

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
Logisztikai Intézet

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ
Prof. Dr. Szigeti Jenő
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 iránymutatása 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

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

BEVEZETÉS ÉS MOTIVÁCIÓ	1
1 IPARI FORRADALMAK	3
1.1 AZ ELSŐ HÁROM IPARI FORRADALOM	3
1.2 XXI. SZÁZADI HAJTÓERŐK	4
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, SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE	9
2.1 OKOS ESZKÖZÖK	9
2.2 KIBERFIZIKAI RENDSZEREK	11
2.3 OKOS / IoT LOGISZTIKAI ESZKÖZÖK NAPJAINKBAN	12
2.4 AKTUÁLIS OKOS / INTELLIGENS ESZKÖZÖK AZ INTRALOGISZTIKÁBAN	13
2.4.1 OKOS SZENZOROK AZ INTRALOGISZTIKÁBAN	13
2.4.2 VEZETŐ NÉLKÜLI JÁRMŰVEK	15
2.4.3 PICK-by TECHNOLOGIÁK	16
2.4.4 AUTÓMATIKUS AZONOSÍTÁSI RENDSZEREK ÉS NYOMONKÖVETÉS	17
2.4.5 RFID SZENZOR ADATLOGGER (STATE-OF-THE-ART)	22
2.5 KONCEPCIÓ FÁZISÁBAN LÉVŐ LOGISZTIKA 4.0 ESZKÖZÖK	23
2.5.1 SMARTCONTAINER SBF637	23
2.5.2 INTELLIGENS LÉGI TEHERSZÁLLÍTÓ KONTÉNER iCON	24
2.5.3 INTELLIGENS TÁROLÓ InBIN	25
3 PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁS, KUTATÁSI CÉL ÉS ESZKÖZÖK	27
4 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNY KÉPZŐ ESZKÖZ	30
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	34
4.2.3 OERK FELPROGRAMOZÁSA	38
4.2.4 AZ EGYSÉGRAKOMÁNYOK BERAKODÁSA	38
4.2.5 SZÁLLÍTÁS	39
4.2.6 ÁRUÁTVÉTEL	39
4.3 AZ OERK CPS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETSÉGES ELŐNYEI	40
4.4 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNY KÉPZŐ ESZKÖZ HATÁSA 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, INTELLIGENS ESZKÖZÖK ENERGIAELLÁTÁSA	46
5.1	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	46
5.2	ALTERNATÍV ENERGIAELLÁTÁS.....	47
5.3	VIBRÁCIÓ	47
5.3.1	ÁLTALÁNOS VIBRÁCIÓ-VILAMOSSÁG ÁTALAKÍTÓ MODELL	48
5.3.2	ELECTROMÁGNESES (INDUKTÍV) ENERGIAÁTALAKÍTÓ	49
5.4	ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSMÉRÉSE	51
5.4.1	REZGÉSVIZSGÁLAT ELMÉLETE.....	51
5.4.2	ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSMÉRÉSE, MÉRÉSI SOROZAT.....	56
5.4.3	MÉRT ÉRTÉKEK KIÉRTÉKELÉSE	56
6	ÚJ ENERGIAKICSATOLÓ RENDSZER.....	59
6.1	MECHANIKUS REZGŐRENDSZER.....	59
6.2	ENERGIAKICSATOLÁS MÓDJA.....	63
6.3	TÁPEGYSÉG ÉS ENERGIATÁROLÓ	64
7	JÁRMŰ BEÉRKEZÉSEK	65
7.1	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	65
7.2	RAKTÁRAK MŰKÖDÉSÉNEK OPTIMÁLÁSÁHOZ ALKALMAZHATÓ TECHNOLÓGIÁK	68
7.2.1	KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK	68
7.2.2	ÚJ TECHNOLÓGIÁK	68
7.2.3	HELYMEGHATÁROZÁSI RENDSZER GPS	69
7.3	A PONTOS ÉRKEZÉSI IDŐ INTERVALLUM MEGHATÁROZÁSA	70
7.4	KISZOLGÁLÁSOK IDŐPONTJAINAK DINAMIKUS KIOSZTÁSA A BEÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUMOK ALAPJÁN	73
8	ÖSSZEFOGLALÁS ÉS A KUTATÁS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI	76
9	AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI.....	77
10	SUMMARY AND OUTLOOK OF THE RESEARCH, THESES OF THE DISSERTATION	80
	JELÖLÉSRENDSZER	81
	IRODALOMJEGYZÉK	85
	MELLÉKLET	

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 A-400M 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 mindenkor termékkonstrukció 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 emésztene 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 tökemegtérülés irányába az kikényszeríti a bonyolultabb szimulációs formákon keresztül a komplexitás kezelésére alkalmas gyártórendszerek (pl. valós idejű 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 megvizsgálok, hogy lehet-e 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. Céлом volt az is, hogy az árut minőségromlás nélkül lehet-e szállítani és a raktározási folyamatokban az átfutási-, várakozási időket illetve költségeket ún. preventív módszerekkel csökkenteni.

Dolgozatomban bevezetésre kerül egy új fogalom a Mobil-Kiber-Fizikai-Eszköz (Mobile-Cyber-Physical-System, MCPS). Bemutatok egy olyan eszközt, amely az új MCPS értelmében a digitalizáció elterjesztését a logisztika szinte minden területén elősegíti. Szabadalmaztatási eljárás előtt álló, de már megépített és működő készülékemmel megoldottam az MCPS eszközök energiaellátását. Több mérési sorozat segítségével választ adok arra, hogy lehet-e a környezetet nem terhelő megoldást találni az MCPS –ek energiaellátására [84].

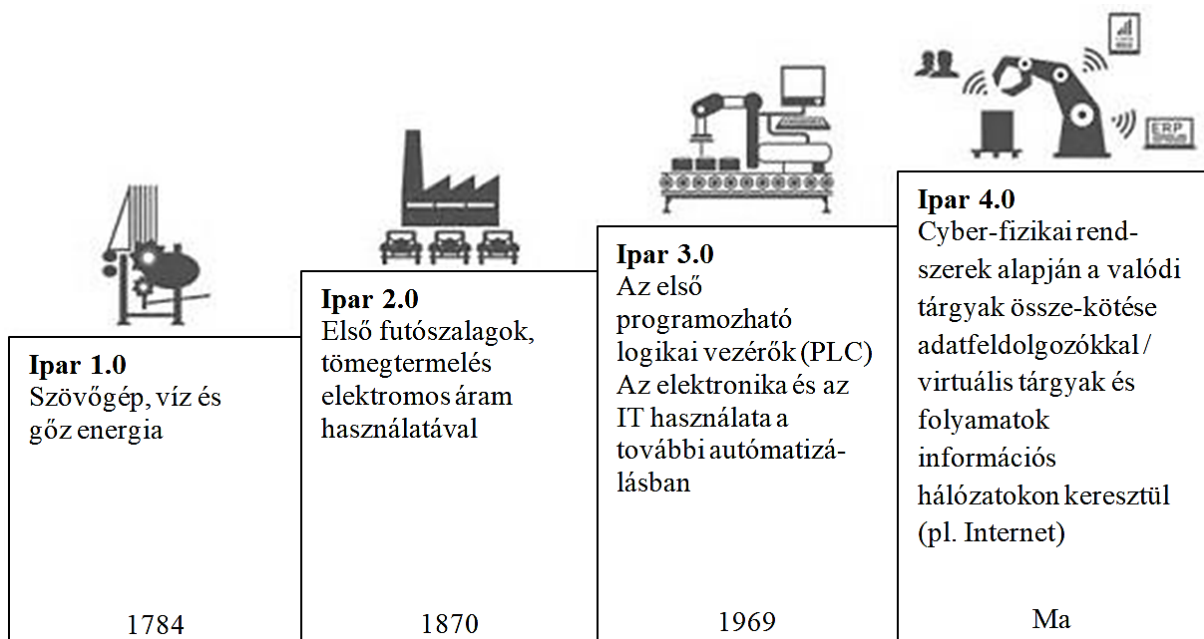
A globálisan működő, nagyméretű ellátási láncokat napjainkban a megnövekedett árumennyiség jellemzi, ami az árukat szállító járművek mennyiségének a növekedésével jár együtt. Ezen járművek pontos beérkezését sok tényező befolyásolja. Vizsgálataim során feltártam a jármű késésekért felelős tényezőket 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 ezen 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 termelékenységé 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 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, 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) vezettek, túl sok nem-megújuló energiaforrást emésztenek fel, továbbá az öregedő társadalmak miatt fel kell készülni a munkaerő létszámának csökkenésére [2].

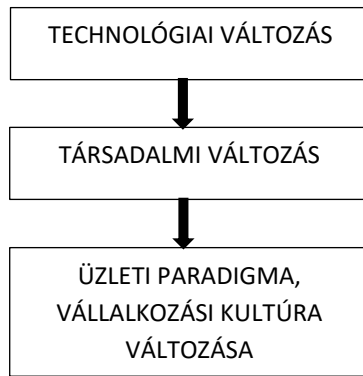
Ez utóbbi kiváltására a robotok és az automatizáció régóta létezik. Az internet viszont, ezek hálózatba kötésével forradalmasítja a folyamatszervezést.

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. valósídejű szimuláció, gépi tanulás), munkaszervezésre (feladatpárhuzamosítás, távmunka, állandó hálózati kapcsolódás) a termelési tér átszervezése kapcsolt üzemi terekre, foglalja magában.

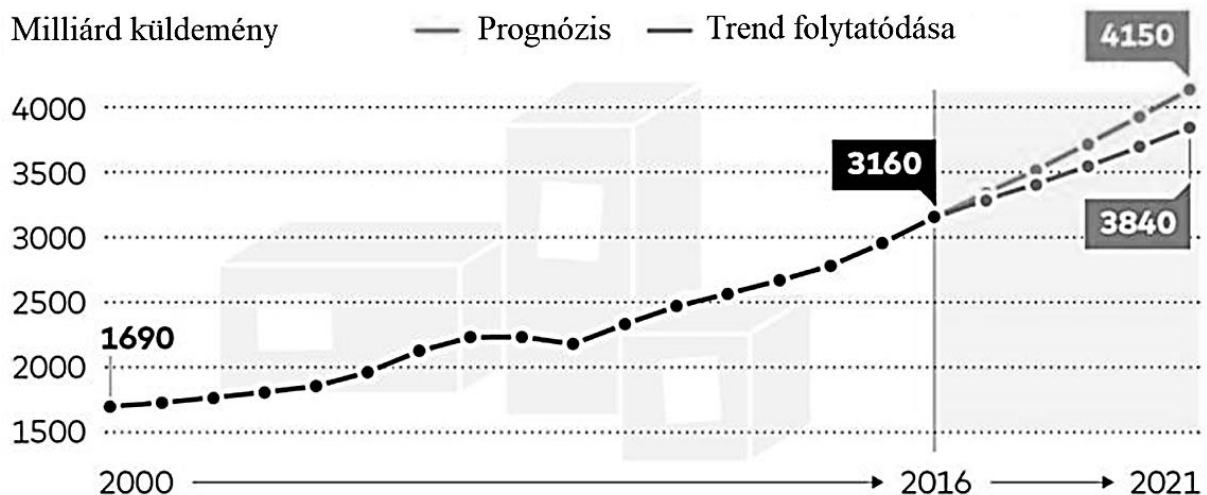
1.3 IPAR 4.0 GLOBÁLIS VÁLTOZÁSI FOLYAMATA

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.



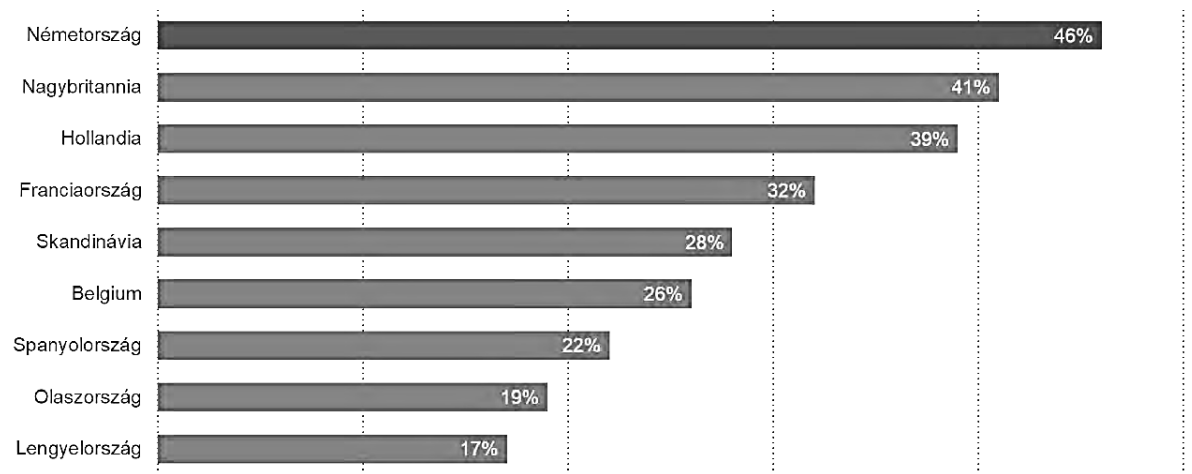
1.3.1.Ábra. Ipar 4.0 globális változási folyamata

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



1.3.2.Ábra. Németországban kiszállított csomagok száma [13]

A kiszállításra került csomagok számának növekedésével egyben a visszaküldött csomagok száma is nő. Ezt a tendenciát az 1.3.3. ábra szemlélteti.



1.3.3.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, ezenkívül 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, life-long 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 kiber-fizikai 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, SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

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 chippek, 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 mindezedáig 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 gép jelzést 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 érintkezéssel és kapcsolatukon alapul, beleértve az olyan eszközöket is mint, alkatrészek amelyek az intelligens termékekkel kapcsolatban vannak, valamint a termékek életciklusának történetét illetve más termékekkel való szomszédságát [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-e 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 okostelefonról 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 mennyiséget és az elkészült termék fizikai paramétereit. A legkisebb eltérést észre lehet venni egy 3D szkennelssel, 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.

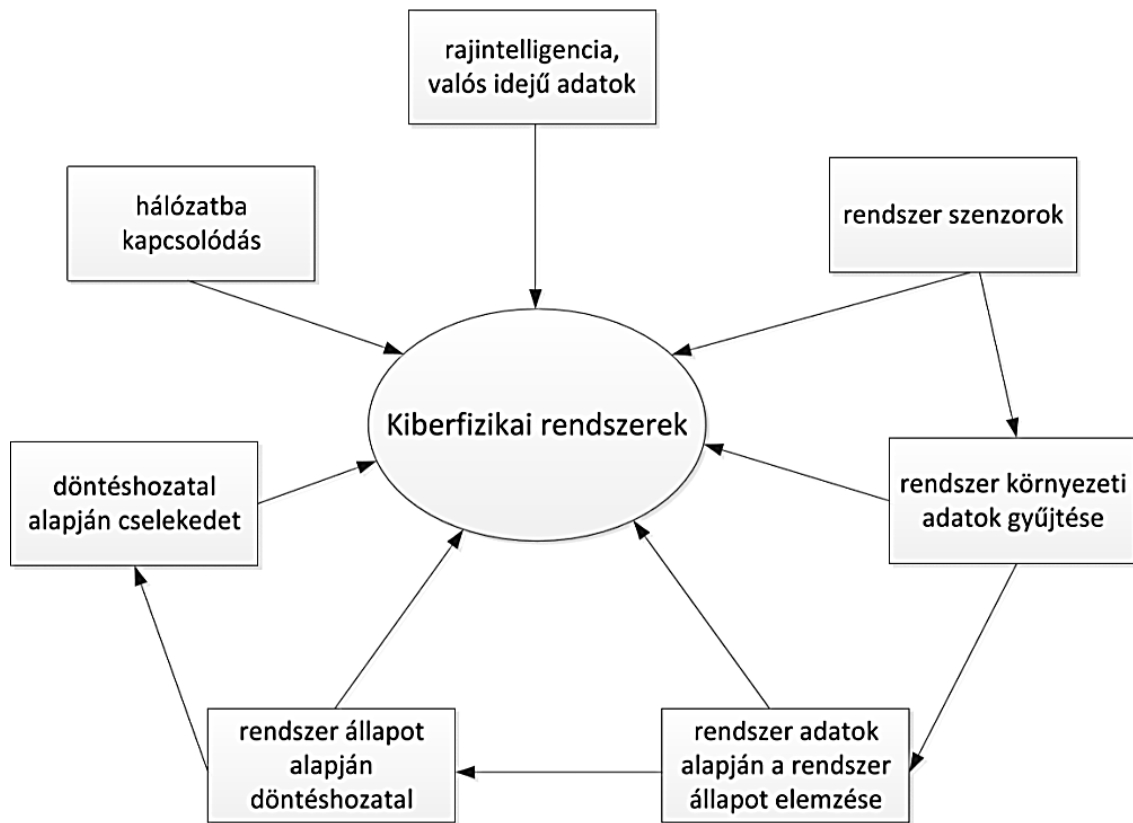
A negyedik fokozat az autonóm termék [20]. Az autonóm termékek algoritmusokat használnak, hogy elemezzék saját és környezetük (más termékek és rendszerek) adatait, kommunikáljanak velük és ennek megfelelően szabályozzák működésüket. Az emberi operátor ekkor már csak felügyeli a működést. Egy ilyen megoldásnak 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 kapcsoltak, 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 2.2.1. 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,



2.2.1.Ábra. Kiberfizikai rendszerek működési koncepciója [23]

- Biztonságtechnika,
- Okos városok és okos otthonok és
- Okos gyártástechnológia (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 "ügynök" lesz, hanem sokkal inkább "láthatatlan, csendes és összekapcsolt".

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 ügynökök 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.

2.4.1.1. Táblázat. Navigálás és pozicionálás szenzorjai [26]

	A mobil platformok automatikusan vagy önállóan mozognak a termelési vagy logisztikai környezet különböző pontjain. Annak érdekében, hogy megtalálják az útvutjukat, különféle érzékelői megoldásokra van szükség a navigációhoz és a helymeghatározáshoz, amelyek a mobil platformok lokalizálásához és navigálásához szolgálnak
	Vonalvezetés 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.
	Lokalizáció 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.
	Mozgásvezérlés 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.

2.4.1.2. Táblázat. Szenzorok a környezet megítélésére és biztonság biztosítására [26]

		
	Személyvédelem	Az olyan területeken, ahol az emberek és a mobil platformok együttműködnek, a biztonsággal kapcsolatos érzékelők elengedhetetlenek.
	Ütközés elhárítás	Minden ütközés többletköltséget okoz a gépesedések miatt. Egysugaras foto-elektromos biztonsági érzékelők, 2D és 3D érzékelők korai, érintésmentes figyelmeztetéseket biztosítanak az ütközésekkel szemben, és így megakadályozzák őket.
	Biztonsági ellenőrzés	A biztonsági elemek egyszerű integrálhatósága érdekében több gyártó rugalmas és felhasználóbarát biztonságos vezérlési portfóliót kínál az egyszerű biztonsági reléktől a konfigurálható biztonsági vezérlőkig.

2.4.1.3. Táblázat. Szállítványkezelés szenzorjai [26]

	A mobil platformok alapvető funkciója az áruk szállítása	
	Szállítmányérzékelés	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
	Azonosítás és nyomon követés	Az 1D és 2D vonalkódokhoz skálázható megoldások, valamint RFID címkék állnak rendelkezésre.

	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 alapján 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 járják be a rendelkezésükre álló területet. A raktárakban használt vezető nélküli járművek, ilyen szemléltet a 2.4.2.1. 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 útjából, 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 mérik 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.



2.4.2.1. 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 robothangon keresztül kapja az utasítást, ami elvégzését a saját hangjával igazol vissza.

A *Pick-by-Vision* az egyik legújabb és leginnovatívabb komissiózási 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 eljárással 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 keresletet 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 2.4.4.1. ábra néhány automatikus azonosítási példát mutat be.



2.4.4.1. Ábra. RFID alkalmazások [32] [33] [34]

2.4.4.1 BARCODE RENDSZEREK

1974-ben alkalmaztak vonalkódokat először a kereskedelemben, főleg szupermarket-pénztári rendszerekben. Azóta széles körben elterjedtek, egyszerűek és költséghatékonyak. 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.

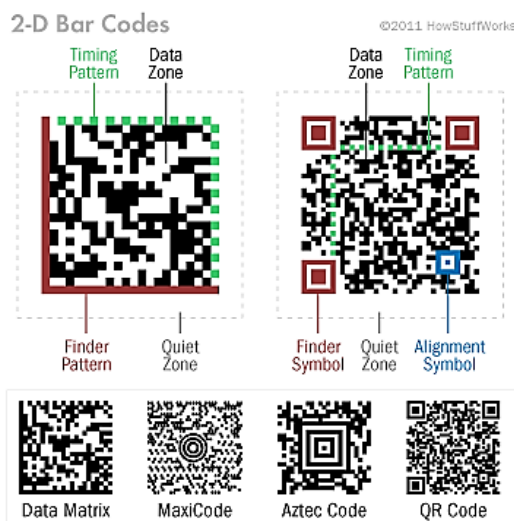
Az 2.4.4.1.1. ábrán szereplő pontozott régió vonalkód példát mutat be, amely az EAN-13 vonalkód szimbólumot használja.



2.4.4.1.1. 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.



2.4.4.1.2. 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 2.4.4.2.1. ábra az RFID rendszer alkalmazott szimbólumát mutatja.



2.4.4.2.1. Ábra. RFID szimbólum [37]

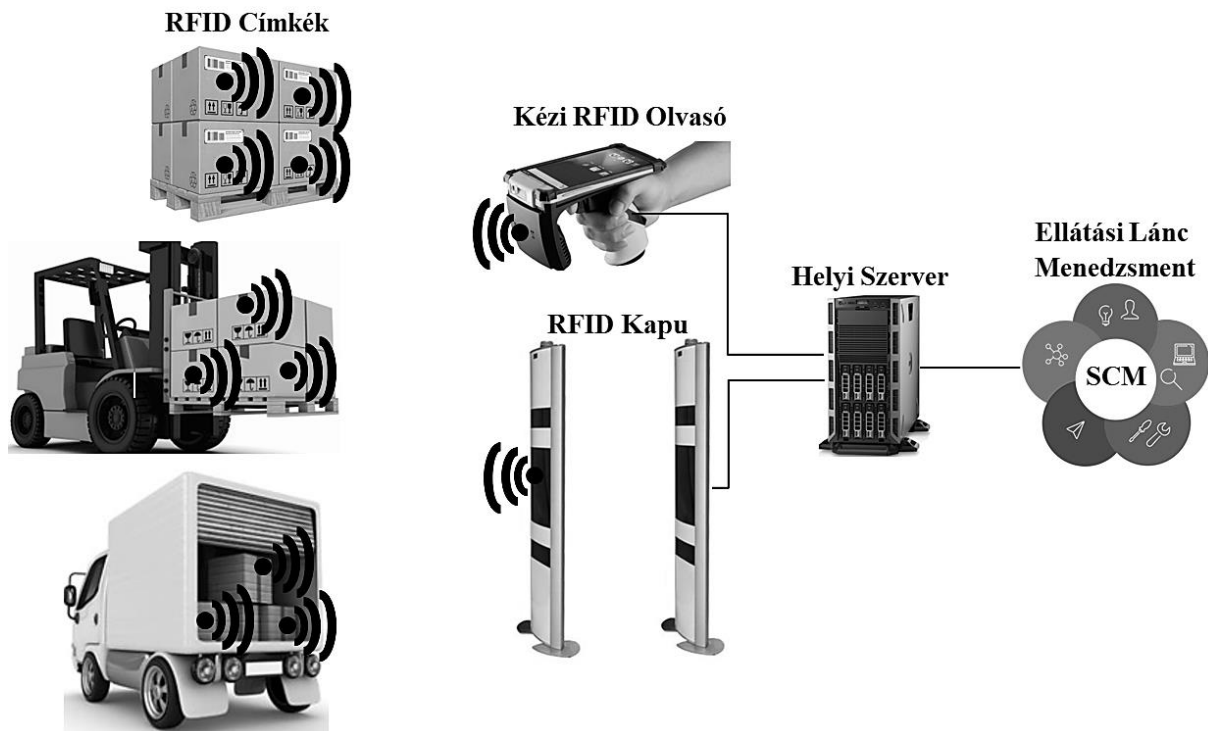
Az RFID - rendszer az RFID - címkékből, RFID - olvasóból és middlewareből áll. Az RFID címke azonosítását az olvasó végzi a vezeték nélküli adatátvitel segítségével.

Egy rendszernek lehet többféle álló vagy mobil olvasója és címkéi az azonosítandó objektumokhoz vannak csatolva, (lásd a 2.4.4.2.2. 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 2.4.4.2.1 táblázat mutatja.

2.4.4.2.1. Táblázat. RFID technológiák összehasonlítása

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



2.4.4.2.2. Ábra. RF-ID 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 λ , így az alkalmazható maximális távolság:

$$r_n = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2.4.4.2.2.1)$$

Efelett 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:

$$r_n \sim \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.4.4.2.2.2)$$

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 közzé kerülő 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

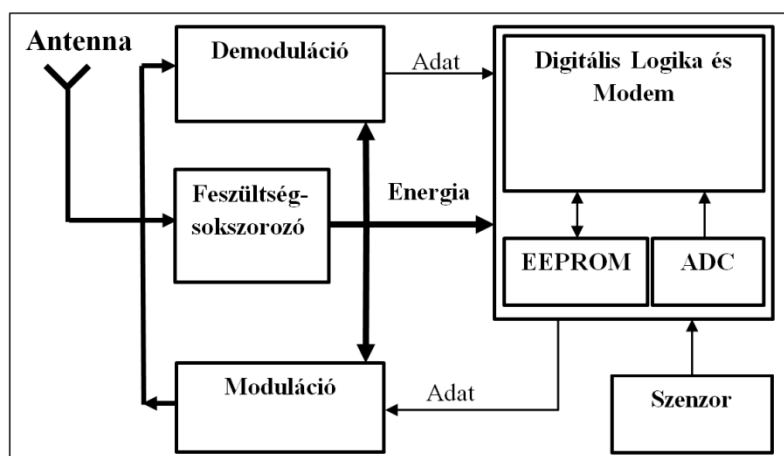
A middleware az RFID olvasó hardware és az RFID alkalmazás softwarét összekötő software komponens. Az RFID middleware szűri, formálja és átalakítja a címkével való alacsony szintű hardveres kommunikációt esemény információvá oly módon, hogy a software alkalmazás az adatokat fel tudja dolgozni. Egy RFID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

2.4.4.4 VEZETÉKNÉLKÜLI SZENZOROK ÉS VEZETÉKNÉLKÜLI SENZOR 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 2.4.4.4.1. ábra egy ilyen RFID szenzor felépítését mutatja. Az antenna határfelületként működik a szenzor és a környezet között. A 2.4.4.4.1. 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, amelynek egyszerű számítógépekben, ill. más elektromos készülékekben is találhatóak, általában kis mennyiségű adatot tárol, ami megmarad a készülék kikapcsolása után is.



2.4.4.4.1. Ábra. RFID szenzor felépítése [38]

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 költségeket. Az RFID szenzorok számának a növelésével az Access Pointok számának a növekedése is jár. Ez gazdaságossági szempontból a szűk keresztmetszetet jelenti.

2.4.5 RFID SENZOR ADATLOGGER (STATE-OF-THE-ART)

Az utóbbi években létrehozták az RF-ID 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 termékcsaládja, amely 13,56 MHz frekvenciájú NFC kommunikációt tartalmaz 30 mm maximális kiolvasási távolsággal.

Aktív RFID adatlogger címke (Sensor datalogger) beépített szenzorral és energiatárolóval 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 2.4.5.1. táblázatot
- A mért eredmények kiértékelése a mérés befejezése után történik az olvasóban.

2.4.5.1. 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 összeköttetést teremt a több milliónyi 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 eltérésének 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].



2.5.1.1. bra. Smart Container [43]

A modell nem tartalmaz számítási módszert arra az esetre, ha több környezeti paraméter hat a szállítandó árura. Például ha ts 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 nlln megtalálja, oly módon, hogy adatátviteli eszközök segítségével mit pl. GPS, 4G LTE-GSM hálózat vagy más CPS berendezésekkel kommunikál. Ha az iCON leksik egy járatot, nlln képes megkeresni a következő járat indulási helyét és lefoglalja a helyét a gépen. A berendezés hardware a kommunikációs és helyzet meghatrozo 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 – sszekttetst és különbféle szenzorokat tartalmaz a környezeti paraméterek valósidejű figyелsre [44].

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



2.5.2.1. 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, ám bár ezeket a lehetőségeket a rendelkezésre álló tudományos cikk szerint még nem alkalmazták [47].

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

$$P_{\text{átlag}} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^Z V_i \cdot I_{i,j} \cdot T_{i,j}, \quad (2.5.3.1)$$

ahol

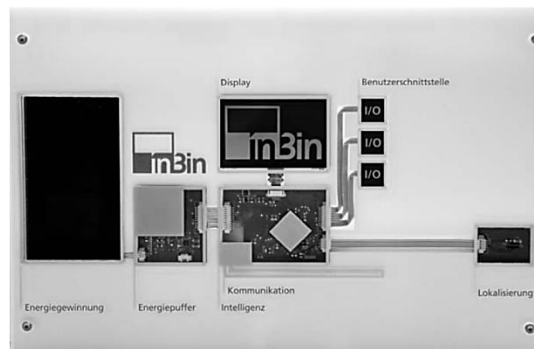
K: a komponensek száma,

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



2.5.3.1. 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 PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁS, KUTATÁSI CÉL ÉS ESZKÖZÖK

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]. Szállítványozási cégeknél 10.000 betöltetlen sofőr állás van [52].

A vásárlókat magas árérzékenység jellemmez, ami a helyi piacon tevékenykedő kereskedők árnyomását tartósan magas szinten tartja. Meg kell jegyeznem, 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 árrésveszteség arra kényszeríti a piacon működő vállalkozásokat, hogy folyamatosan ellenőrizzék saját költség szerkezetüket, 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 vezetésű 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.

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

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

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

Előzőekben bemutatam az általam tervezett és elkészített Ipar 4.0 keretén belül használható mobil eszközt, az Okos Egységrakomány Képző Eszközt (OERK), amely a bemutatott smart-container és az InBin készülékek által ellátott feladatot kiterjeszti és mobil üzemeltetésre készült, összetett ill. összetett-hagyományos megoldású háztól – házhoz történő áruszállítás során az áru minőségét befolyásoló paramétereket közvetlenül az adott áru környezetében méri, a mért adatokat folyamatosan kiértékeli és áruátvételkor ezeket az adatokat az identifikációs információval együtt továbbítja [59][61][71]. Keresem a választ arra, hogy ez a készülék a raktári folyamatokra milyen hatást gyakorol.

B. A mobil szenzorrendszerek, CPS-ek energiaellátása

A meglévő készülékek hagyományos módon elemes / akkumulátoros energiaellátással rendelkeznek, amelyek folyamatos karbantartást igényelnek, nem környezet kímélők 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.



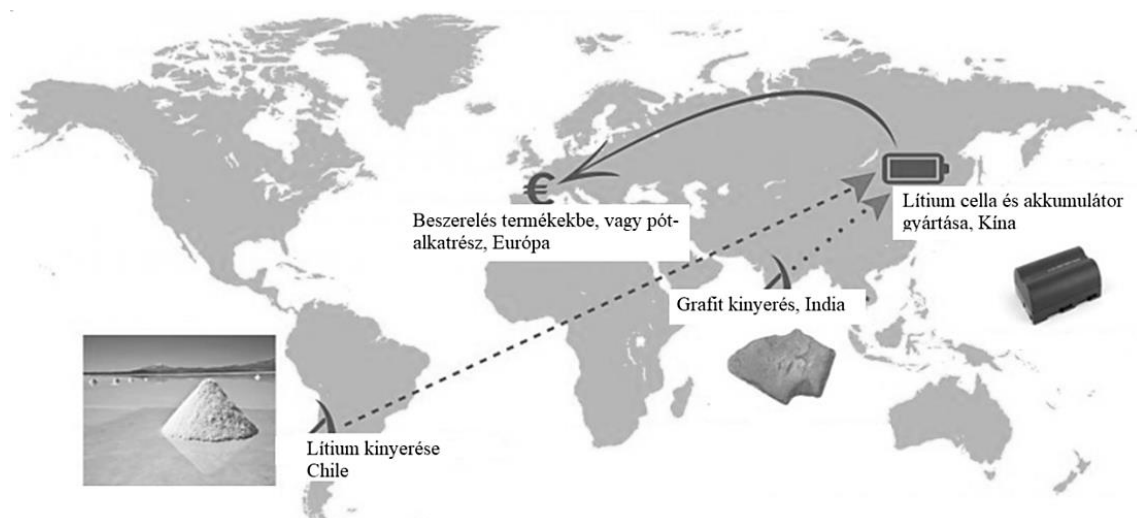
3.1. Ábra. Nem visszagyűjtött elemek a természetben.

Saját felvétel, 2018.November 18 Miskolc-Tapolca, 2018.November 19. Miskolc – Avas lakótelep.

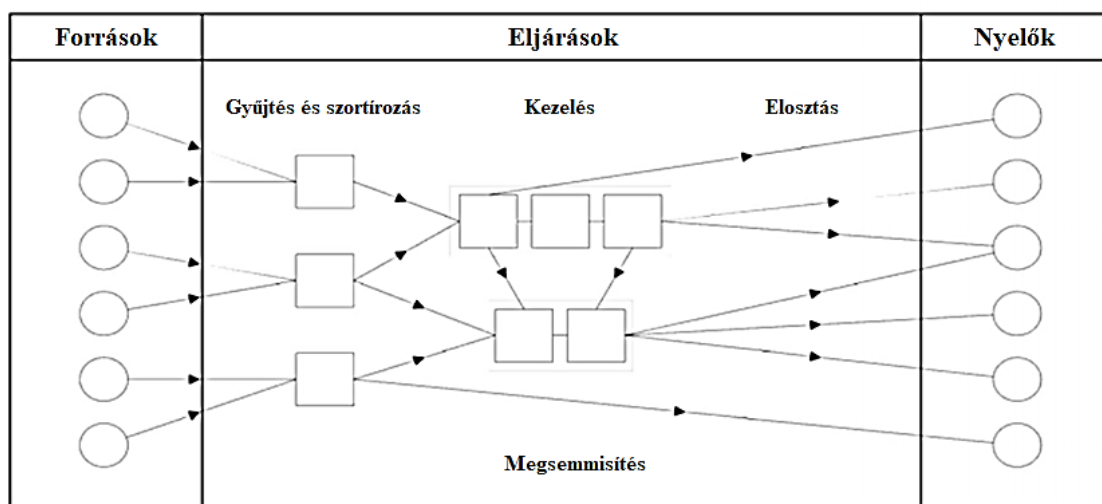
A 3.1. ábra a közvetlen környezetünkben elhelyezett, nem visszagyűjtött elemekre mutat példát. Németországban azonos törvényi szabályozás mellett a tényleges visszagyűjtési arány 2017 –ben 46,9 % [55].

Az új elemek, akkumulátorok előállítása globálisan történik. A szükséges nyersanyagok bányászása legfőképpen Dél Amerikában történik, ahonnan ezek Kínában kerülnek feldolgozásra, ezután a kész elem Európába kerül. Ezt a folyamatot a 3.2. ábra szemlélteti. A visszagyűjtött elemek hulladékkezelési folyamata összetett, energia,- és munkaerő igényes, amely folyamatát a 3.3. ábra mutatja be.

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].



3.2. Ábra. Lítium útja Európába. [57]



3.3. Ábra. Használtelem hulladékkezelési folyamat [58]

A mai modern technikai eszközök által felhasználható, de a jelenlegi energia előállító eszközöktől jelentősen eltérő elven működő, jelenleg szabadalmi eljárás alatt álló

energiaellátó rendszert fejlesztettem ki, terveztem és építettem meg, amely alkalmas a CPS ill. mobil szenzor-hálózatok környezetbarát energiaellátására [73][78][104].

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 kipakolás, 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

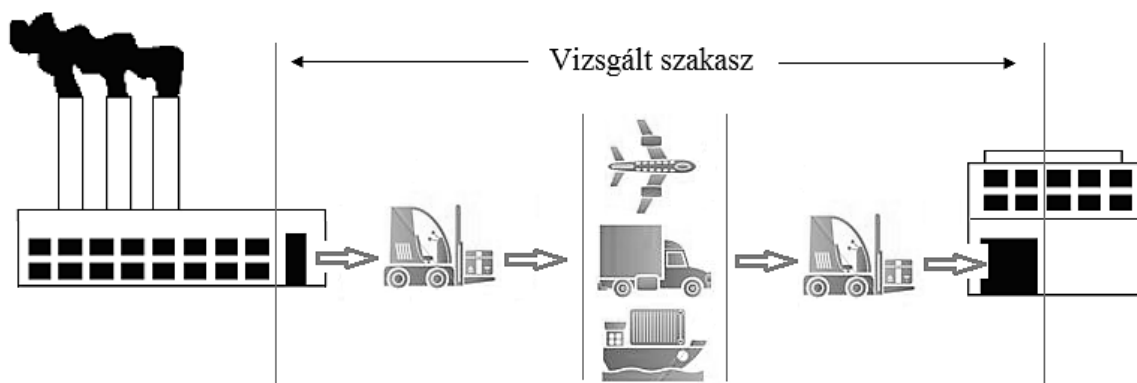
Az okos egységrakomány képző eszközök (OERK) abban is különböznek hagyományos társaiktól, hogy egy az egységrakomány képző eszközben, ami egy kartondoboztól egy palettán keresztül egy szállítódobozig terjedhet, beépített kisméretű elektronikus beágyazott rendszer a rakományban levő áru szempontjából kritikus fizikai, kémiai és biológiai paramétereket folyamatosan figyeli és a paraméterek előre meghatározott szintjének túllépése esetében eltárolja a probléma fellépésének időpontját, annak mértékét. Továbbá termékazonosítási feladatot is ellát, adatok kiolvasására zömében kiterjesztett RF-ID adatátvitelt alkalmaz [59].

Funkciója alapján az eszköz egy kiberfizikai eszköz (cyber-physical system, CPS).

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 [60]

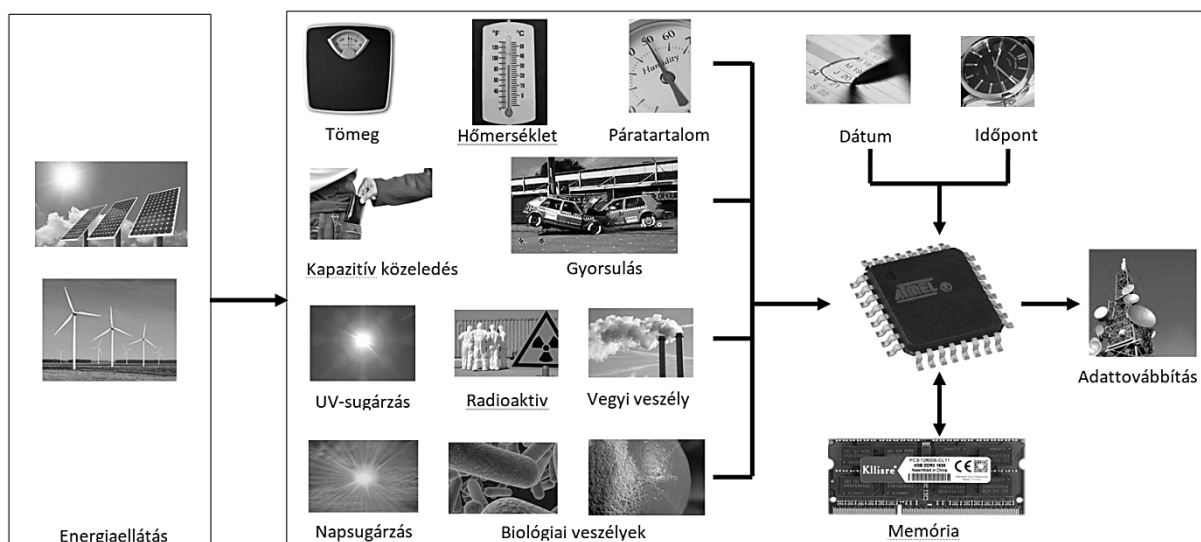
4.1 OKOS EGYSÉGRAKOMÁNYKÉPZŐ ESZKÖZ FELÉPÍTÉSE

Az 4.1.1. ábra mutatja az okos egységrakomány képző eszköz az ellátási lánc speciális szakaszán való alkalmazhatóságának területét. A koncepció kialakításánál a szállítandó termék a kiindulási helytől a rendeltetési helyre, egy raktárba való megérkezéséig tartó szakaszát vizsgáltam.



4.1.1. 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 egységrakomány képző eszközbe (OERK) a szállítás megkezdése előtt az azonosítási adatokkal együtt kell feltölteni. A 4.1.2. ábra egy ilyen rendszer elvi felépítését mutatja [61].



4.1.2. 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.

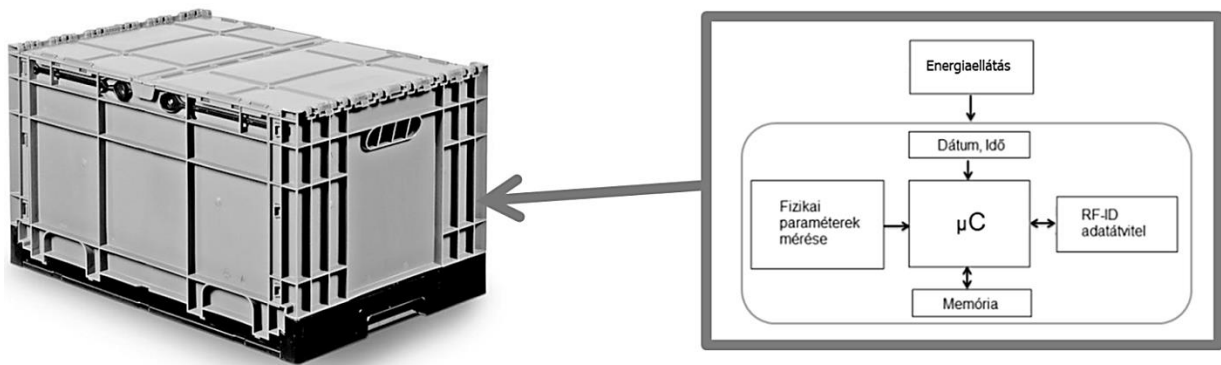
Az OERK fő feladata a folyamatos automatikus adatgyűjtés és kiértékelés.

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. [62].

Egy konkrét egyszerű 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 4.1.3. 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,



4.1.3. Ábra. Okos egység rakomány képző eszköz felépítésének blokkvázlata.

- Dátum, óra funkciót és
- RF-ID antennát.

A 4.1.4. ábra az eszköz deszkamodelljét mutatja üzem közben.



4.1.4. 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 [63]. 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 [65].

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 vízaktivitással a_w fejezzük ki.

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (4.2.2.1)$$

ahol

a_w : vízaktivitás adott hőmérsékleten

p : a közegben lévő vizes oldat gőztenziója

p_0 : oldószer (víz) gőztenziója

A vízaktivitás értéke 0 és 1 közé esik. A desztillált vize 1, a szabad vizet nem tartalmazó rendszeré 0. A tiszta víz vízaktivitása természetesen 1 körüli érték.

Mivel a vízaktivitás nem fejezi ki a hőmérséklet hatását és nem SI mértékegység, ezáltal újabban a vízaktivitás helyett előnyben részesítik a ψ vízpotenciál alkalmazását.

$$\psi = \frac{RT}{V_w} x \log a_w \quad (4.2.2.2)$$

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 : vízaktivitás.

A mikroorganizmusok szaporodása 0.998 és 0.6 a_w vízaktivitási értékek között lehetséges. A mikroorganizmusok többségének szaporodásához nagy vízaktivitás (0,98 - 0,99) és kis vízpotenciál (-2,8; -0,7 MPa) szükséges [66].

Gyümölcsök érési folyamata során mikroliter (μL) nagyságrendben etilén C_2H_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 gázszensorokkal [67] mérhető.

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

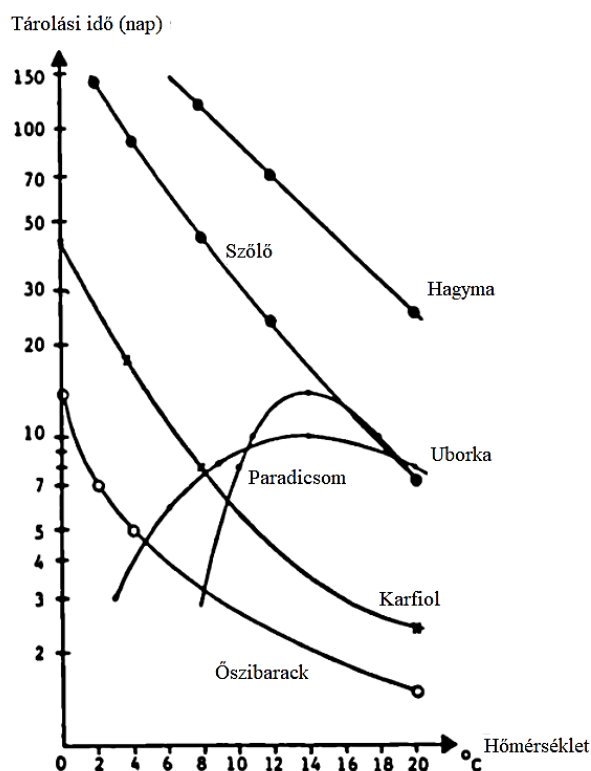
A szállítandó áru minőségét úgy biztosíthatjuk OERK CPS használatával, hogy az ellátási láncban belül az árut egy adott hőmérsékleten tartjuk és az OERK CPS is ezt a hőmérsékletet figyeli.

Például a paradicsomot 15 °C hőmérsékleten 10 napig lehet tartani minőségvesztés nélkül, amit a 4.2.2.1. ábra mutat. Amennyiben az OERK szállítás során nem méri ennek a hőmérsékletnek a megváltozását, azaz,

$$T_{min} < \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} = T_{\text{átlag}} < T_{max} \quad (4.2.2.3)$$

akkor az áru megfelelő minőségben lett beszállítva. Itt T_i mérési időpontok közötti eltelt ΔT_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



4.2.2.1. Ábra. Néhány zöldség és gyümölcs tárolhatósági ideje a hőmérséklet függvényében. [68]

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

A hőmérséklethez hasonlóan végezhet az OERK a kialakításnak megfelelően súly, páratartalom, nyomás, CO₂, etilén, vibráció vagy rázkódás mérését, akár ezek kombinációját.

A gyakorlatban a hőmérséklet / páratartalom mellett a mechanikai sokkhatások (pl. dobások) felelősek az árusérülések legjelentősebb részéért [69].

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 [70]. Ilyen folyamatok a következő képen írhatóak le:

Tömegközéppont pillanatnyi sebesség vektora

$$\vec{v} = \dot{\vec{x}} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad (4.2.2.4)$$

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

$$\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{x}} = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2} \quad (4.2.2.5)$$

A sebességvektor és helyvektor időfüggését integrálással kapjuk meg, azaz

$$\vec{v}(t) = \vec{a}t + \vec{v}_0 \quad (4.2.2.6)$$

és

$$\vec{x}(t) = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}_0t + \vec{x}_0 \quad (4.2.2.7)$$

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

Newton II. törvénye szerint:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (4.2.2.8)$$

ill. a munka az erő vonal menti integrálja, azaz

$$W_g = \int_g \vec{F}(\vec{x})d\vec{x} \quad (4.2.2.9)$$

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

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \vec{v}^2 \quad (4.2.2.10)$$

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

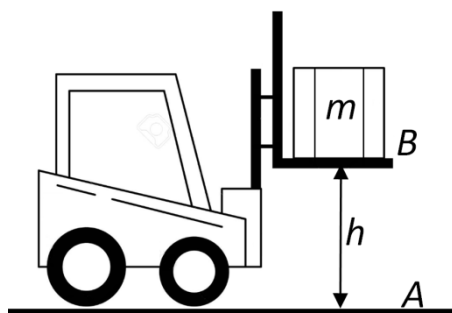
$$\begin{aligned} W_{AB} &= E_{kin,B} - E_{kin,A} \\ &= \frac{1}{2} m \vec{v}_B^2 - \frac{1}{2} m \vec{v}_A^2 \end{aligned} \quad (4.2.2.11)$$

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

$$W_{AB} = mg(z_1 - z_2) = mgh \quad (4.2.2.12)$$

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.



4.2.2.2. Ábra. Ütési igénybevételek fizikai paraméterei

A mérések előzőleg bemutatott valós idejű elemzése különbözteti meg az OERK CPS-t 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

A gyártási folyamat zero lépéseként az OERK felprogramozása történik meg, aminek a lépései a következők:

- a rakományt termékazonosítási számmal látják el,
- a 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.



4.2.3.1. 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 [71].

4.2.4 AZ EGYSÉGRAKOMÁNYOK BERA KODÁSA

Berakodás folyamata:

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



4.2.4.1. 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

$$t_{\text{szállítás}} = n \cdot t_{\text{mérések közti idő}} \quad (4.2.5.1)$$

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 [71].



4.2.6.1. Ábra. Áruátvétel

4.3 AZ OERK CPS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETSÉGES ELŐNYEI

Az OERK CPS -ek a logisztika területen való alkalmazásának előnyei közül az alábbiakat emelem ki a korábbi, általunk írt [72] szakkikkünkben 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 egységrakomány bontása után ismert a tároló rekesz tartózkodási helye stb.,
- a hibás árut nem kell betárolni ill. beszállítani a raktárba → raktárkészlet dinamikusán optimalálható
- raktárhely optimalálása
- beszállító és szállítványozó cégek kiválasztásának elősegítése [72].

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:

4.4.1.1. Táblázat. Determinisztikus betárolási folyamat lépései

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 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	Áru továbbítás 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				

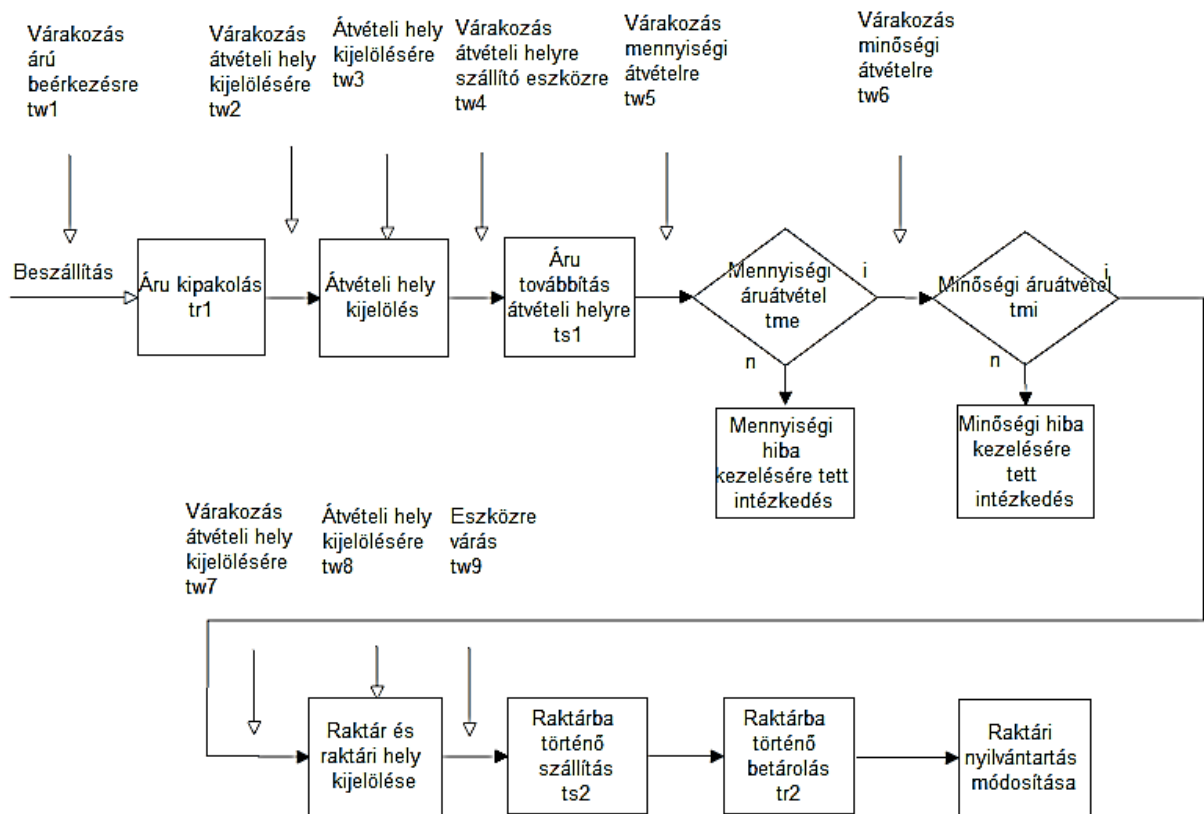
Az adatokat több felhasznált szakirodalom alapján állapítottam meg, az értékeket szemléletesség kedvéért kerekítettem és táblázatba foglaltam.

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 [73].

Legyen λ az időegység alatti beérkezések számának várható értéke, ez a *beérkezési ráta* és $\bar{t}_a$ a beérkezési időközök várható értéke és μ 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:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4.4.1.1)$$

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}_a} \quad (4.4.1.2)$$



4.4.1.1. Ábra. Determinisztikus betárolási folyamat folyamatábrája

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ai}}{m} \quad (4.4.1.3)$$

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_b} \quad (4.4.1.4)$$

$$\bar{t}_b = \frac{\sum_{i=1}^m t_{bi}}{m} \quad (4.4.1.5)$$

Meg kell jegyezni, hogy a szállító járművek raktárba érkezését sok, néha kiszámíthatatlan tényező befolyásolja. Ha egyenletes járműbeérkezést feltételezünk, akkor [74] alapján:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \text{ így } \int_0^t \lambda(t) dt = \lambda t. \quad (4.4.1.6)$$

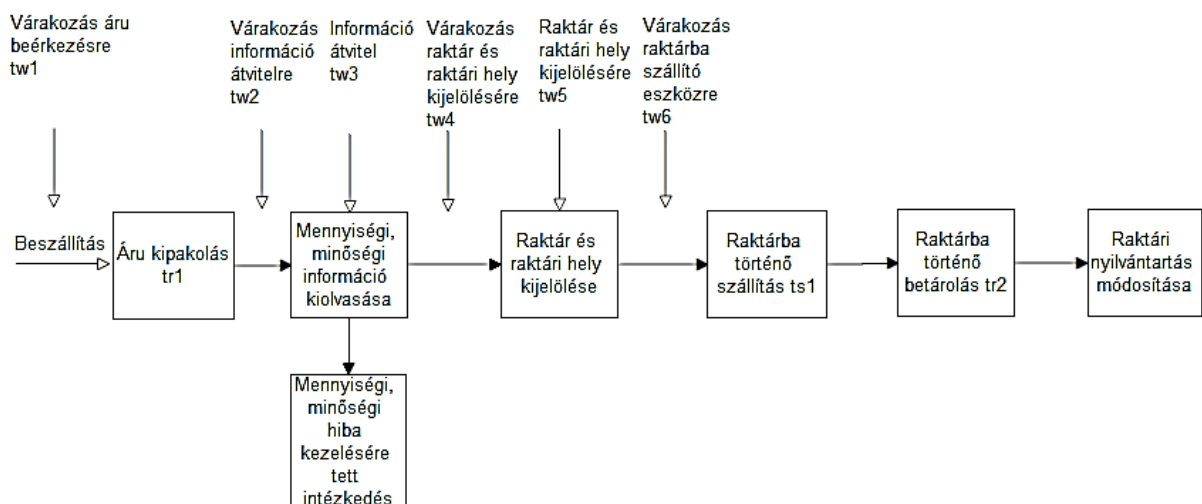
4.4.2 DETERMINISZTIKUS FOLYAMAT OERK CPS ALKALMAZÁSA ESETÉN

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.

4.4.2.1. Táblázat. Determinisztikus betárolási folyamat lépései CPS használata esetén

Lépés	Tevékenység	Jelölés	Időszükséglet [sec]	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 egységalkomány képző eszközben tárolt adatok kiolvasásával feleslegessé válik.



4.4.2.1. Ábra. Determinisztikus folyamat OERK CPS használata esetén

4.4.3 FOLYAMATOK KIÉRTÉKELŐ ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

Logisztikai folyamatok kiértékelésére többféle módszer is alkalmazható. Az összehasonlításhoz 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 [75].

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 az előzőekben ismertetett (4.4.1 és 4.4.2) 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.

$$T_A = \sum_{i=1}^n t_{wi} + \sum_{j=1}^m t_{sj} + \sum_{k=1}^l t_{rk} + t_{Me} + t_{Mi} \rightarrow min \quad (4.4.3.1)$$

ahol:

- 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

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

$$f_{sz} = \frac{T_{ie}}{T_A} \quad (4.4.3.2)$$

ahol:

- T_{ie} időegység = 1 óra = 3600 sec

KÖLTSÉG ALAPÚ MINŐSÍTÉSI MÓDSZER

Nyilvánvalóan fontos cél, hogy a folyamat költségráfordítása K_A minimális legyen, azaz

$$K_A = \sum_{i=1}^n k_{Wi} + \sum_{j=1}^m k_{Sj} + \sum_{k=1}^l (k_{Rk} + k_{Me} + k_{Mi}) \rightarrow \min! \quad (4.4.3.3)$$

ahol:

k_{Wi} i - edik helyen történő várakozás költsége

k_{Sj} j - edik helyen történő szállítás költsége

k_{Rk} k - adik helyen történő rakodás költsége

k_{Me} mennyiségi vizsgálat költsége

k_{Mi} minőségi vizsgálat költsége

Eszközök állásidejének, k_W várakozásának a költsége:

$$k_W = \sum_{i=1}^n t_{Wi} \cdot k_A \quad (4.4.3.4)$$

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:

4.4.3.1. Táblázat. Folyamatok összehasonlítása

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

A 4.4.3.1. 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, INTELLIGENS ESZKÖZÖK ENERGIAELLÁTÁSA

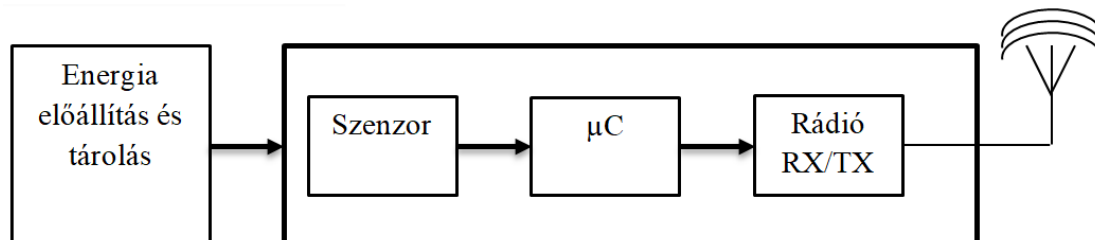
Célom ebben a fejezetben az okos eszközök önálló, saját energiával való ellátásának megoldása.

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. Szenzorcsomópontok, okos egységrakomány 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 –as 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.

5.1 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A. Kamagaew, T. Kirks és Prof. M. ten Hompel 2011 –ben publikáltak egy mérési sorozatot [76] amelyben önellátó okos berendezések energiaellátására szolgáló fizikai mennyiségeket, így gyorsulás / rezgés, fény és hőmérsékletváltozás mértékét mérték görgős pályán beltéri anyagáramlás során. Megállapították, hogy görgőpályás anyagáramlási folyamat során a fényenergiából áll a legtöbb rendelkezésre. Gyorsulás / rezgés mérés során a szerzők mértek ugyan jelentős energiájú lökéseket, de ezeket nem tekintik használhatónak, ugyanis nem tartják

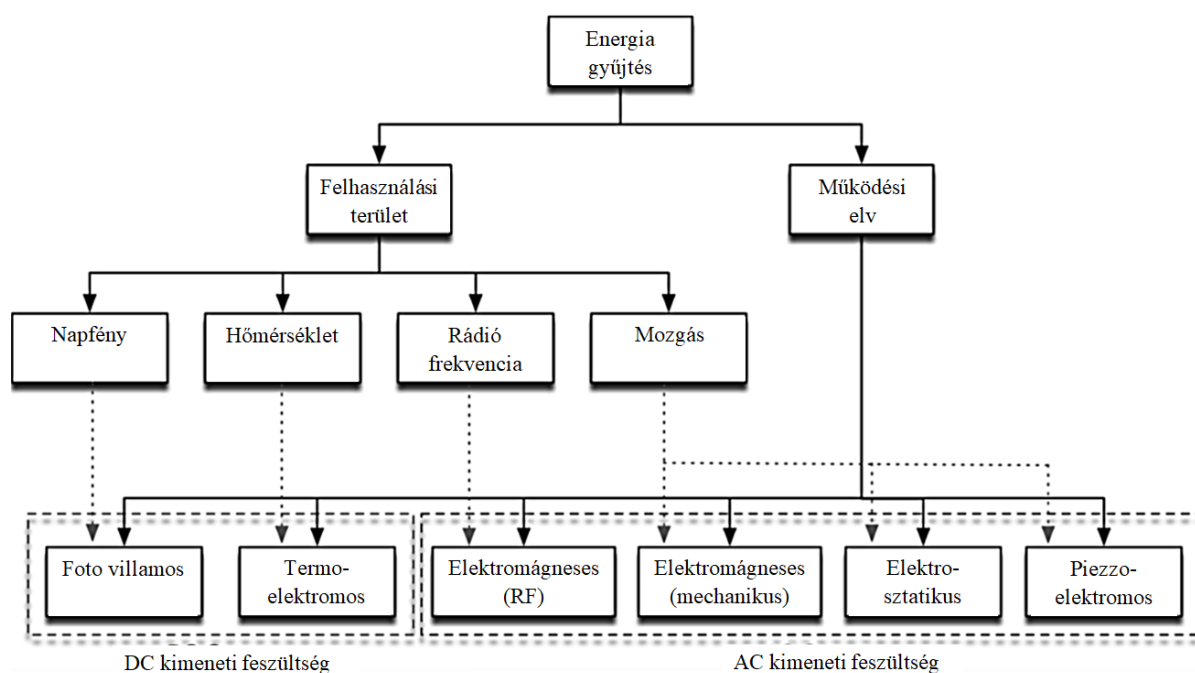
ezek energiáját mikro méretű energia kinyerő eszközzel (micro-energy-harvester, MEH) kinyerhetőnek [76]. A szakirodalomban nem találtam más felhasználható, megfelelő szinten dokumentált irodalmat, ami a kutatásom során további támpontot adna. Ezért az előző állítást cáfolom meg a 6. fejezetben.

Az 5.2 és 5.3 –as fejezetekben bemutatom az elektronika területén ismert energiakinyerő berendezéseket.

5.2 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 [77].

Ebben a fejezetben kifejezetten az elektromágneses mozgásgyűjtési technikákat mutatom be, mivel az anyagáramlási rendszerekben ez az egyetlen teljes körűen használható energiaforrás. Energiagyűjtő rendszereket az 5.2.1. ábrán látható módon csoportosíthatjuk.



5.2.1. Ábra. Környezeti energiát használó, energiagyűjtő technológiák (energy harvesting) hierarchiája [77]

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

5.3 VIBRÁCIÓ

Anyagáramlási folyamatok során szinte kivétel nélkül lökések és rezgések lépnek fel [78]. A mechanikai rezgések elektromos árammá való átalakítását egy ideig mikrofonnal, gyorsulásmérővel, geofonokkal és szeizmográfokkal végezték. Ezen technológiáknak az energiaelőállításához való optimalizálása viszonylag új kutatási terület és irodalma még szegényes.

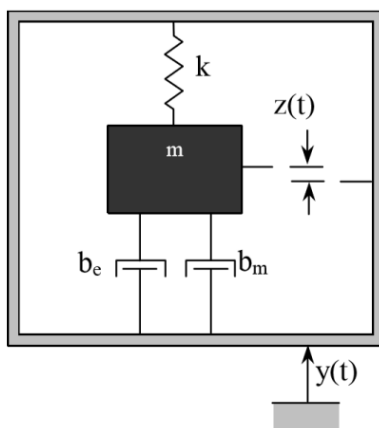
5.3.1 ÁLTALÁNOS VIBRÁCIÓ-VILAMOSSÁG ÁTALAKÍTÓ MODELL

A vibráló tömeg kinetikus energiájának elektromos energiává történő átalakításának általános modelljét felírhatjuk a lineáris rendszerelmélet alapján anélkül, hogy megneveznék az átalakítási mechanizmus. Az 5.3.1.1. ábra mutatja azt az egyszerű modellt, amelynek a egyenletét Williams és Yates [79] az (5.3.1.1). egyenletben adtak meg.

$$m\ddot{z} + (b_e + b_m)\dot{z} + kz = -m\ddot{y} \quad (5.3.1.1)$$

amelyben:

- z : rugó hosszirányú méretváltozás
- y : bemeneti elmozdulás
- m : tömeg
- b_e : elektromosan indukált csillapítási együttható
- b_m : mechanikus csillapítási együttható
- k : rugóállandó



5.3.1.1. Ábra. Az általános rezgés átalakító vázlata [80]

Egy keretben m tömegű test k egy rugóval van felfüggesztve és az m tömeg 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 tömegből 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 [80].

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 (5.3.1.2) egyenlet adja meg [80].

$$P = \int_0^v F dv \quad (5.3.1.2)$$

A jelenlegi esetben, $F = b_e \dot{z} = b_e v$. Ekkor a Roudny disszertációja szerint (5.3.1.2) egyenlet a következő képen változik meg:

$$P = b_e \int_0^v v dv \quad (5.3.1.3)$$

Az 5.3.1.3 egyenlet megoldása nagyon egyszerű $\frac{1}{2} b_e v^2$. Ha $v \rightarrow \dot{z}$ helyettesítjük az ekvivalens $\dot{z}$ akkor az 5.3.1.4 -es kifejezéshez jutunk [80].

$$P = \frac{1}{2} b_e \dot{z}^2 \quad (5.3.1.4)$$

Williams és Yates [80] bebizonyították, hogy a környezeti rezgésnek kitett rezonáns energia átalakító maximális kimeneti teljesítményét akkor éri el, amikor a tömeg-rugó rendszer ω_n saját frekvenciája megadható

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.3.1.5)$$

alakban és ez megegyezik a környezetből ható gerjesztő erő ω frekvenciájával, $\omega = \omega_n$. A rendszer szinuszos jellel való külső gerjesztéssel elméletileg elérhető maximális kimeneti teljesítménye ekkor [106]:

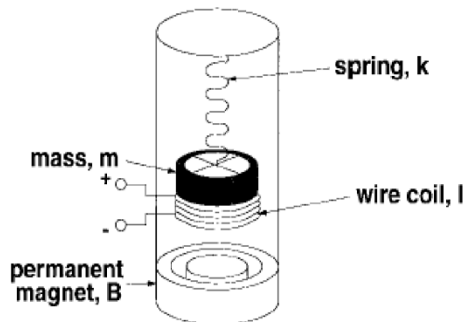
$$P_{max} = \frac{m \xi_e a^2}{4 \omega_n (\xi_m + \xi_e)^2} \quad (5.3.1.6)$$

P_{max} : maximális kimeneti teljesítmény
 m : vibráló tömeg a rendszerben
 a : a tömeg által elérhető maximális kitérés
 ω_n : a rendszer természetes frekvenciája
 ξ_m : mechanikus csillapítási koefficiens
 ξ_e : elektromos csillapítási koefficiens

Ennek az elektromechanikai erőnek az indukálásához mechanikai-elektromos átalakítót kell kifejleszteni, amely a mechanikai energia egy részét kinyeri a tömegből és elektromossá alakítja [81].

5.3.2 ELECTROMÁGNESES (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 [80]. Az Amirtharajahból és Chandrakasanból [82] vett ilyen típusú átalakítást alkalmazó készüléket az 5.3.2.1. ábra mutatja.



5.3.2.1. Ábra. Elektromágneses energia átalakító. [82]

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:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (5.3.2.1)$$

ahol:

ε = indukált feszültség,

Φ_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 képen írhatunk fel:

$$V_{oc} = NBl \frac{dy}{dt} \quad (5.3.2.2)$$

ahol:

N = a tekercs menetének száma

B = mágneses mező erőssége

l = tekercs hossza

y = távolság amit a tekercs a mágneses mezőben megtesz [80]

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 [83]:

- 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

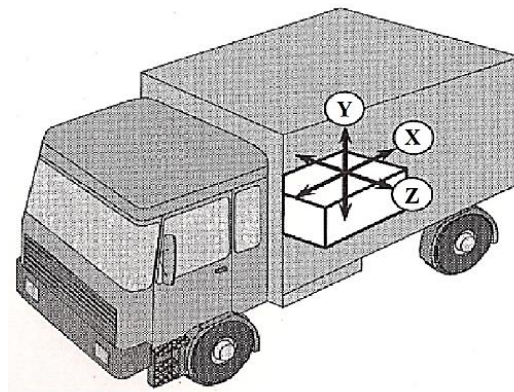
Szállításnál a vibrációk általában a szállítóeszköz rugó rendszeréből, a járművön nem kiegyenlített súlyok mozgásából, az útfelület egyenetlenségéből és ezek keverékéből jön létre [83].

Ezek a vibrációk lehetnek periodikusak, tartalmazhatnak nem periodikus komponenseket is, frekvenciájuk a sebesség függvényében változhat és az adott rakományra általában nem egy irányból hatnak [84].

5.4 ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSÉNEK MÉRÉSE

A fejezetben célom 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 5.4.1. ábrán ábrázoltaknak megfelelően x hosszirányú, y függőleges és z keresztirányú irányból hatnak az áruira.



5.4.1. Ábra. x, y, és z irányú erők szállítás során

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.

5.4.1 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

$$X(t) = X(t + T) \quad (5.4.1.1)$$

A harmonikus mozgás matematikai leírása

$$X(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (5.4.1.2)$$

amelyben

t : idő

A : Amplitúdó, a kitérés maximális értéke

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

φ_0 : fázisszög

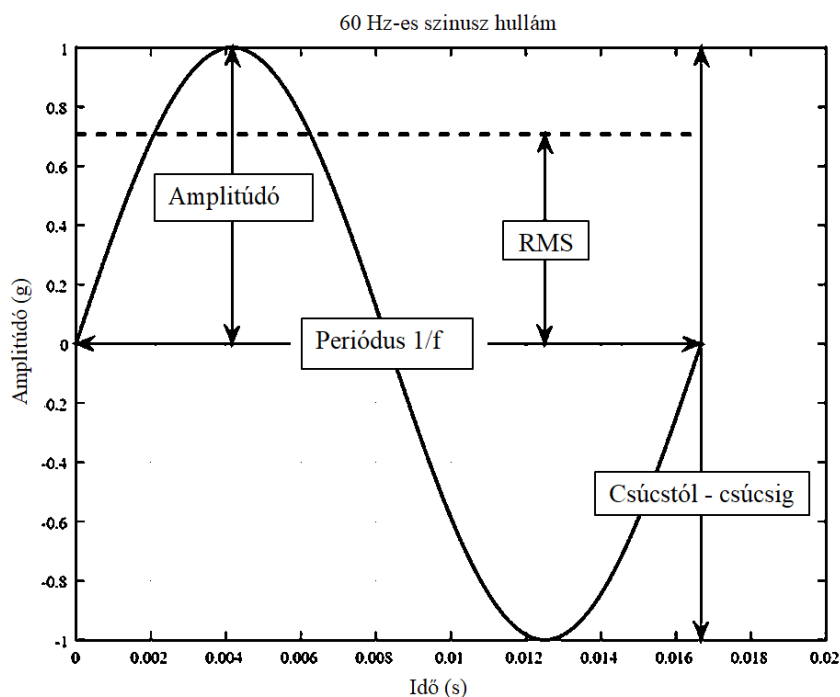
ω : $\frac{2\pi}{T} = 2\pi * \frac{1}{T} = 2\pi * f$

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

A csúcértéket 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 csúcérték helyett általában az ún. effektív értéket (RMS) használjuk. Ez definíció szerint:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [x(t)]^2 dt} \quad (5.4.1.3)$$



5.4.1.1. Ábra. Rezgésmérés paraméterei időtartományban

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

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos kt + B_k \sin kt) \quad (5.4.1.4)$$

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

$$\sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega \cdot t + \varphi_n) \quad (5.4.1.5)$$

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.

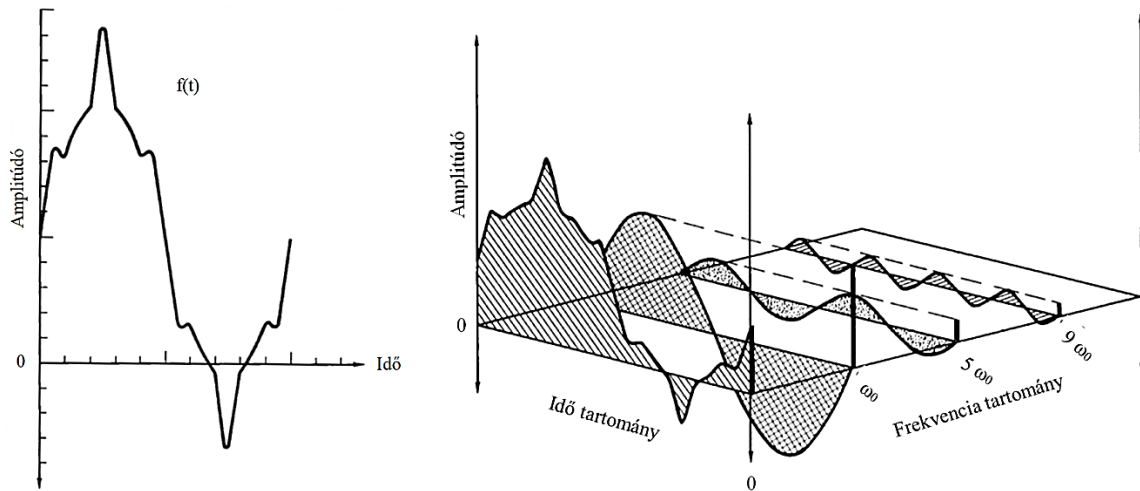
Fourier transzformáció használatával az $x = x(t)$ idő függvény az idő a frekvencia tartományában a következő képen adható meg:

$$F[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt = X(\omega) \quad (5.4.1.6)$$

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

$$F^{-1}[X(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega = x(t) \quad (5.4.1.7)$$

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



5.4.1.1. Ábra. Egy időben változó jel

5.4.1.2. 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

$$\int_{-\infty}^{\infty} [x(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} [X(\omega)]^2 d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} X^2(\omega) d\omega \quad (5.4.1.8)$$

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

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)X^*(\omega)d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega \quad (5.4.1.9)$$

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

Periodikus jeleknél a (5.4.1.9) –es egyenletet lehet használni az átlagos teljesítmény P_{AVG} meghatározására, $[x(t)]^2$ a t_1 – től a t_2 intervallumban való integrálásával.

$$P_{AVG} = \frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} f^2(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^T f^2(t)dt = \frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} x^2(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t)dt \quad (5.4.1.10)$$

ahol T a jel periódusa.

A teljesítményt a következőképpen lehet megadni. Mivel

$$\omega(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} P(t)dt \quad (5.4.1.11)$$

ezért a teljesítmény, az energia változása az idő mértékében

$$P(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (5.4.1.12)$$

$|X(\omega)|^2$ és $P(t)$ -t a szakirodalomban energia sűrűség, spektrális sűrűség vagy leginkább spektrális erő sűrűségnek nevezzük (Power Spectral Density PSD) [85].

Teljesítménysűrűség Spektrum (Power Spectral Density PSD) lényege:

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.

5.4.2 ANYAGÁRAMLÁSI ESZKÖZÖK REZGÉSMÉRÉSE, MÉRÉSI SOROZAT ISMERTETÉSE

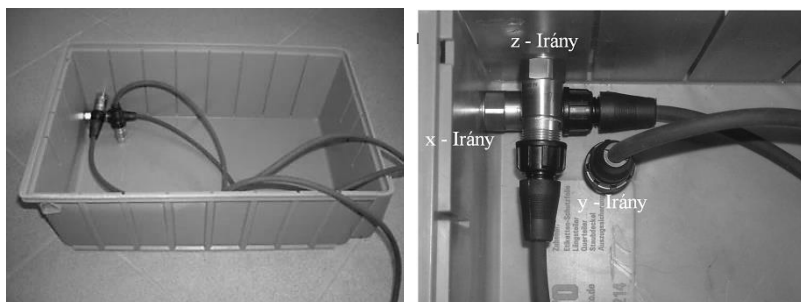
A kutatás folytatásaként arra a kérdésre kerestem a választ, hogy áruszállítás során milyen vibrációk és rezgések keletkeznek a különféle szállító berendezésekben a teljes ellátási láncban. Ezt olyan módon ismertem meg, hogy anyagáramlási eszközökön rezgésmérést végeztem. Követelmény volt, valóságos szállítóeszközökön, reális körülmények között fellépő rezgőmozgások megismerése. A mérési sorozatban szereplő szállító eszközöket az 5.4.2.1 táblázat mutatja.

5.4.2.1. 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 5.4.2.1. ábrán a készülék látható. A mérések során ezt az egységet használtam a vizsgált anyagáramlási folyamatokhoz, úgy hogy a szállító berendezések ezt szállították rakományként.



5.4.2.1. Ábra. Egységgrakomány képző a gyorsulásmérő szenzorokkal

5.4.3 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 $0 \text{ dB} = 1 \text{ W}$, $-10 \text{ dB} = 100 \text{ mW}$, $-20 \text{ dB} = 10 \text{ mW}$ és $-30 \text{ dB} = 1 \text{ mW}$ jelent az adott frekvencián.

5.4.3.1. 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.

5.4.3.2. 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
Villástargonca (Yale)	Hosszirány	22 g	5 ms

	Függőleges irány	51 g	10 ms
	Oldalirány	12 g	5 ms
Teherautó a városban, rossz útminőség	Hosszirány	1 g	10 ms
	Függőleges irány	10 g	3 ms
	Oldalirány	1 g	10 ms
Teherautó autópályán, jó útminőség	Hosszirány	0,2 g	2 ms
	Függőleges irány	1,35 g	2 ms
	Oldalirány	0,45 g	5 ms
Teherautó autópályán, rossz útminőség	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.

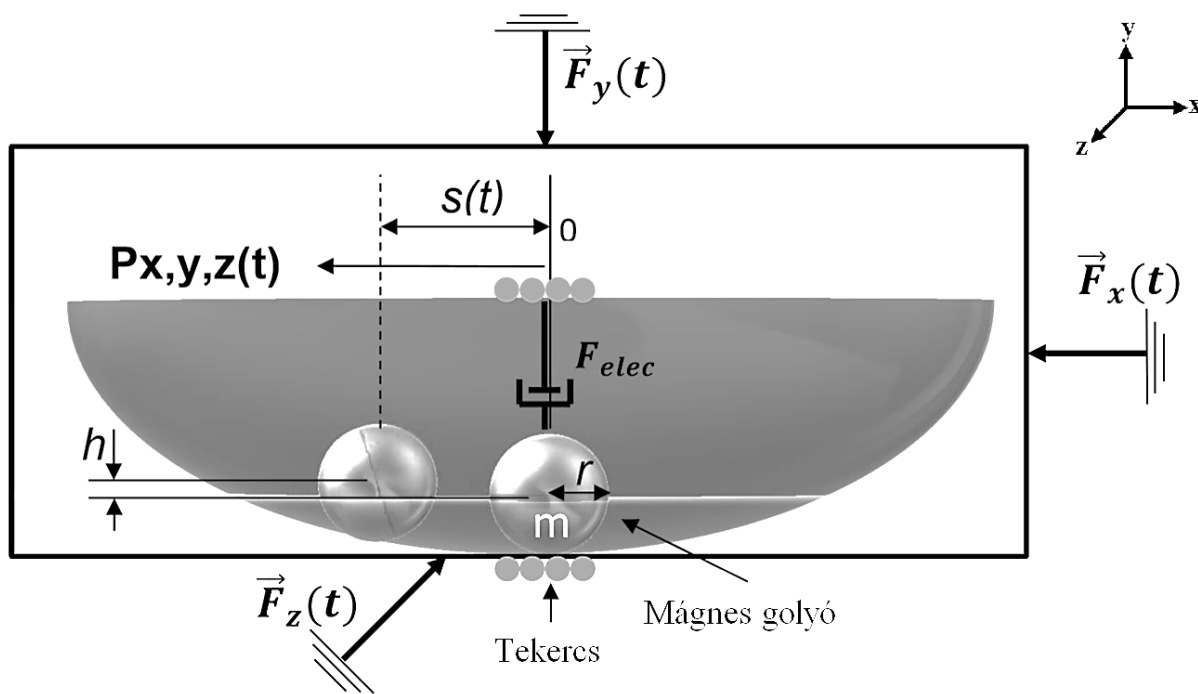
A következő fejezetben ilyen jellemzőkkel rendelkező mechanikus erőhatások energiájának kicsatolására szolgáló, saját tervezésű, eszköz modelljét mutatom be.

6 ÚJ ENERGIAKICSATOLÓ 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 6.1.1. 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.



6.1.1. 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 koordináta-rendszerben) vektoriális eredője:

$$\vec{F}_{eredő}(t) = \vec{F}_x(t) + \vec{F}_y(t) + \vec{F}_z(t) \quad (6.1.1)$$

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

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

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (6.1.2)$$

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

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (6.1.3)$$

ha a golyó forgását is figyelembe vesszük, akkor

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}\Theta\omega^2 \quad (6.1.4)$$

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

$$W = \int_g \vec{F} d\vec{s} \quad (6.1.5)$$

u.n. ívhossz szerinti vonalintegrállal számítható ki.

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

$$\sum_{i=1}^n W_{eredő,i} = \Delta E_{kinetikus} \quad (6.1.6)$$

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

$$E_{kinetikus} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \quad (6.1.7)$$

ahol

$$\vec{v} = \{v_x; v_y; v_z\} \quad (6.1.8)$$

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

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F \Delta s}{\Delta t} \quad (6.1.9)$$

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

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E_{kinetikus}}{\Delta t} = \frac{m}{2} (2v_x \frac{dv_x}{dt} + 2v_y \frac{dv_y}{dt} + 2v_z \frac{dv_z}{dt}) \quad (6.1.10)$$

Átalakítva a következő alakot kapjuk:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E_{kinetikus}}{\Delta t} = \left(m \frac{dv_x}{dt} \right) v_x + \left(m \frac{dv_y}{dt} \right) v_y + \left(m \frac{dv_z}{dt} \right) v_z \quad (6.1.11)$$

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

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E_{kinetikus}}{\Delta t} = F_x v_x + F_y v_y + F_z v_z \quad (6.1.12)$$

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

$$dE_{kin} = F_x dx + F_y dy + F_z dz \quad (6.1.13)$$

vagy

$$\Delta E_{kin} \cong F_x \Delta x + F_y \Delta y + F_z \Delta z \quad (6.1.14)$$

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

$$m \vec{a}_M = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_{eredő} \quad (6.1.15)$$

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

A rendszer mozgásegyenlete:

$$m \ddot{s}(t) + \vec{F}_{lejtő}(t) + \vec{F}_{elek}(t) = F_{eredő}(t) \quad (6.1.16)$$

ahol

m :	a mágnes golyó tömege,
$\ddot{s}$:	a golyó által megtett út idő szerinti második deriváltja, azaz a gyorsulás
$\vec{F}_{lejtő}$:	mg
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 ütest 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 [86]. 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 [87]:

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (6.1.17)$$

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

$$\varepsilon_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d}{dt} \left(\int_A B dA \right) \quad (6.1.18)$$

vagy más formában felírva

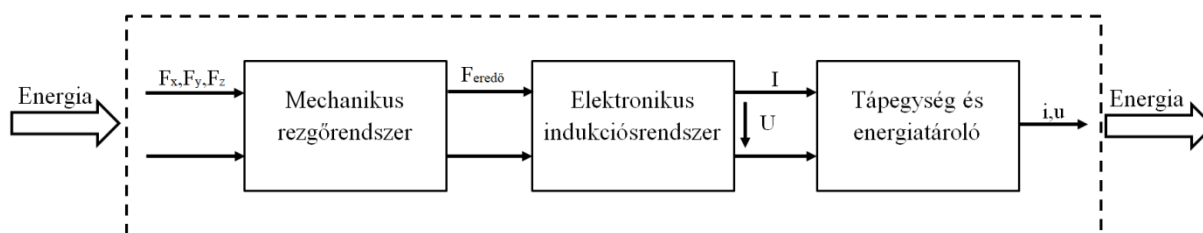
$$\varepsilon_{ind} = N \oint_L \vec{E} d\vec{s} \quad (6.1.19)$$

ahol

ε_{ind} :	elektromotoros erő (terheletlen, üresjáratú feszültség)
N :	hurkok száma
$\vec{E}$:	indukált elektromos térerősség
$d\vec{s}$:	elmozdulás
Φ_B :	mágnes golyó indukció fluxusa
A :	hurok felületének nagysága
B :	mágneses mező [105]

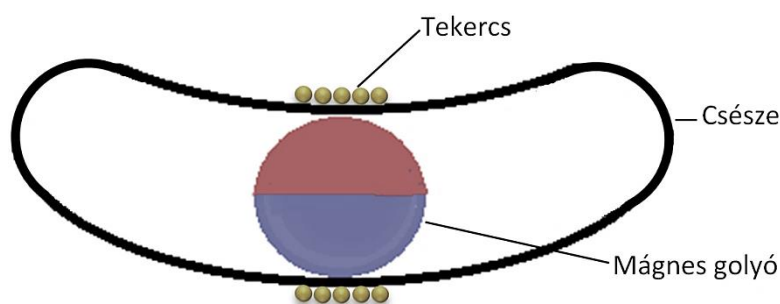
6.2 ENERGIAKICSATOLÁS MÓDJA

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:



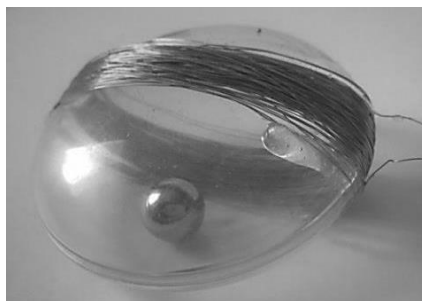
6.2.1. Ábra. Mechanikai / villamos energia konverter modellje

Az elektromos indukciós rendszer blokkvázlata:



6.2.2. 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:

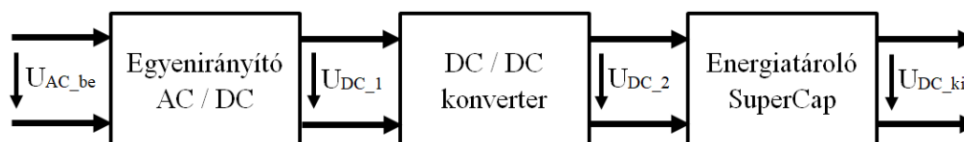


6.2.3. Ábra. A mechanikus rezgőrendszer és elektromos indukciósrendszer deszkamodellje

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 kimeneti feszültség alacsony AC váltakozó feszültség. Tervezni kellett egy olyan tápegység és energiatároló egységet, amelyet a 6.3.1. ábra szemléltet és amelynek a működése a következő:



6.3.1. 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 diódanként 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 F ($10000 \text{ mF} = 10\,000\,000 \mu\text{F}$) kapacitású kondenzátor pl. 5 V -tal feltöltve akár 125 Joule ($E = 1/2 * C * U^2$) energiát is képes tárolni, ami 125 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 [71].

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 [88]:

$$Késés = 1 - \frac{T_{szállítás_időtartam} - T_{szállítás_időigénye}}{T_{szállítás_időtartam}} \quad (7.1)$$

A szakirodalom szerint, hagyományos eszközökkel a szállítás időigényét pontosan nem lehet meghatározni [89]. A pontatlan beérkezésből, késésből következő várakozási időknek nagyon kedvezőtlen kihatásuk van [90] legfontosabb logisztikai feladat tehát ennek a csökkentése.

A szállító járművek célállomásra, raktárba való beérkezésekkor tapasztalható késésekért általában a következő okok felelősek [91], [89]:

- 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.

7.1 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

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 λ paraméter az eloszlás várható értéke, ezért a várható érték becslését 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 λt paraméterű homogén Poisson eloszlást követnek [62], amely:

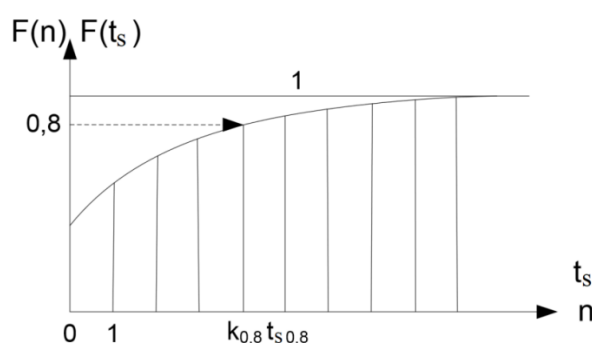
$$P_k(t) = \frac{\lambda^k(t)}{k!} e^{-\lambda} \quad (7.1.1)$$

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:

$$\bar{t}_w = \frac{\sum_{i=1}^m t_{wi}}{m} \quad (7.1.2)$$

ahol m – a kiszolgált igények száma. Természetesen az anyagáramlási rendszereknél alapvető célunk, hogy a várakozási időt minimalizáljuk, vagyis $\bar{t}_w \rightarrow \min$ [62]:

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



7.1.1. Ábra. Sorban álló egységekre vonatkozó eloszlásfüggvény [92]

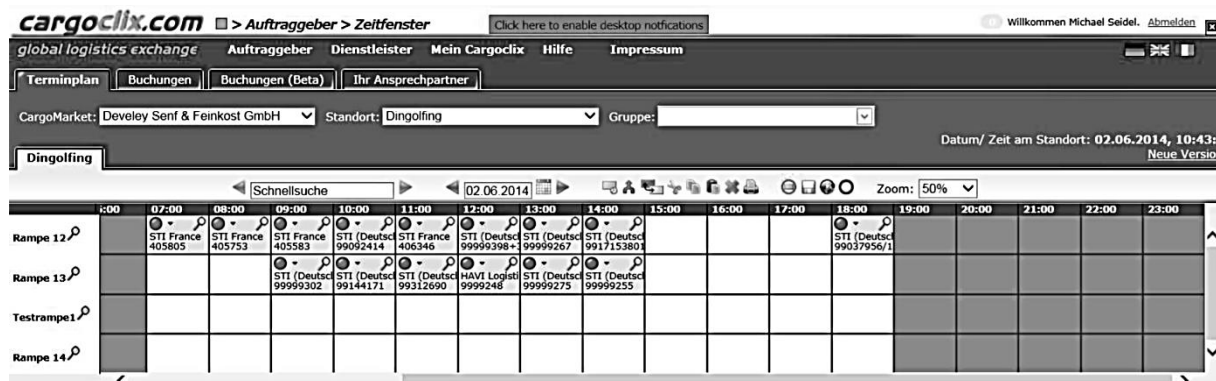
Az eloszlásfüggvények alapján meg tudjuk határozni a beérkezések időközzeit. Exponenciális eloszlásúnak tekinthetők bizonyos időtartamok, várakozási idők,.. Gyakorlatban akkor használjuk, ha valószínűségi változó az esemény bekövetkezéséig eltelt időtartamot jelöli és az eredmény bekövetkezésének esélye 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 7.1.1. 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 [92].

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 [93]. 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 [93].

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 tervezhetők, ezáltal hatékonyabbá válnak.



7.1.2. Ábra. Cargoclix időkapu management rendszer [94]

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 érkezik a megadott időkapura [93].

A [95] 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) optimalizálására 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

7.2 RAKTÁRAK MŰKÖDÉSÉNEK OPTIMÁLÁSÁHOZ ALKALMAZHATÓ TECHNOLOGIÁK

7.2.1 KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK

Európa országában az útkezelő és üzemető társaságok az úthálózat mentén folyamatos üzemmel működő forgalomszámláló automata mérőhelyek segítségével, a forgalomszámlálás módszerét alkalmazva, forgalom számlálást végeznek [96]. 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 [97].

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 [98].

7.2.2 ÚJ TECHNOLOGIÁK

Az új technológiák és a mobil eszközök 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 [98]:

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 [99], [100].

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 időjárási viszonyok (pl. ónos eső) és a pontos forgalmi figyelemztetések továbbítását is [101].

7.2.3 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 idő kódokat 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.

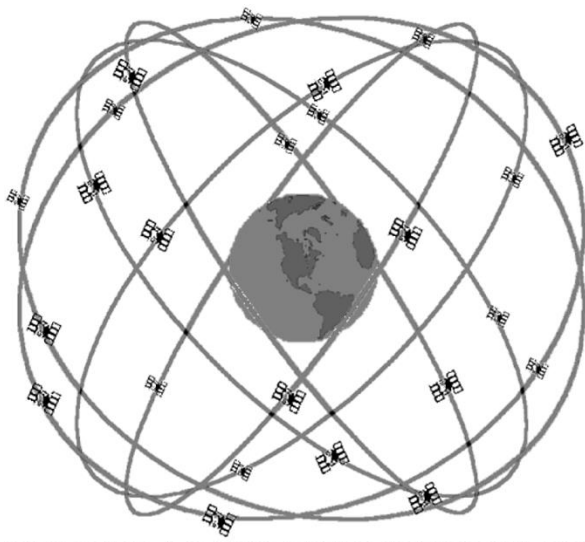
A rendszer felépítése:

- 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 [102].

A GPS gépjárműkövetés számos előnyt jelent elsősorban a gépjárműflottával – rendelkező cégek számára. Egy átlátható, tervezhető, és ellenőrizhető logisztikai rendszert biztosít gépjárművek 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.



7.2.3.1. 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 csökkenthetők [102].

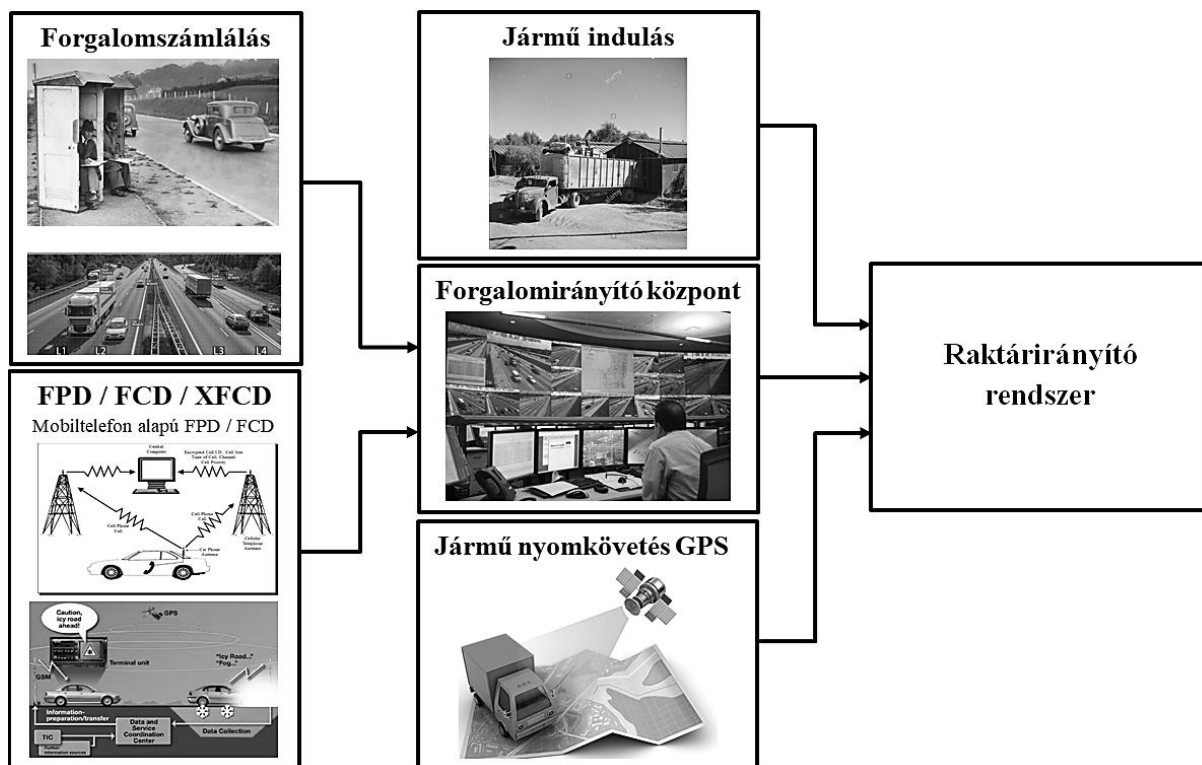
7.3 AZ ÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUM ÚJFAJTA MEGHATÁROZÁSA

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:

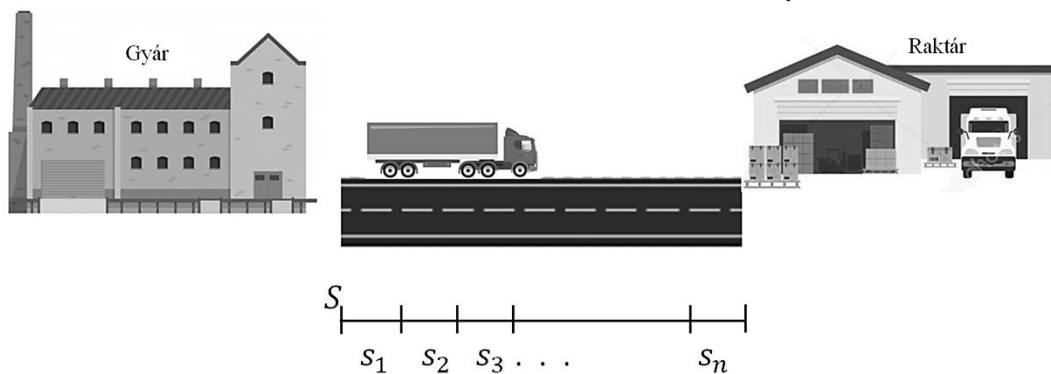
- A szállító jármű indulásának időpontja,
- Közúti közlekedés paraméterei, mint pl.: forgalom sebessége (v), forgalom sűrűsége,
- A szállítójármű aktuális pozíciója.

Ennek folyamatábrája a 7.3.1. ábrán látható.



7.3.1. 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 $t_{s_i} = \frac{s_i}{v_i}$.



7.3.2. Ábra. S út felosztása s_i szakaszokra

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

$$s_i = v_i \cdot t_i \quad (7.3.1)$$

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

$$s_{i+1} = v_{i+1} \cdot t_{i+1} + s_i \quad (7.3.2)$$

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

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{v_i} \quad (7.3.3)$$

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:

$$t = t_{tény} - t_{terv} + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{v_i} + \sum t_{szünetek} \quad (7.3.4)$$

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 [103]:

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n v_j}{n} \quad (7.3.5)$$

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:

$$t_{hátraévvő\ idő} = \sum_{i=k+1}^n \frac{S_i}{v_{i,pill}} \quad (7.3.6)$$

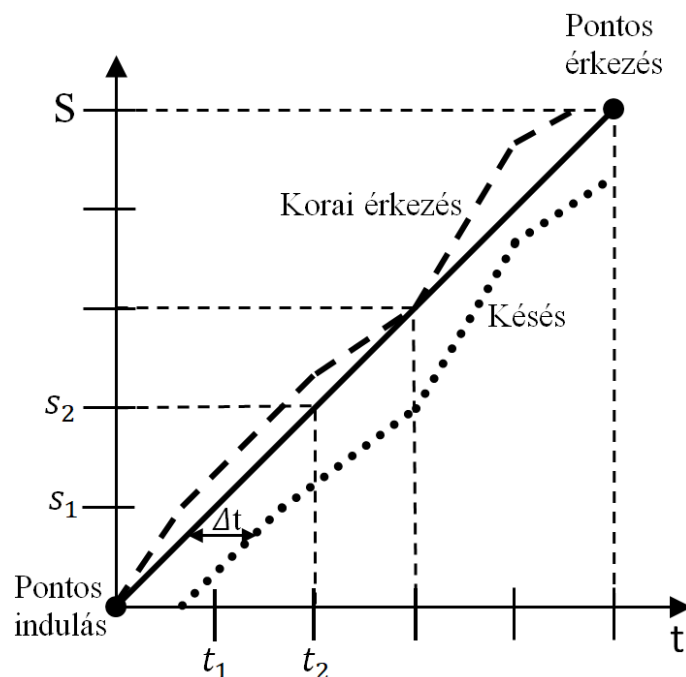
alakban

$t_{tervezett}$: Tervezett indulás időpontja

$t_{tényleges}$: Tényleges indulás időpontja

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

A 7.3.3. 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 Δt 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.



7.3.3. Ábra. Példák beérkezésekre

7.4 KISZOLGÁLÁSOK IDŐPONTJAINAK DINAMIKUS KIOSZTÁSA A BEÉRKEZÉSI IDŐINTERVALLUMOK ALAPJÁN

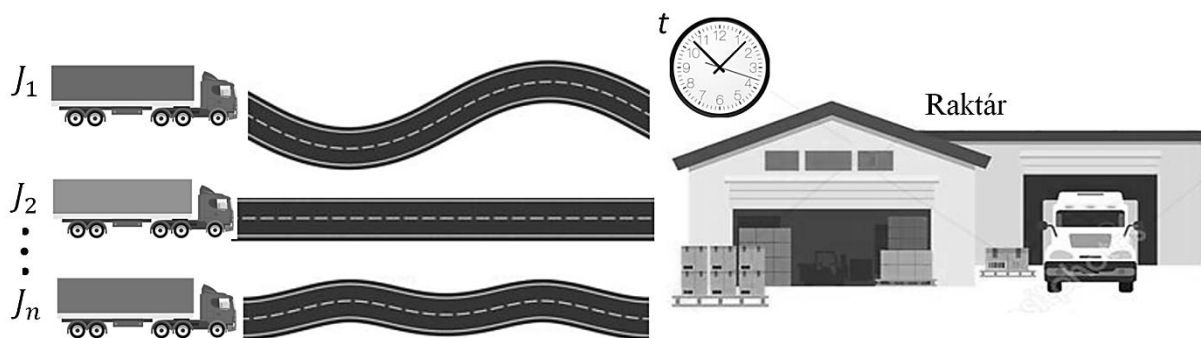
Az előző fejezetben ismertettem egy a beérkezési idő pontosabb meghatározására alkalmazható eljárást. Ebben a fejezetben ismertetem az előző eljárás felhasználásával elkészíthető rendszert, amely az idő kapu management továbbfejlesztésére alkalmas, ezzel optimalizálja a jármű beérkezéseket.

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.

$$I_i \leftrightarrow J_i \quad (7.4.1)$$

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



7.4.1. 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.

$$t_{J_i} \cong t_{I_i} \Leftrightarrow I_i \leftrightarrow J_i \quad (7.4.2)$$

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

$$t_{J_i} \neq t_{I_i} \Rightarrow I_i \nleftrightarrow J_i \quad (7.4.3)$$

Mivel I_i időkapu szabaddá vált, de a raktárban a várakozási időket célszerű minimálni 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:

$I1 := tJ[1];$

For $i := 2$ to n do begin

If $tJ[i] < I1$ then

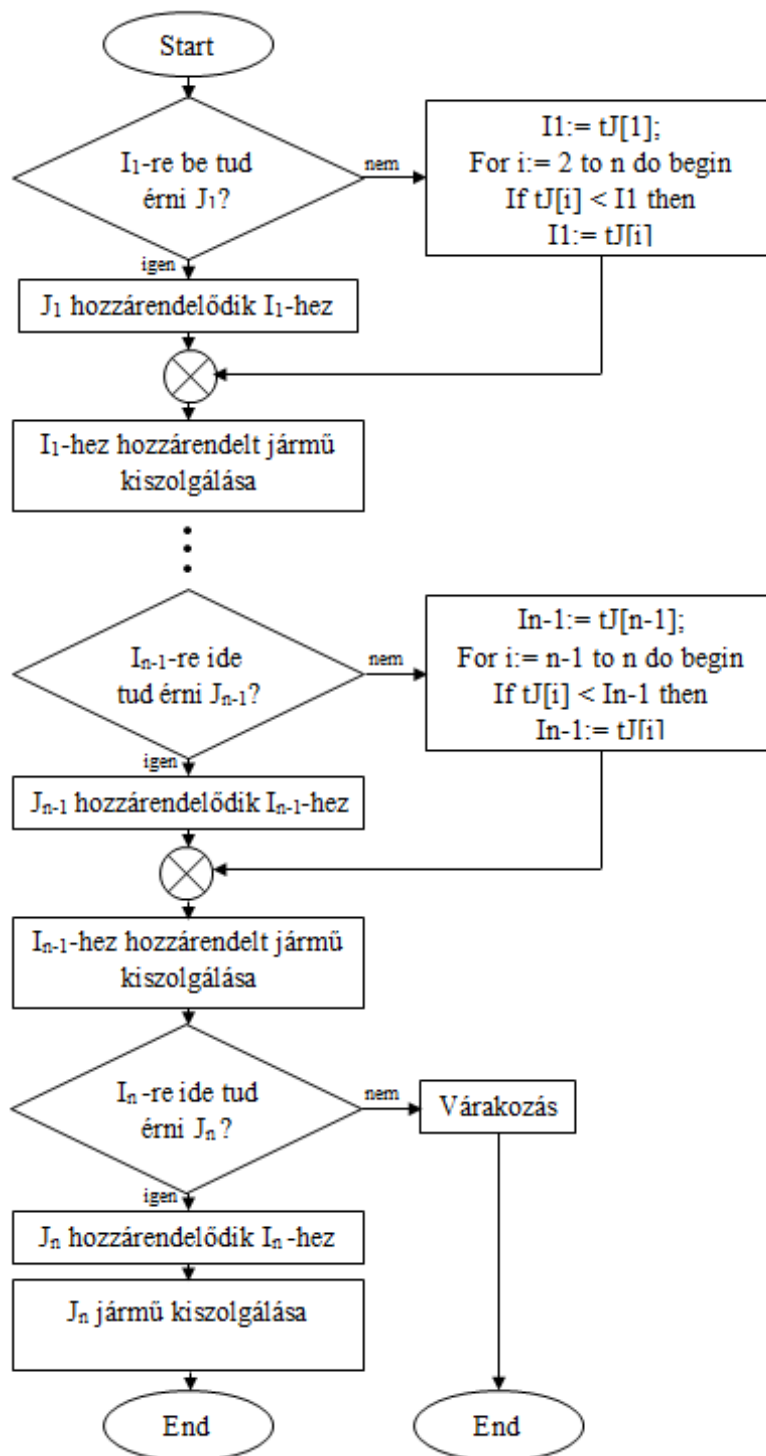
$I1 := tJ[i];$

ekkor,

$$t_{\min J} \leftrightarrow I_1 \quad (7.4.4)$$

Az utolsó időkapu I_n esetén nem kell elvégezni a minimum keresést, ha a bejelentkezett jármű oda tud érni 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.



7.4.2. Ábra. Járművek dinamikusan hozzárendelése időkapukhoz folyamatábra

8 ÖSSZEFOGLALÁS ÉS A KUTATÁS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

Az értekezésben a legmodernebb technikai eszközök alkalmazásának raktári folyamatokra való alkalmazását és hatását vizsgáltam meg. A vizsgálatnál elsősorban a logisztikai szempontokat vettem figyelembe. Logisztikai szempontból a raktári folyamatokban lévő várakozási idők és a folyamatok költségeinek csökkentése volt a cél. Az általam tervezett és megépített deszkamodell szinten elkészített Mobil-Kiber-Fizikai eszközt ismerttettem, gyakorlati körülmények között kísérleteket végeztem és matematikai modell megalkotásán keresztül bemutattam, hogy egy D/D/1-es folyamatban lévő várakozási idők és a folyamatok költségei jelentősen csökkenthetők és a raktárak logisztikai teljesítménye számottevően növelhető.

Anyagáramlási eszközökön végzett rezgések mérési eredményeiből megállapítottam, hogy anyagáramlási folyamatok során egy széleskörűen használható periodikus rezgés nem létezik, viszont nem periodikus, tranziens, lökésszerű erőhatások nagy számban keletkeznek.

Ezek mozgási energiájának villamos energiává alakítására megalkottam egy szabadalmi bejelentésre előkészített energiakicsatoló és átalakító rendszer modelljét. A saját készítésű deszkamodell segítségével igazoltam ennek a gyakorlatban való jó alkalmazhatóságát, hatékonyságát és működését. Ez az energiakicsatoló és átalakító berendezés alkalmas a Mobil-Kiber-Fizikai eszközök áramigényének ellátására, kis helyigényű és sorozatgyártásban is előállítható. Megjegyzem, hogy további fejlesztés után nagyobb áramok előállítására is alkalmas lehet a rendszer.

Dolgozatom záró fejezetében a szállító járművek raktárba való beérkezésének problémáját kutattam és kidolgoztam egy modellt, amellyel megmutattam, hogy hogyan lehet modern technikai eszközök segítségével a jármű beérkezéseket egy beérkezési idő alapú dinamikus időkapu alkalmazásával optimalni.

Szükségesnek tartom a gyakorlatban elvégzett, nagyszámú mérések folytatását, több jármű típussal, legfőképpen hosszú úton, tekintettel az OERK az adott járművön való elhelyezkedésére, hogy választ kapjunk a kinyerhető energia tényleges mennyiségének elemzésére. Jelentősége az, hogy az OERK-nek rendelkezésre áll –e minden pillanatban elégséges villamos energia arra, hogy a mérési eredményeket feldolgozni, ill. a nemkívánatos eseményeket minden esetben detektálni, feldolgozni tudjon. 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 OERK eszköz nem csak laboratóriumi körülmények közötti, hanem több logisztikai vállalatnál való tesztelése, hogy a valós igényeket pontosabban megismerjük, a koncepcióban szereplő komponensek paramétereinek pontosabb beállítása és finomhangolása elvégezhető legyen.

További célom a dinamikus időkapu kiosztó algoritmust, a hozzá szükséges technikai rendszerekkel összekapcsolva, raktárirányító rendszerbe integrálása és tesztelése.

9 AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

I. Tézis: A szisztematikus irodalomkutatás módszerével megvizsgáltam a logisztika területén jelenleg alkalmazott és koncepcionális szinten létező ipar 4.0 technológiák helyzetét. Megállapítottam, hogy koncepció szinten ugyan létezik olyan eszköz, amely áruszállítás során az áru minőségét befolyásoló hatásokat méri, majd a mért eredményeket később kiértékeli, de nem létezik olyan eszköz, amely anyagáramlási folyamatokban az áru minőségét befolyásoló paramétereket valós időben folyamatosan méri a kibocsájtótól a nyelőig való áruszállítás során és folyamatos minőségkiértékelést is végez. Megalkottam a Mobil-Kiber-Fizikai eszköz fogalmát és elkészítettem egy ilyen logisztikai eszköz lehetséges modelljét. Megállapítottam, hogy az általam megalkotott modell alapján működő makett készíthető és egy elkészített maketten meg is mutattam, hogy modern elektronikai alkatrészekből az áruszállítás közben az áru minőségét folyamatosan figyelő eszköz készíthető és üzemeltethető.

I.1. A szakirodalom kutatás módszerével feltérképeztem a hazai és a nemzetközi, legújabb és a korábbi szakirodalmakat. Számos olyan szakirodalmat találtam, amely a javasolt módszer alapjainak kialakításához segítséget nyújtott.

I.2. A legújabb szakirodalomban sem találtam olyan eszközt, amely szállítás során az áru minőségét befolyásoló paramétereket valós időben méri és a mért értékeket kiértékeli, ami számomra igazolta, hogy szükséges kidolgozni egy eszköz modelljét, amellyel majd a vizsgálatot folytatni tudom.

I.3. Megalkottam a Mobil-Kiber-Fizikai eszköz fogalmát, majd elkészítettem egy makettet, amely szállítás során az áru közelében ható paramétereket méri és a mért értékek valós idejű elemzését végzi.

II. Tézis: A szakirodalom felhasználásával megalkottam az új eszköz használatával egy D/D/1 –es sorban állási folyamatra egy matematikai modellt a raktári folyamatokban a várakozási idők és a folyamat költségeinek számítására.

II.1. Összehasonlítottam a hagyományos D/D/1 –es beszállítási folyamatot egy olyan D/D/1 –es folyamattal, amelyben az új eszköz és az új számítási modell alkalmazásra kerül.

II.2. Megállapítottam, hogy az új eszköz és az ezzel kapcsolatos matematikai modell alkalmazásával a raktári folyamatokban az átfutási idők 88 % - al, várakozási idők 12 % -al, a folyamat összköltsége 88 % - al csökkenthetőek.

III. Tézis: A szakirodalomban tanulmányoztam a logisztikai folyamatok során az MCPS eszköz vagy szenzorcsomópontok energiaellátásának kérdését. Megállapítottam, hogy anyagáramlási folyamatok során szinte nincs olyan egységesen használható környezetbarát eszköz, amely az említett eszközök önellátását lehetővé teszi. A Mobil-kiber-fizikai eszköz a mai vibráción alapuló áramfejlesztő eszközökkel nem működtethető, mert az anyagáramlási folyamatok zömében különböző frekvenciájú rezgések keletkeznek. Mivel az anyagáramlási folyamatok során nagy számban

létrejönnek rövid időtartalmú, de nagy energiájú tranziens jelenségek, ütések, esések, kilengések stb. formájában, amelyek energiája villamos energiává konvertálása és ezzel MCPS –ek energiaellátása lehetővé tehető.

III.1. A szakirodalom segítségével kerestem arra a kérdésre a választ, hogy logisztikai folyamatok során milyen módon biztosítható az MCPS – berendezések és szenzorcsomópontok energiaellátása.

III.2. A szakirodalomban és a gyakorlatban a logisztikai eszközök energiaellátása szinte mindig elemes vagy akkumulátoros, ami nagyon korlátozott működést és élettartamot biztosít, ráadásul karbantartást igényel és súlyosan szennyezi a környezetet.

III.3. Különböző szállító eszközökön végzett mérések elvégzésével kerestem arra a kérdésre a választ, hogy az anyagáramlási folyamatok során létezik-e olyan jellegzetes, egységes frekvenciájú vibráció, amelynek energiájának kicsatolás után az MCPS rendszerek és a szenzorcsomópontok energiaellátására alkalmas lehet.

IV. A mérések során megállapítottam, hogy anyagáramlási folyamatok során nem keletkezik egységes frekvenciájú vibráció, de nagyon gyakoriak az x, y, z – irányból érkező tranziens, lökésszerű erőhatások, amelyek energiájának villamos energiává való konvertálása után az MCPS és a szenzorcsomópontok energiaellátására használható.

IV. Tézis: Kidolgoztam és megvalósítottam, - jelenleg szabadalmi eljárás alatt lévő -, az eddigiektől eltérő elven működő, a rendszertelen, tranziens rezgéseket is kihasználó áramfejlesztő és energiakicsatoló eszközt, amely az anyagáramlási folyamatok során fellépő a tranziens erőhatások energiáját villamos energiává alakítja.

IV.1. Az irodalomkutatás során arra az eredményre jutottam, hogy az ismert energiagyűjtő (energy harvesting) eljárások a jó hatásfok elérése érdekében egy állandó frekvenciára kell hangolni és a rezonancia elvével az energiát termelni.

IV.2. Megalkottam egy a tranziens erőhatások energiájának kicsatolására alkalmas eszköz mechanikus rezgő rendszerének modelljét és annak matematikai modelljét, majd elkészítettem a modell alapján egy deszkamodellt, amelyen igazoltam a modell működését.

IV.3. Elkészítettem az energia konverter mechanikai - villamos energia konverter modelljét

IV.4. Megterveztem az energia konverter tápegységet és megalkottam az energiatárolás modelljét.

Tézis. V: Kidolgoztam egy olyan eljárást, amelyben a modern technikai eszközök alkalmazásával meghatározható a jármű beérkezések időpontja és felállítottam az ezt a folyamatot irányító matematikai modellt. A járművek beérkezési idejének folyamatos összehasonlításával kidolgoztam egy a járműveket az időkapukhoz dinamikus hozzárendelő algoritmust, amely a raktári folyamatok további hatékonyságának növelésére alkalmas.

V.1. Az irodalomkutatás során megismertem a járatszervezések témakörét. A szakirodalom ezt a témakört mindig a járat, ill. járatszervezés szempontjából közelíti meg, de nem találtam példát arra, hogy ez a kérdés a raktár oldaláról lenne bemutatva.

V.2. Megalkottam a modern eszközök használatával egy folyamatot és az azt működtető matematikai modellt, amely a járműbeérkezéseket meghatározza.

V.3. Elkészítettem egy algoritmust is, amely a beérkezési idők alapján rendeli az időkapukhoz a járműveket.

10 SUMMARY AND OUTLOOK OF THE RESEARCH, THESES OF THE DISSERTATION

In my 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 warehouse processes. I have described the Mobile-Cyber-Physical device I have created and made at the level of a board model and demonstrated through a mathematical model created for its use that the waiting times and costs of a D / D / 1 process can be significantly reduced and the logistics performance of warehouses significantly increased.

As a result of a series of vibration measurements on material flow devices, I have established that there is no widespread periodic vibration in material flow processes, but non-periodic, transient and shock, shear forces are generated in large numbers.

Whose motion energy was converted into electricity, I created a model of an energy harvesting and conversion system and verified its operation with the help of a self-made board model. This energy scavenging and conversion device may be able to cover the power requirement of a Mobile-Cyber-Physical device.

In the final chapter of my dissertation I investigated the problem of transporting vehicles to the warehouse and created a process model on how to use modern technical tools to optimize vehicle arrival using a time-based dynamic time gate.

I consider it is necessary to continue the large number of measurements made in practice, with several types of vehicles, especially over long distances, with regard to the location of the OERK on a given vehicle in order to answer the question of the actual amount of energy that can be recovered. This is primarily due to the fact that OERK has enough electricity available at any given moment to process and measure the measurement results be able to detect and process any adverse event. 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 OERK tool at multiple logistics companies to better understand the real needs, adjust the parameters of the components in the concept, and fine-tune the concept.

Another goal is to integrate and test the dynamic time gate allocation algorithm, coupled with the necessary technical systems, into a warehouse management system.

Theses of the dissertation:

Thesis I: With the method of systematic literature research I examined the situation of industrial 4.0 technologies currently used in the field of logistics and existing at the conceptual level. I have found that at concept level, there is a tool that measures the effects of goods quality on freight transport and then evaluates the measured results later, but there is no tool that continuously monitors freight quality from the source to the sink in the material flow processes and performs continuous quality assessment. I created the concept of Mobile-Cyber-Physical

Device and then made a model of such a possible logistics tool. I established that a model made by myself can be made and I have shown on a model that modern electronic components can be used to make and monitor the quality of goods during transportation.

Thesis II: Using the new literature I created a mathematical model for the $D / D / 1$ queuing process to calculate waiting times and process costs in warehouse processes.

Thesis III: With the help of the literature I examined the energy supply of MCPS device or sensor nodes during the logistics processes. As a result of the research I have found that there is no uniformly applicable environmentally friendly process for material flow processes that can enable the self-sufficiency of the mentioned devices. The mobile cyber-physical device cannot be operated with power generation devices based on today's vibration because most of the material flow processes produce vibrations of different frequencies. In contrast, during material flow processes, a large number of transient phenomena of short duration but high energy, beats, falls, oscillations, etc. occur which can be converted into electricity and thus provide power to MCPS.

Thesis IV: I have developed and implemented a current generating and power dissipation device, which uses a system of transient vibrations that uses transient vibrations, which is under patent procedure, and which uses a different principle, which converts the energy of transient forces into electricity into material.

Thesis V: I have developed a method to determine the time of arrival of vehicles using modern technical tools and created a mathematical model controlling this process suitable for increasing.

JELÖLÉSRENDSZER

r_n :	RFID alkalmazható maximális távolság
λ :	frekvencia hullámhossza
D :	antenna mérete
$P_{\text{átlag}}$:	elektronikai komponensek energiaszükséglete
K :	komponensek száma
Z :	egyres 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
ψ :	vízpotenciál
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
$T_{\min}$:	minimális hőmérséklet
$T_{\text{átlag}}$:	átlag hőmérséklet
$T_{\max}$:	maximális hőmérséklet
T_i :	i mérési időpontokban mért hőmérséklet
ΔT :	hőmérsékletváltozás
ΔT_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_{kin} :	kinetikus energia
W_{AB} :	$\vec{v}_A$ sebességről $\vec{v}_B$ sebességre való gyorsítási munka
G :	ütközési gyorsulás
$G_{\max}$:	gyorsulás maximális értéke
h :	magasság
$t_{\text{szállítási}}$:	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
λ :	beérkezési ráta
$\bar{t}_a$:	beérkezési időközök várható értéke
μ :	kiszolgálási ráta
$\bar{t}_b$:	kiszolgálási idő várható értéke
Ψ :	forgalmi intenzitás
T_A :	átfutási idő
ΣT_w :	várakozási idők összege
ΣT_{kih} :	munkavégzők terhelése és kihasználtsága,
ΣK :	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 költségátfordítása
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
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
ω :	szögfrekvencia

ζ_e :	elektromos csillapítási tényező
ζ_m :	mechanikus csillapítási tényező
$P_{W\&Y}$:	kimeneti teljesítmény Williams és Yates szerint
ε :	indukált feszültség,
Φ_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
φ :	$\omega t + \varphi_0$ fázis, amely a rezgés pillanatnyi állapotát jellemzi
φ_0 :	fázisszög
ω :	$\frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \frac{1}{T} = 2\pi \cdot f$
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
m :	a mágnes golyó tömege,
$\ddot{s}$:	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
$\vec{F}_{elektr}$:	$b_e \ddot{s}$ elektromos csillapítási koefficiens,
$\vec{F}_{eredő}$:	$\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z$ vektorok eredő vektora
ε_{ind} :	indukált feszültség
N :	hurok szám
ε_{ind} :	elektromotoros erő (terheletlen, üresjáratú feszültség)
Φ_B :	mágnes golyó indukció fluxusa
A :	hurok felületének nagysága
B :	mágneses mező
U_f :	nyitóirányú feszültség
$U_{AC,be}$:	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
D :	szórás
$\overline{t_w}$:	átlagos várakozási idő
T :	igény jelentkezési időpontja
τ :	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., Szerző, 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 single-image and cross-image representations for person re-identification, 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, 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, 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.
- [17] PricewaterhouseCoopers LLP, Industry 4.0 - Building the digital enterprise, 2016.
- [18] Nagy, J., Az ipar 4.0 fogalma, összetevői és hatása az értékláncra, 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 letöltve: 2018.11.21.
 - [28] Euroastra, 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>, 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/>, 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.

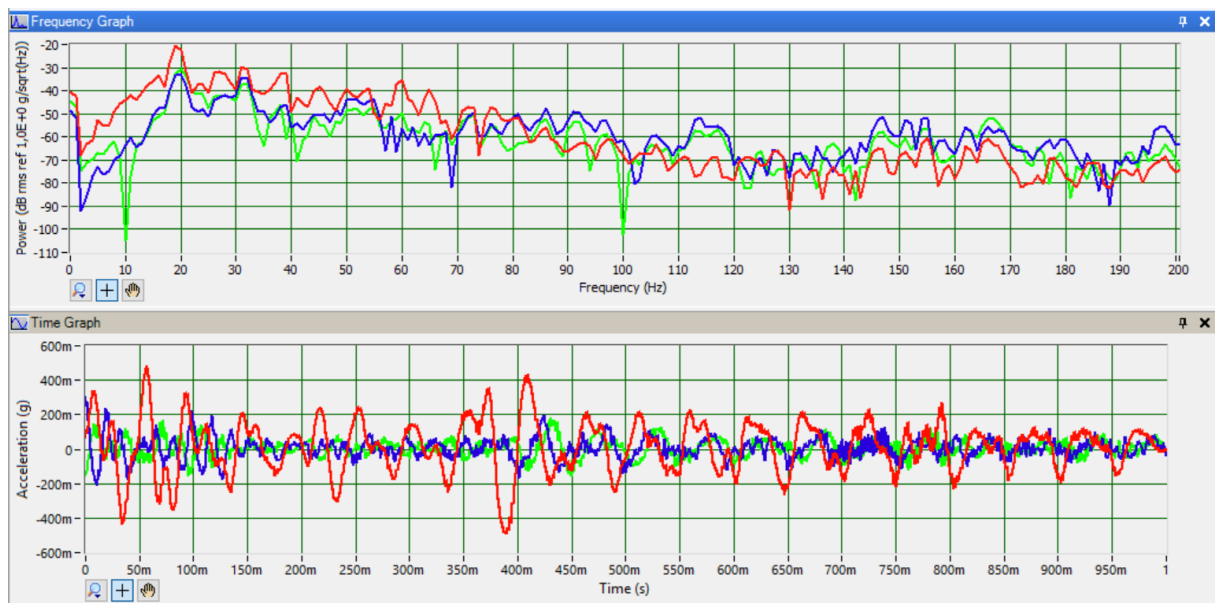
- [44] Große-Puppenthal, D., Lier, S., Roidl, M., ten Hompel, M., Cyber-physische Logistikmodule als Schlüssel zu einer flexiblen und wandlungsfähigen Produktion in der Prozessindustrie, Logistics Journal: Proceedings, 2016, ISSN: 2192-9084.
- [45] Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Erschließen 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] Tarnóczy, 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/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.akku.net/magazin/lithium-ionen-akku-zehn-spannende-fakten-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] Szentmiklósi, I., Illés, B., Intelligens Egységakományok Lehetséges Alkalmazása Logisztikai Feladatoknál, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban, 2011, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, ISBN: 978-963-7064-25-8
- [60] 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.
- [61] Szentmiklósi, I., Illés, B., Intelligent unit loads, Conference Proceedings, 4th International Doctoral Students Workshop on Logistics, Magdeburg, 2011, ISBN 978-3-940961-57-0.
- [62] Cselényi, J., Illés, B., Logisztikai rendszerek I., Egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.

- [63] Valentas, K., Rotstein, E., Singh, R., P., The Handbook of Food Engineering Practice, New York, CRC Press, 1997, ISBN-13: 978-0849386947
- [64] O'Brien, M., Claypool, L., Leonard, S., York, G., MacGillivray, J., Causes of Fruit Bruising on Transport Truck, Higardia, Volume 35, number 6., pp. 113 - 124, November 1963, University of California.
- [65] Deák, T., Kiskó, G., Maráz, A., Mohácsiné Farkas, C., Élelmiszer-mikrobiológia, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., 2006. ISBN: 9789632866345.
- [66] Sándor, E., Peles, F., Á., Élelmiszer minőség és biztonság mikrobiológiai vonatkozásai, Debrecen, 2015, ISBN: 978-963-473-832-9.
- [67] Bauersfeld, M., L., Kolorimetrische Gassensoren, Fraunhofer IPM, Freiburg, 2015.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] Pánczél, Z., A csomagolás rendszerszemléletű értelmezése a logisztikában, és – reológiai – tervezési módszer kidolgozása a viszkoelasztikus csomagolóanyagokra, disszertáció, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2009.
- [71] 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, 2012.
- [72] Szentmiklósi, I., Illés, B., Intelligens Egységgrakományok Felépítése és Energiaellátásuk egy Lehetséges Megoldása, GÉP, 4. évf., 63, pp. 71-7, 2012
- [73] Chan, W., C., An Elementary Introduction to Queueing Systems, WSPC, 2014, ISBN-10: 9814612006.
- [74] Kulcsár, B., Ipari Logisztika, 1998, ISBN: 963 577 242 4.
- [75] Gubán, Á., Bányai, T., Logisztika, 7. Fejezet szerkesztője Dr. Bányai Tamás, Saldo Zrt, 2013, ISBN: 978-963-638-452-4.
- [76] 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.
- [77] Calìò, R., Rongala, U., B., Camboni, D., Milazzo, Piezoelectric Energy Harvesting Solutions, Sensors, 2014, ISSN: 1424-8220.
- [78] Szentmiklósi, I., Illés, I., Intelligens egységgrakományok felépítése és energiaellátásuk egy lehetséges megoldása, Debrecen, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2012, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, ISBN: 978-963-7064-28-9
- [79] Williams C., Yates, R., B., Analysis of a Micro-Electric Generator for Microsystems, Eurosensors, 1995, pp. 369-372
- [80] Roundy, S., J., Energy Scavenging for Wireless Sensor Nodes with a Focus on Vibration to Electricity Conversion, disszertáció, Berkley, 2003
- [81] Boisseau, S., Despesse, G., Seddik, B., Electrostatic Conversion for Vibration Energy Harvesting, Small-Scale Energy Harvesting, Intech, 2012

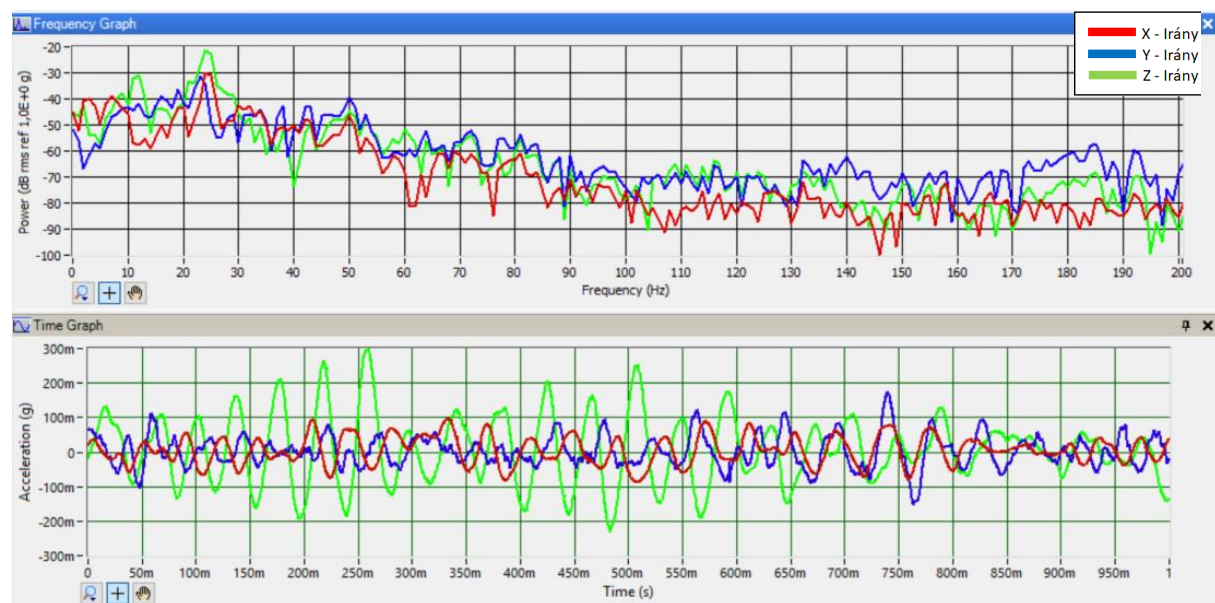
- [82] Amirtharajah, R., Chandrakasan, A., Self-powered signal processing using vibration-based power generation, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Volume: 33 , Issue: 5, 1998, ISSN: 0018-9200
- [83] Pánczél, Z., Kirchfeld, M., Szabó, Z., Mojzes, Á., Package cushioning design, Study for Philips, APM, 2005, pp. 4 – 26
- [84] Szentmiklósi, I., Illés, B., Mechanical Vibration and Shock Measurement of Material Flow Tools and Systems, Advanced Logistic Systems, 13/1, 2019, ISSN: 1789-2198.
- [85] National Semiconductor Corporation, Power Spectra Estimation, Datasheet, USA, 1995.
- [86] Földesi P., Böröcz, P., Define Cushion Curves for Environmental Friendly Packaging Foam, International Journal of Engineering, 2012, pp. 113 - 118, ISSN: 1584-2665.
- [87] 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
- [88] Bühler, G., Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr, Physica-Verlag Heidelberg, 2006, ISBN: 978-3-7908-1754-6.
- [89] Vollrath, M., Krems, J., F., Hasselhorn, M., Verkehrspsychologie, 1. Auflage, Kohlhammer W. GmbH, 2011, ISBN-10: 9783170208469
- [90] Wittenbrink, P., Wilting, F., Hagenlocher, S., Schlussbericht: Schnittstelle Rampe – Lösungen zur Vermeidung von Wartezeiten, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Karlsruhe, 2013
- [91] Bundesamt für Güterverkehr, Marktbeobachtung Güterverkehr, Sonderbericht zur Situation an der Laderampe, 2011.
- [92] Cselényi, J., Illés, B., Anyagáramlási Rendszerek Tervezése és Irányítása I., Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006
- [93] Bundesamt für Güterverkehr, Sonderbericht zur Situation an der Laderampe, Köln, 2011.
- [94] Seidel, M., Szczepaniak, A., Logistische Anlieferbedingungen der Develley-Gruppe, Develley Gruppe, 2012
- [95] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Schnittstelle Radelampe - Gute Beispiele, Berlin, 2014.
- [96] Magyar Közút Nonprofit ZRt., Az Országos Közutak 2017., Budapest, 2018, Témaszám: VB-2018/0029243/00
- [97] Marz, Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Bergisch Gladbach, 1999
- [98] Geistefeldt, J., Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Wirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011
- [99] Schlaich, J., Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Stuttgart, 2009
- [100] Krampe, S., Nutzung von Floating Traveller Data (FTD) für mobile Lotsendienste im Verkehr, Dissertation, TU Darmstadt, 2007

- [101] Breitenberger, S., Grüber, B., Neuherz, M., Extended Floating Car Data – Potenziale für die Verkehrsinformation und notwendige Durchdringungsraten, Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004
- [102] Rudolf, Á., GPS Rendszer Működése és Alkalmazása a Biztonságtechnikában, Hadmérnök, VII. Évfolyam 1. szám, 2012, pp. 40 - 47, ISSN: 1788-1929
- [103] T. Tettamanti, T., Varga, I., Közúti forgalomtechnikai paraméterek mérése és becslése, BME, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék, 2015
- [104] 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
- [105] Walter, N., Bogner, P., Fizika, Medicina Könyvkiadó Zrt, Budapest, 2014, ISBN: 978 963 226 457 8
- [106] Spreemann, D., Manoli, Y., Electromagnetic vibration energy harvesting devices, Springer Science+Business Media B.V. 2012, ISBN 978-94-007-2943-8

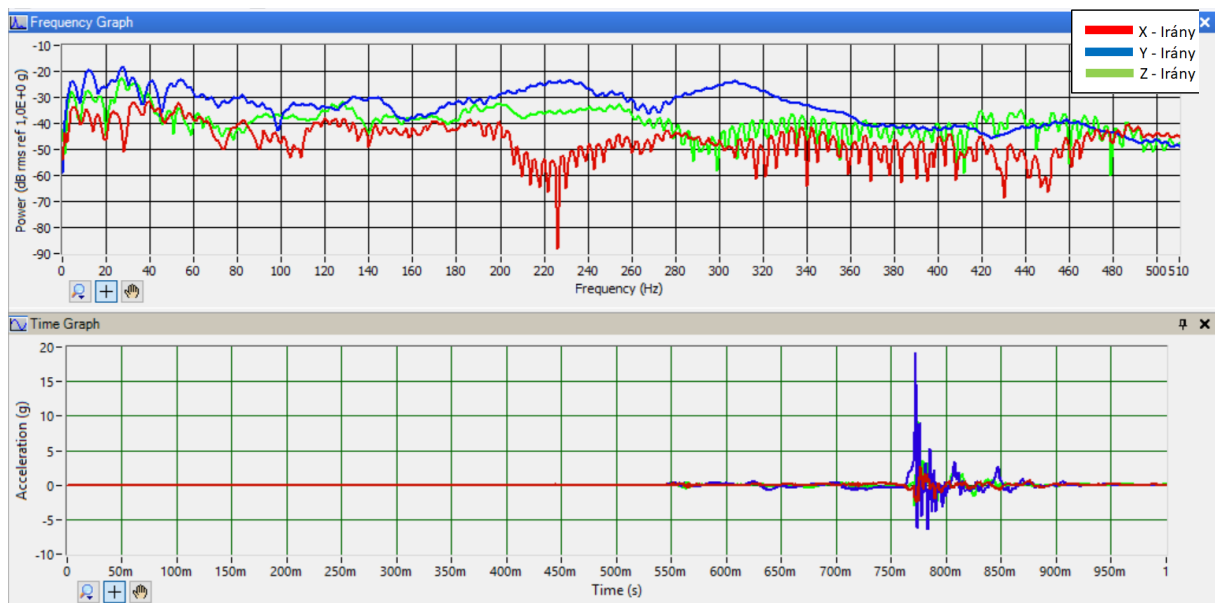
MELLÉKLET



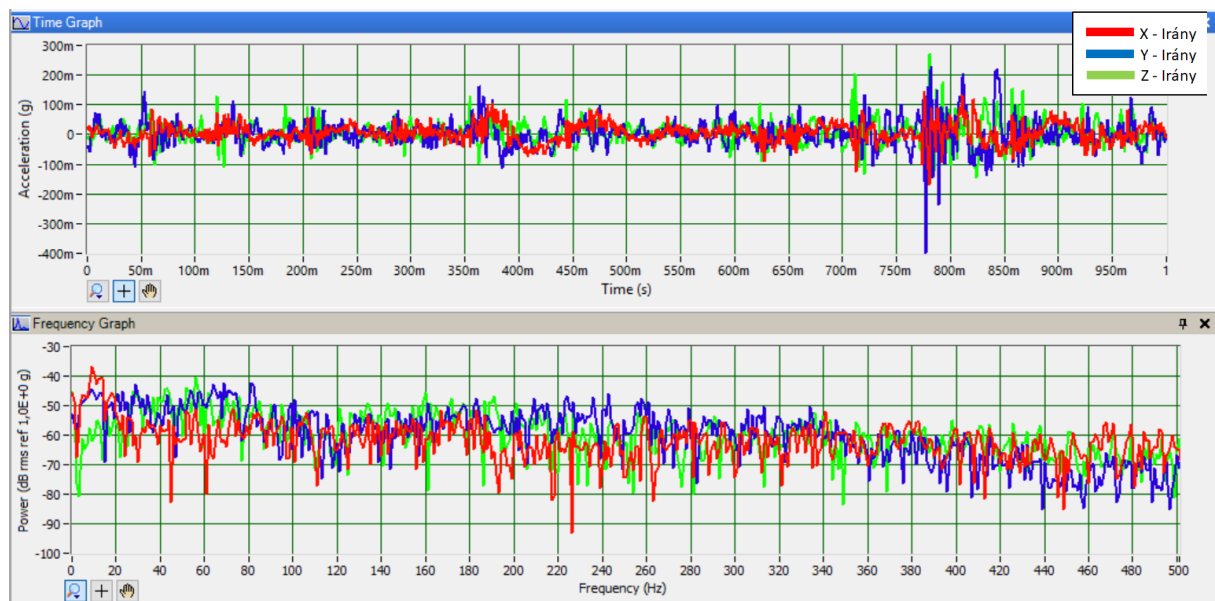
1.Ábra. Vezető nélküli targonca futószalag, labor körülmények közt. PSD és gyorsulás amplitúdó



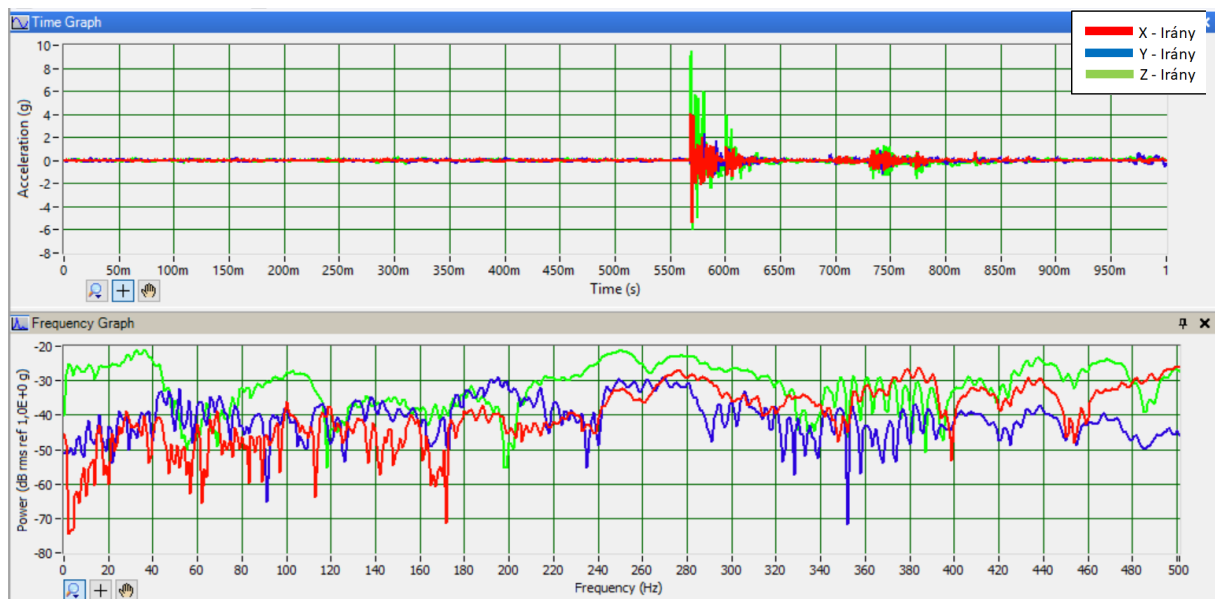
2.Ábra. Vezető nélküli targonca, labor körülmények közt. PSD és gyorsulás amplitúdó



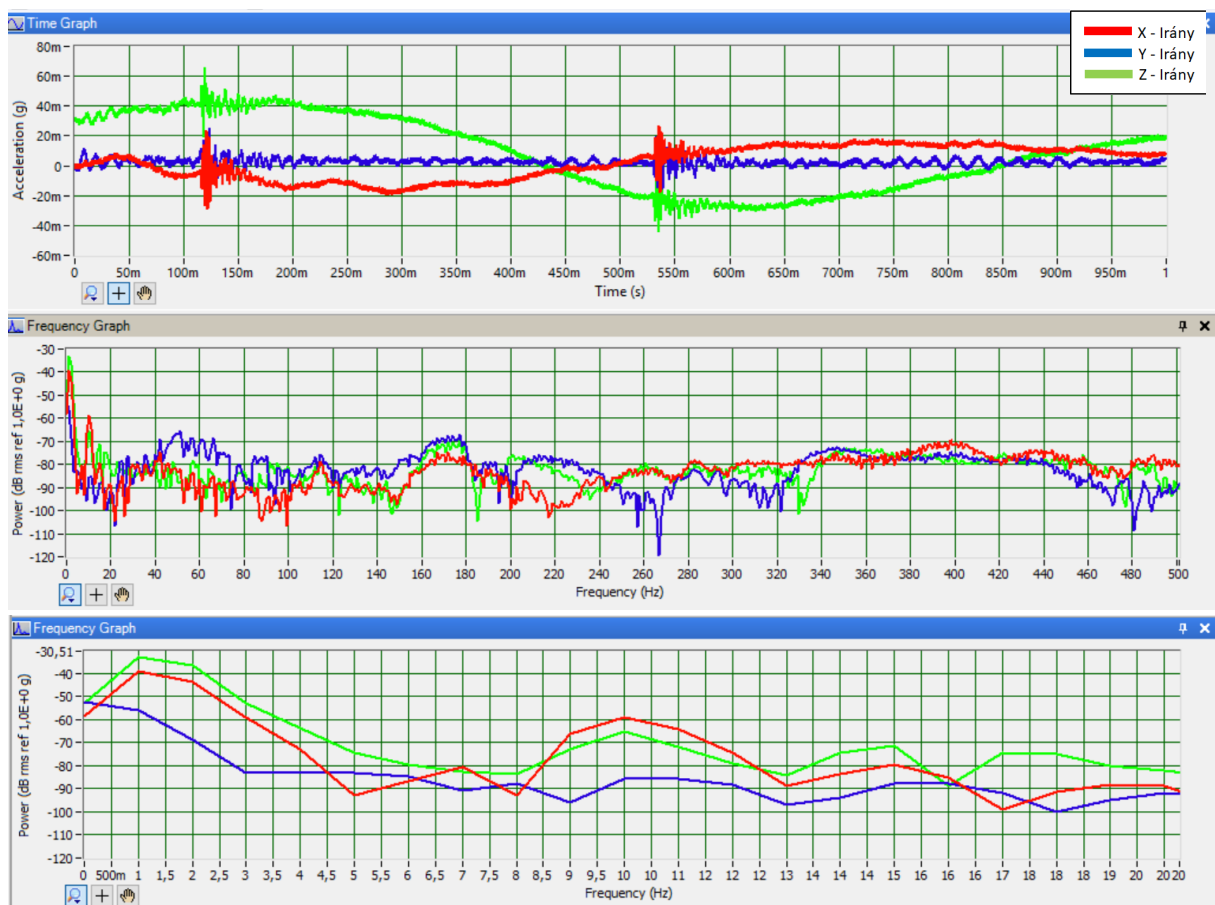
3.Ábra. Vezető nélküli targonca, Mitsubishi robotkar, labor körülmények közt. PSD és gyorsulás amplitúdó



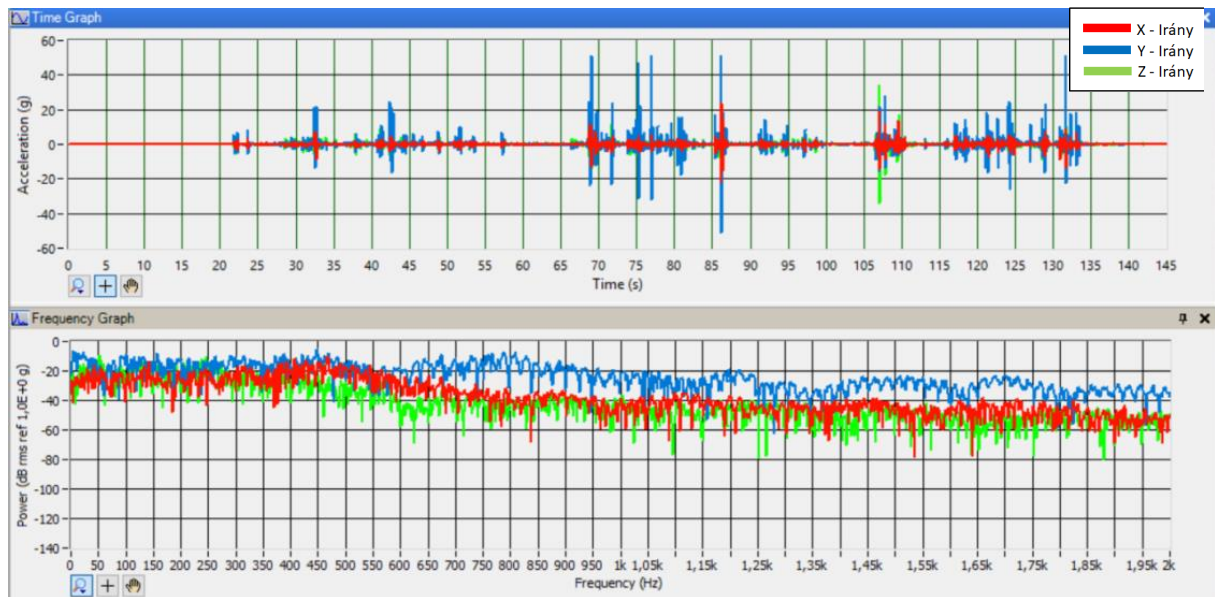
4.Ábra. Görgős pálya. Gyorsulás amplitúdó és PSD



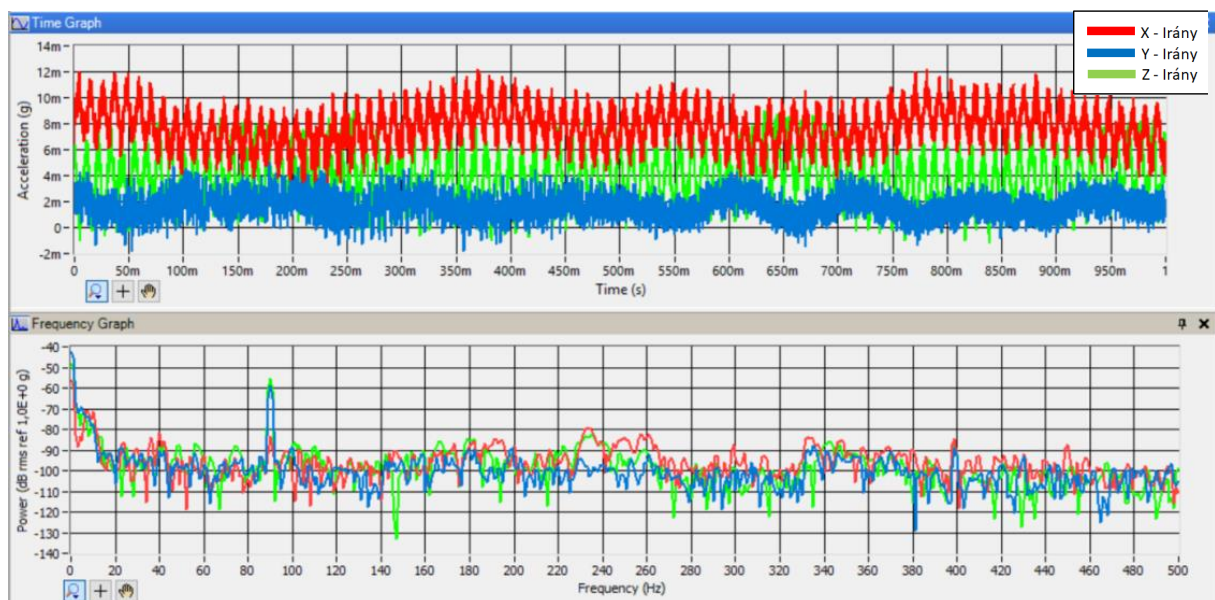
5.Ábra. Görgős pálya, fékező. Gyorsulás amplitúdó és PSD



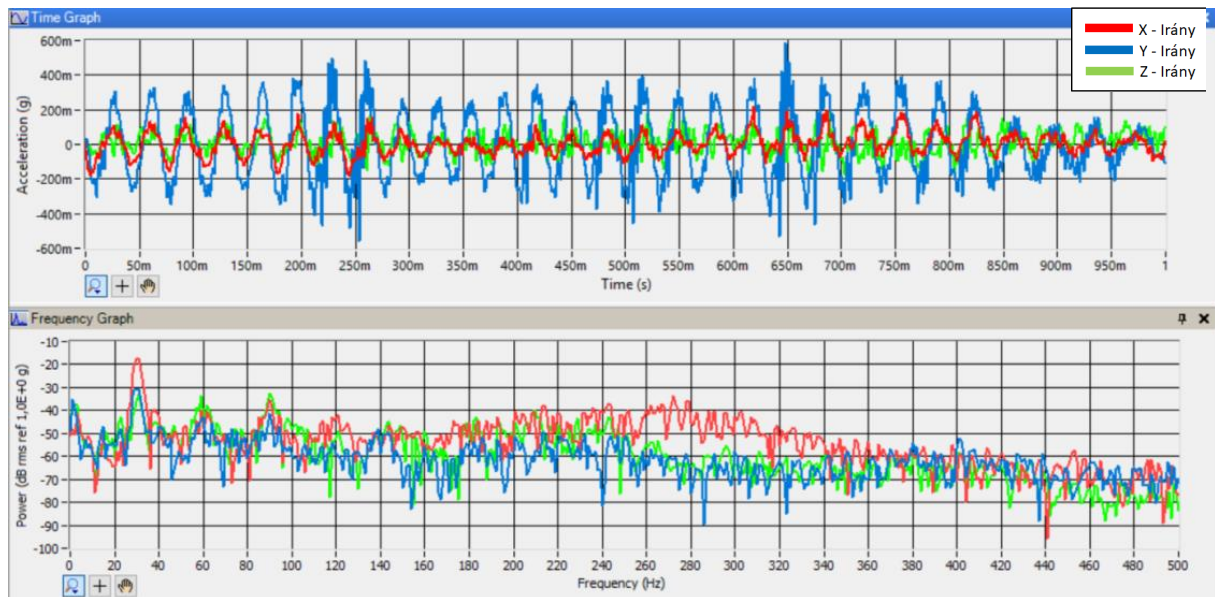
6.Ábra. Görgős pálya, fordító. Gyorsulás amplitúdó és PSD



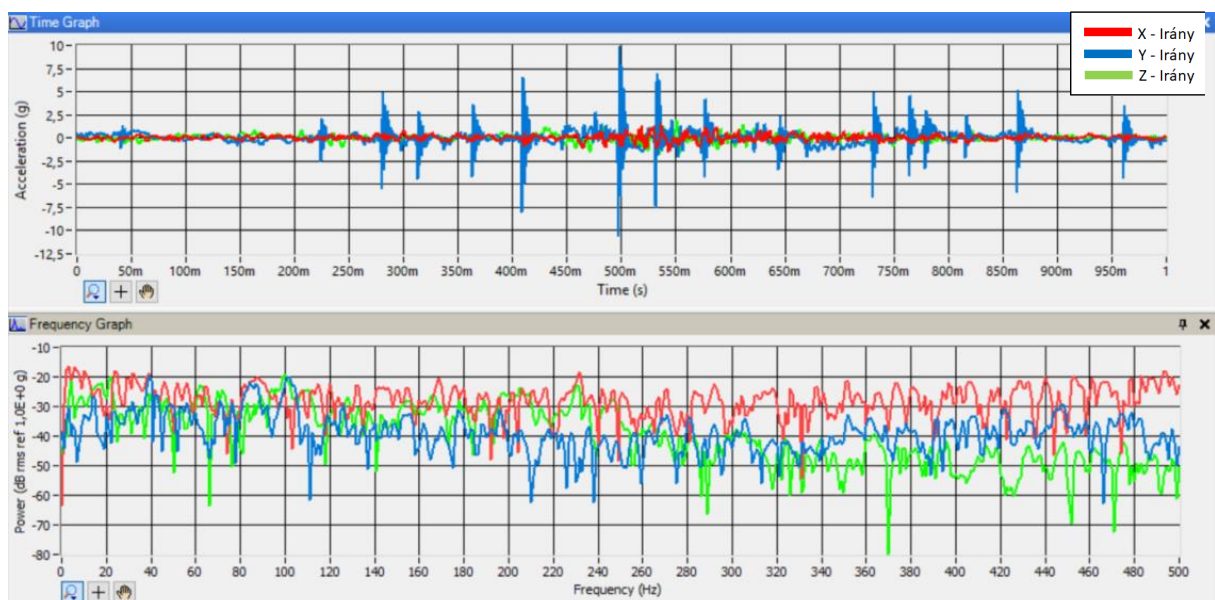
7.Ábra. Targonca, kültéri anyagmozgatás. Gyorsulás amplitúdó és PSD



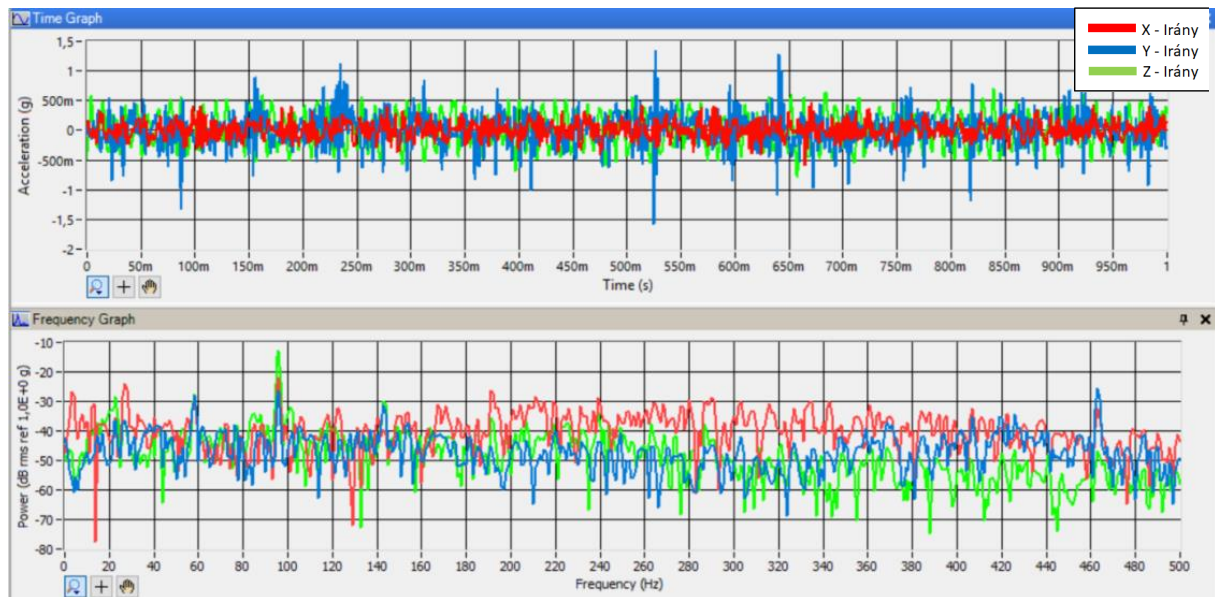
8.Ábra. Teherautó üresjárat. Gyorsulás amplitúdó és PSD



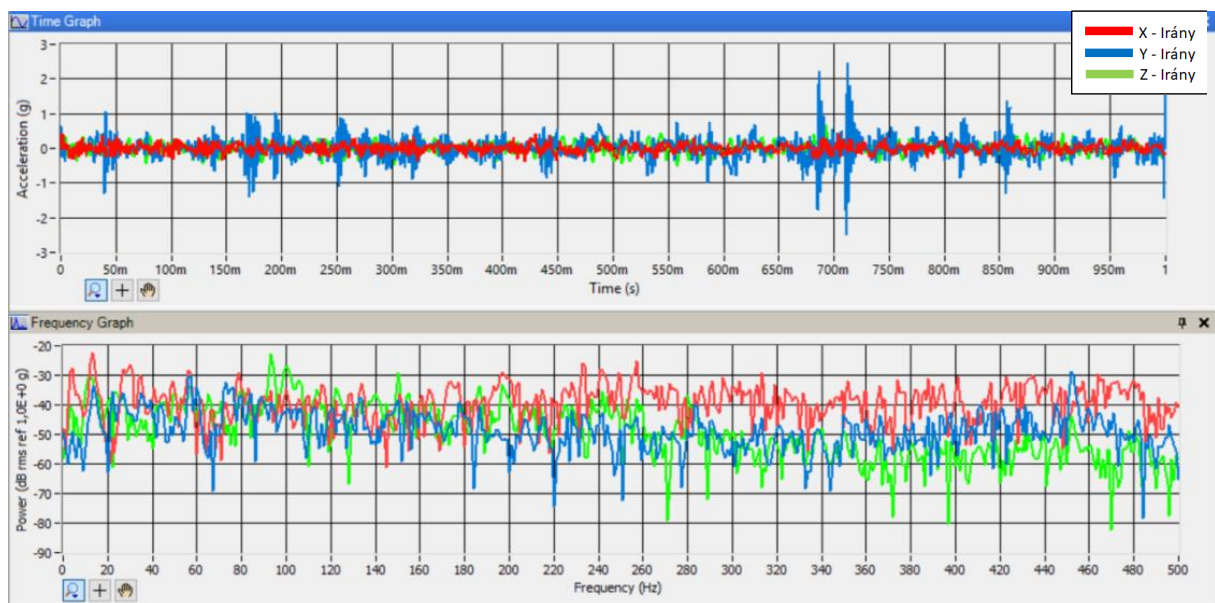
9.Ábra. Teherautó városban, jó útminőség. Gyorsulás amplitúdó és PSD



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



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



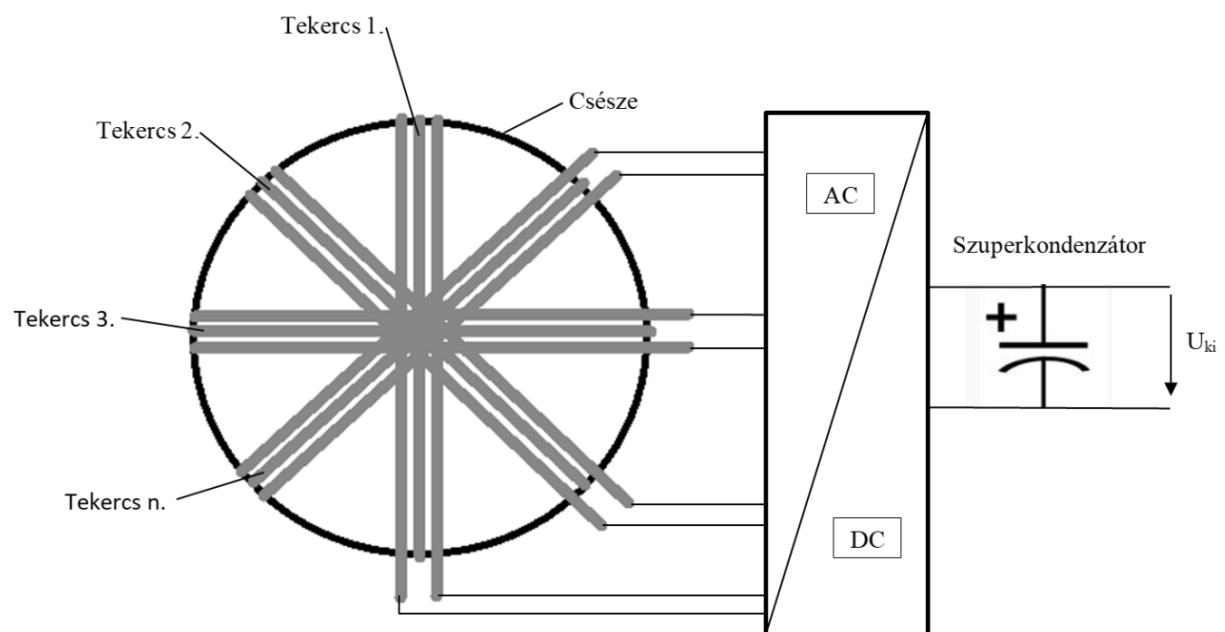
12.Ábra. Teherautó autópályán, rossz útminőség. Gyorsulás amplitúdó és PSD



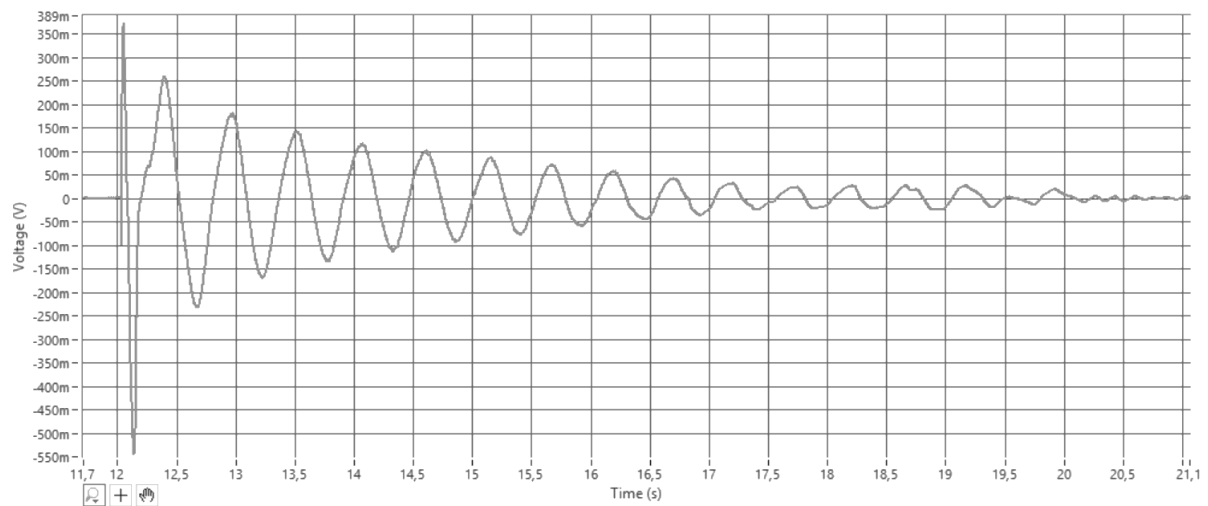
12.Ábra. Rezgésmérés fényképfelvétel, teherautós szállítás



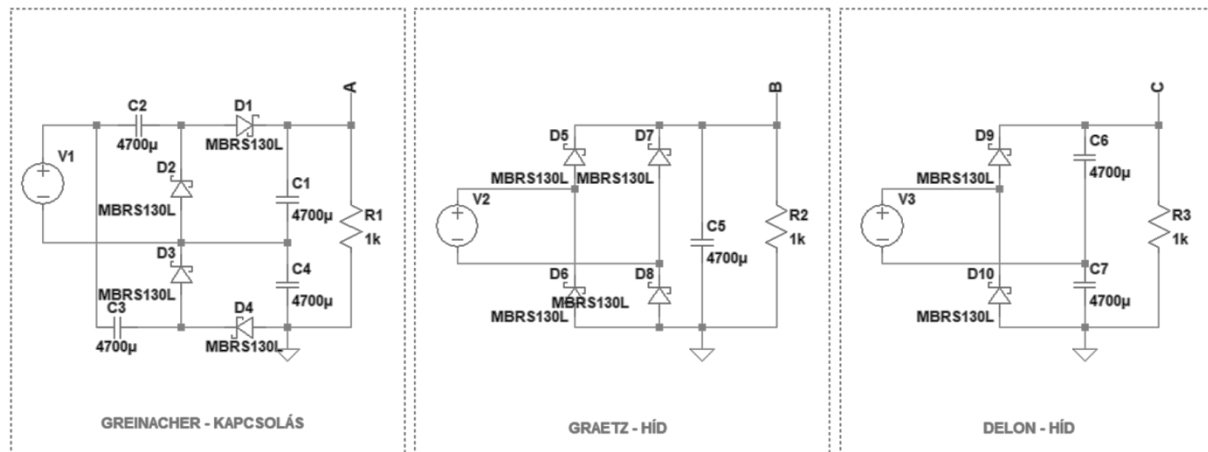
13.Ábra. Rezgésmérés fényképfelvétel, szállítás targoncával



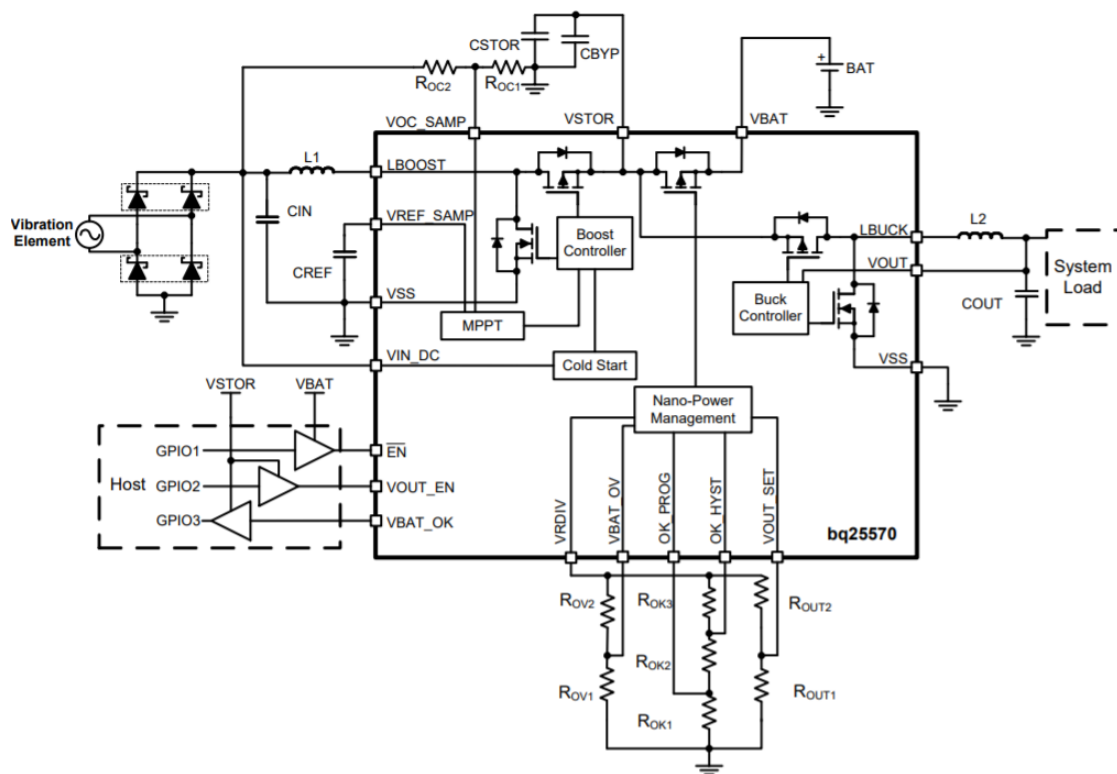
14.Ábra. Elektromos indukciósrendszer, tápegység és tároló lehetséges felépítése



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 nA
- Energiát tud tárolni újratölthető Li-ion akkumulátorokba, szuper,- vagy hagyományos kondenzátorokba
- Figyelmezteti a hozzá csatlakoztatott mikro vezérlőt áramkimaradásról
- Magas hatásfok, akár 93%