



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

*A digitális átláthatóság intralogisztikai
keretrendszerének felépítése és
vizsgálata*

TDK-dolgozat

Szerző:

Kálózi Anna

Témavezetők:

**Dr. Bóna Krisztián
Molnár-Major Petra**

Budapest, 2024

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
Bevezetés	3
1. A digitalizáció lépései.....	4
1.1. Fizikai rendszerek digitális leképezése.....	4
1.2. A digitalizációs intelligencia szintek	5
1.3. A digitális átláthatóság	6
1.3.1. Entitások identifikációja intralogisztikai rendszerekben	6
1.3.2. Entitások feltérképezése értékteremtő folyamatokban.....	7
1.3.3. Az entitások közötti kapcsolatok, entitáscsoportok	11
1.3.4. A digitális átláthatóság számszerűsítése	13
2. A digitális átláthatóság mérése	16
2.1. A munkafolyamatok ismertetése	16
2.2. Az előforduló entitások feltérképezése.....	21
2.2.1. Anyagok	21
2.2.2. Lokációk.....	22
2.2.3. Feladatok	23
2.2.4. Erőforrások.....	23
3. A digitális átláthatóság mérésének megvalósítása	24
3.1. A mérések előkészítése.....	24
3.2. Az átláthatósági indikátorok meghatározása	26
3.2.1. 1. eset.....	26
3.2.2. 2. eset.....	28
3.2.3. 3. eset.....	30
3.2.4. 4. eset.....	31
3.2.5. 5. eset.....	32

3.2.6.	6. eset.....	34
4.	A tevékenységek jellegének megoszlása	36
4.1.1.	1. eset.....	37
4.1.2.	2. eset.....	38
4.1.3.	3. eset.....	39
4.1.4.	4. eset.....	39
4.1.5.	5. eset.....	40
5.	A tesztrendszerben rejlő fejlesztési lehetőségek.....	41
	Összegzés.....	42
	Ábrajegyzék.....	43
	Táblázatjegyzék.....	45
	Irodalomjegyzék	46
	Mellékletek	48
5.1.	melléklet: Az első három eset átláthatósági indikátorai	74
5.2.	melléklet: A második három eset átláthatósági indikátorai.....	75
6.	melléklet: Időértékek	76

Bevezetés

A negyedik ipari forradalommal az elmúlt évtizedek digitális technológiájának átfogó integrációja és ezek új szintre emelése valósult meg. Az Ipar 4.0 innovációinak térnyerésével egyre nélkülözhetetlenebbé vált a magasfokú digitalizációs szint elérése a vállalatok számára, hiszen a mai dinamikus üzleti környezetben ez nagyban hozzájárul versenyképességük fokozásához [1]. Ebben a digitális átalakulásban a Big Data, az IoT (Internet of Things) és a rendszerek, folyamatok digitális ábrázolása (Digital Twin) fontos szerepkört töltenek be. [2]

A Big Data, vagyis nagy mennyiségű adat elemzése lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy betekintést nyerjenek a piaci trendekbe és a fogyasztói magatartásba. Ezáltal képesek lépést tartani a változó igényekkel és akár előnyt is szerezni a versenytársaikkal szemben. Az IoT alkalmazása révén a vállalatok képesek valós idejű adatokat gyűjteni és elemezni, amely elősegíti a hatékonyság növelését és nagyobb piaci arány elérését. A digitális ikrek segítségével pedig a vállalatok részletes betekintést nyerhetnek folyamataikba és még az azokban bekövetkező események előrejelzésére is lehetőség nyílik. Ezáltal megalapozott döntéseket hozhatnak az innováció és a versenyképesség fokozása érdekében.

Az intralogisztika terén is különösen fontos ezen korszerű technológiák alkalmazása, hiszen segítségükkel optimalizálhatók a logisztikai folyamatok és növelhető azok hatékonysága. A digitális átláthatóság is kulcsszerepet játszik ebben a digitális átalakulásban, mivel lehetővé teszi a rendszeren belüli elemek közötti kapcsolatok és folyamatok jobb megértését.

A kutatásom célja egy, a digitális átláthatóság mérésére alkalmas, tesztrendszer felépítése és azon belüli vizsgálatok elvégzése. A cél egy olyan tesztrendszer létrehozása, amely segítségével tetszőleges komplexitású intralogisztikai folyamat, vagy rendszer esetében meghatározható a digitális átláthatóság.

A keretrendszer eredményességének igazolására egy egyszerű munkahely vizsgálati eredményeit használok fel: a munkahelyen tipikusan előforduló entitásokat (anyagokat, erőforrásokat, feladatokat, lokációkat) halmazelméleti és gráfelméleti szempontból vizsgálom. Ezzel megfogalmazható, hogy az egyes entitások azonosíthatósága vagy annak hiánya hogyan befolyásolja a munkahely digitális átláthatósági fokát és ezen azonosítási anomáliák milyen következményekkel járnak. A kapott eredményeket egy konkrét összeszerelési folyamat megtervezésével és szimulációval történő mérésekkel kívánom igazolni, egy digitális munkahelyen.

1. A digitalizáció lépései

Ebben a fejezetben a fizikai rendszerek digitális leképezésére használt technológiai megoldások között teszek különbséget, illetve megvizsgálom, hogy a szakirodalomban milyen definícióbeli eltérések lelhetők fel. Ezt követően a digitális átláthatóság definícióját ismertetem, majd a hozzá kapcsolódó fogalmakat veszem sorra.

1.1. Fizikai rendszerek digitális leképezése

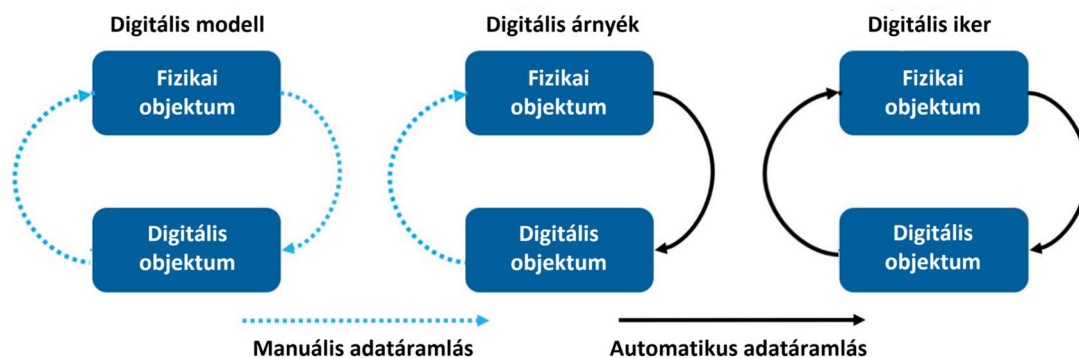
A digitális modell, digitális árnyék és digitális iker kifejezéseket gyakran szinonimaként használják a szakirodalomban, amikor a fizikai rendszerek digitális leképezésére szolgáló megoldásokat definiálják. A három fogalom azonban a fizikai és a digitális megfelelő adatintegrációs szintjében különbözik [3].

A digitális modell az értékteremtő rendszer szerkezetének és entitásainak statikus ábrázolásaként határozható meg [4]. Már létező, vagy tervezett fizikai objektum digitális verziója, reprezentációja, amely esetén a fizikai és a digitális modell között minden adatcsere manuális úton történik, nem automatikusan. Vagyis a modell létrehozása után a fizikai objektumon végbemenő változás közvetlenül nincs hatással a digitális változatra és fordítva [5].

A digitális árnyék a rendszer valós idejű állapotának dinamikus megjelenítése, amely rögzíti a rendszeren belüli entítások aktuális állapotát és viselkedését [4]. Ennél a leképezésnél egyirányú adatáramlás van a fizikai és a digitális objektum között, a fizikai objektum változásai tükröződnek a digitális objektumban [3].

A digitális iker egy folyamat vagy rendszer valós idejű, vizuális megjelenítése, amely túlmutat a szimulációs modelleken, lehetővé téve a kritikus esetek kivizsgálását, a szűk keresztmetszetek elemzését és a jövőbeli események előrejelzését [4]. Kétirányú adatáramlást valósít meg a fizikai objektum és annak digitális reprezentációja között: a fizikai objektumban történt változás automatikusan változáshoz vezet a digitális másban is és fordítva [3].

A három fogalom között a legfontosabb különbség a reprezentáció és a fizikai rendszerrel való integráció szintjében rejlik. A digitális modell statikus szerkezeti nézetet, a digitális árnyék dinamikus valós idejű perspektívát, a digitális iker pedig valós idejű adatokon alapuló elemzési, optimalizálási és előrejelzési feladatokat tesz lehetővé és összekapcsoltabb a fizikai rendszerrel, mint egy digitális árnyék vagy modell [3] [6] [7]. A három megoldás adatáramlása közötti különbségeket az 1. ábra foglalja össze:



1. ábra: Digitális modell, árnyék és iker [3]

1.2. A digitalizációs intelligencia szintek

Az értékteremtő rendszerek digitális ikermodelljének megalkotása során a digitalizációs intelligencia szintek szoros kapcsolatban állnak egymással, egyfajta hierarchikus struktúrában képzelhetők el, mely struktúrának három szintje van [4]. A magasabb intelligencia szint nem érhető el a nála alacsonyabb szint megvalósulása nélkül (például a második szint csak akkor érhető el, ha már az első szint teljesült).

Az első szint az átláthatóság elérése, melynek követelménye, hogy minden érintett entitás és azok aktuális tulajdonságai egyértelműen azonosítottak legyenek digitális értelemben: ezekből egy statikus adathalmaz konstruálható. Az entitások olyan fizikai vagy nem fizikai objektumokként definiálhatók, amelyek meghatározó szerepet játszanak és/vagy részt vesznek az értékteremtésben [4].

A második szint a követhetőség, mely során a cél valós idejű működési információk kinyerése a mozgó objektumok (ember és gép), az anyagfelhasználás, illetve a készletek valós idejű követése által. Vagyis a már azonosított entitások állapotváltozásait és azok különböző mozgásait fizikai értelemben nyomon kell követni, amelyhez szükséges az értékteremtő rendszer topológiájának hálózatos értelmezése. Ily módon dinamikus adatok generálhatók a digitális rendszerben, amelyek az értékteremtő folyamatok elemzéséhez, mutatószámok meghatározásához használhatók fel [8].

Az utolsó szint pedig az irányíthatóság, amely a valós idejű adatok felhasználása által kétirányú, dinamikus beavatkozás teljesülését jelenti. A cél a rendszer alkalmazkodóképességének növelése. Az így létrejött digitális ikermodell előrejelzésre és valós idejű optimalizálásra is használható, támogatva így a döntéshozatalt operatív és taktikai irányítási szinten is. A kétirányú beavatkozási képességre azért van szükség, hogy a valós

folyamatokban történő változások a digitális ikermodellben is tükröződjenek, illetve fordítva: az ikermodellben lejátszódott változások a valós folyamatokban is bekövetkezzenek [4].

1.3. A digitális átláthatóság [4]

Olyan értékteremtő rendszerek esetén, amelyekben komplex fizikai anyag-, vagy információáramlás valósul meg, a digitális ikermodell megalkotása során kizárólag a vállalatirányítási rendszerből (ERP – Enterprise Resource Planning System) nyert adatok nem elegendők. Az értékteremtés helyén (shopfloor) jelen lévő objektumokról is információt kell gyűjteni.

Az átláthatóság vizsgálata a digitális ikermodellek stabil alapját adhatja, hiszen segítségével az értékteremtő rendszer valós szerkezete hatékonyan feltérképezhető: megadja, mely entitásokat szükséges megjeleníteni a digitális rendszerben, hogy elkerülhető legyen a túlmodellezés, vagyis a feleslegesen sok adat gyűjtése és feldolgozása. Tehát a digitális átláthatóság megteremtése nemcsak a már említett digitális átalakulás folyamatának egy fontos lépése, hanem komplex értékteremtő rendszerek digitális ikermodelljének megalkotásának egyik első lépése is.

Egy logisztikai rendszer digitálisan átlátható, ha a következők teljesülnek: a rendszeren belüli összes egymással kapcsolatban álló entitás azonosítva van az információs vagy digitális rendszerben, minden szükséges kiegészítő adattal együtt, amelyek leírják az azonosított entitások attribútumait.

1.3.1. Entitások identifikációja intralogisztikai rendszerekben [4]

A digitális átláthatóság megvalósulásához természetesen szükséges, hogy a vizsgált értékteremtési folyamat kapcsán releváns entitások egyedi azonosítóval rendelkezzenek, a vállalat rendelkezzen megfelelő technológiával, eszközökkel az entitások azonosítására, és az entitások tulajdonságait leíró adatsorok pedig pontosan meghatározásra kerüljenek [9]. A digitális értelemben történő identifikáció többféleképp történhet, direkt (közvetlen) vagy indirekt (közvetett) módon. Közvetlen azonosítás során az entitás egyedi azonosítása egy hozzá rendelt mesterséges azonosítóval történik, amely többek között lehet egy számsor, vonalkód, QR kód, vagy RFID azonosító. A közvetett azonosítás esetén egy entitás több, különböző tulajdonságának (például ujjlenyomatnak) azonosítása alapján lehet következtetni arra, hogy mi az azonosított entitás.

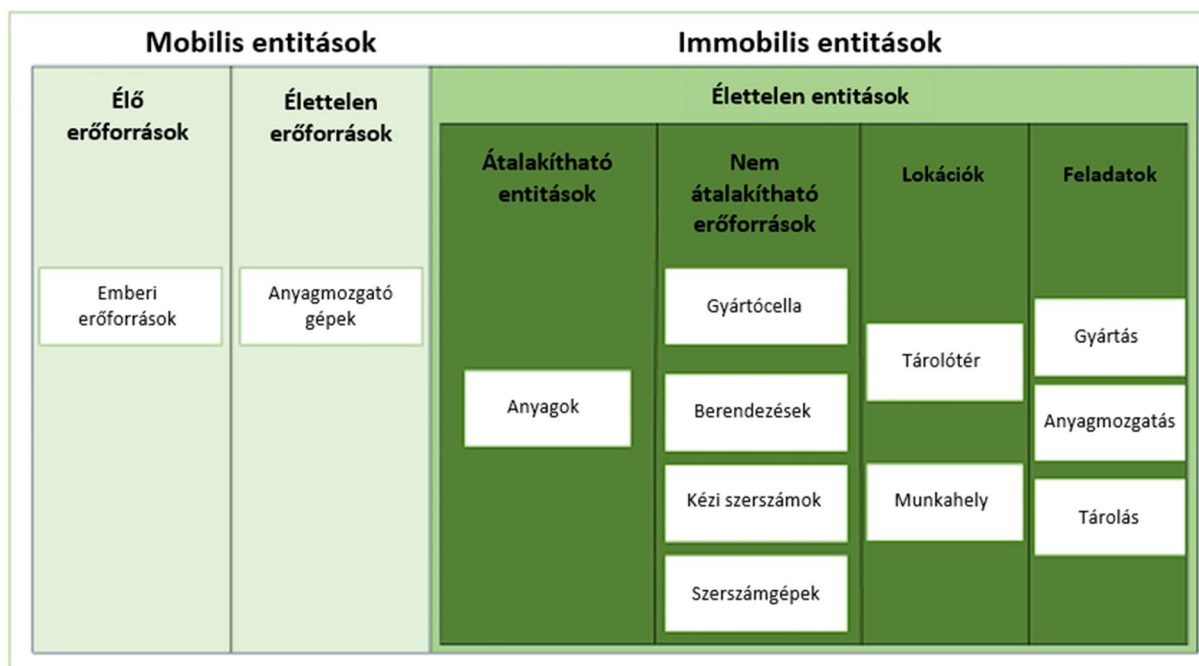
Az optikai érzékelők, például vonalkódos rendszerek, képfeldolgozó algoritmusok, számítógépes látórendszerek, direkt és indirekt azonosításra egyaránt használhatók.

A rádiófrekvencián alapuló azonosítási technológiák lényege, hogy a vizsgált entitáshoz egy transzmitter van csatlakoztatva, amely az entitás lényegében identitását, tulajdonságait tárolja, így használható közvetett azonosításra. Ez a kategória magában foglalja az RFID (Radio Frequency Identification - rádiófrekvenciás azonosítás) és NFC (Near Field Communication – rövid hatótávú kommunikáció) megoldásokat.

Biometrikus azonosítási módszerekkel az emberek azonosítására van lehetőség. Ebbe a csoportba tartozik az ujjlenyomat-azonosító, az arcfelismerés, az íriszfelismerés, a hangfelismerés vagy akár digitális aláírással történő azonosítás. Ezek azonosítása optikai, DNS- vagy akár illat-alapú érzékelőkkel is lehetséges.

1.3.2. Entitások feltérképezése értékteremtő folyamatokban

Az értékteremtő folyamatokban tipikusan előforduló entitások csoportosítását az alábbi, 2. ábra szemlélteti, a következőkben ezeket veszem sorra:



2. ábra: Tipikusan előforduló entitások egy értékteremtő folyamatban [4]

A tipikusan előforduló entitások különböző típusokba sorolhatók, és az intralogisztikai rendszeren belüli alapvető információkezelési funkciójuk szerint osztályozhatók. [4] Az entitások emellett több szinten azonosíthatók, felállítható egyfajta hierarchia, amely az

azonosítottsági mélység alapja. Másképpen: ha minél több szinten azonosított egy adott típusú entitás, annál nagyobb mértékű az arra vonatkozó azonosítottság az értékteremtő rendszerben.

A fenti megközelítés összhangban van a halmazelmélet alapelveivel, mivel az entitások csoportosíthatók és rendszerezhetők közös tulajdonságok alapján

Az első tekintett entitástípus a lokáció (jele: L – location). A legfelső szinten a teljes üzem áll, ez térben különböző részekre osztható. Az üzemrészeken belül különböző blokkok helyezhetők el (pl. tárolótér). Egy blokk több objektumhoz is kapcsolódhat, amelyek a blokk területén belül helyezkednek el (pl. egy állványsor). Végül az elemi hely a pozíció, ami lehet például egy rekesz egy tároló állványon belül. [4]

A második entitástípus az anyag (jele: M – material). Ha egy gyártó vállalatot vizsgálunk, mint értékteremtő rendszer, az előforduló anyagok különböző készültségi szinteken vannak jelen az értékteremtés folyamatában. A gyártási folyamat előrehaladtával négy szint különböztethető meg, amelyek az anyagtételjegyzékben (Bill Of Materials - BOM) szerepelnek, az egyes végtermékekre vonatkozóan [10]. A négy készültségi fok: alkatrészek, részegységek, fődarabok és végtermékek.

Az alkatrészek, részegységek, fődarabok és végtermékek azonosítása több módon is történhet. Egyetlen tételazonosítóval cikk szinten azonosíthatók a megegyező tulajdonságú termékek csoportjai. Ez lehetővé teszi, hogy felismerhető legyen maga a termék, illetve minden azzal megegyező tulajdonságú termék ugyanazzal a tételazonosítóval. Emellett az azonosítás egyedileg is történhet, ilyenkor az azonos cikknéven futó termékek külön azonosítóval rendelkeznek. Bizonyos esetekben szükségtelen az anyagok egyedi szinten történő azonosítása, előfordulhatnak azonban olyan esetek, amikor minőségbiztosítási okokból szükség van arra, hogy pontosan azonosítani lehessen például a késztermékek minden egyes darabját (többek között bizonyos gyógyszeripari és elektronikai termékek esetében).

Az anyag entitástípus adott szinten történő digitális azonosításához kiindulás a BOM-lista (Bill Of Material - anyagszükségleti tételjegyzék). A tételjegyzék tartalmaz minden olyan egységet, amelyre az értékteremtés során felhasználásra kerül: például egy alapanyag valamilyen termék gyártása során. A BOM-nak több megjelenési formája lehet, strukturált formája a termék készültségi foka alapján (alkatrész, részegység, fődarab, végtermék) ábrázolja a kapcsolatokat, az egymásba épülés irányát és mennyiségét. Gráfos formája lehet a közvetlen igény gráf, amely minden beépülési ponton egyértelműen ábrázolja az ott szükséges egységeket és azok darabszámát. A közvetlen igény gráfból előállítható a közvetlen igény mátrix, vagy a

menyiségi mátrix. A Gozinto-gráf hasonló, viszont a különböző készütségi szinteket hierarchikusan ábrázolja és minden szinten minden egység csak egyszer kerül feltüntetésre. Ez a hierarchia megfeleltethető az azonosítási mélység szintjeivel, az egyes hierarchia szinteken beépülő mennyiségek pedig az adott azonosítási szinten előforduló anyag típusú entitások számosságával tehető egyenlővé. Az anyag típusú entitások feltérképezése így szabványos keretek között történhet. [11]

A harmadik entitástípus az erőforrás (jele: $\mathbb{R}$ - resource). Az erőforrásoknál nem állapítható meg ahhoz hasonló hierarchikus felosztás, mint amely az előbbi entitástípusoknál egyértelműen meghatározható volt. Ennél a típusnál minden entitás azonos hierarchia szintre tehető, vagyis ennek megfelelően inkább egy horizontális felosztás, csoportosítás értelmezhető közöttük. Tehát azonosítás szempontjából egy erőforrás vagy azonosított, vagy azonosítatlan és különböző csoportokba sorolható.

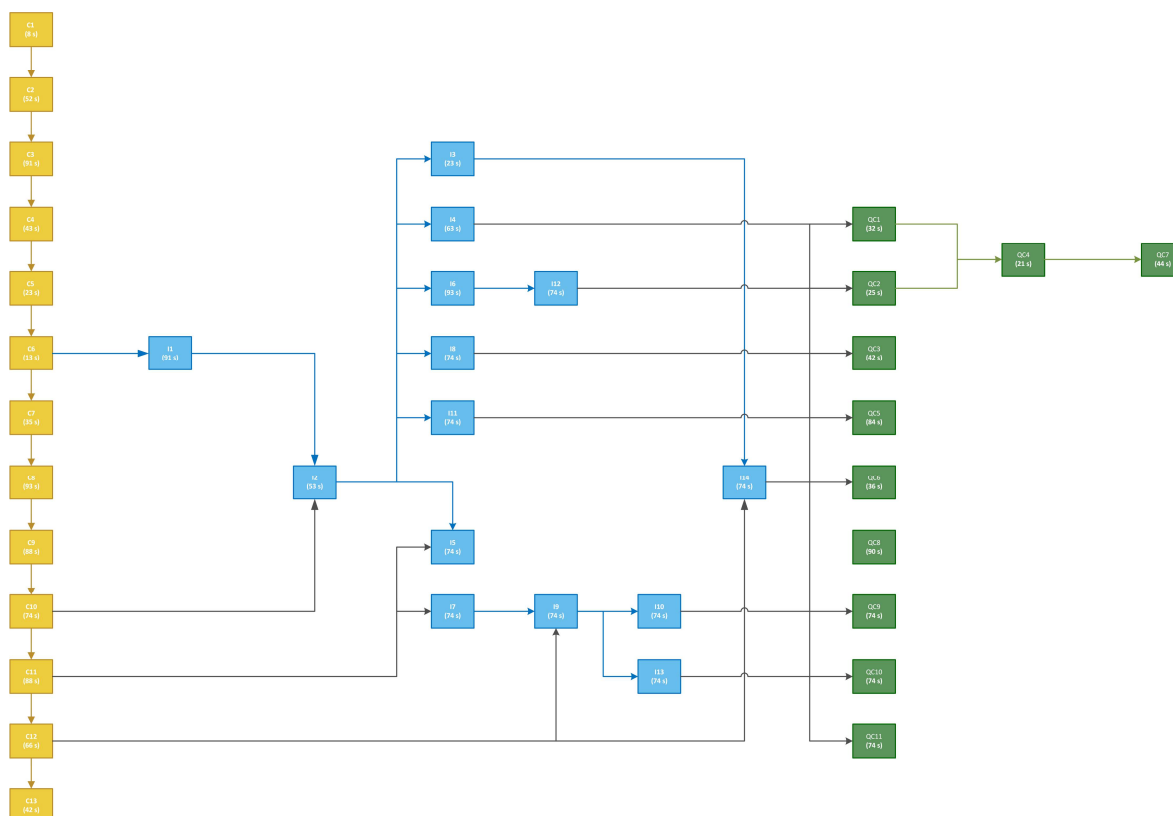
Az erőforrás entitástípuson belül fontos különbséget tenni az élő és nem élő erőforrások között. Az élettelen erőforrások csoportjai lehetnek többek között a kézi szerszámok, szerszámgépek, berendezések és egyéb eszközök, amelyek azonosítóval elláthatók (például kód leolvasó eszközök). [4] Az élő erőforrások alatt a vonatkozó szervezet által foglalkoztatott munkavállalók értendők, a csoportosítás az alkalmazottak által betöltött munkakörök alapján történhet (például raktárkezelők, karbantartók, összeszerelő operátorok).

Az erőforrás entitástípus számosságát a tevékenységekhez kapcsolt folyamatábra határozza meg. Abban az esetben, ha a tevékenységet végző személy megjelenik azon (bővebben a feladat entitástípusnál) - ezáltal adott, hogy hány fő és pontosan melyik munkavállalók végzik a tevékenységeket. A tevékenységek során végzett azonosítási lépések pedig egyértelműen meghatározzák az azonosításra használt eszközt vagy eszközöket.

A negyedik entitástípus a feladatok köre (jele: $\mathbb{T}$ - task). Az intralogisztikában az értékteremtő rendszer alapstruktúrájának és folyamatainak típusától függően sokféle feladat lehetséges. [4] Természetesen minden feladat további részfeladatokra bontható a modellezés szükségletei és mélysége alapján [12].

Az anyagmozgatási feladatok lehetővé teszik az intralogisztikai rendszereken belüli anyagáramlást, áthidalva a térbeli távolságokat és kiszolgálva az egyedi folyamatokat, de kiegészítő funkciókat is elláthat, mint például a begyűjtés, az elosztás vagy a válogatás, amelyeket az értékteremtés során vagy azzal párhuzamosan kell végrehajtani. A gyártási feladatok rendkívül sokrétűek lehetnek, melyeket az adott vállalat által gyártott termékek és az

alkalmazott gyártási technológiák határoznak meg. A gyártási feladatok során a különböző anyagokon valamilyen átalakulás történik. Tárolási feladatokra van szükség az anyagáramlás időzésének áthidalására, illetve a szerszámokat, gépeket is szükséges tárolni. Minden feladat típusú entitás olyan folyamatként értelmezhető, amelyet alkotó mozgásokat műveletek, tevékenységek, részfolyamatok szerint különböző mélységekben tárhatunk fel. [4]



3. ábra: Műveleti sorrendeket leíró gráf (precedencia gráf) (példa) *(forrás: saját szerkesztés)*

A folyamatábrán megjeleníthetők továbbá a következők is:

Az egyes entitások közötti fennálló kapcsolatok a következők:

- 12

azonosítási mód esetén érvényes, utóbbi pedig csak abban az esetben, ha az azonosítás manuálisan történik, vagy az azonosításhoz szükség van emberi beavatkozásra, ezesetben a humán erőforrás és az azonosításra használt élettelen erőforrás között is fennáll kapcsolat.

1.3.4. A digitális átláthatóság számszerűsítése [4]

Egy rendszer vagy folyamat esetében nemcsak azt lehet eldönteni, hogy átlátható-e vagy sem, hanem az is meghatározható, hogy jelenlegi struktúra mennyire átlátható egy adott állapothoz képest.

Egyrészt viszonyítható a jelenlegi digitális átláthatóság mértéke ahhoz az állapothoz, hogyha a rendszer vagy folyamat digitális átláthatósága maximális lenne, vagyis minden hozzá kapcsolódó entitás hiánytalanul, a legmélyebb szinten lenne azonosítva. Ebben az esetben felmerülhetnek a következő kérdések:

- Megéri-e ilyen részletességgel, ilyen mélységben azonosítani az összes előforduló entitást? Tudja-e, illetve képes-e a vállalat felhasználni az így keletkezett hatalmas méretű adathalmazt?
- A vizsgált értékteremtő folyamatok sajátosságai indokolják-e az ilyen mélységű azonosítást? Például egy gyártási folyamat esetén, ha gyártástechnológia fődarab-orientált (vagyis az technológiai lépések nyomonkövetése céljából elegendő lenne csak a fődarabok beépülését azonosítani), nem indokolt mindenképpen alkatrész szinten azonosítani a felhasznált anyagokat, ugyanakkor a készletnyilvántartás, a gyártósori anyagutánpótlás miatt érdemes lenne alkatrész szinten azonosítani.
- Az ilyen mértékű azonosítás addicionális időbeli ráfordítást igényel, érdemes-e ennyi időt fordítani a szükséges, de nem értékteremtő tevékenységekre? Hogyan alakul az azonosítással kapcsolatos tevékenységekkel töltött idő és az értékteremtési idő?

Másrészt a vizsgált folyamat vagy rendszer sajátosságait figyelembe véve megadható egy ideális mélysége az azonosítottnak. A vállalatok dönthetnek arról, hogy mi az elvárásuk a digitális átláthatóságot tekintve. A rendszerek, folyamatok melyik szegmenseit és milyen részletességgel érdemes látni digitálisan is megjelenítve, másképpen mi legyen azonosított és visszakereshető digitális értelemben is, mi az a szükséges minimális azonosítási szint, ami hozzájárul a gördülékeny anyag-, és információáramlás megvalósulásához.

Az ideális állapot meghatározására vonatkozó döntések például alapulhatnak egy gyártástechnológus véleményén: segítségével egy gyártási folyamat esetén kijelölhetőek azon technológiai lépések, felhasznált anyagok vagy alkatrészek, illetve alkalmazott eszközök, gépek, amelyek azonosítása elengedhetetlen a gyártás előrehaladásának nyomonkövetése céljából. Ezen esetben az egyes munkafolyamatoknál indokolt és megvalósítható legmélyebb szintű azonosításhoz viszonyítható a ténylegesen megvalósult azonosítottsága a különböző entitástípusoknak (az elméleti maximális azonosítottsággal történő összehasonlítás helyett).

Az összehasonlítás alapjául szolgáló állapot kijelölése (az azonosítási mélység és az azonosítani tervezett entitások számosságának meghatározása) után a digitális átláthatóság egyszerű módszerekkel számszerűsíthető.

Az első módszer a megfigyelés során azonosított entitások számának a megfigyelés során megjelenő entitások teljes számához viszonyított arányának meghatározása. Ez egy százalékos értéket eredményez, amely a digitális átláthatósági indikátorként definiálható (DTI – Digital Transparency Indicator).

A számítás elvégezhető különböző szinteken egy entitástípuson belül. A digitális átláthatósági indikátor adott entitástípus adott szintjéhez (z) az adott szinten egy entitástípushoz tartozó azonosított entitások (például a lokációk esetén $N_{Lz}^{(1)}$) és az entitástípushoz tartozó összes entitás (a lokációk esetén N_{Lz}) hányadosa, ahogy a következő összefüggések mutatják:

$$(1) \quad DTI(L_z) = \frac{N_{Lz}^{(1)}}{N_{Lz}}, \text{ ahol } z = 1, 2 \dots a$$

$$(2) \quad DTI(M_z) = \frac{N_{Mz}^{(1)}}{N_{Mz}}, \text{ ahol } z = 1, 2 \dots b$$

$$(3) \quad DTI(T_z) = \frac{N_{Tz}^{(1)}}{N_{Tz}}, \text{ ahol } z = 1, 2 \dots c$$

$$(4) \quad DTI(R_z) = \frac{N_{Rz}^{(1)}}{N_{Rz}}, \text{ ahol } z = 1$$

Egy adott z szinten az entitástípushoz tartozó összes entitás a z szinten azonosított, illetve azonosítatlan entitások összege, például a lokációkra:

$$(5) \quad N_{Lz} = N_{Lz}^{(1)} + N_{Lz}^{(0)}$$

A digitális átláthatósági indikátor alapján egy entitástípushoz kiszámolható az adott entitástípusra vonatkozó átlagos átláthatósági indikátor (ADTI – Average Digital Transparency Indicator) is:

$$(6) \quad \text{ADTI}(\mathbb{L}) = \frac{\sum_{z=1}^a \text{DTI}(\mathbb{L}_z)}{a}$$

A számítás ezen felül elvégezhető teljes entitástípusokra is, szintektől függetlenül. A globális digitális átláthatósági indikátor (GDTI – Global Digital Transparency Indicator) kiszámításához meg kell határozni a vonatkozó entitástípus azonosított szintjeinek számát (z), valamint az azonosított entitások és azonosítatlan entitások számát az egyes szinteken. Az azonosított (például $N_L^{(1)}$) és azonosítatlan entitások ($N_L^{(0)}$) szintenkénti összegzésével adódik a nevező, amely az entitástípuson belüli összes, az elemzésben megjelenő entitást tartalmazza. A lokációk esetében a következő összefüggések érvényesek:

$$(7) \quad N_L = \sum_{z=1}^a N_{L_z} = N_L^{(1)} + N_L^{(0)}$$

$$(8) \quad \text{GDTI}(\mathbb{L}) = \frac{N_L^{(1)}}{N_L}$$

A teljes értékteremtő rendszert valóban jellemző digitális átláthatósági szint ($\text{GDTI}(\mathbb{Y})$) meghatározásához mind a négy entitástípusra vonatkozó digitális átláthatósági szintjét figyelembe kell venni. A mutatószám a különböző entitástípusokhoz társított átláthatósági indikátorok súlyozott összegzésével a (9) összefüggés alapján számítható ki. Az alkalmazott w súlyszámokkal jellemezhető, hogy az egyes entitástípusok azonosítása az értékteremtő rendszerben egymáshoz viszonyítva mekkora fontossággal bír.

$$(9) \quad \text{DTI}(\mathbb{Y}) = w_L \cdot \text{GDTI}(\mathbb{L}) + w_M \cdot \text{GDTI}(\mathbb{M}) + w_T \cdot \text{GDTI}(\mathbb{T}) + w_R \cdot \text{GDTI}(\mathbb{R}),$$

$$\text{ahol } \mathbb{Y} = \mathbb{L} \cup \mathbb{M} \cup \mathbb{T} \cup \mathbb{R} \text{ és } \{w_L; w_M; w_T; w_R\} = \frac{1}{4}$$

Azonos súlyszámok alkalmazása esetén a négy entitástípus azonosítása egyformán fontos az adott értékteremtő rendszerben, különböző súlyszámok alkalmazása esetén pedig valamely entitás, vagy entitások azonosítása fontosabb, mint a többié.

2. A digitális átláthatóság mérése

Az előzőek alapján az intralogisztikai folyamatokban vagy rendszerekben előforduló entitások egységes módon feltérképezhetők, számosságuk meghatározható, a digitális átláthatóság pedig több módon számszerűsíthető.

A digitális átláthatóság lehetséges mérési folyamatát egy egyszerű példán keresztül mutatom be: egy tipikus munkahelyen, egy fiktív összeszerelő üzem egy munkaállomásán, végrehajtott összeszerelések során előforduló entitástípusokat vizsgálom.

2.1. A munkafolyamatok ismertetése

A példa során üzemként a tanszéki labor szolgált, itt került kijelölésre egy terület, mint üzembrész, ahová a munkaállomás került.

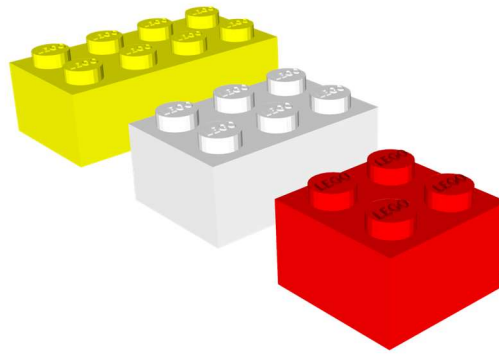
A munkaállomás hat jól elkülöníthető részből áll: egy összeszerelésre alkalmas területből (az asztallapból) és öt darab görgőspolcból, amelyek tárhelyekként funkcionálnak (6. ábra). A munkafolyamatok során az öt görgőspolcból négyet használnak. Ezen felül egy másik, egyetlen görgőspolcból álló tárhelyet is használnak, amely a munkaállomás mellett közvetlenül, jobbra található.



6. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (*forrás: saját szerkesztés (SketchUp)*)

A munkaállomás asztallapja 96 cm magasban van, a fenti görgőspolcok az asztallap felett 43 cm-rel helyezkednek el, a göngyöleges polc pedig 66 cm távolságra van a talajtól.

A felhasznált alkatrészek piros, sárga, illetve fehér LEGO építőkockák (7. ábra), melyek az asztal feletti görgős polcokon található ládákban helyezkednek el, rendre piros, sárga és zöld ládákban. A bal szélső csatornában a piros elemeket tartalmazó láda, középen a sárga elemeket tartalmazó, a jobb szélsőben pedig a fehér elemeket tartalmazó láda található (ezek a fenti rajzon nem kerültek megjelenítésre).



7. ábra: A felhasznált alkatrészek (forrás: saját szerkesztés (SketchUp))

Az alkatrészekkel kapcsolatban a következő feltételezéssel élünk: az áruátvételnél történő minőség-ellenőrzés nem mindendarabos vizsgálat, de az anyagutánpótlás folyamata előtt minden beépülő alak és szín ellenőrzésére sor kerül (például képfeldolgozó rendszerek segítségével). Ezzel kiküszöbölve, hogy selejtes elem kerüljön a beépülő elemeket tartalmazó ládába, amely az összeszerelő munkaállomásra érkezik. Így nem fordulhatnak elő selejtes építőelemek a munkaállomáson és így nem készülhetnek ezekből selejtes késztermékek (illetve az alkatrészek az összeszerelések során nem sérülnek).

Az alsó görgőspolc a göngyölegek számára kijelölt hely, az alapanyag-tároló ládák üresedése esetén azokat ide kell áttárolni. A munkaállomás mellett álló görgőspolcon egy késztermék-tároló láda helyezkedik el, a késztermékeket ide kell betárolni az összeszerelések végén.

A munkahelyen egy operátor dolgozik, az itt végzett feladatai kizárólag az összeszerelésekhez kapcsolódnak:

- az aktuális összeszerelési feladathoz szükséges alapanyagok kigyűjtése az alapanyag-tároló ládákból;
- az alapanyag-tároló ládák üresedése esetén azok áttárolása a göngyöleg tároló csatornába;
- az összeszerelési lépések végrehajtása;

- a késztermékek betárolása a késztermék-tároló ládába.

Az összeszerelő operátor a munkavégzése során egy leolvasó eszközt is használ, amely QR-kód olvasására alkalmas.

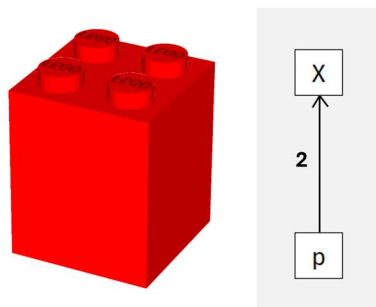
A munkahely alapanyag-ellátását egy másik, anyagmozgató, operátor biztosítja, feladatai a következők:

- az alapanyagok betárolása a megfelelő csatornákba;
- a göngyöleg tároló csatornából az üres ládák begyűjtése, majd azok elmozgatása a munkahelyről;
- a késztermék-tároló ládák megtelése esetén azok elmozgatása a munkahelyről és üres láda helyezése a késztermék-tároló görgőspolcra.

A munkahelyen három különböző, komplexitásában változó - X, Y, illetve Z elnevezésű - késztermék összeszerelése történhet. A termékek összeszerelése a hozzájuk tartozó munkautasítások alapján valósul meg (1. melléklet). Az operátor az összeszerelési munkafolyamat megkezdése előtt a leolvasó eszközzel beolvas egy QR-kódot, amely azonosítja, melyik munkautasítást kell éppen követni, melyik terméket szükséges elkészítenie. A munkautasításon található tevékenységek elvégzése után minden alkalommal beolvassa a megfelelő QR-kódot, illetve az összeszerelések végét is egy QR-kód leolvasásával zárja le.

Az összeszerelések technológiai lépéseit tartalmazó EPC folyamatábrákat a 2. melléklet tartalmazza. A folyamatábrákon az értékteremtő tevékenységeket zölddel, a szükséges, de nem értékteremtő tevékenységeket pedig narancssárával jelöltem.

Az első készterméket (továbbiakban: X terméket) rendkívül egyszerű elkészíteni, két egymásra helyezett piros LEGO elemből áll, a hozzá tartozó közvetlen igény gráfból is látható (8. ábra). Magassága 17,4 mm, szélessége pedig 15,8 mm.



8. ábra: X késztermék és a hozzá tartozó közvetlen igény gráf
(forrás: saját szerkesztés (SketchUp, MS Powerpoint))

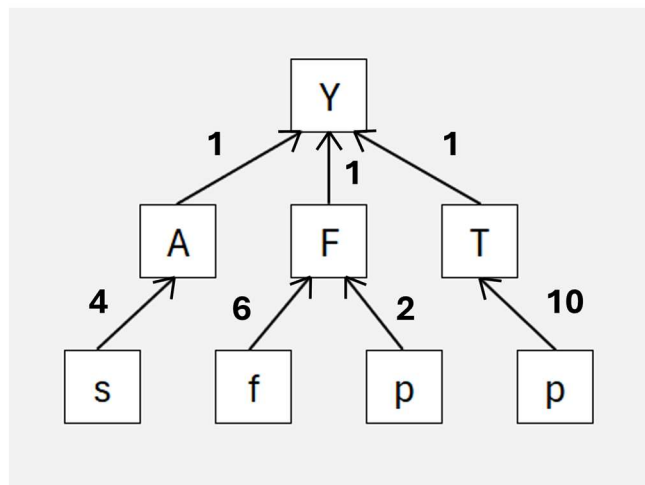
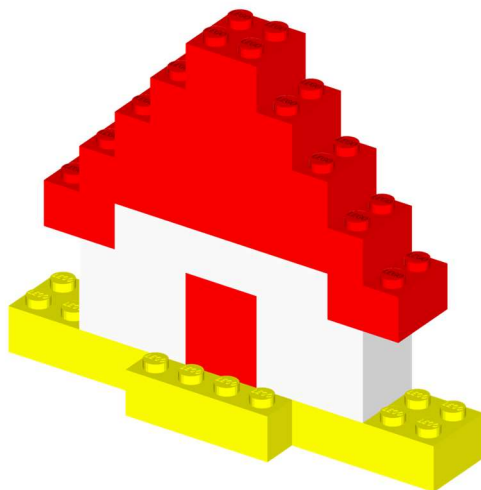
A termék közvetlen igény mátrixa alább látható (1. táblázat). A piros alkatrész p-vel jelölve.

1. táblázat: Közvetlen igény mátrix (X termék) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X	p
X	-	2
p	0	-

Az összeszerelés előtt az anyagmozgató operátor csak a piros alapanyagokat tartalmazó piros ládát tárolja be a bal szélső görgőspolcra, a másik két görgőspolcra nem kerülnek ládák, mivel azok tartalmára nincsen szüksége az összeszerelő operátornak.

A második termék (a továbbiakban: Y termék), amely a munkaállomáson készülhet egy ház modellje, 950 mm széles és 780 mm magas (9. ábra). A termék három részegységből áll: alap (A), fal (F) és tető (T), amelyekhez piros (p), sárga (s), illetve fehér (f) alkatrészek is felhasználásra kerülnek.



9. ábra: Y késztermék és a hozzá tartozó közvetlen igény gráf
(forrás: saját szerkesztés (SketchUp, MS Powerpoint))

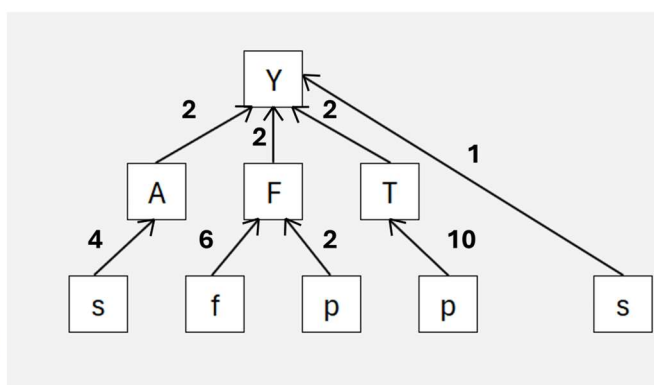
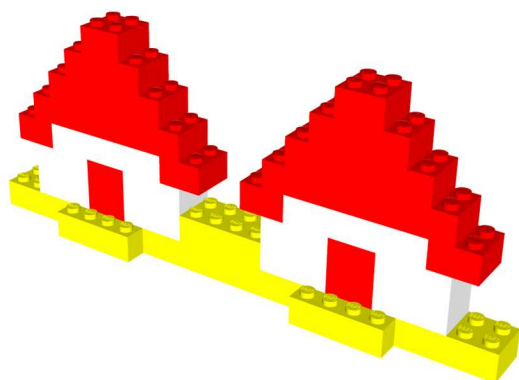
A modell 24 darab elem felhasználásával készül. A termék összeszerelésének megkezdése előtt az anyagmozgató operátor mindhárom görgőspolcra készít elő alkatrészeket tartalmazó ládákat.

Az Y termék közvetlen igény mátrixa az alább látható (2. táblázat):

2. táblázat: Közvetlen igény mátrix (Y termék) (forrás: saját szerkesztés)

	Y	A	F	T	f	p	s
Y	-	1	1	1	0	0	0
A	0	-	0	0	0	0	4
F	0	0	-	0	6	2	0
T	0	0	0	-	0	10	0
f	0	0	0	0	-	0	0
p	0	0	0	0	0	-	0
s	0	0	0	0	0	0	-

A harmadik termék (a továbbiakban: Z termék) a következőképpen készül: az összeszerelő operátor az előző modellel megegyező házból kettőt épít meg, majd a két modellt egy sárga elemmel köti össze, lényegében egy ikerházat épít (10. ábra):



10. ábra: Z késztermék és a hozzá tartozó közvetlen igény gráf (forrás: saját szerkesztés (SketchUp, MS Powerpoint))

A Z termékek így 49 LEGO elem felhasználásával készülnek, ezek összeszerelése a legbonyolultabb a másik két termékhez viszonyítva (3. táblázat):

3. táblázat: Közvetlen igény mátrix (Z termék) (forrás: saját szerkesztés)

	Z	A	F	T	f	p	s
Z	-	2	2	2	0	0	1
A	0	-	0	0	0	0	4
F	0	0	-	0	6	2	0
T	0	0	0	-	0	10	0
f	0	0	0	0	-	0	0
p	0	0	0	0	0	-	0
s	0	0	0	0	0	0	-

2.2. Az előforduló entitások feltérképezése

A következőkben a vizsgált összeszerelések során előforduló entitásokat veszem sorra és összegzem az egyes entitástípusok számosságát. Az azonosítottságot jelen esetben csak az összeszereléshez köthető entitások körében vizsgálom, az anyagmozgatáshoz köthetőket nem részletezem. Az utóbbi tevékenységhez kapcsolódó entitások természetesen megegyező elvek mentén feltérképezhetők, vizsgálhatók.

Az egyes termékek összeszerelése során azonosítható entitásokat összefoglaló táblázatokat a 3.1. melléklet tartalmazza. Ezek a táblázatok az egyes összeszerelések során maximálisan azonosítható entitások számát adják meg.

2.2.1. *Anyagok*

Az anyag entitástípus az BOM-listát alapul véve öt szinten azonosítható. Ugyanakkor a vonatkozó összeszerelések során fődarabok nem épülnek be, emiatt a második szinten (M2) egyetlen entitás sem azonosítható, ténylegesen csak négy szinten (késztermék – részegység – alkatrész – beépülésenkénti egyedi azonosítás) történik anyagokra vonatkozó azonosítás.

Az első azonosítási szinten (M1) a késztermékek halmaza különböztethető meg, a szinten összesen három entitás azonosítható, az aktuális összeszerelésnek megfelelően pedig egy-egy késztermék: X, Y vagy Z termék.

A harmadik szinten (M3) a beépülő részegységeket lehet azonosítani: az alapot, a falat vagy tetőt. Az X termék esetén nem épül be részegység, csak alkatrész, ezért abban az esetben nem azonosítható a második szinten entitás. Az Y és Z termékek esetén pedig mindhárom részegység típusból azonosítható három, illetve hat darab.

A negyedik szinten (M4) az ugyanolyan tulajdonsággal rendelkező alkatrészek cikk szintű azonosítása történik, vagyis a jelen összeszerelés során felhasznált három fajta elem már három különböző azonosítóval látható el. Így összesen ezen a szinten Y és Z termékeknél három entitás azonosítható: piros, sárga, vagy fehér alkatrészek, X termék esetében pedig csak piros.

Az alkatrész típusok azonosítása az azokat tartalmazó ládák azonosításával történik, a ládák csak így kerülnek azonosításra, mint lokációk nem. Az alkatrészek tárolására szolgáló csatornák mindegyikén két doboz fér el egymás mögött, ezek közül azonban elég csak egyet-egyét azonosítani (nincsen szükség további dobozok azonosítására, még akkor sem, ha például az üzemben Kanban-rendszert valósítanak meg, amely előírja, hogy legalább két doboznyi

menyiségnek jelen kell lennie az összeszerelő állomáson minden cikkből), mivel az összeszerelési folyamat során az operátor minden esetben csak a hozzá legközelebbi három dobozból emel ki alkatrészeket.

A következő kérdéskörrel részletesebben jelen esetben nem foglalkozom, ugyanakkor mindenképpen érdemes megemlíteni: ha nem az összeszerelési folyamat szempontjából vizsgáljuk az azonosítottságot, hanem az adott munkaállomáson belül jelenlévő alkatrészek számának, készletszintjének meghatározása a cél, akkor már minden alkatrészt tartalmazó dobozt érdemes lehet azonosítani egyesével. Ha ismert a dobozokban lévő alkatrészek száma, illetve az adott munkaállomáson már elkészített nagyobb készültségi szintű elemek – részegységek, késztermékek - száma, akkor lehetőség van a munkaállomás készletszintjének meghatározására, ami dinamikus információ. Emellett így akár lehetőség adódik arra, hogy az aktuális alapanyag-készlet alapján megfelelően kialakításra kerüljön akár egy (idővezérelt) anyagutánpótló rendszer.

Az ötödik azonosítási (M5) szint minden egyes alkatrész egyedi azonosítóval történő ellátását és leolvasását jelenti. Ez a különböző termékek esetén rendre 2, 24 és 49 darab azonosítást jelent ezen a szinten.

2.2.2. Lokációk

A lokáció entitástípus esetén az első szinten (L1) a teljes üzem áll, ez térben különböző üzemrészekre bontható, jelen esetben egyetlen üzemrész került meghatározásra (második szint – L2). A jelenleg vizsgált munkaállomás, ahol az összeszerelés történik, ezen az üzemrészen belül található (harmadik azonosítási szint – L3).

A munkaállomás két tároló és egy összeszerelő zónára (blokkra) osztható fel, ez a negyedik azonosítási szint (L4). Az összeszerelő zónán az összeszerelő asztal azon része értendő, ahol maga az összeszerelési folyamat folyik.

Az első tároló zónán belül a munkaállomás felső három darab görgős polca – csatornája - azonosítható (objektumok). A második tároló zónán belül pedig a göngyölegnek dedikált csatorna.

Az ötödik azonosítási szinten (L5) azonosítható még a késztermékek tárolására szolgáló csatorna, így összesen öt csatorna azonosítható, az egyes összeszerelések esetén rendre 3, 5, illetve 5 a felhasznált alkatrészek különbözősége miatt.

2.2.3. Feladatok

A feladat entitástípuson belül az első szinten (T1) az éppen készülő terméknek megfelelő összeszerelési feladat kezdete és befejezése azonosítható.

A második szinten (T2) pedig megkülönböztethetők az összeszerelési részfeladatok, az X, Y és Z termékek esetén ez rendre 2, 15 és 32 részfeladat azonosítását jelenti. A részfeladatok azonosításával lehetőség nyílik arra, hogy hozzájuk lehessen rendelni az aktuálisan felhasznált alkatrészeket és így megállapítható legyen egy-egy készültségi szint az adott termékhez. Például, ha egy összeszerelés négy részfeladatból áll, összesen hat elemet kell beépíteni és az első három részfeladat során már beépült három elem, akkor a termék már félig készen van. Ez fontos lehet a folyamat előrehaladásának követése szempontjából.

Előfordulhatnak olyan feladatok, melyek során nem történik anyagfelhasználás az adott folyamatlépésben (például két alkatrész összeillesztése), viszont, mivel a munkautasításon belül vonalkód leolvasása szükséges adott feladatok elvégzése után, akkor ellenőrizni lehet, hogy került-e felhasználásra anyag. Emiatt fontos, hogy a részfeladatok is azonosítva legyenek.

2.2.4. Erőforrások

Az erőforrások körében azonosíthatók humán és élettelen erőforrások, jelen esetben az összeszerelő operátor és a leolvasó eszköz, amit használ. Az operátor egy QR-kódot tartalmazó alkalmazotti kártya segítségével tudja magát azonosítani, amely tartalmazza azt az információt, hogy milyen munkakörbe tartozik.

3. A digitális átláthatóság mérésének megvalósítása

Az előbbi fejezetekben ismertetett alapelvek mentén az X, Y és Z termékek összeszereléseit fizikailag is megvalósítottam.

3.1. A mérések előkészítése

Első lépésként mindhárom összeszereléshez elkészítettem azokat az EPC-folyamatábrákat, amelyek nemcsak a technológiai lépéseket tartalmazzák, hanem minden azonosítással kapcsolatos tevékenységet is, ezeket a 2. melléklet tartalmazza. Az azonosítással kapcsolatos tevékenységeket narancssárga alakzatokkal jelöltem, melyek körvonala szaggatott. Ezek a folyamatábrák ábrázolják tehát azt az ideális állapotot, amely során minden előforduló entitástípus a legmélyebb szinten azonosításra kerül. A későbbiekben ezek a folyamatábrák szolgálnak az összehasonlítás alapjául.

Második lépésként pedig olyan folyamatábrákat készítettem, melyek mentén a három termék összeszerelését fizikailag is véghez lehet vinni (2. melléklet), a fizikai megvalósítás korlátai miatt ezek néhány lépésben különböznek a maximális azonosítottságot megjelenítő változatoktól:

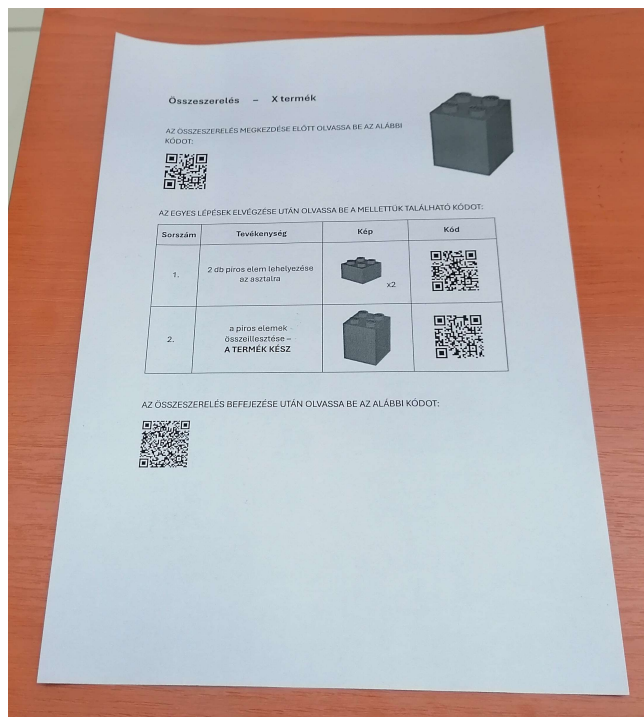
- az alapanyagok azonosítása csak cikk szinten jelenik meg, az építőelemek egyedi azonosítása nehézkes és túl időigényes lett volna a tervezett QR-kód leolvasó módszer használatával (egyetlen azonosítási módszert szerettem volna használni az összes entitástípus azonosítására – természetesen egy valós gyártóüzemi környezetben lehetőség van többféle azonosítási módszer alkalmazására is);
- a késztermékeket azonosítása is csak cikk szinten jelenik meg, az egyedi azonosításhoz valamilyen módon hozzá kellett volna rendelni egy azonosítót az összeszerelés végén mindegyik elkészült darabhoz (például egy címke nyomtatóval)
- a részegységek nem kerültek azonosításra hasonló okok miatt.

A szimulációt, a méréseket a tanszéki laborban végeztem, ahol a munkaállomás számára kijelölésre került egy kisebb terület, a labor bejáratától 6 méter távolságra. Szükség volt még öt darab ládára az építőelemek számára, illetve magára a három fajta építőelemre, ezek mindegyike rendelkezésre állt a laborban.

Az összeszerelésekhez köthető minden entitáshoz QR-kódot generáltam, majd ezek az információtartalmuknak megfelelően felkerültek a meghatározott helyekre, ezekre az egyes

esetek leírásánál látható néhány példa. Egyedül a leolvasó eszköz nem került azonosításra egyik esetben sem, így QR-kódot nem készítettem hozzá.

A feladat entitástípushoz generált kódok a már említett munkautasításokban szerepelnek, melyeket a mérések során kinyomtatott formában használtam (11. ábra). A többi entitástípushoz generált kódot az 4. melléklet tartalmazza.



11. ábra: Egy munkautasítás a munkaállomáson *(forrás: saját fénykép)*

A szimulációban, mint összeszerelő operátor vettem részt. A QR-kódok leolvasásához okostelefont és egy applikációt használtam, amely segítségével a leolvasott kódok szöveges információtartalma és a leolvasások pontos ideje automatikusan feltöltésre kerültek egy Excel-fájlba a leolvasás pillanatában (4. táblázat).

4. táblázat: A leolvasott információkat tartalmazó fájl (részlet)

Leolvasás időpontja	Leolvasott kód
13:56:21	M301
13:56:36	M101
13:57:52	M301
13:59:35	M301

3.2. Az átláthatósági indikátorok meghatározása

Ebben a fejezetben azt vizsgálom, hogy a három késztermék összeszerelése során hogyan alakul a munkahely digitális átláthatósága. Hat különböző azonosítási esetben vizsgálom, hogy hogyan alakulnak az átláthatósági indikátorok. Az esetek az azonosított entitástípusok és az azonosítási mélységek tekintetében különböznek.

A kapott értékek alapján vizsgálható, hogy az összeszerelési munkafolyamat komplexitása befolyásolja-e a munkahely digitális átláthatósági szintjét, és ha igen, hogyan.

A három termék elkészítése során a különböző z szinteken az entitástípusok számosságát az alábbi, 5. táblázat, foglalja össze:

5. táblázat: Entitástípusok számossága szintenként (1-5. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
N _{Lz}	1	1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	1	2	4
N _{Mz}	1	0	0	1	2	1	0	3	3	24	1	0	6	3	49
N _{Tz}	2	2				2	15				2	32			
N _{Rz}	2					2					2				

A következőkben az öt eset során a fentiektől eltérő számú entitások kerülnek azonosításra, az esetenként azonosított entitásokat összefoglaló táblázatok a 3. mellékletben szerepelnek. Kékkel a fizikailag is azonosított entitásokat jelöltem, sárgával pedig azokat, amelyekhez nem tartozik fizikai leolvasás (fődarabok), vagy a fizikai leolvasás nem történt meg (részegységek, leolvasó eszköz).

Az első öt esetben göngyölegek kezelésével nem foglalkoztam, a hatodik esetről a lokációk számossága a negyedik és ötödik szinten eggyel megnő, mivel, ha göngyöleg keletkezik, akkor a második tároló zóna, illetve a negyedik csatorna is azonosítható. A hat eset átláthatósági indikátorainak értékeit összefoglalva a 5. melléklet tartalmazza.

3.2.1. 1. eset

Az első esetben csak az anyag entitástípus kerül azonosításra - negyedik szinten, vagyis az alkatrészek és késztermékek azonosítása történik, ez rendre 2, 4 és 4 anyagot jelent az X, Y és Z termékek esetén (6. táblázat).

6. táblázat: Az azonosított entitások száma (1. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$N_{Lz}^{(1)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{Mz}^{(1)}$	1	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	0	3	0
$N_{Tz}^{(1)}$	0	0				0	0				0	0			
$N_{Rz}^{(1)}$	0					0					0				

Mivel ebben az esetben csak anyagok azonosítása történik, és ezeké is csak a negyedik szinten, a többi entitástípusra vonatkozó digitális átláthatósági indikátorok (DTI(L), DTI(T), DTI(R)) értéke nyilván 0%-nak adódott. Az anyagokra vonatkozóé pedig az 1., 2. és 4. szinteken 100% mindhárom termék esetén (7. táblázat):

7. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (1. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DTI(L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DTI(M)	100	100	100	100	0	100	100	0	100	0	100	100	0	100	0
DTI(T)	0	0				0	0				0	0			
DTI(R)	0					0					0				

Ebből kifolyólag az átlagos és globális digitális átláthatósági indikátorok is csak az anyagok körében térnek el a nullától, értékük a (6) és (8) összefüggések alapján, $b = 4$ esetben, a következőként alakultak (8. táblázat). A táblázat csak a nullától eltérő értékeket tartalmazza.

8. táblázat: ADTI(M) és GDTI(M) indikátorok (1. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

X termék		Y termék		Z termék	
ADTI(M)	80%	ADTI(M)	60%	ADTI(M)	60%
GDTI(M)	50%	GDTI(M)	12,9%	GDTI(M)	6,8%

Az ADTI(M) indikátorok jelentése a következő: az anyag entitástípusba sorolható entitások átlagosan 60%-a, vagy 80%-a azonosított az egyes szinteken. A GDTI(M) indikátor értéke pedig látványosan csökken a termékbe beépülő anyagok számának növekedésével: amíg az X termék esetén értéke 50%, a Z termék esetén már csak 6,8%. Ez azzal magyarázható, hogy az

X termék esetén az ötödik szinten jóval kevesebb – csak 2 darab – alkatrész azonosítható, mint a 49 alkatrészből álló Z termék esetén.

A teljes munkahelyre vonatkozó átláthatósági indikátor értéke csökken a termék komplexitásának növekedésével, egyenlő súlyszámok ($w = 0,25$) alkalmazásával ezek rendre 12,5%, 3,2%, illetve 1,7%.

A fizikai megvalósítás során az X termék összeszerelése esetén összesen két vonalkódot kellett elhelyezni: a piros alapanyagot azonosítót az alapanyag tároló ládára, illetve az X terméket azonosítót a késztermék tároló ládára (12. ábra):



12. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (1. eset – X termék) *(forrás: saját fénykép)*

3.2.2. 2. eset

A második esetben az anyag entitástípus negyedik szinten azonosított, a többi entitás pedig első szinten. Az anyagok tekintetében ugyanazok kerülnek azonosításra, mint az előző esetben, mellettük pedig az üzem, az összeszerelések kezdete és befejezése, valamint az összeszerelő operátort is azonosítani kell (9. táblázat).

9. táblázat: Az azonosított entitások száma (2. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$N_{Lz}^{(1)}$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
$N_{Mz}^{(1)}$	1	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	0	3	0
$N_{Tz}^{(1)}$	2	0				2	0				2	0			
$N_{Rz}^{(1)}$	1					1					1				

A digitális átláthatósági indikátorok értéke az anyagok esetén az 1., 2. és 4. szinten 100%, a lokációk és feladatok esetén pedig az 1. szinten 100%, az erőforrások esetén az 1. szinten 50%, a többi érték 0%, mivel azokon a szinteken nem történt azonosítás (10. táblázat):

10. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (2. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DTI(L)	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0
DTI(M)	100	100	100	100	0	100	100	0	100	0	100	100	0	100	0
DTI(T)	100	0				100	0				100	0			
DTI(R)	50					50					50				

Ebből kifolyólag az átlagos és globális digitális átláthatósági indikátorok a (6) és (8) összefüggések alapján a következőként alakultak ($\{a;c\} = 1, b = 4$) (11. táblázat):

11. táblázat: ADTI és GDTI indikátorok (2. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

X termék		Y termék		Z termék	
ADTI(L)	20%	ADTI(L)	20%	ADTI(L)	20%
ADTI(M)	80%	ADTI(M)	60%	ADTI(M)	60%
ADTI(T)	50%	ADTI(T)	50%	ADTI(T)	50%
ADTI(R)	50%	ADTI(R)	50%	ADTI(R)	50%
GDTI(L)	14,3%	GDTI(L)	11,1%	GDTI(L)	11,1%
GDTI(M)	50%	GDTI(M)	12,9%	GDTI(M)	6,8%
GDTI(T)	50%	GDTI(T)	11,8%	GDTI(T)	5,9%
GDTI(R)	50%	GDTI(R)	50%	GDTI(R)	50%

Látható, hogy az anyagokra vonatkozó kivételével a ADTI indikátorok ismét mindhárom esetben megegyeznek. A GDTI indikátorok értéke pedig az esetek többségében csökkent. Az Y és Z termék összeszerelésére vonatkozó GDTI(L) mutató egyenlősége azzal magyarázható, hogy a két termék esetén megegyezik az azonosítható lokációk száma (11 darab). Az erőforrásra vonatkozó GDTI(R) indikátor pedig mindhárom termék esetén 50%, ugyanis az erőforrások közül minden esetben csak egy – az operátor - azonosítható.

Az anyagokra vonatkozó indikátorok az előző esethez képest nem változtak, mivel az azonosításuk ugyanúgy a 4. szinten történt, viszont azzal, hogy a többi entitástípus már első szinten azonosításra került, a teljes munkahelyre vonatkozó átláthatósági indikátorok értéke jelentősen növekedett 41,1%-ra, 21,4%-ra, illetve 18,4%-ra.

A munkaállomáson ugyanazon kódok voltak jelen, mint az előző esetben, azon felül a labor bejáratára került még két kód, amelyek az üzem és az operátor azonosítására szolgálnak (13. ábra):



13. ábra: Az üzemet (felül) és az operátort (alul) azonosító QR-kódok *(forrás: saját fénykép)*

3.2.3. 3. eset

A harmadik esetet, mely során minden előforduló entitástípus a megvalósítható legmélyebb szinten kerül azonosításra, a 3.1. fejezetben említettek miatt nem tudtam szimulálni, de az átláthatósági indikátorokat erre az esetre is meghatároztam, melyek értéke minden esetben 100%.

3.2.4. 4. eset

A negyedik esetben az egyes entitástípusok különböző mélységben kerülnek azonosításra: a lokációk harmadik, az anyagok negyedik, a feladatok második, az erőforrások pedig első szinten (12. táblázat).

12. táblázat: Az azonosított entitások száma (4. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
N_{Lz} ⁽¹⁾	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
N_{Mz} ⁽¹⁾	1	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	0	3	0
N_{Tz} ⁽¹⁾	2	2				2	15				2	32			
N_{Rz} ⁽¹⁾	1					1					1				

A digitális átláthatósági indikátorok értéke alább olvasható (13. táblázat):

13. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (4. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DTI(L)	100	100	100	0	0	100	100	100	0	0	100	100	100	0	0
DTI(M)	100	100	100	100	0	100	100	0	100	0	100	100	0	100	0
DTI(T)	100	100				100	100				100	100			
DTI(R)	50					50					50				

Az átlagos és globális digitális átláthatósági indikátorok a (6) és (8) összefüggések alapján a következőként alakultak ($a = 3$, $b = 4$, $c = 2$) (14. táblázat).

A lokációkra vonatkozó GDTI indikátorok kismértékben növekedtek, a többiről hasonló mondhatók el, mint az előző esetekben.

Az anyagokra vonatkozó indikátorok az 2. esethez képest nem változtak (mivel az azonosításuk ugyanúgy a 4. szinten történt) viszont azzal, hogy a többi entitástípus még magasabb szinten került azonosításra, a teljes munkahelyre vonatkozó átláthatósági indikátorok tovább növekedtek. A változás mértéke ez esetben is látványos, mint az 1. és 2. eset között, az értékek: 60,7%, 49,1%, illetve 47,5%.

14. táblázat: ADTI és GDTI indikátorok (4. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

X termék		Y termék		Z termék	
ADTI(L)	60%	ADTI(L)	60%	ADTI(L)	60%
ADTI(M)	80%	ADTI(M)	60%	ADTI(M)	60%
ADTI(T)	100%	ADTI(T)	100%	ADTI(T)	100%
ADTI(R)	50%	ADTI(R)	50%	ADTI(R)	50%
GDTI(L)	42,9%	GDTI(L)	33,3%	GDTI(L)	33,3%
GDTI(M)	50%	GDTI(M)	12,9%	GDTI(M)	6,8%
GDTI(T)	100%	GDTI(T)	100%	GDTI(T)	100%
GDTI(R)	50%	GDTI(R)	50%	GDTI(R)	50%

3.2.5. 5. eset

Ezesetben is változóak az azonosítási mélységek: a lokációk ötödik, az anyagok negyedik, a feladatok második, az erőforrások pedig első szinten lettek azonosítva (15. táblázat).

15. táblázat: Az azonosított entitások száma (5. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$N_{Lz}^{(1)}$	1	1	1	2	2	1	1	1	2	4	1	1	1	2	4
$N_{Mz}^{(1)}$	1	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	0	3	0
$N_{Tz}^{(1)}$	2	2				2	15				2	32			
$N_{Rz}^{(1)}$	1					1					1				

A digitális átláthatósági indikátorok értéke alább olvasható (16. táblázat):

16. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (5. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DTI(L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DTI(M)	100	100	100	100	0	100	100	0	100	0	100	100	0	100	0
DTI(T)	100	100				100	100				100	100			
DTI(R)	50					50					50				

Az átlagos és globális digitális átláthatósági indikátorok a (6) és (8) összefüggések alapján a következőként alakultak ($a = 5$, $b = 4$, $c = 2$,) (17. táblázat):

17. táblázat: ADTI és GDTI indikátorok (5. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

X termék		Y termék		Z termék	
ADTI(L)	100%	ADTI(L)	100%	ADTI(L)	100%
ADTI(M)	80%	ADTI(M)	60%	ADTI(M)	60%
ADTI(T)	100%	ADTI(T)	100%	ADTI(T)	100%
ADTI(R)	50%	ADTI(R)	50%	ADTI(R)	50%
GDTI(L)	100%	GDTI(L)	100%	GDTI(L)	100%
GDTI(M)	50%	GDTI(M)	12,9%	GDTI(M)	6,8%
GDTI(T)	100%	GDTI(T)	100%	GDTI(T)	100%
GDTI(R)	50%	GDTI(R)	50%	GDTI(R)	50%

Látható, hogy az anyagok kivételével minden entitástípus a megvalósítható legmélyebb szinten azonosításra került, ugyanakkor az anyagok csak cikk szintű azonosítása miatt a teljes munkaállomásra vonatkozó átláthatósági indikátorok értéke így sem éri el a 80%-ot. Az értékek rendre: 75%, 65,7%, illetve 64,2%.

Az X és Z termékek összeszerelésének szimulációja során összesen 13 különböző kód került elhelyezésre a munkaállomáson, illetve még három a munkaállomáson kívül (14. ábra).



14. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (5. eset – Y és Z termékek) *(forrás: saját fénykép)*

3.2.6. 6. eset

A hatodik esetnél az egyes entitástípusok az ötödik esettel megegyező szinteken kerültek azonosításra, de itt már göngyöleg is keletkezett. Az azonosított entitások száma a következőképp változott (18. táblázat): a lokáció entitástípus 4. és 5. szintjén látható az eltérés az 5. esetben felvett táblázat értékeitől.

18. táblázat: Az azonosított entitások száma (6. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

	X termék					Y termék					Z termék				
Szint	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$N_{Lz}^{(1)}$	1	1	1	3	3	1	1	1	3	5	1	1	1	3	5
$N_{Mz}^{(1)}$	1	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	0	3	0
$N_{Tz}^{(1)}$	2	2				2	15				2	32			
$N_{Rz}^{(1)}$	1					1					1				

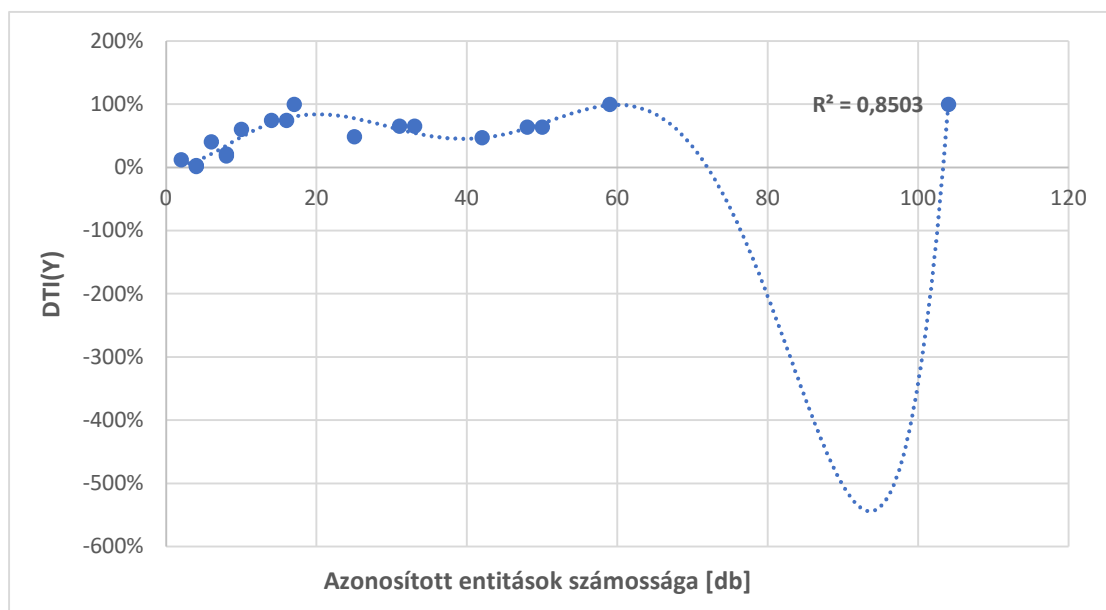
Az átláthatósági indikátorok nem változtak. A szimuláció során pedig az ötödik esethez képest két további QR-kód került felhelyezésre (15. ábra):



15. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (6. eset – Y és Z termékek) *(forrás: saját fénykép)*

Általánosságban elmondható, hogy a munkahely digitális átláthatósági szintjében a legnagyobb növekedést az alkatrészek egyedi azonosításával lehetett volna elérni, hiszen ezek nélkül az átláthatósági szint mindvégig 80% alatt maradt. Például az 5. esetben a digitális átláthatósági szintek rendre 87,5%-ra, 85,1%-ra és 85%-ra növekedtek volna, ha az alkatrészek 5. szinten történő azonosítása megvalósul.

A 18 szimuláció (6 eset, 3 termék) során azonosított entitások száma és a munkahely digitális átláthatósági szintje között az alábbi összefüggés adódott (16. ábra):



16. ábra: Az azonosított entitások száma közötti összefüggés *(forrás: saját szerkesztés)*

A két adatsor között látszólag szoros kapcsolat áll fenn, a Pearson-féle korrelációs együttható értéke közelítőleg 65,8%, a determinációs együttható egyhez közelítő értéke (0,8503) is lineáris kapcsolatra enged következtetni.

4. A tevékenységek jellegének megoszlása

A mérések célja az értékteremtő, illetve szükséges, de nem értékteremtő folyamatok arányának vizsgálata volt – az azonosítási lépésekkel és azok nélkül. Ehhez az egyes tevékenységek időszükségletének mérését is elvégeztük.

Az esetek nagy száma (öt-öt eset mindhárom termék esetén) és az összeszerelések időigénye miatt esetenként a mérésszám maximum öt volt, a következtetéseket az így mért értékek átlagából vontam le. Fontos hangsúlyozni, hogy ezen mérések célja nem az egyes tevékenységek időszükségletének meghatározása volt, hanem a különböző (értékteremtő-szükséges, de nem értékteremtő) kategóriájú tevékenységeknek a viszonyának a vizsgálata. Egy intralogisztikai rendszerben az elsődleges feladat az értékteremtő idők arányának a növelése. Emiatt fontos vizsgálni, hogy a digitális átláthatóságot támogató rendszer felépítése, milyen módon módosítja az értékteremtést.

Az értékteremtő tevékenységek száma az X, Y és Z termékek esetén rendre 1, 5, és 11 darab. A pontos értékteremtő tevékenységek átlagos időszükséglet értékeit a 19. táblázat tartalmazza:

19. táblázat: Az értékteremtő tevékenységek időszükséglete [s]

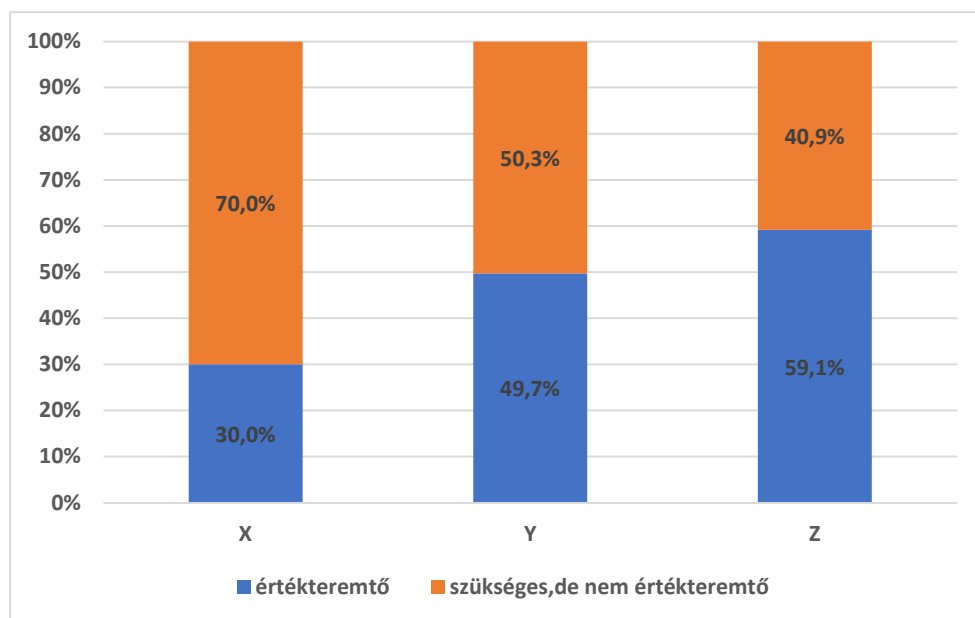
X termék		Z termék	
piros kockák összeillesztése	1,4	sárga elemek elrendezése	2,5
Y termék		piros kockák összenyomása	1,4
sárga elemek elrendezése	2,5	összeillesztés az alappal	1,5
piros kockák összenyomása	1,4	fal létrehozása	11,9
összeillesztés az alappal	1,5	tető létrehozása	14
fal létrehozása	11,9	sárga elemek elrendezése	2,5
tető létrehozása	14	piros kockák összenyomása	1,4
		összeillesztés az alappal	1,5
		fal létrehozása	11,9
		tető létrehozása	14
		házak összeillesztése	2,5

Az összeszerelések leolvasások nélküli átfutási idejét a 20. táblázat foglalja össze:

20. táblázat: Leolvasás nélküli átfutási idők

	X termék	Y termék	Z termék
értékteremtő [s]	1,4	31,3	65,1
szükséges, de nem értékteremtő [s]	3,27	31,67	45,01
átfutási idő [s]	4,67	62,97	110,11

Vagyis az egyes termékek összeszerelése esetén a tevékenységek jellegének megoszlása a következőképpen alakult (17. ábra):

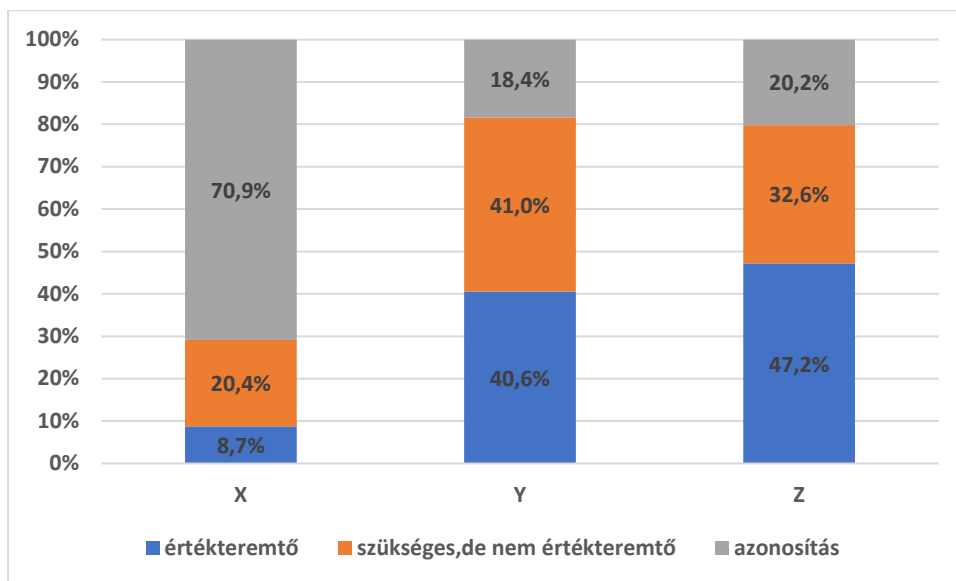


17. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása azonosítás nélküli esetben

A leolvasások időszükségletét az egyes entitásokra lebontva a 6. melléklet tartalmazza.

4.1.1. 1. eset

Az első esetben az X termék összeszerelése esetén 2 darab azonosítás történt, az Y termék esetén 5, a Z termék esetén pedig 10. A tevékenységek jellegének megoszlása a következőképpen alakult (18. ábra):

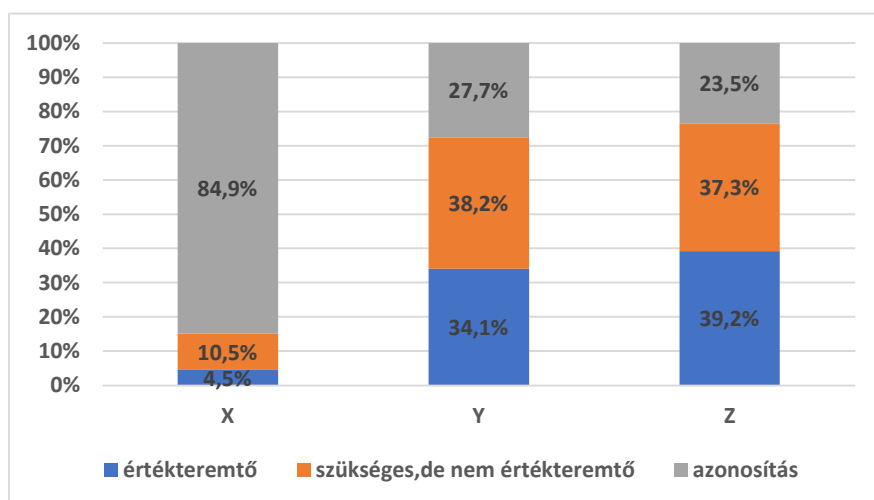


18. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (1. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

Az első esetben az X termék esetén telt a legtöbb idő azonosítással: az átlagosan 16 másodperc több, mint 70%-a, vagyis több, mint 11 másodperc. A másik két összeszerelés esetén a leolvasás ideje megközelíti az értéktéremtéssel töltött idő 50%-át.

4.1.2. 2. eset

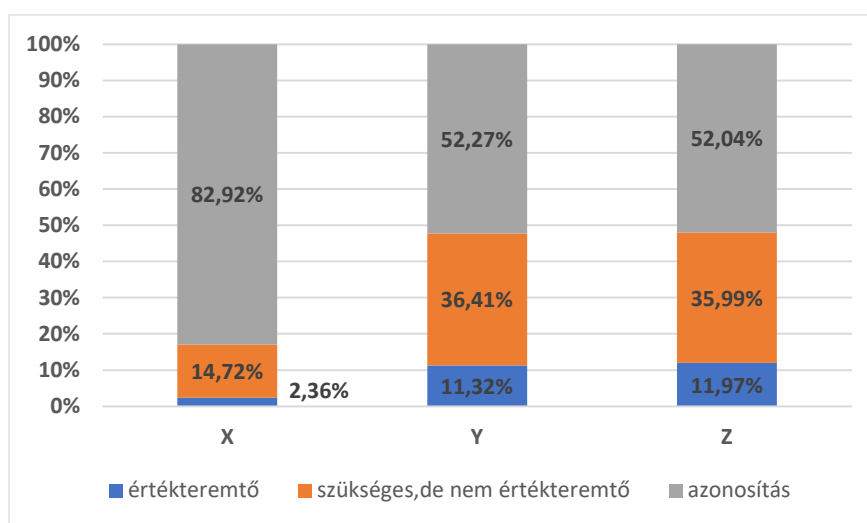
Az második esetben is a legegyszerűbb termék összeszerelése esetén telt a legtöbb idő azonosítással: az átlagosan 31 másodperc közel 85%-a, vagyis körülbelül 26 másodperc. A bonyolultabb termékek esetén a leolvasással töltött idő már többnek adódott, mint az értéktéremtés időszükségletének 50%-a (19. ábra).



19. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (2. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

4.1.3. 3. eset

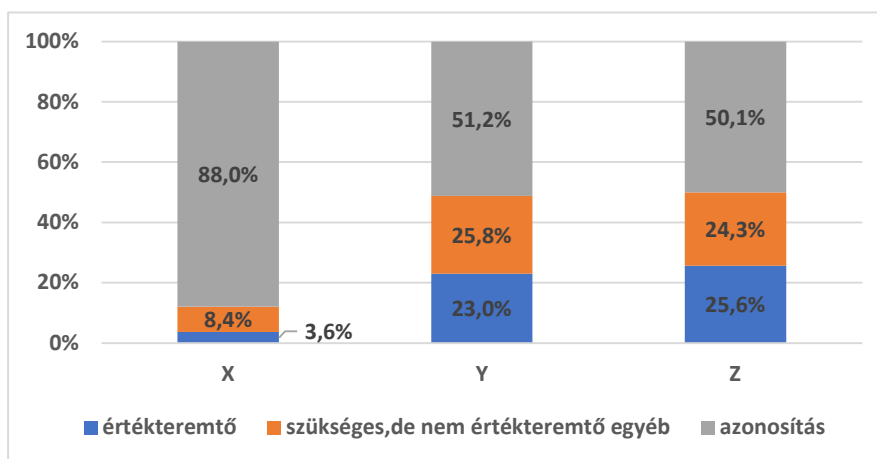
Az alkatrészek egyedi azonosításának időszükséglet értéke nem került lemérésre, így az időt az ehhez a tevékenységhez legjobban hasonlító tevékenység időszükségletével becsültem, ami az alkatrész azonosítása, vagyis az alkatrészeket tartalmazó láda azonosítójának leolvasása. Ennek átlagos időszükséglete 2,73 másodperc a mérések alapján. Így a 3. esetben a tevékenységek jellegének megoszlása az X termék esetén hasonlóképpen alakult volna, mint a 2. esetben (20. ábra). A másik két termék esetén pedig közel megduplázódott volna.



20. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (3. eset) (forrás: saját szerkesztés)

4.1.4. 4. eset

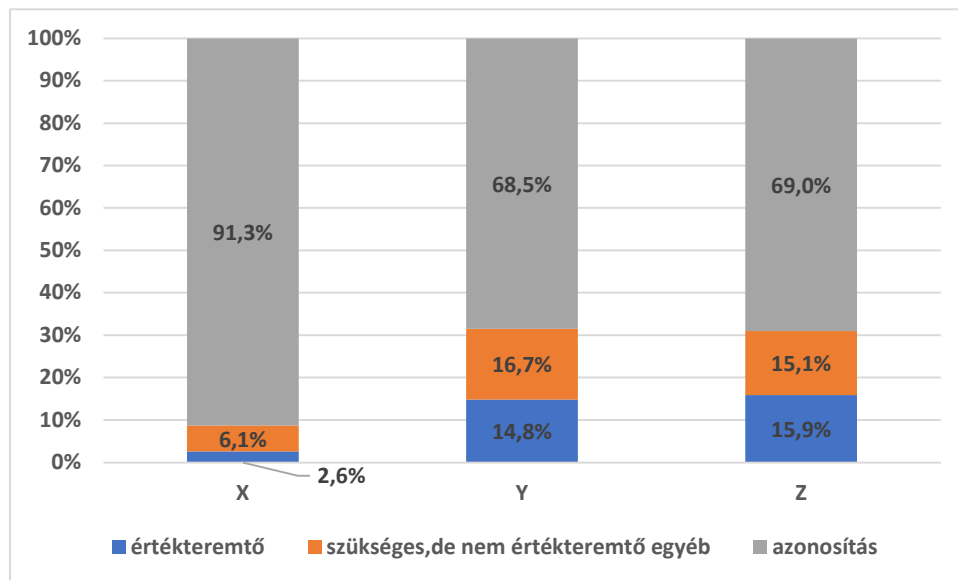
A negyedik esetben a megoszlási arányok a 3. esetnél előfordulókkal közel megegyezők (21. ábra).



21. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (4. eset) (forrás: saját szerkesztés)

4.1.5. 5. eset

Az 5. esetben mindhárom termék esetén szembeűnő, hogy az azonosítással töltött idők teszik ki az átfutási idők jelentős részét (22. ábra):



22. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (5. eset) *(forrás: saját szerkesztés)*

Összefoglalva, a rendkívül rövid átfutási idővel rendelkező X termék esetén az azonosítás minden esetben több időt vett igénybe, mint az értékteremtő összeszerelés, így esetében nem érdemes ilyen mértékben azonosítani az entitásokat (legalábbis ilyen QR-kódos azonosítással nem). Az Y és Z termékeket az első két esetben még érdemes azonosítani, de azoknál mélyebb szinten már az azonosítással kapcsolatos idő az értékteremtéstől veszi el az időt.

5. A tesztrendszerben rejlő fejlesztési lehetőségek

A tesztmérések során különböző bonyolultságú összeszerelési folyamatok és különböző esetek, entitástípus-rendszerek kerültek elemzésre, amelyek eltértek az azonosított entitások számában és az azonosított szintekben.

További feladatként megjelenik a folyamat során definiált korlátozó feltételek vizsgálata (például, hogy selejtes termék nem keletkezhett). A selejt megjelenésével már el szükséges térni az anyagoknál a BOM-lista szabványos struktúrájától. Erre azért van szükség, mivel a selejt is az anyag entitástípuson belül jelenik meg, azonban kérdés, hogyan történik a kezelése. Az egyik ilyen lehetőség, hogy minden szinten elkülönítünk egy új entitáscsoportot a selejteknek.

A tesztrendszer egy másik fejlesztési iránya komplexebb feladatok, realisztikusabb rendszerek vizsgálata. Egy rendszerben több feladat elvégzése történik párhuzamosan, ahol több operátor dolgozik együtt. A dolgozatban is említésre került az anyagutánpótlásért felelős operátor. Az anyagmozgatási, tárolási folyamatok során előfordulhatnak olyan feladatok és tevékenységek, amelyek nem kezelhetők a munkautasításokban. Az intralogisztikai rendszerekben a dolgozóknak például különböző státuszokat kell rendelniük egy műszak során a feladataikhoz (például: szünet). A digitális modellben ezt is megfelelően definiálni és strukturált formában kezelni szükséges.

Az azonosítással kapcsolatos méréseknél, előtérbe került az azonosítási időszükséglet, mint szükséges, de nem értékteremtő tevékenységek. A vállalati céloknak minél inkább megfelelő digitális átláthatósági szint elérése során fontos szem előtt tartani, hogy az azonosítás nem vehet el értékes időt a dolgozóktól. Emiatt olyan tesztrendszer felépítése lenne a következő lépése a jelenlegi kutatásnak, amely segíti az automatikus azonosítást. Az így kialakított „intelligens” munkaállomás különböző azonosítási technológiákat együttesen alkalmazna (szenzorok, közelségérzékelők, RFID, csuklóra szerelhető vonalkódolvasó...stb.). Emellett fontos megemlíteni, hogy az azonosítási idők túlzott aránya esetén a munkahelyi automatizálás is megfontolandó (mérlegek a csatornába, monitor a munkautasítások kivetítésére a papír helyett, nyomó/ taposógombok alkalmazása).

A kutatás egy érdekes vizsgálati aspektusa lehet az azonosítási időszükségleteknek a vizsgálata eltérő technológiák alkalmazása esetén, valamint különböző képességű és tapasztalattal rendelkező dolgozók bevonásával.

Összegzés

Kutatásom célja egy olyan tesztrendszer létrehozása volt, amely segítségével tetszőleges komplexitású intralogisztikai folyamat, vagy rendszer esetében meghatározhatóvá válhat a digitális átláthatóság.

Elsőként a digitalizáció témakörében folytattam szakirodalom kutatási munkát, ezt követően pedig az ALRT tanszék korábbi kutatása alapján a digitális átláthatóság fogalmával és az ehhez kapcsolódó halmazelméleti rendszerrel ismerkedtem meg, valamint összegyűjtöttem a kutatásom szempontjából releváns feltevéseket. A feltételezés, mely szerint egy intralogisztikai rendszer digitális átláthatósága számszerűsíthető és mérhető, jelentette a kutatásom kiindulási alapját, aminek a bizonyítása volt a célom.

Ezt követte a tervezési szakasz, amelyben egy egyszerű összeszerelő munkahely digitális átláthatóságát vizsgáltam. A tervezés első lépése a munkahelyhez kapcsolódó entitások rendszerezése volt. Ehhez folyamatábrák és közvetlen igény gráfok elkészítésére volt szükség, valamint táblázatokban foglaltam össze a vizsgált entitástípusok számosságát. Az összeszerelő állomáson három különböző bonyolultságú munkafolyamatot vettem fel. Erre azért volt szükség, hogy a digitális átláthatósági indikátorokat a feladatok bonyolultságának a függvényében is vizsgálhassam. Emellett több, különböző esetet mutattam be a digitális átláthatóság szintjeinek könnyebb megérthetősége érdekében. Ezekben az esetekben különbözőek voltak az entitástípusok azonosítási szintjei, az entitástípusok számossága és ezekből adódóan a digitális átláthatóságot leíró indikátorok is.

Az azonosítás különböző technológiák segítségével is megvalósítható egy értékteremtő rendszerben. Fontosnak tartom kiemelni, hogy a digitális átláthatóság méréséhez szükséges azonosítási feladatok a legtöbb azonosítástechnológia esetében többlet időszükséglettel járnak, amely a vizsgált rendszerben dolgozókat terheli. Épp emiatt releváns a továbbiakban olyan azonosítási megoldásokat keresni és alkalmazni, amelyekkel az azonosítás automatikusan is megvalósítható, így nem csökkentve az értékteremtésre fordítható időt.

Ábrajegyzék

1. ábra: Digitális modell, árnyék és iker [3]	5
2. ábra: Tipikusan előforduló entitások egy értékteremtő folyamatban [4]	7
3. ábra: Műveleti sorrendeket leíró gráf (precedencia gráf) (példa) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	10
4. ábra: Az entitások gráfmodellje - példa [4]	11
5. ábra: Az entitáscsoportok - példa <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	12
6. ábra: Az összeszerelő munkaállomás <i>(forrás: saját szerkesztés (SketchUp))</i>	16
7. ábra: A felhasznált alkatrészek <i>(forrás: saját szerkesztés (SketchUp))</i>	17
8. ábra: X késztermék és a hozzá tartozó közvetlen igény gráf <i>(forrás: saját szerkesztés (SketchUp, MS Powerpoint))</i>	18
9. ábra: Y késztermék és a hozzá tartozó közvetlen igény gráf <i>(forrás: saját szerkesztés (SketchUp, MS Powerpoint))</i>	19
10. ábra: 11. ábra: Z késztermék és a hozzá tartozó közvetlen igény gráf <i>(forrás: saját szerkesztés (SketchUp, MS Powerpoint))</i>	20
12. ábra: Egy munkautasítás a munkaállomáson <i>(forrás: saját fénykép)</i>	25
13. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (1. eset – X termék) <i>(forrás: saját fénykép)</i>	28
14. ábra: Az üzemet (felül) és az operátort (alul) azonosító QR-kódok <i>(forrás: saját fénykép)</i>	30
15. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (5. eset – Y és Z termékek) <i>(forrás: saját fénykép)</i>	33
16. ábra: Az összeszerelő munkaállomás (6. eset – Y és Z termékek) <i>(forrás: saját fénykép)</i>	34
17. ábra: Az azonosított entitások száma közötti összefüggés <i>(forrás: saját szerkesztés)</i> .	35
18. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása azonosítás nélküli esetben	37
19. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (1. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	38

20. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (2. eset) *(forrás: saját szerkesztés)* **Hiba!**

A könyvjelző nem létezik.

21. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (3. eset) *(forrás: saját szerkesztés)* 39

22. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (4. eset) *(forrás: saját szerkesztés)* 39

23. ábra: A tevékenységek jellegének megoszlása (5. eset) *(forrás: saját szerkesztés)* 40

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Közvetlen igény mátrix (X termék) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	19
2. táblázat: Közvetlen igény mátrix (Y termék) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	20
3. táblázat: Közvetlen igény mátrix (Z termék) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	20
4. táblázat: A leolvasott információkat tartalmazó fájl (részlet)	25
5. táblázat: Entitástípusok számossága szintenként (1-5. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i> 26	
6. táblázat: Az azonosított entitások száma (1. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	27
7. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (1. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i> .27	
8. táblázat: ADTI(M) és GDTI(M) indikátorok (1. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	27
9. táblázat: Az azonosított entitások száma (2. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	29
10. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (2. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i> 29	
11. táblázat: ADTI és GDTI indikátorok (2. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	29
12. táblázat: Az azonosított entitások száma (4. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	31
13. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (4. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i> 31	
14. táblázat: ADTI és GDTI indikátorok (4. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	32
15. táblázat: Az azonosított entitások száma (5. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	32
16. táblázat: A digitális átláthatósági indikátorok [%] (5. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i> 32	
17. táblázat: ADTI és GDTI indikátorok (5. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	33
18. táblázat: Az azonosított entitások száma (6. eset) <i>(forrás: saját szerkesztés)</i>	34
19. táblázat: Az értékteremtő tevékenységek időszükséglete [s]	36
20. táblázat: Leolvasás nélküli átfutási idők.....	37

Irodalomjegyzék

- [1] *Tubis, A. A., Poturaj, H. (2021). Challenges in the implementation of autonomous robots in the process of feeding materials on the production line as part of Logistics 4.0, Logforum, 17 (3), pp. 411-423. DOI: <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2021.611>*
- [2] *Albrecht, T., Baier, MS., Gimpel, H. [et. al.] (2024). Leveraging Digital Technologies in Logistics 4.0: Insights on Affordances from Intralogistics Processes, Information Systems Frontiers, 26, pp. 755-774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6>*
- [3] *Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C. (2020). Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research, IEEE Access, 8, pp. 108952-108971, DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>*
- [4] *Bóna, K., Molnár-Major, P. (2023)., Quantification of transparency in the digitization of intralogistics material flow processes. BME KJK, ALRT.*
- [5] *Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification, IFAC-PapersOnLine, 51 (11), pp. 1016–1022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>.*
- [6] *Shao, G., Helu, M. (2020). Framework for a digital twin in manufacturing: Scope and requirements, Manufacturing Letters, 24, pp. 105–107, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.04.004>.*
- [7] *Bergs, T., Gierlings, S., Auerbach, T., Klink, A., Schraknepper, D., Augspurger, T. (2021). The Concept of Digital Twin and Digital Shadow in Manufacturing, Procedia CIRP, 101, pp. 81–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.02.010>*
- [8] *Bóna, K., Termelési logisztika – Ipar 4.0, logisztika 4.0 előadás prezentáció. BME KJK, ALRT. URL: <https://edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2024. 04.14.)*
- [9] *Tao, F., Qi, Q., Liu, A., Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing, Journal of Manufacturing Systems, 48, pp. 157-169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>.*
- [10] *Mukkavaara, J., Jansson, G., Olofsson, T. (2018). Structuring information from BIM: A glance at bills of material. 35th International Symposium on Automation and*

Robotics in Construction, Berlin, Németország. DOI:

<https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0052>

- [11] Bertalan, M., **Termelési logisztika – Anyagszükségleti tételjegyzék gyakorlati jegyzet.** BME KJK, ALRT. URL: <https://edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2024. 04.15.)
- [12] Fottner, J. [et. al.] (2021). **Autonomous Systems in Intralogistics - State of the Art and Future Research Challenges.** *Logistics Research*, 14:2, pp. 1-41. DOI: https://doi.org/10.23773/2021_2