a Siemenshez köthető, az adatszerkezetek, keretek a Profibus-FMS-hez és Profibus-DPVx/PA-hoz hasonló felépítéssel rendelkezhet, valamint az üzenet jellege szerint választ a négy eltérő tulajdonságokkal rendelkező csatorna közül (TCP/IP, UDP/IP, RT, IRT).*

A MAC (CSMA/CD), IP, TCP, UDP és az ahhoz kapcsolódó, ICMP, IGMP, ARP, RARP, DNS protokollok (15-4. ábra) teljes mértékben nyíltak és nyilvánosan elérhető akár a részletes specifikációjuk is. *Ezeknek a bemutatása még összefoglaló jelleggel is meghaladná a jelenlegi jegyzet kereteit, így ezekre most nem térek ki.*



15-4. ábra: Ethernet és TCP/IP protokollok egymásra épülése

## 15.2. A ProfiNET alkalmazási rétege

A ProfiNET alkalmazási rétege ugyan azokat a szolgáltatásokat biztosítja melyeket a Profibus-DPV2 is, beleértve a konfigurációs adatbázist és a GSD-fájlokat [49]. (A Profibus-PA a szigorú elektromos követelmények miatt nem váltható ki ProfiNET-tel.) Mind ezek mellett, még a mester csomópontok, de néhány szolga csomópont is, lehetőséget biztosít diagnosztikai és statisztikai funkciók WEB-es eléréséhez [48]. A ProfiNET alkalmazási rétege moduláris felépítésű és két egymás mellett párhuzamosan is üzemeltethető úgy nevezett perspektívát biztosít: ProfiNET CBA és Profinet IO.

A ProfiNET CBA (Component Based Automation, azaz komponens alapú automatizálás) komponens alapú gépek közötti kommunikációt tesz lehetővé. TCP/IP, UDP/IP illetve az azokra épülő RPC (Remote Procedure Call, azaz távoli függvényhívás) és DCOM (Distributed Component Object Model, azaz elosztott komponens objektum modell, ez a Microsoft-féle bővítése az RPC szolgáltatásoknak, lehetővé teszi távoli gépen található objektumok függvényeinek a hívását, az objektumok adataihoz való hozzáférést, osztályok távoli gépen való példányosítását és öröklődést) szolgáltatásaira épít [47]. A TCP/IP csatorna mellett hozzáférést biztosít a RT réteg által biztosított szolgáltatásokhoz is párhuzamosan. A PLC – PLC



kommunikációban alkalmazzák, így lehetővé válik a gyártóegységek autonóm, egymástól jól elkülöníthető és átlátható, rendezett egységekbe való csoportosítása. A vezérlő programok úgynevezett ProfiNET komponensekből épülnek fel, melyeket bemenőjelek segítségével egyszerűen lehet irányítani. A vezérlőprogramban az egyes komponensek a bemenő jelek hatására a távoli állomásra a megfelelő jeleket továbbítja. Valósídejű kommunikációhoz az RT protokoll szolgáltatásai is elérhetőek [46].

A ProfiNET IO az elosztott I/O állomásokkal történő kommunikációt biztosítja, azaz az egyes autonóm egységekben belüli kommunikációért felelős. Lehetővé teszi a szolgáló állomásokkal az I/O adatcserét, a különböző paraméterezési, konfigurálási és diagnosztikai szolgáltatások elérését. A ProfiNET CBA-val szemben elérhető az IRT protokoll is. A két eltérő perspektíva egymástól függetlenül és egymás mellett is üzemeltethető. Ha a két perspektíva egyszerre van jelen egy állomáson, akkor az adott állomást leképező objektumban a ProfiNET I/O ProfiNET CBA objektumként jelenik meg [46].

A ProfiNET az üzemet egymásra épülő hálózatokba, hierarchiába szervezi. Ezekben a hálózatokban különböző osztályokat definiál.

- AZ I/O Device osztályba tartoznak a különböző I/O szigetek, adatgyűjtők, motorvezérlők. Főleg I/O Controller osztályba tartozó eszközökkel kommunikálnak, de ideiglenesen (beüzemelésnél, programozásnál, hibakeresésnél) I/O Supervisor osztály tagjaival is képesek kommunikálni. AZ I/O Device és I/O Controller osztályba tartozó eszközökből felépülő hálózati szegmens ProfiNET-IO perspektívát használ.
- AZ I/O Controller osztályba tartoznak az olyan mester eszközök, melyek az egyes autonóm egységek vezérlő programjait futtatják. Ezek az egységek tipikusan PLC-ék, de ritkább esetben PC-k is lehetnek.
- AZ I/O Supervisor osztályba a programozó eszközök (PG), a PC-ék illetve a HMI (Human-Machine Interface) eszközök tartoznak. Ezek képezik a legmagasabb hierarchia szintet. ProfiNET CBA perspektívát használnak általában az egymás közötti kommunikációra [46].



## 16. I/O-Link kommunikációs protokoll

Mielőtt rátérünk a az I/O link kommunikációs protokoll ismertetésére, néhány általános megállapítást tegyünk az érzékelők és aktuátorok (beavatkozók) világában tapasztalható trendekről és fejlődési tendenciákról, hogy jobban megérthessük ezen protokollok alkalmazásának szükségszerűségeit. A különböző típusú ipari érzékelők fejlesztésében általános technológiai trendek ismerhetők fel, melyek meghatározzák a piac kisebb és nagyobb jelentőségű szereplőinek mozgásformáit, alkalmazástechnikai, félvezető-ipari, anyagtudományi, gyártástechnológiai és egyéb törekvéseiket az érzékelő gyártók ipari szereplőivel összhangban. A trendek nem korlátozódnak kimondottan csak az ipari érzékelők területére: hasonló trendek figyelhetők meg a fogyasztói elektronikában, orvosi elektronikában, szabályozástechnikában, folyamatirányításban, járműelektronikában, biztonságtechnikában és más területeken, mindenhol a vonatkozó követelményeknek és elvárásoknak megfelelően. Az is megfigyelhető, hogy az egyes trendeket képviselő technológiák olykor igen nagy kerülőutakat járnak be az említett területeken, de majdnem mindig ugyanarra a kimenetre jutnak nevezetesen elfogadhatóan olcsóvá, megbízhatóvá, fenntarthatóvá válás a különböző alkalmazások számára. Most nézzünk meg néhány trendet ezek közül.

### Hálózati működés képessége

A különböző ipari rendszerekben és gyártósorokon üzemelő érzékelők és aktuátorok számának növekedése következtében a jelek és adatkapcsolatok száma jelentősen megnövekedett az utóbbi időben. Ahhoz, hogy ez a tendencia ne vezessen a vezetékezés helyigény, felhasznált anyagmennyiség (pl. réz) valamint a komplexitás elviselhetetlen növekedéséhez, az érzékelők és beavatkozók közvetlenül, vagy szenzoradat-gyűjtő modulokon keresztül ún. ipari hálózatokra csatlakoznak. A trend kettős: ezáltal maguk az egyes érzékelők és beavatkozók válnak hálózati eszközzé, továbbá maguk az így kialakuló hálózatok is összekapcsolódnak. Ez része annak a ma egyre jobban megfigyelhető folyamatnak, melyet a Nyugat-Európai terminológiát követve negyedik ipari forradalomnak is neveznek. Az első ipari forradalmat a víz- és gőzenergia alkalmazása, a másodikat az elektromosan hajtott gépek (pl. futószalag) alkalmazása jelentette a tömegtermelés hatékonyságának fokozására (pl. Ford autógyár). A harmadik



ipari forradalom a számítástechnika és információtechnológia bevezetésével kezdődött ami a folyamatok széleskörű automatizálhatóságát segítette elő. A negyedik ipari forradalom keretében folyó átalakulás elvezet az "intelligens gyár" (Smart Factory) fogalmához ami az anyag- és energiáramlás, a termelési és logisztikai folyamatok, a minőség központosított, automatizált számítógépes felügyeletét és szabályozását jelenti. Az érzékelők és beavatkozók átfogó hálózatba (cloud) csatlakozása már a dolgok internete világ Internet of Things (IoT), de ez is természetesen csak egy, de szerves része a Smart Factory jelenségnek.

A felismerés hatására pl. a német kormány Industrie 4.0 néven nagyszabású állami programot indított, hogy a negyedik ipari forradalomban segítse a hazai cégek versenyképességének megőrzését. Hasonló programok találhatóak más országokban is, nálunk digitalizáció néven futnak ide sorolható programok.

#### Vezeték nélküli adatátviteli lehetőség

Az érzékelők és beavatkozók vezetékezése során, a hosszú kábelekben lokalizált anyag környezetterhelő hatásán túl, jelentős költségek merülnek fel: telepítés, karbantartás, javítás, elbontás. A kábelcsatornákon felszedett úgynevezett vezetett zavarok a kábeleken a szenzorokhoz továbbíthatóak, ami sok esetben nem kielégítő működéshez vezethet és ami ellen védekezni kell. Egy kábel tápvezetékeinek téves, a kapcsolt áram miatti túlmelegedés, akár a kábel vagy csatlakozójának tömítése, villámcsapás miatti áramlököt -- számos probléma, hibalehetőség, amely emeli a fejlesztés és a termék bevezetésének költségeit, és jelentősen megnyújthatja a piacra (time to market) kerülés időtartamát. A vezeték nélküli csatlakozással a kábelezés okozta összes probléma megszűnik, de helyét a vezeték nélküli technológia problémái veszik át, ugyanis százával csatlakoztatni wireless érzékelőket, melyeknek lekérdezési ciklusideje a milliszekundum nagyságrendjébe esik, nem kézenfekvő és triviális feladat. De ugyanakkor ott van még az érzékelők energiaellátási problémája is, mivel sok esetben igénybevételtől, környezeti terheléstől és egyéb alkalmazási körülményektől függően az érzékelőnek akár éveken át szakadatlanul működniük kell, amíg el nem érik üzemi óraterhelésük határait. Ahhoz, hogy a karbantartás, meghibásodás vagy akár a beépített telep lemerülése miatt a gyártási állásidőt minimumra lehessen csökkenteni, az érzékelők nemcsak a szükséges mérőjeleket továbbítják majd, hanem az állapotokra





vonatkozó információkat is: energiaszint, élettartam-becslési adatok, üzem közben előforduló túl magas vagy túl alacsony hőmérséklet, anomáliás jelszintek, jel-zaj viszony, stb. Ezek az adatok mind segítenek abban, hogy elkerüljük a túl korai csere miatti gyártási költségek növekedését. Tehát a vezeték nélküli érzékelő természeténél fogva a manapság oly hangzatos intelligens szenzornak tekinthető "Smart Sensor".

## **16.1. Intelligens érzékelő (Smart Sensor)**

Az "intelligens érzékelő" a mérési adatokat nemcsak továbbküldi, hanem elvégezhet valamilyen előfeldolgozást, legyen az linearizálás, perdikció, korrekció; a mérési adat megbízhatósága alapján szűrés, átmenetileg megnövekedő zajok esetén predikció, stb. Ide tartozik a diagnosztikai adatok gyűjtése, előzetes kielemezése. A szenzor elvégez olyan műveleteket, melyeket szokványosan a PLC-k vagy mikrokontrollerek végeztek, például vagy utasításként kapott jelszintek vagy jelszint-ablakok alapján dönt, esetleg egy rája implementált szabályozási algoritmussal közvetlen visszacsatolást szolgáltat egy beavatkozó felé (rendszerintegráció, szenzor-aktuátor egységek), utat nyitva ily módon a szabályozási folyamatok szélsőséges decentralizációja felé. Az intelligens érzékelő, természeténél fogva, az adatait digitális csatornán keresztül juttatja el a felügyelő--szabályozó rendszerek felé, s digitálisan fogadja és tárolja az üzemelését meghatározó paramétereket, küszöbszinteket stb. A Smart Sensor hálózati eszköz, mely a beépített előfeldolgozási folyamatai révén takarékosan bánik a hálózati és egyéb erőforrásokkal. Alkalmazásuk megköveteli a megfelelő kommunikációs protokollok használatát.

### **16.1.1. Energiahatékonyság problémaköre**

A különböző automatizálási és gyártórendszerekbe integrált érzékelők számának gyors növekedése ellenére nagy kihívást jelent a rendszer energiaszükséglet növekedésének elkerülése. Ez érintheti mind az érzékelésre, mind a szenzorjelek továbbítására fordítható energia mennyiségét. Egyre inkább anakronisztikussá válik az a szabványos elvárás, hogy pl. egy közelítéskapcsoló bináris kimenetének 100-200 mA terhelhetőségűnek kell lennie, mivel a programozható logikai áramkörök (PLC-k) széleskörű elterjedésével ennek már régóta nincs igazi jelentősége. Azonban mind az





érzékelésre, mind a jeltovábbításra fordítható energia csökkenése miatt fokozódó jel-zaj-viszonnyal kell megküzdeni. Fontossá válik tehát a kis energiaigényű digitális jelfeldolgozás és a legegyszerűbb érzékelőjelek esetén is a szenzor és a feldolgozó egység közötti kétirányú adatkommunikáció. Vezeték nélküli adatátvitel esetén lényeges, hogy az érzékelő hosszú időn keresztül üzemeljen, a karbantartási időköz kitolódjon, szélsőséges esetben az érzékelő az üzemeléshez és a kommunikációhoz szükséges energiát a környezetéből begyűjthesse. Hogy ez mennyire lehetséges azt mindig az alkalmazás dönti el, pl. egy mozgásszabályozáshoz szükséges akár 1kHz-es lekérdezési frekvenciával működő érzékelő a jelen technológiák esetén egy sötét, rezgésszegény helyen aligha tud elegendő energiát összegyűjteni. Megoldást jelenthet ilyen esetekben a vezeték nélküli energiaközlés, ami már bizonyított az RFID technológiákban; igaz, a rendszer globális energiaszükségletét nem csökkenti, de az egyes szenzorok integrálhatóságát megoldhatja.

### **16.1.2. Flexibilitás és újrakonfigurálhatóság**

A flexibilitás (rugalmasság) és újrakonfigurálhatóság különös értéket jelent a fejlesztési és gyártási folyamatban, mivel egyazon termék (hardver/szoftver) többféle funkcióra és felhasználási területre lehet alkalmas, így a felhasználók számára többféle terméket lehet kínálni lényegében jelentős fejlesztési és gyártási ráfordítás nélkül. Értéket jelent azért is, mert a beszállított alapanyagok változását a korábban megszokottnál kevesebb mintaépítéssel és kísérleti visszacsatolással, így gyorsabban és olcsóbban lehet validálni. Értéket jelent a vásárló számára, mivel nagyobb tételben olcsóbban vásárolhat, és elég később eldöntenie, hogy az egyes érzékelőket milyen funkcióban alkalmazza; s azért is, mert a gyártók a fogyasztói igényekre gyorsabban, valóban az elvárásoknak megfelelően tudnak reagálni. A konfigurálható szenzorok, de általában a hálózatba kötött, esetleg intelligens szenzorok az alkalmazástechnika szakemberi környezetétől is a megszokottnál magasabb technikai műveltséget igényelnek. Például az induktív érzékelők sem egy "elektronikus csavarként" lesznek már kezelhetők, viszont az alkalmazási rugalmasság, az „in situ” utánállítás, taníthatóság által elérhető költségcsökkenés bőségesen behozza a szakemberek képzési költségeit. Az újrakonfigurálható szenzorok kézenfekvő hardverplatformja a beágyazott mikrovezérlő,



digitális jelprocesszor vagy újraprogramozható FPGA és a szenzorokat és aktuátorokat összekötő ipari hálózat. Szélsőséges megjelenési formája a "software defined sensor", mely a programozható alkatrészben futó program által vezérelten működik.

### **16.1.3. Méretcsökkentés (Miniatürizáció)**

A miniatürizáció egy általános és régóta megfigyelhető trend, elég, ha csak a mobil telefonokra gondolunk, de ez nincs másképp az ipari érzékelők és beavatkozók esetében sem. A gyártósorok komplexitásának és sebességének növekedése megköveteli az alkatrészek, köztük az érzékelők méretének csökkenését -- természetesen a szerelhetőség határain belül. Ez egyazon szabványos ill. szokványos szenzorház méretére vetítve a teljesítmény, pl. az érzékelési távolság vagy tartomány növelését jelenti. Ehhez szükséges új érzékelési elvek alkalmazása, magasabb fokú integráció, kiterjedt digitális jelfeldolgozás, stabil, speciális tulajdonságú anyagok használata, és természetesen precíziós, magas fokon automatizált gyártástechnológia. Ebbe a trendbe illeszkedik a félvezetőgyártók egyértelmű törekvése, hogy az ipari érzékelők gyártóit is teljesen integrált érzékelő front-end megoldásokkal (csipekkel) lássák el, melyek az érzékeléssel, kompenzációs megoldásokkal és elsődleges jelfeldolgozással együtt egy szilíciumlapkán számos elektronikai alkotórészt tartalmaznak, a fejlesztőnek csak az elsődleges érzékelőelem fizikai elemeit kell hozzáadnia. A miniatürizáció másfelől azt is jelenti, hogy egyazon érzékelési funkció megvalósítása egyre kisebb anyagfelhasználással jár, egyre kisebb fogyasztású érzékelőket is jelent, azáltal csökken az általános környezeti terhelés. Ismét más szempontból kisebb méretű érzékelők bizonyos szintű redundanciát is megengednek egyazon gyártószakaszon belül, addig nem ellenőrzött mozgások is felügyelhetők, így csökkenthető a selejtszám és az állásidő, javítható a biztonság.

### **16.2. Mi várható (Új érzékelési elvek kutatása)**

Azon alapvető fizikai alapelvek száma, melyek a gyártásautomatizálás számára gazdaságosan előállítható ipari szenzorokban alkalmazhatók viszonylag korlátos.

Számos esetben az ipari szenzorok fejlesztésének szolgálatába állnak más trendek, melyek addig nem használt kölcsönhatásokat, elektronikai és konstrukciós



megoldásokat tesznek helyigény, fogyasztás, megbízhatóság és költség szempontjából elérhetővé. Az autópári fejlesztések vagy a kommunikációs és fogyasztói elektronika fejlődése által kikényszerített megoldások ráhatással voltak az ipari érzékelők világára is. Elég ha csak a rádióhullámú vagy lézeres (pl. radar, lidar...) technikára gondolunk, de folytathatnánk a sort az újabb ultrahangos távolságérzékelőkkel, olcsó és megbízható optikai, kapacitív stb. érzékelőcsipekkel. Ebbe a sorozatba illeszkedik az igen kisméretű, nagy teljesítményű és olcsó mikrovezérlők és DSP-k, funkcionális műanyagok, integrált optikai megoldások, "smart" hőmérséklet- és páratartalom-érzékelők, miniatűr képérzékelők, lézerek, energiaátalakítási és tárolási megoldások, félvezetőre integrált spektrométerek és még sok más megoldásnak a területe is. Az innovatívnál innovatívabb megoldások sora töretlenül nő, egy hagyományos alapelven belül is látványos, hogy nem csökken a megadott szabadalmak száma. Az induktív technikán belül is hol a tekercselrendezés, hol a gerjesztés, hol a jelfeldolgozás területén jelentkeznek újszerű megoldások. Jóllehet, minden érzékelő mögött ugyanazok a fizikai alapelvek (Maxwell-egyenletek) vannak, a valódi alkalmazások szempontjából történő optimalizálás mindig újabb megoldásokhoz vezet a feltalálókat, s a rendelkezésre álló újabb, nagyobb teljesítőképességű elektronikai és jelfeldolgozási technikák korábban kiaknázhatatlan megoldásokat tesznek mostanra elérhetővé. Az új érzékelési megoldások kutatásának igen fontos eszköze a numerikus szimuláció: az elektromágneses, hőtani, konstrukciós rendszerek, elektronikai kapcsolások és áramkörök modellezése. Ezáltal nagy mennyiségű, olykor az adott technikai szinten kivitelezhetetlen kísérletet lehet -- hozzávetőleges megbízhatósággal -- elvégezni, és végül csak a legígéretesebb eseteket kell valódi prototípusban kipróbálni. A jelenkor érzékelői általában maguk is egyértelműen mechatronikai rendszerek: működésük digitális kontroll alatt áll, az elsődleges mérőjelek digitális jelfeldolgozáson mennek át, anélkül nem is értelmezhető; a gyártás során kiterjedten alkalmazzuk a számítógépes modellezés, tervezés és gyártás módszereit, a kész szenzorok digitális kommunikációval kísért ellenőrzési és beállítási folyamatban nyerik el végső tulajdonságaikat, és egyre gyakrabban az alkalmazás számára is így állnak rendelkezésre [54].

A fent felsorolt trendek, mint láthattuk nem elszigetelten érvényesülnek. Az intelligens szenzor, a hálózati működés, az integráció, miniatürizáció, az energiaszükséglet



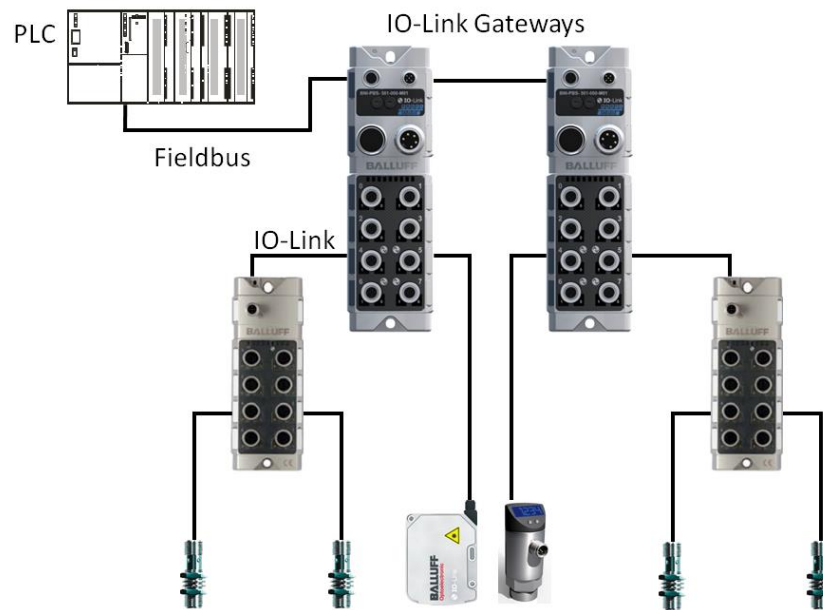
csökkentése stb. együtt, egységes folyamatként, úgymond többcélú optimalizációs folyamaton keresztül egymást támogatva és feltételezve kísérik az ipari termelés korunkban zajló átalakulását. Áttekintve a főbb fejlődési trendeket nézzük meg, hogy milyen kommunikációs protokollok segíthetik az ipari automatizálási technológiák elterjedését.

### **16.3. Az I/O link protokoll bevezetése**

Mint ahogy láhattuk a trendelemzés során a vezérlő egység illetve a vezérelt folyamat között a kapcsolatot az érzékelők és a beavatkozók valósítják meg. Az érzékelt valamint beavatkozó jelek továbbítására a technikatörténet során sok, különböző megoldás alakult ki, kezdve a legegyszerűbb direkt kábelezéstől, a különböző passzív, majd később aktív elosztókat használó rendszereken át az elosztott moduláris összeköttetésekig.

#### **16.3.1. Elosztott moduláris rendszerek**

Az összeköttetési rendszer legújabb fejlesztései a minél több intelligenciával rendelkező szenzorok és aktuátorok rendszerbe integrálását tűzték ki célul. A célok elérésének legfontosabb eleme egy egyszerű, könnyen implementálható, ugyanakkor többféle szolgáltatást nyújtó kommunikációs megoldás, az IO-Link kommunikáció. Az IO-Link elviszi a digitális kommunikáció nyújtotta előnyöket a szenzorok és beavatkozók szintjére. Ezzel olyan rugalmasságot, és diagnosztikai lehetőségeket képes biztosítani, amelyek drasztikusan megkönnyítik kiterjedt rendszerek fejlesztését, üzemeltetését és karbantartását. A rendszer kialakításának egyik lehetséges elrendezését mutatja az 16-1. ábra.



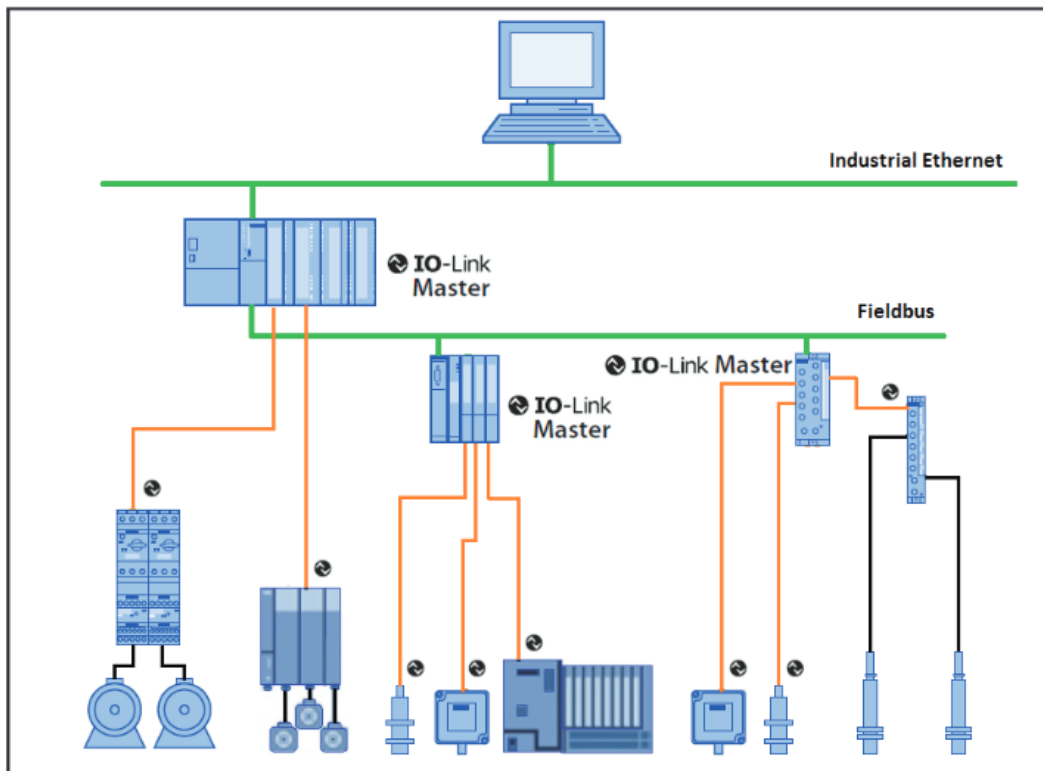
**16-1. ábra: Elosztott moduláris rendszer**

Elindulva a vezérelt folyamat szintjéről, a rendszer alacsony szintű (első) elemei természetesen az „egyszerű” érzékelők (közelítéskapcsolók, mechanikus kapcsolók stb.) és beavatkozók (relék, szelepek). Ezek az eszközök a kommunikációs hálózat legalsó szintjét képviselő aktív elosztókba csatlakoznak. Ezen a szinten az aktív elosztók az IO-Link kommunikációt használják a hozzájuk csatlakozó szenzorok és beavatkozók jeleinek továbbítására. Köszönhetően az IO-Link adta lehetőségeknek, funkcióit tekintve ezek az elosztók nem sokban különböznek azon társaiktól, amelyek egy komoly ráfordítást igénylő pl.: Ethernet alapú buszrendszert használnak. Már ezen a szinten is megtalálhatók olyan funkciók, mint a portok konfigurálhatósága (in/out configuration), a széles hibajelző képesség (tápfeszültség vagy kimentí rövidzár, alacsony feszültség értékek stb.) [50].

Az IO-Linket használó aktív elosztók szintjén található még azok a szenzorok és beavatkozók amelyek az egyszerű kapcsolójelen túl hasznos információval is rendelkeznek. Ezek az eszközök szintén az IO-Link kommunikációt használják, mind a folyamatot jellemző hasznos adatok, mind pedig az állapotparaméterek illetve különböző jelzések átvitelére. Ilyen eszköz lehet például egy nyomásmérő szenzor, vagy egy útmérő egység is. Az IO-Link terminológia szerint az eddigi eszközök (szenzorok/beavatkozók) mind ún. slave eszközök, tehát ők szükségképpen egy IO-Link master egységbe kell, hogy csatlakozzanak. Az IO-Link masterek reprezentálják a

181

moduláris rendszer következő magasabb szintű rétegét. Ezeket az eszközöket gyakran átjárónak „Gateway” nek is hívják, mivel kapcsolatot teremtenek egy ipari terepbusz és az IO-Link réteg között. Az IO-Link Master egyfajta átjáró (gateway) funkciója a terepi busz felől érkező adatokat konvertálja az IO-Link eszközök irányába, illetve fordítva. A master többféle buszrendszerrel képes kommunikálni, és több IO-Link portot is képes kezelni, amelyekhez az eszközök csatlakoznak. Minden csatlakozó eszköznek külön portja van, az IO-Link tehát nem egy buszrendszer, hanem pont-pont összeköttetést valósít meg. A kompatibilitás miatt a hagyományos bináris szenzorok is lecserélhetők IO-Linkes eszközökre. Az IO-Link eszköz képes a szabványos Input/Output kommunikációra is (Standard Input-Output, SIO), attól függően, hogy a master milyen üzemmódot ír elő számára [51].



**16-2. ábra: IO-Link Master és IO-Link eszközök helye az automatizálási hierarchiában**

A master egységek igyekeznek minden, az IO-Link kommunikáció nyújtotta lehetőséget a felsőbb rendű terepi buszra is leképezni, elérhetővé téve ezeket az előnyöket a vezérlőegység, ill. a vezérlőegység programozója, majd felhasználója számára.



Ahogy az ábrán is látszik a rendszer következő úgymond legmagasabb szintje már tulajdonképpen a központi vezérlő egység, ill. egészen pontosan a használt terepi busznak megfelelő irányító rendszer (pl.: CC-Link master, EtherNet/IP scanner, Profibus master stb.). A vezérlő egység programozója megszokott módon a megfelelő memóriaterületekre hivatkozva érheti el az adatokat. A fenti hierarchikus kialakításnak a már említett diagnosztizálást, szervizt és beállítást segítő előnyei mellett két igen kedvező tulajdonságát mindenképpen meg kell említeni, melyek nem feltétlenül műszaki jellegűek. Az ipari automatizálásban már-már megszokott dolog, hogy nagyon eltérőek a terepi buszrendszerek pl. Európában, Amerikában vagy a távol-kelet (pl. Japán) különböző országaiban. Európában elsősorban a Profibus és a Profinet dominál, míg Amerikában a DeviceNet illetve az EtherNet/IP. Ezzel szemben az IO-Link igyekszik mindenhol jelen lenni a használt terepi busztól függetlenül. Egy adott automatizálási rendszer esetében az IO-Link réteg alatti, kábelezés szempontjából a legnagyobb ráfordítást igénylő terület függetleníthető a használt terepi busztól. Ily módon egy IO-Link kommunikációra építő gyártási- vagy folyamatirányítási rendszer minimális átalakításokkal alkalmazható mondjuk egy Profibus-ra támaszkodó európai rendszerben, de akár egy távol-keleti rendszerben is mondjuk CC-Link terepi buszvezérléssel.

A második említésre érdemes lényeges elem, hogy a rendszer már a szenzorok és beavatkozók szintjétől kezdődően digitálisnak tekinthető. Ez az előny elsősorban akkor jelentkezik, ha zavar érzékeny analóg jeleket kell továbbítani a kommunikációs csatornán. Ezt korábban (és sok helyen ma is) árnyékolt kábelek alkalmazásával oldották meg. Az IO-Link segítségével azonban létrehozható egy olyan rendszer, amelyben az analóg jelek már közvetlenül a keletkezésük színhelyén digitalizálódnak, és már digitális formában kerülnek továbbításra az IO-Linken keresztül. Tehát a gazdaságossági szempontokon kívül (egy árnyékolt kábel és egy IO-Link kábel között árban is jelentős különbség van) sokkal fontosabb az a megbízhatósági szempont, hogy a zavarokkal szemben sokkal hatékonyabb jelátviteli csatorna az IO-Link használata.

#### IODD (I/O Device Description)

Minden eszközhöz tartozik egy leíró fájl is (I/O Device Description, IODD), amely különböző tulajdonságokat tartalmaz az eszközről, mint például: a kommunikáció



jellemzői, az eszköz paraméterei a megengedett értéktartományokkal és alapértelmezett értékekkel, azonosítási, folyamat és diagnosztikai adatok, szöveges leíró adatok az eszközről, eszköz ábrája, illusztrációja, gyártó logója stb.

Az IODD fájl struktúrája minden gyártó minden eszközére ugyanaz, így az IO-Link mesterek konfigurációs eszközei (configuration tool) ugyanúgy tudják kezelni az IO-Link eszközöket, függetlenül azok gyártójától.

Az IO-Link kommunikáció

Az előzőekben láttuk, hol kerül az IO-Link kommunikáció az ipari automatizálás területén alkalmazásra. Nézzük meg közelebbről milyen lehetőségeket biztosít a protokoll a felhasználóknak, ill. a fejlesztőknek [50],[51].



## 17. IO-Link 1.0

Az IO-Link kommunikációs forma nem tekintendő kimondottan buszrendszernek, hiszen a kommunikáció minden esetben csak két, kizárólag csak egymással összeköttetésben lévő partner között zajlik. A kommunikációban mindig egy Master illetve egy Slave eszköz vesz részt.

Fizikai rétegét tekintve az IO-Link háromvezetékes, árnyékolatlan teljesen általános kábelt használ (tápfeszültség, föld, jelvezeték) Az adatok átvitele a jelvezetéken történik, +24V-os jelszintekkel, half-duplex aszinkron soros módon. Bizonyos esetekben az IO-Link szabvány a három vezetékes kapcsolat mellett négy vezetékes kapcsolatot is definiálhat a slave és a master eszköz között:

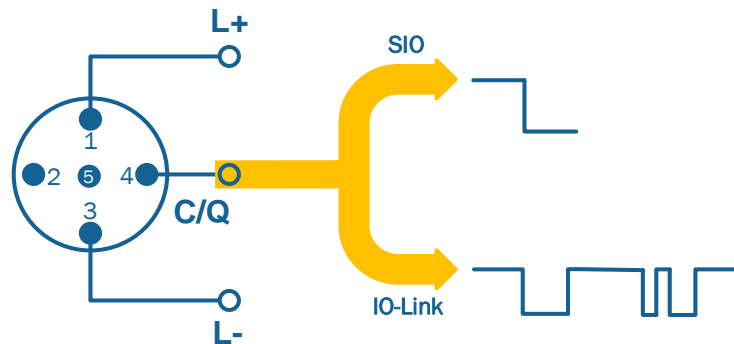
- +24V: tápvonal
- GND
- C/Q: 0-24V digitális kommunikációs vonal
- DO: kapcsolási állapotot jelző vonal (nem kötelező)

Az IO-Link dokumentációja az átviteli sebességeket COM1, COM2 és COM3 néven definiálja. Ezeknek a sebessége és a hozzájuk tartozó ciklusidők az 17-1. táblázatban láthatóak.

	Átviteli sebesség [kbps]	Ciklusidő [ms]
<b>COM1</b>	4,8	18
<b>COM2</b>	38,4	2,3
<b>COM3</b>	230,4	0,4

### 17-1. táblázat: IO-Link által támogatott kommunikációs sebességek

Az IO-Link csatlakozó kialakítását tekintve lehet Class A (4 kivezetéses) és Class B (5 kivezetéses) típusú. Mindkét esetben a 2-es és 5-ös kivezetés opcionális. A csatlakozó kialakítását a 17-1. ábra szemlélteti, illetve a csatlakozóhoz tartozó funkciókat a 17-2. táblázat mutatja be.



17-1. ábra: IO-Link csatlakozó és támogatott átviteli sebességek

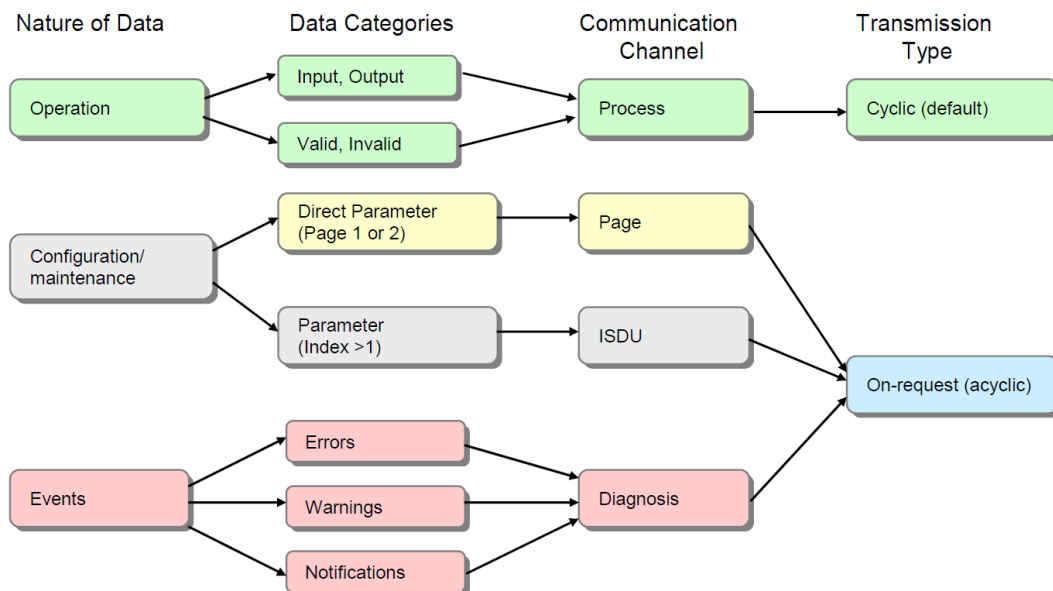
Csatlakozó kivezetés	Jelölés	Funkció
1.	L+	24 V
2.	I/Q	Digitális be- vagy kimenet (opcionális)
3.	L-	GND
4.	Q	Digitális vonal SIO módban
	C	Adat vonal IO-Link módban (COM1, COM2, COM3)

17-2. táblázat: IO-Link csatlakozóhoz tartozó funkciók

Hardveres oldalról szükség van egy illesztő egységre, aminek a legfontosabb feladata a C/Q vonal és a mikrovezérlő UART perifériája közötti jelátalakítás. Ha a firmware követelményeket nézzük, szükséges egy IO-Link stack, melynek a fizikai rétege a felhasználni kívánt mikrovezérlő típusra specifikus. Ez kezeli le az IO-Link protokoll üzenetváltásait, memóriaeléréseit, a különböző kommunikációs csatornák használatát. Mint látható az IO-Link fizikai kialakításában teljesen kompatibilis a jól megszokott bináris kapcsolókkal. Az adatok átvitelére a rendszer egyszerű NRZ (Non Return to Zero) kódolású UART (Universal Asynchronous Receiver/transmitter) karaktereket használ, páros paritással és egy stop bittel. Az adatátviteli sebesség a slave eszköz teljesítményétől függően lehet 4,8kBd, 38,4kBd, ill. 230,4kBd. A kommunikáció szigorú protokollhoz kötött: a slave eszköz csak a master meghatározott kérésére válaszolhat, más esetekben az adatvezeték nagy impedanciás állapotban kell tartania. Az IO-Link szabvány a fizikai rétegre építve három logikai adatcsatornát különböztet meg. Ezek közül a legfontosabb a szenzorok, beavatkozók hasznos információi („processz adat pl.: nyomás, hőmérséklet, feszültségérték stb.) Az adatok ciklikusan kerülnek átvitelre, egy slave eszköz maximálisan 32 bájtnyi ki és bemenő adattal rendelkezhet. A jellemző ciklusidő 2ms.

Az átvitel módja szerint kétféle adattípus jelenik meg a vonalon:

- **Ciklikus:** periodikus lekérdezés a master eszköz felől, melyre a szenzor válaszol. Itt a fizikai mennyiség több byte-ja mellett akár kapcsolási állapotokat jelző biteket is kiküldhet a szenzor. Például egy optikai érzékelő esetében egy üzeneten belül közölhető a tárgytávolsággal arányos érték és hogy a tárgy az adott kapcsolási távolságokon belül, kívül vagy között helyezkedik-e el. A lekérdezési periódus ideje előre definiált.
- **Nem ciklikus:** alkalmasszerűen lekérdezett üzenetek. Ide tartozik, ha az érzékelő paramétereit szeretnénk kiolvasni vagy változtatni. Illetve, ha diagnosztizálni szeretnénk a szenzort.



**17-2. ábra: Kommunikációs Logikai Csatornák**

A paramétereizhetőség nagy előnye, hogy a szenzor működése közben testre szabhatjuk azt. Be tudjuk állítani a kapcsolási távolságot, mérési pontosságot, a LED fényerejét, modulációs tulajdonságokat stb. Emellett kiolvashatóak az eszköz, vagy a gyártó adatai is. Diagnosztizáláskor hibákat, figyelmeztetéseket, megjegyzéseket olvashatunk ki az eszközből, ha a hőmérséklet túl magas, a tápfeszültség alacsony, a lencse szennyeződött, valamely alkatrész meghibásodott, vagy ha egyéb nem kívánt esemény következik be [55], [56].

A diagnosztikai információk számára fenntartott logikai adatcsatornán kerülnek továbbításra a normál működéstől eltérő, eseményre figyelmeztető adatok. Ilyenek

lehetnek pl.: rövidzárta figyelmeztető jelek, optikai szenzorok esetében a lencsék, ill. a lézertióda állapotáról szóló információk, vagy egyszerűen a tápfeszültség alacsony voltára figyelmeztető adatok. A diagnosztikai adatok események (event) formájában kerülnek átvitelre mind az esemény bekövetkeztekor (coming) mind pedig megszűnésekor (going). A harmadik logikai adatcsatorna a paraméterek átvitelére használható. Ezen keresztül nem csak a tápfeszültség bekapcsolásakor, hanem a működés során bármikor megváltoztathatók az adott eszköz működési paraméterei (pl.: kapcsolási pontok definiálhatók, módosíthatók analóg szenzorok esetében). De ezen csatornán keresztül tudjuk a csatlakoztatott eszközt mondjuk azonosítani, a gyártóját kiolvasni stb. [55]

A kommunikáció során, mint ahogy fentebb láthattuk többféle adattípus fordul elő, melyek továbbítása kétféle módon (ciklikus vagy nem-ciklikus) módon történik. A kétféle kommunikáció egymást nem zavarja meg, mert külön csatornákon zajlanak, a 17-3 táblázat alapján.

Adat típusa	Jellemző adatok	Csatorna	Működési mód
Folyamat adatok	bemenet / kimenet érvényes / nem érvényes	Process	ciklikus
Eszköz adatok (konfigurálás, karbantartás)	Direct Parameter (Page 1 és Page 2)	Page	nem-ciklikus (on request)
	További paraméterek	ISDU	
Események	hibák, figyelmeztetések, értesítések	Diagnosis	

17-3. táblázat: A kommunikáció során előforduló adattípusok és a használt csatornák

Nézzük meg röviden az egyes adattípusok jelentését:

1. Folyamat adatok (Process data): Ezek valójában a „hasznos” adatok. A bemenet/kimenet megnevezéseket a Master szemszögéből értelmezzük. Ezen kívül még minden portnak van egy státuszjelzője is, ami azt jelzi, hogy az adat érvényes vagy érvénytelen. Ez a státuszjelző adat a Process adatokkal együtt, ciklikusan továbbítódik, a *Process* csatornán.
2. Eszköz adatok: Ezek lehetnek paraméterek, diagnosztikai információk, vagy az eszköz azonosításához szükséges adatok. Ezek a Master kérésére (on request) továbbítódnak, nem-ciklikus módon, a *Page* vagy *ISDU* csatornán. A *Page* csatorna van fenntartva a legfontosabb paraméterek számára, míg az *ISDU* csatornán a további paraméterekhez és parancsokhoz történik a hozzáférés.

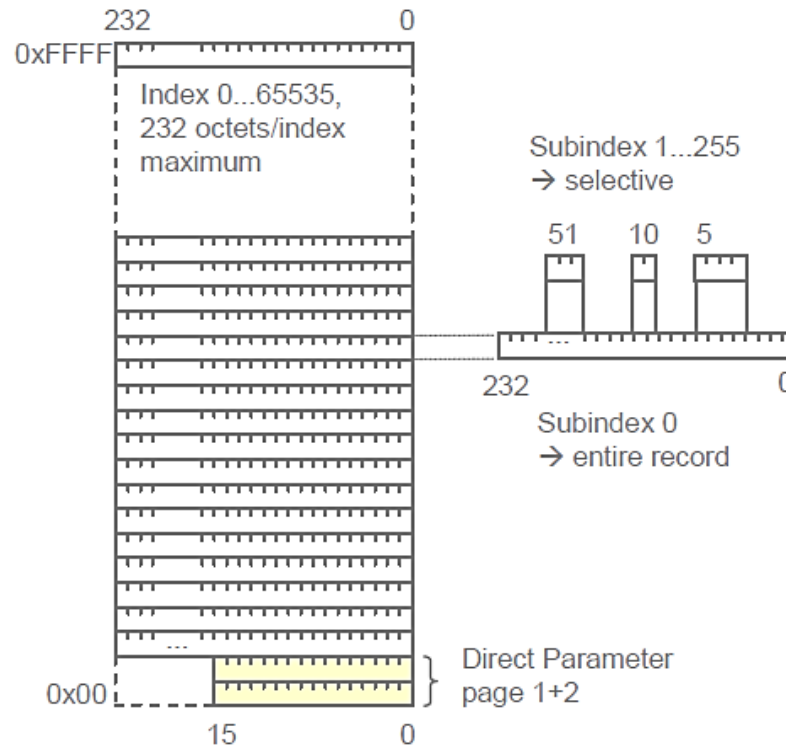


3. Események (Events): Ha valamilyen esemény történik, például váratlan hiba, figyelmeztetés, vagy egyéb értesítés, akkor az eszköz ezt a tényt jelzi a master felé, egy megfelelő eseményjelző flag beállításával. A master ezután kiolvassa a részletesebb eseményadatot. Az események továbbítása szintén nem-ciklikus módon történik, a *Diagnosis* csatornán.

A kommunikációt a master kezdeményezi, és a slave eszköz válaszol rá. A master által küldött üzenetet, és a slave eszköz válaszüzenetét együttesen M-szekvenciának nevezzük. Többféle típusú M-szekvencia létezik, a szabvány pontosan definiálja, hogy melyik szekvenciatípus esetén hány darab és milyen jellegű adatot küld az egyik, illetve másik fél.

### **17.1. Az eszköz paramétereinek elérése**

Az eszközök tervezőinek széles lehetősége van a paraméterek és az eszköznek kiadható parancsok definiálásában. A felhasználóknak ezeken keresztül van lehetőségük arra, hogy az eszköz működését megváltoztassák, a kívánt igényekhez és körülményekhez igazítsák. Bizonyos eszközöknél ez nagy mennyiségű paramétert is jelenthet. Ezek hatékony tárolására és hozzáférésére az eszközök egy megfelelően nagy paraméter térrel rendelkeznek, amelyre a hivatkozás egy indexszel (0...65535) és alindexszel (0...255) történik. Az index segítségével kiválasztható, hogy melyik rekordra hivatkozunk. Ha az alindex értéke nulla, akkor ez a teljes rekordot jelenti, egyéb alindexek alkalmazásakor pedig mindig a rekordnak egy bizonyos adatelemére történik a hivatkozás, (17-3. ábra).



17-3. ábra: Hivatkozás a paraméterekre index és alindexek segítségével

Azt, hogy az adatelemek hogyan építik fel a rekordot, tehát melyik adatelem milyen hosszúságú, az minden eszköz esetén más és más, ezeket a már korábban említett eszközeleíró fájl (IODD) tartalmazza. Arra is kellett gondolni, hogy kisebb szenzorok esetén a paraméterek és konfigurációs lehetőségek száma jóval kisebb, és ezekben az esetekben ne legyen feleslegesen bonyolult a paraméterekhez való hozzáférés. Hogy ez az igény is teljesüljön, az IO-Link szabvány ún. közvetlen paramétereket (Direct Parameter) is definiál, amelyekhez egyszerűbb a hozzáférés, a Page kommunikációs csatornán keresztül. Az index=0 és index=1 esetek ezekre a Direct Paraméterekre (Page1 és Page2) való hivatkozást jelentik. Page1 olyan alapvető paramétereket tartalmaz, amelyek a kommunikáció vezérléséhez (pl. ciklusidő), vagy az eszköz azonosításához szükségesek (pl. gyártó azonosító száma, eszköz azonosítója), Page2 pedig további eszköz-specifikus paramétereket tartalmazhat. Az index = 2...65535 esetén a paraméterek elérése az ISDU csatornán történik. A 4. táblázat áttekintést ad a lehetséges paramétertípusokról, és azok elérési módjairól.

Elérési mód	Paraméter típusa	index értéke	alindex értéke
Direct Parameter	Page 1	0	1..16
	Page 2	1	1..16
Paraméterek elérése ISDU csatornán	Rendszer	0x02...0x0F	0 (teljes rekord)
	Azonosítás	0x10...0x1F	
	Diagnosztika	0x20...0x2F	1...255 (rekord adott része, IODD definiálja)
	Profil specifikus paraméterek	0x30...0x3F	
	Eszköz specifikus paraméterek	0x40...0x4FFF	
Nem használt	0x5000...0xFFFF		

**17-4. táblázat: Paraméterek típusai és elérési módjuk**

A 17-4. és 17-5. ábra példát mutat a Balluff IO-Linkes SmartLight dokumentációjából, néhány paraméter elérési címére és alapértelmezett értékére.

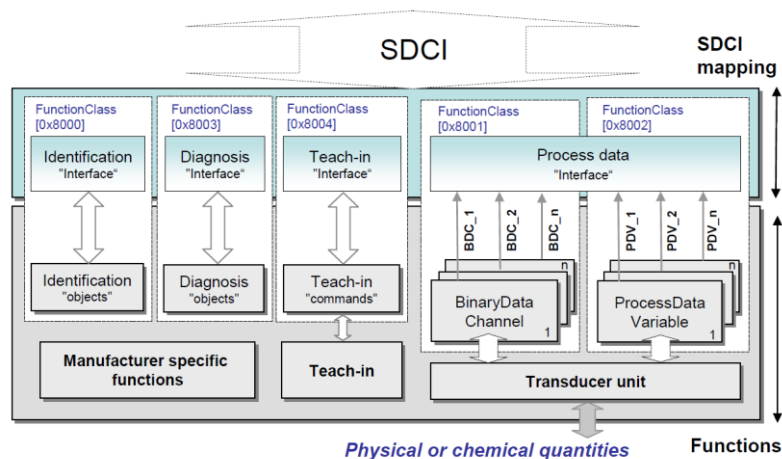
	DPP	SPDU		Object name	Length	Range	Default Value
	Index	Index	Sub-index				
Identification Data		10hex	0	Vendor name	7 Byte	Read only	BALLUFF
		11hex	0	Vendor text	15 Byte		www.balluff.com
		12hex	0	Product name	20 Byte		BNI IOL-802-000-Z036
		13hex	0	Product ID	7 Byte		BNI0072
		14hex	0	Product text	20 Byte		Smart Light

**17-4. ábra: Példa a SmartLight néhány azonosító adatának lekérdezésére: gyártó neve, weboldala, termék neve, azonosítója, szöveges leírása**

SPDU		Object name	Length	Range	Default Value
Index	Sub-index				
40hex	0	Mode	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...2 <sub>hex</sub>	0 <sub>hex</sub>
41hex	0	Number of segments	1 Byte	1 <sub>hex</sub> ...5 <sub>hex</sub>	5 <sub>hex</sub>
42hex	0	Level type	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...1 <sub>hex</sub>	0 <sub>hex</sub>
43hex	0	Level resolution	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...4 <sub>hex</sub>	0 <sub>hex</sub>
44hex	0	Level mode segment 1 color	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...F <sub>hex</sub>	2 <sub>hex</sub>
45hex	0	Level mode segment 2 color	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...F <sub>hex</sub>	3 <sub>hex</sub>
46hex	0	Level mode segment 3 color	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...F <sub>hex</sub>	3 <sub>hex</sub>
47hex	0	Level mode segment 4 color	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...F <sub>hex</sub>	1 <sub>hex</sub>
48hex	0	Level mode segment 5 color	1 Byte	0 <sub>hex</sub> ...F <sub>hex</sub>	1 <sub>hex</sub>

17-5. ábra: Példa a SmartLight néhány paraméterének elérésére, lehetséges értéktartományára és alapértelmezett értékére.

Az IO-Link szabvány definiál egy ún. Smart Sensor profilt (17-6. ábra), amely segítségével intelligensebbé tehető az érzékelő. Ez egy független függvényekből álló modell, mellyel a gyártók még több beállítási lehetőséget érhetnek el.

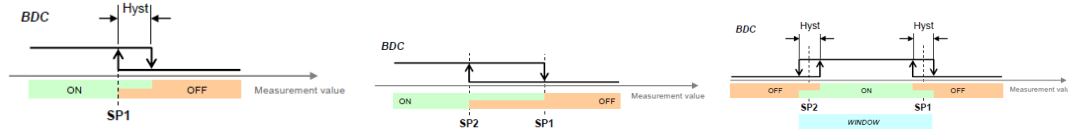


17-6. ábra: Smart Sensor Modell

Ide tartozik például a ciklikus adat felépítése, hogy milyen formában kerüljön kiküldésre a mért mennyiség és a bináris, kapcsolási állapotokat jelző adat. Szenzorok esetében beállíthatjuk, hogy a kapcsolási pontoknál hogyan viselkedjen a kimenet:



kapcsolási pontok távolsága, egy vagy két pontos mérés, ablakolás, normál vagy invertált kimenet, hiszterézis beállítás.



17-7. ábra: Kapcsolási módok

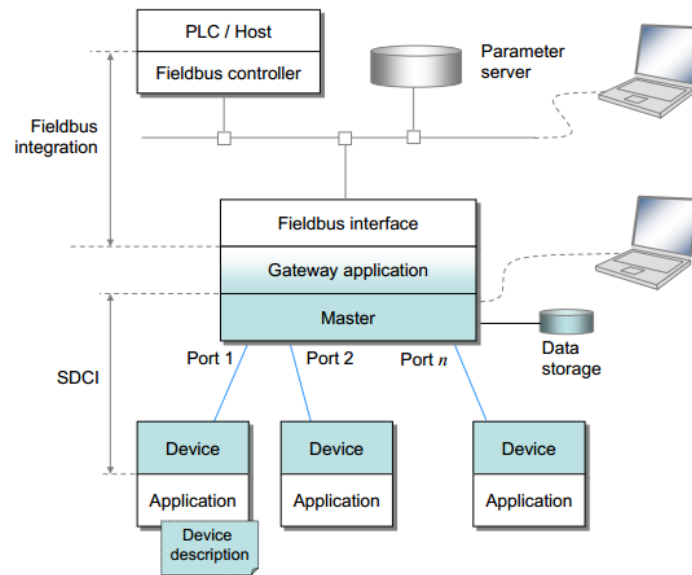
A modellel elérhetünk egy tanító függvényt is, aminek segítségével a céltárgyat a szenzor elé helyezve - optikai eszköz esetén a tárgy reflexiós tényezőjétől függetlenül - rögzíthetjük a kapcsolási távolságokat. Másik előnye, hogy nem kell pontosan tudnunk, hogy milyen távolságra lesz a céltárgy, mikor kapcsolni kell, hiszen a szenzor megtanulja azt.

## 18. IO-Link 1.1

Az IO-Link szabvány fejlesztése töretlenül folytatódik, és az 1.0-ás szabványt 2010-ben egy újabb követte az 1.1-es. Az 1.1-es szabvány természetesen kompatibilis az 1.0-ás szabványt használó eszközökkel. Az újabb kiadás két lényeges új elemet tartalmaz: a változtatható hosszúságú ciklus, valamint a paraméter szerver fogalmát. Az 1.0-ás szabvány esetében egy adott ciklusban csak korlátozott mennyiségű adat átvitelére volt lehetőség. Ez olyan hátrányokat okozott, hogy például nagy mennyiségű hasznos adat esetében az adat teljes frissülésének ideje több ciklusnyi ideig is eltarthatott. Ezt a hátrányt igyekszik kezelni az 1.1-es kiadásban megjelenő ún. váltakozó hosszúságú ciklus. Ebben az esetben az egy ciklusban átvitt adatok mennyisége elérheti a maximális 32 bájtot is.

A másik újítás, a paraméter szerver funkció lényege, hogy a mester eszköz képes automatikusan kiolvasni a szolga eszköz valamennyi paraméterét, és azokat egy nem felejtő memóriatárban elmenteni. Az elmentett paraméterek segítségével egy újonnan csatlakoztatott eszköz konfigurálása semmiféle külső beavatkozást könnyűszerrel megtehető. [56]

Összefoglalva az 1.1-es verzió a korábban 2 bájtszélességű csomagok küldésének lehetőségét 32 bájtra növelte és bevezette az úgynevezett Data Storage (Adattároló) lehetőségét, ami a Master és az IO-Link eszköz között van specifikálva.



**18-1. ábra: Adattárolóval megvalósított I/O-Link rendszer**

18-1. ábrán látható egy szemléltető példa, mely jól mutatja a megvalósított elvet. A kiválasztott IO-Link eszköz a PLC szintjén állítható be, az eszköz dokumentációjában megtalálható paraméter adatok felhasználásával. A bekonfigurált paraméterek ezt követően a szolgáló eszközből a mester segítségével áttöltődnek az adattárolóba. Későbbiekben, amennyiben az eszközt mondjuk egy újra cseréljük, akkor nincs szükség ismét felparaméterezésre, elegendő, ha az adattárolóból a már korábban beállított paraméter adatokat áttöltjük az új eszközre. Ez nagyban felgyorsítja és leegyszerűsíti az eszközcserét, ami álltal állási idő takarítható meg.

Az IO-Link protokoll jelenlegi legfrissebb verziója 2013-ban került kidolgozásra IO-Link Interface and System Specification V1.1.2 címmel [53].



## Felhasznált Irodalom

- [1] <https://makezine.com/2012/04/02/punch-tape-programmable-metal-mill-from-1952>
- [2] <https://www.mazakeu.hu/hu/h%C3%ADrek-esem%C3%A9nyek/v%C3%A1llalati-h%C3%ADrek/EMOpreview/>
- [3] Tapscott D. Digital Economy. McGraw-Hill, New York, 1996
- [4] Womack J.P., Jones D. T. The machine that changed the world: the story of lean production. Rawson Associates, New York, pp. 1-5, 1991
- [5] Zhou Z. Digital Manufacturing. Science press, Peking, 2004
- [6] Zhou Z., Xie S., Chen D. Fundamentals of Digital Manufacturing Science. Springer series in advanced manufacturing, Springer ferlag, ISSN1860-5168, 2012
- [7] Szykmann S., Siriam R. D., Regli W. C. The role of knowledge in next generation product development systems. ASME Journal of Informational Science and Engineering (1) pp. 3-11., 2001
- [8] Roy U., Bharadwaj B. Design with part behaviors: behavior model, representation and applications. Computing Aided Design, (34) pp. 613-636, 2002
- [9] Hongzan B. I. N. Sustainability knowledge-base digitalization visualization—on the innovation strategy for manufacturing technology in the 21st century. China Mech Eng (11) pp. 110–113, 2000
- [10] Zhou K., Zhao J. S., Mao D. Z. Research on an intelligent manufacturing system based on an information-localizing machining mode. Journal of Material Process Technologies (129) pp. 597–602, 2002
- [11] Apostolopoulos D. S. Analytical configuration of wheeled robotic locomotion. Ph.D. dissertation, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, April of 2001.
- [12] Zhou Z. Digital synergy and network interactive design technology. Publishing House of Science, Beijing, 2004
- [13] Mahesh M., Ong S.K., Nee A.Y.C., Fuh J.Y.H., Zhang Y.F. Towards a generic distributed, collaborative digital manufacturing. Rob Comput Integr Manuf (23), pp. 267–275, 2007
- [14] Zhou Z. Digital manufacturing. Publishing House of Science, Beijing, 2004
- [15] Dejun C., Zhou Z., Jiang D. Modeling of general virtual enterprise. Adv Syst Sci Appl. (6) pp. 254–260, 2006
- [16] Amor H.H., Turki S., Soriano T. Modelling the behaviour of a mechatronic system in virtual prototyping environment. Enabling technologies for the new knowledge society: ITI 3rd international conference on information and communications technology, 5–6th of Dec 2005, pp. 209–218



- [17] Samier H., Sandoval V., Christofol H., Lecoq M., Bertolucci G. Cyberspace parameters for optimising virtual manufacturing. In: IEEE international conference on systems, man and cybernetics, vol 3, 6–9th of Oct 2002, p 7
- [18] Zouping Y., Han D., Tso, S.K., Youlun X. A virtual prototyping approach to mold design. In: IEEE SMC '99 conference proceedings. IEEE international conference on systems, man, and cybernetics, vol 4, 12–15th of October 1999, pp. 463–468
- [19] Eccleston M. Virtual prototyping. *Manuf Eng* (75) pp. 129–132, 1996
- [20] Zhang B. P. *Manufacturing informatics*. Tsinghua University Press, Beijing, 2002
- [21] Hu Y. M., Du R. S., Yang S. Z. Intelligent data acquisition technology based on agents. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (21) pp. 866–873, 2003
- [22] Yamasaki H., Takahashi K. Advanced intelligent sensing system using sensor fusion. In: *Proceedings of the 1992 international conference on industrial electronics, control, instrumentation, and automation, 'Power electronics and motion control'*, pp. 1–8, 9–13th of November 1992
- [23] Wang K., Tong S., Eynard B., Roucoules L., Matta N. Review on application of data mining in product design and manufacturing. In: *The fourth international conference on fuzzy system and knowledge discovery, FSKD 2007*, vol. 4. pp 613–618, 24–27th of August 2007
- [24] Massotte P. Self-organization: a new approach to improve the reactivity of the production systems 1995. In: *Proceedings of the 1995 INRIA/IEEE symposium on emerging technologies and factory automation, ETFA '95*, vol 1. pp 23–32, 10–13th of October 1995
- [25] Rozenblit J. W., Jacak W. Towards design and control of high autonomy manufacturing systems. 'Integrating perception, planning and action'. In: *Proceedings of the third annual conference of AI, simulation, and planning in high autonomy systems*, pp. 38–45, 8–10th of July 1992
- [26] Mingcheng E., Jianyong L., Jianzhong C., Yuefa F. Research on self-organizing unit of intelligent manufacturing system. *J North Jiaotong Univ* (24) pp. 47–51, 2000
- [27] Oleskow J., Fertsch M., Golinska P. Agent-based technology as a tool for the integration of manufacturing systems. *World Automation Congress (WAC)*, Budapest, Hungary, 24–26th of July 2006
- [28] Fumin Z., Zhisen W., Gao E., Yong Z. Application study of agent technology for intelligent manufacturing. *Chin J Mech Eng* (38) pp. 140–144, 2002
- [29] Zhou Z. D., Wang H. H., Chen Y. P. A multi-agent based agile scheduling model for a virtual manufacturing environment. *Int J Adv Manuf Technol* (21) pp. 980–984, 2003
- [30] Valckenaers P. Holonic manufacturing system. *Integr Comput-Aided Eng* (4) pp. 191–201, 1997



- [31] Van Brussel H. Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA. Comput in Ind (37) pp. 255–274, 1998
- [32] CAN Application Layer for Industrial Applications, CMS Protocol Specification, CAN in Automation (CiA) International Users and Manufacturers Group e.V., Bessy [http://www-csr.bessy.de/control/Hard/fieldbus/CAN/CiA/Bessy/DS202\\_2.pdf](http://www-csr.bessy.de/control/Hard/fieldbus/CAN/CiA/Bessy/DS202_2.pdf)
- [33] M. Farsi, M. Barbosa, CANopen Implementation: Applications to Industrial Network, Baldock, 2000
- [34] Vector, Introduction To The CANopen Protocol Version 1.1, [https://vector.com/portal/medien/cmc/application\\_notes/AN-ION-1-1100\\_Introduction\\_to\\_the\\_CANopen\\_Protocol.pdf](https://vector.com/portal/medien/cmc/application_notes/AN-ION-1-1100_Introduction_to_the_CANopen_Protocol.pdf)
- [35] H. Boterenbrood, CANopen high-level protocol for CAN-bus, NIKHEF, 2000 <https://www.nikhef.nl/pub/departments/ct/po/doc/CANopen30.pdf>
- [36] Jean-Pierre Thomesse, Fieldbus Technology in Industrial Automation, <https://www.dca.ufrn.br/~affonso/PET0351/papers/fieldbus.pdf>
- [37] International Society of Automation, Basics of PROFIBUS Operation, <https://www.isa.org/pdfs/basics-of-profibus-operation-chapter1/>
- [38] Bernd Schuessler, Pepperl+Fuchs, Are FOUNDATION fieldbus and PROFIBUS PA the same thing?, 2013
- [39] Hilscher Gesellschaft für Systemautomation GmbH, Protocol interface manual, PROFIBUS-FMS, [http://download.gongkong.com/file/company/18707/fms\\_pie.pdf](http://download.gongkong.com/file/company/18707/fms_pie.pdf)
- [40] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. , PROFIBUS Technical Description, 1999
- [41] Thomas Kugelstadt, The RS-485 Design Guide, Texas Instruments, Application Report, 2008, 2016, <http://www.ti.com/lit/an/slla272c/slla272c.pdf>
- [42] Fieldbus Foundation, Technical Overview, 2003, FD-043 Revision 3.0, [http://www.fieldbus.org/images/stories/technology/developmentresources/development\\_resources/documents/techoverview.pdf](http://www.fieldbus.org/images/stories/technology/developmentresources/development_resources/documents/techoverview.pdf)
- [43] Acromag Incorporated, Introduction To Profibus DP, BusWorks™ 900PB Series ProfiBus / RS485 Network I/O Modules Technical Reference, 2002
- [44] Grant Weyman, Addressing, PROFIBUS COMPETENCY CENTRE, Australia Technical Series, 2009, Document Ref.: 09/004
- [45] Siemens, Profibus with STEP 7 V12 Function Manual, 2013
- [46] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., PROFIBUS & PROFINET International Support Center, ProfiNET System Description, 2009
- [47] Jie Cao, Profinet, Industrial Ethernet for advanced manufacturing
- [48] Siemens, Profinet Answer for Industry, 2010



- [49] Andy Verwer, Introduction to PROFIBUS and PROFINET, Instrumentation & Offshore, 2012
- [50] IO-Link Consortium, IO-Link Communication Specification Version 1.0 January 2009
- [51] IO-Link Consortium, IO-Link Interface and System Specification Version 1.1 November 2010
- [52] PROFIBUS Nutzerorganization e.V., IO-Link System Description Technology and Application, 2013.
- [53] IO-Link Interface and System Specification, <http://www.iolink.com> (2015. április 27-i állapot)
- [54] Kántor Zoltán: Trendek az ipari érzékelők fejlődésében (Tanulmány)
- [55] Dolezsai Balázs; "IO-Link kapcsolatú optikai tárgytávolság érzékelő fejlesztése". Mechatronikai mesterszakos diploma, (Konzulensek: Fodor Dénes, Kántor Zoltán) Mester diploma, 2014.
- [56] Fehér Ádám; "Az Android operációs rendszer alkalmazási lehetőségei az ipari automatizálásban". Mechatronikai mesterszakos diploma, (Konzulensek: Fodor Dénes, Kása Zoltán), MSC dolgozat, 2015.