

MISKOLCI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

RAKTÁRI FOLYAMATOK OPTIMÁLHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA  
IPAR 4.0 ESZKÖZÖK ALKALMAZÁSÁVAL

**Ph.D értekezés**

Készítette:  
**Szentmiklósi István Sándor**  
M.Sc. villamosmérnök

Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola  
Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika tématerület

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ  
**Prof. Dr. Szigeti Jenő DSc**  
Egyetemi tanár

TÉMATERÜLET VEZETŐ  
**Prof. Dr. Illés Béla**  
Egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ  
**Prof. Dr. Illés Béla**  
Egyetemi tanár



Miskolc

2019

## **NYILATKOZAT**

Alulírott Szentmiklósi István kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem. A dolgozat bírálatai és a védésről készült jegyzőkönyv a későbbiekben, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Dékáni Hivatalában lesz elérhető.

Miskolc, 2019.10.30.

Szentmiklósi István

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet és hálámat mindazoknak, akik támogatásukkal hozzájárultak az értekezés elkészültéhez.

Különösképpen szeretnék köszönetet mondani tudományos vezetőmnek, Dr. Illés Béla Professzor Úrnak, akinek szakmai irányutatása és erkölcsi támogatása nélkülözhetetlen segítséget jelentett a kutatómunkám sikeres elvégzéséhez.

Szintén szeretném megköszönni a Logisztikai Intézet teljes kollektívájának a tőlük kapott szakmai és erkölcsi támogatást. Továbbá szeretném megköszönni a Gépészmérnöki és Informatikai Kar, valamint a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola vezetőségének a fiatal kutatók számára a magas szintű kutatómunka elvégzését lehetővé tevő feltételek megteremtését és biztosítását. A munkámban emellett lényeges és több szempontból meghatározó segítséget jelentett, hogy támaszkodhattam a Logisztikai Intézet széleskörű nemzetközi és ipari kapcsolatrendszerére.

Végül szeretnék köszönetet mondani a családomnak, akik mindvégig bíztattak és mellettem álltak az elvégzett munka során.

# TARTALOMJEGYZÉK

NYILATKOZAT.....	2
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	3
BEVEZETÉS ÉS MOTIVÁCIÓ.....	1
1 IPARI FORRADALMAK.....	3
1.1 AZ ELSŐ HÁROM IPARI FORRADALOM.....	3
1.2 XXI. SZÁZADI HAJTÓERŐK.....	5
1.3 IPAR 4.0 GLOBÁLIS VÁLTOZÁSI FOLYAMATA.....	5
1.4 LOGISZTIKA 4.0.....	7
1.5 DIGITÁLIS ÁTALAKULÁS.....	7
2 IPAR 4.0 TECHNIKAI ESZKÖZEI.....	8
2.1 OKOS ESZKÖZÖK.....	8
2.2 KIBERFIZIKAI RENDSZEREK.....	10
2.3 OKOS / IoT LOGISZTIKAI ESZKÖZÖK NAPJAINKBAN.....	11
2.4 AKTUÁLIS OKOS / INTELLIGENS ESZKÖZÖK AZ INTRALOGISZTIKÁBAN.....	11
2.4.1 OKOS SZENZOROK AZ INTRALOGISZTIKÁBAN.....	12
2.4.2 VEZETŐ NÉLKÜLI JÁRMŰVEK.....	14
2.4.3 PICK-by TECHNOLOGIÁK.....	15
2.4.4 AUTOMATIKUS AZONOSÍTÁSI RENDSZEREK ÉS NYOMONKÖVETÉS.....	15
2.4.5 RFID SZENZOR ADATLOGGER (STATE-OF-THE-ART).....	21
2.5 KONCEPCIÓ FÁZISÁBAN LÉVŐ LOGISZTIKA 4.0 ESZKÖZÖK.....	22
2.5.1 SMARTCONTAINER SBF637.....	22
2.5.2 INTELLIGENS LÉGI TEHERSZÁLLÍTÓ KONTÉNER iCON.....	23
2.5.3 INTELLIGENS TÁROLÓ InBIN.....	23
3 IRODALMI ÁTTEKINTÉS, PROBLÉMA ÉS A KUTATÁSI CÉL MEGFOGALMAZÁSA.....	25
4 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNY KÉPZŐ ESZKÖZ.....	31
4.1 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNYKÉPZŐ ESZKÖZ FELÉPÍTÉSE.....	31
4.2 A RENDSZER MŰKÖDÉSÉNEK FÁZISAI.....	33
4.2.1 ELŐKÉSZÜLET.....	33
4.2.2 ÁRUK MINŐSÉGVESZTÉSÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA.....	33
4.2.3 OERK PROGRAMOZÁSA.....	37
4.2.4 AZ EGYSÉGRAKOMÁNYOK BERAKODÁSA.....	38
4.2.5 SZÁLLÍTÁS.....	38
4.2.6 ÁRUÁTVÉTEL.....	38
4.3 AZ OERK CPS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETSÉGES ELŐNYEI.....	39
4.4 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNY KÉPZŐ ESZKÖZ HATÁSA A RAKTÁRI FOLYAMATOKRA.....	40
4.4.1 VÉGES ÁLLAPOTÚ DETERMINISZTIKUS BETÁROLÁSI FOLYAMAT.....	40
4.4.2 DETERMINISZTIKUS FOLYAMAT OERK CPS ALKALMAZÁSA ESETÉN.....	42

4.4.3	FOLYAMATOK KIÉRTÉKELŐ ÖSSZEHASONLÍTÁSA .....	43
5	OKOS ESZKÖZÖK ENERGIAELLÁTÁSA.....	45
5.1	ALTERNATÍV ENERGIAELLÁTÁS.....	45
5.2	VIBRÁCIÓ .....	46
5.2.1	ÁLTALÁNOS VIBRÁCIÓ-VILAMOSSÁG ÁTALAKÍTÓ MODELL .....	46
5.2.2	ELEKTROMÁGNESES (INDUKTÍV) ENERGIAÁTALAKÍTÓ .....	48
5.3	ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSÉNEK MÉRÉSE.....	49
5.3.1	REZGÉSVIZSGÁLAT ELMÉLETE.....	50
5.3.2	ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSMÉRÉSE, MÉRÉSI SOROZAT ISMERTETÉSE.....	54
5.3.3	MÉRT ÉRTÉKEK KIÉRTÉKELÉSE .....	54
6	ÚJ ENERGIAKICSATOLÓ RENDSZER.....	57
6.1	MECHANIKUS REZGŐRENDSZER.....	57
6.2	ENERGIKICSATOLÁS MÓDJA.....	60
6.3	TÁPEGYSÉG ÉS ENERGIATÁROLÓ .....	61
7	JÁRMŰ BEÉRKEZÉSEK .....	63
7.1	RAKTÁRAK MŰKÖDÉSÉNEK OPTIMÁLÁSÁHOZ ALKALMAZHATÓ TECHNOLÓGIÁK .....	66
7.1.1	KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK .....	66
7.1.2	ÚJ TECHNOLÓGIÁK .....	66
7.1.3	HELYMEGHATÁROZÁSI RENDSZER GPS .....	67
7.2	AZ ÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUM ÚJFAJTA MEGHATÁROZÁSA .....	68
7.3	KISZOLGÁLÁSOK IDŐPONTJAINAK DINAMIKUS KIOSZTÁSA A BEÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUMOK ALAPJÁN .....	71
8	ÖSSZEFOGLALÁS ÉS A KUTATÁS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI .....	74
9	AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI.....	75
10	SUMMARY AND OUTLOOK OF THE RESEARCH .....	77
11	THESES OF THE DISSERTATION.....	78
	JELÖLÉSRENDSZER.....	80
	IRODALOMJEGYZÉK.....	84
	SAJÁT PUBLIKÁCIÓK.....	90
	MELLÉKLET.....	A

## BEVEZETÉS ÉS MOTIVÁCIÓ

A nagyfokú, már középiskolás éveimben megmutatkozó műszaki érdeklődésem és az egyetemi tanulmányaim, amit a Müncheni Műszaki Egyetemen fejeztem be M.Sc. szinten, kellő alapot adott számomra arra, hogy fejlesztő villamosmérnöki feladatokat is elláthassak. 1999 óta elektronikai fejlesztőmérnökként dolgozom német nyelvterületen. Alapos betekintést nyertem több iparágban is komplex folyamatok irányításába. Az általam tervezett készülékek megtervezése és megépítésén keresztül hozzájárultam a mai modern elektronikai berendezések mindennapi életünkbe való elterjedéséhez is. Munkáim között szerepeltek autóiipari vezérlőegységek tervezése, pl. a BOSCH Tip-Tronic váltóvezérlő egység, Dräxlmayer Intelligens Áramszenzor gyakorlati alkalmazásának bevezetése (Porsche Panamera) és a szakmailag legnehezebb feladat az Airbus A400M turbinavezérlő elektronika megtervezése és kivitelezése volt.

A XXI. század elejére a piacokon jelentős mértékben és gyorsasággal megnöttek a termékekkel és szolgáltatásokkal szembeni egyedi igények. A piaci gyors változások az egyes vállalatoknál a termékstruktúra jelentős bővülését követeli meg. Ehhez a mindenkori termékstruktúra gyors és dinamikus változása párosul, amit az egyedi igényeknek megfelelő kis és közepes sorozatok jellemeznek [1].

Az előállított termékek életciklusa jelentősen lerövidült. A termékminőség fogalmába a műszaki és ár paramétereken túl a logisztikai szolgáltatások, szervizszolgáltatások is beletartoznak. Beszállítók alkalmazásával a termelés mélysége iparáganként eltérően, de jelentős mértékben csökkent. A beszállítók megválasztása és a „gyártani vagy vásárolni” elv stratégiai kérdés lett [1].

A gyorsan változó vevői igények miatt a termék életciklus lerövidül, ezért folyamatosan kell dolgozni a termék és az előállításához szükséges technológia innovációján. Nemcsak magát a terméket kell időről-időre megújítani, hanem egy olyan termelési technológiát is ki kell alakítani, amely rugalmasan változtatható az újabb és újabb vevői termékspecifikációk mentén, lehetőséget ad a testre szabásra, specializációra és a termékek közötti átállási idő is drasztikus csökkentésére. A rugalmassá váló gyártás és a vevői igények egyre nagyobb mértékű kielégítése azt eredményezi, hogy nagyon magas számú termékvariáns kerülhet gyártásra, amely mind egyedi beállítást, azonosítást és nyomon követést igényel.

A korábbi termelési rendszerek már nem tarthatók fenn sokáig, hiszen tartós környezeti károkhoz (klímaváltozás) vezettek, túl sok nem megújuló energiaforrást emésztenek fel, továbbá az öregedő társadalmak miatt fel kell készülni a munkaerő létszámának csökkenésére is [2].

Az utóbbi kiváltására a robotok és az automatizáció régóta létezik. Az internet viszont, ezek hálózatba kötésével forradalmasítja a folyamatszervezést és a gyártástervezést.

Ezekre az új kihívásokra egy gazdasági,- technikai szemléletváltással lehet és kell válaszolni. Ennek értelmében létre jön egy átmenet a tömegtermelésből az egyedi vevői igények rugalmas és tömeges kielégítése felé, a készletre termelést felváltja a rendelések dinamikus kiszolgálása, a paletta a fizikai termék előállításától a komplex, kiegészítő szolgáltatások nyújtásáig szélesedik ki [1].

Az új gazdasági szemlélet eltávolodás a költségközpontú szemlélettől a tőkemegtérülés irányába az kikényszeríti a bonyolultabb szimulációs formákon keresztül a komplexitás kezelésére alkalmas gyártórendszerek (pl. valósídejű szimuláció, gépi tanulás), új szemléletű munkaszervezés (feladatpárhuzamosítás, távmunka, állandó hálózati kapcsolódás), a termelési tér átszervezését és a kapcsolt üzemi terek megjelenését.

Az ügyféloldali elvárásoknak való megfelelés a digitalizáció pozitív hatásainak kihasználása nélkül lehetetlen [3].

Ezen a ponton szeretnék kapcsolódni az Ipar 4.0 fejlesztéséhez. Jelen interdiszciplináris munka keretein belül megvizsgálom, hogy lehet -ezen a digitalizáción alapuló új technológiákban rejlő potenciált a logisztika, mint dinamikusan fejlődő tudomány területén kiaknázni, miként tudnak az új eszközök és eljárások a logisztikai teljesítmény növeléséhez hozzájárulni.

A beszerzési és elosztási logisztika területén belül a beszállítási -, és raktározási folyamatokat vizsgáltam részletesen. Feladatombnak tekintetem azt megvizsgálni, hogy a szállítási folyamatok során milyen lehetőségek adódnak arra, hogy a szállítandó áru minőségének romlása legkisebb kihatással legyen a raktározási folyamatokra, legfőképp a várakozási időkre és a költségekre. Célom volt az is, hogy az árut minőségromlás nélkül lehet –e szállítási és a raktározási folyamatokban az átfutási-, várakozási időket illetve költségeket ún. preventív módszerekkel csökkenteni.

Bemutatok egy új okos eszközt, amely a digitalizáció elterjesztését a logisztika szinte minden területén elősegíti. Szabadalmaztatási eljárás előtt álló, de már megépített és működő készülékemmel megoldottam az új eszköz vagy vezeték nélküli szenzor csomópontok energiaellátását. Több mérési sorozat segítségével választ adok arra, hogy lehet –e a környezetet nem terhelő megoldást találni a CPS –ek (cyber-physical-system) energiaellátására [s5].

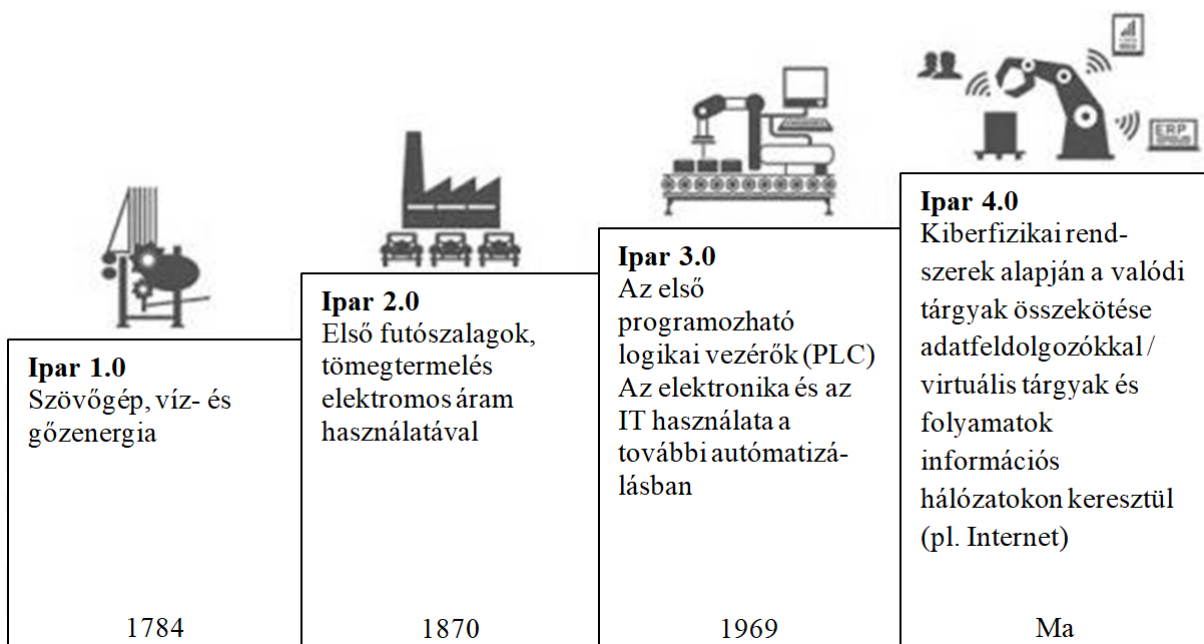
A globálisan működő, nagyméretű ellátási láncokat napjainkban a megnövekedett árumennyiség jellemzi, ami az árukat szállító járművek mennyiségének a növekedésével jár együtt. Ezen járművek pontos beérkezését sok tényező befolyásolja. Vizsgálataim során feltártam a járműkésésekért felelős tényezőket és kidolgoztam egy új modellt, amely segítségével a jármű beérkezések pontatlanságából adódó várakozási időket csökkenteni lehet.

# 1 IPARI FORRADALMAK

Az emberi társadalom mindig is életminőségének folyamatos javításán fáradozott. Az ipar pedig folyamatosan próbált lépést tartani az elvárásokkal, ez vezetett mindannyiszor az újabb és újabb ipari forradalomhoz. A gazdaságtörténet e kiemelkedő szakaszaiban a kommunikáció fejlődése egybe esett az energia hasznosítás és mobilitás fejlődésével, ami magasabb szintre emelte az életminőséget és megváltoztatta az üzlet modelleket [4].

A technikai fejlődés a 20. században széles tömegek életminőségét és körülményeit tudta jelentősen javítani. Ez a fejlődés a 21. században folytatódik és napjainkban az elektronikai,-informatikai rendszerek rohamos fejlődésével ma egy új technikai forradalom küszöbén állunk. Ezt a technikai forradalmat Ipar 4.0 – nak nevezzük. A szakirodalom még nem egységes fogalmakat használ, de a technikai berendezések és rendszerek már működnek. Részfeladatokat már ma is ellátnak, de ezek koránt sem egységesek egy szabványnak megfelelőek. A pontos fogalomrendszer definíciója hiányzik.

Az itt bemutatásra kerülő munkában szeretném a technika mai állását a logisztika területén összefoglalni és egy részterületen a technikai változtatás kihatásait a komplett ellátási láncra bemutatni és az ebből adódó logisztikai teljesítmény növekedéséből létrejövő új folyamatokra modelleket felállítani.



1.1. ábra. Ipari forradalmak [11]

## 1.1 AZ ELSŐ HÁROM IPARI FORRADALOM

Mokyr 1985-ös könyvében az ipari forradalmat egy folyamatként, nem pedig eseményként határozza meg [5]. Idézi Perkin általánosan elfogadott definícióját [6], miszerint az ipari forradalom megváltoztatta az ember által hozzáférhető eszközöket, amelyek megkönnyítik mindennapi életét, és megnyitotta az utat afelé, hogy az ember fizikai környezetét uralni tudja. Az ipari forradalom nem csak a termékek és szolgáltatások előállításának módját újította meg, de megváltoztatta a családot, a háztartást, benne a nők és gyerekek szerepét. Hatására megváltozott



az egyház szerepe is, és az is, hogy az emberek miként választják meg a döntéshozókat, hogy mit tudnak, és mit akarnak megtudni a világról.

Az első ipari forradalom Angliából indult, és a 18. század végéhez, 19. század első feléhez köthető, majd a beteljesülése, társadalmi hatásai a 19. században fejtették ki igazi hatásukat. Ezen ipari forradalom kezdetét többen az 1769-ben benyújtott két, a későbbi technológiákat alapvetően meghatározó szabadalomhoz kötik (James Watt – gőzhajtású motor, Richard Arkwright – pamutszál fonásának gépesítése) [5]. A gőzhajtású vasúti közlekedés rövidebb idő alatt nagyobb távolságok legyőzésével forradalmasította a mobilitást, a postai küldemények gyorsabb továbbítása a kommunikációt gyorsította fel. Az ipar fejlődése az 1. ipari forradalom első 70 éve során olyan mértékű volt, amelyet korábban sosem tapasztaltak Nagy-Britanniában. Az egy főre eső GDP az első és második ipari forradalom között csaknem megháromszorozódott [7].

A második ipari forradalom a 19. század végéhez, a 20. század elejéhez, a tömeggyártás és az elektromosság elterjedéséhez köthető. A lakosság számának és a fogyasztói igényeknek a növekedése a termelés volumenének növelését tette szükségessé. Ennek következményeként alakultak ki olyan gyártó komplexumok, amelyek nagy tömegben, olcsón voltak képesek széles rétegek igényeit kielégítő termékek előállítására. Ehhez nem csupán nagy termelő létesítmények, de a munkaszervezés új módja és egyre több emberi tevékenység gépesítése is szükséges volt. A vegyipar, az olajipar, az acél- és gépipar és az elektronika fejlődése mellett ugyancsak megfigyelhetünk társadalmi változásokat, az egyre erősebb urbanizációt, az újabb társadalmi rétegek megjelenését és önszerveződését. A városlakók ellátására a közművek hálózatának (víz, szennyvíz, elektromos áram, később a telefon) kiépítése is rohamtempóban zajlott [8]. Az ipari fejlődés e szakaszában az elektromos áram háztartásokban való megjelenése emelte az életminőséget, az új technológiák gyorsították a kommunikációt, a tömeggyártásban termelt gépkocsik pedig a mobilitást javította.

Greenwood [9] a harmadik ipari forradalom kiindulását 1974-re datálja. Innentől következett be ugyanis az a jelenség, hogy a termelő berendezések és számítógépek ára elkezdett rohamosan csökkenni, ez évi 19 százalékkal csökkent. A technológia fejlődését ebben a korszakban egyértelműen az információ technológia fejlődése határozta meg. Az információ továbbítása hihetetlenül felgyorsult, a mobilitás világszinten vált elérhetővé a tömegek számára. Míg a vállalati beruházások mindössze 7 százalékat költötték IT-re a cégek 1955-ben, addig ez a szám a nyolcvanas években 30 - 40 százalék körül mozgott [9]. A munka termelékenységére 1950 és 1981 között évente 2,3 százalékkal, 1980 és 90 között 3,8 százalékkal nőtt [10]. A számítógépek tudásának rohamos fejlődése és áruk relatív esése azt is lehetővé tette, hogy bizonyos termelési folyamatok automatizálása megindulhasson. Az információ technológia egyre nagyobb térnyerése, a robotok megjelenése és terjedése pedig mintegy „megágyazott” a következő ipari forradalom számára.

Ipari forradalmakról általában megállapítható, hogy bármely szakaszáról legyen is szó, a cél azonos volt: a rendelkezésre álló technológiával megkönnyíteni az ember életét, és a fogyasztó igényét magasabb minőségi szinten kielégíteni.

## **1.2 XXI. SZÁZADI HAJTÓERŐK**

A piacokon jelentős mértékben és gyorsasággal megnöttek a termékekkel és szolgáltatásokkal szembeni egyedi igények. A piaci gyors változások az egyes vállalatoknál a termékstruktúra jelentős bővülését követeli, meg amihez a mindenkori termékstruktúra gyors és dinamikus változása párosul, amit az egyedi igényeknek megfelelő kis-, és közepes sorozatok jellemeznek [1].

Az előállított termékek életciklusa jelentősen lerövidült a termékminőség fogalmába a műszaki és ár paramétereken túl a logisztikai szolgáltatások, szervizszolgáltatások is beletartoznak. Beszállítók alkalmazásával a termelés mélysége iparáganként eltérően, de jelentős mértékben csökken a szállítók megválasztása és a „gyártani vagy vásárolni” elv stratégiai kérdés lett [1]. A gyorsan változó vevői igények miatt a termék életciklus lerövidül, ezért folyamatosan kell dolgozni a termék és az előállításához szükséges technológia innovációján. Nemcsak magát a terméket kell időről-időre megújítani, hanem egy olyan termelési technológiát is ki kell alakítani, amely rugalmasan változtatható az újabb és újabb vevői termékspecifikációk mentén, lehetőséget ad a testre szabásra, és a termékek közötti átállási idő is drasztikusan csökken. A rugalmassá váló gyártás és a vevői igények egyre nagyobb mértékű figyelembe vétele azt eredményezi, hogy nagyon magas számú termékvariáns kerül gyártásra, amely mind egyedi beállítást, azonosítást és nyomon követést igényel [1].

A korábbi termelési rendszerek már nem tarthatók fenn soká, hiszen tartós környezeti károkhoz (klímaváltozás) vezetnek, túl sok nem megújuló energiaforrást emésztenek fel, továbbá az öregedő társadalmak miatt fel kell készülni a munkaerő létszámának csökkenésére [2].

Ez utóbbi kiváltására a robotok és az automatizáció régóta létezik. Az internet viszont, ezek hálózatba kötésével forradalmasítja a folyamatszervezést.

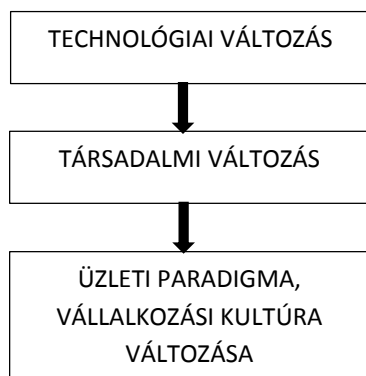
Ezekre az új kihívásokra egy gazdasági szemléletváltással lehet válaszolni. Ennek értelmében létre jön egy átmenet a tömegtermelésből az egyedi vevői igények rugalmas és tömeges kielégítése felé, a készletre termelést felváltja a rendelések dinamikus kiszolgálása, a paletta a fizikai termék előállításától a komplex, kiegészítő szolgáltatások nyújtásáig szélesedik ki [1].

A gazdasági szemléletváltás az eltávolodást a költségközpontú szemlélettől a tökemegtérülés irányába, áttérést a bonyolultabb szimulációs formákon át komplexitás kezelésére, alkalmas gyártórendszerekre (pl. valós idejű szimuláció, gépi tanulás), munkaszervezésre (feladatpárhuzamosítás, távmunka, állandó hálózati kapcsolódás) a termelési tér átszervezése kapcsolt üzemi terekre, foglalja magában.

## **1.3 IPAR 4.0 GLOBÁLIS VÁLTOZÁSI FOLYAMATA**

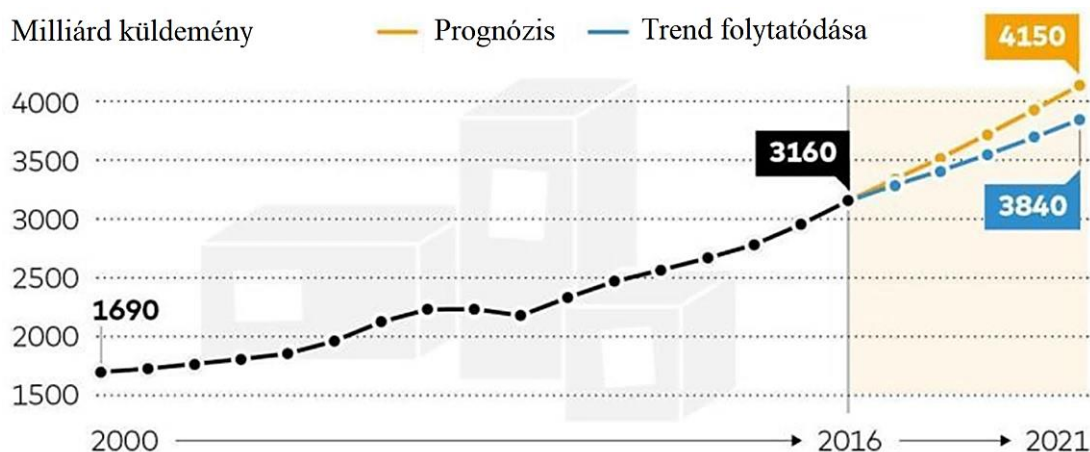
A technológiai változás társadalmi változást okoz és az üzleti paradigma, vállalkozási kultúra változásához is vezet. Fontos technológiai változás az e-commerce megjelenése, amely elterjedésével és jelentős növekedésével a kereskedelem is alapvetően megváltozik.

Tíz év alatt az online kereskedelem forgalma az ötszörösére nőtt. 2015-ben Németországban közel 50 Milliórd € értékben rendeltek meg árut az interneten, amit a vevőknek közvetlenül szállítottak ki [12].



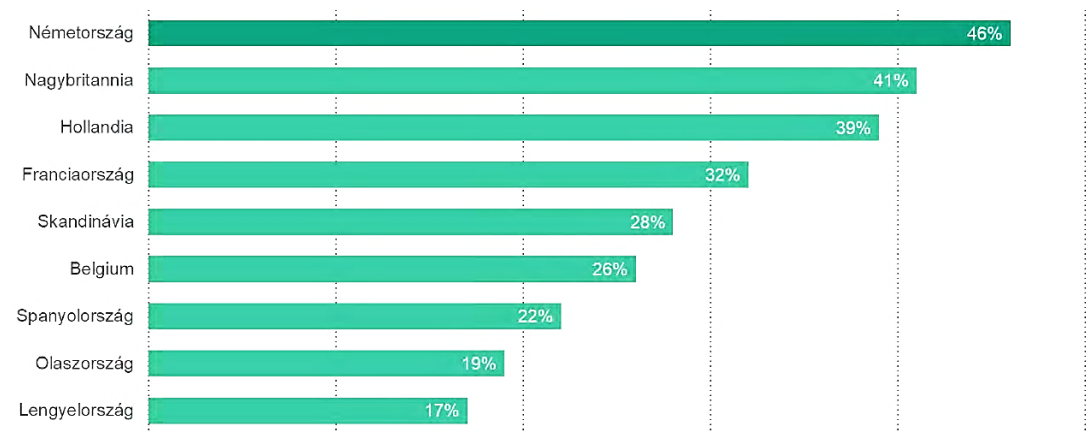
1.2. ábra. Ipar 4.0 globális változási folyamata

A kiszállított küldemények száma Németországban 2016 –ra átlépte a három milliárd darabot és az 1.3.2. ábrából az prognosztizálható, hogy ez a mennyiség öt évvel később négy milliárdra is nőhet.



1.3. ábra. Németországban kiszállított csomagok száma [13]

A kiszállításra került csomagok számának növekedésével egyben a visszaküldött csomagok száma is nő. Ezt a tendenciát az 1.4. ábra szemlélteti.



1.4. ábra. Azon személyek aránya, akik az elmúlt 12 hónapban az online megrendelt terméket visszaküldték (% , 2017) [1]

## 1.4 LOGISZTIKA 4.0

Az Ipar 4.0 (Industrie 4.0) tervet hét évvel ezelőtt dolgozták ki Németországban. Viharos gyorsasággal söpört végig a kontinensen, és ma már széles körben az ultramodern (digitális, hálózatos) ipar szinonimájaként használják. Nem sokkal utána megjelent a Logisztika 4.0 kifejezés is, ami szinte magától értetődik, hiszen sem a gyárkapun belüli ipari termelés, sem a gyárkapun kívüli ellátási láncok nem képzelhetők el hasonló fejlettségű logisztika nélkül [14].

A 21. században a logisztika is sokkal több, mint egyszerű szállítás és raktározás. Bizonyos esetekben már az alapanyag kitermelésének a megszervezése is ide tartozik, ezen kívül a cégek közötti külső, valamint a komplett belső áruszállítást, anyagmozgatást, raktározást, rakodást, anyagellátást, árueosztást, hulladékkezelést és az ezekhez kapcsolódó informatikai, vállalatirányítási rendszereket, anyagmozgató gépeket és az teljes ellátási hálózatokat is magában foglalja. Ezekre épül rá a Logisztika 4.0. olyan módon, hogy a gépek és eszközök összekapcsolódnak, a gazdaság hamarosan egyetlen hatalmas, intelligens információs rendszerbe integrálódik [14].

A negyedik ipari forradalomban élenjáró vállalat logisztikai folyamatait a digitális technológia támogatja. Különösen fontos ez a terület, hiszen alapvetően képes befolyásolni a vállalat üzleti teljesítményét és a vevői elégedettséget.

## 1.5 DIGITÁLIS ÁTALAKULÁS

A negyedik ipari forradalom alapja a digitalizáció és az adat. A számítógép csupán eszköz. Újfajta, hálózatba kötött technológiai eszközökre épít (pl. szenzorok, RFID), és új eljárásokat (pl. adatelemző szoftverek, felhő, programozás) tesz szükségessé, amely újfajta képességeket igényel a vállalattól (pl. folyamatos innováció, lifelong learning, bizalom, adatmegosztás) és ez akár új üzleti modellek kialakítását is szükségessé teheti.

Az internet és a technológiai fejlődése megteremti az emberek, gépek és vállalatok folyamatos összeköttetésben lévő hálózatát, a kiberfizikai rendszert, és az értékteremtő folyamatok adatainak folyamatos megosztásával elérhetővé válik a versenyképes, a vevő számára teljesen testreszabott termék előállítás.

A különböző gépek, rendszerek - akár maguk a termékek is – az új szenzorokkal ontják magukból az adatokat. Ezek tárolása, feldolgozása, értelmezése hatalmas kihívást jelent. A versenyelőny forrása tehát nem csupán az összehangolt, vagy éppen teljesen új alapokra helyezett termelés (pl. additív termelés) lesz, hanem a termékek digitális szolgáltatásokkal való körbeágyazása, valamint, hogy melyik vállalat milyen releváns információs szűr le a keletkező adatokból a döntéshozatal támogatásához. [15], [16], [17]

Az Ipar 4.0 tehát a technológiai eszközök, tevékenységek összessége révén, a digitalizáció adta lehetőségek kiaknázásával magas szintre emeli a folyamatok átláthatóságát és integrálja a vállalati értékláncot és az ellátási hálózatot, új szintre emelve a vevői értékteremtést [18].

## 2 IPAR 4.0 TECHNIKAI ESZKÖZEI

A PricewaterhouseCoopers 2016-ban közölt egy listát azokról az elemekről, amelyek az Ipar 4.0 megvalósítását szolgálják [17]. Három szintjét értelmezi az eszközök alkalmazásának. Az első szinten a termelési folyamat digitalizációja zajlik, a másodikon új termék-szolgáltatás portfólió kidolgozása, majd pedig a mindezek kiterjesztése a partnerkapcsolatokra is. Az egyes szinteken felsorolt eszközök egyszersmind a vállalat digitalizációjának kellékei is.

1. a belső és külső értéklánc digitalizációja és integrációja, mobil eszközök, felhő alapú szolgáltatások, IoT platformok
2. a termék és szolgáltatás portfólió digitalizálása, kiterjesztett valóság, többszintű vevői interakciók és vevői profil megalkotás, big data elemzések, fejlett algoritmusok, okos szenzorok
3. az üzleti modell és a vevő elérés digitalizációja, 3D nyomtatás, azonosítás és visszaélések feltárása, magas szintű ember-gép interfészek, helymeghatározó technológia

Wang és szerzőtársai szerint [19] az Ipar 4.0 megvalósításához szükség van a) az értéklánc horizontális integrációjára, b) hálózatba kapcsolt gyártási rendszerre és vertikális integrációra, c) a műszaki tervezés ügyféltől - ügyfélig (end-to-end) való digitalizációjára az egész értéklánc mentén. Vannak szerintük olyan feltörekvő technológiák, amelyek, ezek megvalósítását támogatják, így az IoT, a vezeték nélküli szenzor hálózatok, a Big Data, a felhő alapú szolgáltatások, a beágyazott rendszerek és a mobil internet.

Az Ipar 4.0 megvalósításához nélkülözhetetlenek az olyan eszközök, amelyek az adatokat generálják, létrehozva a Big Datát. Ezek a szenzorok sokasága, az RFID chipek, 3D szkennerek, kamerák, robotok. A gépekkel interfészekon keresztül kommunikálunk, leggyakrabban real-time módon. Az eszközök gyűjtik, tárolják és elosztják az adatokat, mint például a felhő vagy a helyi adattárházak. Kellenek olyan platformok is, amelyek közös alapot adnak mindezen gépeknek és eszközöknek, illetve olyan standard, vagy mindeztidáig leggyakrabban házon belül fejlesztett szoftverek, amelyek a keletkező adatokból leszűrik a releváns információt (pl. adatbányászat és adatelemzés, szimulációk, algoritmusok) és azokat a felhasználók számára kényelmes módon és eszközön, azaz platformon (tablet, mobil telefon) jelenítik meg. Az eszköz, amely megjeleníti a kezelőfelületet nem speciális, ami lehet akár a dolgozó mobiltelefonja is. Lényege, hogy könnyen vizualizálható legyen a felhasználó számára a szükséges információ.

Az integrációt a fenti „dolgok” valamennyi darabjának internet/hálózati csatlakozása és egymással való valós idejű összekapcsolódása hozza létre.

### 2.1 OKOS ESZKÖZÖK

A termékbe beépülő, beépített technológiai eszközök (szenzor, mikroprocesszor, adattároló, valamilyen szoftver vagy akár operációs rendszer) lehetővé teszik, hogy egyre komplexebb szolgáltatásokat tudnak nyújtani a vevőnek. Porter és Heppelmann az alapján különböztetik meg a termékbe épülő szolgáltatásokat, hogy azok milyen mértékben teszik lehetővé az autonómiát arra, hogy a termék vagy a gépjelzést küldjön, és beavatkozzon a termelési

folyamatba [20]. Ezen kategóriáik: monitoring, kontroll, optimalizálás és autonómia, amelyek egymásra is épülnek.

Fleisch szerint az okos termékek és szolgáltatások segítenek embereknek bizonyos termékekre és szolgáltatásokra vonatkozó tevékenységük ellátásában. Funkciójuk a környezettel való közvetlen érintkezésen és kapcsolatukon alapul, beleértve az olyan eszközöket is, mint például azok az alkatrészek, amelyek az intelligens termékekkel kapcsolatban vannak, valamint a termékek életciklusának történetét illetve más termékekkel való szomszédságát is [21].

Mark Weiser [22] szerint a „mindennapos számítástechnika segíthet abban, hogy megszabadítsuk a fejünket a felesleges munkától”. Ezek fontosabb elemei:

1. Tárgy azonosítása és egyszerű if – then - else algoritmus végrehajtása pl:

- pisztoly, ami csak akkor működik, ha egy chip van a tulajdonos csuklója közvetlen közelében
- fogyasztási cikkek, amelyek csak akkor működnek, ha a pótalkatrész eredeti (pl. nyomtató és festékkazetta)
- a veszélyes áruk riasztást generálnak, ha olyan áruk túl közel kerülnek egymáshoz amelyek katasztrófát okozhatnak

2. Elem azonosítása, környezet érzékelése

- A hideg ellátási láncban az árucikk csomagolása jelzi, hogy a megengedett hűtési tartomány meg volt –e zavarva

3. Tárgyak azonosítása, környezet érzékelése, egyszerű if-then-else algoritmus végrehajtása, kommunikáció

- gépek (autók, repülőgépek) csak akkor működnek, ha eredeti alkatrészek vannak felhasználva és ha a használati idő véget ér pótalkatrészt lesz automatikusan megrendeli
- a csomag érzékeli a tartózkodási helyét, kommunikál a gépekkel és a gép figyelmeztetést generál, ha a nem kompatibilis az alkatrész
- Az automaták a leltárt és a szolgáltatási igényeket érzékelik és létrehoz egy üzenetet, ha feltöltés vagy szolgáltatás szükséges.

Az okos termék első szintje, hogy a termék képes adatot szolgáltatni saját maga megfigyeléséről (monitoring), amely során állapotáról, a megmunkálás folyamatáról, külső környezeti hatásokról küld adatokat. A tervezettől való eltérés esetén jelzést küld a kezelőnek, aki a beavatkozásról dönthet. Ide tartozik az is, amikor a vevő nyomon követheti termékének elkészültét, kiszállítását. Az adatok kiválóan hasznosíthatók a terméktervezés folyamatában, piac szegmentáció során, vásárlás utáni szolgáltatásokban (pl. mit kell szervizelni, vagy jogos -ezen a garancia igény), illetve növelheti az eladásokat is, ha olyan új funkciók igénye merül fel a használat során, amelyekre még szüksége volna a vevőnek [20].

A második szint az okos termékek esetében, amikor a megfigyelés eredményeképpen beavatkozás is történik (control). A megfigyelt adatok alapján a rendszer észleli és jelzi az eltérést és vagy az eszközbe vagy a felhőbe telepített algoritmus vagy parancs kerül végrehajtásra [20]. Erre példa lehet a Porter és szerzőtársa által említett LED lámpa, amelynek fényereje okos telefonról is vezérelhető.

A harmadik fokozat az amerikai kutatók szerint az optimalizálás. Ekkor már nemcsak az aktuális megfigyelési adatok és beépített kontroll eszközök állnak rendelkezésre, hanem további szoftverek segítségével historikus adatok is bevonhatók az elemzésbe, amely által nagymértékben javítható az előállított gyártási mennyiség, a hatékonyság és a kihasználtság [20]. Egy a terméket gyártó szerszám élettartamának, karbantartásának tervezése válik lehetővé, ha figyeljük a legyártott termék mennyiségét és az elkészült termék fizikai paramétereit. A legkisebb eltérést észre lehet venni egy 3D szkennelvel, így idejében tervezhetjük a karbantartás időpontját, és adott esetben alacsony költséggel, a lehető legkevesebb állásidővel már akkor beavatkozhatunk a termelésbe, mielőtt selejtes termékeket kezdenénk gyártani.

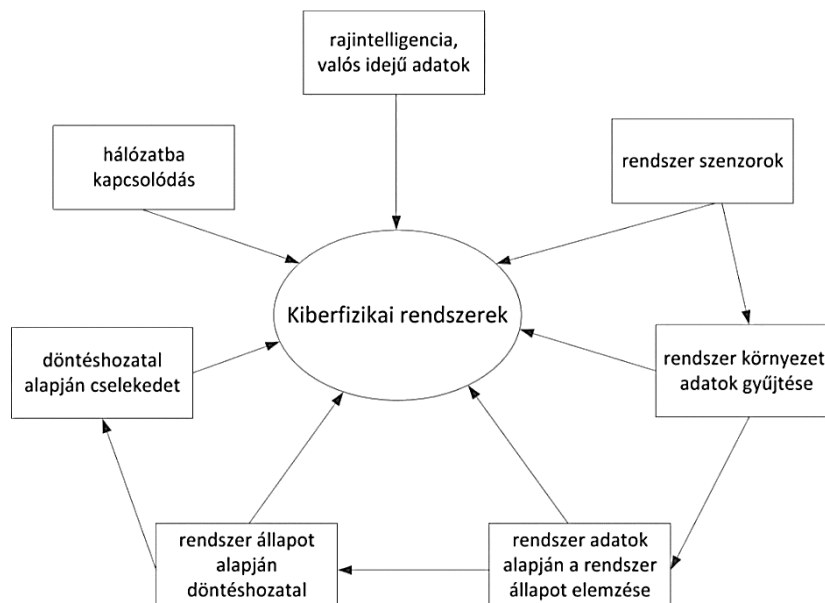
A negyedik fokozat az autonóm termék [20]. Az autonóm termékek algoritmusokat használnak, hogy elemezzék saját és környezetük (más termékek és rendszerek) adatait, kommunikáljanak velük és ennek megfelelően szabályozzák működésüket. Az emberi operátor ekkor már csak felügyeli a működést. Egy ilyen megoldásnak tekintenek a szerzők egy olyan robotporszívót is, amely szenzorokat használ, hogy a helység adottságait és a padlót felmérje és kitakarítsa. Az okosabb termékek tanulni is képesek, megjegyzik környezetüket, diagnosztizálják saját szerviz szükségletüket, és igazodni tudnak felhasználójuk igényeihez. Általuk olyan helyen is lehetővé válik a munkavégzés, ahol az embernek nehéz vagy veszélyes lenne.

## **2.2 KIBERFIZIKAI RENDSZEREK**

Kiberfizikai rendszerek (Cyber Physical Systems, CPS) képesek környezetükből szenzorok segítségével adatokat gyűjteni és az adatok elemzését követően cselekednek. A kiberfizikai rendszerek hálózatba kapcsolnak, jelentős részük egymással is összekötött, ezért alkalmazható a rajntelligencia (a közös stratégia alkalmazása a működésben), amely még hatékonyabb működést eredményez [23]. Ezen rendszerek működési felépítését a 2.1. ábra szemlélteti.

A kiberfizikai rendszerek gyakorlati használata tíz tématerületre összpontosul. Ezek az alábbiak [24]:

- Mezőgazdaság,
- Oktatás,
- Energia management,
- Környezet megfigyelés,
- Intelligens szállítási rendszerek (Intelligent Transportation System (ITS)),
- Egészségügyi berendezések és rendszerek (Medical cyber-physical systems (MCPS))
- Folyamatvezérlés,



2.1. ábra. Kiberfizikai rendszerek működési koncepciója [23]

- Biztonságtechnika,
- Okos városok és okos otthonok és
- Kiberfizikai termelési rendszerek (Cyber-Physical Production Systems (CPPS))

## 2.3 OKOS / IoT LOGISZTIKAI ESZKÖZÖK NAPJAINKBAN

Mark Weiser [25] előrejelzése szerint a számítástechnika fejlődésének következő, 3. generációja nem intelligens vagy ágens\* lesz, hanem sokkal inkább láthatatlan, csendes és összekapcsolt. (\* az ágens fogalom magyarázatát a melléklet tartalmazza)

Neil Gershenfeld szerint az eszközöknek van:

- személyazonossága
- tud más objektumokat érzékelni
- megismerik környezetüket

Az okos logisztika fogalmára és témakörére vonatkozó vita ma még nyitott, viszont Weiser előrejelzése továbbra is érvényes. Hatalmas mennyiségű kutatás foglalkozik az intelligens és az ágens alapú logisztika vizsgálatával [25].

## 2.4 AKTUÁLIS OKOS / INTELLIGENS ESZKÖZÖK AZ INTRALOGISZTIKÁBAN

Ebben a fejezetben áttekintem az intralogisztika területén napjainkban már alkalmazott okos, ill. intelligens eszközöket és technológiákat.



## 2.4.1 OKOS SZENZOROK AZ INTRALOGISZTIKÁBAN





Az okos szenzorok a logisztika területén már napjainkban is használatosak.

Főbb alkalmazási területeik a következő feladatok ellátására terjed ki:





- Biztonságos szállítás, szállítmányok követése,
- Intralogisztika, raktári folyamatok,
- Gyártást automatikusan kiszolgáló rendszerek,
- Fogadó oldali teljes átláthatóság.

Az okos szenzorok raktári folyamatokban való alkalmazásuk a következő területekre terjed ki.

2.1. táblázat. Navigálás és pozicionálás szenzorjai [26]


	<p>A mobil platformok automatikusan vagy önállóan mozognak a termelési vagy logisztikai környezet különböző pontjain. Annak érdekében, hogy megtalálják az útvonalat, különféle érzékelői megoldásokra van szükség a navigációhoz és a helymeghatározáshoz, amelyek a mobil platformok lokalizálásához és navigálásához szolgálnak</p>	
	<p>Vonalvezetés</p>	<p>A vonalvezetés egyszerű, olcsó és közös módja a mobil platformok navigálásának. Az érzékelő felismeri és követi a padlón lévő minta vagy vonalat úgy, hogy a mobil platform az adott sávon belül legyen vezetve.</p>
	<p>Lokalizáció</p>	<p>A lokalizációs alkalmazásokhoz szenzorokat használnak a mobil platformok abszolút pozíciójának meghatározására a környezetükben. Megfelelő megoldások a 2D kódoktól a szabad reflektorokig vagy a kontúr lokalizációig terjedhetnek.</p>
	<p>Mozgásvezérlés</p>	<p>Érzékelők és megoldások a mozgatható platformok minden mozdulatának szabályozásához és navigálásához. Az oldatok a kódolókból, pl. az odometrikus feladatokhoz a dőlésszenzorokon keresztül a motor visszacsatolási rendszerekre.</p>

2.2. táblázat. Szenzorok a környezet megítélésére és biztonság biztosítására [26]

	<p>A szállítás során a járműveknek és a kocsiknak képesnek kell lenniük arra, hogy felismerjék és észleljék környezetüket. Ez megakadályozza az ütközéseket tárgyakkal vagy emberekkel, és biztosítja a biztonságos és megbízható folyamat műveleteket.</p>
	<p><b>Személyvédelem</b></p> <p>Az olyan területeken, ahol az emberek és a mobil platformok együttműködnek, a biztonsággal kapcsolatos érzékelők elengedhetetlenek.</p>
	<p><b>Ütközés elhárítás</b></p> <p>Minden ütközés többletköltséget okoz a gépesedések miatt. Egysugaras fotoelektromosbiztonsági érzékelők, 2D és 3D érzékelők korai, érintésmentes figyelmeztetéseket biztosítanak az ütközésekkel szemben, és így megakadályozzák azokat.</p>
	<p><b>Biztonsági ellenőrzés</b></p> <p>A biztonsági elemek egyszerű integrálhatósága érdekében több gyártó rugalmas és felhasználóbarát biztonságos vezérlési portfóliót kínál az egyszerű biztonsági reléktől a konfigurálható biztonsági vezérlőkig.</p>

2.3. táblázat. Szállítmánykezelés szenzorjai [26]

	<p>A mobil platformok alapvető funkciója az áruk szállítása</p>
	<p><b>Szállítmányérzékelés</b></p> <p>Az érzékelők észlelik az áruk jelenlétét, ellenőrzik az üres polcokat vagy a helyes igazítást a mobil platform felé. A megoldások az egyszerű észlelő szenzoroktól, mérőeszközökön keresztül a 2D LiDAR érzékelőkig terjednek</p>
	<p><b>Azonosítás és nyomon követés</b></p> <p>Az 1D és 2D vonalkódokhoz skálázható megoldások, valamint RFID címkék állnak rendelkezésre.</p>

	Szállítmány pozicionálása	Az érzékelők meghatározzák a terhelés méretét és pozícióját a mobil platformon, valamint a tárolási helyeken.
---	---------------------------	---

## 2.4.2 VEZETŐ NÉLKÜLI JÁRMŰVEK

A vezető nélküli járművek használata alapjában változtatja meg a logisztikai folyamatokat. Az autonóm eszközök számos előnnyel rendelkeznek – használatukkal nem csupán a közlekedés válik biztonságosabbá, de az üzemanyag fogyasztás és a környezetterhelés is csökkenthető. Az emberekkel együtt dolgozva hoznak létre magasan termelékeny munkakörnyezetet, ezek során átveszik az ismétlődő és balesetveszélyes, anyagmozgatással járó feladatokat is.

Számos raktárban már több éve használnak autonóm járműveket, amelyek a különféle formájú és méretű termékek mozgatását végzik, és utasítás szerint járnak be a rendelkezésükre álló területet. A raktárakban használt vezető nélküli járművek, illetve szemléltet a 2.2. ábra, nemcsak áruk mozgatására képesek, hanem a folyamat más lépéseit, például a be- és kirakodást is el tudják végezni, ami a teljes folyamat általános hatékonyságának növelését eredményezi.

A hatékonyságnövelés mellett a vezető nélküli járművek a szállítási (anyagmozgatási) és rakodási folyamatok biztonságát is jelentős mértékben növelhetik. A legtöbb vezető nélküli jármű azonban megáll, ha akadályba ütközik, és nem megy tovább mindaddig, amíg az akadályt el nem távolítják az útból, vagy amíg a sofőr át nem veszi a manuális irányítást.

Az ilyen járművek zöme csak előre meghatározott útvonalat tud követni, és a beltéri navigáció által okozott korlátok miatt viszonylag drága és rugalmatlan infrastrukturális beruházást igényelnek. A beltéri navigációs akadályok leküzdésének jelenlegi és jövőbeli legjobb, és leggyakoribb módszerét a járműre szerelt mélységkamerák és lézerek kombinációja jelenti; ezek az eszközök folyamatosan pásztázzák és letapogatják a környezetet, így azonosítják be a jármű helyzetét és az esetleges akadályokat.

A vizuális vezérlési technológia teljes mértékben olyan kamerákra épülnek, amelyek 360 fokos látószögben mérnek be a környezetet egy 3D-s térkép készítéséhez, melyet a jármű a navigáláshoz használ. Ez a raktárakban használt vezető nélküli járművek következő generációja, melyek teljes körű, rugalmas navigációs képességgel rendelkeznek, ami sokkal szélesebb körű alkalmazást és sokkal nagyobb autonómiát tesz lehetővé.



2.2. ábra. Vezető nélküli automatikus raklapmozgató berendezés [27]

### 2.4.3 PICK-by TECHNOLOGIÁK

A kommissiózás területén a széleskörűen elterjedt papír alapú Pick-by-Paper módszer mellett, megjelentek technológiával támogatott kommissiózási technikák is [29].

A *Pick-by-Paper* eljárás során használt kommissiózási lista tartalmazza a raktárban az anyag helyét, cikk számot és a mennyiséget. A kiválasztandó áru ezen információk alapján kerül kivételre és a listán szereplő tételt kipipálják.

Az adatokat a teljes lista feldolgozása után felviszik a raktárirányító rendszerbe.

Az eljárás előnye, a modern technológiával támogatott módszerekkel szemben, hogy nem kell eszközöket beszerezni és azokat üzemeltetni mára már csak vészhelyzeti stratégia elemévé vált, hátránya ennek az eljárásnak az, hogy nincs valós idejű összeköttetés a raktárirányító rendszerrel, manuális tevékenységek nagy száma miatt az alacsony termelékenység mellett a magas hibaarány a pick-by-paper hátránya.

A *Pick-by-Scan* alkalmazásban az alkalmazottak kézi,- vagy villás targoncákra szerelt olvasókészülékkel mozognak a raktárban a mobil adatgyűjtéshez. A kommissiózási listát a rendszer közvetlenül az alkalmazott MDE eszközén jeleníti meg. Az elvett cikkeket az eszköz visszaigazolja, így az áru mennyiségről valós idejű adatok állnak rendelkezésre a rendszerben, a kommissiózási folyamat aktuális állapota nyomon követhető. A legtöbb esetben az alkalmazott terminálok integrált vonalkód leolvasókkal vagy RFID olvasókkal rendelkeznek, így lehetséges a kivett áru további ellenőrzése, és biztosított a következetes és átlátható anyagáramlás.

*Pick-by-Light* technológia használata esetén optikai jelzések vezetik az alkalmazottat a tároló rekeszhez vagy raktár polchoz és olyan raktárakban alkalmazható hatékonyan, ahol kisméretű, több fajtájú alkatrészeket mint pl. gyártáskiszolgálás esetén kell gyorsan kommissiózni.

Mindegyik tároló rekesz egy világító elemmel, egy kijelzővel és egy nyugtázó gombbal van ellátva. A polcokba integrált kijelzők a munkavállalók számára a kommissiózási folyamat szempontjából minden releváns információt jeleznek.

A *Pick-by-Voice* ma a logisztika egyik bevált technológiája. Mivel a módszer maximális mozgásszabadságot és rugalmasságot biztosít a munkavállaló számára, akinek mind a két keze szabadon van a kommissiózási folyamat fizikai végrehajtásához és egy mikrofonos fejhallgatót visel, amin keresztül automatikusan előállított robohangon keresztül kapja az utasítást, ami elvégzését a saját hangjával igazol vissza.

A *Pick-by-Vision* az egyik legújabb és leginnovatívabb kommissiózási módszer, ami egy rendszerben ötvözi a *Pick-by-Voice* és *Pick-by-Light* technológiákat. A beszédfelismerés használata biztosítja a kéznélküli működését, míg a szemüvegben látható vizuális kijelzők helyettesítik a rendszer hangutasításait. A kiterjesztett valóság (AR) használatával a felhasználó normál látómezője hasznos, virtuálisan létrehozott információkkal bővül. Ez lehetővé teszi a folyamatok adatokkal, grafikákkal és modellekkel való valós idejű támogatását [29].

### 2.4.4 AUTOMATIKUS AZONOSÍTÁSI RENDSZEREK ÉS NYOMONKÖVETÉS

A tárgyak azonosítása fontos szerepet játszik az életünkben. Az azonosítás és / vagy nyomon követés elengedhetetlen az olyan objektumok, emberek vagy eljárások legtöbbje esetén,- ha nem is mindegyikéhez-, amiket napi rendszerességgel használunk. Ilyenek például

a vonalkód technológia az élelmiszerek azonosításához, járműazonosító számok (VIN) a járművek felismeréséhez, fizetési módszerekhez használt mágnes csíkos kártyák (pl. hitelkártyák), emberek azonosításához biometria eljárások és a bélyegzők vagy pénz hitelesítéséhez használt holografikus technikák.

Az azonosításra / hitelesítésre számos technika létezik, mint például: hozzáférési kártyák, érintés nélküli intelligens kártyák és rádiófrekvenciás azonosítók (RFID). Ezek többféle formát ölthetnek és bármilyen más azonosítási vagy hitelesítési, vezeték nélküli applikációban is alkalmazhatók [30].

Az automatikus azonosítás iránt, amely az Auto-ID néven ismert, jelenleg óriási kereslet tapasztalható, mivel a jelenlegi kommunikációs korunkban, átmenetet jelent a vezeték nélküli hálózatok irányába. Számos iparág igényli az Auto-ID rendszerek fokozott kihasználását. Az ilyen iparágak: a logisztika, az ellátási lánc, a szállítás, a gyártás, a raktározási rendszerek, az egészségügyi ellátás, a biztonság, a tér és a navigáció [31]. A 2.3. ábra néhány automatikus azonosítási példát mutat be.



2.3. ábra. RFID alkalmazások [32] [33] [34]

#### **2.4.4.1 BARCODE RENDSZEREK**

1974-ben alkalmazták vonalkódokat először a kereskedelemben, főleg szupermarket pénztári rendszerekben. Azóta széles körben elterjedtek, egyszerűek és költségghatékonyak. Meg kell jegyezni, hogy korlátozott azonosítási képességekkel rendelkeznek. Ma már gyakori, hogy bizonyos okos telefonok vonalkód olvasó szoftverrel is rendelkeznek, amely a termékellenőrzéshez és / vagy bevásárlási összehasonlításokhoz kapcsolhatja a vonalkódot a weben keresztül.

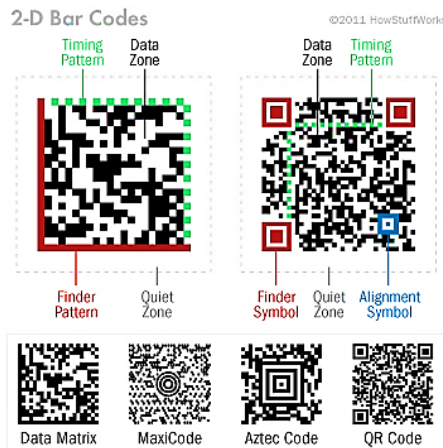
A vonalkód lényege, hogy az adatok pontos reprezentációját a párhuzamos sötét vonalak és a közöttük lévő hézagok előre meghatározott mintázata, a vonal szélesség és a hézag mérete határozza meg. A vonalkódot optikai szkennelvel vagy vonalkód olvasóval olvasva a szekvencia numerikus és alfanumerikusan értelmezhető. Többféle típusú egydimenziós (1D) és kétdimenziós (2D) vonalkód létezik. Az 1D-s vonalkódok vagy lineáris vonalkódokkal az adatok ábrázolásához használják a vonalakat és réseket. A 2D vonalkódok geometriai mintákat használnak egy képen belül. Gyakran használatosak például a pontok vagy négyzetek mintái is. A 2.4. ábrán szereplő pontozott régió vonalkód példát mutat be, amely az EAN-13 vonalkód szimbólumot használja.



2.4. ábra. EAN-13 vonalkód

## 2D vonalkódok

Ezt a síkbéli vonalkódot "mátrix" vagy "kétdimenziós" vonalkódnak nevezik. A 2D vonalkódok jelentősen nagyobb adat tárolására képesek, mint az 1D vonalkódok. A legmodernebb verziók akár több ezer alfanumerikus és más nyelvekből származó karaktert is tárolhatnak. A 2D vonalkódok beépített hibajavítással rendelkeznek, amely kompenzálja az elmosódást és torzítást. A 2D vonalkód működhet más funkcióval is, például az alkalmazások elindítása intelligens telefonokon, a QR kódok vagy Microsoft címkékkel együtt. A 2D vonalkódok mögött álló technológia már több mint 10 éve működik, de a népszerűség éppen az elmúlt években kezdett növekedni.



2.5. ábra. 2D bárkód változatok [35]

Az utóbbi években kifejlesztésre kerültek 3D, ill. 4D vonalkódok is, de ezek ismertetésére nem kapcsolódik ezen dolgozat témájához.

### 2.4.4.2 RFID RENDSZEREK

A rádiófrekvenciás azonosítás (RFID) egy kompakt, vezeték nélküli technológia az objektumok azonosítására, ami alkalmas ad- hoc vezeték nélküli hálózatok megvalósításához. Az RFID elektromágneses hullámokat használ fel egy címkén vagy transzponderben tárolt információk továbbítására és fogadására egy olvasóból, ill. olvasóba. Ez a technológia számos előnnyel jár hagyományos azonosítási módszerekkel szemben,- mint például a nagyobb olvasási tartomány, a gyorsabb adatátvitel, az RFID címkék az objektumba beágyazódása miatt nincs szükség optikai leolvasásra és a címkék hatalmas mennyisége egyidejűleg is olvasható. Az RFID-t jelenleg használó alkalmazások pl.: szállítás és logisztika, termékkövetés és készletezési rendszerek, belépés-vezérlés, eszközkövetés és automatikus járműazonosítás stb. [36]. A 2.6. ábra az RFID rendszer alkalmazott szimbólumát mutatja.



2.6. ábra. RFID szimbólum [37]

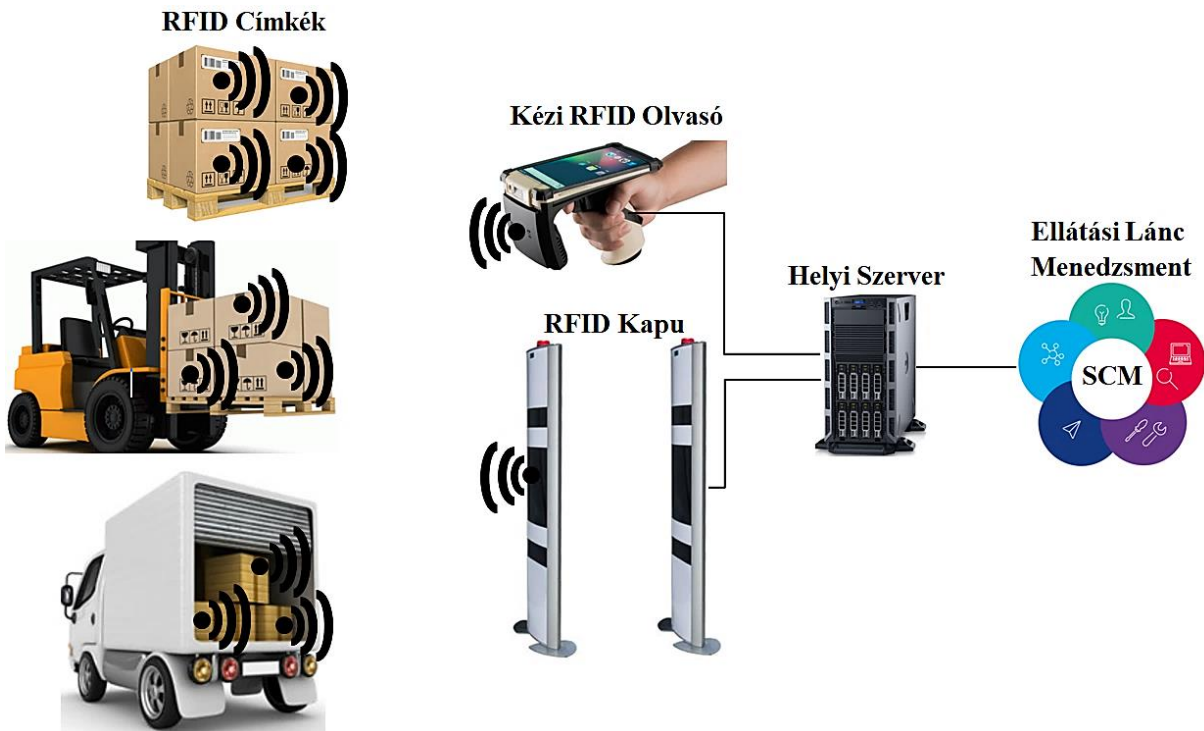
Az RFID rendszer az RFID címkékből, RFID olvasóból és middlewareből áll. Az RFID címke azonosítását az olvasó végzi a vezeték nélküli adatátvitel segítségével.

Egy rendszernek lehet többféle álló vagy mobil olvasója és címkéi az azonosítandó objektumokhoz vannak csatolva, (lásd a 2.7. ábrát). Az olvasó kommunikál a környezetében lévő címkékkel, összegyűjti a tárgyak adatait, amelyekhez a címkék vannak csatolva. Egy fix kapun elhelyezett leolvasó előtt áthaladó összes termék címkéje egyszerre kerül kiolvasásra és kiolvasás után az adatok továbbítódnak az adatbázisba.

Mivel a címkék újra felhasználhatók, ezért az RFID azonosító rendszer gazdaságos [36]. Az RFID technológiák csoportosítását a 2.4. táblázat mutatja.

2.4. táblázat. RFID technológiák összehasonlítása

	Frekvencia	Hullámhossz	Hatótávolság	Olvasási távolság	Adatátvitel
<b>LF passzív</b>	125 – 135 kHz	2 km	kicsi	magas	4 / 8 kbps
<b>HF passzív</b>	13,56 MHz	22 m	kicsi	alacsony - közepes	6,7 – 848 kbps
<b>UHF passzív</b>	868 – 950 MHz	0,3 m	nagy	magas	Freq/1, LF/2, LF/4, LF/8
<b>UHF aktív</b>	433 MHz – 5,8 GHz	0,6 – 0,04 m	nagy	legmagasabb	Freq/1, LF/2, LF/4, LF/8



2.7. ábra. RFID rendszer koncepciója

#### 2.4.4.2.1 RFID – TAG

Az RFID címkéket két csoportba lehet sorolni: aktív és passzív. A passzív címkéket többnyire az alacsony költség és a végrehajtás megkönnyítése érdekében alkalmazzák elsősorban. A passzív címkéket az alábbi területeken találunk:

- Logisztika területén, például gyártási, raktározási és elosztási feladatok ellátásánál,
- Biztonsági alkalmazások könyvtárakban és könyvesboltokban, útlevelekben és repülőtereken,
- Automatikus járműazonosítás, elektronikus útdíj szedés és elektronikus nyilvántartásba vétel.

#### 2.4.4.2.2 PASSZÍV CÍMKE

A passzív RFID címkék messze a legelterjedtebbek az alacsony költségű, miniatürizált méretük, alacsony profiljuk és egyszerű architektúrájuk miatt. Nem tartalmaznak fedélzeti akkumulátorokat, a backscattering eljárást használják az IC energiaellátására ahol az olvasó antennájából sugárzott energia az egyik legfontosabb tényezővé válik, amely meghatározza működési távolságot.

A passzív címke rövid hatótávolságú kommunikációs rendszer. Alkalmazhatóságának fizikai határát az adja meg, hogy a címkében lévő tekercs mérete kisebb kell hogy legyen, mint az alkalmazott frekvencia hullámhossza  $\lambda$ , így az alkalmazható maximális távolság:

$$r_n = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2.1)$$

E felett a távolság felett induktív kapcsolat nem jöhet létre. Egy 13,56 MHz –n üzemelő rendszer hullámhossza 22 m amivel a maximális adatátviteli távolság 3,5 m. A gyakorlatban az olvasási távolság ennél lényegesen kisebb.

Nagy hatótávolságú UHF rendszer esetében az antenna mérete  $D$  és a hullámhossz ( $\lambda = 0,34$  m) ugyan abba a nagyságrendbe esik, ezért az adatátviteli távolság:

$$r_n \sim \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.2)$$

Egy 0,3 m méretű antenna eseten az átviteli távolság 0,5 m.

A címke érzékenysége meghatározza a bemeneti jel minimális nagyságát, amely egy meghatározott kimeneti jel létrehozásához szükséges egy adott jel-zaj viszony mellett. Ezt a számot a gyártók dBm -ben adják meg (a dBm dB milliwatt, ahol 0 dBm egyenlő 1 mW).

Például egy RFID olvasó 1 W teljesítményű jelet bocsájt ki, amely 30 dBm -nek felel meg. Az olvasó és a címke közötti  $r_n$  távolságban a címke antennája által fogadott teljesítmény  $P_r$  -nek meg kell haladnia egy bizonyos küszöbértéket az RFID címke aktiválásához, ez általában a címke érzékenységét jelzi, és dBm -ben adható meg.

A passzív RFID címkék érzékenysége jellemzően mínusz tíz dBm körül van, míg az RFID olvasók érzékenysége -100 dBm alatt is lehet. Erre azért van szükség, mert a kibocsájtott jel a címke aktiválása után sokkal kisebb jelszint mellett érkezik vissza az olvasóhoz [36].



### 2.4.4.2.3 AKTÍV CÍMKE

Az aktív címke tartalmaz egy akkumulátort vagy áramforrást, amely nagyobb átviteli távolságot tesz lehetővé címke és olvasó közt, elsősorban azért, mert a címke érzékenysége már nem korlátozott, és sokkal alacsonyabb lehet, mivel azt egy forrás táplálja [36]. Ennek köszönhetően áthidalható az olvasó és címke közötti tárgyak jelszintet csökkentő hatása. Ezek a címkék sokkal magasabb költségűek, mint a passzív címkék, fizikailag nagyobbak a tervezési komplexitásuk és a fedélzeti akkumulátoruk miatt és általában saját házuk van, ami viszont növeli a rendszer költségeit.

### 2.4.4.3 RFID MIDDLEWARE

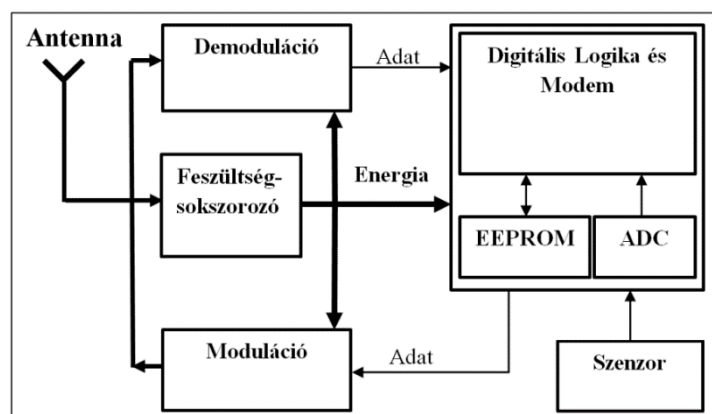
A middleware az RFID olvasó hardware és az RFID alkalmazás softwarét összekötő software komponens. Az RFID middleware szűri, formálja és átalakítja a címkével való alacsony szintű hardveres kommunikációt esemény információvá oly módon, hogy a software alkalmazás az adatokat fel tudja dolgozni. Egy RFID rendszerben a middleware a gépinformációkat a címke esemény információjává alakítja át.

### 2.4.4.4 VEZETÉKNÉLKÜLI SZENZOROK ÉS VEZETÉKNÉLKÜLI SZENZOR HÁLÓZATOK

A vezeték nélküli érzékelő olyan eszköz, amely egy érzékelő és egy RF vagy vezeték nélküli eszköz képességeit ötvözi, és így képes érzékelni és feldolgozni az adatot, valamint képes továbbítani és / vagy kommunikálni más vezeték nélküli eszközzel.

A vezeték nélküli szenzorok az RFID alapvető automatikus azonosítási képességén kívül integrációjuk révén egyesíthetik az azonosítási és érzékelési technológiákat. A cél egy olyan rendszer létrehozása, amely képes nemcsak nyomon követésre, hanem megfigyelésre (állapot) is. A valós idejű felismerés révén létrehozhatunk egy intelligens RFID-képes szenzorok hálózatát.

A 2.8. ábra egy ilyen RFID szenzor felépítését mutatja.



2.8. ábra. RFID szenzor felépítése [38]

Az antenna határfelületként működik a szenzor és a környezet között. A 2.8. ábrán külön blokk-ként szerepel az integrált áramkör vagy a mikrokontroller. Ez a mikrokontroller pedig digitális logikából és modemből áll, amely analóg vagy digitális jelek modulációját / demodulációját végzi. A mikrokontroller célja olyan jel előállítása, amely modulálás után

könnyen átvihető és a beérkező demodulált jelet értelmezze. Szükséges még egy elektronikusan törölhető, programozható, csak olvasható memória (EEPROM) blokk, amilyenek egyszerű számítógépekben, ill. más elektromos készülékekben is találhatóak, általában kis mennyiségű adatot tárol, ami megmarad a készülék kikapcsolása után is.

Az analóg / digitális átalakító (ADC) az érzékelő által rögzített analóg adatok digitális adattá konvertálását végzi, amelyet a mikrokontroller dolgoz fel és továbbít. Vételi módban a feszültségtöbbszöröző alakítja a kisfeszültségű AC jelet nagyfeszültségű DC jellé át, amely a digitális logikát látja el energiával.

A tárgyak helyzetének meghatározásával, a helyszín és a tárgyak és / vagy a személyzet mozgása mellett sok más információt tárol, amelyek számos alkalmazásban, például a raktározásban fontos mivel jelentősen javítja az üzleti folyamatokat és csökkenti a tőkeköltségeket. Az RFID szenzorok számának a növelésével az Access Pointok számának a növekedése is jár. Ez gazdaságosságai szempontból a szűk keresztmetszetet jelenti.

#### 2.4.5 RFID SZENZOR ADATLOGGER (STATE-OF-THE-ART)

Az utóbbi években létrehozták az RFID szenzor címkét beépített szenzorokkal. Ezek az eszközök fajtájuk szerint két csoportba oszthatóak.

Passzív RFID címke (Sensor transponder) beépített szenzorral rendelkezik, amely a kiolvasás pillanatában méri és továbbítja a mérendő értéket, beépített energiaellátással nem rendelkezik. Ilyen például a microSensys cég TelID200 termékcsaládjá, amely 13,56 MHz frekvenciájú NFC kommunikációt tartalmaz 30 mm maximális kiolvasási távolsággal.

Aktív RFID adatlogger címke (Sensor datalogger) beépített szenzorral és energiátárolóval rendelkezik, így a készülék folyamatosan méri és tárolja a környezeti értékeket, ill. kiolvasáskor továbbítja ezeket. Példa erre az Avery Dennison TT Sensor Plus – család, amelynek készülékei 762 mérési adatot tudnak maximálisan tárolni, veszélyes érték jelzést be lehet állítani, 13,56 MHz –es NFC kommunikációra képesek és a szavatossági idejük > 1 év. Ára elektronikai disztribútornál 72 \$ / db [39].

Logisztikai alkalmazások területén alkalmazhatóságuk tekintetében több hátránnyal rendelkeznek ezek a berendezések. Ezek:

- Magas ár (72 \$),
- Alacsony élettartam (> 1 év),
- Mérési tolerancia,  $\pm 0,5$  °C
- A méréseket meghatározott időnként végzik el [40], lásd 2.5. táblázatot
- A mért eredmények kiértékelése a mérés befejezése után történik az olvasóban.

2.5. táblázat. Avery Dennison TT Sensor Plus aktív RFID adatlogger mérési periódusai

Hőmérséklet Mérés Gyakorisága	Intervallum (s)	Rögzítési Élettartam (napok)
Minden percben	60	0,5
Minden 5 percben	300	2,6
Minden 30 percben	1800	15,9
Minden órában	3600	31,8
Maximális Intervallum 9,1 óra	32768	288,9

## 2.5 KONCEPCIÓ FÁZISÁBAN LÉVŐ LOGISZTIKA 4.0 ESZKÖZÖK

Cisco Consulting Services legújabb előrejelzése szerint 2020-ra több mint 50 milliárd internet alapú eszközt (IoT) használnak majd logisztikai célra. A technológia, amely valós idejű összekötést teremt a több milliányi mozgatott, nyomon követett és berakodott szállítmány között, jelentős áttörést hozhat a logisztikában [41].

Az interneten, nyomon követhető árucikkek és raklapok „okosabb” raktárgazdálkodást tesznek lehetővé. Az áru fuvarozásban gyorsabbá, pontosabbá, kiszámíthatóbbá és biztonságosabbá válik a küldemények helymeghatározása, emellett a világhálóra kapcsolt eszközflottának köszönhetően kiszámíthatóbbá válnak az esetleges eszköz meghibásodások, és a karbantartás is gördülékenyebbé tehető [41].

### 2.5.1 SMARTCONTAINER SBF637

A Brémai Egyetemen Reiner Jedermann által készített okos konténer (Smart container) koncepciójának lényege az, hogy RFID, vezeték nélküli szenzorhálózatok és telemetriarendszereket egy önálló szenzorhálózatba egyesít. Így a lokális szállítási paramétereket a szenzorhálózat méri, szükség esetén a mérési adatok hozzáférhetőek. A mért értékekből egy Shelf-Life-Modell segítségével kiértékelést végez azért, hogy a szállítási paraméter eltéréseinek a kihatása az áru tartósságára nézve milyen hatású. Mobiltelefonon való kommunikációs költségek csak egy vészjelzés esetén merülnek fel, amikor az áru szavatossága sérülhet [42].

Jedermann disszertációjában a saját maga által kifejlesztett Shelf-Life-Modell alkalmazásával adja meg az élelmiszer minőség romlásának a mértékét az idő és a hőmérséklet függvényében. A modell gyakorlati alkalmazása sok nehezen, ill. nem mérhető paramétertől függ. Így az áru, a szállítás megkezdése előtti minősége nehezen megállapítható. A minőséget az eladó és vevő közötti megállapodás alapján állapítják meg.

Eltérő betakarítási eljárások, időpontok, ill. fajtára jellemző növekedési körülmények, nedvességtartalom stb. befolyásolják az áru tulajdonságait. Továbbá a konténer méretétől függően nem garantálható, hogy az adott konténerben egyfajta áru kerül szállításra [42].



2.9. ábra. Smart Container [43]

A modell nem tartalmaz számítási módszert arra az esetre, ha több környezeti paraméter hat a szállítandó árra. Például ha ütés éri az árut, akkor milyen módon változik az áru minősége az idő és hőmérséklet függvényében.

### 2.5.2 INTELLIGENS LÉGI TEHERSZÁLLÍTÓ KONTÉNER iCON

A Fraunhofer IML fejlesztette ki az intelligens légi teherszállító konténert. Ennek az a lényeges tulajdonsága, hogy a rendeltetési helyét önállóan megtalálja, oly módon, hogy adatátviteli eszközök segítségével mit pl. GPS, 4G LTE-GSM hálózat vagy más CPS berendezésekkel kommunikál. Ha az iCON lekésik egy járatot, önállóan képes megkeresni a következő járat indulási helyét és lefoglalja a helyét a gépen. A berendezés hardware a kommunikációs és helyzet meghatározó modulokon kívül egy 32 bites ARM processzort, egy nagy felbontású ePaper displayt, magas hatásfokú napelemet, egy akkumulátort 6 – 8 hónapra elegendő kapacitással, 16 MB memóriát, egy Cloud összeköttetést és különféle szenzorokat tartalmaz a környezeti paraméterek valós idejű figyelésére [44].

A kutatási projektet a Német Szövetségi Gazdasági és Technológiai Minisztérium (BMWi) 1,6 millió Euró támogatásban részesítette [45].



2.9. ábra. Intelligens légi teherszállító konténer [46]

### 2.5.3 INTELLIGENS TÁROLÓ InBIN

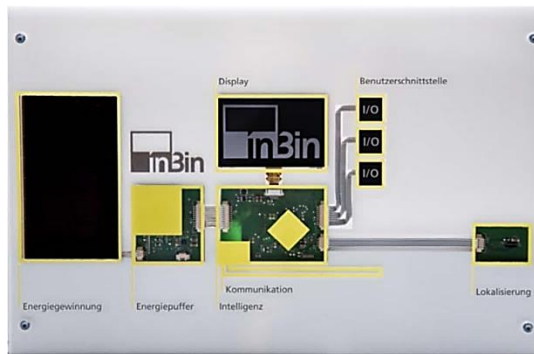
A Fraunhofer IML által elkészített berendezés az InBin a LogiMAT 2012 konferencián mutatták be 2012-ben. A sajtótájékoztató anyag szerint a berendezés kommunikál emberekkel és berendezésekkel, önállóan hoz döntéseket, figyeli a környezetét és vezérli a logisztikai folyamatokat. Beépített szolárcellának köszönhetően önmagát látja el energiával. A berendezés minden olyan környezetben üzemképes, ahol emberek is dolgoznak. Lehetőség van gyorsulás, vibrációs, ill. hő elemes alternatív energiaellátásra is, ámbár ezeket a lehetőségeket a rendelkezésre álló tudományos cikk szerint még nem alkalmazták [47].

Az elektronikai komponensek energiaszükségletét az alábbi általános képlet segítségével adhatjuk meg:

$$P_{\text{átlag}} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^Z V_i \cdot I_{i,j} \cdot T_{i,j}, \quad (2.3)$$

ahol

- K: a komponensek száma,  
 Z: az egyes komponensek állapotainak száma,  
 $V_i$ : a komponensek feszültségei (lehetnek eltérő feszültségű komponensek),  
 $I_{i,j}$ :  $i$  komponensek áramszükséglete  $j$  állapotban,  
 $T_{i,j}$ :  $j$  állapot részideje



2.10. ábra. InBin Intelligens tároló

A berendezés displayen ill. Pick-by-Voice-modulon keresztül kommunikál. Szenzorokon keresztül figyeli a környezetét és például jelentkezik, ha a környezet hőmérséklete nem megfelelő. Vezeték nélküli kommunikációra képes 433 MHz, 868 MHz, 2,4 GHz -en és IPv6/6LoWPAN protokollokat használ [48].

Ezek a funkciók lehetővé teszik a berendezés ipar 4.0 rendszerbe való integrálhatóságát. A publikált cikkek tartalma alapján arra lehet következtetni, hogy a készülék intralogisztikai feladatok ellátására készült.

Kevés az információ arról, hogy alkalmazható-e a berendezés a konténeres vagy teherautós szállítás során is és, hogy alkalmas-e az áru minőségét negatívan befolyásoló paraméterek folyamatos figyelésére.

### **3 IRODALMI ÁTTEKINTÉS, PROBLÉMA ÉS A KUTATÁSI CÉL MEGFOGALMAZÁSA**

A raktár működése szerves részét képezi az ellátási láncnak, így gyakran számításba kell venni a raktár adottságait, tulajdonságait a kulcsfontosságú üzleti döntések meghozatala során. A raktározás valamely folyamatrendszer olyan alrendszere, amely sajátos létesítményeivel, berendezéseivel, felszerelésével a készletek állagának megóvását, az áramlatok összehangolását, szükség szerinti kiegyenlítését végzi [49]. Ha egy e - kereskedelmi kiskereskedő másodpercenként értékesít termékeket, ez egy nagy kihívás logisztikai műveleteik számára. A folyamatosan növekvő e - kereskedelmi iparág ezért óriási kihívások elé állítja a raktárlogisztikát. Az online kereskedelemnek idő és mennyiség tekintetében nincs korlátja. A raktárlogisztika számára ez azt jelenti, hogy időbeli rugalmasságot és a lehető legnagyobb áru választék tárolására van szükség. Ehhez helytakarékos tároló helyet és különösen elegendő személyzetet kell igénybe venni, aki ezeket a megrendeléseket feldolgozhatja.

A Német Szövetségi Logisztikai Társaság (Bundesvereinigung Logistik (BVL) 2017-ben közzétett tanulmánya "A szakképzett munkaerőhiány a logisztikában" azt mutatja, hogy nem áll rendelkezésre elegendő személyzet. Ennek alapján a legtöbb szakember hiányzik az informatikai területeken (47%), sofőrök (46%), a diszpozícióban (41%) és a kiszolgáló személyzet (38%). A szakképzett munkaerő hiányából adódóan a megkérdezett vállalatok mintegy 82 százaléka tartósan negatív hatással van a logisztikai vállalat sikerére [50].

Az előbbi tanulmány valóságtartalmát az a tény is alátámasztja, hogy a németországi Indeed állásbörze platform 2019 júliusi adatai szerint 77.298 állásajánlat van a logisztika területén, ebből csak Hamburg városban 4055 [51]. Szállítmányozási cégeknél 10.000 betöltetlen sofőr állás van [52].

A vásárlókat magas árérzékenység jellemoz, ami a helyi piacon tevékenykedő kereskedők árnyomását tartósan magas szinten tartja. Meg kell jegyezni, hogy az ügyfelek nagy jelentőséget tulajdonítanak a gyors és mindenekelőtt az ingyenes szállításnak, valamint az áruk visszaküldhetőségének lehetősége jelentősen nehezíti a szolgáltatók költséghelyzetét. A számla utánvétellel való elterjedt fizetési módja is kedvezőtlen hatást gyakorol a szolgáltatókra, mivel bizonyos esetekben a bevételekhez való hozzáférés hetekig késik.

Az így keletkezett árreszvesztés arra kényszeríti a piacon működő vállalkozásokat, hogy folyamatosan ellenőrizzék saját költségkerkezetüket, azért hogy továbbra is sikeresen versenyezzenek. A logisztika területén az iparági magas költségek miatt ez különösen érvényes a raktári folyamatokra, melyek hatékonyságának növelése esszenciális feladattá vált [53].

Ezért egyre fontosabb szerepet fognak játszani az automatizált eszközök, mint például az automatizált vezetősű járművek, a robotok és egyéb okos eszközök a raktárakban. Az eszközök, az emberi és egyéb erőforrások fokozott kihasználása hatékonyságnövelő folyamatok és a modern technológiák alkalmazásával, (lásd 2.3. fejezet) folyamatosan zajlik.

Skapinyec, R., [108] disszertációjában feltárja az anyagáramlási rendszerekre jellemző kockázati paramétereket és megállapítja, hogy késedelmes szállítmány, helytelen szállítmány,

törölt szállítmány, elveszett szállítmány, késedelmes kezelés, hibás csomagolás, mennyiségi eltérés, árusérülés jelentik a legjelentősebb kockázatot.

Skorna, A., és szerzőtársai [109] a szállítás során fellépő árusérülésre kifizetett biztosítási összegeket vizsgálták a károkozás oka szemszögéből. Megállapították, hogy az esetek közel 60 %-ában "durva kezelés", 19 %-ában lopás és eltűnés a felelős. Jelentős rizikófaktorokként a hőmérsékletet, áruk elázását és megdőlését nevezik meg.

Van Zeebroeck és társai [110] az almák szállítás soráni sérülésének okát kutatták és megállapították, hogy a gyümölcsök intenzív kutatások ellenére is nagyszámban sérülnek meg. Ennek oka legfőbb képpen az, hogy a kutatási eredmények a gyakorlatban nem kerülnek alkalmazásra. A tesztkörülmények pl. zúzódásérzékenységi tesztek az ütési energiaszintje messze meghaladja a gyakorlati értékeket. A szállítójárművek felfüggesztésének beállításakor a sofőr kényelme a cél nem pedig a gyümölcs sérülésének minimalálása.

Martinelli Tinelli és társai [111], kutatásának a fókuszja a termékek pozicionálásának optimalizálására irányul az intelligens raktárakban, azzal a céllal, hogy minimalizálják a kezelési tevékenységek során felmerülő költségeket.

Decker C. és társai [112] az ellátási lánc menedzsmentje számára javasol egy költségmodellt, amely az első lépés az intelligens elemek logisztikai folyamatba történő bevezetésének előnyeinek felbecsülése felé.

Regattieri, A. és szerzőtársai [113] megállapítják, hogy okos ill. intelligens csomagolások figyelemmel kísérik a csomagolt élelmiszerek állapotát, hogy információkat szolgáltatassanak a csomagolt élelmiszer minőségéről a szállítás és tárolás során. Az aktív és intelligens csomagolás használata valószínűleg egyre népszerűbb lesz, mivel egyre több technológia lép piacra, az aktív és intelligens rendszerek innovatív csomagolása pedig egyre gyakoribbá válik. Az aktív és intelligens csomagolások a jövőben teljesen helyettesíthetik a hagyományos csomagolást.

A brémai egyetemen 2007 és 2012 között Reiner Jedermann folytatott kutatást az okos konténer (Smart Container) témában [42][54]. Munkájának középpontjában egy konténerbe épített hőmérséklet mérésre és a mérési adatok tárolására alkalmas semi-passive-tagokat is tesztelt a konténer belső hőmérsékleti profiljának mérésére szállítás közben, ezzel biztosítva, hogy a szállítás során a hőmérsékleti viszonyok alakulása nem befolyásolja negatívan a szállított áru, (pl. élelmiszer) minőségét. Ez a koncepció közvetlen, ill. összetett-kombinált áruszállítás során alkalmazható. Jedermann méréseinek konklúziója az, hogy egy konténerben a hőmérséklet nem homogén. Kimérte, hogy mélyhűtött konténerben 5 °C helytől függő hőmérsékletkülönbség tapasztalható. Volt olyan mélyhűtött konténer, amelyben öt órával a hűtés megkezdése után különböző pontokban még 10 °C hőmérséklet különbség is mérhető volt [54]. Ennek a koncepciónak a hátránya az, hogy a hőmérséklet ellenőrzése csak a konténerben lehetséges. További problémát jelent a koncepcióban szereplő hőmérséklet mérését végző RFID adatlogger, ami elemes energiaellátású, kizárólag hőmérséklet mérésre alkalmas, csekély

adatmennyiség tárolására képes, adatok kiolvasása lassú, mert az összes adatot továbbítja kiolvasás során [42].

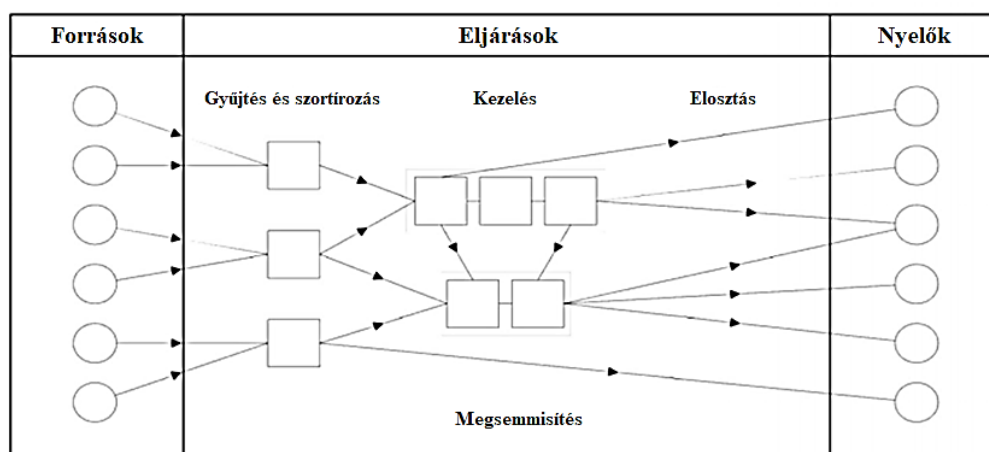
Ouyang, Q., és szerzőtársai [114] kutatásuk eredményeképpen megállapítják, hogy kínában az intelligens logisztika célzott kutatása teljesen hiányzik. A legtöbb kutatásban szerepelnek ugyan bizonyos technológiák mint pl. okostelefon vagy IoT, de az intelligens logisztika kutatást szisztematikusan nem végzi senki és az intelligens logisztikai rendszer fogalma meg sincs határozva.

A szakirodalomban nem találtam olyan logisztikai eszközt, amely a szállítandó árura ható paramétereket közvetlenül az áru környezetében méri és az áru minőségének változását, ill. annak mértékét megállapítja.

Az okos ill. intelligens eszközök hagyományos módon elemes / akkumulátoros energiaellátással rendelkeznek, amelyről hónapokig, vagy akár 1-2 évig működőképese operátori beavatkozás nélkül [104]. Erről konkrét adattal szolgál [105], akik egy Crossbow MICAz vezeték nélküli szenzorcsomópont használatánál megállapította, hogy egy átlagos 3000 mAh elemet 17,35 havonta cserélni kell az eszköz folyamatos üzemeltetéséhez.

Az elemek folyamatos karbantartást igényelnek, nem környezet kímélőek és a visszagyűjtésük, ill. újrahasznosításuk jelentős ráfordítást igényel. Magyarországon a gyűjtési kötelezettség mértékét a 445/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet 2016 –ban 45 %-ban határozza meg. Németországban azonos törvényi szabályozás mellett a ténylegesen elért visszagyűjtési arány 2017 –ben 46,9 % [55].

Az új elemek, akkumulátorok előállítására globálisan történik. A szükséges nyersanyagok bányászása legfőképpen Dél Amerikában történik, ahonnan ezek Kínában kerülnek feldolgozásra, ezután a kész elem Európába kerül [57]. A visszagyűjtött elemek hulladékkezelési folyamata összetett, energia,- és munkaerő igényes, amely folyamatát a 3.1. ábra mutatja be.



3.1. ábra. Használtelem hulladékkezelési folyamat [58]

A Német Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal (Umwelt Bundesamt, UBA) hivatalos állásfoglalása elemek használatával kapcsolatban az, hogy az elemek használatát kerüljük, ahol csak tudjuk, vásároljunk hálózatról üzemeltethető készülékeket [56].



Vezeték nélküli szenzorhálózatok és hozzájuk hasonló felépítésű és működésű eszközök energiaellátását logisztikai szempontból Prof. M. ten Hompel vezetésével A. Kamagaew és T. Kirks [72] vizsgálták, akik fizikai mennyiségeket, rezgést, fényt és hőmérsékletváltozás mértékét mérték raktárban anyagáramlás során. Megállapították, hogy a fényenergiából áll a legtöbb rendelkezésre, ami az említett eszközök energiaellátását biztosítani képes. Rezgés mérés során a szerzők ugyan mértek jelentős energiájú lökéseket, de ezeket nem tekintik felhasználhatónak, ugyanis nem tartják ezek energiáját kinyerhetőnek [72].

M. Roidl és szerzőtársai raktárban végzett mérések során megállapították, hogy raktárakban gyengén megvilágított helyen 50 Lux, munkahelyeken 400 Lux fényerősség mérhető, amit az általuk nem specifikált napelem 0,02 – 0,1 mA árammá alakít át [100].

Wu,F. és kutatótársai [116] egy vezeték nélküli szenzorcsomópont energiaszükségletét határozták meg és vizsgálták, hogy ezt az energiaszükségletet adott napelemmel ki lehet –e elégíteni.

Nem találtam adatot konténerben vagy szállító járműben a rakodófelületen uralkodó fényviszonyokról. A fényenergia hasznosításának lehetőségét szakirodalmi forrás és tapasztalati értékek hiányában nem kutatom.

P. Dorsch és kutatótársai [101] egy piezoelektromos generátorral ellátott logisztikai tároló eszközt mutattak be, amely eszközkövetési funkcióval rendelkezik. Meg kell említeni, hogy a kutatók a jelenleg rendelkezésre álló legnagyobb teljesítményű és jelentős költségű piezoelektromos generátorral végeztek kísérleteket.

A rezgésen alapuló energiakinyerő berendezés általános modelljét C. Williams és B. Yates [74] dolgozták ki ahol a berendezés rezgőrendszere a [75] szereplő modell szerint működik.

D. Spreemann és Y. Manoli megállapították, hogy az ilyen rendszer a kimeneti teljesítmény maximumát akkor éri el, ha a gerjesztő mozgás frekvenciája megegyezik a rendszer saját frekvenciájával [99]. Erre a következtetésre jutott Naumann, G. [115] is, aki a [75] által publikált rendszer paramétereit precízen meghatározta.

Z. Zhao és társai [102] kisméretű teherautó karosszéria felfüggesztési rendszerébe építettek piezoelektromos energia átalakítót, amelyjel 18 – 102 W energiát állítottak elő, amit a jármű villamos hálózatába táplálnak be.

A szakirodalom alapos átvizsgálása után arra a következtetésre jutottam, hogy a környezet energiáját kicsatoló eszközök területét logisztikai megközelítésből nagyon kevesen vizsgálták eddig meg, a lökések, tranziens erők villamos energiává alakítása egyáltalán nem kutatott terület.

A szakirodalomban nem találtam más megfelelő szinten dokumentált irodalmat, ami a kutatásom során további támpontot adna. ezért A. Kamagaew és T. Kirks állítását cáfolom meg a dolgozatomban 6. fejezetben.

A járműbeérkezések problémáját és a beérkezések kezelésének matematikai alapjait Kulcsár B. [70] mutatta be, majd Cselényi J. és Illés B. [60][86] részletesen tárgyalta azt.

Az időkapu rendszerek szakirodalma bőséges, egy jól dokumentált rendszert a pl. a Cargoclix [88] vállalat mutat be.

Az időkapu management rendszerekkel kapcsolatban, a szakirodalomban nagyszámú publikáció található a járatszervezés (VRP) ill. az időkapura való járatszervezés (VRPTW) optimalizálására [117] pl. újraütemezési eljárás használatával, de a leírt eljárások a problémát mindig egyoldalúan a jármű, ill. a járművet üzemeltető flottamanagement szemszögéből közelítik meg.

A napjainkban már rendelkezésre álló technikai rendszerek és eljárások szakirodalma bőséges. A közlekedési központokról Magyar Közút Nonprofit ZRt [90], Marz [91] és J. Geistefeldt [92] számol be. A Floating Phone Data és Floating Traveler Data technikákat J. Schlaich [93] és S. Krampe [94], a Floating Car Data és Extended Floating Car Data technikákat S. Breitenberger és társai [95] ismerteti részletesen. A GPS helymeghatározó rendszer működéséről Rudolf Á. [96] számol be, mint pl.: [118].

A bemutatott szakirodalom áttanulmányozása után fogalmazódott meg a dolgozatom célja, amelyek röviden három pontban fogalmazhatók meg. Ezek a következők:

A. Az áru minőségének biztosítása a teljes ellátási lánc mentén és a raktári folyamatok optimalizálása

Előzőekben bemutatom az általam tervezett és elkészített Ipar 4.0 keretén belül használható mobil eszközt, az Okos Egységirányító Képző Eszközt (OERK), amely a bemutatott smart container és az InBin készülékek által ellátott feladatot kiterjeszti és mobil üzemeltetésre készült. Amely összetett, ill. összetett-hagyományos megoldású háztól – házig történő áruszállítás során az áru minőségét befolyásoló paramétereket közvetlenül az adott áru környezetében méri, a mért adatokat folyamatosan kiértékeli, majd áruátvételkor ezeket az adatokat az identifikációs információval együtt továbbítja [s1][s3][s11]. Keresem a választ arra, hogy ez a készülék a raktári folyamatokra milyen hatást gyakorol.

B. A mobil szenzorrendszerek, kiberfizikai eszközök energiaellátása

A mai modern technikai eszközök által felhasználható, de a jelenlegi energia előállító eszközöktől jelentősen eltérő elven működő energiaellátó rendszert fejlesztettem ki, terveztem és építettem meg, amely alkalmas a CPS eszközök ill. mobil szenzor hálózatok környezetbarát energiaellátására [69][s4][s7].

C. Raktári folyamatok optimalizálása a szállító járművek raktárba való beérkezésének pontosabb előrejelzésével és a kiszolgálási időintervallumok dinamikus kiosztásával

Raktári folyamatok tervezhetőségében egy kulcsfontosságú kérdés a szállítmány tervezett beérkezés kérdése. A kikapcsolás, mennyiségi,- minőségi vizsgálat, elszállítás és betárolás

feladata stb. elvégzéséhez eszközök és erőforrások biztosítása szükséges. Jármű késés esetén a kiszolgáló személyzet várakozik, a berendezések állnak, így növekednek a folyamatban a várakozási idők, ezzel romlik a raktár hatékonysága, logisztikai teljesítménye.

Dolgozatom befejező részében arra a kérdésre keresem a választ, hogy a raktári folyamatok tervezhetőségére nagy hatással lévő jármű beérkezések milyen módon optimálhatók ipar 4.0 technológiák használatával.

## 4 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNY KÉPZŐ ESZKÖZ

Sem gyakorlati alkalmazásban, sem a legújabb szakirodalomban nem találtam olyan eszközt, amely szállítás során az áru minőségét befolyásoló paramétereket az áru közvetlen közelében valós időben méri és a mért értékeket kiértékeli, ami számomra igazolta, hogy szükséges kidolgozni egy ilyen eszköz modelljét, amellyel majd a vizsgálatot folytatni tudom.

Megalkottam az okos egységpakomány képző eszközt (OERK) amely abban is különbözik hagyományos társaitól, hogy egy az egységpakomány képző eszközben, ami egy kartondoboztól egy palettán keresztül egy szállítódobozig terjedhet, beépített kisméretű elektronikus beágyazott rendszer a rakományban levő áru szempontjából kritikus fizikai, kémiai és biológiai paramétereket folyamatosan figyeli és a paraméterek előre meghatározott szintjének túllépése esetében eltárolja a probléma fellépésének időpontját, annak mértékét. Az eszköz folyamatos adatgyűjtésre és a mért adatok kiértékelésére is alkalmas lehet, továbbá termékazonosítási feladatot is elláthat. Az adatok kiolvasására zömében kiterjesztett RFID adatátvitelt alkalmaz [s3]

A készülék funkciói nagyban támogatják a logisztika, ill. anyagáramlás minőségbiztosítási követelményét, miszerint a termelési vagy szolgáltatási tevékenység egészére vonatkozóan biztosítani kell a különféle, eltérő termékek megkívánt anyagáramoltatását és az ehhez kötődő információk gyűjtését, tárolását, értékelését és felhasználását a minőségbiztosítás érdekében [59].

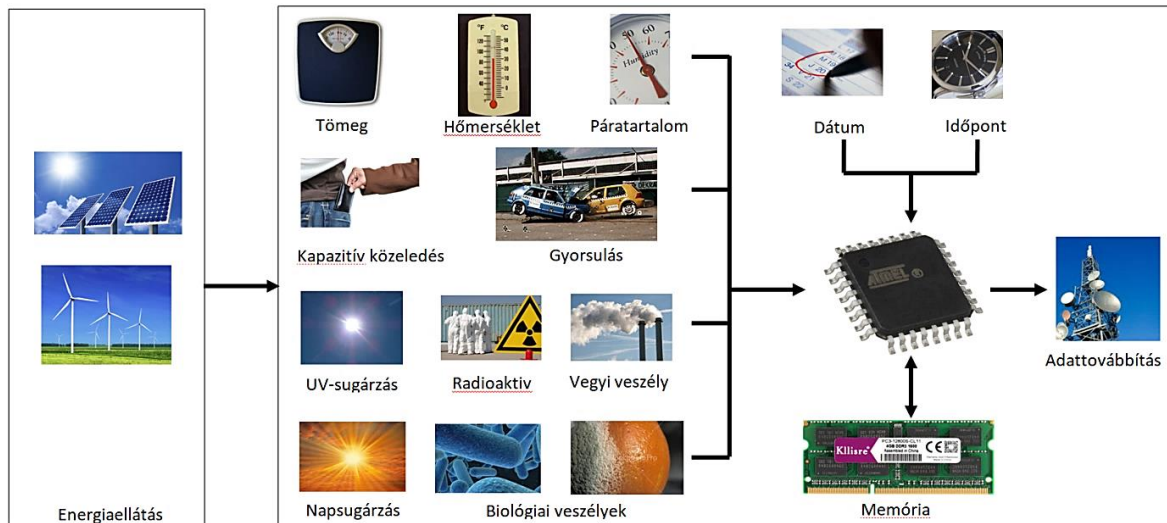
### 4.1 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNYKÉPZŐ ESZKÖZ FELÉPÍTÉSE

Az 4.1. ábra mutatja az okos egységpakomány képző eszköz az ellátási lánc speciális szakaszán való alkalmazhatóságának területét. A koncepció kialakításánál a szállítandó áruk a kiindulási helytől a rendeltetési helyre, egy raktárba való megérkezéséig tartó szakaszát vizsgáltam.



4.1. ábra. Az áruszállítás megvizsgált szakasza, pl. gyártól a raktárig

A rendszer gyakorlati működése során az áruk nagyfokú különbözőségét vagy homogenitását stb. messzemenőig figyelembe kell venni. Az szállítandó árukra és a csomagolásukra jellemző káros paramétereket és ezen paraméterek kritikus szintjét a logisztikai folyamatok megkezdése előtt fel kell mérni és az adatokat az okos egységpakomány képző eszközbe (OERK) a szállítás megkezdése előtt az azonosítási adatokkal együtt kell feltölteni. A 4.2. ábra egy ilyen rendszer elvi felépítését mutatja [s1].



4.2. ábra. Okos egység rakomány képző eszköz elvi felépítése.

Az áruk minőségét meghatározó, modern technika segítségével mérhető fizikai és biológiai paraméterek lehetnek tömeg, hőmérséklet, nyomás, páratartalom, gyorsulás, fényerősség, UV-sugárzás, rádióaktív sugárzás, közeledés, vegyi anyagok, stb.

Az OERK fő feladata a folyamatos automatikus adatgyűjtés és kiértékelés.

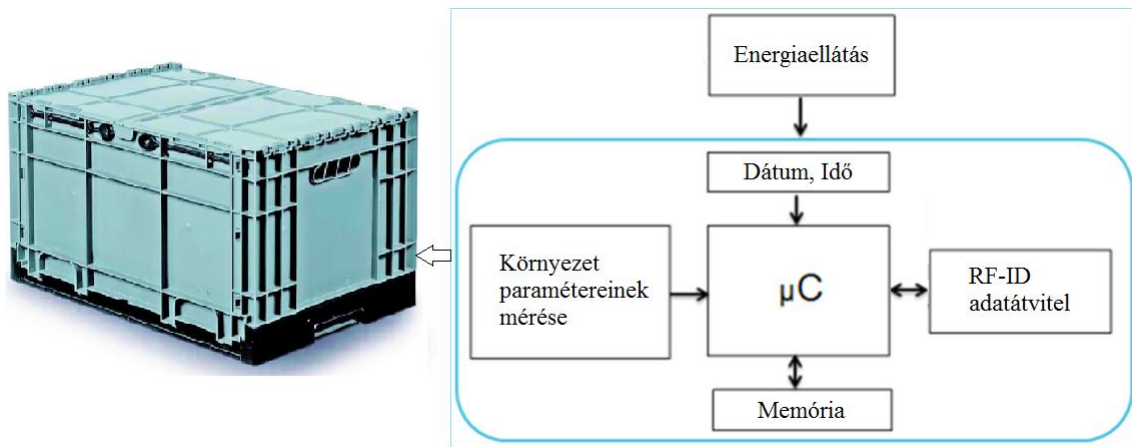
Az automatikus adatgyűjtéssel nagyságrendekkel több és megbízhatóbb adat áll a logisztikai irányítás rendelkezésére. Így jobban, hatékonyabban és folyamatosan érvényesíthetők a logisztikai célfüggvények: a minimális átfutási idő, a minimális várakozási idő, a minimális ráfordítások, a maximális vevői elégedettség stb. [60].

Egy konkrét, egyszerű példán keresztül mutatom be az általam kidolgozott folyamatot. A logisztikai folyamat megkezdése előtt ismerni kell a szállítani kívánt árut, annak mennyiségét, az áru minőségére nézve káros paramétereket és ezen paraméterek kritikus szintjét. Ha például 100 db mobil telefont akarunk szállítani egy egység rakományban, akkor tudjuk, hogy az áru minőségét a hőmérséklet, a rázkódás / ütés, nedvesség stb. befolyásolhatja károsan. Ezen felül ismerjük az áruk össztömegét. Ezeket a paramétereket betápláljuk az intelligens egység rakományba, amely a teljes logisztikai folyamat során ezeket a paramétereket meghatározott időközönként automatikusan figyeli. Ezen kívül célszerű egy közeledést jelző szenzort is aktiválni, hogy nem közeledik egy ember vagy állat a rakományhoz. Ugyanis ha a közeledést érzékelő szenzor jelez és a rakomány súlya csökken, akkor abból arra lehet következtetni, hogy a rakományból árut távolítottak el. Erős rázkódás vagy tranziens ütés, ill. meghatározott sorozatú hőmérsékletváltozás esetén az egyszeri eseményt vagy az eltárolt adatsortól való meghatározott eltérés esetén az esemény időpontja és a mért érték is eltárolódik.

Az okos egység rakomány képző eszköz legfontosabb összetevői (lásd 4.3. ábra):

- tároló rekesz, műanyag raklap stb., ami az áru befogadására alkalmas
- energia átalakító,
- energiamanagement,
- mikrokontroller,
- kiskapacitású memória,

- szenzoregységeket, a fizikai, kémiai és biológiai paraméterek mérésére,
- Dátum, óra funkciót és
- RFID antennát.



4.3. ábra. Okos egység rakomány képző eszköz felépítésének blokkvázlata.

A 4.4. ábra az eszköz deszkamodelljét mutatja üzem közben.



4.4. ábra. OERK deszkamodell működés közben

## 4.2 A RENDSZER MŰKÖDÉSÉNEK FÁZISAI

Ebben az alfejezetben ismertetem a rendszer működésének fázisait.

### 4.2.1 ELŐKÉSZÜLET

Először szimulációval, majd folyamatosan mért adatok statisztikai elemzése után meghatározzuk az áru lehetséges sérülés profilját. Az áruk súlyát, csomagolását, a lehetséges káros hatások jellegét és azok maximális / minimális mértékét előre pontosan meg kell határozni.

### 4.2.2 ÁRUK MINŐSÉGVESZTÉSÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA

Szállítandó áruk palettája rendkívül széles, azok kategorizálása nem célja ennek a dolgozatnak. Az élelmiszer árutípus logisztikáján keresztül mutatom be a minőségvesztés folyamatát és tényezőit.

Gyümölcsök, zöldségek élettartamát meghatározni nagyon összetett feladat. Jedermann elkészített egy szavatossági idő (shelf time) modellt, ami kizárólag a hőmérsékletet, mint külső paramétert vesz figyelembe az élettartam csökkenés meghatározására [42].

Az élelmiszertechnikában a tartóssági időnek nincs egységesen alkalmazható fogalma meghatározva [61]. A tényleges minőségromlást összetett mechanizmusok okozzák. Ennek paraméterei az általánosan elfogadott hőmérsékleten túl a szállítás során fellépő rázkódás, lökés, mechanikai behatások, fénysugárzás, relatív páratartalom, a szabad víztartalom, a légtér összetétele, levegő áramlása, az adott élelmiszer belső tulajdonságai, mint a belső víztartalom, pH, savasság, oxidációs-redukciós viszonyok, kémiai összetétel, fizikai és biológiai szerkezet, mikroorganizmusok száma, fajtája, feldolgozó és tartósító műveletek [63].

Felismerték, hogy az élelmiszerek kémiai és biológiai romlása legszorosabban az oxigén jelenétével függ össze, mivel sok kémiai oxidációs folyamat játszódik le, amelyek sebessége függ a hőmérséklettől és az oxigén mennyiségétől. Biológiai romlás 60 % -os egyensúlyi nedvességtartalom fölött jelentkezik fokozottan, ekkor a mikroorganizmusok felelősek a biológiai romlásért. A mikroorganizmusok növekedéséhez megfelelő feltételeknek kell fennállniuk, megfelelő tápanyagoknak, gázatmoszférának, hőmérsékletnek, pH-értéknek és víznek a megléte szükséges. A mikrobák a szabad, fizikailag és kémiailag nem kötött víz hozzáférhetőségét igénylik. A mikrobák számára hozzáférhető víztartalmat a vízáktivással  $a_w$  fejezzük ki.

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (4.1)$$

ahol

$a_w$ : vízáktivitás adott hőmérsékleten

$p$ : a közegben lévő vizes oldat gőztenziója

$p_0$ : oldószer (víz) gőztenziója

A vízáktivitás értéke 0 és 1 közé esik. A desztillált vízé 1, a szabad vizet nem tartalmazó rendszeré 0. A tiszta víz vízáktivitása természetesen 1 körüli érték.

Mivel a vízáktivitás nem fejezi ki a hőmérséklet hatását és nem SI mértékegység, ezáltal újabban a vízáktivitás helyett előnyben részesítik a  $\psi$  vízpotenciál alkalmazását.

$$\psi = \frac{RT}{V_w} x \log a_w \quad (4.2)$$

ahol

$R$ : egyetemes gázállandó ( $8,314 \text{ J} \times \text{mol}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ )

$T$ : abszolút hőmérséklet (K)

$V_w$ : víz parciális moláris térfogata

$a_w$ : vízáktivitás.

A mikroorganizmusok szaporodása 0.998 és 0.6  $a_w$  vízáktivitási értékek között lehetséges. A mikroorganizmusok többségének szaporodásához nagy vízáktivitás (0,98 - 0,99) és kis vízpotenciál (-2,8; -0,7 MPa) szükséges [64].

Gyümölcsök érési folyamata során mikroliter ( $\mu\text{L}$ ) nagyságrendben etilén  $\text{C}_2\text{H}_4$  keletkezik. Ananász  $0,01 \mu\text{L} / (\text{kg}\cdot\text{h})$ , banán  $1 - 10 \mu\text{L} / (\text{kg}\cdot\text{h})$  és alma  $100 \mu\text{L} / (\text{kg}\cdot\text{h})$  etilént bocsájt ki [42].

A kibocsájtott etilén u.n. kalorimetrikus gázszenzorokkal [65] mérhető.

Az etilén mennyiség méréséhez zárt kialakítású OERK CPS készülék használata szükséges.

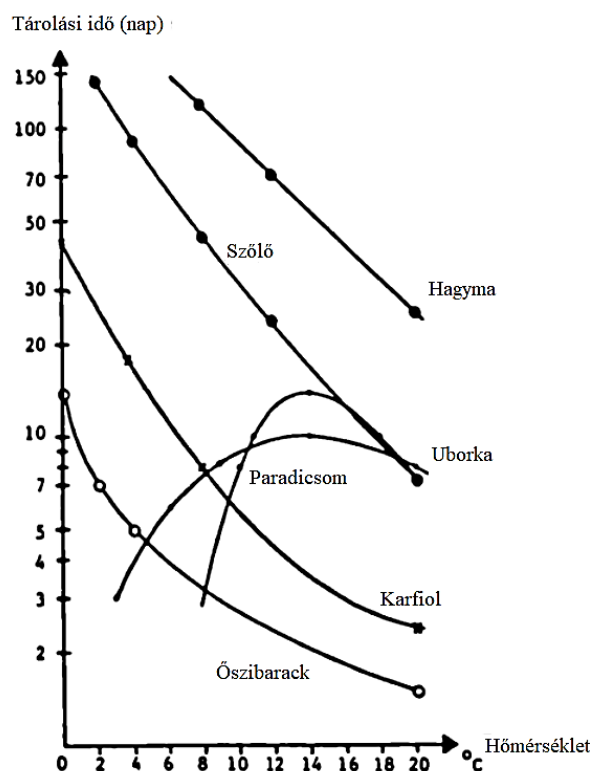
A szállítandó áru minőségét úgy biztosíthatjuk OERK CPS használatával, hogy az ellátási láncban belül az árut egy adott hőmérsékleten tartjuk és az OERK CPS is ezt a hőmérsékletet figyeli.

Például a paradicsomot  $15^\circ\text{C}$  hőmérsékleten 10 napig lehet tartani minőségvesztés nélkül, amit a 4.5. ábra mutat. Amennyiben az OERK szállítás során nem méri ennek a hőmérsékletnek a megváltozását, azaz,

$$T_{min} < \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} = T_{\text{átlag}} < T_{max} \quad (4.3)$$

akkor az áru megfelelő minőségben lett beszállítva. Itt  $T_i$  mérési időpontok közötti eltelt  $\Delta T_i$  időt az áru hőkapacitásával összhangban kell meghatározni.

Ha  $T_{\text{átlag}} < T_{min}$ , vagy  $T_{\text{átlag}} > T_{max}$ , akkor az áru élettartalma csökken, a csökkenés mértékét grafikonról olvashatjuk le



4.5. ábra. Néhány zöldség és gyümölcs tárolhatósági ideje a hőmérséklet függvényében. [66]

Más esetben, ha  $\Delta T_i \neq$  állandó, akkor a mért értékek a mérési idővel együtt eltárolásra, kiolvasáskor továbbításra kerülnek.

A hőmérséklethez hasonlóan végezhető az OERK a kialakításnak megfelelően súly, páratartalom, nyomás,  $\text{CO}_2$ , etilén, vibráció vagy rázkódás mérését, akár ezek kombinációját.



A gyakorlatban a hőmérséklet / páratartalom mellett a mechanikai sokkhatások (pl. dobások) felelősek az árusérülések legjelentősebb részéért [67].

A logisztikában gyakran előfordul, hogy a csomagolt termékek leesnek különböző magasságokból, rakfelületen másik csomagnak nekiütköznek, vagy pályahibákon áthaladva felugranak és a rakfelületre visszaesnek. Ezeket az egyedi jellegű igénybevételeket nevezzük ütési igénybevételnek [68]. Ilyen folyamatok a következő képen írhatóak le:

Tömegközéppont pillanatnyi sebesség vektora

$$\vec{v} = \dot{\vec{x}} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad (4.4)$$

ahol  $\vec{x}(t)$  időtől függő helyvektor, a gyorsulás vektora

$$\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{x}} = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2} \quad (4.5)$$

A sebességvektor és helyvektor időfüggését integrálással kapjuk meg, azaz

$$\vec{v}(t) = \vec{a}t + \vec{v}_0 \quad (4.6)$$

és

$$\vec{x}(t) = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{x}_0 \quad (4.7)$$

az  $\vec{x}_0$  és  $\vec{v}_0$  a  $t=0$  időpontban a helyvektor és sebességvektor értéke (kezdeti értéke).

Newton II. törvénye szerint:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (4.8)$$

ill. a munka az erő vonal menti integrálja, azaz

$$W_g = \int_g \vec{F}(\vec{x})d\vec{x} \quad (4.9)$$

Az  $m$  tömegű test  $E_{kin}$  mozgási energiája a következőképpen írható fel:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}m\vec{v}^2 \quad (4.10)$$

illetve a  $\vec{v}_A$  sebességről  $\vec{v}_B$  sebességre való gyorsítási munka

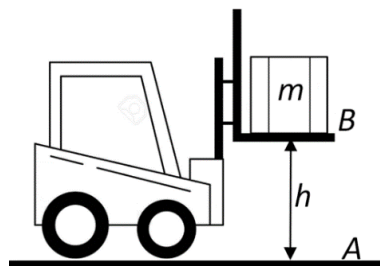
$$W_{AB} = E_{kin,B} - E_{kin,A} = \frac{1}{2}m\vec{v}_B^2 - \frac{1}{2}m\vec{v}_A^2 \quad (4.11)$$

amely konzervatív erőterben csak a kezdő és végsebességtől függ, független az úttól.

Gravitációs erőterben  $\vec{g} = (0; 0; -g)$  és tetszőleges  $A$  és  $B$  pont közötti potenciális munka csak a pontok  $A = (.; .; z_1)$ ,  $B = (.; .; z_2)$  helyzetétől függ, ezért

$$W_{AB} = mg(z_1 - z_2) = mgh \quad (4.12)$$

amelyben  $m$  áru tömege és a  $g$  gravitációs gyorsulás mértéke ismert, a  $h$  magasság változhat pl. az áru leeséskor. Ahhoz, hogy a sérülés megjósolható, illetve megbecsülhető legyen, ismernünk kell azt a legmagasabb gyorsulási szintet, amelyet az áru még sérülés nélkül kibír. Legyen a  $G_{max}$  a gyorsulás maximális értéke az ami még nem okoz bekövetkező sérülést a termékben.  $0 \leq G \leq G_{max}$ . Ha az ütközési gyorsulás  $G$  meghaladja a  $G_{max}$  értékét,  $G_{max} < G$ , akkor az sérülést fog eredményezni. Az okos egységtrakomány képző eszköz ezt a  $G_{max}$  küszöbszintet folyamatosan figyeli a gyorsulásmérő szenzoron keresztül, a küszöbszint elérése és túllépése esetén árusérülést állapít meg.



4.6. ábra. Ütési igénybevételek fizikai paraméterei

A mérések előzőleg bemutatott valós idejű elemzése különbözteti meg az OERK okos eszközt az RFID –val kombinált sensor transponder és sensor datalogger berendezésektől, mert a kiolvasás pillanatában az azonosítási adatok mellett mennyiségi és elégséges szintű minőségi információ áll rendelkezésre arra, hogy a szállítás után selejtes árut ne vegyünk át.

### 4.2.3 OERK PROGRAMOZÁSA

Az eszköz működtetésének első lépése az OERK felprogramozása, aminek a folyamata a következő:

- a rakományt termékazonosítási számmal látják el,
- az áruk paramétereinek mint pl. árutípus, darabszám, össztömeg, dátum, időpont és kibocsátó állomás, célállomás stb. beírása,
- a megfigyelési paraméterek pl. hőmérséklet, súly, sugárzás, lopásérzékelés stb. bevitel,
- az elektronikát aktiválják.



4.7. ábra. OERK felprogramozása

Ezeket az adatokat egy kézi terminál segítségével, vagy pl. a gyártási folyamat utolsó állomásaként a központi számítógépről automatikusan rádiófrekvenciás kapcsolaton (RFID) keresztül töltik fel [s11].

#### 4.2.4 AZ EGYSÉGRAKOMÁNYOK BERAKODÁSA

Berakodás folyamata:

- A szállítás megkezdése előtt egy kézi terminállal az összes egység rakomány termékazonosítóját bekérik. Ez az információ kiegészül a szállítást végző eszköz pl. teherautó azonosítójával. A szállítást végző személy leszignózza ezt az adatot és ezzel az átadás / átvétel megtörtént.
- A keletkezett adatok áttöltése a központi adatbankba.



4.8. ábra. OERK berakodása

#### 4.2.5 SZÁLLÍTÁS

Szállítás közben a berendezés aktív és szabályos időközönként  $t_{\text{mérések közti}}$  figyeli a mérendő paramétereket. Általában a szállítási idő hossza kedvezőtlenül befolyásolja a szállított áru minőségét, így a megadott szállítási idő túllépését kerülni kell ezért az OERK ezt méri és kiolvasáskor továbbítja. Ha  $n$  a szállítási idő alatti mérések száma, akkor

$$t_{\text{szállítás}} = n \cdot t_{\text{mérések közti idő}} \quad (4.13)$$

Meg kell jegyezni, hogy az OERK rendszer folyamatos működése miatt nagy előny és költséghatékony az, hogy ha a beállított érték elérésekor az érzékelő jelez, akkor még idejében megakadályozhatjuk a minőségromlást.

#### 4.2.6 ÁRUÁTVÉTEL

Áruátvétel során egy kézi terminál segítségével az összes OERK azonosítója és az elektronika által figyelt minőségi paraméterek státusza gombnyomásra leolvasásra ill. beolvasásra kerül. Az áruátvételt végző személy szignózza az adatokat, ezzel megtörtént az áruátvétel, amely az élelmiszeriparban különösen fontos minőségbiztosítási vizsgálat első eseménye is [s11].



4.9. ábra. Áruátvétel

### 4.3 AZ OERK CPS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETSÉGES ELŐNYEI

Az OERK okos eszközök a logisztika területen való alkalmazásának előnyei közül az alábbiakat emelem ki a korábbi, általam írt [s2] szakkikkemben foglaltak szerint ill azok új koncepciónk kibővítésével:

- az áru és az azt körülvevő környezet fizikai és biológiai paramétereinek folyamatos megfigyelése, amely a "0" – hiba stratégia elérését segíti az ellátási láncban,
- a logisztika hatékonysága növelhető,
- az anyagmennyiség pontos ismerete,
- minőségi eltérések jobb megismerése,
- az áruk 100% -a lesz megfigyelve,
- identifikációs feladatok ellátása, bővített identifikációs lehetőségek,
- manuális minőségvizsgálat leegyszerűsödése, ill. feleslegessé válása,
- adminisztratív feladatok leegyszerűsítése,
- rakodás, szállítás során fellépő emberi,- véletlen vagy szándékos mulasztások, technikai problémák regisztrálása és továbbítása a logisztikai központba,
- áru átvétel – átadás leegyszerűsítése,
- VÁM / VPOP vizsgálatok egyszerűsödése a teljes rakomány egyidejű kiolvasásával,
- prevenciós intézkedések a szállítás során fellépő minőségromlásra,
- veszélyes anyagok, mint pl. vegyi-, vagy radioaktív anyagok szállításánál ellenőrizhető, hogy nem került veszélyes anyag a környezetbe,
- esetleges lopás, dézsmálás idejének ismerete,
- új útvonalakon tesztmérések készítése → útvonalak veszélyesség szerinti osztályozása,
- csomagolóanyag optimalálása,
- jogi kérdések eldöntésének elősegítése,
- visszakövethetőség az EU-VO 178/2002 rendeletnek megfelelően
- az egységpakomány bontása után ismert a tároló rekesz tartózkodási helye stb.,
- a hibás árut nem kell betárolni ill. beszállítani a raktárba → raktárkészlet dinamikusan optimalálható
- raktárhely optimalálása
- beszállító és szállítmányozó cégek kiválasztásának elősegítése [s2].

## 4.4 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNY KÉPZŐ ESZKÖZ HATÁSA A RAKTÁRI FOLYAMATOKRA

Ebben az alfejezetben mutatom be, hogy az OERK CPS milyen hatást fejt ki a gyakorlatban a raktári folyamatokra.

### 4.4.1 VÉGES ÁLLAPOTÚ DETERMINISZTIKUS BETÁROLÁSI FOLYAMAT

Legyen a megfigyelt betárolási folyamat a következő determinisztikus folyamat, amely az árubeérkezést követően a következő lépésekből áll:

4.1. táblázat. Determinisztikus betárolási folyamat lépései

Lépés	Tevékenység	Jelölés	Időszükséglet [s]	Jelölés	Költség [€]
	Áru beszállítás				
1	Várakozás áru beérkezésre	$t_{w1}$	300	$k_{w1}$	5
2	Áru kikapolás	$t_{r1}$	30	$k_{r1}$	0,5
3	Várakozás átvételi hely kijelölésére	$t_{w2}$	15	$k_{w2}$	0,25
4	Átvételi hely kijelölése	$t_{w3}$	15	$k_{w3}$	0,25
5	Várakozás átvételi helyre szállító eszközre	$t_{w4}$	15	$k_{w4}$	0,25
6	Árutovábbítás átvételi helyre	$t_{s1}$	60	$k_{s1}$	1
7	Várakozás mennyiségi átvételre	$t_{w5}$	15	$k_{w5}$	0,25
8	Mennyiségi áruátvétel	$t_{me}$	30	$k_{me}$	0,5
9	Várakozás minőségi átvételre	$t_{w6}$	15	$k_{w6}$	0,25
10	Minőségi áruátvétel	$t_{mi}$	300	$k_{mi}$	5
11	Várakozás raktár és raktárhely kijelölésre	$t_{w7}$	15	$k_{w7}$	0,25
12	Raktár és raktárhely kijelölés	$t_{w8}$	15	$k_{w8}$	0,25
13	Várakozás eszközre	$t_{w9}$	15	$k_{w9}$	0,25
14	Raktárba történő szállítás	$t_{s2}$	60	$k_{s2}$	1
15	Raktárba történő betárolás	$t_{r2}$	30	$k_{r2}$	0,5
16	Raktári nyilvántartás módosítása				

Az adatokat több felhasznált szakirodalom alapján állapítottam meg, az értékeket szemléletesség kedvéért kerekítettem és táblázatba foglaltam.

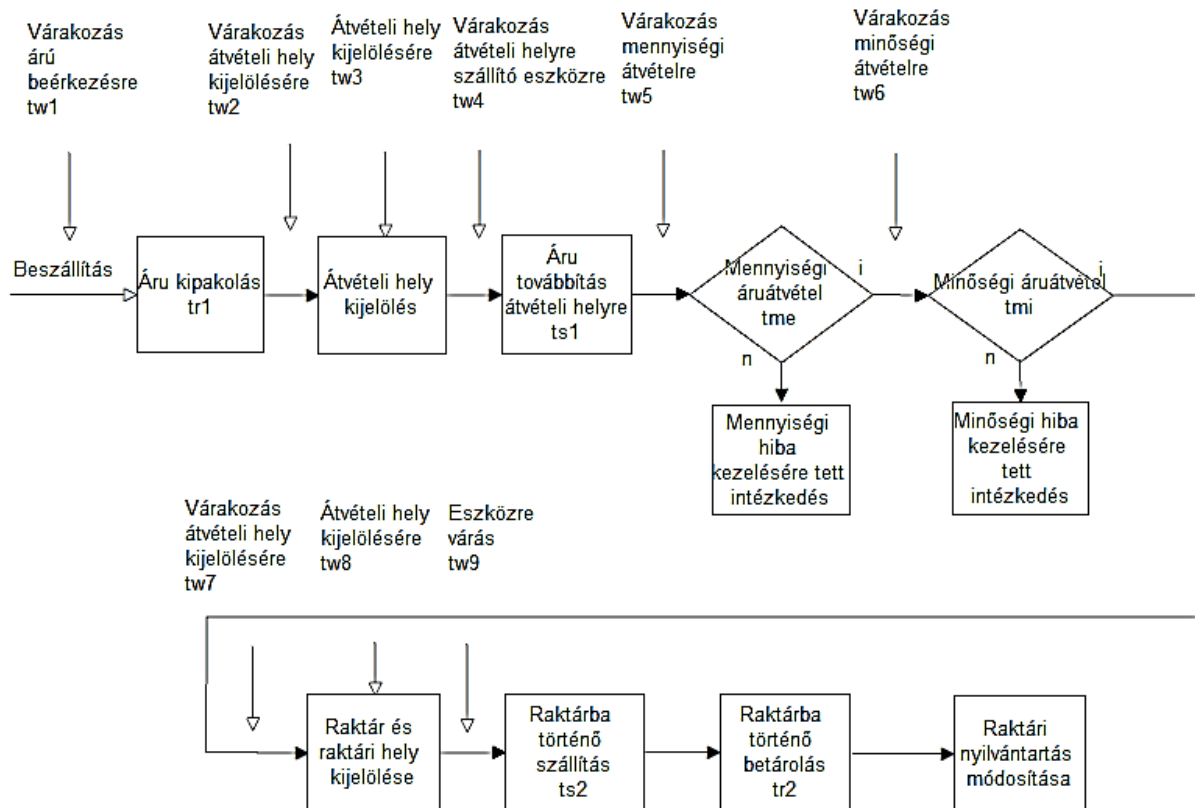
A vizsgált beérkezési folyamatot kezeljük D/D/1, (D, Determinisztikus folyamat ahol a két egymást követő esemény közötti idő rögzített, FIFO (First – In – First – Out) kiszolgálási elvet követő sorban állás nélküli betárolási folyamatként [69].

Legyen  $\lambda$  az időegység alatti beérkezések számának várható értéke, ez a *beérkezési ráta* és  $\bar{t}_a$  a beérkezési időközök várható értéke és  $\mu$  az időegységre jutó kiszolgálások várható száma, a *kiszolgálási ráta*, ahol  $\bar{t}_b$  a kiszolgálási idő várható értéke. Ha a beérkezés idő intervalluma

nagyobb, mint a kiszolgálás időtartama,  $\Psi < 1$  vagyis  $\lambda < \mu$ , ilyenkor a kiszolgáló állomások munkaidejük egy részében nem dolgoznak, azaz a forgalmi intenzitás:

$$\Psi = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4.14)$$

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}_a} \quad (4.15)$$



4.10. ábra. Determinisztikus betárolási folyamat folyamatábrája

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ai}}{m} \quad (4.16)$$

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_b} \quad (4.17)$$

$$\bar{t}_b = \frac{\sum_{i=1}^m t_{bi}}{m} \quad (4.18)$$

Meg kell jegyezni, hogy a szállító járművek raktárba érkezését sok, néha kiszámíthatatlan tényező befolyásolja. Ha egyenletes járműbeérkezést feltételezünk, akkor [70] alapján:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \text{ így } \int_0^t \lambda(t) dt = \lambda t. \quad (4.19)$$

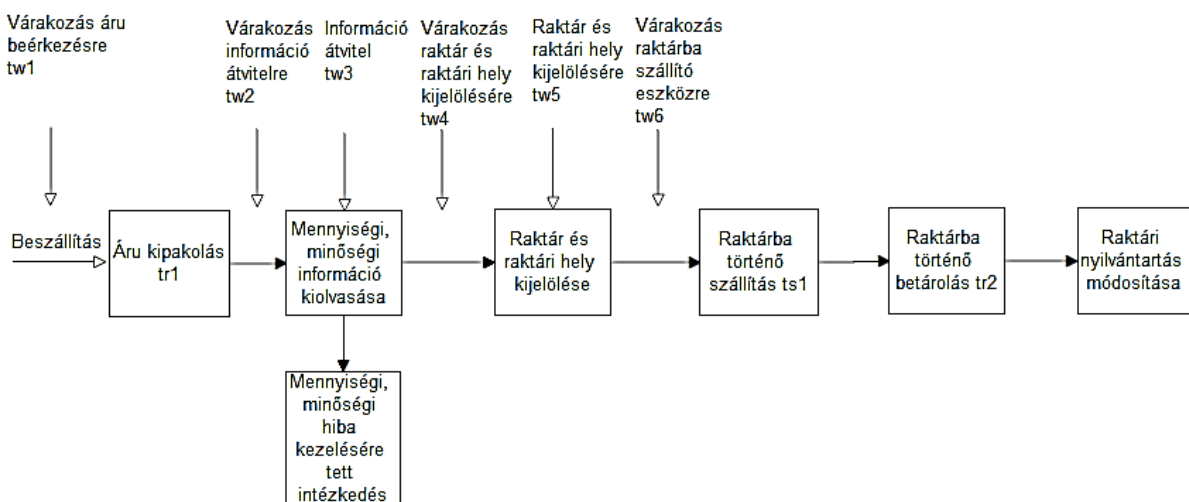
#### 4.4.2 DETERMINISZTIKUS FOLYAMAT OERK CPS ALKALMAZÁSA ESETÉN

Vizsgáljuk meg egy folyamatban az okos egységirakomány képző (OERK) eszköz szerepét. Okos eszköz használata esetén a raktári szolgáltatás minőségi mutatói közül legfőképpen a *betárolási átfutási idő* a legfontosabb, azaz az adott időszakban az áru külső szállítóeszközzel való megérkezésétől a tároló helyre való berakásáig eltelt idő. Alapvetően fontos, hogy ez hogyan csökkenthető.

4.2. táblázat. Determinisztikus betárolási folyamat lépései CPS használata esetén

Lépés	Tevékenység	Jelölés	Időszükséglet [s]	Jelölés	Költség [€]
	Áru beszállítás				
1	Várakozás áru beérkezésére	$t_{w1}$	300	$k_{w1}$	5
2	Áru kikapolás	$t_{r1}$	30	$k_{r1}$	0,5
3	Várakozás mennyiségi és minőségi információ kiolvasására	$t_{w2}$	15	$k_{w2}$	0,25
4	Mennyiségi és minőségi információ kiolvasása	$t_{w3}$	15	$k_{w3}$	0,25
5	Várakozás raktár és raktárhely kijelölésre	$t_{w4}$	15	$k_{w4}$	0,25
6	Raktár és raktárhely kijelölés	$t_{w5}$	15	$k_{w5}$	0,25
7	Várakozás eszközre	$t_{w6}$	15	$k_{w6}$	0,25
8	Raktárba történő szállítás	$t_{s1}$	60	$k_{s1}$	1
9	Raktárba történő betárolás	$t_{r2}$	30	$k_{r2}$	0,5
10	Raktári nyilvántartás módosítása				

Az előző fejezetben bemutatott determinisztikus folyamat lényegesen megváltozik, ha maga az áru (címke) információt is hordoz. A lépések száma jelentősen csökkenhet, mivel a mennyiségi és minőségi áruátvétel az okos egységirakomány képző eszközben tárolt adatok kiolvasásával feleslegessé válik.



4.11. ábra. Determinisztikus folyamat OERK CPS használata esetén

### 4.4.3 FOLYAMATOK KIÉRTÉKELŐ ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Logisztikai folyamatok kiértékelésére többféle módszer is alkalmazható. Az összehasonlításához olyan módszerekre van szükség, amelyekkel az egyes változatok bizonyos szempontok szerint értékelhetők, minősíthetők. A leggyakrabban használt módszerek:

- teljesítmény-alapú értékelés,
- idő-alapú értékelés,
- eszköz-teljesítőképesség alapú értékelés,
- eszköz-kihasználtság alapú értékelés,
- költség-alapú értékelés [71].

Általában a következő optimalizálási célokat határoztam meg:

- átfutási idő,  $T_A \rightarrow \min$
- várakozási idők,  $\Sigma T_w \rightarrow \min$
- Munkavégzők terhelése és kihasználtsága,  $\Sigma T_{kih} \rightarrow \max$
- Költségek,  $\Sigma K \rightarrow \min$

Hasonlítsuk össze a 4.4.1 és 4.4.2 fejezetekben ismertetett folyamatokat a logisztikai folyamatok értékelési módszerei közül alkalmazható *idő-alapú* értékelési és a *költség-alapú* értékelési módszerek segítségével.

#### IDŐ ALAPÚ MINŐSÍTÉSI MÓDSZER

Lényeges, hogy a folyamat átfutási ideje  $T_A$  minimális legyen.

$$T_A = \sum_{i=1}^n t_{wi} + \sum_{j=1}^m t_{sj} + \sum_{k=1}^l t_{rk} + t_{Me} + t_{Mi} \rightarrow \min \quad (4.20)$$

ahol:

- $t_{wi}$  i. helyen történő várakozási idő
- $n$  várakozási helyek maximális száma
- $t_{sj}$  j. helyen történő szállítási idő
- $m$  szállítások maximális száma
- $t_{rk}$  k. helyen történő rakodási idő
- $l$  rakodások maximális száma
- $t_{Me}$  mennyiségi vizsgálat időszüksége
- $t_{Mi}$  minőségi vizsgálat időszüksége

További lényeges folyamat minősítő mutató az az időegység alatt teljesíthető fordulózám:

$$f_{sz} = \frac{T_{ie}}{T_A} \quad (4.21)$$



ahol  $T_{ie}$  időegység = 1 óra = 3600 sec

## KÖLTSÉG ALAPÚ MINŐSÍTÉSI MÓDSZER

Nyilvánvalóan fontos cél, hogy a folyamat költségfordítása  $K_A$  minimális legyen, azaz

$$K_A = \sum_{i=1}^n k_{W_i} + \sum_{j=1}^m k_{S_j} + \sum_{k=1}^l (k_{R_k} + k_{Me} + k_{Mi}) \rightarrow \min \quad (4.22)$$

ahol:

$k_{W_i}$  i - edik helyen történő várakozás költsége

$k_{S_j}$  j - edik helyen történő szállítás költsége

$k_{R_k}$  k - adik helyen történő rakodás költsége

$k_{Me}$  mennyiségi vizsgálat költsége

$k_{Mi}$  minőségi vizsgálat költsége

Eszközök állásidejének,  $k_W$  várakozásának a költsége:

$$k_W = \sum_{i=1}^n t_{W_i} \cdot k_A \quad (4.23)$$

ahol:

$k_A$ : fajlagos állásidő költsége  $\left[ \frac{\text{€}}{\text{óra}} \right]$

$T_{WA}$ : várakozási idő  $[\text{óra}]$

Ezek felhasználása alapján (lásd 4.4.1 és 4.4.2 táblázatot) a következő táblázat állítható össze:

4.3. táblázat. Folyamatok összehasonlítása

	Determinisztikus folyamat	Determinisztikus folyamat OERK CPS használata esetén
Átfutási idő $T_A$	930 s	495 s
Várakozási idő $t_W$	420 s	375 s
Fordulószám / óra $f_{sz}$	3,87	7,27
Folyamat összköltsége $K_A$	15,5 €	8,25 €

A 4.3. táblázatban szereplő számított értékek alapján megállapítható, hogy az OERK eszközök betárolási folyamatokat tudnak optimalni, úgy hogy az időszükségletet jelentős mértékben le tudják csökkenteni azáltal, hogy munkát vesznek át, adott feladatot végeznek el, ezzel csökkentik a folyamat lépéseinek a számát, azzal csökkentik a folyamatban fellépő várakozási időket és az azokkal kapcsolatos költségeket. Az új folyamat (lásd 4.4.2) az eredeti folyamat (lásd 4.4.1)  $T_A$  átfutási idejét 88 % - kal,  $t_W$  várakozási idejét 12 % - kal csökkenti, az  $f_{sz}$  fordulószámot 87 % - kal növeli. Ezek hatására a  $K_A$  folyamat összköltsége 88 % -kal csökken.

## 5 OKOS ESZKÖZÖK ENERGIAELLÁTÁSA

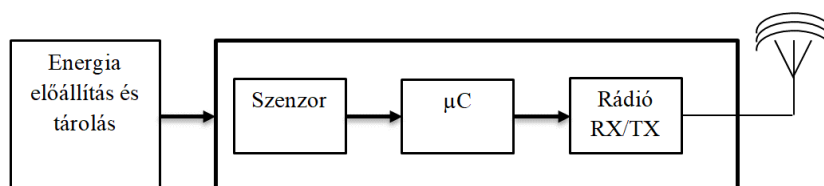
Céлом ebben a fejezetben az okos eszközök önálló, saját energiával való ellátásának lehetőségének bemutatása.

Egymással kölcsönhatásban lévő eszközök a döntéseket decentralizált módon tudják meghozni úgy, hogy egymással folyamatosan kommunikálnak. Hagyományos logisztikai eszközök "intelligenciájának" elérése érdekében legalább úgynevezett intelligens címkékkel kell azokat felszerelni.

Jelenleg rendelkezésre álló RFID (rádiófrekvenciás azonosítás) címkéknek azonban csak igen korlátozott képessége van az energiatartalékok, a hatótávolság és a tárolás, és különösen a feldolgozó kapacitások tekintetében. Az intelligens eszközök miniatűr számítógépeket tartalmaznak, melyek az általuk begyűjtött adatokat, információkat tárolják, feldolgozzák és más eszközökkel megosztják majd az adatok elemzése után döntéseket hoznak. Ezek a folyamatok energiaigényes folyamatok, legfőképpen a vezeték nélküli kommunikáció.

Az összes eszköznek van egy közös tulajdonsága, mégpedig az hogy működésükhöz villamos energiára van szükség. Az ilyen eszközöket elektronikai megközelítésben aktív eszközöknek nevezzük.

Egy smart cityben, smart gyárban alapvetően rendelkezésre áll villamos energia a rendszerek üzemeltetésére. Szenzorosomópontok, okos egységirakomány képző eszközök, melyek idejük nagy részét nem egy telephelyen töltik, mobilisak, működésükhöz viszont szintén energiát igényelnek.



5.1. ábra. CPS belső felépítése

A működéshez szükséges energiát jelenleg elemek vagy akkumulátorok tudják biztosítani, amiket a 3. fejezetben leírt okok miatt nem veszek számításba, ezért más alternatív forrásból kell a szükséges energiát biztosítani.

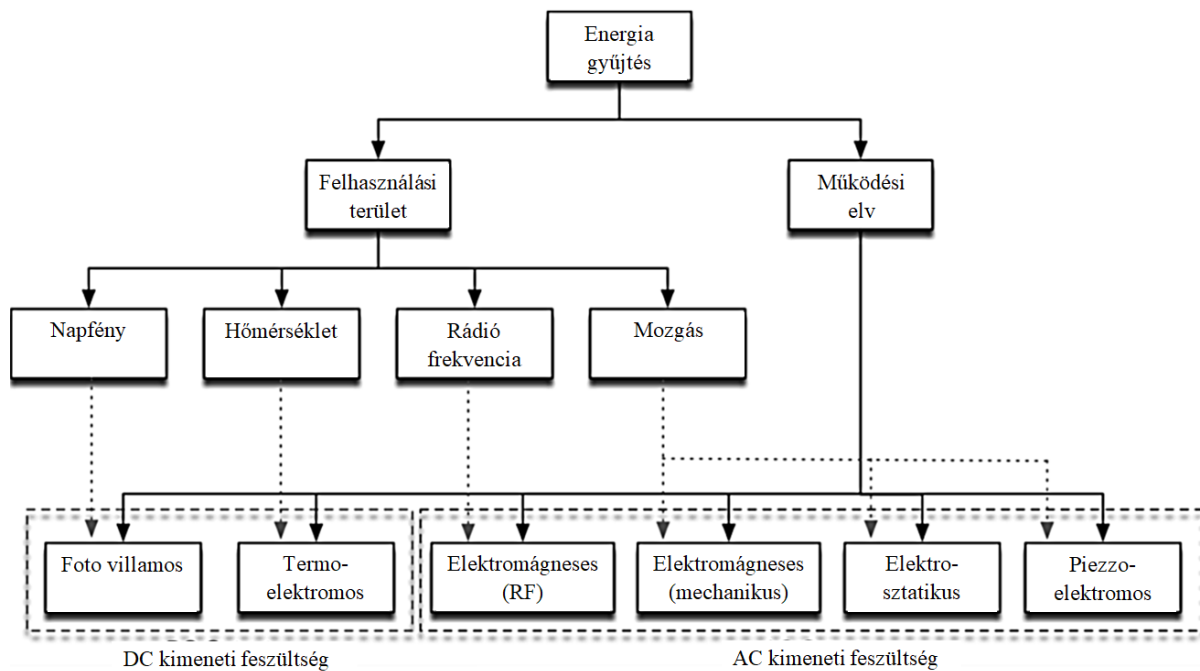
A következő fejezetben bemutatom, milyen lehetőségek állnak erre rendelkezésre az irodalom alapján.

Az 5.1 és 5.2 –as fejezetekben bemutatom az elektronika területén ismert energiakinyerő berendezéseket.

### 5.1 ALTERNATÍV ENERGIAELLÁTÁS

Mozgási energiát gyűjtő rendszereknek a felépítésének a lényege: az energiagyűjtő gyűjti a keretén keresztül a bemeneti energiát, közvetlenül kapcsolódik a fogadó struktúrához és az átalakítóhoz, a rendszerlánc végén egy kondicionáló áramkör előállítja az elektromos jeleket [73].

Ebben a fejezetben kifejezetten az elektromágneses mozgásgyűjtési technikákat mutatom be, mivel az anyagáramlási rendszerekben ez az egyetlen teljes körűen használható energiaforrás. Energiagyűjtő rendszereket az 5.2. ábrán látható módon csoportosíthatjuk.



5.2. ábra. Környezeti energiát használó, energiagyűjtőgető technológiák (energy harvesting) hierarchiája [73]

Az ábrának fontos kiegészítője lenne az egyes rendszerek hatásfoka, ára stb. elemzése, de ez jelenleg nem célom.

## 5.2 VIBRÁCIÓ

Anyagáramlási folyamatok során szinte kivétel nélkül lökések és rezgések lépnek fel [s4]. A mechanikai rezgések elektromos árammá való átalakítását egy ideig mikrofonnal, gyorsulásmérőkkel, geofonokkal és szeizmográfokkal végezték. Ezen technológiáknak az energiaelőállításához való optimalizálása viszonylag új kutatási terület és irodalma még szegényes.

### 5.2.1 ÁLTALÁNOS VIBRÁCIÓ-VILAMOSSÁG ÁTALAKÍTÓ MODELL

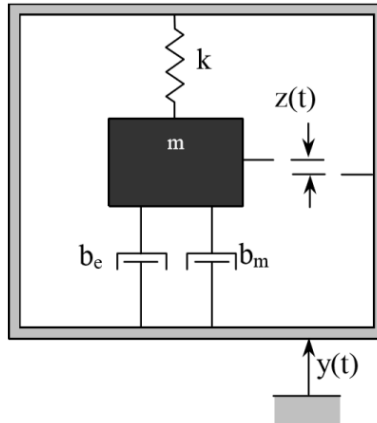
A vibráló tömeg kinetikus energiájának elektromos energiává történő átalakításának általános modelljét felírhatjuk a lineáris rendszerelmélet alapján anélkül, hogy megneveznék az átalakítási mechanizmus. Az 5.3. ábra mutatja azt az egyszerű modellt, amelynek a egyenletét Williams és Yates [74] az (5.1). egyenletben adták meg.

$$m\ddot{z} + (b_e + b_m)\dot{z} + kz = -m\ddot{y} \quad (5.1)$$

amelyben:

- z: rugó hosszirányú méretváltozás
- y: bemeneti elmozdulás

- $m$ : tömeg
- $b_e$ : elektromosan indukált csillapítási együttható
- $b_m$ : mechanikus csillapítási együttható
- $k$ : rugóállandó



5.3. ábra. Az általános rezgés átalakító vázlata [75]

Egy keretben egy  $m$  tömegű test egy  $k$  rugóval van felfüggesztve és az  $m$  tömeg mozgása  $b_e$  és  $b_m$  által csillapítva van. A  $b_e$  kifejezés egy elektromosan indukált csillapítási koefficiens,  $b_m$  a mechanikus csillapítási koefficiens jelenti. A modellnek gondolata az, hogy az energia az oszcilláló tömegeből villamos energiává történő átalakítása (bármilyen mechanizmus is működik) lineáris csillapítóként hat a tömeg-rugó- rendszerben. Ez egy meglehetősen pontos modell olyan típusú elektromágneses átalakítókhoz, mint amit például Williams és Yates javasoltak [75].

Az elektromos rendszer által nyert energia megegyezik a mechanikus rendszerből az elektromosan indukált csillapítással kinyert energiával. Az elektromosan indukált erő  $b_e \dot{z}$ . Az erő egyszerűen az erő ( $F$ ) és a sebesség ( $v$ ) szorzata, ha mindkettő állandó. Ha ezek nem konstansok, akkor az erőt a (5.2) egyenlet adja meg [75].

$$P = \int_0^v F dv \quad (5.2)$$

A jelenlegi esetben,  $F = b_e \dot{z} = b_e v$ . Ekkor a Roudny disszertációja szerint (5.2) egyenlet a következő képpen változik meg:

$$P = b_e \int_0^v v dv \quad (5.3)$$

Az 5.3 egyenlet megoldása nagyon egyszerű  $\frac{1}{2} b_e v^2$ . Ha  $v - \dot{z}$  helyettesítjük az azzal ekvivalens  $\dot{z}$ -vel, akkor az 5.4 -es kifejezéshez jutunk [75].

$$P = \frac{1}{2} b_e \dot{z}^2 \quad (5.4)$$

Williams C. és Yates B. [75] bebizonyították, hogy a környezeti rezgésnek kitett rezonáns energia átalakító maximális kimeneti teljesítményét akkor éri el, amikor a tömeg-rugó rendszer  $\omega_n$  saját frekvenciája megadható

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.5)$$

alakban és ez megegyezik a környezetből ható gerjesztő erő  $\omega$  frekvenciájával,  $\omega = \omega_n$ . A rendszer szinuszos jellel való külső gerjesztéssel elméletileg elérhető maximális kimeneti teljesítménye ekkor [99]:

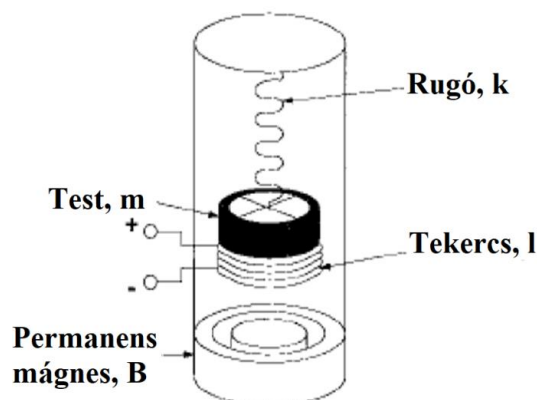
$$P_{max} = \frac{m\xi_e a^2}{4\omega_n(\xi_m + \xi_e)^2} \quad (5.6)$$

- $P_{max}$ : maximális kimeneti teljesítmény
- $m$ : vibráló tömeg a rendszerben
- $a$ : a tömeg által elérhető maximális kitérés
- $\omega_n$ : a rendszer természetes frekvenciája
- $\xi_m$ : mechanikus csillapítási koefficiens
- $\xi_e$ : elektromos csillapítási koefficiens

Ennek az elektromechanikai erőnek az indukálásához mechanikai-elektromos átalakítót kell kifejleszteni, amely a mechanikai energia egy részét kinyeri a tömegeből és elektromossá alakítja [76].

## 5.2.2 ELEKTROMÁGNESES (INDUKTÍV) ENERGIAÁTALAKÍTÓ

Az elektromágneses energiát az elektromos vezető mágneses mezőben való relatív mozgásából nyerjük. Általában tekercs formában készül el a vezető, azért, hogy az induktivitás nagyobb legyen. A tekercs és a mágneses mező közötti relatív mozgás áramot indukál a tekercsben [75]. Az Amirtharajahból és Chandrakasanból [77] vett ilyen típusú átalakítást alkalmazó készüléket az 5.4. ábra mutatja.



5.4. ábra. Elektromágneses energia átalakító. [77]

Ha egy  $m$  tömeg egy keretben  $k$  rugóval van felfüggesztve és  $b_e$  és  $b_m$  erők által csillapítva van, akkor a tekercs feszültsége a Faraday-törvény szerint:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (5.7)$$

ahol:

$\varepsilon$  = indukált feszültség,  
 $\Phi_B$  = mágneses fluxus

Abban az esetben, ha egy tekercs egy állandó mágneses mezőben merőlegesen mozdul el, akkor a tekercsben maximális feszültség keletkezik (elektromotoros erő), amelyet a következő képpen írhatunk fel:

$$V_{oc} = NBl \frac{dy}{dt} \quad (5.8)$$

ahol:

$N$  = a tekercs menetének száma  
 $B$  = mágneses mező erőssége  
 $l$  = tekercs hossza  
 $y$  = távolság amit a tekercs a mágneses mezőben megtesz [75]

A bemutatott rendszerek egy sarkalatos pontja, hogy a kimeneti teljesítmény a maximumát akkor éri el, ha a gerjesztő erő periodikus és frekvenciája megegyezik a rezgőrendszer saját frekvenciájával. A hatékony működés további feltétele, hogy a gerjesztő erő mindig ugyanabból az irányából érkezzon, amelyre az elektromágneses átalakítót tervezték, különben a mechanikai mozgás annyira kicsi lehet, hogy villamos energia nem termelődik.

Anyagáramlási folyamatoknál figyelembe kell venni a dinamikus erőket, amelyek a következő okok miatt épnek fel [78]:

- a csomagok kézi berakodása, kirakodása és kezelése során fellépő leesés és dobás,
- a mechanikus kezelő berendezések által okozott igénybevételek,
- jármű ütközések és
- járművek által keltett vibrációk

Szállításnál a vibrációk általában a szállítóeszköz rugó rendszeréből, a járművön nem kiegyenlített súlyok mozgásából, az útfelület egyenetlenségéből és ezek keverékéből jön létre [78].

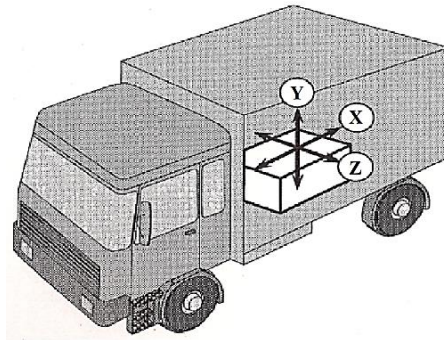
Ezek a vibrációk lehetnek periodikusak, tartalmazhatnak nem periodikus komponenseket is, frekvenciájuk a sebesség függvényében változhat és az adott rakományra általában nem egy irányból hatnak [s5].

### 5.3 ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSÉNEK MÉRÉSE

A fejezetben célokom mutatni, hogy átlagos anyagáramlási folyamatok során milyen jellemzőkkel rendelkező mechanikus erőhatások lépnek fel.

Szállítás során az út minőségéből adódóan lökések, a szállítóeszköz adottságaiból adódóan vibrációk és a közlekedés dinamikájából dinamikus erőhatások érik a szállítandó árut. Ezek az

erőhatások az 5.5. ábrán ábrázoltaknak megfelelően x hosszirányú, y függőleges és z keresztirányú irányból hatnak az áruira.



5.5. ábra. x, y, és z irányú erők szállítás során [106]

Ezen erőhatások nagysága az útminőségtől, a szállítóeszköz fajtájától, típusától, műszaki állapotától és a szállítás sebességétől stb. nagymértékben függ. Ismerkedjünk meg ezen erőhatások méréséhez szükséges fogalmakkal.

### 5.3.1 REZGÉSVIZSGÁLAT ELMÉLETE

Valamely fizikai mennyiség időbeli periodikus változásait rezgésnek nevezzük. Rezgés keletkezik az energiának rezgésre képes rendszerre való munkavégzéskor. Az egyensúlyi állapotból kiinduló oszcilláló mozgás legfontosabb jellemzője az időtartományban az  $x = x(t)$  periodikus mozgást leíró függvény. Az  $x(t)$  rezgés  $T$  szerint periodikus, ha

$$X(t) = X(t + T) \quad (5.9)$$

A harmonikus mozgás matematikai leírása

$$X(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (5.10)$$

amelyben

$t$ : idő

$A$ : Amplitúdó, a kitérés maximális értéke

$\varphi$ :  $\omega t + \varphi_0$  fázis, amely a rezgés pillanatnyi állapotát jellemzi

$\varphi_0$ : fázisszög

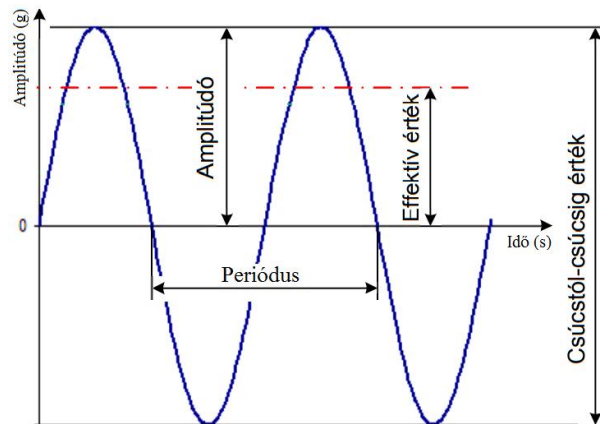
$\omega$ :  $\frac{2\pi}{T} = 2\pi * \frac{1}{T} = 2\pi * f$

$f$ :  $1/T$  frekvencia (Hz) a rezgések száma ez időtartam alatt

A csúcserőértéket vagy amplitúdót tranziens események mérésére és jellemzésére használjuk. Hátránya, hogy az időt nem veszi figyelembe, és ez igaz a csúcstól-csúcsig értékre is, ami mutatja a hullám maximális értékét két szélsőérték között.

Az RMS (root mean square, négyzetes középérték) figyelembe veszi a hullámforma időbeni lezajlását is, így közvetlenül kapcsolódik a vibrációs profil energiatartalmához ill. a vibráció munkavégző képességéhez. A csúcserőérték helyett általában az ún. effektív értéket (RMS) használjuk. Ez definíció szerint:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [x(t)]^2 dt} \quad (5.11)$$



5.6. ábra. Rezgés mérés paramétereit időtartományban [103]

Ez hasonló a váltakozó áram munkájánál az időbeli középértékkel, mert ugyan azt a munkát adja, mint az azonos abszolút értékű egyenfeszültségek és egyenáramok.

A szinusz hullámok esetében a rezgési frekvencia meghatározható az időtartományban felvett grafikonból leolvasott hullámforma alapján. A jelek általában különböző frekvenciájú összetevőket és zajokat tartalmaz, ezért spektrumelemzést kell végezni ahhoz, hogy pontos képet kapjunk a jel frekvencia összetevőiről.

A frekvencia függvényben felvett rezgésjelek (spektrum) spektrumanalízisével megállapíthatjuk, hogy milyen rezgések vannak jelen. A frekvenciák viszont jellemzik, hogy bizonyos mely alkatrészekhez és azok tipikus hibáihoz tartozik.

Megjegyzem, hogy minden fizikai jelenség, elektromágneses, termikus, mechanikus, hidraulikus vagy bármely más rendszer – egyedülálló spektrummal rendelkezik.

Az időtartomány és a megfelelő frekvenciatartomány közötti kapcsolatok tanulmányozása Fourier-analízis tárgyát képezi.

A Fourier-transzformáció lényege az alábbiakban foglalható össze.

Valamennyi hullámforma különböző frekvenciák, amplitúdók és fázisok szinuszos elemeinek összege. Fourier-analízist vagy spektrum elemzést használunk egy jel szétbontására az egyes szinusz hullám komponenseire. A legtöbb rezgéselemzés tipikusan a frekvenciatartományban történik. A legalacsonyabb vizsgált frekvencia 0 Hz, a DC komponens; és a legmagasabb frekvencia a Nyquist frekvencia ( $F_s / 2$ ).

A mérnöki alkalmazások szempontjából fontosak az ún. Fourier sorok, mivel szinte valamennyi  $f(t)$  rezgés, amely bizonyos feltételeket kielégít (a műszaki gyakorlatban ezek általában fennállnak) és felírható



$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos kt + B_k \sin kt) \quad (5.12)$$

Fourier - sor alakban amelyben az együtthatók  $A_k$  ( $k = 0, 1, \dots$ ) és  $B_k$  ( $k = 0, 1, \dots$ ) ún. együtthatók kiszámíthatóak.

Fourier - sor megadható

$$\sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega \cdot t + \varphi_n) \quad (5.13)$$

alakban is. A jelet leíró Fourier-sor spektrumát az  $(A_1; \omega); (A_2; 2\omega); \dots; (A_k; k\omega) \dots$  számpárokkal jellemezzük.

A Fourier analízis segítségével meg tudjuk határozni az összetett hullám alkotóelemeit. Periodikus és nem periodikus jelek diszkrét pillanatnyi értékeivel is kiszámíthatjuk a jel spektrumát. Ez az ún. Fourier transzformáció.

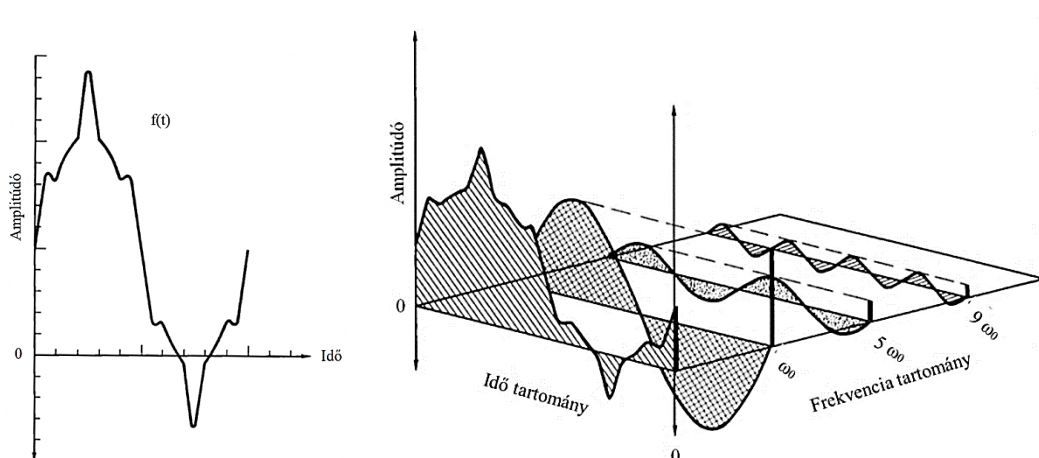
Fourier transzformáció használatával az  $x = x(t)$  idő függvény az idő a frekvencia tartományában a következő képen adható meg:

$$F[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt = X(\omega) \quad (5.14)$$

Az inverz Fourier transzformált  $X(\omega)$  -t a frekvencia spektrumból (frekvencia tartomány) az idő tartományában ad meg:

$$F^{-1}[X(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega = x(t) \quad (5.15)$$

A jelek összenergiáját is kiszámíthatjuk a Fourier transzformáltból. A periodikus jelek teljesítmény jellegűek. A tranzienst folyamatok véges energiája miatt energia típusúak.



5.7. ábra. Egy időben változó jel

5.8. ábra. Idő és frekvencia tartományú kombinált ábra

Tehát ha  $x(t)$  egy tetszőleges jel, amelyik az idő függvényében periodikusan változik és  $X(\omega)$  ennek Fourier transzformáltja, akkor

$$\int_{-\infty}^{\infty} [x(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} [X(\omega)]^2 d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} X^2(\omega) d\omega \quad (5.16)$$

Ez azt fejezi ki, hogy egy  $x(t)$  jel teljes energiája megegyezik az  $X(\omega)$  Fourier transzformált négyzetével.

Mivel

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \left( \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \right) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \left( \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{j\omega t} dt \right) d\omega =$$

(amelyben  $\int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{j\omega t} dt = X^*(\omega)$  azaz  $X(\omega)$  komplex konjugáltjával) ezért

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) X^*(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega \quad (5.17)$$

$|X(\omega)|^2$  –et általában energia sűrűség függvénynek nevezik és  $|X(\omega)|^2 d\omega$  megadja a jel különbségét a  $\omega$  –tól  $\omega + d\omega$  –ig terjedő differenciális frekvencia sáv energia sűrűségét.

Periodikus jeleknél a (5.17) –es egyenletet lehet használni az átlagos teljesítmény  $P_{AVG}$  meghatározására,  $[x(t)]^2$  a  $t_1$  –től a  $t_2$  intervallumban való integrálásával.

$$P_{AVG} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (5.18)$$

ahol  $T$  a jel periódusa.

A teljesítményt a következőképpen lehet megadni. Mivel

$$\omega(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} P(t) dt \quad (5.19)$$

ezért a teljesítmény, az energia változása az idő mértékében

$$P(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (5.20)$$

$|X(\omega)|^2$  és  $P(t)$ -t a szakirodalomban energia sűrűség, spektrális sűrűség vagy leginkább spektrális erő sűrűségnek nevezzük (Power Spectral Density PSD) [79].

Teljesítménysűrűség Spektrum (Power Spectral Density PSD) lényege a következő:

Sok rezgés, különösen a szállítás során keletkező rezgések "véletlenszerű" rezgésnek is nevezhető. Több frekvencia is jelen van egyidejűleg. Az FFT módszer használható a rezgések elemzésére. Ha véges számú domináns frekvencia összetevő van, célszerű a vibrációs jelek

jellemzésére a teljesítmény spektrális sűrűséget (PSD) számítani. A PSD-t úgy számoljuk ki, hogy az egyes frekvenciatartókat egy komplex konjugált FFT-vel megszorozzuk, ami az amplitúdó valós spektrumát adja. A PSD sokkal hasznosabb, mint az FFT a rezgéselemzéshez. Az amplitúdó értéket a frekvenciatartomány szélességére normalizáljuk, hogy megkapjuk a  $g^2/Hz$  egységeit.

### 5.3.2 ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSMÉRÉSE, MÉRÉSI SOROZAT ISMERTETÉSE

A kutatás folytatásaként arra a kérdésre kerestem a választ, hogy áruszállítás során milyen vibrációk és rezgések keletkeznek a különféle szállító berendezésekben a teljes ellátási láncban. Ezt olyan módon ismertem meg, hogy anyagáramlási eszközökön rezgésmérést végeztem. Követelmény volt, valóságos szállítóeszközökön, reális körülmények között fellépő rezgőmozgások megismerése. A mérési sorozatban szereplő szállító eszközöket az 5.1 táblázat mutatja.

5.1. táblázat. Mérési sorozatban szereplő szállító eszközök

Szállító eszköz megnevezése	Típus
Vezetőnélküli targonca	Gamma Digital prototípus*
Robotkar	Mitsubishi RV-2SDB
Görgős pálya	Gamma Digital Soco System*
Villás targonca	Yale GDP 20 TF
Teherautó	Nissan Vanette, 1997

\*Miskolci Egyetem Logisztikai Intézet számára készített berendezés

A mérésekhez a National Instruments NI-9234 jel- és rezgésmérő – adatgyűjtő kártyát és három ehhez csatlakoztatott gyorsulásmérő – érzékelőt, melyek egy egységgrakomány képző eszközhöz erősítettem fel, azért hogy a gyorsulást x, y, z irányban mérjék. Az 5.9. ábrán a készülék látható. A mérések során ezt az egységet használtam a vizsgált anyagáramlási folyamatokhoz, úgy hogy a szállító berendezések ezt szállították rakományként.



5.9. ábra. Egységgrakomány képző a gyorsulásmérő szenzorokkal

### 5.3.3 MÉRT ÉRTÉKEK KIÉRTÉKELÉSE

A gyűjtött adatokat az NI - SignalExpress adatfeldolgozó szoftver segítségével rögzítettem majd az előző fejezetben ismertetett matematikai módszerek felhasználásával értékeltem ki. A program a mért rezgéseket közvetlenül gyorsulás értéként adta meg, majd a szoftver konvertálta ezeket teljesítménysűrűség spektrumra (PSD). Az értékek gyors kiértékelését segíti,

ha ismerjük, hogy a 0 dB = 1 W, -10 dB = 100 mW, -20 dB = 10 mW és -30 dB = 1 mW jelent az adott frekvencián.

5.2. táblázat. Mért rezgés értékek

Eszköz	Domináns Frekvencia [Hz]	Teljesítmény Domináns Frekvencián x-Irányban [dBW]	Teljesítmény Domináns Frekvencián y-Irányban [dBW]	Teljesítmény Domináns Frekvencián z-Irányban [dBW]
Futószalag, (Vezetőnélküli Targonca)	19 Hz	-21 dBW	-32 dBW	-27 dBW
Vezetőnélküli Targonca	23 Hz	-30 dBW	-30 dBW	-21 dBW
Görgős Pálya	nem mérhető	-	-	-
Teherautó, üresjárat	90 Hz	- 87 dBW	- 60 dBW	- 55 dBW
Teherautó városban, jó útminőség	30 Hz	- 18 dBW	- 30 dBW	- 32 dBW
Teherautó autópályán, jó útminőség	95 Hz	- 22 dBW	- 27 dBW	- 13 dBW
Teherautó autópályán, rossz útminőség	91 Hz	-	-	- 22 dBW

Mivel a rezgésmérő 3D – s rezgések komponenseit (hosszirány, oldalirány és függőleges irány) mért, ezért célszerű ezeket is megadni.

5.3. táblázat. Mért tranziens értékek összefoglalása

Eszköz	Irány	Gyorsulás Tranziens Csúcsérték	Tranziens Csúcsérték Időtartalma
Robotkar	Hosszirány	19 g	2 ms
	Függőleges irány	2,5 g	2 ms
	Oldalirány	9 g	2 ms
Görgős pálya, fékező	Hosszirány	4 g	1 ms
	Függőleges irány	4 g	3 ms
	Oldalirány	16 g	10 ms
Görgős pálya, fordító	Hosszirány	20 mg	1 s
	Függőleges irány	-	-
	Oldalirány	40 mg	1 s

<b>Villástargonca (Yale)</b>	Hosszirány	22 g	5 ms
	Függőleges irány	51 g	10 ms
	Oldalirány	12 g	5 ms
<b>Teherautó a városban, rossz útminőség</b>	Hosszirány	1 g	10 ms
	Függőleges irány	10 g	3 ms
	Oldalirány	1 g	10 ms
<b>Teherautó autópályán, jó útminőség</b>	Hosszirány	0,2 g	2 ms
	Függőleges irány	1,35 g	2 ms
	Oldalirány	0,45 g	5 ms
<b>Teherautó autópályán, rossz útminőség</b>	Hosszirány	0,3 g	10 ms
	Függőleges irány	2,3 g	4 ms
	Oldalirány	0,25 g	10 ms

A mért értékeket a melléklet 1 – 10 ábrái mutatják részletesen.

1.Megállapítás: Anyagáramlási folyamatok során, a folyamatok összetettségéből és különbözőségéből adódóan megállapítható, hogy nincs egy olyan specifikus harmonikus rezgőmozgás, amely energiakicsatolásra széleskörűen és gazdaságosan alkalmazható lenne.

2.Megállapítás: A vizsgált anyagáramlási folyamatoknál egy jól mérhető, nagy amplitúdójú ütközések, lökésszerű erőhatások lépnek fel. Ezek ugyan nem periodikusak, de minden ismert folyamatban előre meghatározott helyen és véletlenszerű helyeken nagy számban lépnek fel.

Energia előállításához olyan megoldást kell keresni, amely eszköz az x, y, z irányú, nem periodikus, lökésszerű, ill. tranziens erők energiájának kicsatolására képes.

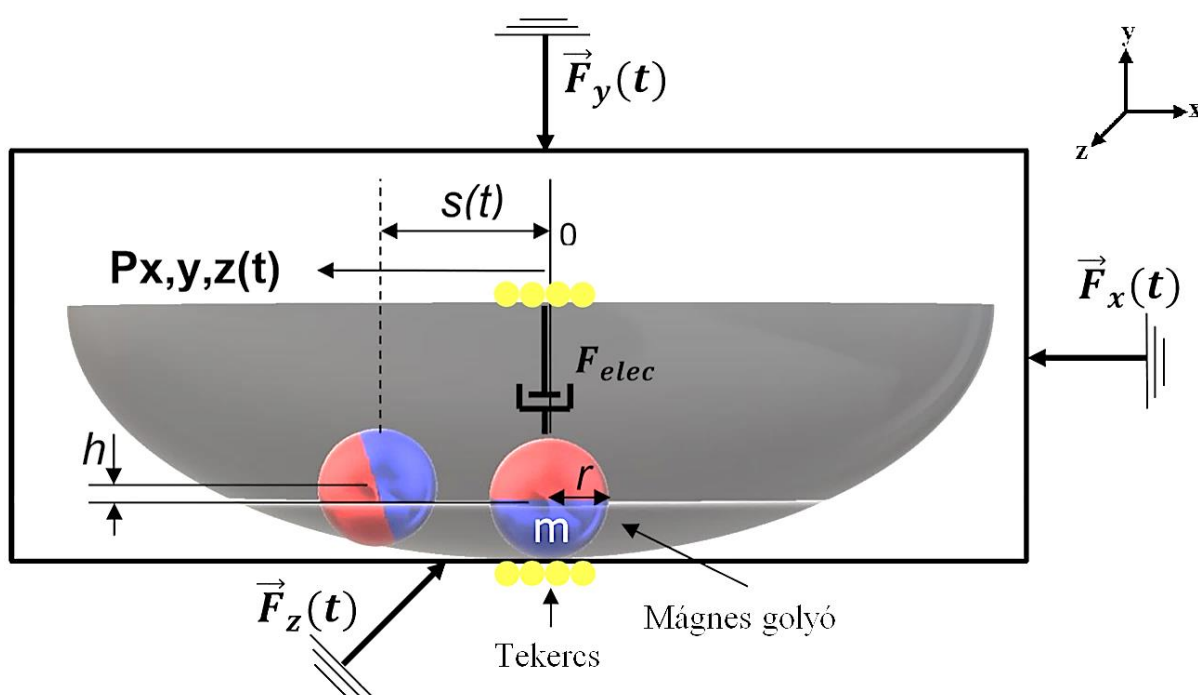
A következő fejezetben ilyen jellemzőkkel rendelkező mechanikus erőhatások energiájának kicsatolására szolgáló, saját tervezésű, eszköz modelljét mutatom be.

## 6 ÚJ ENERGIKICSATOLÓ RENDSZER

Ebben a fejezetben ismertetem az általam megtervezett és megépített új, szabadalmi eljárás előtt álló energiakinyerő rendszert.

### 6.1 MECHANIKUS REZGŐRENDSZER

Az általam megalkotott mechanikus rezgőrendszer modelljét a 6.1. ábra mutatja. Ennek működése a következő: egy zárt keretben (pl. doboz) egy gömb szelet alakú csésze a rá ható  $\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z$  irányú erőknek megfelelően mozgást végez. A csészében lévő mágnes golyó a rá ható erők miatt és a csésze elmozdul. A permanens mágnes golyó a tekercsben fluxus változást hoz létre, így feszültség indukálódik.



6.1. ábra. Mechanikus rezgő rendszer modellje

Az előző fejezetben bemutatott méréseimmel bizonyítottam, hogy szállítási folyamatoknál általában nem kitüntetett irányból ható erők hatnak egy  $m$  tömegű testre. Az erők komponenseinek nagysága általában eltér egymástól.

A kitüntetett három irányból erők (rögzített koordinátarendszerben) vektoriális eredője:

$$\vec{F}_{eredő}(t) = \vec{F}_x(t) + \vec{F}_y(t) + \vec{F}_z(t) \quad (6.1)$$

A golyó bonyolult mozgását (akár spirálist leíró görbe mentén is visszatérhet egyensúlyi helyzetébe) modellezzük a lejtőn legördülő golyó mozgásának vizsgálatára.

Az  $\vec{F}_{eredő}$  erőtől  $t = 0$  időpontban kapott  $\vec{v}_0$  sebességű ( $|\vec{v}_0| = v_0$ ) mozgási energia

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v_0^2 \quad (6.2)$$

Ez a golyó súrlódás nélküli mozgásánál  $E_{pot} = mgh$  energiává alakul (h magasságba emelkedik a golyó). A kinetikus energia az energia megmaradási tétel szerint

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (6.3)$$

ha a golyó forgását is figyelembe vesszük, akkor

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}\Theta\omega^2 \quad (6.4)$$

ahol  $\omega = \frac{v_0}{r}$  és  $\Theta = \frac{2}{5}mr^2$

Munkatétel. Általában a testre ható  $\vec{F}$  erő és a test  $\vec{s}$  elmozdulásvektora esetén

$$W = \int_g \vec{F} d\vec{s} \quad (6.5)$$

u.n. ívhossz szerinti vonalintegrállal számítható ki.

A testre ható erők eredője által végzett munka megegyezik a kinetikus energia megváltozásával, azaz:

$$\sum_{i=1}^n W_{eredő,i} = \Delta E_{kinetikus} \quad (6.6)$$

Ez a tömegpontra értelmezett munkatétel. Három dimenzió esetén a kinetikus energia a következő módon határozható meg:

$$E_{kinetikus} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \quad (6.7)$$

ahol

$$\vec{v} = \{v_x; v_y; v_z\} \quad (6.8)$$

A munkavégzés vagy az energiaátvitel sebessége a fizikai teljesítmény adja, így a  $P$  teljesítmény

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F\Delta s}{\Delta t} \quad (6.9)$$

Tehát a kinetikus energia változása nem más, mint a kinetikus energia idő szerinti első deriváltja, azaz

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E_{kinetikus}}{\Delta t} = \frac{m}{2} \left( 2v_x \frac{dv_x}{dt} + 2v_y \frac{dv_y}{dt} + 2v_z \frac{dv_z}{dt} \right) \quad (6.10)$$

Átalakítva a következő alakot kapjuk:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E_{kinetikus}}{\Delta t} = \left( m \frac{dv_x}{dt} \right) v_x + \left( m \frac{dv_y}{dt} \right) v_y + \left( m \frac{dv_z}{dt} \right) v_z \quad (6.11)$$

Mivel  $\frac{dv_x}{dt} = a_x$  nem más, mint a gyorsulás x-irányú komponense (hasonlóan a többi komponensre is). A kinetikus energia változása tehát egyenlő az erő és a sebesség skaláris szorzatával, ezért a mechanikai teljesítmény

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E_{kinetikus}}{\Delta t} = F_x v_x + F_y v_y + F_z v_z \quad (6.12)$$

alakban írható fel.

A  $\vec{r}(t) = \{x(t); y(t); z(t)\}$  pályán mozgó test sebességvektora  $\vec{v}(t) = \left\{ \frac{dx(t)}{dt}; \frac{dy(t)}{dt}; \frac{dz(t)}{dt}; \right\}$

így a kinetikus energia megváltozása

$$dE_{kin} = F_x dx + F_y dy + F_z dz \quad (6.13)$$

vagy

$$\Delta E_{kin} \cong F_x \Delta x + F_y \Delta y + F_z \Delta z \quad (6.14)$$

Tehát a kinetikus energia változása egyenlő az eredő erő által végzett munkával. Az impulzus tétel általános alakja:

$$m \vec{a}_M = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_{eredő} \quad (6.15)$$

ahol  $\vec{a}_M$  a mágnes golyó gyorsulásvektora.

A rendszer mozgásegyenlete:

$$m \ddot{s}(t) + \vec{F}_{lejtő}(t) + \vec{F}_{elek}(t) = F_{eredő}(t) \quad (6.16)$$

ahol

- $m$  : a mágnes golyó tömege,
- $\ddot{s}$  : a golyó által megtett út idő szerinti második deriváltja, azaz a gyorsulás
- $\vec{F}_{lejtő}$  :  $mgh$
- $g$  : nehézségi gyorsulás
- $\vec{F}_{elektr}$  :  $b_e \dot{s}$  elektromos csillapítási koefficiens,
- $\vec{F}_{eredő}$  :  $\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z$ , vektorok eredő vektora

A mágnesgolyóra ható erők rázkódás, ütés, ill. tranziensszerűek, ezek közös jellemzője a rövid időtartam és a hirtelen elfordulás. Egy mechanikai ütés vagy ütközés akkor történik, amikor az



áru helyzete, sebessége vagy gyorsulása hirtelen megváltozik. Az ütést a gyorsulás hirtelen növekedése és egy nagyon rövid időn belüli gyors csökkenés követ. Logisztika területén ez leejtés és dobás formájában jelentkezik, amik áru be-, és kipakolásakor, kezeléskor lép fel [80]. A gyakorlatban a legtöbb esetben nem a rázkódás, ütés, ill. ezek tranziens hullámformájának meghatározása a cél, hanem sokkal fontosabb az ütés, rázkódás, ill. tranziens rezgés az adott mechanikai rendszerre való hatásának megismerése. Ha a tranziens rezgés idő függvénye  $f(t)$ , akkor ennek a Fourier transzformáltja a következő [81]:

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (6.17)$$

Az energiakicsatoló rendszer által szolgáltatott indukált feszültséget, az elektromotoros erőt a következő módon írhatjuk fel:

$$\varepsilon_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d}{dt} \left( \int_A B dA \right) \quad (6.18)$$

vagy más formában felírva

$$\varepsilon_{ind} = N \oint_L \vec{E} d\vec{s} \quad (6.19)$$

ahol

$\varepsilon_{ind}$ : elektromotoros erő (terheletlen, üresjáratú feszültség)

$N$ : hurkok száma

$\vec{E}$ : indukált elektromos térerősség

$d\vec{s}$ : elmozdulás

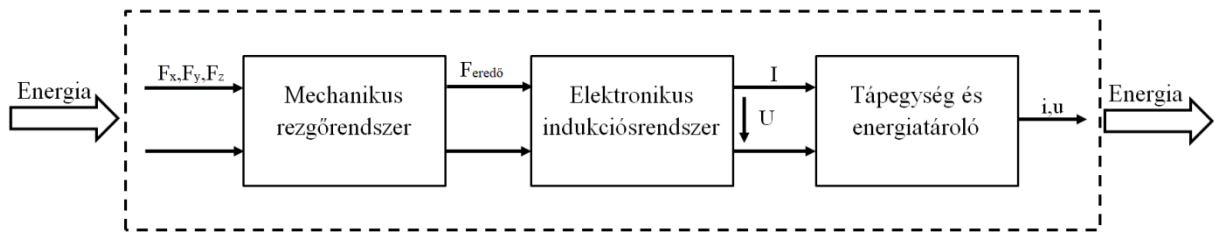
$\Phi_B$ : mágnes golyó indukció fluxusa

$A$ : hurok felületének nagysága

$B$ : mágneses mező [98]

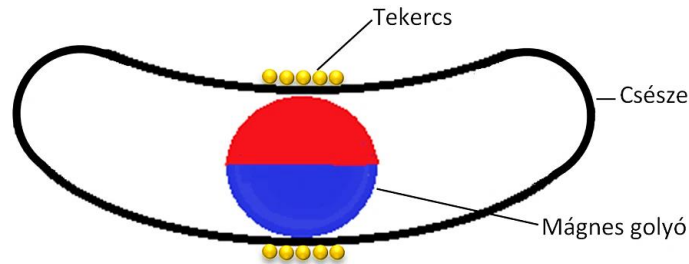
## 6.2 ENERGIKICSATOLÁS MÓDJA

A mechanikus rezgőrendszer által mozgásba hozott mágnes golyó elmozdulása közben az őt körbevevő indukciós rendszerben, vagyis a tekercsben elektromos feszültséget indukál. A tekercsben elmozduló permanens mágnes egy ún. neodym (szamarium-kobalt) szuper mágnes, mely mágneses indukciója 1,02 -1,47 Tesla –ig terjed. Az előállított váltakozó áram egyenirányítása után a gerjesztett feszültséget egy ún. szuper-, illetve ultrakondenzátorban tároljuk, amelyek kapacitása jellemzően 1 F –tól akár 3000 F –ig is terjedhet. A mechanikai / villamos energia konverter logikai modellje:



6.2. ábra. Mechanikai / villamos energia konverter modellje

Az elektromos indukciós rendszer blokkvázlata:



6.3. ábra. Mechanikus rezgőrendszer és villamos energia konverter

Az energiaellátó rendszer egy működő modelljét elkészítettem és ezen végeztem méréseket. A mechanikus rezgőrendszer és elektromos indukciósrendszer deszkamodellje:



6.4. ábra. A mechanikus rezgőrendszer és elektromos indukciósrendszer deszkamodellje

A mellékletben a 14. ábra mutatja az indukciós rendszer, tápegység és energiatároló egy lehetséges felépítését mutatja.

### 6.3 TÁPEGYSÉG ÉS ENERGIATÁROLÓ

Az elektromos indukciósrendszer által gerjesztett feszültség önmagában nem alkalmas kiberfizikai rendszerek közvetlen energiaellátására mivel a kimenetei feszültség alacsony AC váltakozó feszültség. Tervezni kellett egy olyan tápegység és energiatároló egységet, amelyet a 6.4. ábra szemléltet és amelynek a működése a következő:



6.4. ábra. Tápegység és energiatároló

Az indukciós rendszer által szolgáltatott váltakozó feszültség  $U_{AC\_be}$  az egyenirányító egységben egyenirányítódig  $U_{DC\_1}$  egyenfeszültséggé. Mivel a kis feszültségek egyenirányításra kizárólagos használt eszköz a diódás egyenirányító kapcsolás, de ennek a kedvezőtlen tulajdonsága, hogy diódánként nyitó irányban, típustól függően  $U_f = 0,2 \text{ V} - 0,7 \text{ V}$  feszültségesés jellemzi őket. Ezt a kedvezőtlen tulajdonságot különböző kapcsolástechnikai topológiákkal lehet részben kompenzálni. Az alkalmazható egyenirányító kapcsolásokat a melléklet 16. ábrája mutat.

Az egyenirányító kapcsolások által előállított feszültség szintje nem alkalmas okos egységek energiájának ellátására. Szükség van tehát egy feszültség konverterre (DC / DC konverter) ami az alacsony  $U_{DC\_1}$  DC feszültséget a ma használatos  $U_{DC\_2} = +1,8 - +5 \text{ V}$  feszültségre konvertálja és az energiatároló szuperkondenzátort (SuperCap) tölti, és kisimítja ill. szolgáltatja az  $U_{DC\_ki}$  kimeneti feszültséget. Egy ilyen használható komponens lehet a Texas Instruments BQ25570 típusjelű integrált áramkör. Ennek a főbb tulajdonságait és belső felépítését a melléklet 17. ábrája ismerteti részletesen.

A szuperkondenzátorok egyik legnagyobb előnye a gyakorlatban használt elemekhez képest hosszú élettartamuk, elektródáik nem korrodálódnak több ezer ciklus után sem, ellentétben a hagyományos elemekkel. A legmodernebb elemek is csak korlátozott élettartammal rendelkeznek, mivel az elemekben való energia tárolás az elektródák kémiai elváltozásával jár (a szilárd elektrolit folyékonyvá változása, kristályosodás stb.), ami az elektródák tönkremenéshez vezet.

Egy  $10 \text{ F}$  ( $10000 \text{ mF} = 10\,000\,000 \mu\text{F}$ ) kapacitású kondenzátor pl.  $5 \text{ V}$ -tal feltöltve akár  $125 \text{ Joule}$  ( $E = 1/2 * C * U^2$ ) energiát is képes tárolni, ami  $125 \text{ Ws}$ . Ez az energia elégséges egy alacsony fogyasztású berendezés rövid idejű táplálására. A belső energiaellátás hasznos lehet pl. egy mérési feladat elvégzésére, az adatok tárolására és más eszközökkel való kommunikációra [s11].

## 7 JÁRMŰ BEÉRKEZÉSEK

A 4. fejezetben bemutattam, hogy egy OERK eszköz használatával milyen módon lehet a raktári folyamatokat leegyszerűsíteni, optimalizálni. Raktári folyamatok tervezhetőségében egy régóta meglévő, kulcsfontosságú kérdés a szállítmány beérkezési ideje. A kipakolás, mennyiségi,- minőségi vizsgálat, elszállítás, betárolás folyamata stb. elvégzéséhez kell eszközöket és erőforrásokat biztosítani. Jármű késése esetén a kiszolgáló személyzet várakozik, a berendezések állnak, így növekednek a folyamatban a várakozási idők, ezzel jelentősen romlik a raktár hatékonysága, logisztikai teljesítménye.

A késés a következő módon számítható [82]:

$$Késés = 1 - \frac{T_{szállítás\_időtartam} - T_{szállítás\_időigénye}}{T_{szállítás\_időtartam}} \quad (7.1)$$

A szakirodalom szerint, hagyományos eszközökkel a szállítás időigényét pontosan nem lehet meghatározni [83]. A pontatlan beérkezésből, késésből következő várakozási időknek nagyon kedvezőtlen kihatásuk van [84] legfontosabb logisztikai feladat tehát ennek a csökkentése.

A szállító járművek célállomásra, raktárba való beérkezésekkor tapasztalható késésekért általában a következő okok felelősek [83],[85]:

- szállítmány késve indul el,
- forgalmi okok: forgalmi dugók, forgalom sűrűsége nagyvárosok vonzáskörzetében, határátkelőn való átlépés,
- időjárási viszonyok,
- nem megfelelő infrastruktúra,
- sofőr helyismerete,
- sofőr vezetéspszichológiai tulajdonságai,
- pihenőidők betartása,
- hatósági ellenőrzés.

A tapasztalat azt mutatja, hogy olyan esetekben, amikor bizonyos események egymás után következő időpillanatokban események következnek be és mindegyik esemény megtörténtét egyetlen időpont jelez, akkor valamely időintervallumban bekövetkező események száma közelítőleg Poisson – eloszlású. Paramétereit a gyakorlatban statisztikai úton kell becsülni. Mivel a  $\lambda$  paraméter az eloszlás várható értéke, ezért a várható érték becsülését kell megadni vagy mivel a várható érték egyenlő a szórás négyzet becsült értékével, akkor elegendő ezt kiszámítani.

A gyakorlati megfigyelések is azt mutatják, hogy a szállító járművek raktárba érkezését sok, néha kiszámíthatatlan tényező befolyásolja. A beérkezések véletlenszerű folyamatot alkotnak és statisztikai vizsgálat alapján általában  $\lambda t$  paraméterű homogén Poisson eloszlást követnek [60], amely:

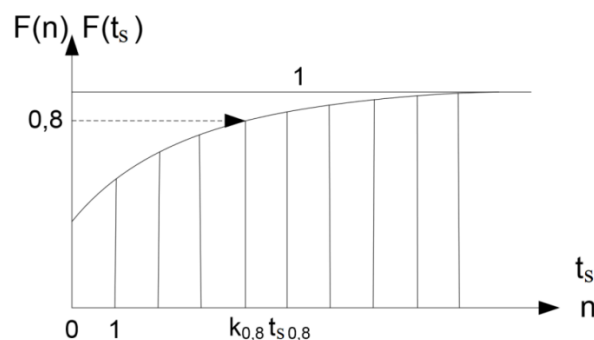
$$P_k(t) = \frac{\lambda^k(t)}{k!} e^{-\lambda} \quad (7.2)$$

egyenlettel írható le, ahol  $P_k(t)$  annak a valószínűsége, hogy  $t$  időpontig  $k$  számú jármű érkezik be,  $k$  amelynek várható érték  $E = \lambda$ , szórás a  $D = \sqrt{\lambda}$ . Az átlagos várakozási idő:

$$\bar{t}_w = \frac{\sum_{i=1}^m t_{wi}}{m} \quad (7.3)$$

ahol  $m$  – a kiszolgált igények száma. Természetesen az anyagáramlási rendszereknél alapvető célunk, hogy a várakozási időt minimalizáljuk, vagyis  $\bar{t}_w \rightarrow \min$  [60]:

Legyen az igény jelentkezési időpontja  $T$ , továbbá az igény kiszolgálására a kiszolgáló csatorna rendelkezésre állási időpontja  $\tau$ . Ha  $T > \tau$  akkor a kiszolgáló csatorna várakozik. Ebben az esetben a kiszolgáló csatorna várakozási ideje:  $t_s = T - \tau$ .



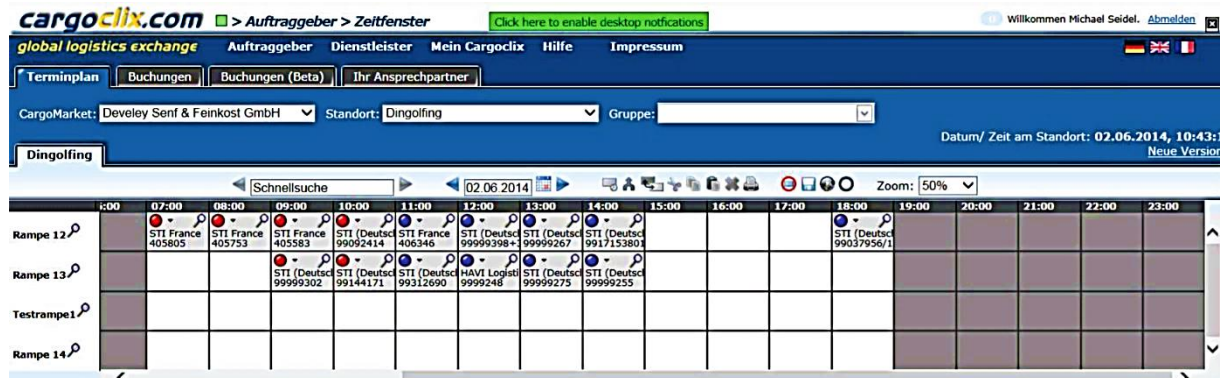
7.1. ábra. Sorban álló egységekre vonatkozó eloszlásfüggvény [86]

Az eloszlásfüggvények alapján meg tudjuk határozni a beérkezések időközzeit. Exponenciális eloszlásúnak tekinthetők bizonyos időtartamok, várakozási idők,.. Gyakorlatban akkor használjuk, ha valószínűségi változó az esemény bekövetkezéséig eltelt időtartamot jelöli és az eredmény bekövetkezésének esélye az adott időintervallumon független annak kezdetétől. Ez véletlen számok segítségével történik. Mivel az eloszlásfüggvények függvényértéke  $[0;1]$  intervallumban változik, ugyanezen intervallumban előállított egyenletes eloszlású véletlen számoknak az eloszlásfüggvényeken való transzformációjával előállíthatók a beérkezések időközzeit. A 7.1. ábra alkalmas az eloszlásfüggvényből grafikus módszer segítségével az inverz érték keresésére. A közelítő exponenciális eloszlás megmutatja, hogy milyen időközönként érkezik be a raktárba az áru. Ahogy a függvény nő úgy nő a valószínűsége az áru beérkezésének. Az  $F(x) = 1 - e^{-\lambda t}$ ,  $t > 0$  függvényből logaritmussal az időt is meg tudjuk határozni [86].

A bemutatott eljárás a tényleges beérkezésekre nincs hatással, a raktári személyzet és az eszközök a beérkezésig más feladatot lát el, amennyiben tud.

A jelenlegi gyakorlatban elterjedt eljárás, hogy a beérkező járművek a raktárhoz tartozó parkolóban várakoznak a kiszolgálás megkezdéséig [87]. Ennek az eljárásnak hátránya az is, hogy nem áll rendelkezésre megfelelő számú hely a parkolóban, ezért a kiszolgálásra váró járművek várakozni kényszerülnek. A szállító cég oldalán jelentős hatékonyság csökkentést okoz. Csúcsidőben pedig - több jármű érkezik be - mint amennyi parkolóhely rendelkezésre áll. További hátránya lehet az is ennek az eljárásnak, hogy a várakozási idő nem esik egybe a sofőr törvényileg előírt pihenő,- és munkaidejével [87].

Kidolgozásra és bevezetésre került az u.n. "Időablak Rendszer", ahol a szállítmányozó vállalat fix időpontot foglal le a raktározó cégnél beszállításra, hogy a be-, kirakodást elvégezzék. Ennek legfőbb célja a beérkezési csúcsok elsimítása napi, ill. heti lebontásban, egy vagy két óras időintervallumok kiosztásával. A raktári folyamatok így pontosabban tervezhetőek, ezáltal hatékonyabbá válnak.



7.2. ábra. Cargoclix időkapu management rendszer [88]

A tehergépkocsi vezető számára általában csak egy nagyon kis kirakodási időablak van nyitva. Mivel azonban a forgalmat nem lehet pontosan előre megmondani, gyakran vannak forgalmi dugók, hatósági ellenőrzések és hosszú várakozási idők a rakodóállomáson. A fogadó oldalon viszont vannak olyan időszakok, amikor nem kell tehergépjárművet be- és kirakni, ekkor a raktári személyzet várakozik. A Német Szövetségi Teherforgalmi Hivatal (BAG) felmérése szerint a teherautók 50 % - a pontosan, 30 % - a korán és 20 % - a késve érkeznek a megadott időkapura [87].

A [89] szerint feszes időkapuk a szállítmányozó cégeknél nem aratnak osztatlan sikert. Kereskedelmi vállalatoknál a diszpozíciós tevékenység az időkapuk alkalmazásával erősen korlátozottá vált, ami hatékonyság veszteséggel jár. További kritika éri a rendszert az üzemeltetés során felmerülő költségek és az üzemeltetést végző személyzet szükségessége miatt. Ez a rendszer sem oldja meg a rakodórampa és azzal a raktár összes problémáját. Egy időkapu management rendszer nem oldja meg a meglévő kapacitások korlátaiból adódó problémákat ki-, ill. betárolásnál, nincs kihatással a beérkezések pontosságára, a várakozási idők hosszúságára és a kiszolgálások időigényére, viszont átláthatóbbá teszi a folyamatokat.

Az időkapu management rendszerekkel kapcsolatban a szakirodalomban nagyszámú publikáció található a járatszervezés (VRP) ill. az időkapura való járatszervezés (VRPTW) optimálhatóságára pl. újraütemezési eljárás használatával, de a leírt eljárások a problémát mindig egyoldalúan a jármű, ill. a járművet üzemeltető flottamanagement szemszögéből közelítik meg.

Dolgozatom befejező részében arra a kérdésre keresem a választ, hogy a raktári folyamatok tervezhetőségére nagy hatással levő jármű beérkezések milyen módon adhatók meg az előzőektől eltérő módszerrel pontosabban, ill. hogyan szervezhetőek folyamatosan pontosabban a - logisztikai teljesítmény növelésének érdekében - ipar 4.0 technológiák használatával

## 7.1 RAKTÁRAK MŰKÖDÉSÉNEK OPTIMÁLÁSÁHOZ ALKALMAZHATÓ TECHNOLOGIÁK

Ebben a fejezetben a raktárak működésének optimalásához alkalmazható technológiákat tekintem át.

### 7.1.1 KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK

Európa országaiban az útkezelő és üzemető társaságok az úthálózat mentén folyamatos üzemmel működő forgalomszámláló automata mérőhelyek segítségével, a forgalomszámlálás módszerét alkalmazva, forgalomszámlálást végeznek [90]. Országonként a forgalmi központok rögzítik, elemzik és irányítási döntésekké és forgalomirányítási stratégiákká alakítják az úthálózat közlekedési információit. Szükség esetén a közlekedési központ megfelelő intézkedéseket kezdeményezhet és akár folyamatosan is tájékoztatja a közutat használókat és az érintetteket [91].

Az Észak- Rajna-Vesztfália összes forgalmi jelentésének mintegy 85% -át ma már a fixen telepített forgalomszámláló eszközök adatai alapján és vezérlik. A forgalmi megfigyelés további megerősítése az autópálya-hálózatban és a további adatforrások bevonása potenciálisan javíthatja a közlekedési információk minőségét. A járművek mozgásából szerzett adatok (pl. FCD) alapján folyamatos képet nyújt a forgalmi helyzetről ezzel felgyorsíthatja a helyi mérési helyek között keletkező torlódások felismerését [92].

### 7.1.2 ÚJ TECHNOLOGIÁK

Az új technológiák és a mobileszközök egyre növekvő használata a járművekben új módokat nyit a forgalom felismerésére a jövőben. A helyhez kötött rögzített forgalmi adatok helyett a járműben rögzített adatokat használják fel a pillanatnyi forgalmi helyzet részletesebb megszerzéséhez. Az új technológiák példái [92]:

*Floating Phone Data (FPD) / Floating Traveler Data (FTD)* A jármű helyzetének meghatározása, kiszámítása a mobiltelefonoknak a mobil rádiócellákon történő be-, és kijelentkezésén alapul. Így a helyzet meghatározásához nincs szükség további terminálokra a járműben. A pontosnak nem nevezhető pozíció meghatározás miatt ez a fajta forgalmi felismerés jelenleg csak az autópályákon való utazás idejének kimutatására szolgál [93][94].

*Floating Car Data (FCD)*: Az FPD adatokkal ellentétben az FCD adatok továbbítják a GPS pozícióját a GPS modulon keresztül. A pozíció meghatározás pontosabb, de a szükséges fedélzeti berendezések (GPS-modul, telefon, terminál) technikai összetettsége nagyon magas, így használatuk nem mindig rentábilis.

*Extended Floating Car Data (XFCD)*: A GPS által támogatott FCD adatok alapján a jármű további információi (ABS, ASR, ESP, esőérzékelő, hőmérséklet) kerülnek továbbításra. A technika lehetővé teszi az időjárás viszonyok (pl. ónos eső) és a pontos forgalmi figyelmeztetések továbbítását is [95].

### 7.1.3 HELYMEGHATÁROZÁSI RENDSZER GPS

A GPS (Global Positioning System, azaz Globális Helymeghatározó Rendszer) egy olyan műholdakból álló hálózat, amelyek a Föld körül keringenek és állandó jeleket sugároznak, amelyeket a GPS vevők képesek fogadni. A jelek időközönként és földrajzi adatokat is tartalmaznak, így a felhasználó képes a pontos helyzetét, sebességét és az időt is meghatározni. A GPS egy olyan helymeghatározó rendszer, amellyel 3 dimenziós helyzet meghatározást, időmérést és sebességmérést végezhetünk földön, vízen vagy levegőben. A GPS rendszer lényege a műholdas távolságmérés. Mivel ismerjük a rádióhullámok terjedési sebességét, két nagyon pontos órával (atomóra) és a rádióhullám kibocsátásának és beérkezésének idejének ismeretével, meghatározhatjuk a forrás távolságát.

A rendszer felépítése:

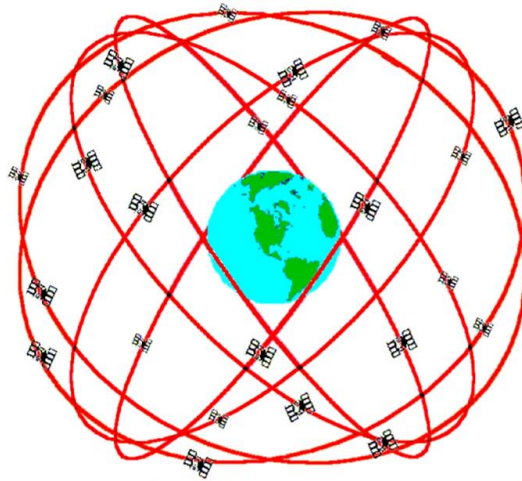
- 24 db műhold
- 5 db földi monitor állomás
- GPS vevőberendezés

A GPS rendszer 24 db műholdból áll, melyek közül 21 db aktív és 3 db tartalék. Ezek a műholdak 20200 km magasságban, 12 óránként kerülnek meg a földet. 6 orbitális síkban (síkonként 4-4 egység) helyezkednek el és a pályasíkon egymáshoz képest 60 fokkal el vannak forgatva, míg az egyenlítőhöz viszonyított pályaelhajlásuk 55 fok.

A műholdak szabályos időközönként kibocsátott jelei tartalmazzák a műholdak pontos helyzetét és a rajta mérhető pontos időt. A pontos időt nagy pontossággal kell előállítani, hiszen ez a rendszer alapja. Ezt úgy oldották meg, hogy minden műholdban található 2 db cézium vagy rubídium atomóra. A műholdak szinkronizáltak működnek, tehát óráik össze vannak hangolva és a jeleket is egy időben küldik a megfigyelő felé. Kétdimenziós rendszerben (felületen belüli) helymeghatározáshoz elegendő 3 db különböző műholdról érkező jel egyidejű vétele, háromdimenziós helyzetazonosításhoz (ha pl. a tengerszint feletti magasságra is szükség van), akkor már legalább négy műhold jeleinek a vétele szükséges [96].

A GPS gépjárműkövetés számos előnyt jelent elsősorban a gépjárműflottával – rendelkező cégek számára. Egy átlátható, tervezhető, és ellenőrizhető logisztikai rendszert biztosít gépjárműveik kezelésére és ellenőrzésére. A rendszer használatával a jövőben megvalósulhat a gépjárművek helyének kezelése, pillanatnyi helyzetének meghatározása, menetlevelek és kimutatások elkészítése, az üzemanyagszint és raktárhőmérséklet figyelése. Megkülönböztethetővé válik a hivatali és magánút, a járművek futása optimalizálható, továbbá a gépjárművek műszaki ellenőrzésére is lehetőség nyílik.





7.3. ábra. GPS rendszer 24 db műhold pályája a föld körül

A műholdas gépjárműkövető rendszer révén megvalósulhatnak a hűtőkocsik valamint a termékek védelmei is az online hőmérsékletfigyelő rendszer segítségével. A rendszer rögzíti a jármű és / vagy szállítandó termékek hőmérsékleti adatait. Az érzékelők által mért értékek online módon szoftver segítségével megjeleníthetők és így riasztási szint is beállítható. Amennyiben a hőmérséklet hirtelen, nagymértékben megváltozik, a rendszer azonnali riasztást küld a gépkocsivezetőnek és a vezérlőben tartózkodók számára, mielőtt bármilyen kár keletkezne a szállítmányban. Ezzel a megoldással tehát a hőmérséklet változásából adódó kockázatok jelentősen csökkenthetőek [96].

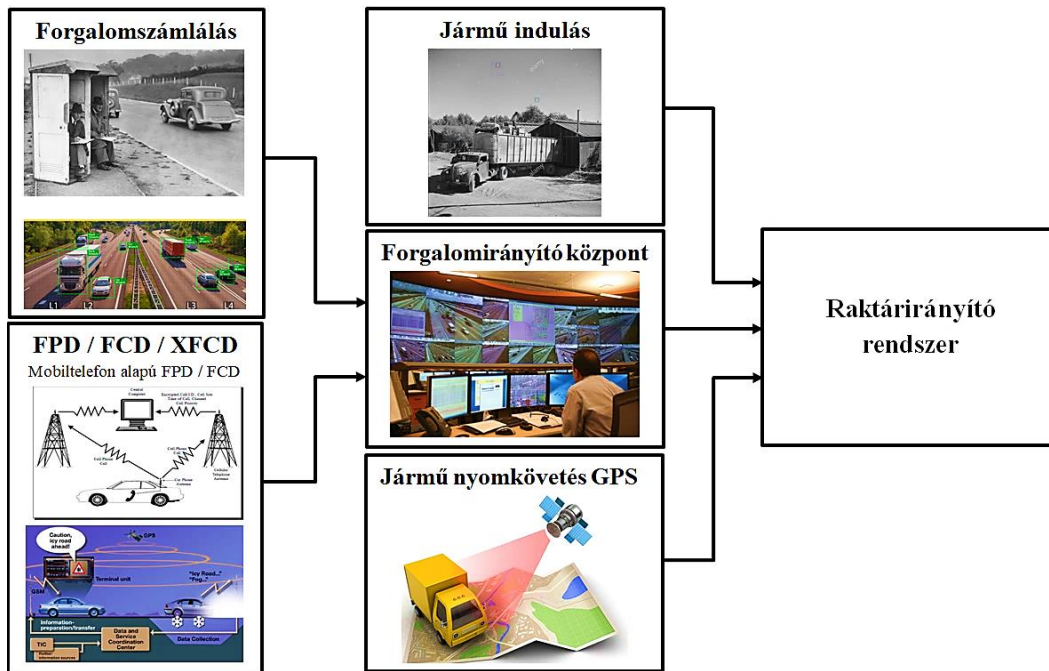
## 7.2 AZ ÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUM ÚJFAJTA MEGHATÁROZÁSA

Az 7.1 fejezetben ismertettem a késésekért felelős legfőbb okokat. A 7.2 fejezetben azokat a ma létező technológiákat és rendszereket mutatom be, melyek használatával a késésből adódó káros hatás csökkenthető lehet, hiszen ez a negatív hatás részben kompenzálható azáltal, hogy több információ áll rendelkezésre és olykor a kár bekövetkezte előtt is lehetőség nyílik intézkedések megtételére.

A beérkezési időintervallumot a következő technikai berendezés által szolgáltatott adatok segítségével az eddigiektől eltérő módon adom meg:

- A szállító jármű indulásának időpontja,
- Közúti közlekedés paraméterei, mint pl.: forgalom sebessége ( $v$ ), forgalom sűrűsége,
- A szállítójármű aktuális pozíciója.

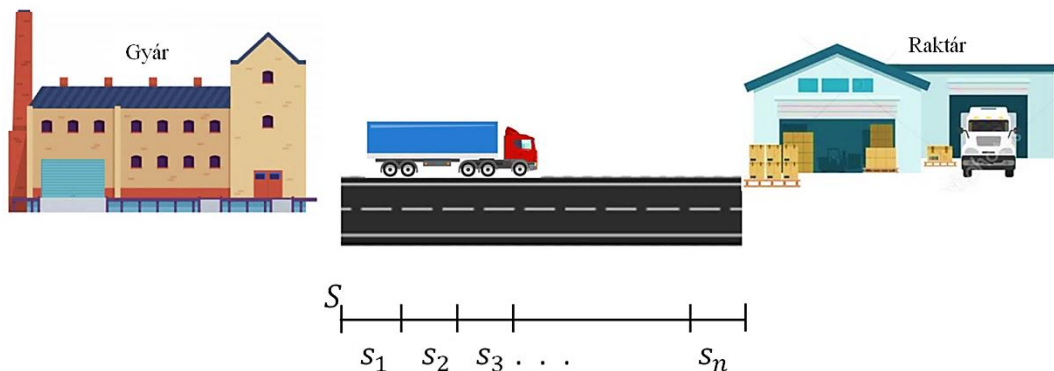
Ennek folyamatábrája a 7.4. ábrán látható.



7.4. ábra. Tervezett beérkezési időintervallum kiszámításához szükséges rendszer blokkvázlata

Lényege, hogy tervezett  $S$  hosszúságú utat bontunk fel olyan  $n$  db  $s_i$  szakaszra, amelyeken ismert az  $s_i$  útszakasz hossza,  $v_i$  az  $i$ -edik útszakaszon real time adatokból az átlagsebesség. Így az  $s_i$  útszakasz megtételéhez szükséges  $t_{s_i}$  tervezett idő

$$t_{s_i} = \frac{s_i}{v_i} \quad (7.4)$$



7.5. ábra.  $S$  út felosztása  $s_i$  szakaszokra

A  $i$  –edik útszakasz hossza ismert  $v_i$  átlagsebesség és a megtételéhez szükséges  $t_i$  esetén.

$$s_i = v_i \cdot t_i \quad (7.5)$$

illetve az  $i + 1$  – dik útszakasz megtétele után a kiindulástól mért út hossza

$$s_{i+1} = v_{i+1} \cdot t_{i+1} + s_i \quad (7.6)$$

Az  $S$  út megtételéhez, tehát a szállításra fordított szükséges elméleti idő:

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{v_i} \quad (7.7)$$

Nyilvánvaló, hogy a fenti összefüggést ki kell egészíteni még a tervezett indulástól való eltérés idejével (ez lehet pozitív, ill. negatív is), a kötelező szünetekkel és az esetleges forgalmi akadályokból adódó időkkel. Így a 7.3.3 összefüggés a következő módon írható le:

$$t = t_{tény} - t_{terv} + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{v_i} + \sum t_{szünetek} \quad (7.8)$$

A  $v_i$  értékét az adott jármű helyzetmeghatározási adataiból real time módon lehet kinyerni, továbbá a forgalomirányító központok rendelkeznek az adott útszakaszra vonatkozó valós idejű forgalmi adatokkal (útpályához kapcsolódó járműérzékelés, FPD, FTD, FCD, XFCD stb.), amelyek segítségével a lokális átlagsebesség ismeretében meg lehet határozni az útszakasz forgalmának átlag sebességét, a 7.3.5 összefüggés szerint [97]:

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n v_j}{n} \quad (7.9)$$

ahol  $n$  a megfigyelt időintervallumban áthaladó járművek száma.

Mivel az egyes útszakaszokon a javasolt technikai berendezések segítségével pontosabban ismerjük a  $v_i$  átlagsebességeken felül az ún.  $v_{i,pill}$  pillanatnyi sebességeket is, így a még hátralévő (megteendő) út megtételéhez szükséges idő lett a legfontosabb tényező, amely a  $k$  – adik útszakasz után a célig lévő időtartam felírható:

$$t_{hátraévvő\ idő} = \sum_{i=k+1}^n \frac{S_i}{v_{i,pill}} \quad (7.10)$$

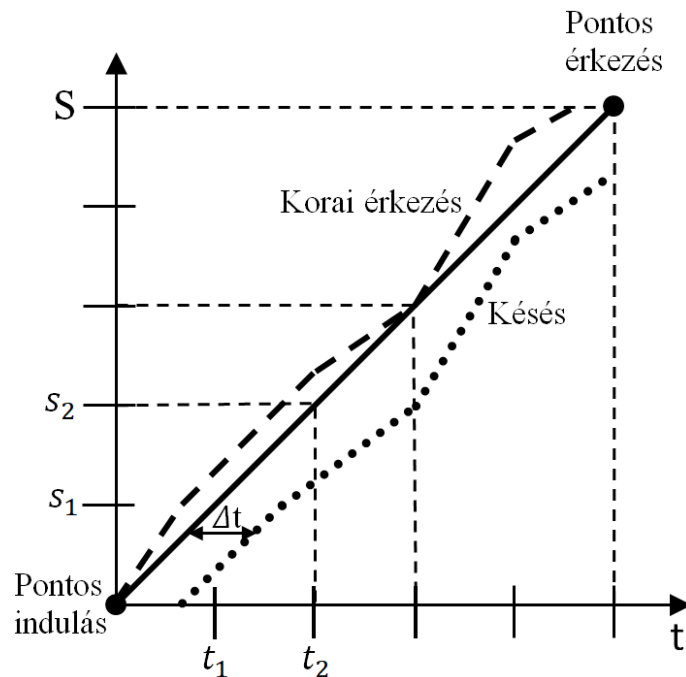
alakban

$t_{tervezett}$ : Tervezett indulás időpontja

$t_{tényleges}$ : Tényleges indulás időpontja

$t_{tény-terv}$ : Tényleges indulás időpontja és a tervezett indulás időpontja közti eltérés

A 7.6. ábra szemlélteti az  $S$  út és  $t$  idő függvényében a jármű beérkezéseket, amelyek lehetnek pontos,- korai,- illetve késve beérkezések. Az egyenes vonal mutatja azt az ideális esetet, amikor a szállítójármű pontosan indul,  $s_i$  útszakaszt  $t_i$  időpontban tesz meg és pontosan érkezik meg. A pontozott vonal olyan esetet szemléltet, amikor a jármű  $\Delta t$  idővel késve indul és késve érkezik. A szaggatott vonal olyan esetet mutat, amikor a jármű pontosan indul és korán érkezik be. Az ideális esettől eltérő esetekben vagy a szállító jármű, vagy a raktári személyzet várakozik, ilyenkor intézkedések megtétele szükséges.



7.6. ábra. Példák beérkezésekre

### 7.3 KISZOLGÁLÁSOK IDŐPONTJAINAK DINAMIKUS KIOSZTÁSA A BEÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUMOK ALAPJÁN

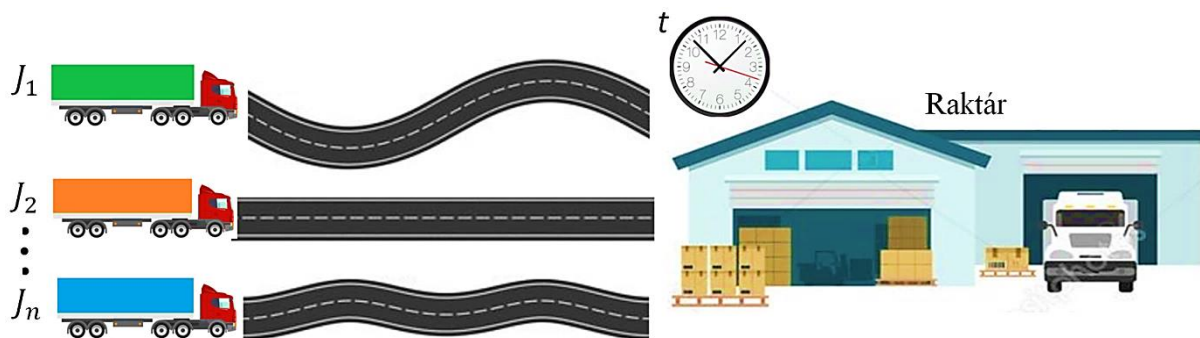
Az előző fejezetben ismertettem egy a beérkezési idő pontosabb meghatározására alkalmazható eljárást. Ebben a fejezetben ismertetem az előző eljárás felhasználásával elkészíthető rendszert, amely az idő kapu management továbbfejlesztésére alkalmas, ezzel optimalizálja a jármű beérkezéseket.

A gazdaságosság miatt a gyakorlatban fontos követelmény, hogy ne csak ismerjük, hogy késik – e a szállítmány, vagy hogy mekkora a késés mértéke, hanem a raktári logisztika teljesítmény növelésének és az itt lévő várakozási idők csökkentésének érdekében érdemes több szállítmány beérkezési időpontját összehasonlítani. Ha az adott szállítmány a valós idejű adatok számítása alapján nem érhet oda időben a lefoglalt időkapuhoz a kiszolgálásra, akkor egy másik jármű, amelyik a számított adatok szerint odaérhet az előző jármű által lefoglalt időre, akkor az átveheti a ki nem használt időkaput. Nézzük meg ez milyen módon oldható meg.

Üzemeltetünk egy hagyományos időkapu management rendszert, amelyben a  $J_i$  járművek előre lefoglalnak  $I_i$  időpontokat kiszolgálásra.

$$I_i \leftrightarrow J_i \quad (7.11)$$

A rendszer real time módon folyamatosan figyeli az összes beszállító járműnek a lefoglalt időkapura való pontos beérkezésének idejét.



7.7. ábra. Kiszolgálás időpontjainak dinamikus kiosztása

legyen,

$J_i$ : forgalomban lévő beszállítást végző járművek

$I_i$ : lefoglalt kiszolgálási időpontok, időkapuk

Ha  $J_i$  jármű beérkezhet  $I_i$  lefoglalt időpontra, akkor és csak akkor  $J_i$  megkapja  $I_i$  időkaput.

$$t_{J_i} \cong t_{I_i} \Leftrightarrow I_i \leftrightarrow J_i \quad (7.12)$$

Ha  $J_i$  jármű nem ér oda a számára lefoglalt  $I_i$  időpontra, akkor  $J_i$  elveszti  $I_i$  időkaput, így az szabaddá válik.

$$t_{J_i} \neq t_{I_i} \Rightarrow I_i \nleftrightarrow J_i \quad (7.13)$$

Mivel  $I_i$  időkapu szabaddá vált, de a raktárban a várakozási időket célszerű minimalni ezért meg kell vizsgálni, hogy egy másik jármű be tud-e érkezni  $I_i$  időkapura. Ezt egy minimum érték kereséssel végezhetünk el, az  $n$  elemből álló adatsorozatunkban.

A  $t_{J_i}$  jármű beérkezési időket tömbbe foglaljuk, mert újra szükség lehet ezekre az értékekre és nézzük meg a legkisebb elem hányadik a sorozatban. A tömb legelső eleme a legkisebb adat  $t_{J_1}$ , ami annak a járműnek a hátralévő ideje, amelyik nem érkezik be a lefoglalt időpontra. Össze kell hasonlítani  $t_{J_1}$ -el a tömb összes többi elemet  $t_{J_2}$  –től  $t_{J_n}$  –ig. Amennyiben találunk nála kisebb értéket, az lesz a minimumértékünk, amely ezáltal hozzárendelődik az aktuális időkapuhoz. Ezt a keresési ciklust a következőképpen adom meg:

$II := tJ[1];$

For  $i := 2$  to  $n$  do begin

If  $tJ[i] < II$  then

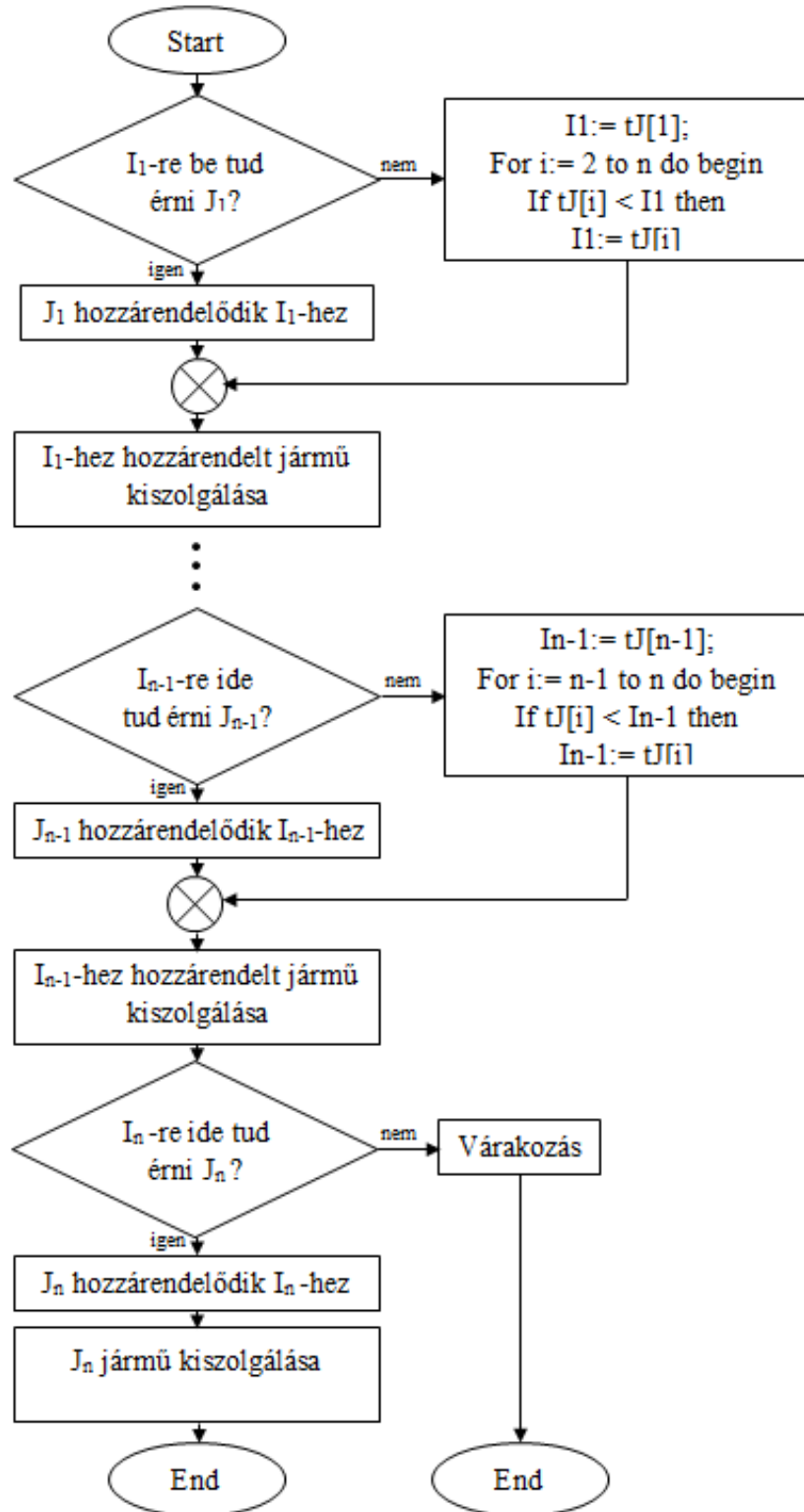
$II := tJ[i];$

ekkor,

$$t_{\min J} \leftrightarrow I_1 \quad (7.14)$$

Az utolsó időkapu  $I_n$  esetén nem kell elvégezni a minimum keresést, ha a bejelentkezett jármű oda tud érné kiszolgálásra, akkor az kiszolgálódik, amennyiben nem, akkor a raktár várakozik.

Így megtaláltuk azt a járművet, amelyiknek a legkevesebb idő szükséges a szabaddá vált időkapuba való beérkezéshez. Ennek a járműnek parancsot adunk, hogy például az átlagsebességét növelje, tervezett pihenési idejét tolja el, stb., így a real time módon van lehetőség a kirakodást megkezdeni és a raktár kapacitását optimalizálni.



7.8. ábra. Járművek dinamikusan hozzárendelése időkapukhoz folyamatábra

## 8 ÖSSZEFOGLALÁS ÉS A KUTATÁS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

Az értekezésben a modern technikai eszközök alkalmazásának raktári folyamatokra való hatását vizsgáltam. A vizsgálatnál elsősorban logisztikai szempontokat vettem figyelembe. Logisztikai szempontból a raktári folyamatokban lévő várakozási idők és a folyamatok költségeinek csökkentése volt a cél. Az általam megalkotott és deszkamodell szinten elkészített mobil kiberfizikai eszközön és annak, használatának esetére megalkotott matematikai modellen keresztül bemutattam, hogy egy D/D/1-es folyamatban lévő várakozási idők és a folyamat költségei jelentősen csökkenthetőek, raktárak logisztikai teljesítménye számottevően növelhető. A minőségbiztosítási folyamatok hatékony támogatása által hozzájárul a vevői elégedettség növekedéséhez.

Bemutattam egy általam megalkotott áramfejlesztő eszközt és annak deszkamodelljével, méréseken keresztül igazoltam, hogy anyagáramlási folyamatok során fellépő nem periodikus, tranziens, lökésszerű erőhatások energiája villamos energiává alakítható, amely alkalmas egy mobil kiberfizikai eszköz áramigényének fedezésére. Ez az áramfejlesztő nagymértékben hozzájárulhat a fent említett eszköz, ill. mozgásban lévő vezeték nélküli szenzorcsomópontok operátori beavatkozás nélküli, környezetbarát üzemeltetéséhez.

Szükségesnek tartom a gyakorlatban elvégzett, nagyszámú mérések folytatását, több járműosztályra, a kiberfizikai eszköz az új áramfejlesztő berendezéssel kombinálva az adott járművön való elhelyezkedésére és hosszú utakra való kiterjesztését annak tisztázására, hogy mekkora a kinyerhető energia mennyisége. Ennek elsősorban az a jelentősége, hogy az eszköznek rendelkezésre áll –e minden pillanatban elégséges villamos energia, hogy egy nemkívánatos eseményt detektáljon illetve azt, hogy a hibatároló tartalmát megfelelő kommunikációs csatornán továbbítsa. A mérési sorozat folytatása azért is célszerű és szükséges, hogy az áramfejlesztő által szolgáltatott villamos teljesítmény alsó,- illetve felső határa megállapítható legyen.

További céljaim között szerepel az új kiberfizikai eszköz több logisztikai vállalat által való tesztjének elvégzése, hogy a koncepcióban szereplő komponensek paramétereinek a finomhangolása elvégezhető legyen.

A járműbeérkezések pontos meghatározása és azok időkapukhoz dinamikus hozzárendelése nagymértékben elősegíti a raktári folyamatok tervezhetőségét, továbbá csökkenti a járművek várakozási idejét, sorban állás esetén a várakozó sor hosszát.

## 9 AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

A kutató munkám eredményeit a következő tételek foglalják össze.

### I. TÉZIS:

[s1][s2][s3][s4]

**Elkészítettem egy logisztikai eszköz lehetséges modelljét, amely anyagáramlási folyamatok során az adott áru minőségét befolyásoló paramétereket valós időben folyamatosan méri. A mért paraméterek alapján minőségkiértékelés végezhető.**

**A megalkotott modell alapján készítettem annak makettjét.**

A legújabb szakirodalomban sem találtam olyan eszközt, amely szállítás során az áru minőségét befolyásoló paramétereket az áru közvetlen közelében valós időben méri és a mért értékeket kiértékeli, ami számomra igazolta, hogy szükséges kidolgozni egy ilyen eszköz modelljét, amellyel majd a vizsgálatot folytatni tudom. Az eszköz alkalmas fizikai és biológiai paraméterek mérésére, a mért értékek eltárolására későbbi adatfeldolgozás céljából, minőségromlás megállapítására, mennyiségi eltérés detektálására és identifikációs feladatokat is ellát.

### II. TÉZIS:

[s1][s2][s3][s4]

**Kidolgoztam az új eszköz egy matematikai modelljét, amely alkalmas adott logisztikai folyamat idő és költség értékeinek meghatározására adott sorbanállási modell esetén.**

Az általam megalkotott matematikai modell szerint számított értékek alapján megállapítható, hogy az okos egységirakomány képző eszköz (OERK) betárolási folyamatokat tud optimalni, úgy hogy az időszükségletet jelentős mértékben le tudja csökkenteni azáltal, hogy munkát vesz át, adott feladatot végez el, ezzel csökkenti a folyamat lépéseinek a számát, azzal csökkenti a folyamatban fellépő várakozási időket és az azokkal kapcsolatos költségeket.

### III. TÉZIS:

[s4][s5][s6][s7]

**Kísérleti vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy különböző anyagáramlási rendszereknél nagy számban keletkeznek rövid időtartalmú, de nagy energiájú tranziens jelenségek. Feltártam, hogy ezek energiája villamos energiává alakítható.**

Az anyagáramlások során fellépő rezgőmozgások feltárásának céljából valóságos szállítóeszközökön, reális körülmények között rezgésmérést végeztem, majd a mért értékek kiértékelése után arra a megállapításra jutottam, hogy anyagáramlási folyamatok során, a folyamatok összetettségéből és különbözőségéből adódóan megállapítható, hogy



nincs egy olyan specifikus harmonikus rezgőmozgás, amely energiakicsatolásra széleskörűen alkalmazható lenne. A vizsgált anyagáramlási folyamatokban jól mérhető, nagy amplitúdójú ütközések, lökészerű erőhatások lépnek fel. Ezek ugyan nem periodikusak, de minden ismert folyamatban előre meghatározott helyen és véletlenszerű helyeken nagy számban lépnek fel.

#### IV. TÉZIS:

[s5][s6][s7]

**Kidolgoztam és megvalósítottam a III. tézis eredményeire alapozva az eddigiektől eltérő elven működő, a rendszertelen, tranziens rezgéseket is kihasználó áramfejlesztő és energiakicsatoló eszközt.**

Megalkottam az eszköz mechanikus rezgőrendszerének modelljét és lefektettem annak működésének alapjait az ismert fizikai elveket alkalmazva. Meghatároztam az energiakicsatoló rendszer által generált feszültség számításához szükséges fizikai összefüggéseket. Bemutattam az általam megalkotott mechanikai / villamos energia konverter modelljét és javaslatot tettem a tápegység és energiatároló egy lehetséges megvalósítására abból a célból, hogy a készülék alkalmas legyen mobil kiberfizikai rendszerek vagy akár vezeték nélküli szenzorhálózatok energiaellátására.

#### V. TÉZIS:

[s8]

**Kidolgoztam egy matematikai modellt, amely modern technikai eszközök felhasználásával alkalmas a járműbeérkezések pontos meghatározására. Ennek alapján kidolgoztam egy dinamikus hozzárendelési algoritmust, amely a járműveket az időkapukhoz rendeli.**

Az időkapu management rendszereket a szakirodalom mindig egyoldalúan a jármű, ill. a járművet üzemeltető flottamanagement szemszögéből közelítik meg. Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a szakirodalom az általam vizsgálandó területtel csak részben, vagy korlátozottan foglalkozik. Ennek a felismerése új eredmény, hiszen az ismert probléma más szemszögből való megközelítése új területnek számít, ami alapján alapvetően új szakmai kutatási irányokat tudtam megfogalmazni. Kidolgoztam egy eljárást és annak matematikai modelljét, amely a napjainkban elterjedt technikai eszközök használatával a szakirodalmi példákban szereplő járműbeérkezés valószínűségének számításával ellentétben valódi járműbeérkezést valósíthat meg, ténylegesen növelve ezzel a raktárak logisztikai teljesítményét.

## **10 SUMMARY AND OUTLOOK OF THE RESEARCH**

In the dissertation I examined the effect of the application of modern technical tools on warehouse processes. In the investigation I mainly considered the logistical aspects. From a logistical point of view, the goal was to reduce waiting times and cost of processes in warehouses. Through the mobile cyber-physics device I created and made on the board model level and the mathematical model created for its use, I demonstrated that the waiting times and process costs of a D / D / 1 process can be significantly reduced and the logistics performance of warehouses can be significantly increased. By effectively supporting quality assurance processes, it contributes to customer satisfaction.

I introduced a power generating device I created and proved by means of its board model, through measurements, that the energy of non-periodic, transient, shock forces occurring during material flow processes can be converted into electricity, which is able to cover the power demand of a mobile cyber-physical device. This power generator can greatly contribute to the above mentioned device or environmentally friendly operation of mobile sensor nodes in motion without operator intervention.

I consider it necessary to continue the large number of measurements made in practice for several classes of vehicles, extending the location of the cyber-physical device in combination with the new generator to long distances to clarify the amount of energy that can be recovered. This is primarily a matter of whether the device has enough electricity at any given moment to detect an undesirable event and to transmit the contents of the bug store to a suitable communication channel. It is also expedient and necessary to continue the measurement series in order to determine the upper and lower limits of the electric power supplied by the generator.

My other goals include testing the new cyber-physical device by several logistics companies to fine-tune the parameters of the components in the concept.

Accurately defining vehicle arrivals and dynamically assigning them to time gates greatly facilitates the planning of warehouse processes and reduces vehicle waiting times and queue lengths if there is a queue.

## 11 THESES OF THE DISSERTATION

The results of my research work are summarized in the following theses.

### THESIS I:

[s1][s2][s3][s4]

**I have created a model of a possible logistic tool that continuously measures the parameters which can influence negatively the quality of goods during material flow processes. Based on the measured parameters a quality evaluation can be performed. Based on the mathematical model I created its board model.**

I have not found a tool in the recent literature that measures the parameters affecting the quality of the goods in Real-Time in the immediate vicinity of the goods and evaluates the measured values, which proved to me the necessity to develop a model of such a tool. The device is capable of measuring physical and biological parameters, storing measured values for later data processing, detecting quality degradation, detecting quantitative deviations and performing identification tasks.

### II. THESIS:

[s1] [s2] [s3] [s4]

**I have developed a mathematical model of the new tool that can determine the time and cost values of a given logistic process for a given queuing model.**

According to the mathematical model I have created, it can be concluded that the smart unit load device (Okos egységgrakomány képző eszköz, OERK) can optimize the loading processes so that it can significantly reduce the time it takes to take over a given task, thereby reducing the process. number of steps to reduce waiting times and associated costs.

### III. THESIS:

[s4][s5][s6][s7]

**On the basis of my experimental investigations I have found that a large number of material flow systems produce transient phenomena of short duration but high energy. I discovered that their energy can be converted into electricity..**

For the purpose of exploring the vibrations of material flows, I carried out vibration measurements on real vehicles under realistic conditions, and after evaluating the measured values, I concluded that during material flow processes due to the complexity and diversity of processes there are no usable specific periodic vibrations which would be widely applicable to generate electricity. In the examined material flow processes, high-amplitude collisions and shock-like forces occur. They are not periodic, but they occur in

in predetermined locations in all known processes and in large numbers in random locations.

#### **IV. THESIS:**

[s5][s6][s7]

**I developed and implemented based on the results of the III.Thesis a power generating and outcoupling device, which uses a different principle, utilizing irregular transient vibrations, and shock forces.**

I created a model of the mechanical vibration system of the device and laid the foundations of its operation using the known physical principles. I have determined the physical relationships needed to calculate the voltage generated by the energy dissipation system. I introduced the mechanical / electric converter model and created and suggested a possible implementation of the power supply and power storage device to make the device capable of powering mobile cyber-physical-systems or even wireless sensor networks.

#### **THESIS V:**

[s8]

**I have developed a mathematical model, which is able to accurately determine the vehicle arrival using modern technical tools. Based on this, I developed a dynamic assignment algorithm that assigns vehicles to time gates.**

The time gate management systems are always one-sided in the literature. they are approached from the perspective of the vehicle or of the fleet management operating the vehicle. Based on these, I have come to the conclusion that the literature deals only partially or to a limited extent with the field of my study. Recognizing this is a new result, since approaching the known problem from a different perspective is a new area, which has allowed me to formulate new directions of professional research. I have developed a method and its mathematical model for the calculation of vehicle arrival by using common Real-Time technical tools which on the contrary to probability calculation of the examples of literature can indeed increase the logistics performance of warehouses.

## JELÖLÉSRENDSZER

$r_n$ :	RFID alkalmazható maximális távolság
$\lambda$ :	frekvencia hullámhossza, járműbeérkezések témakörében beérkezési ráta
$D$ :	antenna mérete, járműbeérkezések témakörében szórás
$P_{\text{átlag}}$ :	elektronikai komponensek energiaszükséglete
$K$ :	komponensek száma
$Z$ :	egy-egy komponensek állapotainak száma
$V_i$ :	a komponensek feszültségei
$T_{i,j}$ :	$j$ állapot részideje
$I_{i,j}$ :	$i$ komponensek áramszükséglete $j$ állapotban
$a_w$ :	vízaktivitás adott hőmérsékleten
$p$ :	a közegben lévő vizes oldat gőztenziója
$p_0$ :	oldószer (víz) gőztenziója
$\psi$ :	vízpotenciál
$R$ :	egyetemes gázállandó ( $8,314 \text{ J} \times \text{mol}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ )
$T$ :	abszolút hőmérséklet (K), járműbeérkezések témakörében igény jelentkezési időpontja
$V_w$ :	víz parciális moláris térfogata
$T_{\text{min}}$ :	minimális hőmérséklet
$T_{\text{átlag}}$ :	átlag hőmérséklet
$T_{\text{max}}$ :	maximális hőmérséklet
$T_i$ :	$i$ mérési időpontokban mért hőmérséklet
$\Delta T$ :	hőmérsékletváltozás
$\Delta T_i$ :	$i$ időpontokban a hőmérsékletváltozás
$\vec{v}$ :	tömegközéppont pillanatnyi sebesség vektora
$\dot{\vec{x}}$ :	elmozdulás idő szerinti első deriváltja
$\vec{a}$ :	gyorsulás vektor
$\dot{\vec{v}}$ :	sebesség vektor idő szerinti első deriváltja
$\ddot{\vec{x}}$ :	elmozdulás vektor idő szerinti második deriváltja
$\vec{x}(t)$ :	elmozdulás időtől függő helyvektor
$\vec{F}$ :	erő vektor
$m$ :	tömeg
$W_g$ :	munka
$E_{\text{kin}}$ :	kinetikus energia
$W_{AB}$ :	$\vec{v}_A$ sebességről $\vec{v}_B$ sebességre való gyorsítási munka
$G$ :	ütközési gyorsulás
$G_{\text{max}}$ :	gyorsulás maximális értéke
$h$ :	magasság
$t_{\text{szállítás}}$ :	szállítási idő
$t_{\text{mérések közti}}$ :	mérések közötti idő
$t_w$ :	várakozási idő

$k_w$ :	várakozás költsége
$t_s$ :	szállítási idő
$k_s$ :	szállítás költsége
$t_{me}$ :	mennyiségi áruátvétel időigénye
$t_{mi}$ :	minőségi áruátvétel időigénye
$k_{me}$ :	mennyiségi áruátvétel költsége
$k_{mi}$ :	minőségi áruátvétel költsége
$t_r$ :	raktárba történő betárolás időigénye
$k_r$ :	raktárba történő betárolás költsége
$D/D/1$ :	determinisztikus folyamat ahol a két egymást követő esemény közötti rögzített az idő
$\bar{t}_a$ :	beérkezési időközök várható értéke
$\mu$ :	kiszolgálási ráta
$\bar{t}_b$ :	kiszolgálási idő várható értéke
$\Psi$ :	forgalmi intenzitás
$T_A$ :	átfutási idő
$\Sigma T_w$ :	várakozási idők összege
$\Sigma T_{kih}$ :	munkavégzők terhelése és kihasználtsága,
$\Sigma K$ :	költségek összege
$t_{wi}$ :	i. helyen történő várakozási idő
$t_{sj}$ :	j. helyen történő szállítási idő
$t_{Rk}$ :	k. helyen történő rakodási idő
$t_{Me}$ :	mennyiségi vizsgálat időszüksége
$t_{Mi}$ :	minőségi vizsgálat időszüksége
$T_{ie}$ :	időegység
$K_A$ :	folyamat költségráfordítása
$k_{wi}$ :	i. helyen történő várakozás költsége
$k_{sj}$ :	j. helyen történő szállítás költsége
$k_{Rk}$ :	k. helyen történő rakodás költsége
$k_{Me}$ :	mennyiségi vizsgálat költsége
$k_{Mi}$ :	minőségi vizsgálat költsége
$k_w$ :	eszközök állásidejének, várakozásának a költsége
$k_A$ :	fajlagos állásidő költsége $\left[ \frac{\text{€}}{\text{óra}} \right]$
$T_{WA}$ :	várakozási idő [óra]
$f_{sz}$ :	fordulószám
$z$ :	rugó alakváltozása
$y$ :	bemeneti elmozdulás
$m$ :	tömeg, a mágnes golyó tömege,
$b_e$ :	elektromosan indukált csillapítási együttható
$b_m$ :	mechanikus csillapítási együttható
$k$ :	rugóállandó
$\ddot{z}$ :	$z$ – irányú út idő szerinti második deriváltja

$\ddot{y}$ :	$y$ – irányú út idő szerinti második deriváltja
$\omega$ :	szögfrekvencia
$\zeta_e$ :	elektromos csillapítási tényező
$\zeta_m$ :	mechanikus csillapítási tényező
$P_{W\&Y}$ :	kimeneti teljesítmény Williams és Yates szerint
$\varepsilon$ :	indukált feszültség,
$\Phi_B$ :	mágneses fluxus
$V_{oc}$ :	elektromotoros erő
$N$ :	a tekercs menetének száma
$B$ :	mágneses mező erőssége
$l$ :	tekercs hossza
$y$ :	távolság amit a tekercs a mágneses mezőben megtesz
$x(t)$ :	periodikus mozgást leíró függvény
$t$ :	idő
$A$ :	amplitúdó, a kitérés maximális értéke
$\varphi$ :	$\omega t + \varphi_0$ fázis, amely a rezgés pillanatnyi állapotát jellemzi
$\varphi\alpha$ :	fázisszög
$\omega$ :	$\frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \frac{1}{T} = 2\pi \cdot f$
$f$ :	$1/T$ frekvencia (Hz) a rezgések száma ez időtartam alatt
$RMS$ :	négyzetes középérték
$\vec{F}_{eredő}$ :	vektoriális eredő erő
$\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z$ :	$x, y, z$ -irányú erő vektorok
$E_{pot}$ :	potenciális energia
$\Delta E_{kinetikus}$ :	kinetikus energia változás
$W$ :	munka
$E_{kinetikus}$ :	kinetikus energia
$\ddot{s}$ :	a golyó által megtett út idő szerinti második deriváltja, azaz a gyorsulás
$\vec{F}_{lejtő}$ :	mágnes golyót a lejtőn felfelé hajtó erő
$g$ :	nehézségi gyorsulás
$\vec{F}_{elektr}$ :	$b_e \dot{s}$ elektromos csillapítási koefficiens,
$\vec{F}_{eredő}$ :	$\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z$ , vektorok eredő vektora
$\varepsilon_{ind}$ :	indukált feszültség
$N$ :	hurok szám
$\varepsilon_{ind}$ :	elektromotoros erő (terheletlen, üresjáratú feszültség)
$\Phi_B$ :	mágnes golyó indukció fluxusa
$A$ :	hurok felületének nagysága
$B$ :	mágneses mező
$U_f$ :	nyitóirányú feszültségesés
$U_{AC,be}$ :	indukciós rendszer által szolgáltatott váltakozó feszültség
$U_{DC,1}$ :	egyenirányító egység kimeneti DC feszültsége
$U_{DC,2}$ :	tápegység és energiaároló kimeneti feszültsége
$P_k(t)$ :	annak a valószínűsége, hogy $t$ időpontig $k$ számú jármű fut be

$k$ :	$t$ időpontig befutott járművek száma
$E$ :	várható érték
$\overline{t_w}$ :	átlagos várakozási idő
$\tau$ :	kiszolgáló csatorna rendelkezésre állási időpontja
$t_s$ :	kiszolgáló csatorna várakozási ideje
$S$ :	úthossz
$s_i$ :	útszakaszok
$v_i$ :	az $i$ -edik útszakaszon valós idejű adatokból meghatározott átlagsebesség
$t_{s_i}$ :	az $s_i$ útszakasz megtételéhez szükséges idő
$v_i$ :	útszakasz átlagsebessége
$v_{i,pill}$ :	pillanatnyi átlagsebességek
$t$ :	idő
$t_{tervezett}$ :	tervezett indulás időpontja
$t_{tényleges}$ :	tényleges indulás időpontja
$t_{tény-terv}$ :	tényleges indulás időpontja és a tervezett indulás időpontja közti eltérés
$S$ :	út
$s$ :	útszakasz
$v$ :	sebesség
$J$ :	jármű
$I$ :	időkapu
$t_j$ :	jármű beérkezési ideje
$t_I$ :	időkapu időpont



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Illés, B., Ipar 4.0: Digitalizáció és logisztika, előadás a Bay Zoltán Kutatóközpontban, Logisztika Napja szakmai rendezvény, 2018. Április 19.
- [2] Wang, F., Wangmeng, Z., Lin, Z., Zhang, D., Zhang, L., Joint learning of singleimage and crossimage representations for person reidentification, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, ISSN: 1063-6919.
- [3] Vásárhelyi, Á., A digitalizáció szerepe a szállítmányozásban, Logisztikai Évkönyv, 2018. ISSN: 1218-3849.
- [4] Holodny, E., A key player in China and the EU's „third industrial revolution” describes the economy of tomorrow, Business Insider, Jeremy rifkin interview 2017.6, <http://www.businessinsider.com/>, letöltés: 2017.07.16.
- [5] Mokyr, J., The Economics of the Industrial Revolution, Rowman & Allanheld, USA 1985, p. 1, ISBN: 0865981485.
- [6] Perkin, H., J., The Origins of Modern English Society, 1780–1880, Londres, 1969, pp. 3-5, ISSN: 0081-850X.
- [7] Allen, R., C., Global Economic History, Oxford University Press, 2011, ISBN: 978–0–19–959665–2.
- [8] Mokyr, J., Strotz, R., H., The Second Industrial Revolution, 1870-1914, Laterza publishing, Rome, 1999, pp. 219-245.
- [9] Greenwood, J., The Third Industrial Revolution: Technology, Productivity and Income Inequality, Economic Review , 1999, 35(2), pp. 2-12.
- [10] Jensen, M., The Modern Industrial Revolution, Exit and the Failure of Internal Control Systems, Journal of Finance, Volume 48, Issue 3,1993, pp. 831-880.
- [11] Fujitsu Hungary, [fujitsuhungary.blog.hu](http://fujitsuhungary.blog.hu), [https://fujitsuhungary.blog.hu/2017/05/30/forradalom\\_4](https://fujitsuhungary.blog.hu/2017/05/30/forradalom_4), letöltés: 2019.04.19.
- [12] Zanker, C., Branchenanalyse Logistik, Düsseldorf, Hans-Böckler-Stiftung, 2018, pp. 302 - 307, ISBN: 978-3-86593- 302-7.
- [13] Birger, N., [welt.de](http://welt.de), 21 06 2017, Available: <https://www.welt.de/wirtschaft/article165788953/Darum-muessen-wir-unsere-Pakete-bald-selbst-abholen.html>, letöltve: 2019.02.21.
- [14] Bogdán, Z., Kádár, B., Bóna, K., Logisztika 4.0 - és ami mögötte van, Innotéka, 2017, pp. 17 - 21.
- [15] KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, The factory of the future, 2016
- [16] Deloitte, Industry 4.0 – An introduction, 2015, [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/be/Documents/Operations/2015\\_Industry%204%200%20Report%20vFinal.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/be/Documents/Operations/2015_Industry%204%200%20Report%20vFinal.pdf).
- [17] PricewaterhouseCoopers LLP, Industry 4.0 - Building the digital enterprise, 2016.
- [18] Nagy, J., Az ipar 4.0 fogalma, összetevői és hatása az értékláncre, 2017, HU ISSN: 1786-3031.
- [19] Wang, S., Wan, J., Li, D., Zhang, C., Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook, International Journal of Distributed Sensor Networks, 12(1), 2016, DOI: 3159805.
- [20] Porter, M., Heppelmann, J., E., How smart, connected products are transforming

- competition, *Harvard Business Review*, 92(11), pp. 64-88, 2014.
- [21] Fleisch, E., Christ, O., Dierkes, M., *Das Internet der Dinge*, Berlin, Springer, 2005, pp. 3-37, ISBN:978-3-540-24003-7
- [22] Weiser, M., *Web Magazine of the Interactive Telecommunications Program of New York University*, 1996, <http://www.itp.tsoa.nyu.edu/~review/>.
- [23] Tamás, P., Illés, B., Gyártórendszerek folyamatfejlesztési lehetőségei a negyedik ipari forradalomban, *Műszaki szemle*, kötet 67, 2016.05.11, pp. 41 - 48, ISSN: 1454-0746.
- [24] Hong, C., Applications of Cyber-Physical System, *Journal of Industrial Integration and Management*, Vol. 2, No. 3, pp. 1750012-1 - 1750012-28, Tianjin University, 2017. DOI: 10.1142/S2424862217500129.
- [25] Uckelmann, D., A Definition Approach to Smart Logistics, *Lecture Notes in Computer Science, Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking*, vol 5174, Springer, Heidelberg, 2008, ISBN: 978-3-540-85499-9.
- [26] Sick.com, 2019, <https://www.sick.com/de/de/logistik-wird-smart-mehr-effizienz-fuer-die-gesamte-supply-chain-/w/smart-logistics/>, letöltve: 2019.04.03.
- [27] Jungheinrich, Gyártástrend, [http://gyartastrend.hu/logisztika/cikk/egy\\_kiallitas\\_gepei](http://gyartastrend.hu/logisztika/cikk/egy_kiallitas_gepei) letöltve: 2018.11.21.
- [28] Euroastra, [https://euroastra.blog.hu/2019/07/23/a\\_mesterseges\\_intelligencia\\_segitsegevel\\_fejlodnek\\_az\\_egyuttmukodo\\_mobil\\_robotok](https://euroastra.blog.hu/2019/07/23/a_mesterseges_intelligencia_segitsegevel_fejlodnek_az_egyuttmukodo_mobil_robotok). letöltve: 2019.07.30.
- [29] Baumann, H., *Order Picking Supported by Mobile Computing*, Disszertáció, University of Bremen, 2013.
- [30] Finkenzeller, K., *RFID Handbook*, USA, New York, John Wiley & Sons, 2010, ISBN: 978-0470695067.
- [31] Banks, J., *RFID Applied*, New York, Wiley, 2007, ISBN: 9780471793656.
- [32] Jungheinrich, <https://www.jungheinrich.ch/systeme>, letöltve: 2019.03.08.
- [33] gpstrackingcanada, <http://gpstrackingcanada.com/wp-content/uploads/2015/04/Geotab-GPS-Tracking-GO6-Driver-ID-Tag-used-with-NFC-Reader.jpg>, letöltve: 2019.03.19.
- [34] Austin, N., *The Book of Kindle*, <https://thebookofkindle.com/global-healthcare-automatic-identification-data-capture-aids-market-2018-axicon-auto-id-ltd-bluebird-inc/25426/>, letöltve: 2018.07.11.
- [35] Atteberry, J., [howstuffworks.com, https://science.howstuffworks.com/innovation/repurposed-inventions/2d-barcodes1.htm](https://science.howstuffworks.com/innovation/repurposed-inventions/2d-barcodes1.htm), letöltve: 2019.03.23
- [36] Rida, A., Yang, L., Tentzeris, M., *RFID-Enable Sensors Design and Application*, 2010 Boston, Artech House, 2010, ISBN 13: 978-1-60783-981-1
- [37] Alameda, P., I., [logosrastreamento.com, http://www.logosrastreamento.com.br/identificacao-por-radiofrequencia-ou-rfid-e/](http://www.logosrastreamento.com.br/identificacao-por-radiofrequencia-ou-rfid-e/), letöltve: 2019.03.28
- [38] Sattlegger, K., Denk, U., *Navigating your way*, Texas Instruments, 2014
- [39] atlasRFIDstore, <https://www.atlasrfidstore.com/avery-dennison-tt-sensor-plus-nfc-tag/>, letöltve: 2019. 08.14
- [40] Dennison, A., *TT\_Sensor\_Plus\_User\_Guide\_2017*, Avery Dennison, 2017.
- [41] TechStoryM2M, *IoT eszközök a logisztikában*, 2015, <http://www.jovogyara.hu/iot-eszkozok-a-logisztikaban.html>, letöltés: 2019.07.27.

- [42] Jedermann, R., Autonome Sensorsysteme in der Transport- und Lebensmittellogistik, Disszertáció, Bremen, 2009
- [43] uni-bremen, <http://www.sfb637.uni-bremen.de/>, letöltve: 2019.02.12.
- [44] Große-Puppenthal, D., Lier, S., Roidl, M., ten Hompel, M., Cyber-physische Logistikmodule als Schlüssel zu einer flexiblen und wandlungsfähigen Produktion in der Prozessindustrie, Logistics Journal: Proceedings, 2016, ISSN: 2192-9084.
- [45] Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand, agiplan GmbH, Mülheim an der Ruhr, 2015, p. 333
- [46] Chemanager, <https://www.chemanager-online.com/themen/logistik/intelligente-luftfrachtcontainer-vernetzen-sich>, letöltve: 2019.02.14.
- [47] Emmerich, J., S., Roidl, M., Bich, T., ten Hompel, M., Entwicklung von energieautarken, intelligenten Ladehilfsmitteln am Beispiel des inBin, Logistics Journal: Proceedings, 2012, ISSN: 2192-9084
- [48] Fraunhofer, inBin – Der intelligente Behälter, Stuttgart, Fraunhofer IML, 2012.
- [49] Tarnóczi, T., Fenyves, V., Bács, Z., Böcskei, E., Versenyképesség és gazdasági etika, Vállalati teljesítmény elemzése panel regresszióval, Polgári Szemle Gazdasági és Társadalmi Folyóirat, 4 -6 szám, pp. 104-114, 2015, ISSN: 1786-6553.
- [50] Bundesvereinigung für Logistik, Fachkräftemangel in der Logistik, BVL, 2017,
- [51] Indeed, <https://de.indeed.com/Jobs?q=Logistik&sort=date>, letöltve: 2019.07.28.
- [52] Peters, H., [analysedeutschland.de](https://analysedeutschland.de/), <https://analysedeutschland.de/article/fachkraftemangel-3-2019.html>, letöltve: 2019.07.28.
- [53] Mörs, N., Roboter und automatische Prozesse für die Zukunft der Lagerlogistik, iXtenso Magazin für den Einzelhandel, 2017.07.01.
- [54] Jedermann, R., Praeger, U., Lang, W., Lessons learned from the intelligent container. FRUTIC Symposium 2017.02.07, Berlin.
- [55] Chryssos, G., Erfolgskontrolle 2017, pp. 1-12, Hamburg, 2018.
- [56] Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/elektrogeraete/batterien-akkus#textpart-1>
- [57] Akkuredakteur, <https://www.aku.net/magazin/lithium-ionen-aku-zehn-spannendefakten-zur-herstellung-des-energiespeichers/>, letöltve: 2018.11.11.
- [58] Hoyer, C., Recyclingprozesse für Lithium-Ionen-Batterien in Strategische Planung des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen in Deutschland, Braunschweig, Springer-Verlag, 2015, p.55, DOI: 10.1007/978-3-658-10274-6
- [59] Cselényi, J., Illés, B., A logisztika helye a minőségbiztosításban, minőségbiztosítás a logisztikában, Transpack Csomagolási Anyagmozgatási Magazin, 2002 január, Horizont Média Kft, HU ISSN: 1587-7183.
- [60] Cselényi, J., Illés, B., Logisztikai rendszerek I., Egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.
- [61] Valentas, K., Rotstein, E., Singh, R., P., The Handbook of Food Engineering Practice, New York, CRC Press, 1997, ISBN-13: 978-0849386947
- [62] O'Brien, M., Claypool, L., Leonard, S., York, G., MacGillivray, J., Causes of Fruit Bruising on Transport Truck, Higaradia, Volume 35, number 6., pp. 113 - 124, November 1963, University of California.

- [63] Deák, T., Kiskó, G., Maráz, A., Mohácsiné Farkas, C., Élelmiszer-mikrobiológia, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., 2006. ISBN: 9789632866345.
- [64] Sándor, E., Peles, F., Á., Élelmiszer minőség és biztonság mikrobiológiai vonatkozásai, Debrecen, 2015, ISBN: 978-963-473-832-9.
- [65] Bauersfeld, M., L., Kolorimetrische Gassensoren, Fraunhofer IPM, Freiburg, 2015.
- [66] Zeuthen, P., Cheftel, J., Eriksson, C., Gormley, T., Linko, P., Paulus, K., Processing and Quality of Foods, Volume 3., New York, Elsevier, 1990, p. 59, ISBN: 1-85166-497-1.
- [67] Mojzes, Á., Böröcz, P., Decision Support Model to Select Cushioning Material for Dynamics Hazards During Transportation, Acta Technica Jaurinensis, Vol. 8, No. 2, pp. 188-200, 2015, DOI: 10.14513.
- [68] Pánczél, Z., A csomagolás rendszerszemléletű értelmezése a logisztikában, és – reológiai – tervezési módszer kidolgozása a viszkoelasztikus csomagolóanyagokra, disszertáció, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2009.
- [69] Chan, W., C., An Elementary Introduction to Queueing Systems, WSPC, 2014, ISBN-10: 9814612006.
- [70] Kulcsár, B., Ipari Logisztika, 1998, ISBN: 963 577 242 4.
- [71] Gubán, Á., Bányai, T., Logisztika, 7. Fejezet szerkesztője Dr. Bányai Tamás, Saldo Zrt, 2013, ISBN: 978-963-638-452-4.
- [72] Kamagaew, A., Kirks, T., ten Hompel, M., Energy potential detection for autarkic Smart Object design in facility logistics, IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE 2011) 2011, ISBN: 978-1-4577-1640-9.
- [73] Caliò, R., Rongala, U., B., Camboni, D., Milazzo, Piezoelectric Energy Harvesting Solutions, Sensors, 2014, ISSN: 1424-8220.
- [74] Williams C., Yates, R., B., Analysis of a Micro-Electric Generator for Microsystems, Eurosensors, 1995, pp. 369-372
- [75] Roundy, S., J., Energy Scavenging for Wireless Sensor Nodes with a Focus on Vibration to Electricity Conversion, disszertáció, Berkley, 2003
- [76] Boisseau, S., Despesse, G., Seddik, B., Electrostatic Conversion for Vibration Energy Harvesting, Small-Scale Energy Harvesting, Intech, 2012
- [77] Amirtharajah, R., Chandrakasan, A., Self-powered signal processing using vibration-based power generation, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Volume: 33 , Issue: 5, 1998, ISSN: 0018-9200
- [78] Pánczél, Z., Kirchfeld, M., Szabó, Z., Mojzes, Á., Package cushioning design, Study for Philips, APM, 2005, pp. 4 – 26
- [79] National Semiconductor Corporation, Power Spectra Estimation, Datasheet, USA, 1995.
- [80] Földesi P., Böröcz, P., Define Cushion Curves for Environmental Friendly Packaging Foam, International Journal of Engineering, 2012, pp. 113 - 118, ISSN: 1584-2665.
- [81] Brüel & Kjaer, Broch, P., J., T., Mechanical Vibration and Shock Measurements, 2nd edition 3rd impression, Soborg, Denmark, K. Larsen & Son A/S, 1984, ISBN: 87 87355 34 5
- [82] Bühler, G., Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr, Physica-Verlag Heidelberg, 2006, ISBN: 978-3-7908-1754-6.

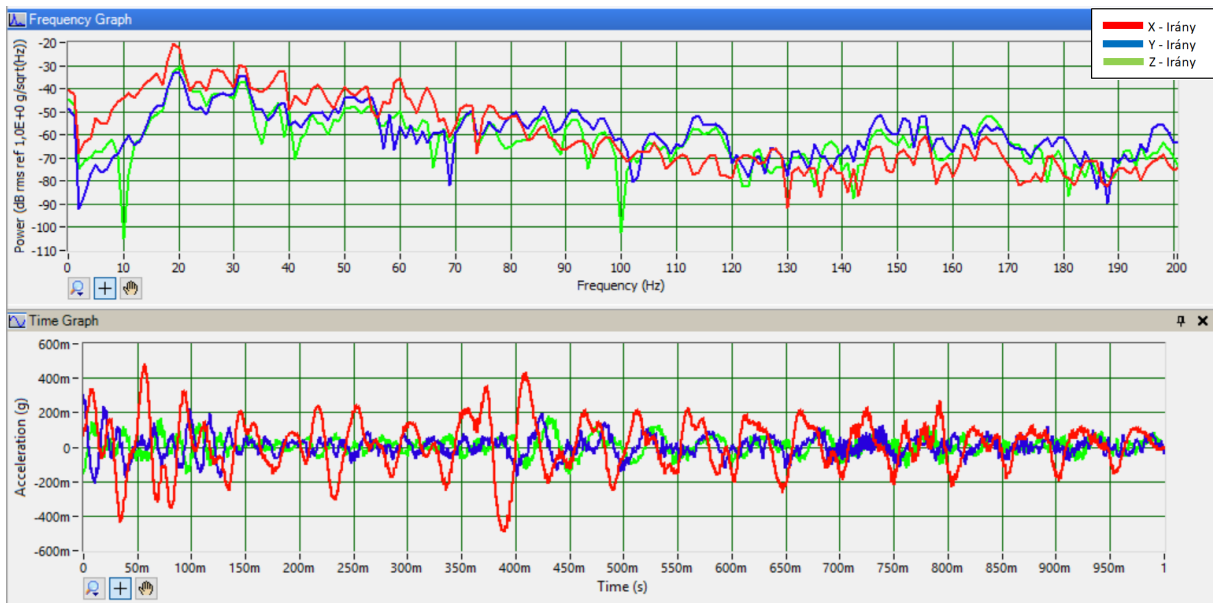
- [83] Vollrath, M., Krems, J., F., Hasselhorn, M., Verkehrspsychologie, 1. Auflage, Kohlhammer W. GmbH, 2011, ISBN-10: 9783170208469
- [84] Wittenbrink, P., Wiltling, F., Hagenlocher, S., Schlussbericht: Schnittstelle Rampe – Lösungen zur Vermeidung von Wartezeiten, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Karlsruhe, 2013
- [85] Bundesamt für Güterverkehr, Marktbeobachtung Güterverkehr, Sonderbericht zur Situation an der Laderampe, 2011.
- [86] Cselényi, J., Illés, B., Anyagáramlási Rendszerek Tervezése és Irányítása I., Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006
- [87] Bundesamt für Güterverkehr, Sonderbericht zur Situation an der Laderampe, Köln, 2011.
- [88] Seidel, M., Szczepaniak, A., Logistische Anlieferbedingungen der Develley-Gruppe, Develley Gruppe, 2012
- [89] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Schnittstelle Radelampe - Gute Beispiele, Berlin, 2014.
- [90] Magyar Közút Nonprofit ZRt., Az Országos Közutak 2017., Budapest, 2018, Témaszám: VB-2018/0029243/00
- [91] Marz, Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Bergisch Gladbach, 1999
- [92] Geistefeldt, J., Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Wirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011
- [93] Schlaich, J., Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Stuttgart, 2009
- [94] Krampe, S., Nutzung von Floating Traveller Data (FTD) für mobile Lotsendienste im Verkehr, Dissertation, TU Darmstadt, 2007
- [95] Breitenberger, S., Grüber, B., Neuherz, M., Extended Floating Car Data – Potenziale für die Verkehrsinformation und notwendige Durchdringungsraten, Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004
- [96] Rudolf, Á., GPS Rendszer Működése és Alkalmazása a Biztonságtechnikában, Hadmérnök, VII. Évfolyam 1. szám, 2012, pp. 40 - 47, ISSN: 1788-1929
- [97] T. Tettamanti, T., Varga, I., Közúti forgalomtechnikai paraméterek mérése és becslése, BME, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék, 2015
- [98] Walter, N., Bogner, P., Fizika, Medicina Könyvkiadó Zrt, Budapest, 2014, ISBN: 978 963 226 457 8
- [99] Spreemann, D., Manoli, Y., Electromagnetic vibration energy harvesting devices, Springer Science+Business Media B.V. 2012, ISBN 978-94-007-2943-8
- [100] Roidl, M., Emmerich, J., Masoudinejad, M., Riesner, A., ten Hompel, M., Entwicklung eines Versuchsfelds für große Systeme intelligenter Behälter, Logistics Journal: Proceedings, 2014, ISSN 2192-9084
- [101] Dorsch, P., Bartsch, T., Hubert, F., Milosio, H., Rupitsch, J.S., Implementation and Validation of a Two-Stage Energy Extraction Circuit for a Self Sustained Asset-Tracking System, Sensors 2019, 19, 1330; doi:10.3390/s19061330

- [102] Zhao, Z., Wang, T., Shi, J., Zhang, B., Zhang, R., Li, M., Wen, Y., Analysis and application of the piezoelectric energy harvester on light electric logistics vehicle suspension systems, *Energy Science & Engineering*, 2019, DOI: 10.1002/ese3.456
- [103] Zoltán, I., *Méréstechnika*, Műegyetemi kiadó 2002, ISBN: 963-420-530-5
- [104] Varga, A.,K., *Vezeték nélküli szenzorhálózatok önszerveződő és önjavító képességének vizsgálata* c. ph.d. értekezése.
- [105] Lee, D., Energy harvesting chip and the chip based power supply development for a wireless sensor network, *Sensors* 2008, 8, 7690-7714; ISSN 1424-8220, DOI: 10.3390/s8127690
- [106] Wannenwetsch, H., *Integrierte Materialwirtschaft und Logistik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, ISBN 978-3-540-89772-9 , DOI 10.1007/978-3-540-89773-6.
- [107] Etzioni, O., Weld, D., Intelligent agents on the internet - fact, fiction, and forecast, *IEEE Expert-intelligent systems & their applications*, Volume: 10, Issue: 4 Pages:44-49, 1995, DOI: 10.1109/64.403956.
- [108] Skapinyec R., *logisztikai hálózatok rizikótényezőinek kezelése*, disszertáció, 2018, DOI: 10.14750/ME.2018.013.
- [109] Skorna, A., Ackermann, L., Frei, R., Naef, M., *Transportstudie Basler-Sicherheitswelt Cargo Prävention - Schadenanalyse, Expertenbefragung und Wirkung eines aktiven Präventionsmanagements*, Jelentés, 2010 – I-Lab / ETH Zürich / HSG.
- [110] Van Zeebroeck, M., Van Linden, V., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., Nicola, B.M., Tijsskens, E., Impact damage of apples during transport and handling, *Postharvest Biology and Technology*, August 2007, doi:10.1016/j.postharvbio.2007.01.015.
- [111] Martinelli Tinelli, L., Teixeira Vivaldini, K., Becker, M., Intelligent warehouse product position optimization by applying a multi-criteria tool, *WRSM 2013, CCIS 371*, pp. 137–145, 2013, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- [112] Decker, C., Berchtold, M., Beigl, M., Roehr, D., Riedel, T., Beuster, M., Herzog, T., Herzig, D., Cost-benefit model for smart items in the supply chain, *IOT 2008, LNCS 4952*, pp. 155–172, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
- [113] Regattieri, A., Santarelli, G., Piana, F., *Packaging logistics, Operations, logistics and supply chain management*, Lecture notes in logistics, Springer international publishing AG 2019, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92447-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92447-2_13).
- [114] Ouyang, Q., Zheng, J., Wang, S., Investigation of the construction of intelligent logistics system from traditional logistics model based on wireless network technology, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* (2019), <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1334-8>.
- [115] Naumann, G., *Energiewandlersystem für den Betrieb von autarken Sensoren in Fahrzeugen*, disszertáció, Drezda, 2003.
- [116] Wu, F., Rüdiger, C., Yuce, M.R., Real-Time performance of a self-powered environmental IoT sensor network system, *Sensors*, 2017, doi:10.3390/s17020282.
- [117] Desrochers, M., Lenstra, J.K., Soumis, F., *Vehicle pouting with time windows: Optimization and approximation*, Elsevier Science Publishers B.V., 1988.
- [118] Schönberger, J., Adaptive demand peak management in online transport process planning, *OR Spectrum*, 2010, 32:831–859, DOI 10.1007/s00291-009-0190-7.

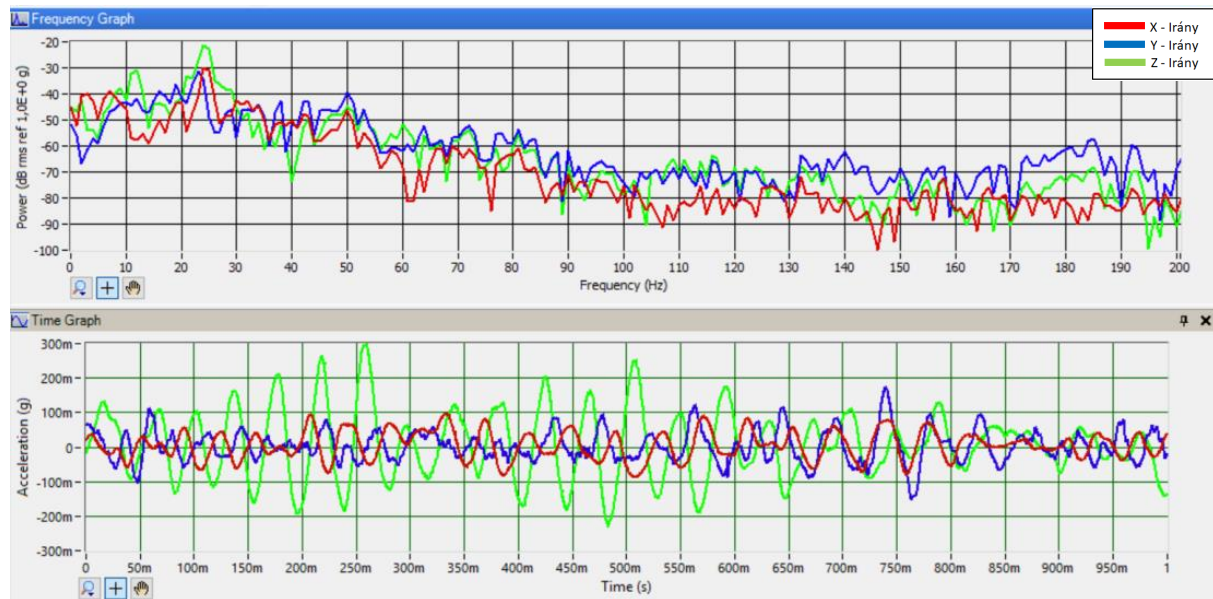
## SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

- [s1] Szentmiklósi, I., Illés, B., Intelligent unit loads, Conference Proceedings, 4th International Doctoral Students Workshop on Logistics, 2011 Magdeburg, pp. 85-88, ISBN 978-3-940961-57-0.
- [s2] Szentmiklósi, I., Illés, B., Intelligens egységakományok felépítése és energiaellátásuk egy lehetséges megoldása, GÉP, Gépípari Tudományos Egyesület Műszaki Folyóirata, 2012/4, pp. 71-74, ISSN 0016-8572.
- [s3] Szentmiklósi, I., Illés, B., Intelligens egységakományok lehetséges alkalmazása logisztikai feladatoknál, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2011, Miskolc, pp. 127-132, ISBN 978-963-7064-25-8.
- [s4] Szentmiklósi István, Prof. Dr. Illés Béla: Intelligens egységakományok felépítése és energiaellátásuk egy lehetséges megoldása, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2012.
- [s5] Szentmiklósi, I., Illés, B., Mechanical Vibration and Shock Measurement of Material Flow Tools and Systems, Advanced Logistic Systems, 13/1, 2019, ISSN: 1789-2198.
- [s6] Szentmiklósi, I., Illés, B., Mechanical vibration and shock measurement of material flow devices and systems, Doktoranduszok fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa Miskolc, Miskolci Egyetem, (2019) pp. 109-114., 6 p.
- [s7] Szentmiklósi, I., Illés, B., Presentation of a Possible Energy Production Device for the Energy Supply of Mobile Logistics Devices by Using a Shock Energy Converter, AJME Academic Journal of Manufacturing Engineering, Issue 3/2019, ISSN: 15837904.
- [s8] Szentmiklósi, I., Illés, B., Jármű beérkezések ipar 4.0 technológiákkal való optimalizálhatóságának vizsgálata, Multidiszciplináris Tudományok, 10. kötet, Évf. 10 szám 1. (2020), doi:10.35925/ (megjelenés alatt).
- [s9] Szentmiklósi, I., Illés, B., Steuerungssysteme vernetzt operierender Handelsketten, XXV. microCAD International Scientific Conference, 2011. pp. 143-148. ISBN 978-963-661-967-1.
- [s10] Szentmiklósi, I., Illés, B., Datenerfassungstechniken vernetzt operierender Handelsketten, XXV. microCAD International Scientific Conference, 2011. pp. 149-154. ISBN 978-963-661-967-1.
- [s11] Szentmiklósi, I., Illés, B., Design, operation and anti-collision procedure of data transfer of intelligent load units, Advanced Logistic Systems – Theory and Practice, Vol. 6.: No. 1. pp. 190-200. 11 p. (2012).
- [s12] Szentmiklósi, I., Sicherheitsprobleme vernetzt operierender Handelsketten, Bezpečné Slovensko a Európska Únia, 2009, Kosická Belá, Slovensko, pp. 344-346, ISBN: 978-80-89282-33-3.
- [s13] Szentmiklósi, I., Illés, B., Informationssysteme vernetzt operierender Handelsketten, XXIV. microCAD International Scientific Conference 18-20March 2010, pp. 31-36, ISBN 978-963-661-925-1.
- [s14] Szentmiklósi, I.,: Logistische Probleme vernetzt operierender Handelsketten, Miskolci Egyetem Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 2009. november 5, pp. 150-155

# MELLÉKLET

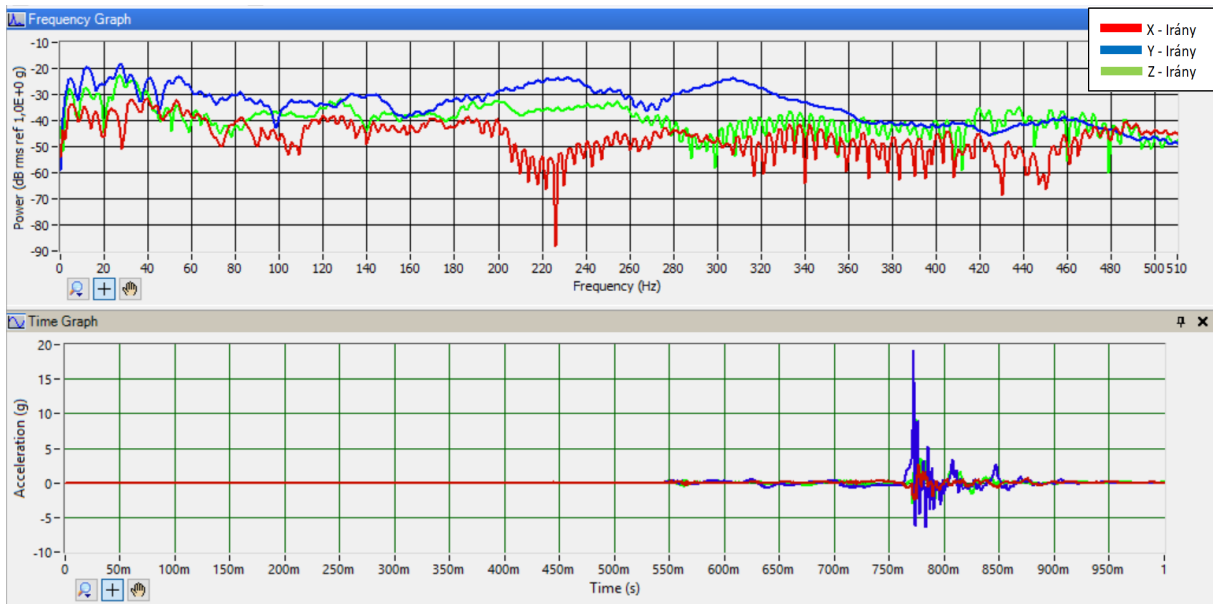


1. ábra. Vezető nélküli targonca futószalag, labor körülmények közt. PSD és gyorsulás amplitúdó

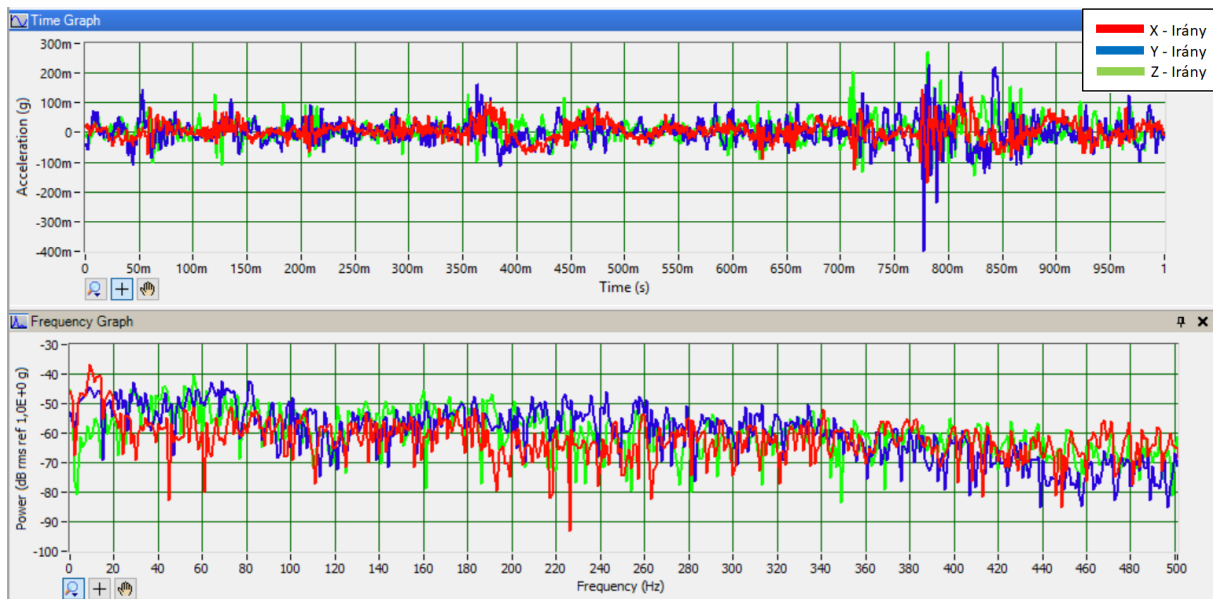


2. ábra. Vezető nélküli targonca, labor körülmények közt. PSD és gyorsulás amplitúdó

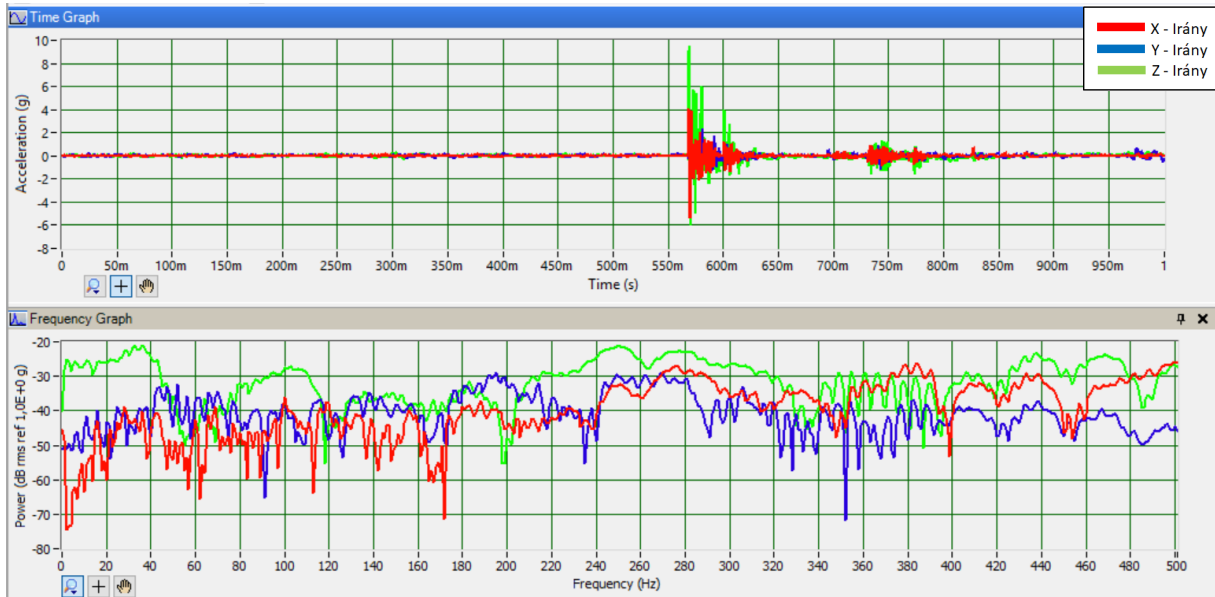




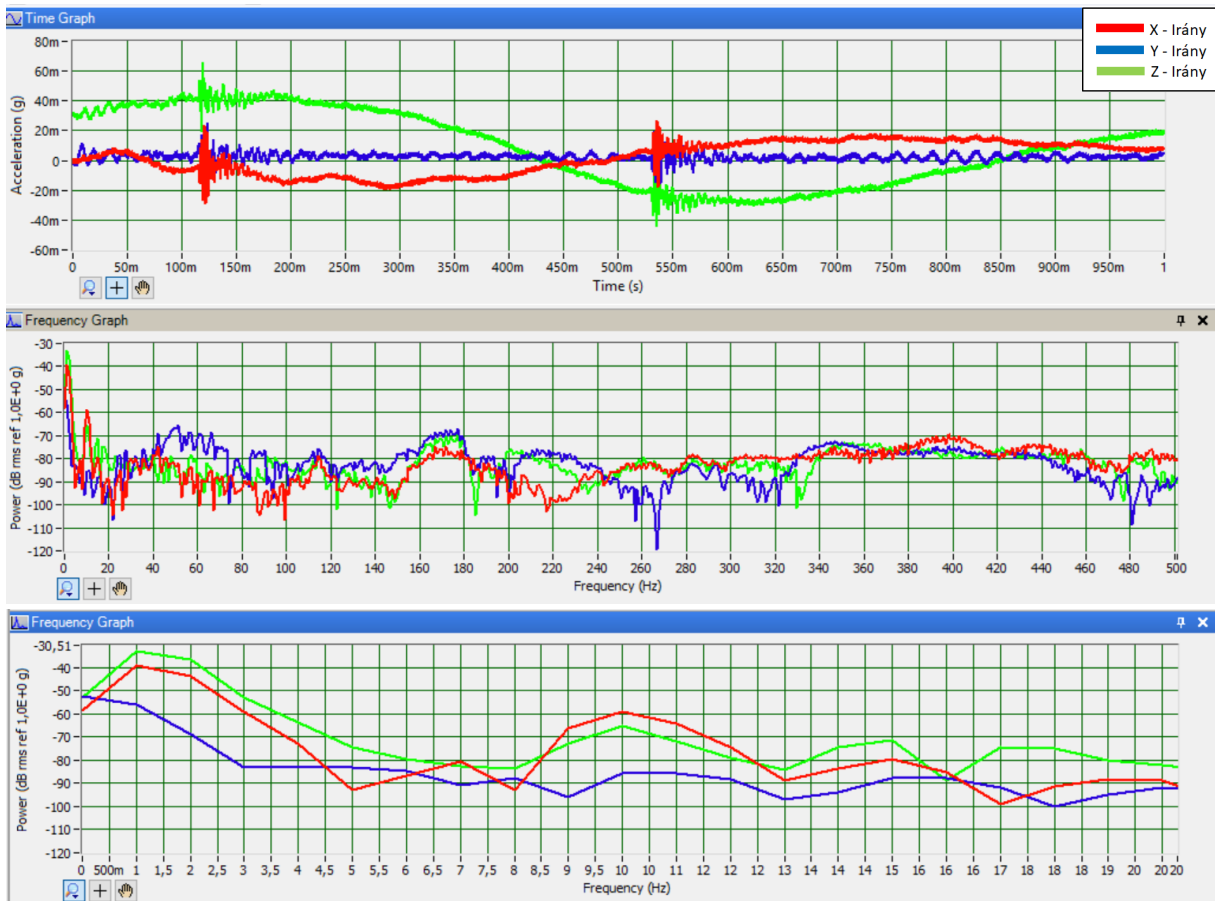
3. ábra. Vezető nélküli targonca, Mitsubishi robotkar, labor körülmények közt. PSD és gyorsulás amplitúdó



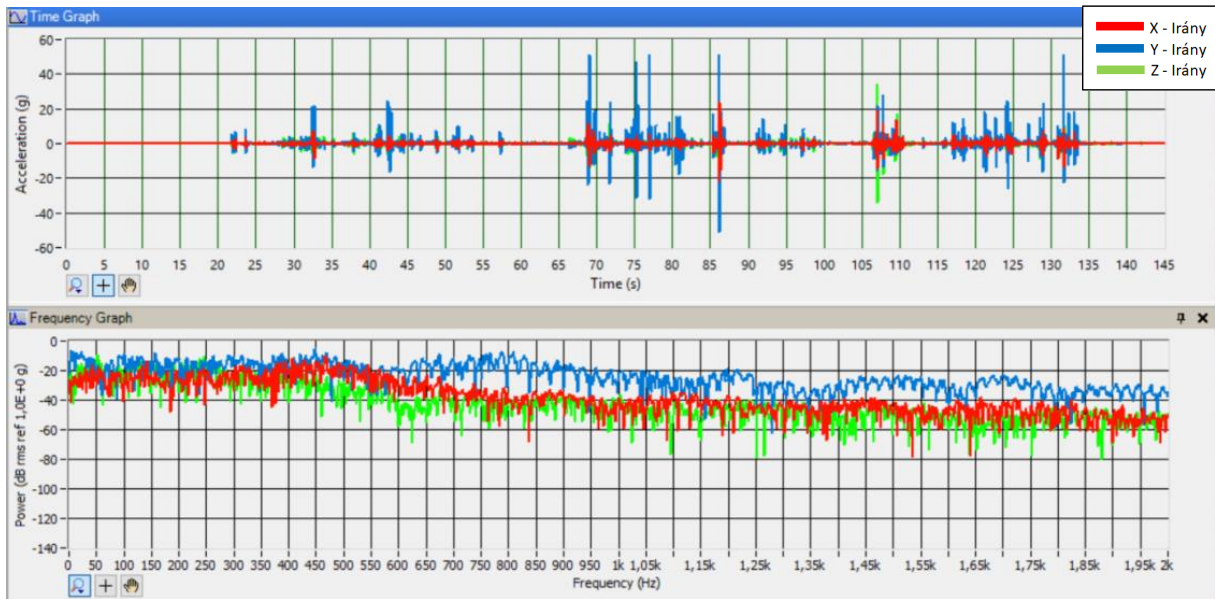
4. ábra. Görgős pálya. Gyorsulás amplitúdó és PSD



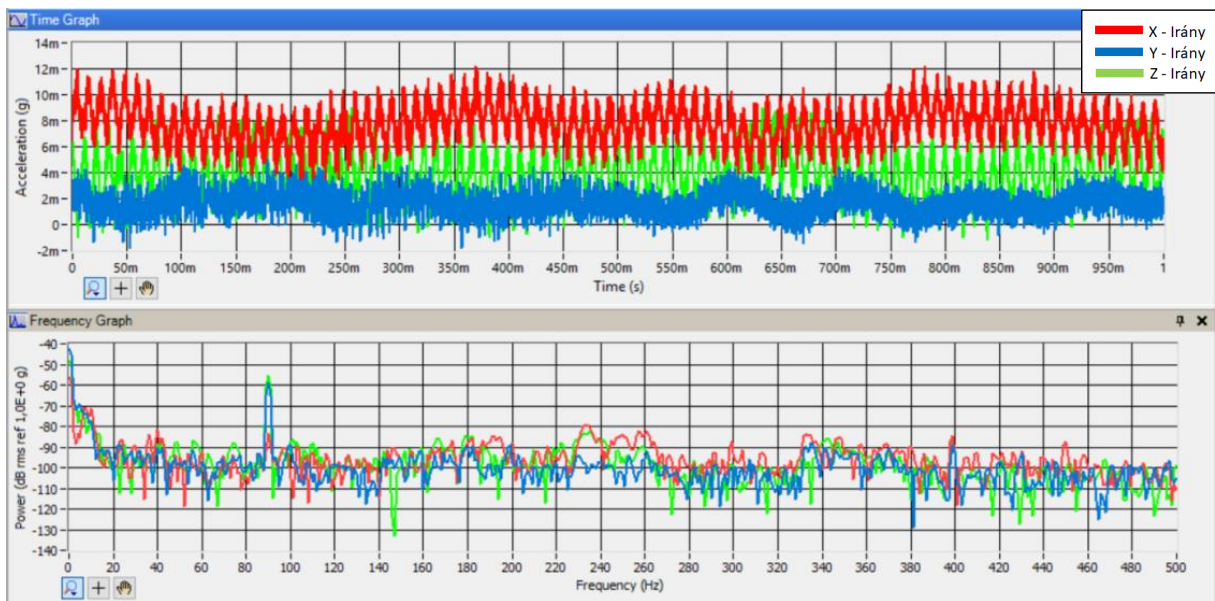
5. ábra. Görgős pálya, fékező. Gyorsulás amplitúdó és PSD



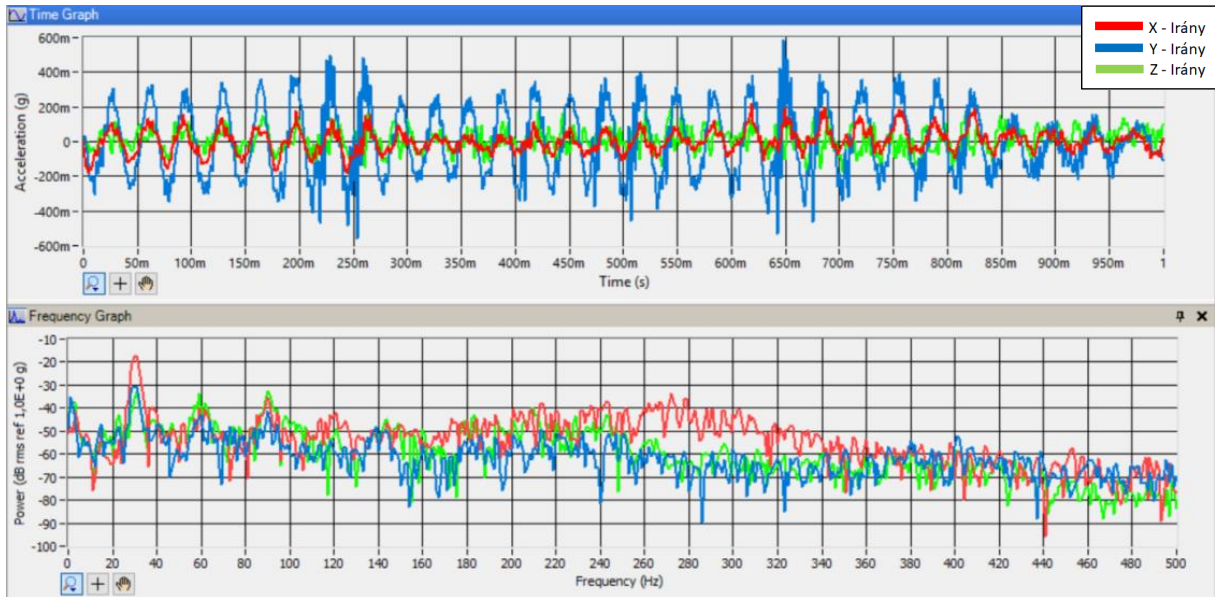
6. ábra. Görgős pálya, fordító. Gyorsulás amplitúdó és PSD



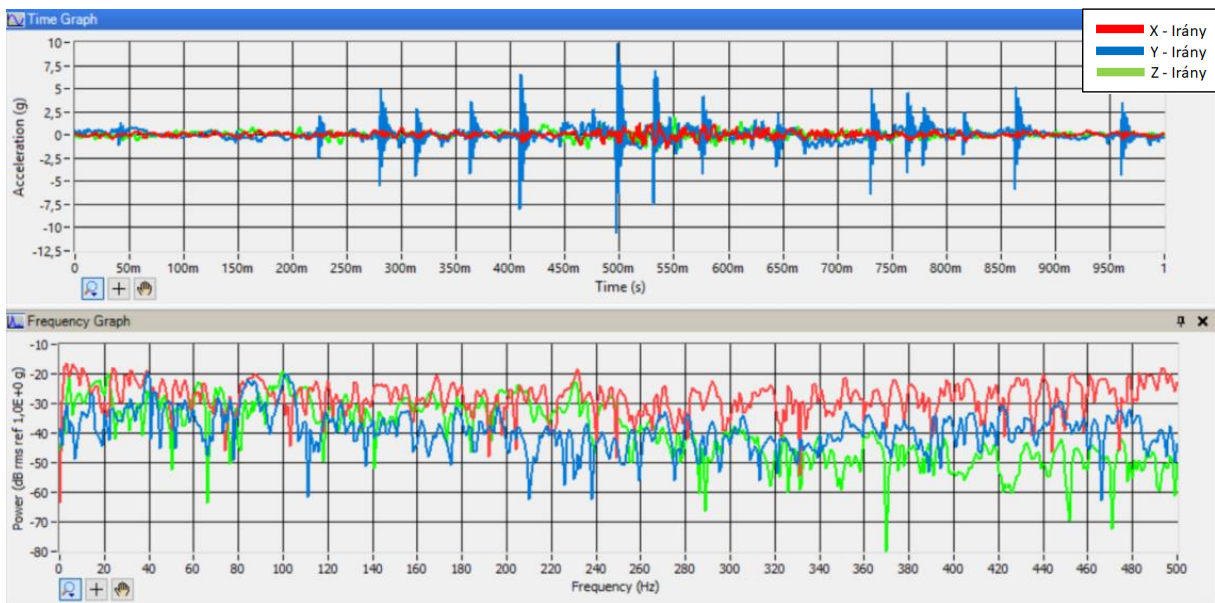
7. ábra. Targonca, kültéri anyagmozgatás. Gyorsulás amplitúdó és PSD



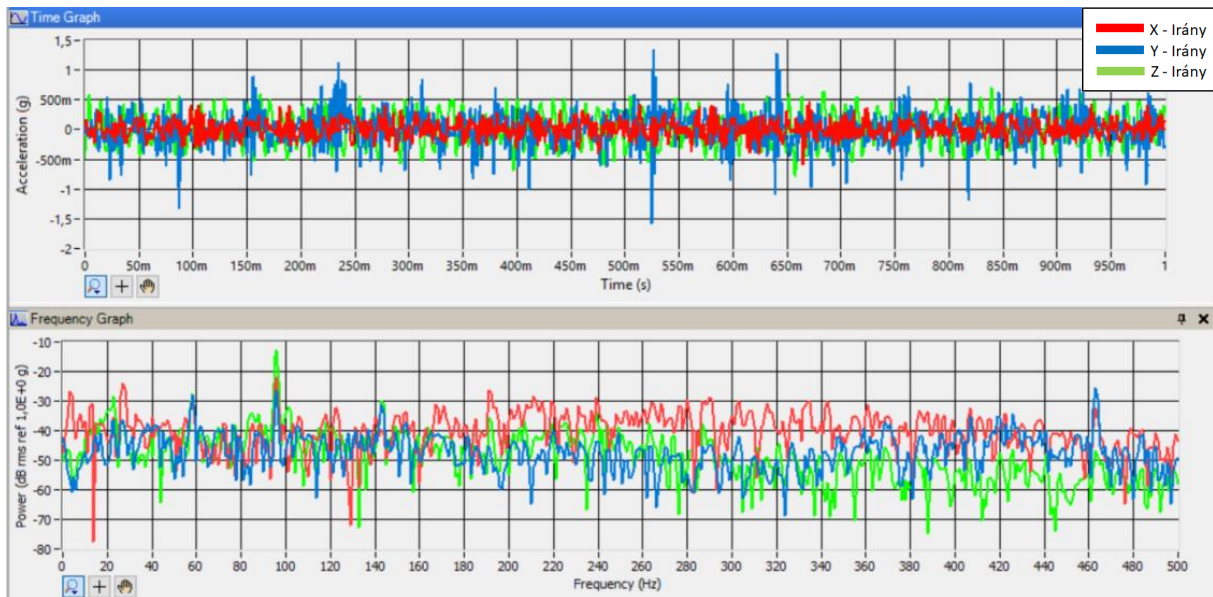
8. ábra. Teherautó üresjárat. Gyorsulás amplitúdó és PSD



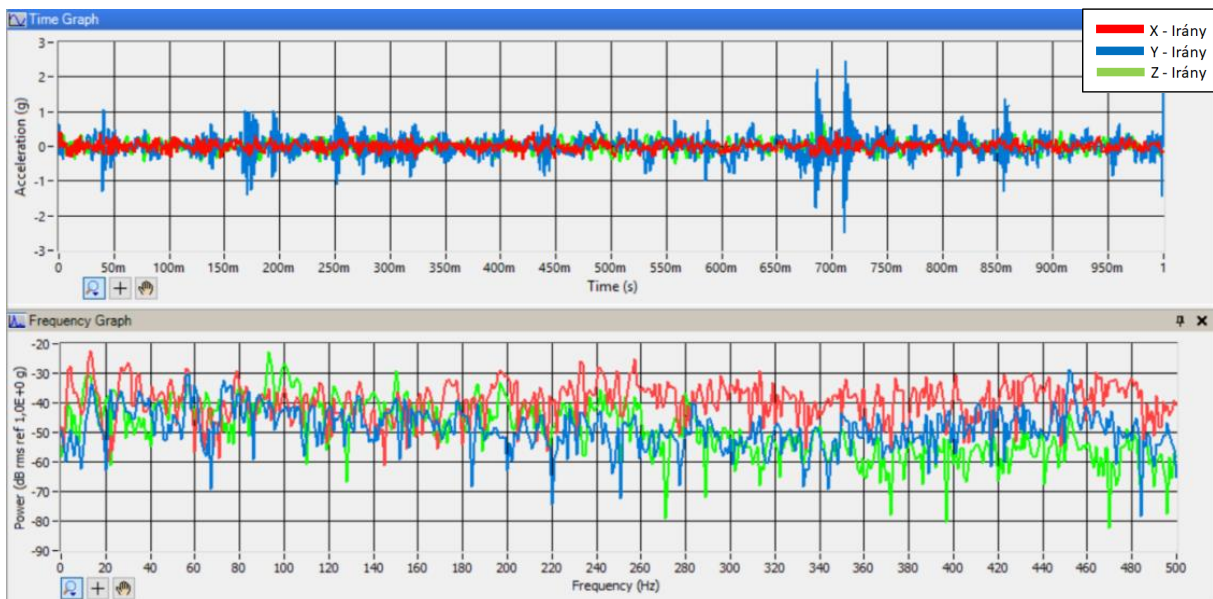
9. ábra. Teherautó városban, jó útminőség. Gyorsulás amplitúdó és PSD



10. ábra. Teherautó városban, rossz útminőség. Gyorsulás amplitúdó és PSD



11. ábra. Teherautó autópályán, jó útminőség. Gyorsulás amplitúdó és PSD



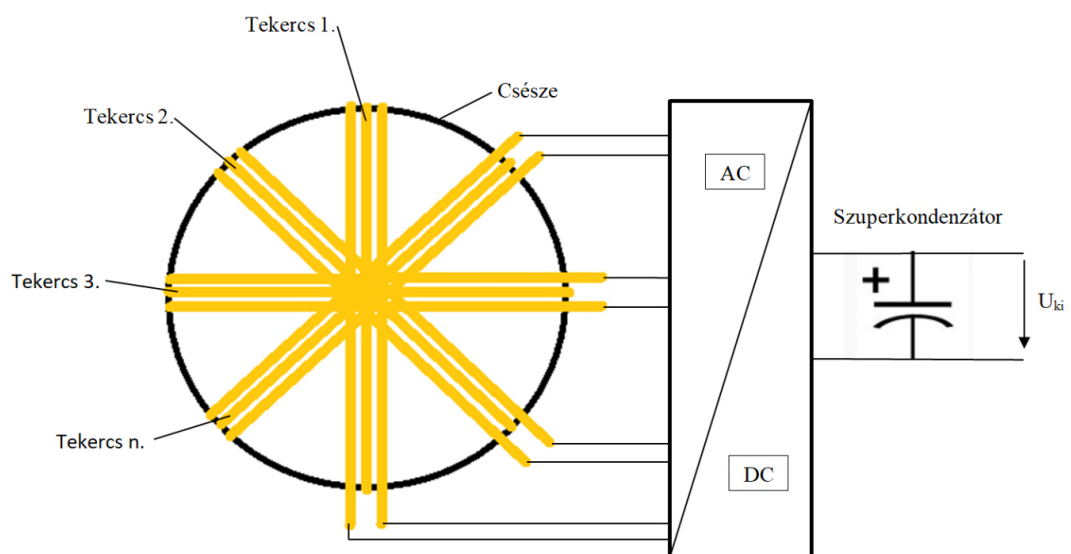
12. ábra. Teherautó autópályán, rossz útminőség. Gyorsulás amplitúdó és PSD



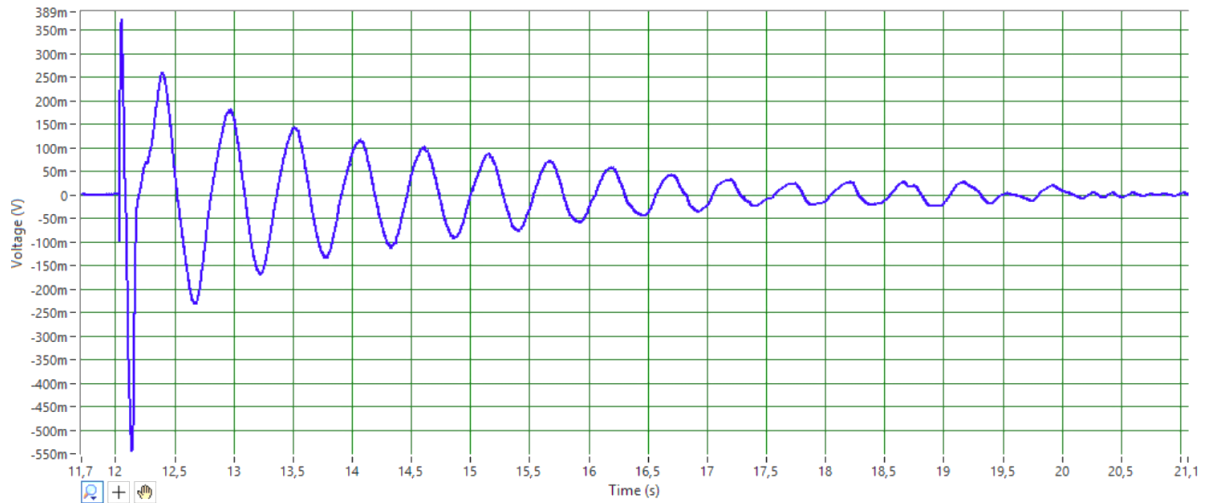
12. ábra. Rezgés mérés fényképfelvétel, teherautós szállítás



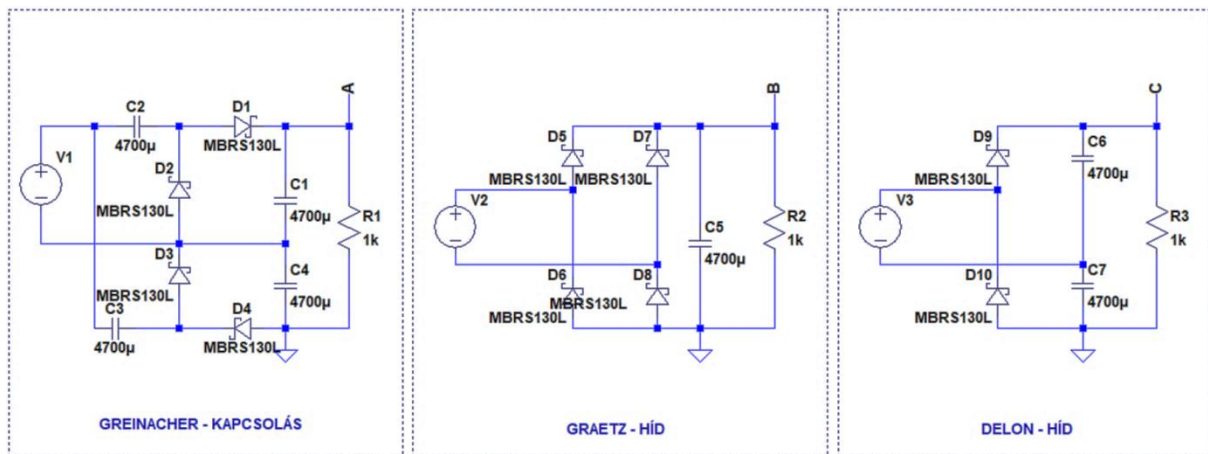
13. ábra. Rezgés mérés fényképfelvétel, szállítás targoncával



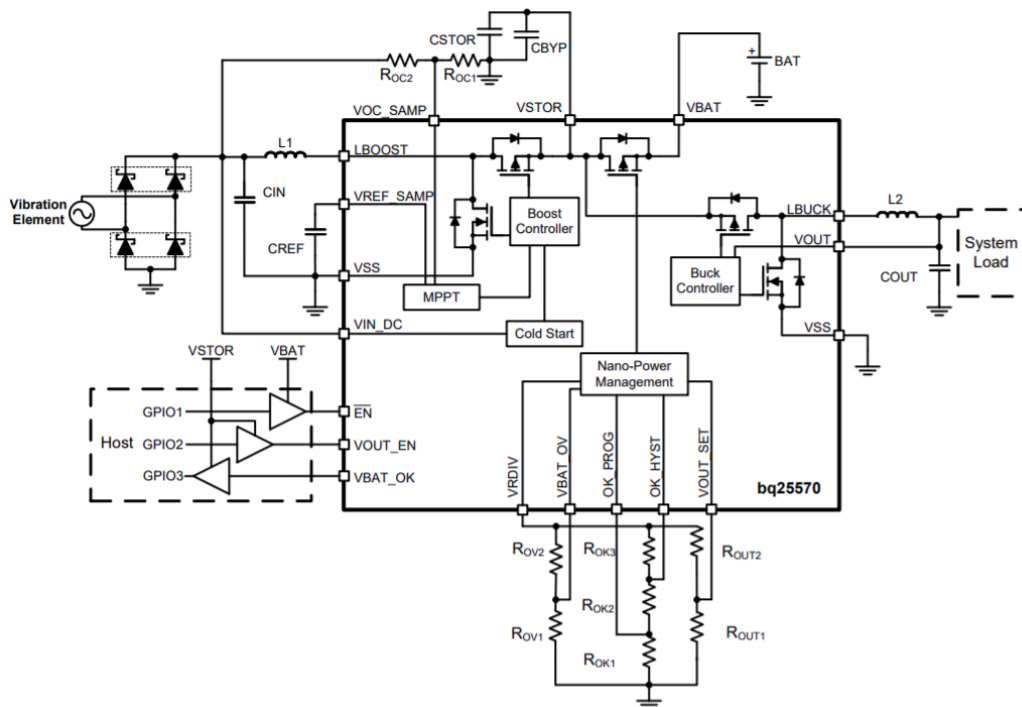
14. ábra. Elektromos indukciósrendszer, tápegység és tároló lehetséges felépítése



15. ábra. Példa a mechanikus rezgőrendszer és elektromos indukciósrendszer által generált elektromotoros erőre egy lökés által gerjesztve



16. ábra. Egyenirányító kapcsolások



17. ábra. Feszültség konverter BQ25570 belső felépítése

Feszültség konverter Tulajdonságai:

- Ultra Low Power DC-DC Boost architektikájú konverter / töltő
- "Hideg indítási feszültség":  $V_{IN} \geq 330 \text{ mV}$
- $>100 \text{ mV}$  –os feszültségek folyamatos energia gyűjtés a  $V_{IN}$  bemenetről
- Teljes működéshez tartozó nyugalmi áram tipikusan  $488 \text{ nA}$
- Energiát tud tárolni újratölthető Li-ion akkumulátorokba, szuper,- vagy hagyományos kondenzátorokba
- Figyelmezteti a hozzá csatlakoztatott mikro vezérlőt áramkimaradásról
- Magas hatásfok, akár 93%

### Az ágens fogalom definíciója:

A mesterséges intelligencia berkeiben használt általános kifejezés a "szoftverügynök". Ami egy olyan programot jelent, amely egy emberi ügynökhöz hasonlóan viselkedik, mint pl. egy utazási ügynök vagy egy biztosítási ügynök. Az "ügynök" széles körben használt szó, ezért ha az intelligencia szóval együtt merül fel a számítástechnikai berkekben, akkor az ágens elnevezést is használják. Az ágens egy olyan szoftveralapú számítógépes rendszer, amelynek a következő kívánatos tulajdonságai vannak [107]:

- önállóság: azaz képes legyen közvetett emberi beavatkozás nélkül cselekedni és kontrollálja a belső állapotát és akcióit.



- személyiség: egy ügynöknek jól definiált, hihető személyisége van, amely lehetővé teszi az emberekkel való párbeszédet.
- kommunikációs képesség: az ágensek képesek kommunikálni egymással vagy más emberekkel az információszerzés érdekében.
- alkalmazkodóképesség: egy ágens automatikusan hozzáigazodik a gazdája igényeihez az előző tapasztalatai alapján. A környezetében bekövetkezett változásokhoz is alkalmazkodik
- mobilitás: egy ágens képes magát az egyik gépről a másikra átvinni függetlenül a rendszerarchitektúrától és a platformtól.