

**MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR**



**RAKTÁROZÁSI FOLYAMATOK HATÉKONYSÁGNÖVELÉSI
MÓDSZEREINEK ELMÉLETI MEGALAPOZÁSA ÉS KIDOLGOZÁSA
VALÓS IDEJŰ HELYMEGHATÁROZÁSI RENDSZER (RTLS)
ALKALMAZÁSÁVAL**

CÍMŰ PH.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

Bátori Tamás István
okleveles gépészmérnök (MSc)

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika tématerület
Logisztikai Intézet

Prof. Dr. Kovács László
egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ
Prof. Dr. Tamás Péter
intézetigazgató, egyetemi tanár

TÁRSTÉMAVEZETŐ
Prof. Dr. Illés Béla
professor emeritus

**Miskolc
2026**

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	1
2. A szakirodalom áttekintése, A kutatás módszertana és célkitűzései.....	2
3. A vizsgált logisztikai rendszerváltozatok lehatárolása.....	7
4. RTLS technológiai szempontú kiválasztása.....	9
5. Bevezetési folyamat valós UWB-RTLS használatával.....	15
6. RTLS alapú folyamat fejlesztési keretrendszer működési koncepciója.....	23
7. Összefoglalás.....	31
8. Summary	33
9. Irodalomjegyzék.....	35
9.1 Az értekezés témakörében használt saját publikációk	35
9.2 Az értekezés témakörében használt idegen publikációk	36

1. BEVEZETÉS

A fejezetben bemutatom, hogy a világpiaci események kihívásaira is reagálva mi motivált abban, hogy a kutatási témában összegyűlt szakmai tapasztalataimat, szakirodalmi gyűjtésemet és kutatásomat e dolgozatban foglaljam össze.

Gyakorlati szakember vagyok, több mint 20 éve egy magyarországi AIDC szektorban tevékenykedő és piacvezető közép vállalatnál dolgozom.

A munkám során több száz darab mobil adatgyűjtési-, azonosítás-technológiai, nyomkövetési projektet vezettem a logisztikai folyamat-tervezéstől a fizikai megvalósításig vagy éppen ezek továbbfejlesztésében. Láttam és napi szinten érintkeztem az egyes AIDC eszközök és technológiák látványos fejlődésével, neves globális ipari gyártók világszerte tartott tréningjein vettem részt és naprakész rálátásom lett az iparágban történt dinamikus és egyre gyorsuló fejlődésre. 2017-ben találkoztam először az RTLS technológiával egy neves európai autógyár intralogisztikai egységében. A technológia élő prezentációja után tudtam, hogy olyan innovációba kaphattam betekintést, ami forradalmasíthatja az intralogisztika vagy termelés – kiszolgálás addigi ismert eszközeit, vetületeit, folyamatait a hatékonyság növelése érdekében. Azonnal belevettem magam a technológia megismerésébe, valamint vállalatom támogatásával és gyors partneri kapcsolat felépítésének köszönhetően - 2018-ban már saját továbbfejlesztésű RTLS technológiát sikerült bevezetnünk egy észak-magyarországi nemzetközi autóiipari Tier1 beszállító vállalat termelés-kiszolgáló logisztikai rendszerében. A rendszer mellőzte az addig ismert vonalkód és rádiófrekvenciás félautomata adatgyűjtő eszközöket és rádiós hálózatot. A telepített UWB alapú RTLS használata mellett 99,99% működési pontosságot és 20% erőforrás megtakarítást sikerült elérnünk a korábbi vonalkód alapú Auto ID rendszerhez képest. A telepített rendszer megtérülési ideje (ROI) 1 év alatti lett. Nem volt kérdés számomra, hogy olyan technológiai tudás és tapasztalás lett a birtokomban, amely az eddigi technológiákat „forradalmasítja”.

Közvetlen a projekt után - más felmerülő, a piac igényei által előhívott valós logisztikai feladatok esetében is - úgy gondolkodtam, hogy az RTLS technológia lehet minden esetben a legjobb megoldás.

Rá kellett jönnöm, hogy mint minden technológiának – az RTLS -nek is vannak korlátjai, és mivel a technológia még magyarországi KKV viszonylatban alapvetően drágának, azaz magas költségű kezdő beruházásnak számít, - nem minden esetben lehet időben megtérülő is.

Ekkor kezdtem el érdeklődni, kutatni az iránt, - hogy vajon milyenek a nemzetközi tapasztalatok a témában, melyek azok a kifejezett logisztikai területek vagy logisztikai kihívások, ahol az RTLS technológia bevezetésének időszerűsége és szükségessége „egyeduralmat” jelenthet az iparágban és ezzel egyidőben az a kérdés is foglalkoztat, hogy melyek azok a területek, kihívások, - ahol igazából nem jöhet szóba - a hatékonyságot vagy megtérülést szem előtt tartva.

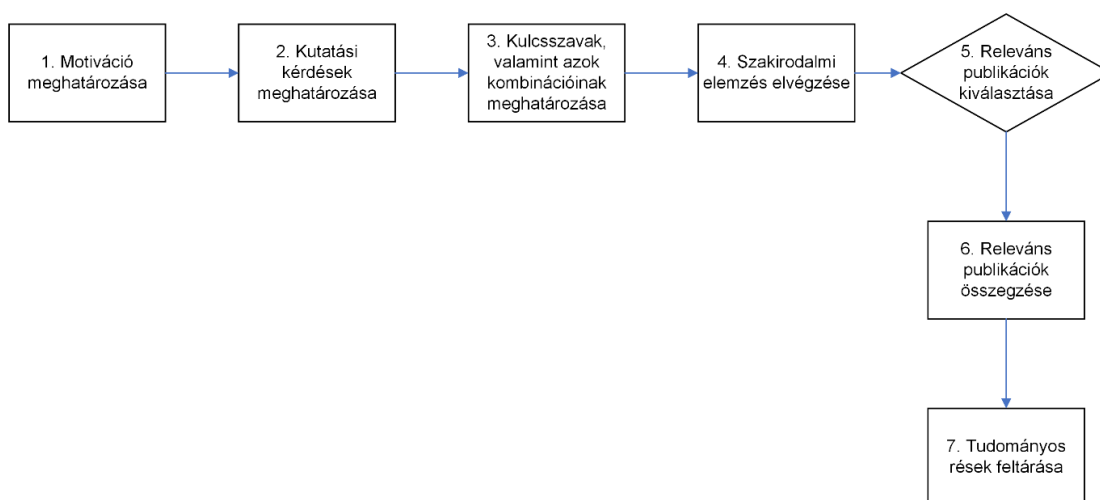
Röviden összefoglalva azt mondhatom, hogy piacvezető és kimagasló termékek és rendszerek használata és ismerete mellett, az RTLS technológia egy abszolút felívelő, dinamikus fejlődő, - viszont az alkalmazáson még kétkedő és gondolkodó vállalatok életében mégis még úttörő korszakában lévő technológiával sikerült munkám során olyan egyedi tapasztalatokra és ismeretekre szert tennem, amely megalapozza a dolgozat megírásának jelentőségét és aktualitását. Magyarországon belül pár tucat bevezetés reprezentálja 2025-ben az RTLS piacot, amely véleményem szerint óriási fellendülés előtt áll. Jómagam és pár tucat szakember azon dolgozunk hazánkban, hogy ezt a technológiát megismertessük és érthetővé tegyük a logisztikai szolgáltatók és más gyártó cégek szakemberei számára. Bízom benne, hogy a dolgozat egy számottevő lépés lehet annak érdekében, hogy ezt a személyes kitűzött célt elérjem.

2. A SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE, A KUTATÁS MÓDSZERTANA ÉS CÉLKITŰZÉSEI

A szakirodalom áttekintésének elsődleges célja a vizsgált tématerülettel kapcsolatos releváns hazai és nemzetközi kutatási eredmények, valamint a kulcsfontosságú megállapítások rendszerezett bemutatása. E folyamat során különös hangsúlyt kapnak azok a bizonyítékok, amelyek az elemzés tárgyát képező tudományos eredmények alátámasztására vagy – adott esetben – cáfolatára alkalmasak.

A vizsgált terület fejlődésének, valamint az aktuális tudományos rések, fejlesztési lehetőségek feltárására tehát a szisztematikus irodalomkutatás módszerét (SLR) alkalmaztam [1].

A módszer lépései a következő ábrán tekinthetők meg;



1. ábra - Az SLR folyamata [1]

A szisztematikus irodalomkutatás lépései:

- Motiváció meghatározása:** A helymeghatározási technológiák robbanásszerű technológiai átalakuláson mentek keresztül, így az aktuális típusok, valamint azok integrációs lehetőségeinek feltárása, alkalmazása új - eddig nem ismert – előnyökkel járhat logisztikai alkalmazások tekintetében.
- Kutatási kérdések definiálása:** A kutatási téma szakirodalmi elemzése során a következőkre keresem a választ:
 - Melyek azok az RTLS-ek, melyeket intralogisztikában, raktározásban alkalmaznak?
 - Melyik rendszerváltozat(ok), technológiai változat(ok)) alkalmas(ak) az RTLS technológiák közül kifejezetten raktározási folyamatok fejlesztésére?
 - Milyen bevezetési folyamat alapján történik az RTLS alapú logisztikai fejlesztés raktárban, intralogisztikában ?
 - Milyen hatékonysági mutatószámok, keretrendszerek reprezentálják az RTLS technológia - mint folyamatfejlesztési eszköz - relevanciáját a technológiával támogatott raktárak esetében?
- Kulcsszavak, valamint azok kombinációinak meghatározása:** Az előző pont alapján megállapítható, hogy a tematikus irodalomkutatás rendkívül komplex, hiszen négy kutatási

tématerületen és három részterületen összesen 27 kulcsszó alapján tártam fel releváns publikációkat (1. táblázat). Az egyes kutatási területeken a hivatkozott publikációk időrendi sorrendben következnek, ami lehetővé teszi a téma evolúciójának és trendjeinek nyomon követését, az egyes megállapítások időtállóságán keresztül a publikáció relevanciájának megítélését.

	Kutatási téma / részterület	Kulcsszavak száma
1	RTLS -ek raktárban, intralogisztikában	6
2	Raktározási folyamatok fejlesztésére alkalmas RTLS technológiai szempontú kiválasztása	4
3	RTLS bevezetési folyamata raktárban, intralogisztikában	8
4	Hatékonysági mutatószámok, keretrendszerek RTLS technológiával támogatott raktárak esetében	9
Mindösszesen :		27

1. táblázat – A tématerületek és a kulcsszavak áttekintése [saját szerk.]

Fontos feltételezéssel indulva majd nagy számú (120 darab) forrásanyag gyors elővizsgálata után megállapítottam, hogy

- a fellelhető források esetében minden esetben az 'RTLS' és 'Real Time Location System' címszavak keresése ugyanazt az eredményt hozza.
- A kereséséből kizártam néhány fontos kulcsszavat is: **RTL**, Return To Launch Site (RTLS), **R.T.I** mert ezekre a kifejezésekre egészen más tudományterület anyagai jönnek elő.
- A témában kis számú (3 darab) magyar nyelvű forrásanyag található (és ezeknek egyúttal létezik az angol verziója is), ezért a kulcsszavakat kizárólag angol nyelven definiáltam.

4. **Szakirodalmi elemzés elvégzése:** A kulcsszavakra történő idősoros keresés céljából több lehetőséget is megvizsgáltam;

A **Scopus**-ban [2] intézményi affiliációval lehet keresni (University of Miskolc). A legfőbb érv, amely a kiválasztás mellett szerepelt a nemzetközi tudományos közösségben való elfogadottsága, valamint az, hogy szinte minden minőségi tudományos folyóirat **Scopus** által indexelt, amely széleskörű vizsgálatot tett lehetővé. Az adatbázisok nyújtotta keresési funkciók alkalmazásával a cikkek címét, absztraktját és kulcsszavait egyszerre vizsgálva a kulcsszavas keresés látványos és felhasználóbarát eredményfeldolgozással párosul, az eredményeket a későbbiekben ismertetem (kutatási kérdésenként).

Az 'RTLS' kulcsszóra, további feltételek megadása nélkül **918 darab** találatot kaptam a **Scopusban**. A 4 darab kutatási irányra vonatkozó találatokat tovább szűkítettem a következő statisztikai kiértékelésekben (4) szereplő szűrőfeltételek és az egyes tudomány területi találatok (pl. biológia, sebészet stb.) kizárásával. További releváns tartalmak érhetők el az **RTLS szállító vállalatok** saját weboldalain vagy saját mikroblogjain is, nagy számú esettanulmány segíti a szélesebb perspektívát a kutatásban. A kulcsszavakat AND, illetve OR logikai operátorokkal kapcsoltam össze.

5. **Releváns publikációk kiválasztása:** Az SLR kutatási elemzés folyamatának negyedik pontja tehát tartalmazta az előzőekben meghatározott kutatási területekre kiterjedő tematikus irodalomkutatás során feltárt publikációkból megismerhető statisztikákat. Az idősoros statisztikákból sok információ vonható le, néhányat kiemelek;

- az RTLS-ek ugrásszerű piaci robbanása 2014-től indukálta igazán a kutatásokat, **a 2020-as években fogantak a tudományos anyagok döntő többsége,**
- az RTLS dokumentációk legjellemzőbb földrajzi **forrásai Európa és Észak-Amerika,**
- számosságát tekintve nem túl gazdag a téma irodalma.

A szűrések eredményeként kapott publikációk absztraktjainak áttekintését **követően 54 darab publikáció került kiválasztásra,** valamint részleteiben tanulmányozásra.

6. Vizsgált publikációk összegzése: A vizsgált publikációk tartalmi áttekintése alapján három terület összegzésére került sor:

- **RTLS technológiai kiválasztása:** Azon RTLS-ek összegyűjtése, melyek alkalmazhatóak raktárban vagy intralogisztikában általánosan. A szóba jöhető rendszerek közül olyan technológiák kiválasztása melyek alkalmasak logisztikai folyamatok fejlesztésére, azaz logisztikai hatékonyság növelésére.

Összefoglalóan feltárássra került a valós idejű helymeghatározás geometriára alapozott elméleti háttere [S1], illetve a valós fizikai környezetben történő adaptáció alapvető fizikai és technológiai kérdései is [S2]:

- Az UWB szabvány, amely lehetővé teszi a raktári távolságmérést.
- Kétirányú (TWR – Two Way Ranging) távolságmérés.
- Érkezés időbeli különbségén alapuló (TDOA- Time Difference of Arrival) távolságmérés.
- Nehézségek az UWB technológia raktári alkalmazásában.
- BLE – RSSI technológia, mint a helymeghatározás egyik „kakukktója”.
- Korábban telepített raktári wifi rendszer alkalmassági kérdései helymeghatározásra vonatkozóan.

A szakirodalmi feldolgozás során továbbá elvégeztem a raktározási, intralogisztikai folyamatok támogatására és hatékonyságának növelésére alkalmas és szóba jöhető RTLS technológiák összegyűjtését. A valós idejű helymeghatározás elméleti alapjainak szakirodalmi feldolgozása után arra kerestem választ, hogy **létezik-e a szakirodalomban kifejezetten raktári, intralogisztikai folyamatok támogatására alkalmas RTLS kiválasztási módszertan.** A szakirodalom feldolgozása alapján megállapítottam, hogy **eddig nem került kidolgozásra ilyen módszertan. A kiválasztási módszertan megalkotásában tudományos rést találtam, amely arra predesztinált, hogy kutatást és javaslatok megfogalmazását végezzem el a témában.**

- **RTLS bevezetési folyamat:** hogyan, milyen lépésekben történhet a logisztikai folyamatfejlesztés RTLS technológia használata mellett.

Az szakirodalom feldolgozási eredményei azt mutatják, hogy az RTLS hatékonyságnövelő eredményei a logisztikai jellegű alkalmazások esetében a legérdekesebbek a megkérdezett vállalati szakemberek számára: a logisztikai objektum követése és navigálása, a keresési idők csökkentése, valamint megrendelések és késztermékek követését tartották a legfontosabb RTLS előnynek a szakirodalmi kutatásokban. A szakirodalom helyezte számomra előtérbe, hogy a **költségek, a különböző logisztikai folyamatok időtényezői és az anyagáram útvonal optimalizáció** lehetnek azok a **legfontosabb indukáló mutatók, melyek legitimálják az RTLS logisztikai fejlesztések szükségességét.**

Ugyanakkor a szakirodalomban nem találtam egyértelmű választ arra vonatkozóan, hogy milyen lépésekben történhet a logisztikai folyamatfejlesztés RTLS technológia használata mellett. Gyakorlati logisztikai szakemberek számára viszont nélkülözhetetlen információ lehet egy ilyen fejlesztés bevezetési lépéseinek előzetes ismerete. Javasolt lépések segíthetik a bevezetés előzetes feltételrendszerének ismeretét, felmérését. Egy bevezetési módszertan választ adhat olyan kérdésre is, hogy egyáltalán érdemes-e logisztikai hatékonyságnövelő RTLS fejlesztéshez kezdeni.

A szakirodalom elemzése után **tudományos kutatási rést és lehetőséget tártam fel azzal kapcsolatban**, hogy kutatásaimat egy lehetséges lehatárolt raktári, intralogisztikai környezetben arra orientáljam, **hogy definiálni tudjak egy bevezetési folyamatot arra vonatkozóan, hogy milyen lépésekben történhet az RTLS technológiával támogatott hatékonyságnövelő fejlesztés.**

- **RTLS folyamatfejlesztési keretrendszer:** olyan hatékonysági mutatószámok (KPI-k) és a mutatószámokra támaszkodó folyamatfejlesztési keretrendszerek összegyűjtése, amik leginkább reprezentálják az RTLS technológia, - mint folyamatfejlesztési eszköz - relevanciáját a technológiával támogatott raktárak esetében.

A szakirodalmi feldolgozás egyik fontos ténymegállapítása, hogy **az RTLS önmagában nem alkalmas raktári menedzsment hatékonyságának javítására:** az RTLS egy mérőrendszer (pozíció, útvonal, sebesség, idő), ami ugyan rendelkezik segédeszközökkel a hatékonyság javításának érdekében, de **releváns hatékonyság növelést a WMS (és/vagy FMSS) rendszerek integrációjával lehet elérni.**

A szakirodalom elemzése után **tudományos kutatási rést és lehetőséget tártam fel azzal kapcsolatban, hogy kutatást végezzek - egy lehetséges WMS rendszerrel működő lehatárolt struktúrájú raktár és annak RTLS-sel bővített változata (WMS + RTLS) között, - KPI-kre alapozott folyamatos vizsgálat segítségével.** A KPI-k legfőbb vizsgálati szempontrendszere a raktári költségek csökkentése, a raktári kiszolgáló és belső folyamatok idejének csökkentése és a raktári anyagáramok optimalizációja, valamint munkabiztonság és digitalizáció.

A fenti KPI-kre alapozott folyamatfejlesztési keretrendszer kidolgozását jelölöm ki kutatási célul, amely biztosítja a folyamatos és ciklikus hatékonyság javulást a logisztikai folyamatban.

A kutatás módszertana

A vállalat -ahol 2004 óta dolgozom - fő tevékenységi köre piacvezető nemzetközi beszállítók AUTO ID termékeinek értékesítése, a termékekre alapozott integráció más pl. logisztikai rendszerekkel. Az integrációk döntően hardveres jellegűek (eszközök személyre szabása, kábelezés, illesztés más hardverekhez stb.). Ezt azért tartom fontosnak kiemelni, mert a dolgozatban **többször is hivatkozom saját tapasztalatokra vagy gyűjtött adatokra és szeretném ezeket elhatárolni a foglalkoztatómtól.** Jómagam projektvezetőként veszek részt egy-egy logisztikai fejlesztésben és munkaadóm profilja nem a logisztikai folyamatok fejlesztése, - hanem a kiszolgálása hardverekkel, rendszerekkel. Tehát a tapasztalatokra történő hivatkozások, adatgyűjtések forrása minden esetben projektvezetőként az ügyfeleink logisztikai jellegű problémáinak megértéséből, saját magam általi rögzítéséből és átgondolásából származtatható, azaz egyéni tapasztalás. Logisztikai folyamat jellegű megközelítem egy-egy problémához a munkámon kívüli világ felől érkezett (oktatás a Miskolci Egyetemen, MLBKT), az ezekben rejlő fejlesztési potenciálok nyújtottak motivációt PhD dolgozatom elkészítésére. Gyakorlati tapasztalataim alapján körvonalazódtak kutatási

irányvonalaim, ugyanakkor bizonytalan voltam abban, hogy a meghatározott területek tekintetében milyen tudományos rések lelhetők fel a nemzetközi kutatói világban.

Kutatási célkitűzéseim három darab kutatási területekre vonatkozik;

➤ **Intralógisztikai, raktári környezetben alkalmazható RTLS technológiai szempontú kiválasztásának kutatása**

Szükségesnek tartok átfogó vizsgálatot végezni arról, hogy lehatárolt intralógisztikai vagy raktári környezetben melyik helymeghatározási technológiai változat az optimális választás. A kutatási kérdést számomra elsősorban az adja, hogy a szakirodalom döntő része nem raktári logisztikai környezetben (hanem pl. termelésben vagy egészségügyben) vizsgálja a kérdést, valamint nem található olyan tanulmány, amely az összes szóba jöhető technológiát tudományos alapossággal vetné össze.

Kutatásom során összeállítok egy olyan **vizsgálati szempontrendszert**, amely relevánsan segíti a logisztikai folyamatfejlesztésekre alkalmas kiszolgáló RTLS technológiai optimális változatának kiválasztását. A szempontok alapján **döntési keretrendszert** fogalmazok meg, ami segíti és definiálja az azonosított előfeltételeket megfelelő súlyban figyelembe venni. A döntési keretrendszer segítségével kiválasztásra kerül a lehatárolt raktár logisztikai folyamatfejlesztésére alkalmas RTLS technológia.

A kitűzött cél elérése érdekében matematikai alapú döntési módszer került alkalmazásra; az alkalmazott döntési módszer, a kialakított szempontrendszer, valamint a kiválasztási eljárás együttesen alkotják az **első tézist**.

➤ **RTLS technológia bevezetési folyamata**

Kutatásomban először összegzem és összegyűjtöm azokat az információkat, legjobb praktikákat, gyártók által javasolt technológiai jellegű bevezetési eljárásokat, tapasztalatokat, amik segítik egy általam kutató lehetséges tervezési folyamat megértését és megalkotását, majd ezután térek rá egy általam javasolt **általánosnak tekinthető lépéssorra**, amely segítheti a logisztikai folyamatok fejlesztését RTLS technológia használata mellett.

A lépéssor megalkotása, megalkotásának folyamata adja egyben **második tézisem**.

A feltárt tudományos rések kidolgozását az **induktív következtetés** módszerével végeztem. Elmondható, hogy az induktív következtetés az egyedi esetekből kiindulva halad az általános törvényszerűségek felé, melyek egyben az egyedi esetek magyarázatai is lesznek.

➤ **Folyamatfejlesztési keretrendszer, amely az RTLS - mint folyamatfejlesztési eszköz - alkalmazásának hatékonyságát mutatja**

Ebben a kutatási témában sem találunk a szakirodalomban releváns publikációkat, pedig az üzleti szférában talán ez a legfontosabb kérdés. A dolgozatomban megvizsgálom azt a kérdéskört, hogy egy meglévő logisztikai folyamat információs rendszerébe hogyan illeszthető az RTLS, illetve ha a meglévő információs rendszert átalakítjuk, milyen mutatószámok, kulcsindikátorok mentén érdemes vizsgálni a logisztikai folyamat hatékonyságának változását.

A feltárt tudományos rések kidolgozását az a **deduktív eljárás** módszerével végeztem. A deduktív eljárás az általános törvényszerűségektől kiindulva halad az egyedi módszerek felé, egyben az egyedi esetek vonatkoztathatók is lesznek.

A feltárásban általános **lean alapú, általános módszertant** hívok segítségül, a megfogalmazott **folyamatfejlesztési-rendszer koncepció** alkalmazásával a vizsgálat alá vont vállalat **versenyképessége javulni fog**. A koncepció kidolgozása maga adja **harmadik tézisem**.

3. A VIZSGÁLT LOGISZTIKAI RENDSZERVÁLTOZATOK LEHATÁROLÁSA

A vizsgált RTLS technológiai változat nem minden logisztikai folyamatban tud hatékony lenni. Vannak olyan esetek, amikor működéséből adódóan kifejezetten lassítja az anyag és értékáramot és nem hoz hatékonyság növekedést a bevezetett rendszer. Néhány esetben indokolatlanul nagy egyszeri beruházás lenne az RTLS kiépítése, mert magas kezdeti költségvonzata csak nagyon hosszú távon térülne meg. Szükség van átfogó, raktározási rendszerek és műveletek szempontjából átgondolt vizsgálatra, amely lehatárolja azokat a területeket, ahol az RTLS kedvezőbb ajánlatot ad intralogisztikai egységet működtető felhasználói részére mint az eddig megismert azonosítási, nyomkövetési rendszerek.

A lehetséges logisztikai rendszerváltozatokból a következő változatokat zárom ki a további vizsgálatok alól:

- **A kültéri (nyílt téri tárolás) alkalmazást.** A kültéri helymeghatározás teljesen más megoldást kíván, mert a megismert rádióhullám alapú technológiák kültéri használatban nem terjedtek el az időjárás – rádióhullám terjedésre mért - jelentős befolyásoló tényezője miatt. A hagyományos műholdas alapú GPS technológiák nem alkalmasak logisztikai feladatokra, mert pontosságuk maximum 3 méter vagy afeletti.
- Az RTLS tag-ek szakirodalmi feldolgozásakor már szó volt arról, hogy ezek az eszközök a technológiában rögzítendő az árura/logisztikai eszközre/humán erőforrásra, ezért a zárt téri tárolási módokból **szintén kizárható a folyékony, ömlesztett és gáznemű anyagok tárolásának helymeghatározása.**

Sajnos létezik egy másik nagyon erőteljes korlátozó feltétel is az RTLS technológiák használatánál; **Az RTLS - „z” (magassági) irányú adatgyűjtésének kizárása** [3].

A szakirodalmi feldolgozás során szó volt arról, hogy az RTLS háromszögletes módszerrel számítja ki az RTLS tag x, y, és z irányú közelítő pozícióját, majd megfelelő algoritmus segítségével szoftveresen korrigálja a pozíciókat és előállítja a minél pontosabb x,y síkbéli és „z” azaz a magassági koordinátákat a raktári viszonyítási koordináta rendszerében.

Az elterjedt, logisztikában alkalmazott RTLS-ek 2025-ben még általában nem mérik a „z”, magassági irányú koordinátákat, ugyanis körülményes a mérésük.

Nem zárom ki viszont a vizsgálati körből **azokat az állványos raktári konfigurációkat, ahol általában egy sorban 1-3 tárhely helyezkedik el függőlegesen egymás felett** és nem lényeges az egymás feletti tárhelyek logikai megkülönböztetése a logisztikai folyamatok szempontjából. Kifejezetten ilyen tárhelyek az ún. utántöltési tárhelyek, ahol egyforma árut tárolnak függőlegesen és a készlet fogyáshoz megfelelően történik az áruk lefelé történő mozgása a függőlegesen egymás alatt elhelyezkedő tárhelyeken.

Ezekben az esetekben tehát korlátozó feltételekkel (a „z” magassági irány korlátozott) vagy más speciális megoldással együtt használható az RTLS technológia. Speciális megoldás lehet az ún. **indirekt betárolási módszer**, amikor nem az árut, hanem az árut mozgó anyagmozgató gépet követjük a síkban. A követett gép pozíciója adja az állványzat sori (x,y) adatát, a „z” irányú tárhely pozíciót pedig vagy egyáltalán nem, vagy pedig manuális adatbeviteli módszerrel oldjuk meg.

Az állvány nélküli statikus tárolási mód kifejezetten az RTLS technológia optimális alkalmazási területe, később ezt részleteiben meg fogom indokolni. Ebben a tárolási módban általában egy-egy áruajtából nagyobb mennyiséget kell tárolni és nem követelmény, hogy minden áru egységhez tetszőleges gyakorisággal hozzá lehessen férni. További előny az áru

halmozhatósága. Kedvezőbb a terület és térkihasználás a raktár könnyen és gyorsan átállítható más áruk tárolására, akár naponta váltogatható az áruk tárolási rendje (tárhelyek, elrendezések, megközelítések stb.)

Elvégeztem a kutatási irány logisztikai rendszerváltozatainak lehatárolását. A dolgozat kutatásai minden esetben a lehatárolt logisztikai rendszerváltozatra érvényes. Az általam definiált raktár vagy intralogisztikai objektum a következő tulajdonságokkal rendelkezik;

- a valós idejű helymeghatározás raktári termék típusa minden esetben **darabáru,**
- a vizsgálat és az RTLS kialakítása mindig **zárt raktári térben,** azaz hagyományos vagy csarnok épületformájú térben értelmezhető,
- A darabáru tárolási módja **állvány nélküli soros vagy tömbös elrendezésű,** illetve megengedhető még az **állványos statikus tárolási mód korlátozó feltételekkel.**

4. RTLS TECHNOLÓGIAI SZEMPONTÚ KIVÁLASZTÁSA

Ebben a fejezetben választom ki eddigi szakmai tapasztalataim (dokumentált gyűjtésem) és előzetes szakirodalmi kutatásom alapján az alkalmazható RTLS technológiák közül azt, melynek feladata a lehatárolt logisztikai rendszerváltozat üzemszerű kiszolgálása, azaz amely alkalmas lesz arra, hogy a megfogalmazott gazdasági (hatékonysági) és műszaki (technikai) kritériumokat teljesítse. A vállalat számára megfelelő technológiai rendszerváltozat kiválasztása számos döntési szempont figyelembevételét, valamint egy **normalizálás alapú**, minden lényeges szempontra kiterjedő **döntési módszer** alkalmazását igényli.

A dolgozat vonatkozó szakirodalmi feldolgozásában szó esett az **RFID** alapú, az **optikai elven működő**, a **privát 5G** hálózat alapú, a **Bluetooth RSSI** -t használó, a **WIFI** alapú és az **UWB** alapon működő helymeghatározási rendszerek különleges tulajdonságairól. A vizsgálati körbe ezen felsorolt **6 darab** eltérő helymeghatározási technológiát vontam be.

A kiválasztást segítő döntési kritériumok (szempontok) meghatározását a szakirodalomban több szerző érinti, - de legtöbbször általánosságban, konkrét logisztikai rendszerváltozat megjelölése nélkül, - például *George Oguntala (2018)* felmérése alapján [4]. Ezért a kiválasztás szempontrendszerét kiegészítettem az általam gyűjtött releváns tapasztalatokkal - melyeket a már üzembe helyezett rendszerekről a felhasználók üzemeltetési adatai alapján gyűjtöttem és rangsoroltam.

A szakirodalmi elemzés és saját tapasztalataim alapján tehát a technológiai kiválasztást a következő **szempontrendszer** vizsgálata mentén végeztem el:

- az alkalmazni kívánt RTLS-sel elérhető **pontosság** a követésben (szakirodalom alapján),
- automatikus azonosítás (és a valós idejű követés) **lehetősége és megbízhatósága (saját dokumentált gyűjtésem ügyfélnél elvégzett projektek alapján)**,
- az alkalmazott RTLS tag által **felhasznált energia**, ami arányos az egy feltöltés/akku / elem-csere időpontjától mért RTLS tag üzemelhetőségi idejével (szakirodalom),
- **hatótávolság**, az RTLS tag jeleinek vételére megengedett maximális távolság az Anchortól. A hatótávolság arányos az Anchorok raktárban szükséges „telepítési sűrűségével”, ami beruházási költségek szempontjából befolyásoló tényező (szakirodalom),
- **kezdeti telepítési és beüzemelési (beruházási) költségek (saját gyűjtés)**,
- **skálázhatóság**, ami a telepített RTLS bővítésének egyszerűségét reprezentálja (saját gyűjtés).

Pontosság (P)

Az első és legfontosabb kiválasztási kritérium a helymeghatározás pontossága. Ha raklapszintű elkülönítést szeretnénk egy logisztikai és helymeghatározó rendszerben is, akkor a raklap rövidebb oldalát alapul véve és feltételezünk egy 100·100 mm rendelkezésre álló RTLS tag rögzítési felületet az egységakománnyon, akkor tulajdonképpen adódik is, hogy **a rendszer pontosságának legalább 30cm-nek (300mm) kell lennie minimum**. A 30cm alatti pontosság fokozza a technológiából származtatható lehetőségeket, azonban ezek logisztikai folyamatok elemzéséhez nem szükségesek.

Logisztikai alkalmazások esetén a szakirodalom alapján 30 cm-es (vagy ez alatti) pontosságot (horizontális azaz x-y irányban értendő), 99,9% rendelkezésre állást, 10ms helymeghatározási frissítési időt (10ms-kénti blink indítása az RTLS tag-tól) és maximum 30 km/h (8,34 m/s) mozgási sebesség korlátozást javasolnak. A technológiákra vonatkozó elérhető pontossági értékek az alábbiak;

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
Elérhető pontosság (P, cm)	0,1	10	100	120	150	1

2. táblázat - Elérhető Pontosság (P) értékei RTLS technológiai változatai esetében [saját szerk.]

Automatikus azonosítás lehetősége és megbízhatósága (AAMA)

Vizsgálni szükséges, hogy a kiválasztott RTLS technológia alkalmas-e arra, hogy egy objektum valós idejű helymeghatározásával egyidőben egyértelműen azonosítsa is az objektumot melyet követünk/vagy esetleg szükséges még egy másik párhuzamos rendszer is az egyértelmű azonosításhoz. A rádiós alapú rendszereknél (UWB, RFID, BLE, WIFI, 5G) egyértelmű az azonosítás lehetősége és megbízhatósága, hiszen az RTLS tag-ek rendelkeznek egyedi „blink”-kel (rádiós alapú egyedi azonosító jellel).

Az egyetlen kivétel az optikai kommunikáción alapuló RTLS (IR based RTLS), mert ott az RTLS Tag-nek és az Anchor-nak mindenképpen takarásmentes közeg megléte mellett közvetlen rálátással kell kommunikálniuk egymással. Logisztikai környezetben ez szinte megoldhatatlan feladat, hiszen egy-egy áru, anyagmozgató gép, állvány, ember vagy más objektumok bármikor takarást idézhetnek elő a kommunikációban, sajnos hosszabb ideig is - így megbénítva az adatátvitelt. Ezért az optikai (IR based RTLS) alapú rendszerek valójában sok megkötés és kompromisszum mellett alkalmazhatóak a raktárban.

A fenti megbízhatóságra alapozott információkat - egyszerűsített adatként használva a kiválasztási rendszerben, definiálom az „automatikus azonosítás megbízhatósága és a használati megkötésekből eredő RTLS technológiai felhasználhatósági arány (AAMA)” fogalmát, majd ezt a mutatót az RTLS technológiai változatokra alkalmazva a következő felbontást kaptam (saját szerk.).

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
"AAMA" értéke	10%	95%	90%	99%	99%	99%

3. táblázat - Elérhető "AAMA" értékek RTLS technológiai változatok esetében [saját szerk.]

Felhasznált energia (FE, RTLS tag működési ideje 1 feltöltéssel)

Felhasznált energia alatt az RTLS tag által, - a működtetéséhez szükséges felvett energiát értem. A jellemző annál optimálisabb minél kevesebb energiára van szükség a működtetéshez. A felvett energiával fordítottan arányos az RTLS tag egy feltöltéssel elérhető működési ideje. Ez a jellemző azért fontos, mert ha az azonosítani kívánt jeladó (RTLS Tag, WIFI RTLS tag, Bluetooth tag, stb.) nagy energiaigényű, akkor a sűrű feltöltési / akkucsere időciklus nehezíti a raktári működtetést, azaz logisztikai környezetben nehézségekkel használható a technológia.

A vizsgálat során a szakirodalom eredményeire támaszkodtam. A vizsgált RTLS technológiák üzemeltetéséhez szükséges energiafogyasztást relatív mutató segítségével hasonlítottam össze, a rendszerek egymáshoz viszonyított energiaigénye alapján. Referenciaértékként az optikai alapú RTLS technológia szolgált (értéke: 1), amelyhez viszonyítva kerültek meghatározásra a többi technológia relatív energiafogyasztási értékei. A szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy a passzív RFID-alapú RTLS tagek külső energiaforrás nélkül működnek, mivel a működésükhöz szükséges energiát az RFID antenna által kibocsátott elektromágneses mezőből nyerik (Gładysz, 2017 [77]; Halawa, 2017 [71]).

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
Felhasznált energia mértéke (relatív, FE)	1	1	2	3	4	2

4. táblázat - Relatív Felhasznált Energia (FE) értékek RTLS technológiai változatoknál [saját szerk.]

Hatótávolság (HT)

A paraméter azt mutatja meg, hogy mekkora távolságokon belül szükséges az adott technológiai rendszer variációban az anchorokat, antennákat, vagy egyéb jelfeldolgozó egységeket telepíteni ahhoz, hogy a valós idejű helymeghatározás hibamentesen működhessen. (méter)

Raktár esetében ez a távolság minél nagyobb, annál költségkímélőbb telepíteni az adott RTLS verziót. A korábbi fejezetekben részletezett működés alapján egyes technológiák esetében legalább 3 darab, más technológiák esetében 2 vagy 1 darab Anchor észlelése is elegendő a működéshez, azonban a raktárt kiszolgáló fő funkcionális eszközök sűrűsége miatt inkább minél kevesebb Anchor telepítése a kézenfekvőbb.

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
Maximum Ható - távolság (HT, méter)	5	25	20	50	200	50

5. táblázat - Hatótávolság (HT) RTLS technológiai változatok esetében [saját szerk.]

Telepítési, beüzemelési költségek (C)

Általános RTLS bevezetésével kapcsolatban változó eloszlású költségek merülhetnek fel az egyes technológiák esetében, ezért fontos csoportosítani ezeket:

- Hardverköltségek
- Címkék, Tag-ek költségei
- Olvasók/átjárók (nem minden verzióban) költségei
- Szoftver- és licencköltségek
 - Kezdeti szoftverköltségek
 - Licenclés költségei
- Telepítési és integrációs költségek
- Képzési és támogatási költségek

Az egyes RTLS technológiákra jellemző fenti egyszeri bekerülési költségek nehezen meghatározható és relatív mutatószámok, azonban a gyártók weboldalain [5], [6], [7], [8], [9] és a szakirodalomban [10], [11], is található olyan forrásanyag, amely kérdőívek stb. segítségével mégis támpontot ad az egyes gyártók összehasonlításával és bekerülési pénzügyi sávok kijelölésével. Az összegyűjtött technológiákra vonatkozó egyszeri bekerülési költségek árazása „közepes” méretű projektekre vonatkozik, azaz nagyjából 1000-10.000 m² lefedett terület, maximum 500 darab követendő eszköz, általános iparági kábelezési költségek és bevezetési időszakra konvertált (a teljes működési időszakra megadott licenclétszám bevezetési időszakra koncentrált) szoftver és licenclétszámmal számol.

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
Átlagos telepítési költség (C, USD)	65000	42000	22500	35000	70000	24000

6. táblázat – Átlagos telepítési költségek (USD) RTLS technológiai változatok esetében[saját szerk.]

Skálázhatóság, a rendszer bővíthetősége (S)

A gyakorlat azt mutatja, hogy egy-egy RTLS telepítés kezdetben lassabban, majd 1-2 év múlva dinamikusan kezd el – a lefedendő területek méretét vizsgálva – terjeszkedni a vállalatban belül. Az eredmények és megtérülés általában azt igazolják, hogy célszerű a teljes vállalat területére kiterjeszteni, ezért dinamikus bővítések jellemzik a technológiát. Célszerű tehát olyan technológiai változatot választani, amely technológia esetében szinte „csak” kábelezési és rögzítési kérdés a rendszer bővítése, azaz a rendszer tovább bővíthetősége, skálázhatósága a „végtelenig tarthat” és nem jár a hardver növekvő mennyiségével lineárisan emelkedő költségeken kívül egyéb additív költséggel. A vizsgálat során referenciaként az UWB alapú RTLS-t használtam (értéke = 1). A többi technológiai változat skálázhatóságának mértékét ehhez viszonyítottam (nagyobb érték = nehezebben skálázható);

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
Skálázhatóság mértéke (S, relatív)	3	3	2	2	1	1

7. táblázat - Relatív skálázhatóság (S) RTLS technológiai változatok esetében [saját szerk.]

A döntési módszer lényege, hogy az ismertett kiválasztási kritériumok értékeit normalizálom, majd ezek vállalati fontosság alapján meghatározott súlyokkal képzett súlyozott összegét határozom meg. A módszer eredményeként az a RTLS technológiai változat kerül kiválasztásra, amely a célfüggvény minimális értékét adja.

A célfüggvény értékeinek normalizálása

Ebben a lépésben - az előzőekben leírtak szerint - a döntés szempontjából releváns döntési kritériumok (h) értékeit határozom meg az egyes technológiai változatokra (i), majd ezeket az értékeket normalizálom.

A normalizálás célja, hogy az egyes kritériumok eltérő mértékegységű és nagyságrendű értékei egységes, összehasonlítható formában kerüljenek be a célfüggvénybe. A célfüggvény minimalizálása megköveteli, hogy minden normalizált részérték egységes értelmezésű legyen. A költség-, idő- és erőforrás-jellegű kritériumok esetében ezért direkt normalizálás alkalmazható, míg a haszonjellegű kritériumoknál - ahol a nagyobb érték kedvezőbb megoldást jelent - inverz normalizálás szükséges. Ennek megfelelően az 5.4, 5.8 és 5.12 képletekben az inverz transzformáció biztosítja, hogy a nagyobb haszonérték kisebb normalizált értéket, és ezáltal kedvezőbb célfüggvény-értéket eredményezzen. A normalizálás pozitív, a gyakorlatban előforduló értéktartományt feltételez. Amennyiben ez nem teljesül (pl. max = 0), az adott kritérium nem normalizálható, ezért kizárásra kerül, vagy konstans értékkel, nulla súllyal szerepel a modellben, így a célfüggvényt nem torzítja. A normalizálás során az egyes kritériumértékeket a $[0;1]$ intervallumba transzformálom.

(i : technológiai változat indexe)

1. Pontosság (P):

$$P^{(max)} = \max_i \{P_i\} \quad (5.1)$$

$$\alpha_i^1 = P_i / P^{(max)} \quad (5.2)$$

2. Automatikus azonosítás lehetősége és megbízhatósága (AAMA):

$$AAMA^{(max)} = \max_i \{AAMA_i\} \quad (5.3)$$

$$\alpha_i^2 = 1 - AAMA_i / AAMA^{(max)} \quad (5.4)$$

3. Felhasznált energia (FE):

$$FE^{(max)} = \max_i \{FE_i\} \quad (5.5)$$

$$\alpha_i^3 = FE_i / FE^{(max)} \quad (5.6)$$

4. Hatótávolság (HT) ;

$$HT^{(max)} = \max_i \{HT_i\} \quad (5.7)$$

$$\alpha_i^4 = 1 - HT_i / HT^{(max)} \quad (5.8)$$

5. Telepítés költsége (C) ;

$$C^{(max)} = \max_i \{C_i\} \quad (5.9)$$

$$\alpha_i^5 = C_i / C^{(max)} \quad (5.10)$$

6. Skálázhatóság (S) ;

$$S^{(max)} = \max_i \{S_i\} \quad (5.11)$$

$$\alpha_i^6 = 1 - S_i / S^{(max)} \quad (5.12)$$

Az optimalizálási feladat megfogalmazása:

Az optimális RTLS technológiai rendszerváltozat kiválasztása a többkritériumos döntéstámogatási problémák csoportjába sorolható, amely egy súlyozott összeg típusú optimalizálási feladatként írható le. A célfüggvény az egyes technológiai változatokhoz tartozó normalizált kritériumértékek súlyozott összegeként kerül meghatározásra.

A súlyok meghatározása:

A következő lépésben meghatározom az egyes értékelési szempontok vállalati fontosságát tükröző súlyokat, amelyek az alábbi feltételeknek tesznek eleget:

$$0 \leq w_h \leq 1 \quad (5.13)$$

$$\sum_{h=1}^6 w_h = 1 \quad (5.14)$$

A célfüggvény meghatározása:

$$F(w) = \min_i \sum_{h=1}^6 w_h \alpha_i^h \quad (5.15)$$

A döntési módszer kidolgozásával és a célfüggvény meghatározásával egy olyan matematikai modell került kialakításra, amely alkalmas a lehatárolt logisztikai környezetben alkalmazható optimális RTLS technológiai változat meghatározására. A modell lehetőséget biztosít arra, hogy a műszaki (technikai) paraméterek mellett a gazdasági szempontok is integrált módon jelenjenek meg a döntéshozatal során, ezáltal megalapozott és objektív döntés meghozatalát támogatja.

A döntéshozatali módszer (kiválasztás) alkalmazása

Az (5.15) függvény alkalmazásával kaptam a mellékletben szereplő közelítő számértékeket. Ezen döntési kritériumok tetszőleges súllyal vehetők figyelembe, melyet a vállalatnál használandó technológiai változatra jellemző paraméter – fontossági értékek fognak meghatározni.

A fontossági (döntési) paraméterek súlyainak (w_h) meghatározása szintén része a dolgozatnak, melyet legfőképpen gyűjtött saját tapasztalati (nem reprezentatív megrendelői kérdések és RTLS szállítók megkérdezése alapján) adatok és néhány szakirodalmi ajánlás [22] alapján határoztam meg.

Paraméter neve	súly értéke (w_h)	
Elérhető pontosság	30%	0,3
AAMA	20%	0,2
Felhasznált energia	10%	0,1
Hatótávolság	10%	0,1
Telepítési költség	20%	0,2
Skálázhatóság	10%	0,1

8. táblázat - Súlyok (w_h) meghatározása tapasztalati és szakirodalmi adatok alapján [saját szerk.]

Elemelve a kiválasztási paraméterek szerint a technológiai változatokat, valamint a táblázatban megadott súlyokkal véve a bemeneti szempontokat az optimális technológiának az UWB alapú RTLS technológiai változat adódott. (minimum érték = **0,426905**, ez az érték az $F(w)$ célfüggvény minimuma.)

RTLS változat	Optikai alapú	RFID	BLE - RSSI	WIFI	5G	UWB
Számítási eredmény	0,608212	0,550581	0,669134	0,754667	0,831333	0,426905

9. táblázat - $F(w)$ (5.15) célfüggvény minimumának megállapítása [saját szerk.]

A fejezetben megfogalmazott 6 darab gazdasági és technikai szempont és azok fontosságától függő döntési rendszer alapján egyértelműen megállapítottam, hogy intralogisztikai, raktári környezetben helymeghatározáshoz **az UWB alapú (UWB-RTLS) RTLS technológiai változat** használata az optimális.

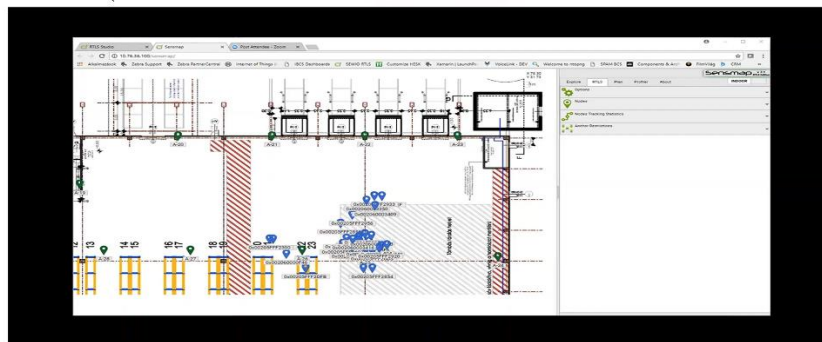
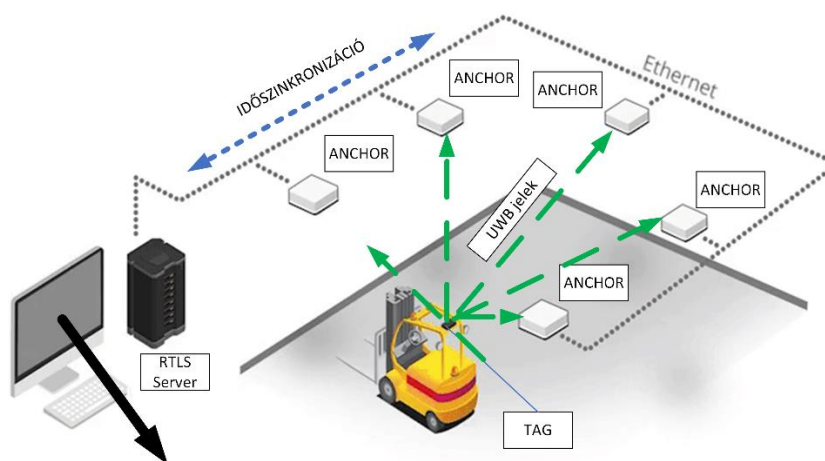
Első tézisem, hogy kidolgoztam a zárt terű állványnélküli darabárus raktározási környezetre vonatkozóan az optimális RTLS technológiai kiválasztásához szükséges logisztikai, gazdasági, műszaki paraméterek halmazát, valamint definiáltam a döntés módszerét. Megállapítom, hogy a vizsgált logisztikai környezetre vonatkozóan, az UWB-RTLS technológiai változat az optimális.

A dolgozat későbbi fejezeteiben kizárólag az UWB-RTLS alapú rendszereket vizsgálom. Ahhoz, hogy a rendszer logisztikai jellegű hatékonyságnövelő tulajdonságait vizsgálhassuk, először szükségesnek tartom egy ilyen rendszer valós körülmények közötti bevezetésének legfontosabb lépéseit, illetve az elkészült rendszert reprezentáló eszközöket, összetevőket meghatároznom.

5. BEVEZETÉSI FOLYAMAT VALÓS UWB-RTLS HASZNÁLATÁVAL

Ebben a fejezetben összegyűjtöm és összegzem azokat az információkat, legjobb praktikákat, gyártók által javasolt technológiai jellegű bevezetési eljárásokat, tapasztalatokat, amik segítik egy általam kutatott lehetséges tervezési folyamat megértését és megalkotását. Ezután térek rá egy általam javasolt **általánosnak tekinthető bevezetési lépéssorra**, amely segítheti a logisztikai folyamatok fejlesztését RTLS technológia használata mellett, **induktív következtés** módszerével.

A dolgozat szakirodalmi feldolgozásában már megismert elméleti rendszerparaméterekből összeállítható UWB-RTLS-hez mindenképp szükséges eszközeink az RTLS-tagek, az RTLS Anchorok, egy kiszolgáló nagy sebességű információs hálózat (pl. Ethernet), nagy processzor sebességű RTLS szerver, amely a trilaterációkat és időszinkronizációt végzi és természetesen valamilyen kapcsolódó felhasználóbarát interaktív felület, ahol vizualizálva láthatjuk a helyzetmeghatározás végeredményét.



2. ábra - Valós UWB-RTLS hardver elemei[S3]

A 2. ábrán található elrendezésben látható rendszermodellben [S3] egy anyagmozgató gép (targonca) valós idejű helymeghatározása és követése valósul meg. Az RTLS tag valamilyen mechanikai kapcsolattal a targoncához lett rögzítve és installációra kerültek az Anchorok is a raktár mennyezetén, - deklarált mm pontosságú pozíciók mentén. Az Anchorok Ethernet kábelekkel az RTLS szerverrel lettek összekapcsolva csillagpontos hálózati architektúra alapján. Beállításra került a szabványos UWB kommunikáció az RTLS tag és az Anchorok között, valamint az Ethernet hálózati kapcsolat is beállításra került. Az Ethernet hálózaton történik az időszinkronizáció az Anchorok és az RTLS szerver között, illetve ezen a hálózaton áramlik az UWB alapú rádiós hálózaton észlelt UWB jelek adatai is.

A fenti rendszert alkalmassá tettük arra, hogy 30 cm-es pontossággal minden miliszekundumban ismerjük a targonca valós pozícióját. Látható, hogy a rendszer a felhasználói

számára végeredményben pedig olyan vizualizációt nyújt, ahol a valós raktári területet digitalizálva, - a képernyőn térképen nyomon követhetjük a targonca valós idejű mozgását, tevékenységét.

A valós RTLS építőelemei

RTLS szerver : a pozíció gyors számítása és az időszinkronizáció a szerver feladata. A valóságban (szakirodalomban [5], [6], [7], [8], [9] és saját tapasztalataim alapján) ennek az RTLS összetevőnek több feladata is van, azonban először bemutatom a szerver **szoftver alapú építőelemeit** :

- **RTLS „Core” szoftvermag**: jelek, információk hatalmas számítási igényt és nagy processzor sebességet igénylő, automatikus feldolgozását végző önálló algoritmus, melynek segítségével az RTLS-ben mozgó és RTLS tag-el ellátott bármilyen objektum x,y,z koordinátái előállnak, valamint meghatározott rendszeresség alapján ezek RTLS nagyméretű adatbázisban tárolásra (visszakövethetőség) kerülnek, - természetesen időbélyeggel.
- **RTLS „Core” adatbázis**: „Core szoftvermag” tevékenysége alapján keletkező historikus és időbélyeggel ellátott pozíció adatok adatbázisa.
- **RTLS Applikációs szerver**: minden olyan funkciót vagy szolgáltatást nyújtó alkalmazás-szerver, amely az RTLS adatbázisában található adatok alapján adatokat, riportokat, elemzéseket szolgáltat a kapcsolódó felhasználók számára.
- **API** (Application Programming Interface) : konnektor (csatoló), amely előre definiált kérések alapján szolgáltat adatokat az RTLS adatbázisából más külső rendszer(ek) felé.

RTLS Applikációs Szerver alapszolgáltatásai:

- **Alapbeállítások (settings)** : RTLS alapfunkciói és beállításai ; Anchor-ok egyedi azonosítása és geometriai pozícióinak (x,y,z) bevitele, RTLS tag-ek egyedi azonosítása, használni kívánt rádiós UWB protokoll, frissítési idők beállítása, autentikáció, titkosítás stb
- **Layout tervező** : 2D-s vizualizációs lehetőség, melynek segítségével a raktár digitalizált síkbeli „másolatán” követhetők az RTLS tagek dinamikus mozgásai. Ehhez a szolgáltatáshoz természetesen be kell állítani a rendszerben a szükséges mértékegységeket (távolságok, idő), digitálisan és mérethelyesen szükséges a rendszerbe integrálni a logisztikai egység alaprajzát. Definiálni szükséges a járható és tiltott logisztikai útvonalakat, - azok korlátozásaival együtt (szélesség, magasság stb.). Ez az alaprajz (raktártérkép) lesz a legalsó réteg a vizualizáción, melyen mozogni fognak a követendő objektumok.
- **Navigációs alrendszer** : A normál kültéri GPS-nek megfelelő térkép (layout) alapú útvonal tervező rendszer, amely megtervezett raktári útvonalak mentén irányítani tudja kezelőjét.
- **Virtuális Zónák (geofence)** : Virtuális zónának nevezzük azt a bármilyen zárt geometriai sík alakzatot képviselő területet az RTLS vizualizációban, melyet valamilyen szempont alapján vizsgálni, elemezni szeretnénk az alkalmazott logisztikai folyamatban. Egészen pontosan nem is magát a zónát, hanem az abba érkező tartózkodó vagy kilépő objektumokat, melyek RTLS tag-gel követhetők. Azért virtuális tehát, mert a raktárban található valós zárt geometriai területtel azonos másolaton dolgozunk a digitális ikerben, - az RTLS vizualizációban úgy, hogy a valós területet közben nem zavarjuk. A virtuális zóna, mint egység különleges szereppel bír az RTLS működtetése során, mert az applikációs szerveren létrehozott zónákhoz különböző **triggereket vagy eseményeket** lehet rendelni, kapcsolni, - melyek automatikusan indulnak / leállnak egy

– egy RTLS tag virtuális zónába történő érkezése / kilépése / vagy éppen meghatározott idejű tartózkodása esetében. Például egy kitárolási zónából történő kilépéskor automatikus szállítólevél – generálódik a kapcsolódó könyvelési rendszerben az alkalmazott triggerek segítségével, esetleg éppen a tiltott zónába érkező anyagmozgató jármű vezetője felé automatikus telefonos riasztást küld az RTLS.

Logisztikai felhasználókat támogató alapszintű RTLS lekérdezési szolgáltatások

Olyan alapvető lekérdezés jellegű gyártók által beépített alap szolgáltatások, melyek használatával elkerülhetőek az olyan additív fejlesztési igények, amelyek RTLS historikus adatokra épülnek. Azért fontos ezeket összefoglalni, mert a bevezetés során törekedni lehet ezek használatára;

- Virtuális zónákban eltöltött idők vizsgálata,
- Flotta (anyagmozgató gépek) működési hatékonyságának mérése,
- Hő térképek (Heat Map) - blokkoló tényezők és szűk keresztmetszetek feltárása,
- Spagetti térkép - flotta működése és folyamatos áramlásának hatékonysági mérése,

RTLS felhasználási területeinek csoportosítása

Nincsenek deklarált receptúrák arra vonatkozóan, hogy hogyan lehet (szükséges) az RTLS-t adaptálni a leghatékonyabban a logisztikai- anyag vagy értékáramlási folyamatok precíz és megbízható támogatásához, azonban a rendszerek telepítésében eltelt közel 1 évtizednyi idő már elég tapasztalattal és kiforrottsággal látott ahhoz, hogy **körvonalazzam azokat a lehetőségeket, folyamatokat, vállalati helyszíneket, eszközöket - ahol az RTLS komoly támogatást jelent a felhasználóknak.** Továbbá támaszkodom a szakirodalmi kutatásban már bemutatott publikációkra is [12], [13], [5] [6]. Három határozottan elkülöníthető felhasználási módját ismertem meg az RTLS-eknek;

Művelet követés (folyamat követés): ha az RTLS-t, mint független mérőrendszert használjuk a termékek / anyagok / eszközök nyomkövetésére akkor a teljes anyagáram folyamat bármely műveletének átalakítása közben / mellett és után is sérülésmentesen és változtatás nélkül folyamatosan működik és valós idejű termelési adatok gyűjthetők az anyagáram egészéről. Az RTLS által művelet követéshez kapcsolható előnyök a következők;

- A keresési idő csökkentése,
- Optimalizált anyagáramlás,
- Triggererekhez kapcsolt automatizált műveletek használata,
- Minőségbiztosítás,
- Okosabb (smart) tervezés.

Humán erőforrások követése : A logisztika az emberekre, dolgozókra is támaszkodik (nem csak a gépekre, berendezésekre), hiszen a karbantartók, operátorok, feltöltők, kiszedők, sofőrök minden logisztikai folyamatban jelen vannak. Fontos kérdéskör foglalkozni a munkabiztonsággal is, hiszen 1 darab baleset is nagyon sok egy logisztikai objektumban. A munkabalesetek megelőzésének vagy elemzésének pedig elengedhetetlen feltétele az, hogy ismerjük a dolgozók deciméteres pontosságú mozgásának történetét. Ebben segít egy kiépített, - teljes fizikai logisztikai folyamatot lefedő RTLS.

Dolgozói mozgásokat követő RTLS-t tehát baleset megelőzésre és baleset körülményeinek feltárására használhatjuk első sorban, de ezenkívül számos más előnye is van a technológia ily módon történő használatának;

- digitalizált valós munkaidő nyilvántartás,

- térbeli mozgásokhoz köthető be / kiléptetés,
- teljes rálátás a munkaerőre,
- vészhelyzet / evakuálás felgyorsítása,
- Balesetek megelőzése, ember - gép / esetleg áru találkozásának biztonságossá tétele, műszakváltások optimalizációja, Covid szabályrendszer betartása.

Anyag, készlet, eszköz, szerszám követés: A termelés kritikus fontosságú feltétele az optimalizált anyagáramlás illetve legtöbb esetben annak időbeli folyamatossága és hosszútávú fenntartása. A gyártás során általában mozgó gyártmányok (gyártásban lévő fő termékek), mozgó szerszámok és kiszolgáló berendezések, az egyes műveleti területekhez tartozó alapanyagok, alkatrészek vesznek részt az emberi erőforrások mellett a folyamatban. Az optimalizált anyagáramlás esetén az előírt terveknek megfelelő mennyiségben és minőségben készül el a gyártás során a késztermék, minimalizált gyártáshoz kapcsolódó készletek és költségek mellett. Sok paramétertől függ egy gyártás sikere mely paramétereket alkalmazott RTLS segítségével dinamikusan tudjuk mérni és optimalizálni azaz befolyásolni. A legtipikusabb, leginkább kiélezett és legösszetettebb gyártási körülmény talán a szalagszerű összeszerelő üzem működése. Ennek figyelembe vételével röviden áttekintem azokat az előnyöket melyet egy RTLS szolgáltathat ilyen jellegű gyártási és a kapcsolódó logisztikai feladatok során ;

- **a késztermék (pl.gépkocsi) szerelősori útjának teljes lekövetése** a gyártási folyamaton, - deciméter pontossággal,
- Az RTLS taggal ellátott késztermék mozgási (műveleti) információi alapján indított gyártást kiszolgáló ún. **KANBAN kérések lehetősége,**
- A mozgó összeszerelendő késztermék adott **műveleti pozícióhoz érkezésekor az RTLS segítségével automatikusan konfigurálhatók a műveleti helyhez kötött berendezések, szerszámok, kiszolgáló egységek,**
- teljes egészében mérhetők és figyelhetők a gyártórendszerre jellemző **prediktív karbantartáshoz szükséges előírányozott működési idők,**
- a **vevői auditok** a gyártórendszer virtuális ikerpárján is elvégezhetőek,
- a gyártásra meghatározott **kizárások** is elvégezhetőek.

RTLS tervezésekor **mérlegelni szükséges,** hogy **műveleteket, humán erőforrásokat és anyagokat, eszközöket, szerszámokat** milyen kombinációban szükséges követnünk. A legkomplexebb RTLS tag-elési feladat a raktár és a termeléskiszolgálás esetében jön elő, hiszen ezekben a folyamatokban mindhárom fogalmi kört követni szükséges.

Költségek és költségcsökkentési lehetőségek vizsgálata az RTLS bevezetésével kapcsolatban

Az RTLS alapeleme az **RTLS-tag. 2025-ben 80 – 100 EUR a költsége** egy-egy UWB szabványos, TDoA és TWR szabványos rádiós kommunikációt ismerő, alap tokozással rendelkező (tehát nem robosztus mechanikai/hő/vízálló) tagnek. Önmagában nem magas költség, azonban a tag-ek általában nagyobb mennyiségben szükségesek egy-egy logisztikai objektum teljes (áru, anyagmozgató eszköz, humán erőforrás, műveleti idők stb.) valós idejű vizsgálatához, ezért könnyen megeshet, hogy több száz vagy több ezer ilyen tag-re lenne szükségünk. **A nagymennyiségű igény viszont már tetemes költséget jelent, egy ilyen vásárlás pedig minden esetben gondosan megfontolandó. A legtöbb projekt ezen a ponton „el szokott bukni”.** Ezért nagyon fontos átgondolni azt, hogy mit is akarunk elérni az RTLS

használatával. Biztosan szükséges-e minden anyagot követni ? Vannak-e olyan megoldási lehetőségek, amikkel csökkenthetőek az RTLS tag-ek száma ? Erre több praktika is van már az iparágban; ilyen például az ún. **indirekt követés** vagy az **áru helyett az egységrakomány-képző eszköz követése**. Hogyan oldható fel az az anomália, hogy jelentős kezdő beruházás allokációja esetén is megállhat egy RTLS bevezetési projekt? Az iparág erre a kihívásra gyors reakcióval válaszolt.

Pilot projekt lehetősége nagyvolumenű döntés támogatásához

Az UWB-RTLS-ek sajátossága, hogy jól és széles tartományban skálázhatóak, azaz viszonylag egyszerűen bővíthetőek. Az UWB-RTLS pár darab RTLS tag-tól akár több ezer RTLS tag-et is le tud kezelni, mint ahogy 4 darab antennától kezdve több ezer antennáig is le tud fedni szükséges térrészeket.

A kezdeti nagy költségek eliminálása miatt általános bevezetési protokollá nőtte ki magát, hogy az UWB-RTLS szolgáltatók pilot-projektet ajánlanak egy nagy bevezetés kezdő lépéseként. Ez általában tartalmaz egy mobil és gyorsan összeállítható pilot rendszert; 4-5 Anchorral melyek akkumulátorokkal és mobil állványokkal, valamint WIFI alapú időszinkron protokollal könnyen telepíthetőek, tartalmaznak 10-12 darab RTLS-tag-et, valamint egy egyszerűsített kiszolgáló rendszert (3-4 Anchorhoz nem szükséges komoly hardver a trilaterációra). Ezeket az építőelemeket akár pár óra időtartamban összeintegrálva és a helyszínről készített raktári alaprajzot is mm pontossággal implementálva, gyors és hatékony valamint mérési célokra megfelelően alkalmazható eszköz áll készenlétben. Ezek az eszközök általában az UWB-RTLS szolgáltató tulajdonai; csak a tesztelési időszakra adja bérbe a megrendelő részére. Így tulajdonképpen egy kis kezdeti költségvetésű mintarendszer áll a megrendelő rendelkezésére, melyben elvégezheti az egész intralogisztikai objektumra jellemző (és a későbbiekben kiterjeszthető) alapvető funkcionális teszteket, méréseket. [14]

Az RTLS pilot rendszerben mért hatékonyságra vonatkozó mutatószámok pedig egész egyszerűen adaptálhatók a teljes raktárra vagy intralogisztikai egységre vonatkoztatva. Amennyiben a hatékonysági mutatók reprezentálják az elvárásokat és a beruházás megtérülése 1 év vagy azalatti, - indulhat a teljes RTLS projekt.

Az RTLS bevezetés utáni életciklusa

A bevezetés elindítása után elindul az RTLS életgörbéjének első fontos fázisa, **az adatgyűjtési fázis**. Az adatgyűjtési fázisban a felhasználók kijelölik azokat a területeket, eszközöket, erőforrásokat, melyeket időben és térben mérni, vizsgálni szeretnének. Átgondolják és elkészítik azokat virtuális zónákat (valós területeket) melyek segítik a logisztikai folyamat pontosabb átláthatóságát, vizsgálatát. Finom hangolják a szükséges mérési időintervallumokat: azaz mit? hol? milyen időfelbontásban szükséges vizsgálni? Beállításra kerülnek a rendszer határok ; meddig szükséges vizsgálni a logisztikai folyamatokat ? Ha ezek elkészülnek és beállításra kerülnek az RTLS fokozatosan elkezdheti gyűjteni a historikus adatokat az adatbázisban. Néhány hét vagy hónap után pedig egyre pontosabb és egyre látványosabb vizuális jellegű információt, áttekintő képet, összefüggéseket biztosít a logisztikai felhasználó számára.

Előtérbe kerülnek az addig nem pontosan mért szűk keresztmetszetek, kapacitás egyenletlenségek, kihasználatlanságok vagy éppen túlterhelések. A fejezetben megismert RTLS alapszolgáltatások egyértelműen változtatni szükséges idő és térbeli pontokat jelölnek ki a logisztikai folyamatban.

A felhasználók ennek kapcsán átgondolják a folyamatot, optimalizációt végeznek, és módosításokat eszközölnek a fizikai folyamatban, - melyet úgy tudnak leginkább biztosítani, hogy továbbfejlesztik / átállítják az eddigi adatgyűjtő üzemmódban operáló RTLS-t – folyamat menedzsmentre is. (pl. külső integrált rendszerek felé triggereket építenek be azért hogy megszorításokat tudjanak eszközölni a fizikai folyamatban)

Tulajdonképpen innen indul az RTLS életciklusának **„második” fejezete**, amikor is az adatgyűjtésen (input kommunikáció) alapulva már kiegészítik a beavatkozás lehetőségével is (output kommunikáció). Ezt a kronológiai ciklust nevezzük az RTLS **folyamatmenedzsment fázisának**.

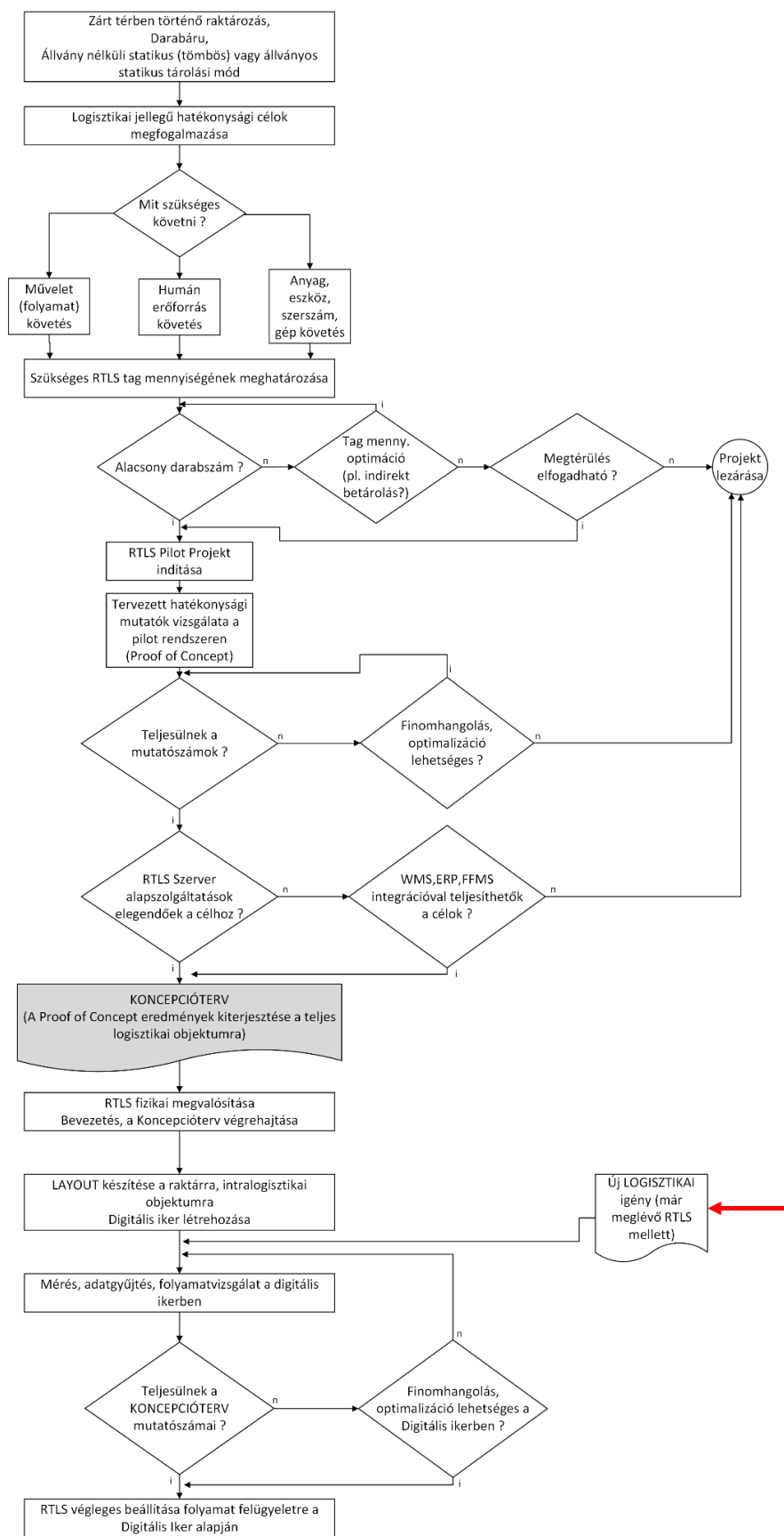
A folyamatmenedzsment fázisban üzemelő RTLS az előzetesen megfogalmazott és rendszerben paraméterezett idő vagy térbeli feltételek teljesülése / vagy éppen nem teljesülése esetén riasztja a digitális másolaton logisztikai felhasználóját és ezzel egyidőben az API modulján keresztül elektronikus jelet, információt küld egy külső kapcsolt rendszer felé (pl. riasztás, megállítás, könyvelés megállítása, logisztikai folyamat leállítása/indítása/beavatkozás kérése.) A később kiforrott, átgondolt, tesztelt és bevált folyamatmenedzsment fázisban tulajdonképpen már nincs is szükség a digitális másolaton történő állandó figyelésre, hiszen a rendszer automatizálttá vált, tehát gyakorlatilag az eddig mérésre használt eszköz átalakul automata folyamatvezérlő rendszerré.

Az evolúciós fázisok körforgás-szerűen is váltogathatják egymást; azaz mérünk, optimalizálunk majd beavatkozunk, - és ezután újra mérünk, tovább optimalizálunk és még szofisztikáltabban avatkozunk be a logisztikai vagy anyagáramlási folyamatokba.

A fejezet összefoglalója

A fejezetben vizsgálatra került minden olyan tevékenység, lépés, megelőző elemzés, körülmény, amely az RTLS bevezetésének és használatának lépéseit és a lépések megtételekor felmerülő szükséges vizsgálandó kérdéseket mutatta be. Bemutatásra kerültek a korábbi fejezetben lehatárolt logisztikai rendszerváltozat megvalósítására alkalmas RTLS alapszolgáltatásai, összegyűjtöttem és elemeztem azokat a kérdéseket, melyeket minden esetben meg kell vizsgálni egy RTLS bevezetés előtt. Javaslatot fogalmaztam meg arra vonatkozóan, hogy mik azok ez elkerülendő sarokpontok, amelyek akár meg is akadályozhatják, vagy zátonyra vihetik egy logisztikai hatékonyság javítására alkalmazandó RTLS projektet. Megpróbáltam meghúzni azt a határvonalat, ami megmutatja, hogy önmagában alkalmas-e az RTLS-t alapszolgáltatásával logisztikai hatékonyság növelésre, vagy szükséges más információs rendszerekkel is az integráció. Az integráció kapcsán megvizsgáltam a legfontosabb adatok körét, melyek mellett elvégezhető a hatékony integráció. A vizsgálat közben pedig összeállt az a javasolt folyamat, amely röviden és tömören reprezentálja a fejezetben részletesebben megfogalmazott, egymásra épülő és visszakanyarodó kérdéseket, lépéseket.

A lépések egy összeállított **folyamatábrában** testesültek meg; **egy lehatárolt logisztikai rendszermodellben RTLS bevezetésének kérdései és lépései, valamint logisztikai környezetbe történő beillesztése és használatának kronológiai állapotait mutatja be;**

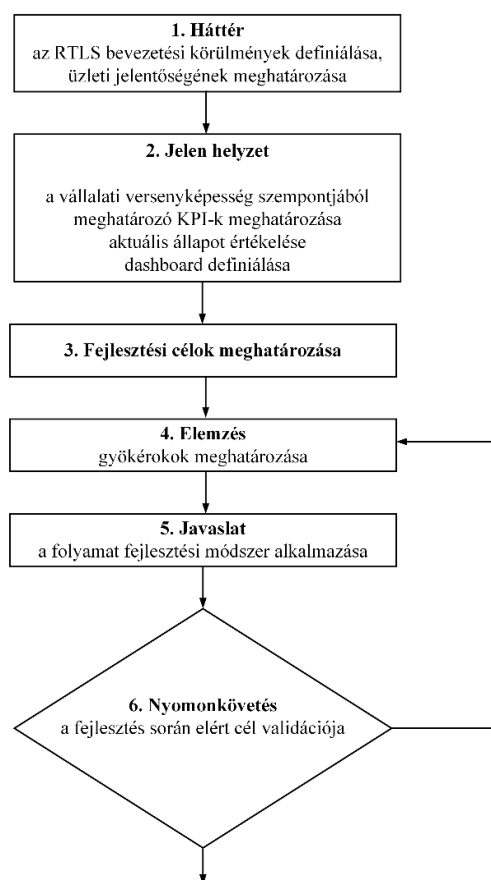


3. ábra – UWB-RTLS javasolt bevezetési folyamata [saját szerk.]

A folyamatára megrajzolásával dolgozatom második tézisének megfogalmazásához érkeztem. **Második tézisemben kidolgoztam egy folyamatot arra vonatkozóan, hogy milyen lépésekben javasolt logisztikai hatékonyságot javító UWB-RTLS-t bevezetni és működtetni egy lehatárolt modell esetén. A lépések azonosításánál figyelembe vettem azokat a külső és belső feltételeket, amelyek vizsgálata nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a kívánt célt elérjük. Az egymásra épülő lépések feltételrendszere a tézisémet reprezentáló folyamatábrából vizuálisan megismerhető, könnyebben átlátható. A folyamatára elágazási pontjait reprezentáló kérdések dolgozatom ezen fejezetében részletesen feltárásra és kidolgozásra kerültek.**

6. RTLS ALAPÚ FOLYAMAT FEJLESZTÉSI KERETRENDSZER MŰKÖDÉSI KONCEPCIÓJA

A fejezetben a feltárássra kerülő KPI-k meghatározása után szükséges egy olyan általános **folyamat-fejlesztési keretrendszer** koncepciót megalkotni, melynek segítségével a vállalat versenyképessége javítható. Tapasztalataim alapján kézenfekvő segítség ebben az esetben már bevált módszert adaptálni a feladatra, - ezért az **A3 módszert** hívtam segítségül. Az **A3 egy strukturált problémamegoldó eszköz, amely a lean menedzsmentből származik** és a problémák elemzésére és megoldására szolgál egyetlen A3 méretű papírlapon [15]. A módszer a Toyota **PDCA** (Tervezd – Csináld – Ellenőrizd – Javítsd) elvet követi, és segít a probléma mélyebb okainak megértésében, a cselekvési terv kialakításában és a folyamatos fejlesztésben. A keretrendszer lépései a következők:



4. ábra - A3 keretrendszer alkalmazása RTLS alapú folyamatfejlesztésre vonatkozóan [saját szerk.]

Az A3 keretrendszer egyik projekt terméke egy valóban A3 méretű vizuális tájékoztató oldal (a módszer elve, hogy megfelelő mélységű redukcióval minden probléma feltárása és megoldása elfér egy ilyen lapon), azonban dolgozatomban az általános módszertan kibontását preferálom első sorban, - azaz a módszer lépéseit használom fel az RTLS alapú folyamatfejlesztés érdekében.

1. Háttér, az RTLS bevezetési körülmények definiálása, az üzleti jelentőségének meghatározása

A vállalatok minden fejlesztési lehetőséget kizárólag rövid időtávon belüli (általában <1,5 év) megtérülés esetén vizsgálják meg, mert manapság olyan üzleti környezetben működnek, ahol hosszabb távú megtérülés jelentős anyagi kockázatokat hordoz magában (hosszabb időtávban

nehezen prognosztizálható előre a piaci viszonyok folyamatos és időnként drasztikus megváltozása miatti beruházási validáció). A megismert logisztikai versenypiaci kihívások között döntően a raktári működtetésre leszűkített és célzott **megoldandó problémák** a következők;

- **a raktári költségek csökkentése**
- **munkabiztonság javítása és digitalizációs törekvések**

2. Jelen helyzet

A kiinduló állapot a dolgozat korábbi fejezeteiben lehatárolásra került, - zárt, darabárus, állvány nélküli tárolási módú raktár – amely WMS támogatással működtetett. A WMS-ben definiált (programozott) üzleti logika alapján működik a raktár, azaz a WMS utasításai alapján végzi a raktári személyzet a munkáját, a WMS adatai alapján történik a raktári döntések meghozatala. A jelenlegi (kiinduló) állapot és az RTLS fejlesztéssel előálló későbbi raktári irányítási változat (fejlesztés utáni állapot) tehát **két raktári rendszerváltozat összehasonlítása, vizsgálata lesz.**

- WMS információs rendszerrel támogatott raktár,
- WMS **és RTLS** integrációjával támogatott raktár,

2.1 A vállalati versenyképesség szempontjából meghatározó KPI-k meghatározása

A szakirodalmi feldolgozás során arra a következtetésre jutottam, hogy a KPI-k legfőbb vizsgálati szempontrendszere csoportosítás alapján az alábbi;

Kvantitatív KPI-k;

- raktári kiszolgálás / belső raktári folyamatok ideje (műveleti idők),
- raktári anyagáramok (kiszolgálási útvonal hosszak),
- pontosság (%) (helyes szedési műveletek száma / összes szedési műveletek száma)
- raktári költségek

Kvalitatív KPI-k;

- munkabiztonság fejleszthetősége,
- digitalizációs előnyök,

2.2 Aktuális állapot értékelése

Definiálni szükséges a fejlesztés kiinduló állapotát, hogy a későbbi RTLS fejlesztéssel elért célok igazolhatóak legyenek. A két rendszerváltozat összehasonlításához szükséges - a raktári műveleti folyamatok felőli megközelítéssel - meghatározni a kijelölt mutatószámok előállításának pontos körülményeit azért, hogy ezek mentén maradva a fejlesztés után is visszaigazolhatóak (összevethetőek) maradjanak. A dolgozat előző fejezeteiben ismertetésre kerültek a legfontosabb folyamatok, melyek általánosan leírják egy raktár működését ;

- Bevételezés (egylépéses, kétlépéses)
- Crossdocking (Betárolás nélküli Kiadás)
- Tárolás
- Áttárolás
- Kommissiózó utántöltés
- Kiszedés (Kommisiózás)
- Kitárolás
- Revidieálás
- Szállítási összevárás
- Csomagolás

- Expediálás
- Leltár

A folyamatok döntő többsége **tárolási jellegű művelet**, - ami úgy modellezhető, hogy **egy anyagmozgató gép vagy kézi anyagmozgatás esetén a humán erőforrás egy kezdőpontból kiindulva a célpontba juttat el valamilyen útvonalon árut a raktáron belül**.

Az elvégzett műveletre vonatkozóan a WMS adatbázisában - a kvantitatív KPI-ket szem előtt tartva - a következő strukturált adatok, információk rögzülnek;

- raktári kiszolgálás / belső raktári folyamatok ideje (idő); a WMS-től érkező diszponálási **feladat felvételétől a WMS rendszerben történő lezárásig eltelt idő**.
- raktári anyagáramok (útvonal hossz); nem mért (követett) információ **a WMS nem ismeri**, az anyagmozgató gép tetszőleges útvonalon végezte el.
- pontosság (%); **a WMS nem képes kiszűrni a hibás tárolást** (nincs információja róla), - a tárolási hiba később jelentkezik egy újabb tárolási művelet kezdetekor.
- raktári költségek (pénz), **nem pontos adatokon nyugszik**, hiszen a fenti tárolási műveletek során több adat (megtett út, idő) is hiányzik a meghatározásához.

Látható tehát, hogy **csak WMS használata mellett (kiinduló állapot)** - adat (információ) hiány következtében **nem kap pontos adatokra alapozott döntési támogatást a raktári menedzsment**. A döntéstámogató dashboard így humán erőforrástól függő változó bemeneti adatokra (útvonalhossz, költségek, pontosság) támaszkodhat, ami hibás következtetéseket is vonhat maga után a raktár irányításával kapcsolatosan.

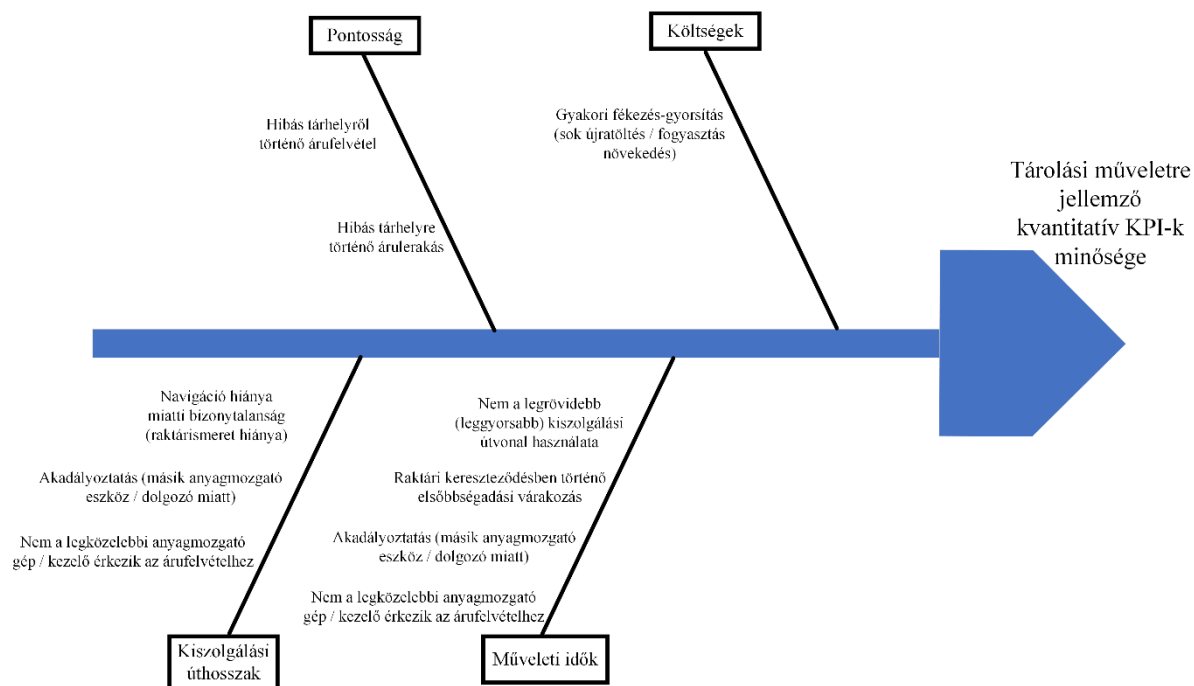
3. Fejlesztési célok meghatározása

A 2.2 pontban bemutatott hibás következtetések eliminálása a legfontosabb fejlesztési cél a rendszerben. Ha ezt tovább részletezem, a következő célokat szükséges elérni;

- **raktári kiszolgálás / belső raktári folyamatok idejének pontosítása**
- **raktári anyagáramok (útvonal hossz) pontos lekövetése**
- **pontosság (%) mérésének egzakt mérhetősége**
- **raktári költségek (pénz) mérésének egzakt mérhetősége**

4. Elemzés, gyökérokok meghatározása

A probléma gyökér-okainak összegyűjtéséhez különböző módszerek használhatók fel az A3 keretrendszerben. Fő feladat megtalálni az összes lehetséges gyökérokot, és ezekből a Pareto elv alapján kiválasztani maximum 3-at. A leggyakrabban használt elemző módszert, - a Halszálka, vagy Ishikawa diagramot használtam az okok összegyűjtésére.



5. ábra - Gyökérok meghatározása Ishikawa diagram segítségével [saját szerk.]

A diagram brainstorming és tapasztalatok alapján állítható össze és látványosan körvonalazhatók segítségével a fő befolyásoló (kiváltó) okok, azaz jelen esetben a **Kiszolgálási úthossz**, a **Műveleti idő**, a **Pontosság** és a **Költségek** mint legfontosabb tárolási műveletre vonatkozó kvantitatív KPI-k.

A brainstorming és tapasztalatok alapján összeállított kiváltó okok között találtam átfedésben lévőket is; alaposan átgondolva a kiszolgálási úthosszakot és kiszolgálási tárolási időket befolyásoló al-okok nagyban fedik egymást. Így tulajdonképpen elő is állt az eredeti Pareto elv szerinti 3 legfontosabb gyökérok és a legtöbb al-ok is.

5. Javaslat, - a folyamat fejlesztési módszer alkalmazása

A feltárt gyökérok és fejlesztési célok meghatározása után a fejlesztés iránya tehát a WMS rendszer kiegészítése RTLS alrendszerrel. A projekt a már megismert bevezetési lépések mentén elvégezhető. Az így előálló WMS + RTLS változat lesz összehasonlítható a kiinduló állapottal. **WMS és RTLS-el integrált raktármenedzsment esetében** a raktározási folyamat alapvetően hasonló módon működik mint a kiinduló állapot esetében, - azonban több lépésnél is **használja** az irányítási modell azokat a **működtetéséből származó szélesebb információkat, adatokat**, -melyek nagyban segítik a **precízebb, kifinomultabb raktárirányítás végrehajtását**;

- ismert minden egyértelműen azonosított anyagmozgató gép valós pozíciója,
- ismert minden egyértelműen azonosított humán erőforrás valós pozíciója,
- ismert minden egyértelműen azonosított tárolási hely valós pozíciója,
- **nem ismert** direkt módon az áruk egyértelmű valós pozíciója, mert az előző fejezetben megállapított nagy darabszámú árukra rögzítendő RTLS tag alkalmazása – magas beruházási költségek miatt - kizárná az RTLS bevezetési lehetőségét,

Ha a továbbfejlesztett WMS+RTLS aktívan használja a fenti többletinformációkat, kedvezőbb eredmény érhető el a mutatószámok tekintetében.

6. Nyomonkövetés, - a fejlesztés során elért cél validációja

Ha az eredményt szeretnénk fenntarthatóvá tenni – ami egyértelmű, hiszen ez a cél – akkor rögzítenünk kell, hogy mit fogunk másképpen csinálni a jövőben. Ha a két modellt összehasonlítom a folyamat idősükséglete alapján, szignifikánsan kedvezőbb mutatószámok jellemzik a WMS + RTLS raktári irányítású modellt hiszen ebben a változatban **legalább 5 féle optimalást végez a rendszer a rendelkezésre álló valós idejű pozíció adatok között**, - ellentétben a csak WMS alapú tárolási folyamattal, - ahol nem történik ilyen és több ponton is a kezelő raktárismeretére támaszkodhat a folyamat;

- optimaláció 1: a kezdőponthoz eső legközelebbi feltöltött kezelő/anyagmozgató gép kombinációjának kiválasztása és **a legrövidebb idő és útvonal** használata a kezdőponthoz érkezéshez
- optimaláció 2: a **legrövidebb vagy leggyorsabb raktári útvonal** kiválasztása a lehetségesek közül
- optimaláció 3: raktári elágazások esetében a **várakozási idők eliminálása**
- optimaláció 4: a kiválasztott útvonalon mégis kikerülhetetlen **várakozások idejének minimalizálása / elkerülése**
- optimaláció 5: a kiválasztott útvonalon menet közben keletkezett tartós akadályok miatti optimalt más – **legrövidebb (leggyorsabb útvonal) keresése, kiválasztása**

A sorozatos optimalációknak köszönhetően jelentős idő (tárolási-kiszolgálási) jellegű KPI javulás érhető el [16]. Nem könnyű feladat referencia értéket publikálnom a tároláshoz kapcsolódó idő jellegű KPI-k javulására vonatkozóan, mert minden raktári konfigurációban (raktári méret, áruk tárolási mátrixa, utak kialakítása, anyagmozgató gépek száma, munkaerő létszáma, napi tárolási műveletek száma stb.) más és más lehet a javulás mértéke. A 10. számú táblázatban feltüntetett, az IBCS Hungary által elkészített WMS+RTLS változatokban a logisztikai műveleti idők javulása időnként akár 50%-al is kedvezőbb lett a korábbi állapothoz képest. Technológiai műveleti időt átlagosan 30-50%-al csökkenteni általában biztosan visszaigazolja a beruházás 1.5 éven belüli megtérülését a versenyszférában működő vállalatok esetében. A szakirodalom alapján a tisztán WMS alapú raktármenedzsment rendszerek **átlagos pontosságára** vonatkozó adatot nem találtam, azonban az iparágban egy csúcsteljesítményű önmagában bevezetésre került **WMS-t legalább 98%-on felüli pontosságúnak szoktak definiálni.** (hibátlan tárolási műveletek száma / összes raktári tárolási művelet száma). A WMS + RTLS raktári irányítású modell esetében ez a mutatószám szám tovább javítható, az ismertetett működés alapján több ponton is pontosság – kontrollt használt a modell;

- **kontroll 1:** A tárolási művelet megkezdésekor (**árufelvét**) hagyományos azonosítástechnológiai (vonalkód, RFID) jellegű áruazonosítás **is** történik az RTLS által automatikusan azonosított áru adatok mellett, így kizárható a téves áruazonosítás.
- **dupla kontroll 2:** A tárolási művelet befejezésekor (**letárolás**) hagyományos azonosítástechnológiai (vonalkód, RFID) jellegű áruazonosítás **is** történik az RTLS által automatikusan azonosított áru adatok mellett így kizárható a téves áruazonosítás.

Pontosságra vonatkozó KPI kutatást nem találtam a szakirodalomban a WMS és az RTLS-ek integrációjából képzett raktár irányításra vonatkozóan; - viszont **tapasztalataimra** tudok hivatkozni az elvégzett RTLS projektek kapcsán;

Iparág	Vállalkozás tevékenysége	Üzemszerű működés (WMS+RTLS) kezdete (év)	Elért tárolási pontosság (%)	A projekt során elért további eredmény
Autóipar [17]	Indítómotor, generátor gyártása TIER 1	2018	99,90%	raktári átfutási idő 6 óra -> 3 óra
Feldolgozóipar	Lemezgyártás	2022	99,70%	keresési idő 15 perc -> 2 perc
Feldolgozóipar	Sörgyártás	2020	99,00%	kitárolási pontosság 95%-> 99 %
Autóipar	Karosszériaelem gyártás	2019	99,99%	raktári átfutási idő 6 óra -> 5 óra

10. táblázat - IBCS Hungary Kft. által bevezetett RTLS referenciaértékek [saját szerk.]

A referenciák alapján a **pontossági érték legalább 99%** volt az eddigi olyan projektjeimben, amelyekben publikus mérőszámok állnak rendelkezésünkre a mutatószámmal kapcsolatban.

A táblázatból megállapítható **legalább elért 1% pontosság növekedés óriási eredmény** raktárak esetében, hiszen az iparágban használt **1 hibás tárolás = 100 USD** teljes költséggel számolva, napi legalább 1.000 tárolási művelet (ki és be jellegű raktári műveletek) esetében a **tárolási hibákból eredő additív költség naponta átlagosan 1.000.- USD. -vel csökkenthető.** Ha csak pusztán a pontossági KPI-t vennénk alapul az RTLS alkalmazásának hatékonyságnövelő vizsgálatánál, már akkor is **2 éven belül megtérülne** a beruházás a megismert árazást alapul véve.

A kvantitatív KPI-k vizsgálatát a raktári **működtetési költségekhez kapcsolódó** vizsgálatommal folytatom. Egy raktári működésének költségei az alábbi összetevőkből áll össze [18] ;

- anyagmozgatáshoz kapcsolódó : a raktáron belüli anyagmozgatás összes költsége,
- humán költségek : a raktár teljes működtetéséhez szükséges humán erőforrások összes költsége (produktív és improduktív munkaerő),
- energiaköltségek : a raktár működtetéséhez szükséges energia költsége,
- egyéb költségek : a raktár működtetésével kapcsolatos egyéb költségek (karbantartási, hatósági eljárási költségek, stb.),

Az anyagmozgatási költség sokféle – a dolgozat vizsgálati körén kívül álló – raktárra jellemző paraméterekből adódik össze, de mindenképpen összefüggésben van a raktárkiszolgálási útvonalak hosszával és az anyagmozgató gépek és feladataik műveleti elvégzési idejével. Ezen összetevők optimalizálásának köszönhetően az anyagmozgatás költségei direkt módon csökkennek. Elérhető olyan állapot is egy raktárban, hogy az optimalásnak köszönhetően akkora mértékű útvonal és idő csökkentést lehet elérni, hogy **anyagmozgató gép(ek) és humán erőforrás(ok) szabadulnak fel a rendszerből.** Átcsoportosítással, más feladatokra történő átirányítással még hatékonyabbá tehető ebben az esetben a raktár működtetése.

Átcsoportosítással, a felszabaduló humán erőforrással pedig a humán erőforrások összes költsége is csökkenthető a fenti képlet alapján. Indirekt befolyásoló tényező, hogy a WMS + RTLS integrációval működő raktár esetében **eliminálódik a rendszerből a raktárismeret fontossága**, hiszen a rendszer minden lépést vezérel (navigál), így **nem szükséges a helyismeret, raktárismeret és akár a nyelv ismerete sem.** Tehát egy RTLS bevezetéssel lépést tehetünk abba az irányba, hogy raktári rendszerünk értékét nem tesszük munkaerő-

függővé, azaz a napjainkban jellemző raktári munkatársakra vonatkozó **magas fluktuáció kevésbé befolyásolja így a raktári működtetés biztonságát.**

Az RTLS további lehetősége, hogy a munkaerő követés esetén elkülöníthetők a produktív és in produktív időszakok, - ami a bérezés szempontjából differenciált lehet.

Az anyagmozgató gépek precízebb, kifinomultabb, - üzemidejüket (töltöttségi állapotukat) is figyelembe vevő vezérlése **jelentős energiát takarít meg.** A szakirodalmi kutatásban vizsgált, elágazásokban történő fékezés – megállás – gyorsítás jelensége [13] az egyik legfontosabb paraméter ami befolyásolja az egy feltöltés alatt elérhető üzemidőt. Egyenletes sebesség tartása mellett, valamint az **RTLS segítségével valós időben mérhető sebességkorlátozások betartása mellett kiiktatható** (vagy vizsgálható) a rendszerből a felesleges – vezetési magatartástól függő - **energiapazarlás.**

Ezzel egyidőben az egyenletesebb üzemeltetési sebességek befolyásolják a karbantartási költségeket is, hiszen az állandó erős fékezés a legfontosabb gyökéroka a sűrűbben jellemző karbantartási igénynek.

Az egyéb költségek vizsgálatához kitűnő **kiegészítő dashboard eszköz önállóan is az RTLS,** hiszen a rendszer előnye, hogy a raktári történések historikusan visszaforgathatók az időben, illetve lehetőség van adott időintervallum utólagos vizsgálatára is. Az RTLS alapszolgáltatások (Zónák vizsgálata, Működési hatékonyság vizualizációja, Hőterképek, Spagetti térképek) segítik a raktári menedzsmentet abban hogy egy-egy energiahatékonysági kérdésben gyökérokokat tudjon keresni és megtalálni.

Kvalitatív mutatószámok összehasonlítása – munkabiztonság

Egy baleset megelőzése is fontosabb dolog a teljes raktári működtetéstől, ezért a balesetvédelem, **munkabiztonság fejlesztetősége a raktári üzemeltetés legfontosabb mutatószáma.** A raktári anyagmozgatás legbalesetveszélyesebb pontjai azok a helyek vagy helyzetek, amikor két anyagmozgató gép, vagy anyagmozgató gép és ember kerül közvetlen vagy közeli kapcsolatba egymással.

A leggyakoribb helyzetek ;

- raktári elágazásba egyszerre érkező anyagmozgató gépek, vagy egyszerre érkező anyagmozgató gép és ember találkozása,
- raktári tárolási művelet közben tolató anyagmozgató gép és ember / vagy másik anyagmozgató gép találkozása,
- karbantartási vagy speciális feladatot végző eszköz körüli lehatárolt veszélyes munkatér és ember találkozása,
- raktári nyílászárón keresztül érkező ember vagy anyagmozgató gép amely a raktári útvonalra kapcsolódik a nyílászáró után.

Az RTLS működtetése kapcsán a virtuális zónák használatával **a fenti helyzetek mindegyike elkerülhető.** Olyan raktári működés esetén, ahol a raktár összes dolgozója és az összes anyagmozgató gép valós idejű követése megvalósított, a fenti helyzetek elkerülhetők még **a találkozások várható megtörténte előtt figyelmeztetéssel vagy beavatkozással.** Az RTLS virtuális zónákhoz kapcsolódó triggerei alkalmasak arra, hogy elektronikus kapcsolatba kötött külső hardver eszközöket is vezéreljenek.

Nem ismert a raktári technológiában balesetvédelemre szolgáló univerzálisabban alkalmazható eszköz mint az RTLS technológia. Vannak olyan iparágak, ahol kifejezetten csak a balesetvédelem miatt alkalmazzák a technológiát (pl. vegyipar, gyógyszeripar), ezért kifejlesztésre kerültek kifejezetten a balesetvédelemre fókuszáló speciális RTLS hardverek is (pl. rezgésre alkalmas RTLS tag-el ellátott védősisak).

Kvalitatív mutatószámok összehasonlítása – digitalizációs törekvések

A kvalitatív KPI-k vizsgálata során ez a fogalom ami leginkább kifejezi **az RTLS technológia alapján működtetett raktári konfiguráció a digitalizáció és ipar 4.0 koncepció irányába történő elköteleződésének előnyét.**

Reziliens működés esetében egyik napról a másikra előfordulhat olyan raktári konfiguráció változás, hogy

- a tárolási helyek teljesen más helyekre kerülnek,
- a korábbi útvonalak megszűnnek, helyettük újak jönnek létre,
- a tárhelyeket szükséges átrendezni,
- esetleg az eddigi beérkeztetési terület hirtelen kitárolási területté változik,
- kamionrámpák anyagáramlása változik az ellenkezőjére,
- anyagmozgató gépek, emberi erőforrások kétszereződnek meg, vagy éppen csökkennek a felére stb.

Ezekben az esetekben egy hagyományos működésű információ beviteli pont (pl. RFID kapu) átmozgatására, áttelepítésére van szükség a raktárban. Ha megvizsgáljuk például egy RFID kapu áttelepítési költségét, akkor az alábbi feladatokra van szükség;

- meglévő kapu szétszerelése, kábelezés lebontása, a helyszín rekonstrukciója,
- az új helyszínre történő kábelezés (áram, kommunikáció),
- az új helyszínre történő áttelepítés, összeszerelés, beüzemelés.

Egy ilyen folyamat átlagos költsége magas, illetve a telepítés közben zárolni szükséges mindkét raktári területet ahol a kapu régi és az új helye is lesz; azaz kiesik a hasznos raktári területből. Ezenfelül az adatbeviteli pont funkciója is kiesik a raktári működés rendszeréből, azaz valamilyen ideiglenes megoldással pótolni kell (pl. manuálisan) az adatbevittet. Általában nagyléptékű raktári konfigurációs változtatásnál ráadásul nem egy, hanem több ilyen kaput is szükséges mozgatni. Ezek a feladatok tehát nyilvánvalóan óriási idő és költségvonzattal, valamint operatív kiesésekkel járnak.

Ezt a hagyományos „áttelepítési folyamatot” szükséges összehasonlítani az RTLS-sel integrált raktári változattal. Mik a teendők az RTLS-ben egy fenti változtatási igény esetében;

A raktári személyzetnek az RTLS digitális iker segítségével a raktári layout-on - pár kattintással át kell húzni egérmutató segítségével – a virtuális zónát egy másik pozícióba.

A művelet gyakorlott raktári vezető esetében egy negyedóra alatt elvégezhető, az áttelepítés költsége zérus, nem kell zárolni semmilyen területet, nincs operatív kiesés.

Ha reprezentálni szeretném azt a mutatószámot, ami a két „áttelepítés” közötti arányt mutatja, akkor az RTLS esetében egy hatalmas szám lenne, úgy is mondhatjuk, hogy összehasonlíthatatlan. Ez a digitalizáció egyik igazi előnye.

A fejezetben megfogalmazott és összegyűjtött információk alapján megfogalmazom **harmadik tézisem:**

Kidolgoztam az RTLS alapú A3-al integrált folyamatfejlesztési keretrendszer működési koncepcióját, továbbá ehhez kapcsolódóan meghatároztam a kvantitatív és kvalitatív mutatók halmazát. A koncepció alkalmazásával a folyamatfejlesztési ciklusok rövidíthetők valamint a vizsgált terület versenyképessége javul.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatban megfogalmazott 3 kutatási irányban SLR módszertanon alapuló szakirodalmi kutatást végeztem el. A három szakirodalmi kutatási irány a következő volt:

1. Melyek azok az RTLS-ek, melyeket intralogisztikában, raktározásban alkalmaznak? Melyik rendszerváltozat(ok), technológiai változat(ok)) alkalmas(ak) az RTLS technológiák közül kifejezetten raktározási folyamatok fejlesztésére?
2. Milyen lépésekben történik a bevezetési folyamat raktárban, intralogisztikában RTLS technológia esetében?
3. Milyen hatékonysági mutatószám(ok) és keretrendszer(ek) reprezentálják az RTLS technológia - mint folyamatfejlesztési eszköz - relevanciáját a technológiával támogatott raktárak esetében?

Az **első kutatási irányban** a szakirodalmi kutatás során bemutatásra került az RTLS technológia elméleti háttere és háttérre alapozva ismertetésre kerültek a gyakorlatban elterjedt RTLS technológiai variánsok, azok határai, lehetőségei. Az egyes variánsok technológiai összehasonlítása és logisztikai jellegű felhasználásra és fejlesztésre alkalmas változatának keresésekor megállapítottam, hogy nincs kidolgozott módszertan erre vonatkozóan.

A keresésre vonatkozó logisztikai rendszerváltozatok lehatárolása után kutatást végeztem a témában és elvégeztem az optimális technológiai változat kiválasztását, melynek végén megfogalmaztam **első tézisémet**.

A **második kutatási irányban** a szakirodalmi feldolgozás során megállapítottam hogy tudományos kutatási rést és lehetőséget tártam fel azzal kapcsolatban, hogy kutatásaimat egy lehatárolt raktári, intralogisztikai környezet esetében arra orientáljam, hogy definiálni tudjak egy módszertant arra vonatkozóan, hogy milyen lépésekben történhet az RTLS technológiával támogatott hatékonyságnövelő fejlesztés bevezetése.

Legfőképpen gyakorlati tapasztalataimat összefoglalva, - de támaszkodva a releváns szakmai irodalomra is, összeállítottam egy lehetséges folyamatot arra vonatkozóan, hogy milyen lépések mentén célszerű RTLS-t bevezetni. Ezután megfogalmaztam **második tézisémet**.

Harmadik kutatási területem már arra vonatkozott, hogy a lehatárolt logisztikai rendszerváltozatban kiválasztott és bevezetett UWB-RTLS hogyan segíti a vállalat menedzsmentjét abban, hogy logisztikai hatékonyság növelő lépéseket tudjon tenni céljaik érdekében. A vizsgálathoz az általános lean A3 módszert hívtam segítségül. A módszertan segítségével lépésről-lépésre sikerült összeállítanom egy koncepciótervet arra vonatkozóan, hogy a vállalat versenyképessége növekedni tudjon az RTLS bevezetésével. A fejezet végén megfogalmaztam **harmadik tézisémet**.

Az értekezés tézisei

I. TÉZIS

Kidolgoztam a zárt terű állványnélküli darabárus raktározási környezetre vonatkozóan az optimális RTLS technológiai kiválasztásához szükséges logisztikai, gazdasági, műszaki paraméterek halmazát, valamint definiáltam a döntés módszerét. Megállapítom, hogy a vizsgált logisztikai környezetre vonatkozóan, az UWB-RTLS technológiai változat az optimális.

II. TÉZIS

Kidolgoztam egy folyamatot arra vonatkozóan, hogy milyen lépésekben javasolt logisztikai hatékonyságot javító UWB-RTLS-t bevezetni és működtetni egy lehatárolt modell esetén. A lépések azonosításánál figyelembe vettem azokat a külső és belső feltételeket, amelyek vizsgálata nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a kívánt célt elérjük. Az egymásra épülő lépések feltételrendszere a tézisemet reprezentáló folyamatábrából vizuálisan megismerhető, könnyebben átlátható. A folyamatábra elágazási pontjait reprezentáló kérdések dolgozatomban ezen fejezetében részletesen feltárásra és kidolgozásra kerültek.

III. TÉZIS

Kidolgoztam az RTLS alapú A3-al integrált folyamatfejlesztési keretrendszer működési koncepcióját, továbbá ehhez kapcsolódóan meghatároztam a kvantitatív és kvalitatív mutatók halmazát. A koncepció alkalmazásával a folyamatfejlesztési ciklusok rövidíthetőek, valamint a vizsgált terület versenyképessége javul.

8. SUMMARY

I conducted literature research based on SLR methodology in the three research areas outlined in the thesis. The three areas of literature research were as follows:

1. What RTLS systems are used in intralogistics and warehousing? Which system variant(s) and technology variant(s) among RTLS technologies are particularly suitable for the development of warehousing processes?
2. What are the steps involved in the implementation process of RTLS technology in warehousing and intralogistics?
3. What efficiency indicators and frameworks represent the relevance of RTLS technology as a process development tool in technology-supported warehouses?

In the first research direction, the theoretical background of RTLS technology was presented in the literature review, and based on this background, the commonly used RTLS technology variants, their limitations, and possibilities were described. When comparing the technologies of the individual variants and searching for a version suitable for logistical use and development, I found that there is no established methodology for this.

After narrowing down the logistical system variants relevant to the search, I conducted research on the topic and selected the optimal technological variant, at the end of which I formulated **my first thesis**:

I developed a set of logistical, economic, and technical parameters necessary for selecting the optimal RTLS technology for a closed-space, rackless piece goods storage environment, and defined the decision-making method. I conclude that the UWB-RTLS technology variant is optimal for the logistics environment under investigation.

In the second research direction, I found during my review of the literature that I had identified a gap in scientific research and an opportunity to focus my research on a limited warehouse intralogistics environment in order to define a methodology for the steps involved in introducing efficiency-enhancing developments supported by RTLS technology.

Summarizing my practical experience, but also drawing on relevant professional literature, I compiled a possible process for the steps that should be taken to introduce an RTLS system. I then formulated my **second thesis**.

I developed a process for the steps recommended for introducing and operating UWB-RTLS to improve logistics efficiency in a limited model. When identifying the steps, I took into account the external and internal conditions that must be examined in order to achieve the desired goal. The set of conditions for the interdependent steps can be visually understood and is easier to comprehend from the flowchart representing my thesis. The questions representing the branching points of the flowchart are explored and elaborated in detail in this chapter of my thesis.

My third area of research concerned how the UWB-RTLS selected and implemented in the defined logistics system variant helps the company's management to take steps to increase logistics efficiency in order to achieve their goals. I used the general lean A3 method for the investigation. With the help of this methodology, I was able to compile a step-by-step concept plan for increasing the company's competitiveness through the introduction of RTLS. At the end of the chapter, I formulated my **third thesis**.

I developed the operational concept of an RTLS-based A3-integrated process development framework and defined a set of quantitative and qualitative indicators related to it. Applying this concept can shorten process development cycles and improve the competitiveness of the area under review.

9. IRODALOMJEGYZÉK

9.1 Az értekezés témakörében használt saját publikációk

- [S1] T. Bátori, P. Tamás és Z. Melis, „Investigation of Technological Possibilities of Warehouse Location,” Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2021. [Online]. Available: VOL19., ISSUE 3/2021.
- [S2] T. Bátori és P. Tamás, „Application Possibilities of RTLS System in Production Logistics,” Journal of Production Engineering , 2021. [Online]. Available: <http://doi.org/10.24867/JPE-2021-01-022>.
- [S3] T. Bátori és P. Tamás és B. Illés „*Implementation process using real UWB-RTLS*,” Advanced Logistic Jornal (ALS) , 2026. [VOL20., ISSUE 01/2026]

9.2 Az értekezés témakörében használt idegen publikációk

- [1] D. Denyer és D. Tranfield, „Producing a systematic review,” in *The sage handbook of organizational research methods*, Sage Publications, In A.D. Buchanan & A. Bryman (Eds.), 2009, pp. 671-689.
- [2] Scopus, „Scopus,” Scopus repository, 2025. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/home.uri>.
- [3] HID-SEWIO Inc., „Z-axis based on UWB signal,” 2024. [Online]. Available: <https://docs.sewio.net/docs/z-axis-based-on-uwb-signal-3244326.html>.
- [4] O. George, A.-A. Raed , J. Stephen, N. James, P. Mohammad és R. Jonathan, „Indoor location identification technologies for real-time IoT-based applications: An inclusive survey,” *Computer Science Review* 30 (2018) 55–79, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2018.09.001>.
- [5] POZYX.IO Inc., „How ultra-wideband works - POZYX.io,” [Online]. Available: <https://www.pozyx.io/pozyx-academy/how-does-ultra-wideband-work>.
- [6] SEWIO Inc., „HID - SEWIO Inc. RTLS szállító honlapja,” [Online]. Available: <https://www.sewio.net/>.
- [7] Siemens UWB , „Siemens UWB RTLS szállító,” [Online]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/identification-and-locating/simatic-rtls.html>.
- [8] Ubisense Inc., „Ubisense Inc.,” 2025. [Online]. Available: <https://ubisense.com/location-technology/>.
- [9] Zebra Technologies Inc., „ZEBRA RTLS Devices Homepage,” 2020. [Online]. Available: <https://www.zebra.com/us/en/products/location-technologies/ultra-wideband.html>.
- [10] T. Sebastian, S. Brendan, D. Roy és L. Eric, „Real-time locating systems (RTLS) in future factories: technology review, morphology and application potentials,” in *University of Twente*, 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2021.
- [11] S. B. Patrick, G. Y. Poorya és T. Sebastian , „Total Cost of Ownership of Real-Time Locating System (RTLS) Technologies in Factories,” 56th CIRP Conference on Manufacturing Systems, CIRP CMS ‘23, South Africa, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.082>.
- [12] B. Patricia, K. Susann és B. Thomas, „Framework for the Classification of Real-time Locating System (RTLS) use cases in Matrix Production Systems,” in *Fraunhofer Institute of Manufacturing Engineering and Automation IPA*, 57th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2024, 2024.
- [13] H. Farouq, D. Husam, L. In Gyu, L. Yinglei, Y. Sang Won és C. Sung Hoon, „Introduction of a real time location system to enhance the warehouse safety and operational efficiency,” 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107541>.
- [14] P. Miriam, M. Marek, T. Jozef, H. Anton és L. Laura, „USE OF SEWIO REAL-TIME LOCATION SYSTEM IN PRACTICE: TECHNICAL PREPARATION OF HARDWARE, DATA COLLECTION AND ANALYSIS,” 1Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial and Digital Engineering, 2024. [Online]. Available: DOI: 10.17973/MMSJ.2024_03_2024005.

- [15] L. E. I. (LEI), „Mi az az A3? Vezesd a tanulást,” Lean Enterprise Institute, 2024. [Online]. Available: <https://lean.org.hu/eszkozok/mi-az-az-a3-vezesd-a-tanulast-reszlet/>.
- [16] R. Alliance, „Rethinking RTLS- from lost assets to unseen operational chaos,” RTLS Alliance (LinkedIn oldal), 2025. [Online]. Available: https://www.linkedin.com/posts/rtls-alliance_rtls-operationalexcellence-healthtech-activity-7385033639270584320-hM1N?utm_source=share&utm_medium=member_desktop&rcm=ACoAAAGZcR4BomWSoaliMowOCUZwOdn-06sCuG8.
- [17] I. H. r. videó, „Az SEG Automotive digitalizált logisztikája kétszer gyorsabban kommissiózik,” Youtube videó, 2018. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=P-00q6U654A>.
- [18] G. Kovács, A raktár belső kialakításának módszere és folyamata, ISBN: 9786155626470, Miskolci Egyetemi Kiadó (2020): Miskolci Egyetemi Kiadó (2020), 2020.
- [19] H. GITA INDAH, M. RENDY, E. BAYU és D. I. INDRIANY, „Future Research and Trends in Ultra-Wideband Indoor Tag Localization,” 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10528315>.