

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



AZ ESG RENDSZER LEHETSÉGES HATÁSA
A RECYCLING LOGISZTIKAI FOLYAMATOK
FELÉPÍTÉSÉRE ÉS MŰKÖDÉSÉRE

Ph.D. ÉRTEKEZÉS

Készítette

Latorcai Zsombor Lóránd

okleveles környezetmérnök / energiagazdálkodási specialista (MSc)

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
ANYAGÁRAMLÁSI RENDSZEREK ÉS LOGISZTIKAI INFORMATIKA
TÉMATERÜLET
LOGISZTIKAI INTÉZET

Doktori Iskola Vezető

Prof. Dr. Kovács László

egyetemi tanár

Tématerület vezető

Prof. Dr. Illés Béla

professor emeritus

Témavezető

Prof. Dr. Illés Béla

professor emeritus

Társtémavezető

Prof. Dr. Tamás Péter

egyetemi tanár

Miskolc

2026

Nyilatkozat

Alulírott, Latorcai Zsombor Lóránd, 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 átvettem, azokat egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

A dolgozat bírálatai, és a védésről készült jegyzőkönyv a későbbiekben a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Dékáni Hivatalában lesznek elérhetőek.

Miskolc, 2026. 01.30.

.....

Latorcai Zsombor Lóránd

Köszönetnyilvánítás

Az értekezés a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola keretein belül, a Miskolci Egyetem Logisztikai Intézetében folytatott kutatómunkám eredményeit foglalja össze.

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet és hálámat mindazoknak, akik tanácsaikkal hozzájárultak az értekezés elkészültéhez. Kiemelten szeretnék köszönetet mondani tudományos vezetőmnek, **Dr. Illés Béla** professzor úrnak, szakmai tanácsaiért és a projektekbe történő bevonásáért, melyek nélkülözhetetlen segítséget jelentettek a kutatómunkám sikeres elvégzéséhez, a publikációs elvárások teljesítéséhez. Köszönetemet fejezem ki **Dr. Tamás Péter** professzor úrnak, társtémavezetőmnek, aki iránymutatásával, ötleteivel, fejlesztési tanácsaival az értekezés elkészüléséhez nagymértékben járult hozzá.

Köszönöm a Gépészmérnöki és Informatikai Kar vezetőségének, valamint **Dr. Kovács László** professzor úrnak, a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola vezetőjének, hogy lehetőséget biztosítottak a magas szintű kutatómunka elvégzésére.

Köszönetemet szeretném kifejezni a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságának is, hogy a munkám során értékes támogatást nyújtott a kutatómunkám megvalósításában. Kiváltképp köszönöm **Gonda Bence** stratégiai elnökhelyettes valamint **Molnár Csaba Gábor** ESG igazgató urak segítségét.

Témavezetői ajánlás

Latorcai Zsombor Lóránd: „Az ESG rendszer lehetséges hatása a recycling logisztikai folyamatok felépítésére és működésére” című PhD értekezéséhez

Latorcai Zsombor Lóránd a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika tématerületéhez kapcsolódóan folytatta PhD tanulmányait. Kutatásai során többek között az ESG rendszerek tervezésével, működésével foglalkozott és vizsgálta azon kapcsolódási területeket, amelyek mind az informatika, mind a logisztika területével kapcsolatosak.

Latorcai Zsombor Lóránd diplomamunkáját a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki Kar Környezetgazdaságtan tanszéken készítette el. Diplomamunkája „Egy új cianid-mentesítési eljárás gazdaságossági kérdései” témakörben készült. Ezt követően a Budapesti Corvinus Egyetem Energiagazdálkodási specialista szakirányú továbbképzési szakán készítette el szakdolgozatát. Szakdolgozata „A hulladékalapú tüzelőanyagok energetikai hasznosításának lehetőségei különös tekintettel egy leállított erőmű hasznosítása érdekében” témakörben készült el. Számos kutatómunkában vett részt, amelyek eredményeiről társszerzőkkel publikációk születtek. Több logisztikai kutatás megvalósításában vett részt, és végzett eredményes kutatómunkát.

Latorcai Zsombor Lóránd érdeklődő, motivált hallgatóként végezte el PhD tanulmányait. A tanulmányi elvárásokat 1 éven belül, minden tárgy esetében jeles eredménnyel teljesítette, tett sikeres abszolutóriumot, majd eljárásindítás után summa cum laude eredménnyel komplex vizsgát.

Kutatási eredményeit hazai- és nemzetközi konferenciákon és folyóiratokban publikálta. Az MTMT adatbázis alapján 6 közleménye jelent meg. Független hivatkozásainak száma 14.

Az értekezés Latorcai Zsombor Lóránd önálló kutatási eredményeit tartalmazza, és minden szempontból megfelel a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola szabályzatában előírt követelményeknek.

A fentiek alapján a jelölt számára a PhD cím odaítélését messzemenően támogatjuk.

Miskolc, 2026. január 30.

.....

Prof. Dr. Illés Béla
témavezető

Prof. Dr. Tamás Péter
társtémavezető

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	1
2. AZ ESG RENDSZEREK ALKALMAZÁSÁNAK INDOKOLTSÁGA	4
3. A SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE, A KUTATÁS CÉLJAI, MÓDSZEREI.....	11
3.1. IRODALOMKUTATÁS SZISZTEMATIKUS MEGKÖZELÍTÉSE	11
3.1.1. KERESÉSI STRATÉGIÁK.....	12
3.1.2. PUBLIKÁCIÓK KIVÁLASZTÁSA	16
3.2. PUBLIKÁCIÓS TRENDEK ELEMZÉSE	18
3.3. KÖVETKEZTETÉSEK A RELEVÁNS SZAKIRODALOM ALAPJÁN	19
3.3.1. AZ ESG ÉS A KÖRNYEZETVÉDELEM KAPCSOLATA	19
3.3.2. RECYCLING ÉS ÉLETCIKLUS-SZEMLÉLET A LOGISZTIKÁBAN.....	20
3.3.3. HÁLÓZATOK SZEREPE A FENNTARTHATÓ LOGISZTIKÁBAN.....	20
3.3.4. AZ ESG, A LOGISZTIKA A KÖRNYEZETVÉDELEM METSZÉSPONTJAI	21
3.4. ESG KERETRENDSZER	22
3.5. A RECYCLING.....	23
3.6. ÉLETCIKLUS-SZEMLÉLET (LCA).....	23
3.7. LOGISZTIKA ÉS HÁLÓZATOK ÉS AZ ESG	24
3.8. KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEFOGLALÁS.....	25
4. JOGSZABÁLYI HÁTTÉR.....	27
4.1. AZ ESG SZABÁLYOZÁS KIALAKULÁSA AZ EU-BAN	27
4.2. AZ EU FENNTARTHATÓSÁGI SZABÁLYOZÁSA	29
4.3. FONTOS MÉRFÖLDKÖVEK AZ ESG SZABÁLYOZÁSBAN	29
4.3.1. AZ NFRD (NON-FINANCIAL REPORTING DIRECTIVE- 2014)	30
4.3.2. AZ SFRD (SUSTAINABLE FINANCE DISCLOSURE REGULATION - 2019)	30
4.3.3. A CSRD (CORPORATE SUSTAINABILITY REPORTING DIRECTIVE- 2023)	31
4.3.4. A CSDDD (CORPORATE SUSTAINABILITY DUE DILIGENCE DIRECTIVE- 2024)	32
4.4. AZ EU ESG SZABÁLYOZÁSA	33
4.4.1. AZ EU SZABÁLYOZÁS ALAKULÁSA AZ OMNIBUS JAVASLAT TÜKRÉBEN.....	33
4.4.2. A NÉMET SZABÁLYOZÁS	34
4.4.3. A MAGYAR ESG TÖRVÉNY.....	35
4.5. A MAGYAR ESG TÖRVÉNY KÖVETKEZMÉNYEI	36
4.5.1. ÉRINTETT VÁLLALKOZÁSOK ÉS HATÁRIDŐK	37

4.5.2.	KOCKÁZATÉRTÉKELÉSI ÉS KOCKÁZATKEZELÉSI RENDSZER.....	38
4.5.3.	TÁRSADALMI FELELŐSSÉGVÁLLALÁSI STRATÉGIA	38
4.5.4.	ESG BESZÁMOLÓ	38
4.6.	ÖSSZEGZÉS	39
5.	ESG RENDSZEREK ÁLTAL TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK A LOGISZTIKÁVAL KAPCSOLATBAN..	40
5.1.	KÖRNYEZETI (ENVIRONMENTAL) ELVÁRÁSOK.....	40
5.2.	TÁRSADALMI (SOCIAL) ASPEKTUSOK	41
5.3.	IRÁNYÍTÁSI (GOVERNANCE) ELVÁRÁSOK	41
5.4.	ÖSSZEGZÉS ÉS A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI	42
6.	AZ ESG RENDSZER ÁLTAL MEGKÍVÁNT ÚJTÍPUSÚ LOGISZTIKAI HÁLÓZAT	43
6.1.	A RECYCLING LOGISZTIKA BEMUTATÁSA AZ ESG TÜKRÉBEN	43
6.2.	A RECYCLING LOGISZTIKA, MINT HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ TERMELŐ-SZOLGÁLTATÓ RENDSZER.....	44
6.3.	A KLASZTER MINT LEHETSÉGES MŰKÖDÉSI FORMA	47
6.4.	AZ ESG RENDSZER MODELLEZÉSE	49
6.5.	LINEÁRIS PROGRAMOZÁSI MODELLEK (LP)	53
6.5.1.	CÉLFÜGGVÉNYEK ÉS KORLÁTOK	53
6.5.2.	ALKALMAZÁS A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN.....	55
6.6.	HÁLÓZATOPTIMÁLÁSI MODELLEK.....	55
6.6.1.	CÉLOK ÉS KORLÁTOK	55
6.6.2.	ALKALMAZÁSA A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN.....	56
6.6.3.	MODELLEK A KLASZTER MŰKÖDÉSÉBEN	56
6.7.	ÉLETCIKLUS-ELEMZÉSI (LCA) MODELLEK A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN.....	57
6.7.1.	AZ ÉLETCIKLUS-ELEMZÉS FÁZISAI	57
6.7.2.	AZ LCA MODELLEK SZEREPE ÉS ALKALMAZÁS A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN.....	59
6.8.	KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGI MODELLEK A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN	60
6.8.1.	A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG ALAPELVEI ÉS A RECYCLING LOGISZTIKA	61
6.8.2.	A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGI MODELLEK TÍPUSAI ÉS ALKALMAZÁSUK A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN	62
6.8.3.	AZ ESG-NEK MEGFELELŐ RECYCLING LOGISZTIKAI RENDSZER ÉS A KÖRFORGÁSOS MODELLEK KAPCSOLATA	65
6.9.	BLOKKLÁNC (BLOCKCHAIN) ALAPÚ NYOMON KÖVETÉSI RENDSZEREK A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN	66
6.9.1.	A BLOCKCHAIN TECHNOLÓGIA ALAPJAI	66
6.9.2.	ALKALMAZÁS A RECYCLING LOGISZTIKÁBAN	67
6.9.3.	INTEGRÁCIÓ MÁS MODELLEKKEL ÉS RENDSZEREKKEL	69
6.10.	ÖSSZEFOGLALÁS	69
7.	ESG RENDSZER MODELLJE, MODELLELEMEK ÉS KAPCSOLATOK	71
7.1.	AZ ESG RENDSZER ÁLTALÁNOS MODELLJE	71
7.2.	MODELLELEMEK RÉSZLETES BONTÁSA	71

7.2.1.	KÖRNYEZETI PILLÉR (E - ENVIRONMENTAL).....	72
7.2.2.	TÁRSADALMI PILLÉR (S - SOCIAL).....	72
7.2.3.	IRÁNYÍTÁSI PILLÉR (G - GOVERNANCE).....	72
7.3.	MODELLKAPCSOLATOK ÉS INTEGRÁCIÓ	73
7.4.	MŰKÖDTETÉS ÉS VISSZACSATOLÁS	73
7.5.	ÖSSZEFOGLALÁS	75
8.	ESG RENDSZEREK ELEMEI KÖZÖTTI ANYAG- ÉS INFORMÁCIÓÁRAMLÁS	76
9.	A MODELL KIDOLGOZÁSA	80
9.1.	Az ESG ÉS A RECYCLING LOGISZTIKAI RENDSZEREK ÖSSZEFÜGGÉSEI A MODELLBEN	80
9.2.	Az ESG SZEMLÉLETŰ KOCKÁZATKEZELÉSI MODELL A RECYCLING LOGISZTIKAI FOLYAMATOKBAN	85
9.3.	A TOPSIS MÓDSZER ALKALMAZÁSA AZ ESG ÉRTÉKELÉSBEN	87
9.4.	ÖSSZEFOGLALÁS	92
10.	AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI	93
11.	THESES OF THE DISSERTATION.....	94
12.	ÖSSZEFOGLALÁS	95
13.	SUMMARY	98
14.	IRODALOMJEGYZÉK	I
14.1.	ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN HASZNÁLT KÜLSŐS PUBLIKÁCIÓK	I
14.2.	ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN HASZNÁLT SAJÁT PUBLIKÁCIÓK.....	XI
I.	ÁBRAJEGYZÉK	XIII
II.	TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	XIV
III.	IDEGEN KIFEJEZÉSEK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	XV

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a fenntarthatóság kérdésköre az akadémiai és gazdasági párbeszéd meghatározó elemévé vált, különös tekintettel a globális környezeti és társadalmi kihívásokra, mint például az éghajlatváltozás, az erőforrások túlzott felhasználása, valamint az ellátási láncok fenntarthatósági szempontú átalakításának szükségessége. A fenntarthatóság gondolata azonban nem új keletű: a World Commission on Environment and Development (WCED), ismertebb nevén a Brundtland Bizottság, már 1987-ben megfogalmazta a fenntartható fejlődés (sustainable development) koncepcióját, amely a mai napig alapját képezi a fenntarthatósági diskurzusnak.

„A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációk lehetőségeit saját szükségleteik kielégítésére.” (WCED, Our Common Future, 1987) [1]

Ez a meghatározás három, egymással szoros kapcsolatban álló pillért emel ki: a gazdasági, környezeti és társadalmi szempontokat. E szemlélet napjainkban az ESG (Environmental, Social, Governance- Környezeti, Társadalmi, Irányítási) keretrendszerben ölt testet, amely integrált megközelítést kínál a vállalatok számára környezeti, társadalmi és irányítási szempontjaik összehangolt kezelésére, ezáltal hozzájárulva a vállalatok hosszú távú fenntarthatóságának és versenyképességének biztosításához. Ez a keretrendszer közvetlen folytatása annak a gondolatmenetnek, amelyet a WCED jelentés indított útjára: a gazdasági növekedés és a környezeti, társadalmi felelősségvállalás nem egymást kizáró, hanem egymást erősítő elemek. Napjainkban az ESG nem csupán értékalapú iránytű, hanem egyre inkább befektetési és működési követelmény is, amely lehetővé teszi a fenntarthatósági kockázatok és lehetőségek rendszerszintű kezelését. Az ESG ennek megfelelően nem más, mint a fenntartható fejlődés operatív eszköztára, amely lehetővé teszi, hogy a vállalatok, szervezetek és befektetők rendszerszinten, adatalapon és célzottan járuljanak hozzá a gazdasági növekedés, a társadalmi jólét és a környezeti egyensúly egyidejű fenntartásához.

Az újrahasznosítási (recycling) logisztika kulcsfontosságú szerepet játszik napjaink fenntarthatósági törekvéseiben. Nem csupán a hulladékkezelésről szól, hanem az erőforrások hatékony felhasználásáról, a környezeti terhelés csökkentéséről, és egy fenntarthatóbb jövő

építéséről is. A recycling logisztika magában foglalja a hulladékok gyűjtését, szállítását, válogatását, feldolgozását és az újrahasznosított anyagok újbóli bevezetését a gyártási folyamatokba, ezáltal csökkentve a nyersanyag-felhasználást, az ökológiai lábnyomot, valamint elősegítve az anyagok gazdaságban tartását. Azonban számos komplex kihívással néz szembe, amelyek megoldása alapvető fontosságú a körforgásos gazdaság eléréséhez.

Az újrahasznosítási folyamat bonyolult és költséges, számos akadályba ütközik. Az egyik legnagyobb probléma a hulladékok heterogén jellege: a vegyes hulladék gyűjtése és szétválogatása jelentős technológiai és logisztikai kihívást támaszt. A szennyeződések csökkentik az újrahasznosított anyagok minőségét és értékét. Emellett a logisztikai infrastruktúra hiányosságai, mint például a nem megfelelő gyűjtőpontok vagy a drága szállítás, szintén gátolják a hatékony újrahasznosítást. A fogyasztói magatartás is kulcsfontosságú: a tudatosság hiánya és a helytelen szelektív hulladékgyűjtés rontja a rendszer hatékonyságát.

Az ESG szempontok egyre inkább fókuszba kerülnek az üzleti életben, és valós beavatkozási és ellenőrzési lehetőséget biztosítanak a recycling logisztika fejlesztésére is. Az ESG elvek iránymutatást adnak a vállalatoknak a fenntartható működésre, beleértve a hulladékcsökkentést és az újrahasznosítási ráták növelését. Az ESG kritériumoknak való megfelelés nem csupán etikai elvárás, hanem gazdasági előnyökkel is jár, mint például a befektetői bizalom növelése, a működési költségek csökkentése, és a márka hírnevének javítása. Az ESG keretrendszer lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy nyomon kövessék és javítsák környezeti lábnyomukat, társadalmi felelősségvállalásukat és vállalatirányítási gyakorlatukat a teljes ellátási láncban.

A globalizáció mélyrehatóan befolyásolja a recycling logisztikát. Egyfelől lehetőséget teremt a globális újrahasznosítási piacok kialakulására, hogy a hulladékanyagok a legmegfelelőbb feldolgozó üzemekbe kerülhessenek. Másfelől viszont komoly problémákat is felvet. A határokon átnyúló hulladékszállítás környezeti kockázatokat rejt, különösen, ha az illegális vagy szabályozatlan módon történik. A fejlődő országokba irányuló hulladékexport etikai és környezetvédelmi aggodalmakat vet fel, mivel gyakran nem állnak rendelkezésre a megfelelő feldolgozási kapacitások, ami környezetszennyezéshez vezet. A globális ellátási láncok komplexitása nehezíti a hulladékáramok nyomon követését és ellenőrzését.

A fogyasztói társadalom egyik legnagyobb kihívása a rövid élettartamú eszközök és a gyorsan változó divat által generált hatalmas mennyiségű hulladék. Az egyszerhasználatos termékek és az „eldobható kultúra” jelentősen hozzájárul a hulladékmennyiség növekedéséhez.

Az ESG szempontok itt is kiemelten fontosak: a vállalatoknak és a fogyasztóknak egyaránt felelősséget kell vállalniuk a termékek teljes életciklusáért, a tervezéstől az ártalmatlanításig. A körforgásos gazdaság célja, hogy a termékek élettartama a lehető leghosszabb legyen, és az anyagok a lehető legtovább maradjanak a gazdaságban. Ez magában foglalja a javítás, az újrafelhasználás és az újrahasznosítás ösztönzését, szemben a lineáris "termelj-használj-dobj el" modellel.

Az ESG keretrendszer a környezeti-, társadalmi- és vállalatirányítási szempontokat integráló megközelítésben a fenntarthatósági kutatások alapját képezi. Az ESG szempontok logisztikai alkalmazása nemcsak a fenntarthatósági célkitűzések megvalósítását segíti elő, hanem a gazdasági teljesítmény növeléséhez is hozzájárul [2]. A recycling folyamatok és az életciklus-szemlélet pedig az ESG célok gyakorlati megvalósításának kulcsfontosságú elemei, lehetővé téve az ellátási láncok környezeti hatásainak csökkentését és a hosszútávú fenntarthatósági stratégiai tervezést. [S1]

A logisztikai folyamatok, mint a globális gazdasági rendszer gerincét alkotó funkciók, kulcsfontosságú szerepet töltenek be a fenntarthatósági célok megvalósításában. Az ellátási láncok optimalizálása, a szállítási hálózatok energiahatékony működtetése, valamint a hulladékgazdálkodási stratégiák integrálása jelentős potenciállal rendelkeznek a környezeti lábnyom csökkentése terén. E folyamatok során különösen fontos szerepet kap a recycling és az életciklus-szemlélet alkalmazása, amelyek lehetőséget nyújtanak a logisztikai láncok átfogó fenntarthatósági szempontú értékelésére és fejlesztésére.

2. Az ESG rendszerek alkalmazásának indokoltsága

Az ESG rendszerek indokoltságát több szempontból is alá lehet támasztani. Az ESG rendszerek bevezetését és használatát európai jogszabályok írják elő. Ezen rendszerek alkalmazását elsősorban a nagyvállalatok számára írják elő a pénzügyi, gazdasági és környezetvédelmi kockázatok és lehetőségek megfelelő feltárására, valamint kezelhetőségére vonatkozóan. A befektetők szempontjainál is kiemelt fontossággal bírnak az előzőekben vázolt lehetőségek, mivel általános elvárás az üzleti gyakorlatok fenntarthatósága és az ESG szempontok érvényesülése a befektetői döntéseknél. A társadalom elvárja a vállalatoktól a döntéseikkel kapcsolatos felelősségvállalást és gazdasági, irányítási, társadalmi, valamint környezeti fenntarthatóságot. Ennek alapja a gazdaság és társadalom minden szintjén megvalósuló átláthatóság és bizalom. Az ESG rendszert alkalmazó vállalatok jobban vonzzák a befektetőket és ezáltal javíthatják a piaci versenyhelyzetüket. Az átláthatóság növelésével pedig versenyképesebbek lesznek a piacokon, a munkavállalók és a közvélemény esetében is. [S1]

Az ESG rendszerek keretében a környezeti szempontok kiemelt figyelmet kapnak, így a hulladéktermelés csökkentése és az újrahasznosítás előmozdítása is fontos szerepet tölt be. A vállalatok környezeti felelősségvállalása megköveteli a fenntartható erőforrás-gazdálkodást, amely magában foglalja a keletkező hulladék mennyiségének mérését, kezelését és minimalizálását, valamint az anyagok újrahasználatát és újrahasznosítását célzó folyamatok kialakítását. Az ilyen gyakorlatok nemcsak a környezet védelmét szolgálják, hanem javítják a vállalat ESG besorolását is, amely versenyelőnyt biztosít a befektetők szemében. A hulladékgazdálkodás átlátható és fenntartható módja növeli a vállalat iránti társadalmi bizalmat, miközben hozzájárul a körforgásos gazdaság megvalósításához, amely kulcsfontosságú eleme a jövő zöld átállásának. A következő részben a szakirodalmi hivatkozások alapján vázolom az újrahasznosítás fontosságát.

A hulladékmennyiség évről évre világszerte növekszik. A statisztikai adatok szerint évente globálisan mintegy 2,01 milliárd tonna települési hulladék keletkezik, és ez a szám az előrejelzések szerint 2050-re elérheti a 3,4 milliárd tonnát [3]. Európában az egy főre jutó települési hulladék mennyisége átlagosan 530 kg/év körül mozog, bár jelentős különbségek vannak az egyes országok között. [4]. Magyarországon a KSH adatai szerint 2023-ban az egy főre jutó települési hulladék 429 kg volt, melynek mindössze 33%-a került újrahasznosításra

[5]. Ezek a számok is rávilágítanak arra, hogy a hulladékkezelés és az újrahasznosítás sürgető probléma.

A hulladékok újrahasznosítása nem csupán a környezeti terhelés csökkentését, hanem az energiahordozók végességének problémáját is enyhíti. Az újrahasznosítás jelentősen kevesebb energiát igényel, mint az elsődleges nyersanyagok előállítása. Például az alumínium újrahasznosítása 95%-kal [6], az acél újrahasznosítása 75%-kal [7], a műanyagok újrahasznosítása pedig átlagosan 60-70%-kal [8] kevesebb energiát igényel, mint az új termékek előállítása nyersanyagokból. Ez kritikus fontosságú a fosszilis energiahordozók (kőolaj, földgáz, szén) szűkös készleteinek tükrében. Az újrahasznosítás tehát hozzájárul az energiatartósság csökkentéséhez és a klímaváltozás hatása elleni küzdelemhez.

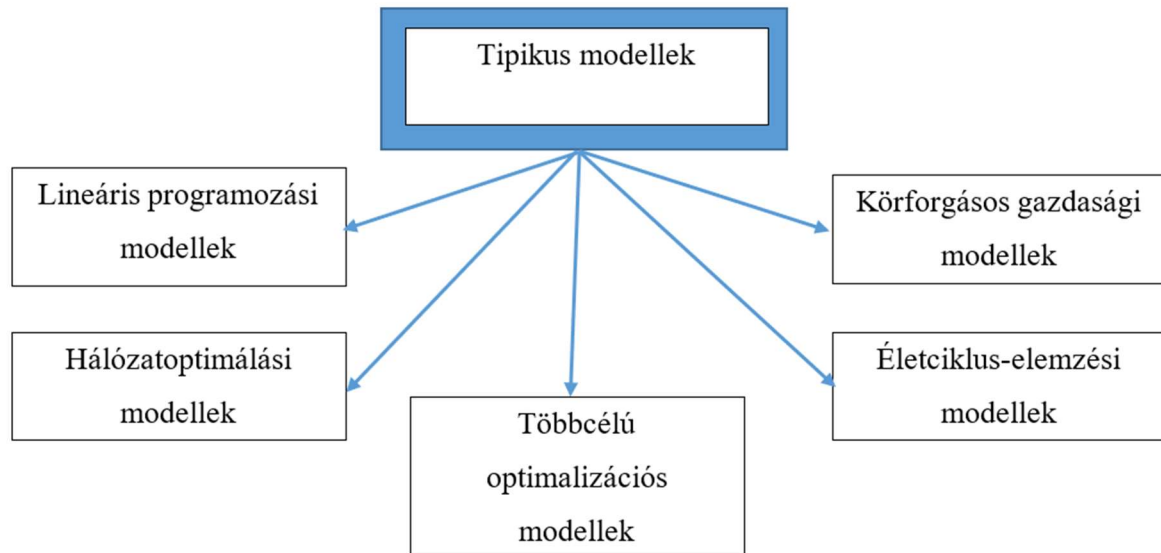
A hatékony recycling logisztika alapja az anyag- és energiaáramok teljes életciklus-szemléletű követése. Ez azt jelenti, hogy egy termék vagy anyag útját a nyersanyag kinyerésétől, a gyártáson, felhasználáson át az újrahasznosításig vagy ártalmatlanításig nyomon követjük. Ez a megközelítés segít azonosítani a folyamat gyenge pontjait, optimalizálni az erőforrás-felhasználást és minimalizálni a hulladékot.

A termékek és hulladékok nyomonkövetése elengedhetetlen a szabályozás betartásához, az illegális tevékenységek megelőzéséhez és az újrahasznosítási ráták pontos méréséhez. Ehhez modern technológiák, mint pl. az RFID (rádiófrekvenciás azonosítás), a GPS és a blockchain technológia is felhasználhatók. A nyomonkövetés egyik jövőbeni megvalósulása a Digitális Termékútlel (Digital Product Passport, DPP) az Európai Unió fenntartható termékekre vonatkozó környezetbarát tervezési rendeletének [9] (Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR) kulcsfontosságú eleme. Ez a digitális dokumentum a termék teljes életciklusára kiterjedő, átfogó adatgyűjteményt tartalmaz, a nyersanyagok beszerzésétől a gyártáson és a felhasználáson át a javítási, újrahasználati és újrahasznosítási lehetőségekig. A DPP célja a nagyobb átláthatóság biztosítása az ellátási láncokban, ezzel segítve a fenntarthatóbb döntések meghozatalát, valamint támogatva az EU körforgásos gazdaságra való átállását. Minden egyes termék egy egyedi digitális azonosítóval (pl. QR-kóddal vagy NFC chippel) lesz összekapcsolva, amely lehetővé teszi a releváns információk elektronikus hozzáférését.

A termékdíj egy olyan gazdasági eszköz, amely a környezeti költségeket beépíti a termékek árába, ösztönözve a gyártókat a környezetbarátabb tervezésre és az újrahasznosításra. A termékdíjak célja, hogy a gyártók felelősséget vállaljanak termékeik teljes életciklusáért,

beleértve azok ártalmatlanítását vagy újrahasznosítását is. A szakirodalomban megtalálható adatok alapján, szintén nagyon lényeges, hogy milyen modellek használhatóak, ezeket a modelleket használni.

Ezen területeken számos modell áll rendelkezésre a tervezéshez és optimaláláshoz, melyet az 1. ábra mutatja be.



1. ábra Rendelkezésre álló modellek (saját szerkesztés)

Az 1. ábrán bemutatott modellek különböző elméleti megközelítéseket reprezentálnak:

- Lineáris programozási modellek sok területen használhatóak optimalizálási problémák kezelésére [10]. Alapvetően szükséges egy lineáris célfüggvény meghatározása, amelynek a szélsőértékét (maximumát vagy minimumát) keressük. Természetesen a szélsőértékek és a lineáris változók összefüggnek, mivel a lineáris változók azok a döntési paraméterek, amelyek értékeit keressük úgy, hogy a célfüggvény a legkedvezőbb értéket vegye fel ugyanakkor a szélsőértékek azok a pontok a megoldáshalmazon belül, ahol az optimum előfordulhat. Ezek matematikailag a korlátrendszer metszéspontjai, és az optimalizálás ezek vizsgálata. A gazdaság, a logisztika, a temeléstervezés, optimális elosztások, tervek elkészítése területén is alkalmazható. Ennek megfelelően a döntés meghozatalánál különböző korlátfüggvényeket lehet figyelembe venni. Az optimalizálás pedig a célfüggvény optimális értékének meghatározása a korlátfüggvények felhasználásával. A recycling logisztikánál jellemzően a logisztikai útvonalak és a gyűjtőhálózatok optimalizálására, a költségek minimalizálására lehet használni. Alineáris programozásnál a célfüggvények

különböző súlyozással vehetők figyelembe, amely lehetőséget biztosít a célfüggvény fontosságának figyelembe vételére.

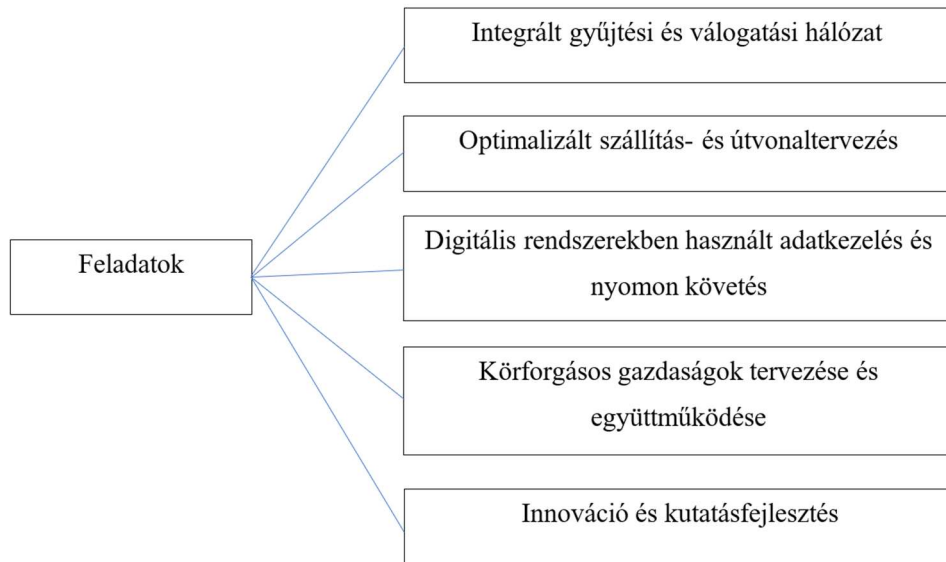
- A hálózatoptimalizálási modellek jól használhatóak a logisztikai folyamatok leírására és optimalizálására, valamint a különböző modellek összehasonlító vizsgálatára [11]. A hálózatoptimalizáló modellek objektumok közötti többféle kapcsolatot (anyagáramlás, információáramlás, értékáramlás, stb.) reprezentálnak az időben különböző paraméterek felhasználásával. Ezek alapján lehetséges különböző logisztikai problémák kezelése, telepítési problémák, több objektumú útvonaltervezés, raktár optimalizáció, stb.). Hálózatoptimalizálási modellek: A recycling logisztikánál központok, feldolgozó üzemek elhelyezésének és kapacitásának meghatározására lehet használni.
- Körforgásos gazdasági modellek a recycling logisztikára alapoznak, ahol a nyersanyag a beszállítóktól az elhasznált termékek újrahasznosításáig követik a termék életútját [12]. Az ilyen típusú modellek lehetőséget biztosítanak az elhasznált termékek újrahasznosítására azon elv alapján, hogy az egyik generáció ne adjon át általa termelt hulladékot a következő generációra megoldandó problémaként. Mindez lehetővé teszi a nyersanyag készletekkel és energiaforrás készletekkel történő optimális gazdálkodást, csökkentve ezzel a környezeti terhelést, valamint elősegítve a fenntartható fejlődést és a gazdasági rendszerek hosszú távú ellenálló képességét. A körforgásos gazdasági modell a termékek, anyagok és erőforrások életciklusának maximalizálására törekszik, a modell nemcsak a termelés és fogyasztás során keletkező hulladék minimalizálását, hanem az anyagáramok zárttá tételét is elvárja. Ezáltal az újrahasznosítás nemcsak környezeti, hanem gazdasági előnyöket is kínál, hiszen csökkenti az alapanyagköltségeket, és olcsóbbá teszi az új termékek előállítását a hagyományos, lineáris modellhez képest. A recycling logisztikában egy zárt láncú rendszerben a termékek és anyagok áramlásának tervezésére lehet használni.
- Életciklus-elemzési (Life Cycle Assessment, LCA) modell szorosan kapcsolódik a körforgásos gazdasági modellhez, olyan holisztikus módszertan, amely a termékek, szolgáltatások vagy folyamatok teljes környezeti hatását vizsgálja a „bölcsőtől a sírig” elv alapján [13]. Ez azt jelenti, hogy az elemzés kiterjed a nyersanyag-

kitermeléstől, a gyártáson, használaton és szállításon át egészen az életciklus végi hulladékkezelésig, beleértve az újrahasznosítást is. A körforgásos gazdaság szempontjából az életciklus-elemzés különösen fontos, mivel kvantitatív alapot biztosít az újrahasznosítás, anyag-visszanyerés és alternatív nyersanyaghasználat környezeti előnyeinek értékelésére. Az LCA segítségével összehasonlíthatók különböző termékpályák és gyártási technológiák, így az optimalálás tudományos alapon történhet, nemcsak ökológiai, hanem gazdasági szempontból is. Az életciklus-elemzés egy input-output alapú kvantitatív modell, amely négy fő szakaszra épül: cél- és hatókör-meghatározás, leltáranalízis, hatásbecslés és értelmezés. A leltáranalízis során egy mátrix alapú rendszermodellt hoznak létre, amelyben a bemeneti és kimeneti anyag- és energiaáramok mennyiségeit rögzítik. Ezek a modellek gyakran lineáris egyenletrendszerként írhatók fel, ahol az egyes folyamatok (pl. gyártás, szállítás, újrahasznosítás) egymáshoz rendelt arányait súlyozott mátrixok segítségével számítják ki. A hatásbecslés során ezekből a fizikai mennyiségekből környezeti mutatókat (pl. CO₂-ekvivalens, vízfogyasztás, ökotoxicitás) számítanak, gyakran normatív vagy standardizált súlyozási tényezők alkalmazásával. A modell eredményei lehetővé teszik az egyes életciklus-szakaszok összehasonlítását. A recycling logisztikában egy termék vagy szolgáltatás teljes környezeti hatásának felmérésére lehet használni.

- A többcélú optimalálás kritikus szerepet tölt be a fenntartható logisztikai rendszerek tervezési fázisában. Az ezen az elven alapuló matematikai modellek célfüggvény rendszere túlmutat a hagyományos költségminimalizálásra és a rendszerszintű hatékonyság maximalizálására irányuló célkitűzéseken. Integrálja a környezeti terhelések csökkentését és az erőforrás-felhasználás optimalizálását szolgáló kritériumokat is [14]. A többcélú optimalizáció integrálhatja a lineáris programozási és hálózatoptimalizációs modelleket, lehetővé téve a komplex logisztikai folyamatok matematikai leírását és optimalizálását, a körforgásos gazdasági modellt, hogy biztosítsa az erőforrások életciklusának kiterjesztését és a hulladéktermelés minimalizálását, továbbá az életciklus-elemzési modell eredményeit a többcélú optimalizációs keretrendszerbe, mely kvantitatív módon teszi lehetővé a logisztikai döntések környezeti hatásainak értékelését. A recycling logisztikában ez a megközelítés magában foglalja többek között egyszerre a gyűjtőhálózat pontjainak és a feldolgozó üzemeknek optimális elhelyezését, a visszáruk és újrahasznosítható

anyagok áramlását biztosító szállítási útvonalak precíz tervezését, valamint az energia- és anyagáramok zárt láncú koordinációját.

Egy ESG-nek megfelelő recycling logisztikai rendszer kiépítése komplex feladat. Ezen komplex feladat részeit a 2. ábra mutatja.



2. ábra Az ESG recycling logisztikai rendszerének komplexitása (saját szerkesztés)

A 2. ábrán megadott definíciók jelentése a recycling logisztikában a következők:

– Integrált gyűjtési és válogatási hálózat

Intelligens gyűjtőpontok: szenzorokkal ellátott konténerek, amelyek jelzik a telítettséget, ezzel inputot adva a szállítási útvonalak optimalizációjához.

Automatizált válogatóüzemek: fejlett optikai- és robotikai rendszerek a gyors és pontos anyagfelismeréshez és szétválogatáshoz.

Közösségi bevonás: oktatási programok a szelektív hulladékgyűjtés fontosságáról és helyes gyakorlatáról.

– Optimalizált szállítás és útvonaltervezés

Zöld flotta: elektromos vagy hidrogénüzemű járművek bevezetése a szállítási CO₂-kibocsátás csökkentésére, vagy közúti szállítás átállítása vasúti konténeres szállításra [S3].

Dinamikus útvonaltervezés: valós idejű adatok alapján optimalizált útvonalak a távolságok és az üzemanyag-fogyasztás minimalizálására.

Visszfuvar-logisztika: az üresen futó járművek kihasználása hulladékgyűjtésre vagy újrahasznosított anyagok szállítására.

– Digitális rendszerekben használt adatkezelés és nyomonkövetés

Digitális platform: központosított rendszer a hulladékmennyiségek, gyűjtési adatok, feldolgozási ráták és a nyomonkövetési információk kezelésére.

Blockchain technológia: az anyagáramok és az újrahasznosított anyagok eredetének átlátható és manipulálhatatlan rögzítésére, biztosítva a hitelességet.

Jelentési rendszer: rendszeres és átlátható ESG jelentések készítése a környezeti teljesítményről. [S8]

– Körforgásos gazdaságok tervezése és együttműködése

"Design for Recycling": a termékek tervezése során már figyelembe kell venni az újrahasznosíthatóságot, a szétszedhetőséget és a monoanyagok használatát.

Ipari szimbiózis: vállalatok közötti együttműködés, ahol az egyik cég hulladéka a másik nyersanyagává válik.

Partnerség a gyártókkal: a gyártók bevonása a recycling folyamatba, ösztönözve őket a termékdíj fizetésére és az újrahasznosítás támogatására.

– Innováció és kutatásfejlesztés

Újrahasznosítási technológiák: befektetés a kémiai újrahasznosításba, korszerű technológiákba és más innovatív megoldásokba a nehezen újrahasznosítható anyagok feldolgozása érdekében.

Anyagtudomány: kutatás és fejlesztés az újrahasznosított anyagok minőségének javítására és új felhasználási területek azonosítására.

Az ESG-nek megfelelő recycling logisztika tehát egy holisztikus megközelítés, amely technológiai innovációt, üzleti stratégiát és szabályozói intézkedéseket ötvöz a fenntartható jövő megteremtése érdekében. Ez nem csupán környezetvédelmi feladat, hanem gazdasági lehetőség és társadalmi felelősségvállalás is egyben, melyet értekezésemben részletesen vizsgállok.

Jelen fejezetben megfogalmazottak alapján az **I. tézisem** a következő: **Feltártam és meghatároztam az ESG keretrendszerek alkalmazásának szükségességét, valamint a recycling logisztika meghatározó szerepét ezen rendszerekben. Meghatároztam az ESG recycling logisztikai rendszerének komplexitását, valamint megadtam a lehetséges optimalizálási paramétereket és a lehetséges módszereket.**

Disszertációm fő feladatának tekintem az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai rendszer lehetséges kialakításának vizsgálatát.

3. A szakirodalom áttekintése, a kutatás céljai, módszerei

Ebben a fejezetben a következőképp végeztem a szakirodalmi kutatást:

- Irodalomkutatás szisztematikus megközelítése
- Publikációs trendek elemzése
- Következtetések a releváns szakirodalom
- ESG keretrendszer megjelenése

Fontosnak tartom a szakirodalmi áttekintés előtt megfogalmazni, hogy miért végeztem el a szakirodalom szisztematikus vizsgálatát. Alapvető célként fogalmaztam meg, hogy az ESG keretrendszerekhez kapcsolódó hazai és külföldi szakirodalomról átfogó képet szerezhsek. Az ESG mozaikszóval először a 2004-ben megjelent Who Cares Wins ENSZ jelentésében lehetett találkozni [15], ugyanakkor az ESG rendszerekről a tudományos életben csak 4-5 éve beszélnek (korábban fenntarthatóság kifejezést használták gyakrabban) és foglalkoznak. Mindemellett az ESG keretrendszerekhez kapcsolódó szakirodalmi részek igen gazdagok (többek között: logisztika, optimalás, hálózati rendszerek, stb.). Kifejezetten olyan szakirodalmakat kerestem, amelyek az ESG rendszerekben található különböző kapcsolódó rendszerek együttműködésével foglalkoznak. Fő problémát az jelentette, hogy bár az előbb említett részrendszerek hazai és nemzetközi szakirodalma viszonylag gazdag, de az ESG keretrendszerekkel kapcsolatos alrendszerek elemzése nem, viszonylag szűk szegmensben fellelhető. Általánosságban elmondható, hogy a legtöbb szakirodalom az ESG rendszerek jogi, gazdasági háttérét elemzi és kevésbé térnek ki ezen elvárások valóságban történő megvalósítására és működésének optimalására. A szakirodalom feldolgozásával célom, hogy következtetéseket tudjak levonni a logisztikai hálózatok ESG teljesítménye, az innováció, az ESG célok elérése, a recycling szerepe, a logisztikai láncok, az életciklus-szemlélet szakmai alkalmazása, valamint ezek integrációja, továbbá a fenntartható logisztikai hálózatok tervezése, és közöttük kialakítható kapcsolatok vonatkozásában. Kiemelt szempont az ESG rendszereknél a hálózatok szerepe, ezért a szakirodalom alapján, a kutatás célja érdekében feltártam az ESG rendszerek a logisztikai hálózatok működtetésével összefüggő kapcsolatokat.

3.1. Irodalomkutatás szisztematikus megközelítése

A szisztematikus irodalomkutatás célja, hogy átfogó és megbízható képet nyújtson a fenntarthatóság és logisztikai menedzsment területén releváns fogalmak és módszertanok

kapcsolatáról, különös tekintettel az ESG, recycling, életciklus-szemlélet és logisztikai hálózatok témakörére. Az irodalomkutatási módszer alapját a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) irányelvei képezik, melyek biztosítják az irodalomkutatás átláthatóságát, reprodukálhatóságát és tudományos megalapozottságát [S2].

Az irodalomkutatás az alábbi három kiemelkedően fontos tudományos adatbázisra támaszkodott: Scopus, Web of Science és Google Scholar. E források kiválasztása annak biztosítása érdekében történt, hogy a legmagasabb minőségű és legfrissebb publikációkat vonjam be az elemzésbe. E három adatbázis lefedi a fenntarthatósági kutatások, a logisztika és a környezetmenedzsment témájában megjelent szakmai cikkek, tanulmányok és konferenciaanyagok széles spektrumát, beleértve a lektorált és magas impaktfaktorú folyóiratokat [16].

3.1.1. Keresési stratégiák

A szisztematikus keresés kulcsszó-alapú megközelítést alkalmaztam, amelynek célja az volt, hogy a témához leginkább kapcsolódó publikációkat azonosítsam. Az alkalmazott kulcsszavak az ESG, recycling, life cycle assessment, logistics networks és sustainability kifejezések köré csoportosultak. Az egyes kulcsszavakat önállóan és kombinált formában is használtam, például:

- "sustainability AND life cycle assessment" (3. ábra),
- "ESG AND logistics networks" (4. ábra),
- "recycling AND logistics optimization" (5. ábra).

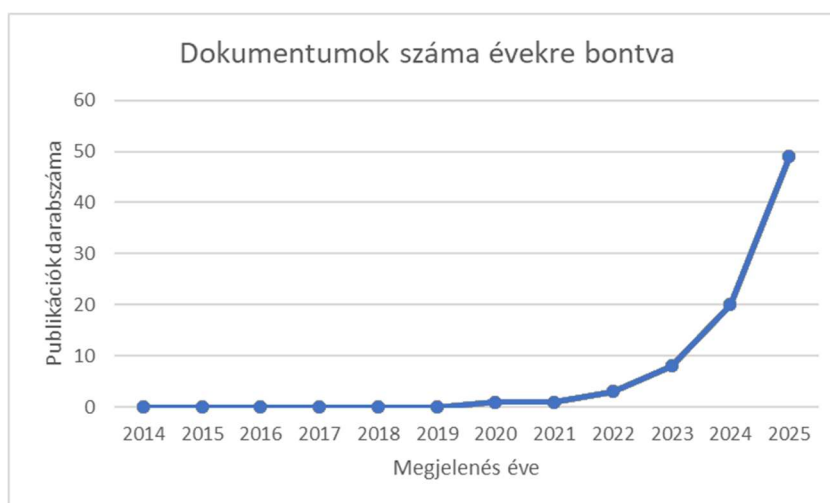
Az alábbiakban grafikonon is szemléltetem a szakirodalmak kulcsszavas kereséseinek eredményét és magyarázatot is nyújtok a trendekhez.

A "sustainability AND life cycle assessment" kulcsszavakra adott szakirodalmi publikációk számát ábrázoló 3. ábra viszonylag stabil, de hullámzó kutatási aktivitást mutat 2014 és 2025 között. Az időszak első fele, 2014-től 2019-ig kisebb ingadozásokkal jellemezhető, jelezve a téma iránti konzisztens, de szerény érdeklődést. Jelentős növekedés 2020-tól figyelhető meg, ami a fenntarthatósági értékelési módszerek iránti növekvő fókuszra utal. Ezt követően a publikációszám stabilizálódott, ami azt mutatja, hogy az életciklus-elemzés a fenntarthatósági kutatásokban megszilárdult, magas prioritású terület lett. Más szókapcsolati keresésekkel is megvizsgáltam a témát, de az LCA betűszó több jelentése miatt (Life Cycle Assessment; Low Carbone Agricultural; Lowest Common Ancestor; Local Coverage Area; Loan Consent Agreement; stb.) torzult az adatsor, ennek okán maradtam a pontos szókapcsolat keresésénél.



3. ábra "Sustainability AND life cycle assessment" kifejezésre adott keresési eredmény a Scopus adatbázisából (saját szerkesztés)

A 4. ábra az "ESG AND logistics network" kulcsszavak szókapcsolatára kapott szakirodalmi publikációk számát mutatja 2014 és 2025 között, mely egyértelműen egy exponenciális növekedési pályát ábrázol. 2014 és 2019 között nem volt publikáció ilyen szókapcsolattal és 2022-ig a publikációs aktivitás rendkívül alacsony volt. Ez azt jelzi, hogy az ESG szempontok integrálása a logisztikai hálózatok kutatásába a vizsgált időszak első felében még marginális területnek számított. A kutatási érdeklődés 2023-ban kezdett érdemben emelkedni, de az igazi áttörés 2024-től következett be, ahol a publikációk száma rohamosan, évről évre jelentősen növekedett, ami a téma kritikus fontosságának globális elismerését tükrözi. Ez a hirtelen, meredek emelkedés jelzi, hogy a vállalatok és a kutatók az utóbbi években kezdték el hangsúlyosan vizsgálni, hogyan építhetők be az ESG kritériumok (pl. dekarbonizáció, etikus ellátási láncok) a logisztikai hálózatok tervezésébe és optimalizálásába.



4. ábra Az "ESG AND Logistics networks" kifejezésre adott keresési eredmény a Scopus adatbázisából (saját szerkesztés)

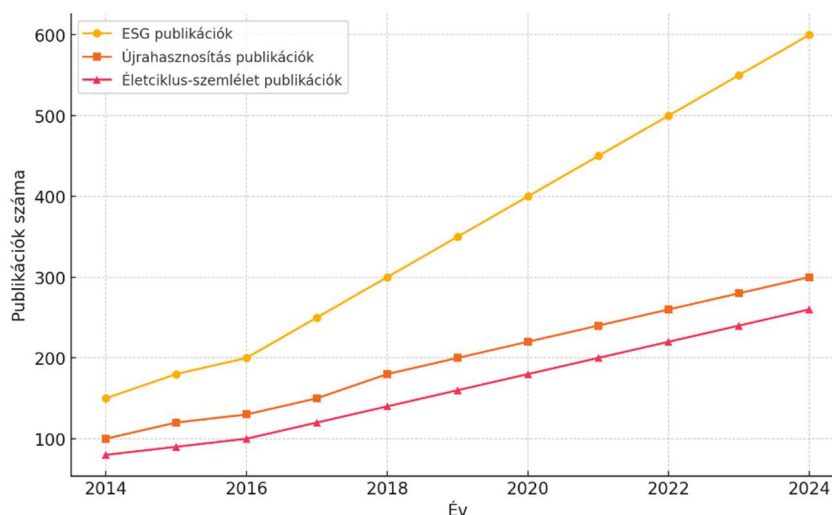
A „recycling AND logistics optimization” kifejezésre adott eredmények alapján elkészített 5. ábra egyértelműen a téma robbanásszerű növekedését mutatja a vizsgált időszakban, ami azt jelzi, hogy az újrahasznosítás logisztikai szempontú optimalizálása egyre fontosabb kutatási terület. A grafikon az újrahasznosítás (recycling) és a logisztikai optimalizálás (logistics optimization) metszéspontjában megjelent szakirodalmi publikációk számát mutatja be 2014 és 2025 között, egyértelműen kirajzolódik a kutatási terület dinamikus fejlődése. A vizsgált időszak alatt megjelent publikációk növekedése azt sugallja, hogy a szakértők egyre inkább felismerik a logisztikai hatékonyság kulcsfontosságú szerepét a fenntartható és gazdaságos újrahasznosítási rendszerek kiépítésében.

A kutatási volumen ezen növekedése szorosan összefügg a globális környezeti trendekkel és a körforgásos gazdaságra való áttérés növekvő sürgősségével. A megnövekedett publikációszám jelzi, hogy a kutatók aktívan keresik az innovatív megoldásokat a visszárulogisztika (reverse logistics) optimalizálására, beleértve a gyűjtőhálózatok, az útvonaltervezés és az anyagszétválasztási folyamatok hatékonyságának javítását. Ez a tendencia aláhúzza, hogy a "recycling AND logistics optimization" ma már nem marginális, hanem egy központi fontosságú interdiszciplináris terület, amely elengedhetetlen a fenntartható ellátási láncok jövőjének biztosításához.



5. ábra "recycling AND logistics optimization" kifejezésre adott keresési eredmény a Scopus adatbázisából
(saját szerkesztés)

A 6. ábra szemlélteti az ESG, recycling és életciklus-szemlélet témájú tudományos publikációk számának az elmúlt évtizedben megtörtént folyamatos növekedését. A trendek elemzése a Scopus, Web of Science és Google Scholar adatbázisok alapján készült, amely bemutatja a 2014–2024 közötti időszakra vonatkozó publikációs gyakoriságokat. A növekedés mögött a fenntarthatóság iránti tudományos és gazdasági érdeklődés fokozódása áll, amely az iparági alkalmazások széles körének fejlesztésével párosul [S2].



6. ábra Fenntarthatósági témájú publikációk trendjei (2014-2024) (saját szerkesztés)

Az időkeretet 2014 és 2024 között határoztam meg, mivel a fenntarthatóság és ESG témakörei az utóbbi évtizedben váltak a tudományos és gyakorlati figyelem középpontjává. Az időszak kiválasztása lehetővé tette, hogy a legfrissebb kutatási eredményeket és trendeket beazonosítsam. (A jobb ábrázolás érdekében a találatok számát 10-ekre kerekítettem)

A szűrési kritériumok magukban foglalták:

- a csak szakmailag lektorált tanulmányok és cikkek bevonását;
- az olyan publikációk kiválasztását, amelyek közvetlenül a megadott kulcsszavakhoz kapcsolódnak;
- a csak angol nyelvű publikációk elemzését, mivel ez biztosítja a nemzetközi relevanciát.

A grafikon egyértelműen mutatja, hogy mindhárom területen folyamatosan növekszik a tudományos érdeklődés, azonban a volumen eltéréseket mutat. Az ESG-témájú publikációk dominálnak, és a vizsgált időszakban a legmagasabb publikációs számot mutatják, ami az átfogó fenntarthatósági és vállalati felelősség iránti nagyfokú tudományos

fókuszra utal. Az újrahasznosítási és az életciklus-szemléleti publikációk stabil, erős növekedést mutatnak a vizsgált időszakban, de volumenük jelentősen alatta marad az ESG-témáénak. Ez a minta azt jelzi, hogy bár a specifikus, módszertani jellegű területek (újrahasznosítás, LCA) folyamatosan fejlődnek, a legszélesebb körű és leggyorsabb növekedést az ESG mint vállalatvezetési keretrendszer mutatja az elmúlt időszakban.

A valószínűsíthető fő okok, amiért az ESG témakörében lényegesen több publikáció jelenik meg, mint az újrahasznosítási vagy az életciklus-szemléleti (LCA) témákban, az az, hogy az ESG nem egy szűken vett műszaki vagy módszertani terület, hanem egy átfogó, stratégiai keretrendszer, amely áthatja a vállalatirányítás, a pénzügy, a jog, a befektetés, a jelentéstétel [S7] és az ellátási lánc szinte minden aspektusát, továbbá, hogy az elmúlt időszakban begyűrűzött ESG-vel kapcsolatos közzétételi kötelezettségek és a befektetői nyomás robbanásszerűen növelte a témával kapcsolatos tudományos és gyakorlati igényt.

3.1.2. Publikációk kiválasztása

A publikációk relevanciájának előzetes értékelése a címek, absztraktok és kulcsszavak alapján történt. A keresés során azonosított több mint 1000 publikációból előszűrés után csak a legrelevánsabb tanulmányok kerültek bevonásra [S2]. Az előszűrés során alkalmazott kritériumok a következők voltak:

- A témához való kapcsolódás: Csak azokat a tanulmányokat vontam be, amelyek közvetlenül érintik az ESG, recycling, életciklus-szemlélet és a logisztikai hálózatok témakörét.
- Innovatív megközelítés: Olyan tanulmányokat választottam, amelyek új módszereket, eszközöket vagy megközelítéseket javasolnak a fenntarthatósági problémák kezelésére.
- Eredmények részletessége: Csak olyan cikkeket vizsgáltam, amelyek részletes empirikus eredményeket vagy elméleti kereteket tartalmaznak.

A végleges elemzéshez kiválasztott publikációk teljes szövegének alapos értékelése biztosította, hogy a tanulmányok tartalma illeszkedjen a kutatási célkitűzésekhez. Az alapos elemzés során figyelmet fordítottam a következő szempontokra:

- módszertan és kutatási keret;
- kulcsfontosságú eredmények és következtetések;
- gyakorlati és elméleti hozzájárulás a fenntartható logisztika fejlesztéséhez.

Az 1. táblázat a publikációk éves növekedését szemlélteti az ESG, a recycling és az életciklus-szemlélet témakörében.

Fenntarthatósági publikációk trendjei (2014–2024)			
Év	ESG publikációk	Újrahasznosítás publikációk	Életciklus-szemlélet publikációk
2014	150	100	80
2015	180	120	90
2016	200	130	100
2017	250	150	120
2018	300	180	140
2019	350	200	160
2020	400	220	180
2021	450	240	200
2022	500	260	220
2023	550	280	240
2024	600	300	260

1. táblázat Publikációk éves növekedése az ESG, a recycling és az életciklus-szemlélet témakörében

A 1. táblázat jól mutatja, hogy:

- az ESG témájú publikációk száma 2014-ben 150-ről 2024-re 600-ra nőtt. Ez az ESG keretrendszerek és a fenntarthatósági elvek vállalati szintű integrációjának gyors elterjedését tükrözi.
- az újrahasznosítási folyamatokkal foglalkozó tanulmányok száma 2014-ben 100-ról 2024-re 300-ra növekedett. A növekedést a körforgásos gazdasági modellek népszerűségének növekedése ösztönözte.
- az LCA publikációk száma 2014-ben 80-ról 2024-re 260-ra nőtt, tükrözve a fenntartható terméktervezés iránti növekvő igényt.

Kimutatások és adatgyűjtés

Az adatbázisokból nyert információkat táblázatos formában rögzítettem, amely lehetővé tette a publikációk közötti összefüggések átfogó vizsgálatát, valamint a kulcsszavakhoz kapcsolódó kutatási trendek és hangsúlyeltolódások elemzését. Az így összegyűjtött adatok képezték a következő fejezet alapját, amely a szakirodalom szisztematikus feldolgozását tartalmazza.

3.2. Publikációs trendek elemzése

Az ESG, a recycling és az életciklus-szemlélet témájú tudományos publikációk száma az elmúlt évtizedben folyamatos növekedést mutatott. A trendek elemzése a Scopus adatbázis alapján készült, amely bemutatja a 2014–2024 közötti időszakra vonatkozó publikációs gyakoriságokat. A növekedés mögött a fenntarthatóság iránti tudományos és gazdasági érdeklődés fokozódása áll, amely az iparági alkalmazások széles körének fejlesztésével párosul.

ESG témakör

Az ESG-vel kapcsolatos publikációk száma az elmúlt években rendkívül erősen növekedett, ami a fenntarthatósági kérdések egyre hangsúlyosabbá válását jelzi. Az ESG témakör népszerűségét az alábbi tényezők befolyásolták:

- Nemzetközi szabályozások: Az ESG szempontokat beépítették számos vállalati jelentéstételi rendszerbe, például az Európai Unió CSRD (Corporate Sustainable Reporting Directive) Fenntarthatósági jelentéstételi rendjébe valamint a Taxonómia-rendszerébe.
- Befektetői figyelem: Az ESG értékelések fontossága a pénzügyi döntéshozatalban megnövekedett, különösen a zöld kötvények és fenntarthatósági alapok elterjedésével.

Recycling témakör

A recycling témájú publikációk stabil növekedése arra utal, hogy az ipari és akadémiai szféra fokozott figyelmet fordít az erőforrás-hatékonyságra. Kiemelt tényezők:

- Hulladékgazdálkodási innovációk: Az újrahasznosítási technológiák fejlődése, például az elektromos járművek akkumulátorainak recyclingja.
- Körforgásos gazdaság térnyerése: Az újrahasznosítás beépítése az ellátási láncok fenntartható működésébe.

Életciklus-szemlélet témakör

Az LCA módszertan népszerűsége a fenntarthatósági értékelés egyik legfontosabb eszközeként stabil növekedést mutatott. Az LCA alkalmazási területei közé tartozik:

- Fenntartható terméktervezés: Az LCA lehetővé teszi, hogy a termékek teljes életciklusának környezeti hatásait minimalizálják.

3.3. Következtetések a releváns szakirodalom alapján

A következő fejezetekben röviden áttekintem a kutatás során fellelt és így a témához kapcsolódó (ESG keretrendszer elvárásai) publikációkat.

3.3.1. Az ESG és a környezetvédelem kapcsolata

Az ESG keretrendszer az elmúlt évtizedben a fenntarthatóság egyik legfontosabb alapkövévé vált, különösen a környezetvédelem szempontjából. A környezetvédelem az ESG egyik legfontosabb, legjobban mérhető eleme, amely magában foglalja az energiafogyasztás csökkentését, a szén-dioxid-kibocsátás minimalizálását, valamint a hulladékkezelési és újrahasznosítási rendszerek fejlesztését [17]. Az ESG értékelések nemcsak a fenntarthatósági célok elérését támogatják, hanem közvetlen gazdasági előnyökkel is járnak. A magas ESG értékelésű vállalatok jobb pénzügyi teljesítményt nyújtanak, ami különösen fontos a befektetők számára [18].

A fenntartható logisztikai hálózatok fejlesztése során egyre nagyobb figyelmet kapnak az innovatív technológiák, mint például a mesterséges intelligencia (AI – Artificial Intelligence) és a dolgok internete (IoT – Internet of Things) [19]. Ezek az eszközök segítik az energiahatékony szállítási megoldások és az újrahasznosítási rendszerek integrálását, amelyek jelentősen javítják az ESG teljesítményt [20]. A blockchain technológia hozzájárul az adatbiztonság és a nyomon követhetőség megerősítéséhez. [21].

– Logisztikai hálózatok és ESG teljesítmény

A logisztikai szektor különösen fontos szerepet játszik az ESG célkitűzések elérésében, mivel a globális szállítási hálózatok jelentős környezeti hatásokkal járnak. A fenntarthatóságot szolgáló stratégiák, mint például a zöld szállítmányozás, az energiahatékony raktározás és az alternatív üzemanyagok használata, jelentősen hozzájárulnak az ESG teljesítmény javításához. A fenntartható beszerzési gyakorlatok alkalmazása nemcsak a karbonlábnyom csökkentését segíti, hanem a költségek optimalizálásához is hozzájárul [22]. A logisztikai folyamatok ESG értékelésének növelése erősíti a vállalatok hírnevét és hosszú távú versenyképességét [23].

– Innovációk az ESG célok elérése érdekében

Az innovatív technológiák jelentős előrelépést hoztak az ESG értékelésben. Az ellátási láncok optimalizálására alkalmazott mesterséges intelligencia és gépi tanulási algoritmusok képesek előre jelezni a fenntarthatósági kockázatokat, ezáltal lehetővé téve a vállalatok számára az ESG célok hatékonyabb elérését [20]. Az ESG értékelésbe integrált IoT-technológiák valós

idejű adatokkal segítik a logisztikai hálózatok optimalizálását, így csökkentve a környezeti terhelést [24].

3.3.2. Recycling és életciklus-szemlélet a logisztikában

A recycling szerepe a logisztikai láncokban

Az újrahasznosítás a fenntartható ellátási láncok egyik legfontosabb eleme. A recycling logisztikai integrációja akár 25%-kal csökkentheti a szállítási lánc karbonlábnyomát, miközben jelentősen növeli a gazdasági hatékonyságot. Emellett az újrahasznosítás lehetőséget teremt az erőforrások visszaforgatására, amely csökkenti az alapanyagok iránti keresletet és elősegíti a körforgásos gazdasági modell megvalósítását [25].

- Életciklus-szemlélet (LCA) alkalmazása

Az életciklus-szemlélet a termékek és szolgáltatások teljes életútjának környezeti hatásait vizsgálja, a nyersanyag-kitermeléstől az ártalmatlanításig. Az LCA alkalmazása segíti a döntéshozókat a fenntarthatósági szempontok beépítésében a logisztikai rendszerek tervezésébe. Az LCA emellett támogatja a fenntartható gyakorlatok bevezetését a beszerzési, gyártási és disztribúciós folyamatokban [26].

- Recycling és LCA integrációja

A recycling és az LCA integrációja különösen fontos a fenntartható logisztikai rendszerek kialakításában. Az LCA keretrendszerrel támogatott újrahasznosítási folyamatok nemcsak a hulladékkezelés hatékonyságát növelik, hanem jelentős gazdasági megtakarításokat is eredményeznek [27]. Az LCA és a decentralizált újrahasznosítási központok együttes alkalmazása elősegíti a logisztikai hálózatok rugalmasságának növelését [28].

3.3.3. Hálózatok szerepe a fenntartható logisztikában

A logisztikai hálózatok optimalizálása az ESG szempontok integrációjával különösen kritikus a fenntarthatósági célok elérése érdekében [29]. Fenntartható logisztikai hálózatok tervezése

A decentralizált újrahasznosítási központok bevezetése és az elektromos járművek alkalmazása jelentős környezeti hatáscsökkentést eredményezhet [30].

- Hálózatok és recycling közötti kapcsolatok

A fenntartható logisztikai hálózatok tervezése során az újrahasznosítási központok integrációja kiemelt fontosságú. A decentralizált újrahasznosítási központok alkalmazása

javítja az erőforrások visszaforgatásának hatékonyságát, miközben csökkenti a hulladékkal kapcsolatos költségeket. Az ilyen központok hozzájárulnak a logisztikai folyamatok rugalmasságának és fenntarthatóságának növeléséhez [29].

3.3.4. Az ESG, a logisztika a környezetvédelem metszéspontjai

A logisztikai folyamatok ESG értékeléssel történő optimalizálása lehetővé teszi a fenntarthatósági célok hatékonyabb megvalósítását. A mesterséges intelligenciával és IoT-eszközökkel támogatott szállítási hálózatok valós idejű adatokat biztosítanak, amelyek segítenek az energiafogyasztás minimalizálásában és a karbonlábnyom csökkentésében [31].

ESG értékelés beépítése a logisztikai folyamatokba [S1]

Az ESG értékelés bevezetése a logisztikai folyamatokba lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy következetesen nyomon kövessék fenntarthatósági teljesítményüket, valamint javítsák az ellátási lánc környezeti hatásainak kezelését. Az ESG értékelési rendszerek alkalmazása nemcsak a vállalatok környezeti teljesítményének javításában játszik kulcsszerepet, hanem segíti a döntéshozatalt is. Például az ESG értékelés alapján megvalósított zöld logisztikai stratégiák elősegíthetik a hulladékcsökkentést, az energiahatékonyságot és a szén-dioxid-kibocsátás minimalizálását [24].

Az ESG értékelések integrálása a logisztikai rendszerekbe jelentősen növeli a transzparenciát az ellátási lánc minden szakaszában. Ez különösen fontos a globális logisztikai hálózatok esetében, ahol az átláthatóság kritikus a környezeti szabályozásoknak való megfelelés szempontjából. [2]

– Innovációk a zöld logisztika területén [S1]

Az innovációk, mint például a mesterséges intelligencia és az IoT, forradalmasították a fenntartható logisztikai rendszerek tervezését és működtetését. Az IoT-technológiák valós idejű adatokat biztosítanak, amelyek lehetővé teszik az energiafelhasználás optimalizálását és a hulladék minimalizálását. Az IoT-eszközök által gyűjtött valós idejű adatok segítenek a szállítási útvonalak optimalizálásában és a járművek üzemanyag-felhasználásának csökkentésében, ezáltal javítva az ESG teljesítményt [20].

Ezen túlmenően a prediktív analitika és a mesterséges intelligencia segíthet az ESG célok elérésében azáltal, hogy előrejelzi az ellátási láncban felmerülő kockázatokat, például a túlfogyasztást vagy a készlethiányt. A blockchain technológia szintén fontos szerepet játszik a

fenntartható logisztikai rendszerek fejlesztésében azáltal, hogy garantálja az adatbiztonságot és javítja a nyomon követhetőséget az ESG értékelések során [32].

– Fenntartható logisztika és ESG teljesítmény

A logisztikai folyamatok ESG keretrendszerrel való összehangolása központi szerepet játszik a fenntarthatósági stratégiák sikerességében. A zöld logisztikai megoldások, például az alternatív üzemanyagok és az elektromos járművek alkalmazása, jelentősen növelik az ESG értékelésen alapuló vállalati fenntarthatóságot [23]. A fenntartható szállítási megoldások alkalmazása akár 40%-kal csökkentheti a szállítási szakasz szén-dioxid-kibocsátását, amely közvetlenül hozzájárul az ESG célkitűzések eléréséhez [33].

A fenntartható logisztikai stratégiák, például a visszaszállítási folyamatok optimalizálása és az újrahasznosítási központok integrációja, hosszú távon javítják az ESG teljesítményt. Ezek a stratégiák nemcsak a környezeti hatásokat minimalizálják, hanem költségmegtakarítást és fokozott vállalati hírnevet is eredményeznek [30].

3.4. ESG keretrendszer

Az ESG keretrendszer három kulcsfontosságú dimenziót ötvöz: környezeti, társadalmi és vállalatirányítási szempontokat. Ezek integrált megközelítése biztosítja a fenntarthatóság hosszú távú céljainak megvalósítását.

Elméleti háttér: Az ESG koncepciója az 1990-es években jelent meg, de az elmúlt évtizedben vált meghatározóvá. Több mint 2000 tanulmány vizsgálata, meta-elemzése után a következtetés, hogy az ESG szempontok integrációja pozitív hatással vannak a vállalatok pénzügyi teljesítményére [18].

Kutatási példák:

- A multinacionális vállalatok környezetvédelmi politikájának hatékonyságát vizsgálták, és megállapították, hogy az ESG teljesítmény növeli a befektetői bizalmat [17].
- A Fenntarthatósági továbbá az ESG jelentések és a vállalati átláthatóság közötti kapcsolatot elemezték, kiemelve a digitális transzformáció fontosságát [2].

Gyakorlati jelentőség: Az ESG keretrendszer a logisztikai szektorban különösen fontos, mivel a szállítmányozásnak jelentősek a környezeti hatásai. Az ESG értékelési rendszerek

lehetővé teszik a fenntarthatósági teljesítmény nyomon követését, miközben hozzájárulnak az energiahatékony logisztikai hálózatok kialakításához.

3.5. A recycling

Az újrahasznosítás a fenntartható fejlődés kulcsfontosságú eleme, amely az erőforrások hatékonyabb felhasználását és a hulladékkezelés optimalizálását célozza.

Elméleti háttér: Az újrahasznosítás a körforgásos gazdasági modell alapköve, amely minimalizálja a hulladék mennyiségét és maximalizálja az anyagok újrafelhasználhatóságát. Az újrahasznosítás logisztikai láncokba való integrációja lehetőséget nyújt a hulladékcsökkentés és az erőforrás-megtakarítás révén történő költséghatékonyság elérésére [25].

Kutatási példák:

- A mechanikai újrahasznosítás jelentős szén-dioxid csökkentést eredményezhet, a műanyagok újrahasznosítási gyakorlatának életciklus alapú értékelését végezve [27].
- Az újrahasznosítási központok decentralizált hálózati modelljével javítható az ellátási lánc rugalmassága [34].

Gyakorlati jelentőség: A logisztikai láncok újrahasznosítási rendszereinek integrációja lehetővé teszi a fenntarthatósági célok elérését. Például az elektromos járművek akkumulátorainak újrahasznosítása nemcsak környezeti, hanem gazdasági előnyökkel is jár.

3.6. Életciklus-szemlélet (LCA)

Az életciklus-szemlélet az ellátási láncok fenntarthatósági elemzésének elengedhetetlen eszköze, amely a termékek és szolgáltatások teljes életútját vizsgálja.

Elméleti háttér: Az LCA módszertan az ISO 14040 szabványokon alapul, és lehetővé teszi a környezeti hatások holisztikus értékelését a nyersanyag-kitermeléstől a hulladékkezelésig [26].

Kutatási példák:

- Az LCA módszertan alkalmazásának előnyeit és korlátait elemezték a logisztikai rendszerekben [26].

- Fenntartható logisztikai hálózatok életciklus-elemzését végezték, kiemelve az elektromos járművek és megújuló energiaforrások integrációjának jelentőségét [3].

Gyakorlati jelentőség: Az LCA alkalmazása lehetővé teszi a logisztikai döntéshozók számára, hogy minimalizálják a környezeti terhelést az ellátási lánc minden szakaszában, például energiahatékony szállítási stratégiák révén.

3.7. Logisztika és hálózatok és az ESG

A logisztikai hálózatok optimalizálása központi szerepet játszik a fenntarthatósági célok elérésében, mivel ezek a globális gazdasági rendszerek gerincét alkotják.

Elméleti háttér: A logisztikai hálózatok fenntarthatósági szempontú tervezése magában foglalja az energiahatékony szállítási módok, a regionális raktárak és az újrahasznosítási központok integrációját.

Kutatási példák:

- Az ESG szempontok integrációjának hatását vizsgálták a logisztikai hálózatok tervezésére, hangsúlyozva a zöld logisztika jelentőségét [36].
- A fenntartható beszerzési gyakorlatok és a logisztikai hálózatok teljesítményére gyakorolt hatását elemezték [22].

Gyakorlati jelentőség: Az energiahatékony raktározási és szállítási megoldások nemcsak a karbonlábnyom csökkentését segítik elő, hanem gazdasági előnyöket is nyújtanak, például költségmegtakarítást és nagyobb ellátási lánc-rugalmasságot.

– ESG témakör

Az ESG-vel kapcsolatos publikációk száma az elmúlt években meghatározóan nőtt, ami a fenntarthatósági kérdések egyre hangsúlyosabbá válását jelzi. Az ESG témakör népszerűségét az alábbi tényezők befolyásolták:

- Nemzetközi szabályozások: Az ESG szempontokat beépítették számos vállalati jelentéstételi rendszerbe, például CSRD, CSDDD (Corporate Sustainability Due Diligence Directive) vagy az Európai Unió Taxonómiarendszerébe.
- Befektetői figyelem: Az ESG értékelések fontossága a pénzügyi döntéshozatalban megnövekedett, különösen a zöld kötvények és fenntarthatósági alapok elterjedésével. A fenntarthatósági, ESG kérdések a finanszírozás megkerülhetetlen részévé váltak.

– Recycling témakör

A recycling témájú publikációk stabil növekedése arra utal, hogy az ipari és az akadémiai szféra fokozott figyelmet fordít az erőforrás-hatékonyságra. Kiemelt tényezők:

Hulladékgazdálkodási innovációk: Az újrahasznosítási technológiák fejlődése, például az elektromos járművek akkumulátorainak recycling-ja.

Körforgásos gazdaság térnyerése: Az újrahasznosítás beépítése az ellátási láncok fenntartható működésébe.

– Életciklus-szemlélet témakör

Az LCA módszertan népszerűsége a fenntarthatósági értékelés egyik legfontosabb eszközeként stabil növekedést mutatott. Az LCA alkalmazási területei közé tartozik, a fenntartható terméktervezés, amely lehetővé teszi, hogy a termékek teljes életciklusának környezeti hatásait minimalizálják.

3.8. Következtetések, összefoglalás

A publikációs trendek elemzése alapján az ESG, recycling és életciklus-szemlélet területeken egyértelműen megfigyelhető a növekvő kutatói érdeklődés. Az elemzések rámutatnak, hogy az iparágak és az akadémiai szféra közötti együttműködés jelentős szerepet játszik a fenntarthatósági célok elérésében.

A diagramok és kimutatások vizuálisan is alátámasztják, hogy a kutatások irányai az ESG keretrendszerek vállalati szintű integrációjára, az újrahasznosítás fejlesztésére és az LCA gyakorlati alkalmazására összpontosulnak. Ezek a trendek várhatóan folytatódnak a következő években, újabb lehetőségeket teremtve a fenntarthatósági menedzsment rendszerek kutatásában és alkalmazásában.

Az elmúlt évtizedben a fenntarthatóság kérdései az akadémiai és üzleti élet középpontjába kerültek [37], különösen a globális környezeti és társadalmi kihívások kezelésének szükségessége miatt. A fenntarthatóság megközelítése az ESG keretrendszer, az újrahasznosítás, valamint az életciklus-szemlélet köré épül, amelyek szorosan kapcsolódnak a logisztikai menedzsment rendszerekhez. Az ESG keretrendszer, amely a környezeti, társadalmi és vállalati irányítási szempontokat foglalja magában, alapvető eszköz a fenntarthatósági célok vállalati integrációjához. A környezeti kérdéskör különösen hangsúlyos a logisztikai ágazatban,

amely jelentős hatással van az energiafogyasztásra, a kibocsátásokra és a hulladékgazdálkodásra. A logisztikai hálózatok optimalizálása, például a zöld szállítási megoldások és az energiahatékony raktározás közvetlenül hozzájárulnak az ESG teljesítmény növeléséhez.

Az újrahasznosítás és az életciklus-szemlélet szintén meghatározó elemek a fenntartható logisztikai láncok kialakításában. Az újrahasznosítás integrációja az ellátási láncokba lehetővé teszi a hulladék csökkentését, valamint az erőforrások hatékonyabb felhasználását, ami gazdasági előnyökkel is jár. Az LCA módszertan segíti a termékek és szolgáltatások teljes életút környezeti hatásainak átfogó értékelését, különös tekintettel a nyersanyagok kitermelésétől egészen a használat utáni ártalmatlanításig. Ezek az eszközök a logisztikai hálózatok fenntarthatósági szempontú újratervezésében is kiemelt szerepet játszanak, hozzájárulva az ellátási láncok környezeti hatásainak csökkentéséhez és a fenntarthatósági célok eléréséhez.

A tudományos publikációk elemzése rávilágított arra, hogy az ESG, az újrahasznosítás és az életciklus-szemlélet iránti érdeklődés az elmúlt évtizedben jelentős növekedést mutatott. Az ESG témakörben megjelent publikációk száma évente átlagosan 15%-kal növekedett, tükrözve a fenntarthatósági elvek vállalati stratégiákba való fokozott integrációját. Az újrahasznosítással kapcsolatos publikációk szintén folyamatos emelkedést mutattak, különösen a körforgásos gazdasági modellek népszerűségének köszönhetően. Az LCA publikációk stabil növekedése azt jelzi, hogy a fenntartható terméktervezési és logisztikai stratégiák tervezése során az életciklus-elemzés egyre meghatározóbb eszközzé vált. Az elemzések igazolják, hogy ezek a kutatási területek nemcsak a környezetvédelem szempontjából fontosak, hanem a gazdasági teljesítményt és a versenyképességet is növelik.

A fenntartható logisztikai hálózatok tervezésében az ESG keretrendszer, az újrahasznosítási folyamatok és az LCA módszertan integrációja egyaránt nélkülözhetetlen. Ezek az eszközök lehetővé teszik, hogy a vállalatok a fenntarthatósági célok elérése mellett gazdasági előnyökhöz is jussanak, például a költséghatékonyság és a fogyasztók bizalmának növelése révén. Az elemzett publikációk egyértelműen rámutattak arra, hogy a fenntarthatósági törekvések és a logisztikai innovációk egymást erősítő hatása révén hosszú távon mind az ipari, mind az akadémiai szféra jelentős eredményeket érhet el. Ez a szisztematikus áttekintés hozzájárulhat a logisztika fenntarthatósági kérdéseinek és kapcsolódásainak mélyebb megértéséhez és a további kutatások irányának kijelöléséhez.

4. Jogsabályi háttér

A szigorodó ESG szabályozások rendszere közvetlen módon érvényesül a logisztika és az újrahasznosítás területén. A jogi kötelezettségek (mint a hulladékkezelési célok teljesítése, a körforgásos gazdasági modell elvárásai vagy a CSRD által előírt részletes adatszolgáltatás) új igényeket generálnak. Az ipari és a szolgáltatói szektor ezért elmozdult a pusztán elméleti vizsgálatoktól a problémamegoldó, alkalmazott megoldáskeresések irányába. A logisztikai kutatók a visszáru-logisztikai hálózatok optimalizálására, a mesterséges intelligencia (AI) és a Big Data felhasználására összpontosítanak a hulladékaromok predikciójában és nyomon követésében, míg az újrahasznosítással foglalkozó szakemberek a jogszabályilag előírt magasabb arányok eléréséhez szükséges innovatív anyagszétválasztási és feldolgozási technológiákat keresik. Ugyanakkor ehhez szükséges megvizsgálni a jelenlegi szabályozási környezetet, mely alapján meghatározható, hogy milyen kötelezettségek teljesítéséhez, milyen adatok alapján felállítható modell párosítható, amellyel jelen kutatásban célom a vállalati jogi megfelelés és a hatékonyabb, fenntartható logisztikai megoldások kidolgozása. Ennek okán ezen fejezetben az ESG jogsabályi háttérét tártam fel.

A fenntarthatóság és a társadalmi felelősségvállalás napjainkban központi szerepet kapnak a gazdasági és pénzügyi döntéshozatalban. Az ESG szabályozás célja, hogy elősegítse a környezeti, társadalmi és irányítási szempontok integrálását a vállalatok működésébe, hozzájárulva a fenntartható fejlődéshez és a tőkepiaci transzparenciához. A szabályozás hozzájárul a beszállítói láncok új elvárások alapján történő átfarmálódásához.

Az Európai Unió ESG szabályozása az elmúlt években jelentős fejlődésen ment keresztül annak érdekében, hogy elősegítse a fenntartható gazdasági működést és a vállalatok társadalmi felelősségvállalását.

4.1. Az ESG szabályozás kialakulása az EU-ban

Jól azonosítható, hogy az EU már az 1970-es évektől kezdve foglalkozott környezetvédelmi kérdésekkel, de a fenntarthatósági szabályozás igazán csak az ezredforduló után kapott lendületet. Az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljai (SDG-k) [38] és a Párizsi Megállapodás jelentős hatással voltak az uniós politikákra, amelyek egyre szigorúbb előírásokat vezettek be a vállalatok és pénzügyi intézmények számára.

Az Európai Unió fenntarthatósági szabályozása hosszú fejlődési folyamat eredménye, amely az éghajlatváltozás elleni küzdelem, a társadalmi felelősségvállalás és a fenntartható gazdasági növekedés előmozdítására irányult. Ennek az útnak az egyik első meghatározó mérföldköve az 1992-es Riói Egyezmény, hivatalos nevén az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC) [39]. Ez volt az első globális megállapodás volt, amely elismerte az éghajlatváltozás problémáját és annak emberi eredetét. Az egyezmény célja az üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozása és a nemzetközi együttműködés előmozdítása volt. Az EU már ekkor elkötelezte magát a fenntarthatósági célok mellett, és az egyezmény alapot teremtett a későbbi uniós klímapolitikai intézkedések számára. Ez a megállapodás hozta létre az éves COP (Conference of the Parties) találkozókat, ahol a részes felek további lépéseket vitathattak meg az éghajlatváltozás elleni küzdelem érdekében.

Kiemelt mérföldkőként az 1997-es Kiotói Jegyzőkönyv [40] volt az első jogilag kötelező erejű nemzetközi egyezmény, amely konkrét kibocsátáscsökkentési célokat határozott meg a fejlett országok számára. Az EU aktív szerepet vállalt a jegyzőkönyv végrehajtásában, és számos tagállam ambiciózus kibocsátáscsökkentési célokat tűzött ki. A Kiotói Jegyzőkönyv bevezette a szén-dioxid kvóták kereskedelmét, amely lehetővé tette az országok számára, hogy kibocsátási jogokat vásároljanak vagy értékesítsenek. Az EU ezt a rendszert továbbfejlesztette, és 2005-ben elindította az EU Emissions Trading System (EU ETS) programot, amely azóta is az egyik legfontosabb eszköz az uniós kibocsátáscsökkentési célok elérésében.

Az utóbbi idők két legfontosabb lépése a 2015-ös Párizsi Klímapegállapodás [41] és az ENSZ Fenntartható Fejlődési Célok elfogadása lendületet adott a fenntarthatóság kérdéseinek. A Párizsi Klímapegállapodás jelentős előrelépést hozott, mivel minden részes fél számára kötelezővé tette az éghajlatváltozás elleni fellépést, függetlenül attól, hogy fejlett vagy fejlődő ország. Az EU a megállapodás egyik legnagyobb támogatója volt, és azóta számos fenntarthatósági szabályozást vezetett be, amelyek az ESG elveken alapulnak. Az EU Taxonómia rendelet, a CSRD [42] és a CSDDD [43] mind a Párizsi Megállapodás célkitűzéseinek megvalósítását szolgálják. Az uniós ESG szabályozás célja, hogy a vállalatok átláthatóbb jelentéseket készítsenek, és aktívan csökkentsék a negatív környezeti és társadalmi hatásait, miközben hozzájárulnak az EU klímasemlegességi célkitűzéseikhez. Az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljait (SDG-k, Sustainable Development Goals) 2015. szeptember 25-27. között fogadták el New Yorkban, az ENSZ Fejlesztési Csúcstalálkozóján. A 193 tagállam vezetői egyhangú döntéssel hagyták jóvá a "Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development" [44] című dokumentumot, amely 17 fenntarthatósági célt és 169

alcélt tartalmaz. Az SDG-k feladata, hogy globális szinten elősegítsék a szegénység felszámolását, az egyenlőtlenségek csökkentését valamint az éghajlatváltozás elleni küzdelmet. A Fenntartható Fejlődési Célok és a Párizsi Klímamegállapodás szorosan összefüggenek, mivel mindkettő a globális fenntarthatóság és az éghajlatváltozás elleni küzdelem előmozdítását célozza. Az SDG-k közül a 13. célkitűzés („Fellépés az éghajlatváltozás ellen”) kifejezetten az éghajlatváltozás mérséklésére és az alkalmazkodásra összpontosít, amely összhangban áll a Párizsi Megállapodás céljaival. A megállapodás jogilag kötelező erejű vállalásokat ír elő az országok számára, hogy csökkentsék üvegházhatású gázkibocsátásukat és támogassák a klímafinanszírozást, míg az SDG-k szélesebb körű társadalmi és gazdasági dimenziókat is figyelembe vesznek. Az SDG-k és a Párizsi Megállapodás együttesen biztosítják, hogy az éghajlatváltozás elleni fellépés ne csak környezetvédelmi, hanem gazdasági és társadalmi szempontból is fenntartható legyen, elősegítve a globális együttműködést és a hosszú távú fenntarthatósági célok elérését.

4.2. Az EU fenntarthatósági szabályozása

Mindezek alapján jól látható, az EU fenntarthatósági szabályozásának célja, hogy a vállalatok és pénzügyi intézmények átláthatóbb és felelősségteljesebb működést folytassanak, miközben hozzájárulnak az éghajlatváltozás elleni küzdelemhez és a társadalmi igazságosság előmozdításához. Az uniós szabályozás 2025-ig folyamatosan fejlődött, és egyre nagyobb hangsúlyt fektetett a fenntartható befektetések ösztönzésére és a vállalatok felelősségvállalásának növelésére

Az EU fenntarthatósági szabályozása fokozatosan épült ki, és több fontos jogszabályt foglal magában. Az ESG szabályozás célja, hogy a vállalatok átláthatóbb intézkedéseket tegyenek, valamint erről jelentéseket készítsenek [S7], és így aktívan csökkentsék a negatív környezeti és társadalmi hatásait.

4.3. Fontos mérföldkövek az ESG szabályozásban

Ezt a fejezetet a fenntarthatósági irányítás területet alapvetően átalakító legfontosabb ESG-t meghatározó jogszabályok bemutatásának szentelem. Az alábbiakban sorra veszem azokat a kulcsfontosságú európai uniós és nemzetközi és hazai jogszabályokat, amelyek a legnagyobb hatással vannak a vállalatok működésére.

4.3.1. Az NFRD (Non-Financial Reporting Directive- 2014)

Az első jelentős szabályozás, amely előírta a nagyvállalatok számára a nem pénzügyi információk közzétételét. Az NFRD [45] az Európai Unió 2014-ben elfogadott irányelve, amely előírja a nagyvállalatok számára, hogy éves jelentéseikben közzétegyék a nem pénzügyi információikat. Az irányelv célja, hogy növelje az átláthatóságot és segítse a befektetőket, a fogyasztókat és más érdekelt feleket abban, hogy jobban megértsék a vállalatok társadalmi és környezeti hatásait. Az NFRD, kiemelten a környezetvédelem, a társadalmi felelősségvállalás, az emberi jogok tiszteletben tartása és a korrupció elleni küzdelem területeire összpontosít.

Az NFRD hatálya alá tartoznak azok a nagyvállalatok, amelyek több mint 500 alkalmazottal rendelkeznek, és közérdeklődésre számot tartó gazdálkodónak minősülnek, például tőzsdén jegyzett cégek, bankok és biztosítótársaságok. Az irányelv előírja, hogy ezek a vállalatok strukturált módon számoljanak be fenntarthatósági teljesítményükről, és jelentéseikben használjanak nem pénzügyi kulcsindikátorokat, kulcsmutatókat. Az Európai Bizottság nem kötelező érvényű iránymutatásokat is kiadott, amelyek segítik a vállalatokat az egységes és összehasonlítható jelentéstételben.

Az NFRD később alapját képezte a CSRD bevezetésének, amely kibővítette a jelentéstételi kötelezettségeket és szigorúbb előírásokat vezetett be. Az új szabályozás célja, hogy még részletesebb és megbízhatóbb fenntarthatósági információkat biztosítson, és elősegítse a vállalatok felelősségteljes működését. Az NFRD tehát fontos lépés volt az EU fenntarthatósági szabályozásának fejlődésében, amely hozzájárult a vállalati átláthatóság és felelősségvállalás növeléséhez.

4.3.2. Az SFRD (Sustainable Finance Disclosure Regulation - 2019)

A pénzügyi szolgáltatók fenntarthatósági információinak átláthatóságát hivatott növelni. Az SFRD [46] célja, hogy a befektetők és fogyasztók könnyebben hozzáférjenek a pénzügyi termékek környezeti és társadalmi hatásairól szóló információkhoz, elősegítve a fenntartható befektetési döntéseket. A rendelet előírja, hogy a pénzügyi intézményeknek közzé kell tenniük, hogyan integrálják a fenntarthatósági kockázatokat befektetési döntéseikbe, és milyen hatással vannak ezek a kockázatok a pénzügyi teljesítményre.

Az SFRD három szintű kötelezettséget határoz meg: vállalati szintű, termékszintű és befektetési szintű jelentéstételt. A pénzügyi intézményeknek nyilvánosságra kell hozniuk, hogy milyen fenntarthatósági kockázatokat vesznek figyelembe, és hogyan kezelik azokat. Emellett a befektetési termékek esetében részletes információkat kell szolgáltatniuk arról, hogy azok

milyen mértékben felelnek meg a fenntarthatósági céloknak. Az SFRD egyik legfontosabb eleme az úgynevezett "főbb káros hatások" (Principal Adverse Impacts, PAI), amelyeket a pénzügyi szereplőknek figyelembe kell venniük és jelenteniük kell.

A rendelet hatása már érezhető a pénzügyi szektorban, mivel a befektetők egyre nagyobb figyelmet fordítanak a fenntarthatósági szempontokra. Az SFRD segít megelőzni a greenwashing jelenséget, vagyis azt, hogy a vállalatok félrevezető módon fenntarthatónak tüntessék fel magukat. Az EU folyamatosan finomítja a szabályozást, és további technikai részleteket határoz meg annak érdekében, hogy a fenntarthatósági információk még pontosabbak és összehasonlíthatóbbak legyenek. Az SFRD tehát kulcsszerepet játszik a fenntartható pénzügyi piacok kialakításában és a felelős befektetési döntések elősegítésében.

Az EU Taxonómia rendelet: Az EU Taxonómia rendelet [47] (EU 2020/852) egy uniós szabályozás, amely meghatározza, hogy egy gazdasági tevékenység mikor tekinthető környezeti szempontból fenntarthatónak. A rendelet célja, hogy egységes kritériumokat biztosítson a befektetők és vállalatok számára, elősegítve a zöld beruházásokat és a fenntartható gazdasági növekedést. Az EU Taxonómia hat fő környezeti célkitűzést határoz meg, többek között az éghajlatváltozás mérséklését, a körforgásos gazdaságra való átállást és a biológiai sokféleség védelmét.

A rendelet előírja, hogy egy gazdasági tevékenység akkor tekinthető fenntarthatónak, ha jelentősen hozzájárul legalább egy környezeti célkitűzéshez, miközben nem sérti a többi célkitűzést. Emellett a tevékenységnek meg kell felelnie az Európai Bizottság által meghatározott technikai vizsgálati kritériumoknak. Az EU Taxonómia különösen fontos a pénzügyi szektor számára, mivel segíti a befektetőket abban, hogy fenntartható befektetési döntéseket hozzanak, és csökkenti a "greenwashing" kockázatát.

A Taxonómia rendelet hatása már érezhető az uniós vállalatok működésében, különösen azoknál, amelyek fenntarthatósági jelentéstételi kötelezettséggel rendelkeznek [S7]. Az új szabályok elősegítik a zöld finanszírozás növekedését, és arra ösztönzik a vállalatokat, hogy fenntarthatóbb üzleti modelleket alkalmazzanak. A Taxonómia rendelet tehát kulcsszerepet játszik az EU fenntarthatósági céljainak elérésében és a gazdasági szereplők környezeti felelősségvállalásának erősítésében.

4.3.3. A CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive- 2023)

Az Európai Unió egyik legfontosabb fenntarthatósági szabályozása, amely a vállalatok nem pénzügyi jelentéstételi kötelezettségeit határozza meg. A CSRD [42] célja, hogy növelje

az átláthatóságot és biztosítsa, hogy a vállalatok részletes információkat szolgáltatassanak környezeti, társadalmi és irányítási (ESG) hatásaikról. Az irányelv az NFRD továbbfejlesztése, amely kibővíti a jelentéstételi kötelezettségeket és szigorúbb előírásokat vezet be.

A CSRD hatálya alá tartoznak a nagyvállalatok, valamint a tőzsdén jegyzett kis- és középvállalkozások (KKV-k), amelyeknek az Európai Fenntarthatósági Jelentési Szabványok (ESRS) alapján kell jelentéseiket elkészíteniük. Az új szabályozás előírja a kettős lényegesség elvét, amely szerint a vállalatoknak nemcsak azt kell bemutatniuk, hogy a fenntarthatósági tényezők hogyan hatnak rájuk, hanem azt is, hogy tevékenységeik milyen hatással vannak a környezetre és a társadalomra. Emellett a CSRD bevezeti a digitális jelentéstételt, amely biztosítja, hogy az ESG adatok könnyen hozzáférhetők és összehasonlíthatók legyenek.

A CSRD elsőként a nagyvállalatokra vonatkozik, amelyeknek 2024-es pénzügyi évükre már az új szabályok szerint kellett jelentést készíteniük. A következő években a szabályozás fokozatosan kiterjed más vállalati kategóriákra is, így 2026-tól a tőzsdén jegyzett KKV-kra is vonatkozni fog. Az irányelv célja, hogy elősegítse a fenntartható gazdasági működést és biztosítsa, hogy a vállalatok felelősséget vállaljanak társadalmi és környezeti hatásaikért. Az EU ezzel a lépéssel támogatja a zöld átállást és a fenntartható befektetéseket, miközben csökkenti a greenwashing kockázatát.

4.3.4. A CSDDD (Corporate Sustainability Due Diligence Directive- 2024)

Egy uniós szabályozás, amely 2024. július 25-én lépett hatályba. Az irányelv célja, hogy elősegítse a fenntartható és felelős vállalati magatartást, különösen a globális ellátási láncokban. A CSDDD [43] előírja, hogy a vállalatoknak azonosítaniuk és kezelniük kell az emberi jogokra és a környezetre gyakorolt negatív hatásaikat, mind saját működésükben, mind beszállítóik tevékenységében. Az új szabályok biztosítják, hogy az érintett cégek aktívan fellépjenek a káros hatások ellen, és hozzájáruljanak a fenntartható gazdasági átmenethez.

Az irányelv kötelezettségeket ír elő a nagyvállalatok számára, amelyeknek átvilágítási rendszereket kell bevezetniük a fenntarthatósági kockázatok kezelésére. A CSDDD előírja, hogy a vállalatoknak konkrét lépéseket kell tenniük az emberi jogi és környezeti károk megelőzésére, valamint biztosítaniuk kell az érintettek bevonását a döntéshozatali folyamatokba¹. Emellett a szabályozás kötelezi a nagyvállalatokat arra is, hogy klímavédelmi átállási terveket dolgozzanak ki, amelyek összhangban állnak az EU 2050-es klímasemlegességi célkitűzéseivel.

A CSDDD hatálya alá tartoznak az 1000 főnél többet foglalkoztató és legalább 450 millió euró árbevétellel rendelkező vállalatok, valamint az EU-n kívüli cégek, amelyek az uniós piacon jelentős bevételt érnek el. Az irányelv célja, hogy egységes jogi keretet biztosítson az EU-ban, növelve a vállalatok jogbiztonságát és versenyképességét. A szabályozás előnyei közé tartozik a nagyobb átláthatóság, a fenntarthatósági kockázatok jobb kezelése és a felelős üzleti gyakorlatok ösztönzése. Az új előírások hozzájárulnak ahhoz, hogy a vállalatok hosszútávon fenntarthatóbb és etikusabb működést folytassanak.

4.4. Az EU ESG szabályozása

Az EU ESG szabályozása jelentős hatással van a vállalatokra, különösen a nagyvállalatokra és a pénzügyi intézményekre. Az új szabályok célja, hogy a cégek ne csak jelentést készítsenek, hanem aktívan csökkentsék negatív környezeti és társadalmi hatásait.

Az ESG és a CSDDD közös célja, hogy a vállalatok ne csak saját működésükben, hanem teljes értékláncukban is fenntartható és felelős gyakorlatokat alkalmazzanak. Az ellátási láncok átvilágítása egyre fontosabbá válik, mivel a globális gazdaságban a vállalatok felelőssége túlmutat saját határaikon.

4.4.1. Az EU szabályozás alakulása az Omnibus javaslat tükrében

Az ESG Omnibus [48] szabályozás egy uniós jogalkotási csomag, amelyet az Európai Bizottság 2025. februárjában mutatott be. Célja, hogy egyszerűsítse és összehangolja az ESG-vel kapcsolatos jelentéstételi és átvilágítási követelményeket, csökkentve ezzel a vállalatokra nehezedő adminisztratív terheket. Az Omnibus csomag két fő elemből áll: az első a CSRD, CSDDD és az EU Taxonómia tartalmának módosításait foglalja magában, míg a második ezek hatályának és időzítésének változásait tartalmazza. Az új szabályozás célja, hogy a fenntarthatósági követelmények világosabbak és könnyebben alkalmazhatóak legyenek, miközben az EU fenntarthatósági célkitűzései továbbra is érvényben maradnak.

Az ESG Omnibus szabályozás egyik legfontosabb változása, hogy csökkenti a jelentéstételi kötelezettségek összetettségét és költségeit, különösen a kis- és középvállalkozások számára. A javaslat szerint a jelentéstételi határértékek módosulnak, például az EU-n kívüli vállalatok esetében a bevételi küszöb 150 millió euróról 450 millió euróra emelkedik. Emellett a jelentéstételi kötelezettségek időzítése is változik: a második és harmadik körben érintett vállalatok számára két évvel kitolódik a jelentéstétel kezdete, így az első ESG jelentéseiket a 2027-es üzleti évről csak 2028-ban kell elkészíteniük.

Az Omnibus szabályozáscsomag várhatóan gyorsított jogalkotási folyamaton megy keresztül, és további módosítások tárgyát képezheti. Az Európai Bizottság célja, hogy az új szabályozás segítse elő a fenntartható gazdasági átmenetet, ugyanakkor csökkentse a vállalatok adminisztratív terheit és növelje az ESG jelentések megbízhatóságát, eredményességét.

4.4.2. A német szabályozás

Ezzel párhuzamosan Németország elfogadta és bevezette az LkSG (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz) [49] törvényt, amely az ellátási láncok átvilágítását és az emberi jogok védelmét szolgálja. Az LkSG és az EU CSDDD irányelve hasonló célokat szolgál, és várhatóan ez tovább fogja erősíteni az ellátási láncok fenntarthatósági követelményeit.

Az LkSG törvény 2023. január 1-jén lépett hatályba, és célja, hogy biztosítsa a német vállalatok felelősségvállalását az ellátási láncokban előforduló emberi jogi és környezeti kockázatok kezelésében. A törvény előírja, hogy a nagyvállalatoknak azonosítaniuk kell az ellátási láncukban felmerülő kockázatokat, és megfelelő intézkedéseket kell hozniuk azok megelőzésére vagy csökkentésére. Az LkSG különösen fontos lépés a fenntartható üzleti gyakorlatok előmozdításában, mivel kötelezővé teszi a vállalatok számára a proaktív kockázatkezelést és az átláthatóságot.

Az LkSG hatálya kezdetben csak azokra a vállalatokra terjedt ki, amelyek legalább 3000 alkalmazottal rendelkeztek Németországban, de 2024. január 1-jétől ez a küszöb 1000 alkalmazottra csökkent. A törvény előírja, hogy az érintett vállalatoknak rendszeres kockázatelemzést kell végezniük, és dokumentálniuk kell az ellátási láncukban felmerülő emberi jogi és környezeti kockázatokat. Emellett a cégeknek panaszmechanizmust kell létrehozniuk, amely lehetőséget teremt az érintettek számára, hogy bejelentsék az esetleges jogsértéseket. Az LkSG nemcsak a közvetlen beszállítókra vonatkozik, hanem az ellátási lánc mélyebb szintjeire is kiterjed, így biztosítva a teljes körű felelősségvállalást.

A törvény végrehajtását a Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) felügyeli, amely ellenőrzi a vállalatok megfelelését és szükség esetén szankciókat szab ki. Az LkSG megsértése esetén a vállalatok jelentős pénzbírságra számíthatnak, amely akár az éves árbevételük 2%-át is elérheti. Emellett a törvény előírja, hogy a vállalatoknak éves jelentést kell készíteniük az ellátási láncukban végzett átvilágítási tevékenységeikről, amelyet nyilvánosan elérhetővé kell tenniük. Az LkSG célja, hogy ösztönözze a vállalatokat a fenntartható és etikus üzleti gyakorlatok alkalmazására, miközben biztosítja az emberi jogok védelmét és a környezet megóvását.

Az LkSG bevezetése jelentős hatással van a német vállalatokra és azok nemzetközi partnereire, mivel az ellátási láncok fenntarthatósági követelményei egyre szigorúbbá válnak. A törvény nemcsak a német piacon működő cégekre vonatkozik, hanem azokra a külföldi vállalatokra is, amelyek Németországban üzleti tevékenységet folytatnak. Az LkSG hozzájárul a globális ellátási láncok átláthatóságának növeléséhez, és elősegíti a fenntartható gazdasági átmenetet. A törvény hatása már érezhető, mivel egyre több vállalat kezd aktívan foglalkozni az ellátási láncok fenntarthatósági kockázataival és megfelelési stratégiáival

4.4.3. A magyar ESG törvény

Az Országgyűlés 2023. december 12-én elfogadta a 2023. évi CVIII. „A fenntartható finanszírozás és az egységes vállalati felelősségvállalás ösztönzését szolgáló környezettudatos, társadalmi és szociális szempontokat is figyelembe vevő, vállalati társadalmi felelősségvállalás szabályairól és azzal összefüggő egyéb törvények módosításáról” (továbbiakban: ESG törvény) szóló törvényt [50]. Az új szabályozással a jogalkotó célja az volt, hogy lefektesse a hazai fenntarthatósági jelentéstételi és ellátási lánc átvilágítási kötelezettségek alapjait és megfeleljen az Európai Unió fenntarthatósággal kapcsolatos iránymutatásainak.

Az elfogadott törvény rendelkezései két fő területet érintenek: a fenntarthatósági célú átvilágítási kötelezettségek bevezetését, valamint a CSRD implementáció előkészítését. A vállalkozásoknak az új szabályok értelmében a következő kötelezettségekkel kell számolniuk:

- kockázatkezelési rendszer létrehozása,
- panaszkezelési eljárás biztosítása,
- belső felelősségvállalási stratégia és rendszer kialakítása,
- kockázatelemzések rendszeres elvégzése,
- megelőzési és korrekciós intézkedések megállapítása,
- ESG adatszolgáltatási kötelezettség teljesítése, valamint a
- közvetlen szállítók nyilatkoztatása a felmerülő kockázatok tekintetében, továbbá
- évente ESG beszámoló elkészítése az előző évben elvégzett átvilágítási tevékenységről és annak eredményeiről.

Az ENSZ ajánlásának megfelelően a jogszabályban megjelennek olyan elemek, amelyek a német ellátási láncok átvilágításáról szóló törvény és az Európai Unió ellátási láncok átvilágításáról szóló szabályozásában is kiemelt hangsúlyt kaptak. Azonban az ESG törvény szerinti jelentés, az átvilágítási folyamat és kockázatok leírásánál messzebbre mutat, egy optimális utat próbál kijelölni a fenntarthatóság átláthatóságának biztosításához az adminisztratív terhek nem jelentős növelése mellett.

4.5. A magyar ESG törvény következményei

Az ESG törvény a fenntartható finanszírozás és az egységes vállalati felelősségvállalás ösztönzését szolgálja. Célja, hogy a magyar vállalatok átlátható és strukturált módon számoljanak be környezeti, társadalmi és vállalatirányítási teljesítményükről, valamint feleljenek meg az Európai Unió fenntarthatósági követelményeinek. Az ESG törvény hatálya alá tartoznak a nagyvállalatok és a közérdeklődésre számot tartó gazdálkodók. Ezeknek jelentést kell készíteniük fenntarthatósági hatásaikról és kockázataikról.

Az ESG törvény előírja, hogy az érintett vállalatoknak ESG beszámolót kell készíteniük, amelyben bemutatják működésük környezeti és társadalmi hatásait. Az ESG beszámolónak tartalmaznia kell a vállalat fenntarthatósági stratégiáját, célkitűzéseit és az alkalmazott kockázatkezelési mechanizmusokat. A beszámoló célja, hogy a befektetők, a fogyasztók és a szabályozó hatóságok pontosabb képet kapjanak a vállalatok fenntarthatósági teljesítményéről.

A törvény hatálya kezdetben csak a nagyvállalatokra terjedt volna ki, amelyek mérlegfőösszege meghaladja a 10 milliárd forintot, éves nettó árbevételük pedig a 20 milliárd forintot. Majd fokozatosan a ESG törvény vonatkozott volna azokra a vállalatokra is, amelyek átlagosan 500 főnél több alkalmazottat foglalkoztatnak. A jogszabály később tervezetten kiterjesztésre került volna a kisebb vállalatokra is, különösen a közérdeklődésre számot tartó kis- és középvállalkozásokra. A törvény módosításai azonban jelentős változást hoztak. A 2025 májusában elfogadott módosító javaslat szerint az ESG törvény hatálya alá tartozó vállalatok köre szűkült, és a kötelezettségek határideje módosult. Az új szabályok szerint csak azok a vállalatok érintettek, amelyek éves nettó árbevétele meghaladja a 90 milliárd forintot, és az átlagos foglalkoztatotti létszámuk 500 fő felett van. Emellett enyhültek a beszállítói átvilágítási és ESG beszámolói kötelezettségek.

A törvény végrehajtását a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) felügyeli, amely ellenőrzi a vállalatok megfelelését és szükség esetén szankciókat szab ki. Az ESG törvény megsértése esetén a vállalatok pénzbírságra számíthatnak, és jogilag felelősségre is vonhatók. Emellett a cégeknek évente jelentést kell készíteniük az ESG tevékenységeikről, amelyet nyilvánosan elérhetővé kell tenniük.

A magyar ESG törvény szorosan kapcsolódik az EU-ban alkalmazott szabályozásokhoz, különösen a CSRD és a CSDDD irányelvekhez. Az ESG törvény célja, hogy biztosítsa a magyar

vállalatok megfelelését az uniós fenntarthatósági követelményeknek, segítse elő a zöld gazdasági átmenetet valamint a felelős üzleti gyakorlatokat.

A törvény hatása már érezhető a magyar vállalatok működésében. Az ESG jelentések és átvilágítási kötelezettségek elősegítik a fenntartható üzleti modellek kialakítását, miközben növelik a vállalatok átláthatóságát és versenyképességét. Az ESG törvény várhatóan tovább fejlődik, és egyre nagyobb szerepet kap a magyar gazdaságban, különösen a fenntartható finanszírozás és a vállalati felelősségvállalás területén

A hazai ESG törvény a fenntartható finanszírozást, az egységes vállalati felelősségvállalást hivatott környezettudatos, társadalmi és vállalatirányítási szempontok mentén szabályozni, így jelentős lépést tesz a fenntartható gyakorlatok előmozdítása felé. Az új jogszabály a CSRD-ban definiált fenntarthatósági jelentés elkészítésén és közzétételén túlmutató, azzal párhuzamosan működő beszámolási kötelezettséget hívott életre.

A továbbiak során ismertetem a törvény hazai ESG beszámolás szempontjából kulcsfontosságú elemeit, valamint betekintést adok a fenntarthatósági kérdésekkel kapcsolatos új szabályozás potenciális következményeire.

4.5.1. Érintett vállalkozások és határidők

Az ESG törvény a vállalkozások egyre táguló körére lépcsőzetesen vezeti be a fenntarthatósági célú átvilágítási kötelezettséget. A Magyarország területén székhellyel rendelkező vállalkozások közül a következők esnek a hatálya alá:

- Közérdeklődésre számot tartó nagyvállalkozások. Elsőként a közérdeklődésre számot tartó gazdálkodónak minősülő nagyvállalkozásokra nézve kerültek bevezetésre az előírások. A 2024-es üzleti évi tevékenységük alapján vált kötelezővé az átvilágítási előírás, és 2025-ben már ESG beszámolót is kell készíteniük.
- Nagyvállalkozások. Ezt követően a kijelölt nagyvállalkozások kötelesek lesznek a 2025-ös üzleti évi tevékenységük tekintetében eleget tenni a fenntarthatósági célú átvilágítási kötelezettségnek, 2026-ban pedig ESG beszámolót kell készíteniük.

Az ESG törvény hatálya alá nem tartozó vállalkozások önkéntes vállalás vagy más jogszabályi kötelezettség alapján is ESG adatszolgáltatási kötelezettség alá eshetnek, így a fenntarthatósági szempontok szerinti működés, illetve átvilágítás az esetükben is szükségessé válhat.

4.5.2. Kockázatértékelési és kockázatkezelési rendszer

Az ESG törvény előírásai alapján a vállalkozásoknak fenntarthatósági célú átvilágítást kell végezniük, amelynek központi eleme a környezeti, illetve társadalmi felelősségvállalási kockázatok megfelelő értékelése és kezelése. Ennek során az érintett vállalkozásoknak kockázatelemzést kell végezniük, amelynek a saját üzleti hatáskörükben és a közvetlen szállítóik tevékenységében felmerülő kockázatokra egyaránt ki kell terjednie. Ezt követően a vállalkozásnak a felismert potenciális kockázatok kezelése érdekében a rendelkezésére álló eszközök felhasználásával megfelelő megelőző intézkedéseket kell tennie. Abban az esetben, ha valamely kockázat már bekövetkezett, a vállalkozás korrekciós intézkedések alkalmazására lesz köteles.

4.5.3. Társadalmi felelősségvállalási stratégia

A kockázatok kezelésének fontos eszközeként tekint a törvény a társadalmi felelősségvállalási stratégia elkészítésére. Az ESG törvény társadalmi felelősségvállalás alatt a vállalkozásoknak a társadalomra, a kultúrára és a jövő nemzedékei életfeltételeire gyakorolt hatása iránti felelősséget érti, és előírja, hogy a vállalkozásoknak működésük során elő kell mozdítaniuk ezeket az Alaptörvényben lefektetett értékeket. Annak érdekében, hogy ez a célkitűzés sikeresen megvalósulhasson, az érintett nagyvállalkozásoknak társadalmi felelősségvállalási stratégiát kell készíteniük és közzé is kell azt tenniük.

4.5.4. ESG beszámoló

Az előző gazdálkodási évre vonatkozó fenntartható célú átvilágítási kötelezettség teljesítéséről az érintett vállalkozásoknak évente ESG beszámolót kell készíteniük. A beszámolónak a törvényben előírtakat kell tartalmaznia, ideértve egyebek mellett a vállalat társadalmi felelősségvállalással kapcsolatos intézkedéseit és a fenntarthatósági célú átvilágítási folyamat leírását is. Konszolidált (azaz egy vállalatcsoport adatait egyben kezelve) ESG beszámolójába foglalhatja az anyavállalat az érintett leányvállalatra vonatkozó beszámolót, így a leányvállalat mentesülhet a beszámolóképzésre vonatkozó kötelezettség alól, amennyiben az anyavállalat maga is az ESG törvény hatálya alá esik, azaz magyarországi székhelyű és meghaladja a törvényben meghatározott mérethatárt. A beszámolót az üzleti év végét követő hat hónapon belül a vállalkozás honlapján közzé kell tenni (ingyenesen és nyilvánosan hozzáférhető módon), illetve a felügyeleti hatóságnak is meg kell azt küldeni. A beszámoló összeállításához a vállalkozás névjegyzékben szereplő ESG tanácsadó segítségét veheti igénybe

4.6. Összegzés

Az ESG szabályozás mind az Európai Unióban, mind hazánkban jelentős hatással van a vállalatok működésére. Bár a megfelelés kihívások elé állíthatja a vállalatokat, a fenntartható és felelős működés előnyei hosszú távon meghaladhatják a kezdeti nehézségeket. A szabályozás folyamatos fejlődése és a vállalatok alkalmazkodása kulcsfontosságú a fenntartható gazdasági környezet kialakításában. Jól látható, hogy a szabályozások erős hatást gyakorolnak a beszállítókra, mely alapján a logisztika, mint megkerülhetetlen szolgáltatási szektor is jelentős változáson megy keresztül. Minden vállalat keresi a megfelelést célzó megoldásokat, jelen disszertációban egy olyan megoldást kívánok adni a szektor részére, amely ténylegesen használható és amelyben mind a recycling, mind a logisztika valamint az ESG szakmai szempontrendszer érvényesül.

5. ESG rendszerek által támasztott követelmények a logisztikával kapcsolatban

Az ESG rendszerek az elmúlt évtizedben jelentős hangsúlyt kaptak a vállalati működés minden területén, így a logisztikában is. A globális ellátási láncok fenntarthatósági és átláthatósági követelményei ma már nem csupán önkéntes vállalások, hanem versenyképességi tényezők is. A logisztikai ágazat különösen érintett az ESG elvek alkalmazásában, hiszen működése közvetlen hatással van a környezetre, emberek millióinak munka- és életkörülményeire, valamint a vállalatirányítás etikai szintjére.

5.1. Környezeti (Environmental) elvárások

A logisztikai rendszerek környezeti fenntarthatósága kulcsfontosságú tényező [51] az ESG megfelelés szempontjából. A szektor jelentős mértékben hozzájárul a globális széndioxid-kibocsátáshoz, elsősorban a szállítás és a raktározás révén. Az ESG rendszerek környezeti komponense megköveteli a vállalatoktól, hogy mérjék és csökkentsék az ökológiai lábnyomukat. Ez többek között a következőket jelenti:

- Alternatív hajtású járművek (elektromos, hidrogén) alkalmazása a flotta cseréjekor. Az elektromos tehergépkocsik alkalmazása a foszilis üzemanyag alapú közúti szállításra megfelelő választ jelenthet, de tömeges bevezetésük egyelőre távoli cél. A modális váltás lehetőségét a technika jelenlegi állása szerint érdemes vizsgálni. A kontinentális áruszállítás CO₂ kibocsátás csökkentésének jó irányba lehet az elektromos üzemű vasúti áruszállítás előtérbe helyezése is [55].
- Optimalizált útvonaltervezés és szállítási időzítés a felesleges üzemanyag-felhasználás elkerülése érdekében.
- A raktározási folyamatok energiatakarékos átalakítása (LED-világítás, hőszivattyúk, intelligens épületmenedzsment).
- Fenntartható csomagolási megoldások bevezetése, a hulladék mennyiségének csökkentésével.

A vállalatoknak nemcsak saját működésük, hanem beszállítói láncuk környezeti teljesítményét is figyelemmel kell kísérniük [52]. Ennek eszköze lehet például a karbonlábnyom auditálása vagy a zöldbeszerzési eljárások bevezetése.

5.2. Társadalmi (Social) aspektusok

A logisztikai rendszerek társadalmi felelőssége elsősorban a munkaerővel, a munkakörülményekkel, a közösségi hatásokkal és az ügyfélelégedettséggel kapcsolatos. Az ESG rendszerek ezen pillére az alábbi elvárásokat támasztja a logisztikai szektorral szemben:

- biztonságos és egészséges munkakörnyezet a dolgozók számára,
- diszkriminációmentes foglalkoztatás,
- versenyképes, méltányos bérezés és szociális juttatások,
- képzési és karrierfejlesztési lehetőségek, valamint.
- családbarát foglalkoztatási formák, idő és juttatások biztosítása

Ezen túlmenően a társadalmi felelősség kiterjed a helyi közösségekkel való kapcsolatépítésre is. Például egy új logisztikai központ telepítésekor figyelembe kell venni a lakosság érdekeit, a közlekedési infrastruktúra terhelését, valamint a zaj- és légszennyezési szempontokat. A közösségi párbeszéd és az érdekeltek bevonása a döntéshozatalba erősíti a vállalat társadalmi legitimitását és elfogadottságát.

5.3. Irányítási (Governance) elvárások

Az ESG rendszerek harmadik pillére a vállalatirányítás, amely kulcsszerepet játszik a logisztikai vállalatok etikus, átlátható és szabályszerű működésében. A modern irányítási rendszerek követelményei közé tartozik:

- Az etikus üzleti magatartás biztosítása, a korrupció és a visszaélések megelőzése.
- Átlátható döntéshozatali mechanizmusok, független audit és belső kontrollrendszerek működtetése.
- A beszállítók és alvállalkozók ESG megfelelőségének rendszeres vizsgálata.
- Digitális eszközök (pl. ESG irányítási szoftverek) alkalmazása az adatok gyűjtésére, elemzésére és riportálására.

Egy jól működő irányítási struktúra képes összekapcsolni a fenntarthatósági célokat a napi működéssel, illetve elszámoltathatóvá tenni a vezetést a stratégiai ESG célok eléréséért.

5.4. Összegzés és a kutatás célkitűzései

Az ESG rendszerek kívánalmai a logisztikától egy átfogó szemléletmódot követelnek, amely nem korlátozódik csupán környezeti vagy etikai szabályokra. A sikeres ESG megfeleléshez a logisztikai vállalatoknak integrált, proaktív megközelítést kell alkalmazniuk, amely magában foglalja az operatív hatékonyságot, a társadalmi felelősségvállalást és az etikus vállalatirányítást is.

A jövőben várhatóan még szigorúbb szabályozás és piaci elvárás fogja ösztönözni a logisztikai szereplőket ESG teljesítményük fejlesztésére. Az ESG alapú gondolkodás azonban nem csupán kötelezettség, hanem lehetőség is, olyan eszköz, amellyel a logisztikai vállalatok versenyelőnyt, társadalmi megbecsültséget és hosszú távú fenntarthatóságot érhetnek el.

Jelen fejezetben **meghatároztam az ESG rendszerek által a logisztikával kapcsolatban támasztott követelményeit.** Az itt megfogalmazottak kapcsolódnak a 7. fejezetben megjelenő II. tézisemhez.

6. Az ESG rendszer által megkívánt újtípusú logisztikai hálózat

Az ESG szempontok egyre inkább áthatják a modern vállalatirányítást és logisztikát, különösen az újrahasznosítás (recycling) területén. Az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai hálózat nem csupán a hatékonyságot és a költségminimalizálást célozza, hanem egy sokkal tágabb fenntarthatósági és társadalmi felelősségvállalási keretrendszerbe illeszkedik. Ez az új típusú hálózat alapjaiban tér el a hagyományos, lineáris hulladékkezelési modellektől, a körforgásos gazdaság alapelveit előtérbe állítva.

6.1. A recycling logisztika bemutatása az ESG tükrében

A recycling logisztika hagyományosan a hulladékgyűjtés, szállítás, válogatás és feldolgozás folyamatait foglalja magában, azonban az ESG rendszer követelményei ennél sokkal elvárást támasztanak [53]:

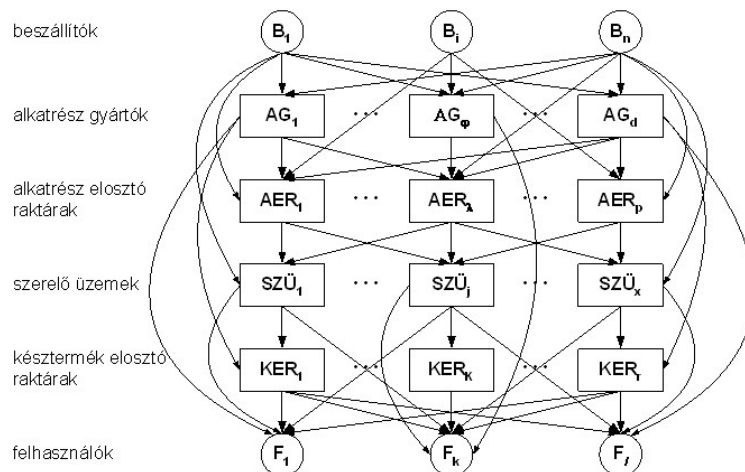
- Környezeti (E) szempontok: Ez a pillér a logisztikai folyamatok környezeti lábnyomának minimalizálására fókuszál. Mindez a CO₂-kibocsátás csökkentését (zöld flotta, optimalizált útvonalak) [54], az energiahatékonyság növelését, a vízfogyasztás mérséklését és a másodlagos környezetterhelések (pl. zaj, szag) elkerülését szolgálja. Ide tartozik az újrahasznosított anyagok minőségének maximalizálása is, hogy azok minél magasabb értékben kerülhessenek vissza a gazdaságba, csökkentve a nyersanyagok iránti igényt (többek között a logisztikában ilyenek lehetnek a csomagolóanyagok).
- Társadalmi (S) szempontok: Ez a logisztikai hálózat működésének társadalmi hatásaival foglalkozik. Magában foglalja a biztonságos és etikus munkakörülmények biztosítását a gyűjtő-, válogató- és szállító személyzet számára. Fontos a helyi közösségek bevonása és tájékoztatása (oktatási programok, intelligens gyűjtőpontok), valamint a hulladékkezelési szolgáltatások méltányos hozzáférhetőségének biztosítása mindenki számára, tekintet nélkül a társadalmi-gazdasági helyzetre. A balesetek és a szennyezés kockázatának minimalizálása különösen a lakott területeken szintén alapvető elvárás.
- Irányítási (G) szempontok: Ez a pillér a vállalatirányítási struktúrát és az átláthatóságot vizsgálja. Az ESG kompatibilis recycling logisztika megköveteli az átlátható adatszolgáltatást a hulladékamokról, az újrahasznosítási rátákról és a környezeti teljesítményről. Emellett elengedhetetlen a korrupciómentes, etikus működés, a

jogszabályi előírásoknak való megfelelés (különösen a termékdíj és a hulladéknyomon követés terén), és a külső auditok eredményeinek figyelembe vétele. A belső és külső érdekelt felekkel való konstruktív párbeszéd is a irányítási szempontok része.

Az ESG-nek megfelelő recycling logisztika tehát egy olyan rendszert vizionál, amely nem csupán hatékonyan kezeli a hulladékot, hanem proaktívan hozzájárul a környezetvédelemhez, a társadalmi jóléthez és az átlátható, etikus üzleti gyakorlathoz.

6.2. A recycling logisztika, mint hálózatszerűen működő termelő-szolgáltató rendszer

A modern gazdaság és társadalom működését átszövik a hálózatszerűen működő termelő-szolgáltató rendszerek, amelyek logisztikai feladatainak hatékony megoldása kulcsfontosságú [55]. Eredetileg ezek a hálózatok főként az új termékek előállítására és disztribúciójára fókuszáltak, mint például az alkatrész gyártó-szerelő hálózatok, ahol a beszállítóktól induló alapanyagok alkatrészgyártókon és elosztóraktárakon keresztül jutnak el a szerelő üzemekhez, majd onnan a késztermék elosztó raktárakhoz és végül a felhasználókhoz [56]. Ennek felépítését mutatja be a 7. ábra.

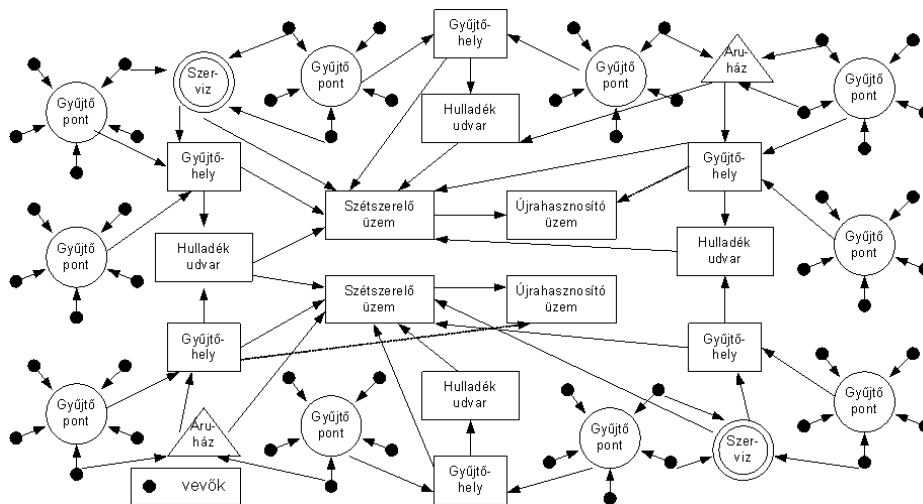


7. ábra Alkatrész gyártó-szerelő hálózat (Cselényi, Illés Logisztikai rendszerek I. 2004)

A felhasználók döntései, melyek a szállítási határidő, mennyiség, minőség és költségek, beleértve a logisztikai ráfordításokat, alapján születnek, visszahatnak a hálózat minden szintjének ütemezésére és működésére [57]. Ezen elvek és struktúrák azonban kiválóan

alkalmazhatók és átültethetők a fenntarthatóság és a körforgásos gazdaság egyik alappilléreire, az elhasznált termékek gyűjtésének és újrafeldolgozásának logisztikai hálózatára is.

A hagyományos, előre felé irányuló logisztikai rendszerekkel szemben, az elhasznált termékek gyűjtésének és újrafeldolgozásának logisztikai hálózata egyfajta fordított logisztikai láncot alkot. Az elhasznált termékek gyűjtésének és újrafeldolgozásának logisztikai hálózatát a 8. ábra mutatja.

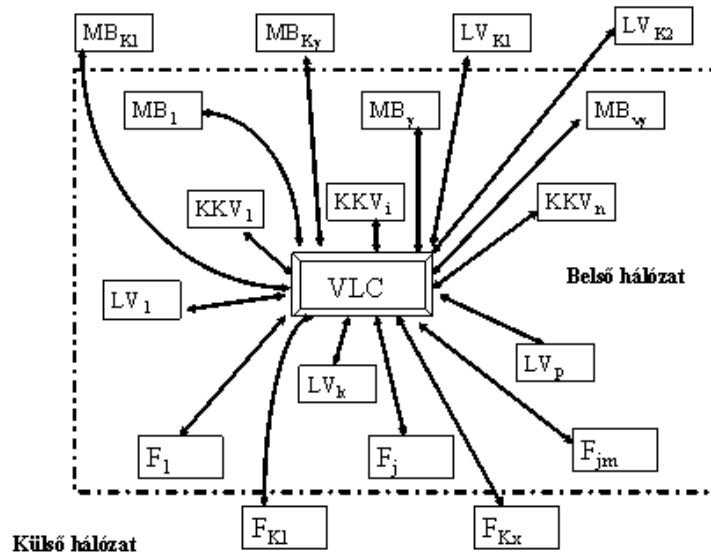


8. ábra Elhasznált termékek gyűjtésének és újrafeldolgozásának logisztikai hálózata (Cselényi, Illés Logisztikai rendszerek I. 2004)

Ez a rendszer egy adott régióra, országra, vagy akár több országra is kiterjedhet, és a kiindulópontja maga a felhasználó (vevő), aki itt már a hulladék forrását jelenti. A hulladék a háztartásokból vagy vállalkozásokból különféle csatornákon keresztül lép be a gyűjtési rendszerbe. Ezek a belépési pontok lehetnek áruházak, amelyek egyes elhasznált termékek visszagyűjtését végzik, szervizek, amelyek közvetett úton, javíthatatlan vagy gazdaságtalanul felújítható termékeket továbbítanak, gyűjtőpontok, amelyek többfajta hulladékot gyűjtenek, valamint hulladék udvarok, melyek nagyobb mennyiségű keletkezett, szelektíven gyűjtött hulladékot fogadnak. A gyűjtési rendszer kritikus elemei a gyűjtési helyek, melyeknek nagy tárolókapacitással kell rendelkezniük. Feladatuk a beérkezett elhasznált termékek tárolása, előkészítése és továbbítása a szétszerelő üzemek vagy a hulladék udvarok felé. A rendszer hatékonysága szempontjából kulcsfontosságú a szakosodás és az osztályozás. Ahol a szétszerelő üzemek analógiát mutatnak a szerelő üzemekkel, itt éppen az ellentétes funkciót

látják el: a komplex termékeket bontják alkotóelemeikre. Ezek az elemek azután az újrafeldolgozó üzemekbe kerülnek, ahol felújítás, mechanikai vagy vegyi eljárással történő újraalakítás, vagy végső soron energetikai hasznosítás történik. Az ilyen típusú logisztikai hálózat tervezése és irányítása hasonlóan komplex feladatokat von maga után, mint az előremenő láncok esetében.

A hatékonyság elérése érdekében elméletileg megalapozott matematikai modellekre és számítógépes optimalizálási módszerekre van szükség, amelyek kezelik a hálózat komplexitását és dinamikáját [58]. Ezen a ponton nyújt sikeres megoldási lehetőséget a 9. ábrán látható Virtuális Logisztikai Centrum (VLC), mint a hálózat digitális irányító központja, amely a valós idejű adatokra építve végzi a logisztikai feladatok diszponálását és ütemezését a lehető legrövidebb átfutási idő és legalacsonyabb költség elérése érdekében [59]. Mindezek mellett kritikus feladat a megfelelő hálózati struktúra és működtetési szervezet kialakítása, az irányítási és diszponálási stratégiák kidolgozása, a logisztikai feladatok pontos ütemezése, az anyag- és eszközáramlás folyamatos követése, valamint a teljes rendszer működését támogató számítógépes információs rendszer kiépítése, amelynek a VLC képezi a magját. A VLC-n belül Projekt Orientált Működtetés (POM) az ideális, a POM valamennyi feladatot egy-egy projekthez köti. A projektek kiterjednek az ellátási láncban fellelhető feladatokra. A POM rendszerű működés alapelve, hogy a feladatokat egy osztott intelligenciás, koordinált és kooperatív rendszerként működteti, ennek megfelelően az irányítás többszintű hierarchiát mutat, mely a Virtuális Logisztikai Központból és a projektvezetőkől tevődik össze. A működés szempontjából fontos, hogy az információk folyamatosan áramlanak vertikálisan és horizontálisan mindkét irányban [56]. A VLC központi szerepet tölt be a hálózat irányításában azáltal, hogy a felhasználóktól (F), gyakran nagyvállalatoktól érkező beszállítói igényeket begyűjti. Ezen igények alapján a VLC algoritmikusan kiválasztja a legmegfelelőbb kis- és középvállalatokat (KKV) a tényleges beszállítói feladatok elvégzésére. Továbbá, a KKV-k saját igényeinek figyelembevételével a rendszer azonosítja és kiválasztja az optimális másodlagos beszállítókat (MB). Végül, a KKV-k és az MB-k összesített logisztikai igényeit felmérve diszponálja a megfelelő logisztikai vállalatokat (LV) a szállítási és egyéb logisztikai szolgáltatások elvégzésére.



9. ábra: A kis – és középvállalatokat segítő virtuális logisztikai központ elvi struktúrája (Cselényi, Illés
 Logisztikai rendszerek I. 2004)

Ezen tervezési és irányítási feladatok sikeres megoldása elengedhetetlen a gazdasági megtérülés és a fenntarthatósági célok eléréséhez a hulladékkezelési és újrahasznosítási láncban is, ahol a gyűjtési rendszer jellemzői, mint a hulladék útjának lehetőségei és az osztályozási feladatok szigorúan behatárolják a mozgásteret.

6.3. A klaszter mint lehetséges működési forma

Az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai hálózat kiépítésében a klaszter-megközelítés rendkívül ígéretes működési forma. A klaszterek olyan földrajzilag koncentrált strukturált cégek, tevékenységek, amelyek azonos vagy kapcsolódó iparágakban tevékenykednek, és közös infrastruktúrát, technológiát és tudásbázist oszthatnak meg. A klaszter kialakulásánál és működésénél meghatározó szerepet játszottak a különböző hálózatok és a virtuális logisztikai hálózatok működési struktúrái [60]. Ezeknél a rendszereknél meghatározó szerepet játszik a logisztika, mint az anyag és információáramlási tevékenység, természetesen igaz ez az ESG rendszerek vonatkozásában is. A fenntarthatófejlődés következtében a nyílt láncú gazdaság egyre inkább átalakul zárt láncú gazdasággá. A hálózatszerűen működő termelő-szolgáltató (ESG) rendszereket csak logisztikával integráltan kell és lehet értelmezni. Ennek megfelelően a recycling logisztikában egy klaszter magában foglalhatja a következő szereplőket:

- Hulladékgyűjtő és szállító vállalatok: Közös logisztikai szoftverek, flotta-optimalizálás, esetleg közös járműpark fenntartása.
- Válogató és előkezelő üzemek: Közös technológiai fejlesztések, szabványosított válogatási eljárások.
- Újrahasznosító iparági vállalatok: Az újrahasznosított anyagok minőségének közös javítása, új termékek fejlesztése.
- Kutatási és fejlesztési intézmények: Innovatív újrahasznosítási technológiák és anyagtudományi kutatások.
- Helyi önkormányzatok és közszolgáltatók: A gyűjtési rendszerek koordinálása, engedélyezési és szabályozási feladatok.
- Gyártó vállalatok: A "Design for Recycling" elvek alkalmazása, termékdíj-rendszerben való részvétel.

A klaszter-működés előnyei az ESG kompatibilis recycling logisztikában:

- Szinergiák és költséghatékonyság: A közös infrastruktúra, a megosztott erőforrások (pl. járművek, raktárak) és a beszerzési volumen növelése jelentős költségmegtakarítást eredményez. Ez különösen fontos az újrahasznosítás gyakran magas kezdeti beruházási költségei miatt.
- Innováció és tudásmegosztás: A klasztertagok közötti szoros együttműködés felgyorsítja az innovációt. A legfrissebb újrahasznosítási technológiák, a digitális nyomon követési rendszerek és az anyagismeret gyorsabban terjedhetnek el. A K+F intézmények bevonása biztosítja a tudományos alapokat.
- Környezeti teljesítmény javítása: Az optimalizált szállítási útvonalak, a zöldebb járműparkok és az energiahatékonyabb feldolgozási eljárások révén csökken a környezetterhelés. Az ipari szimbiózis lehetőségei is jobban kihasználhatók, ha az egyik tag hulladéka a másik nyersanyaga lesz, minimalizálva a lerakóba kerülő anyag mennyiségét.
- Társadalmi hatás és elfogadás: A helyi munkahelyteremtés, a jobb munkakörülmények és a közösségi programok révén a klaszter növeli a társadalmi elfogadottságot. Az átlátható működés és a lakossági edukáció erősíti a bizalmat.
- Adatkezelés és nyomon követés: A klaszteren belül könnyebb bevezetni egységes digitális platformokat és blockchain alapú nyomon követési rendszereket. Ezáltal az anyagáramok és az újrahasznosítási ráták sokkal pontosabban és átláthatóbban

követhetők, ami elengedhetetlen az ESG jelentések elkészítéséhez és a jogszabályi megfeleléshez.

- Pénzügyi és befektetői bizalom: Az ESG elvárásoknak megfelelő klaszterek vonzóbbak lehetnek a fenntarthatósági befektetők számára, mivel egységes, mérhető teljesítményt nyújtanak.

6.4. Az ESG rendszer modellezése

Az ESG rendszer az előzőekben bemutatott integrált gyűjtési és válogatási hálózat, az optimalizált szállítás és útvonaltervezés, a fejlett adatkezelés és nyomon követés, a körforgásos tervezés és együttműködés, valamint az innováció és a kutatás-fejlesztés területein is többletkövetelményeket támaszt. Ezek a követelmények nem csupán az operatív hatékonyságot, hanem a teljes ellátási lánc fenntarthatóságát és transzparenciáját célozzák.

A dolgozatomban vizsgált ESG-nek megfelelő recycling logisztikai rendszer kialakításánál kulcsfontosságú, hogy ezek a többletigények ne csak elvi síkon jelenjenek meg, hanem konkrét, modellezhető és mérhető célokká váljanak. A 2.2 pontban már ismertettem az 1. ábra alapján a felhasználható modellek lehetséges alkalmazását. A következőkben röviden összefoglalom ezen modellek ESG rendszerben lehetséges felhasználást.

- Lineáris programozási modellek és hálózatoptimalizációs modellek (E, S, G):
 - ESG szempontok bővítése: Nem csupán a költségek minimalizálása a cél, hanem a CO₂-kibocsátás (2050 Net Zero [61]) (E), a zajterhelés (E), a lakott területek elkerülése (S), és a szolgáltatási szint (S) optimalizálása is. Például egy modell beállíthatja, hogy a gyűjtési útvonalak a lehető legkevésbé zavarják a városi forgalmat, vagy hogy a veszélyes hulladékot szállító járművek elkerüljenek kijelölt övezeteket.
 - Klaszter szintű optimalizálás: A klasztertagok közösen optimalizálhatják a gyűjtőpontok, válogatóközpontok és újrahasznosító üzemek elhelyezkedését és kapacitását, figyelembe véve a regionális hulladéktermelési mintákat és az ESG célokat.
- Életciklus-elemzési (LCA) modellek (E):
 - Teljes körű környezeti hatás: Az LCA modellek segítségével nemcsak az újrahasznosítási folyamat, hanem a teljes termékéletciklus környezeti hatását elemezhetjük. Ez magában foglalja a "Design for Recycling" elvek érvényesülésének

mérését, az újrahasznosított anyagok felhasználásának tényleges környezeti előnyeit, és a szállítási lánc környezeti terhelését [13]. Az LCA adatok szolgáltatják az egyik legfontosabb alapot a környezeti teljesítményre vonatkozó ESG jelentésekhez.

- Körforgásos gazdasági modellek (E, S, G):
 - Zárt láncú rendszerek tervezése: Ezek a modellek segítenek megtervezni a termékek és anyagok áramlását úgy, hogy azok minél tovább maradjanak a gazdaságban, minimalizálva a hulladékot és a külső erőforrás-felhasználást.
 - Ipari szimbiózis szimulációja: A modellek azonosíthatják azokat a lehetséges szinergiákat a klaszteren belül, ahol az egyik vállalat mellékterméke vagy hulladéka a másik nyersanyagává válhat.
 - Gazdasági és környezeti előnyök szimulálása: A modellek előre jelezhetik a körforgásos gyakorlatok bevezetésének gazdasági megtérülését és környezeti előnyeit.
- Blockchain alapú nyomon követési rendszerek (G, E):
 - Teljes átláthatóság és hitelesség (G): A blockchain technológia garantálja az anyagáramok és az újrahasznosítási folyamatok teljes átláthatóságát, a manipulálhatatlan adatrögzítést. Ez kulcsfontosságú a hamisított adatok vagy illegális hulladékszállítás elleni küzdelemben és a befektetők bizalmának erősítésében.
 - Fenntarthatósági tanúsítványok (E): Lehetővé teszik az újrahasznosított anyagok "zöld" eredetének igazolását (pl.: Megújuló energia esetén származási garancia), ami növeli azok piaci értékét és ösztönzi a fenntartható beszerzést.
 - Termékdíj-rendszerek támogatása: A pontos nyomon követés segíti a DPR/termékdíj befizetésének ellenőrzését és az adatok gyűjtését a díjak jövőbeli optimális meghatározásához, illetve ezek állami, vagy más szereplők általi ellenőrzéséhez.

Az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai hálózat tehát nem pusztán egy technikai megoldás, hanem egy átfogó, stratégiai megközelítés, amelyben a klaszter-működés, a fejlett modellezési eszközök és a transzparencia kulcsfontosságú szerepet játszanak. Annak érdekében, hogy a rendszer képes legyen egyszerre a fenntarthatósági célokat hatékonyan integrálni a napi logisztikai műveletekbe, és valós, mérhető hozzájárulást is adni egy körforgásos és fenntartható működéshez, nem lehet kihagyni azt a modellt sem, amely egyszerre több célfüggvény alapján keresi a rendszer optimumát [62]. Az ilyen típusú vizsgálatokat nevezik többcélú optimálásnak [14]. Az ESG rendszereknél is jól alkalmazható

az általam most bemutatásra kerülő módszer. Adott rendszer működtetése, tervezése a megoldandó feladatból, a rendelkezésre álló lehetséges műszaki elemekből és megadott különféle kötöttségekből és kapcsolatokból áll össze. A vizsgált rendszer különböző paraméterekkel jellemezhető.

A paraméterek az 1. képlet szerint jellemezhetők egy alsó és egy felső értékkel.

$$p_{ia} \leq p_i \leq p_{if}; i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

ahol:

- i – a paraméter futóindex $i=1, 2, \dots, n$,
- P_{ia} – az i . paraméter alsó határértéke,
- P_{if} – az i . paraméter felső határértéke.

A paraméterekre vonatkozó előírásokat korlátfüggvényként kezelem.

A fentiekén kívül szükséges meghatározni a különböző paraméterek közötti szabványokban, előírásokban megadott függőségi kapcsolatokat. Ezt a 2. képlet szerinti kapcsolati mátrix megadásával tudom figyelembe venni.

$$K_{(i,j)} = \{\text{érték } 1 \text{ vagy } 0\} \quad (2)$$

ahol:

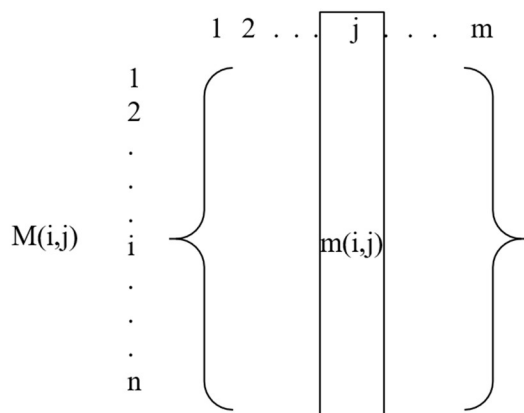
- $K_{(i,j)}$ – a kapcsolati mátrix eleme az i és a j paraméter között;
- ha $K_{(i,j)} = 1$ akkor van kapcsolat
- ha $K_{(i,j)} = 0$ akkor nincs kapcsolat
- $i = 1, 2, \dots, n$ és
- $j = 1, 2, \dots, n$

Nagyméretű rendszerek esetén, amelyeket sok paraméter ír le (még ha nem is mindet vesszük figyelembe) nem egyszerű felírni:

- a paraméter határokat, (alsó, felső értékek),
- a paraméterek közötti kapcsolatokat (kapcsolati mátrixok).

A kapcsolati mátrixok szabta korlátozások tovább szűkítik a megoldás folyamán a teljes permutációból lehetséges megoldásváltozatokat. A megmaradó megoldásváltozatok közül célfüggvények alkalmazásával keresem az optimálisat. A célfüggvények a megoldásváltozatok

paramétereire vonatkoznak. A lehetséges megoldásváltozatokat az M megoldásmátrix foglalja össze. Ezt mutatja a 10. ábra



10. ábra Az M megoldásmátrix felépítése (Saját szerkesztés)

A 10. ábrán szereplő M mátrix mutatja, hogy egy lehetséges j . megoldás ($j = 1, 2, \dots, m$) milyen paraméterekkel ($i = 1, 2, \dots, n$) rendelkezik. Paraméterként meghatározható a paraméter optimális értéke a lehetséges megoldások közül.

Minimalizáló célfüggvény esetén:

$$M_{\text{opt}(i)} = \min_j \{M(i,j)\} \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

ha az i . paraméter minimalizáló.

Maximalizáló célfüggvény esetén:

$$M_{\text{opt}(i)} = \max_j \{M(i,j)\} \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

ha az i . paraméter maximalizáló.

Mivel kétféle célfüggvényt kezel a rendszerben, a megoldás érdekében a normalizált célfüggvényt az alábbiak szerint számolom:

$$\left\{C(i, j) \left\{1 - \frac{M_{opt}(i)}{M(i, j)}\right\}; \text{ ha minimalizáló az } i. \text{ paraméter} \right\} \quad (5)$$

$$\left\{C(i, j) \left\{1 - \frac{M(i, j)}{M_{opt}(i)}\right\}; \text{ ha maxilamizáló az } i. \text{ paraméter} \right\} \quad (6)$$

A C mátrixban lévő normalizált célfüggvényértékek minimalizálásával kereshető az optimális megoldás. Amennyiben maximalizálásra vezettem vissza a feladatot, akkor az alábbiak szerint számolom:

$$\left\{D(i, j) \left\{1 - \frac{M_{opt}(i)}{M(i, j)}\right\}; \text{ ha minimalizáló az } i. \text{ paraméter} \right\} \quad (7)$$

$$\left\{D(i, j) \left\{1 - \frac{M(i, j)}{M_{opt}(i)}\right\}; \text{ ha maxilamizáló az } i. \text{ paraméter} \right\} \quad (8)$$

A C(i,j) és D (i,j) eredménymátrixok alapján többféle megoldáskeresés lehetséges:

- normalizált célfüggvények súlyozott összege legyen maximális vagy minimális,
- lépcsőzetes optimálás,
- játékelmélet.

6.5. Lineáris programozási modellek (LP)

A lineáris programozás egy matematikai technika, amelyet egy lineáris célfüggvény optimalizálására (minimalizálására vagy maximalizálására) használnak, lineáris egyenlőtlenségek vagy egyenlőségek [63], az úgynevezett korlátok halmaza mellett [10]. A recycling logisztikában ez a következőt jelenti:

6.5.1. Célfüggvények és korlátok

Korábban az LP modellek fő célja a költségek minimalizálása volt. Az ESG-nek megfelelő logisztikában azonban a célfüggvények kibővülnek:

- Környezeti (E) célok:
 - CO₂-kibocsátás minimalizálása: Ez a leggyakoribb cél. A modell figyelembe veszi a járművek típusát, a megtett távolságokat és az üzemanyag-fogyasztást. Adott útvonalon az egyes járműtípusokhoz (dízelt, elektromos, hidrogén üzemű) tartozó szén-dioxid-kibocsátási faktorok beépítésével a modell meg tudja határozni a legkevésbé szennyező útvonalakat és a járműpark összetételét [64].

- Energiafogyasztás minimalizálása a válogató- és feldolgozó üzemekben: Olyan üzemek kijelölése, amelyek energiahatékony technológiával működnek, vagy megújuló energiát használnak.
- Lerakóba kerülő hulladék minimalizálása: Ezen feltételhez maximalizálni szükséges az újrahasznosított, újrahasznosítható és komposztálható, illetve energetikailag hasznosítható anyagok mennyiségét.
- Társadalmi (S) célok:
 - Zajszennyezés minimalizálása: Különösen lakott területeken, a gyűjtési időpontok és útvonalak optimalizálásával.
 - Közlekedési torlódások minimalizálása: Elkerülni a csúcsforgalmat, csökkenteni a forgalomban töltött időt.
 - Helyi közösségekre gyakorolt negatív hatások minimalizálása: Például elkerülni a nehéz járműforgalmat az érzékeny területeken.
 - Szolgáltatási szint maximalizálása: Biztosítani, hogy a gyűjtés rendszeres és megbízható legyen, minimalizálni a gyűjtési késedelmeket.
- Irányítási (G) célok:
 - Adatátláthatóság maximalizálása: Olyan útvonalak és folyamatok kijelölése, amelyek a leginkább támogatják a pontos adatgyűjtést és nyomon követést.

A lineáris programozási modellekben a korlátok jelölik a valós helyzetekből adódó megkötéseket, melyeket a modell optimális megoldásának ki kell elégítenie:

- Kapacitáskorlátok: Járművek kapacitása, válogató- és feldolgozó üzemek kapacitása, raktározási kapacitás.
- Időkorlátok: Szállítási idők, nyitvatartási idők, gyűjtési ütemtervek.
- Költségvetési korlátok: Rendelkezésre álló pénzügyi források.
- Hulladékmennyiségek: Az egyes gyűjtési pontokon vagy régiókban keletkező hulladék mennyisége és típusa.
- Jogi és Szabályozási Korlátok: Pl. a veszélyes hulladék szállítására vonatkozó előírások, a zajkibocsátási határértékek, a hulladéklerakóba helyezhető mennyiség korlátozása.
- Minőségi korlátok: Biztosítani, hogy az újrahasznosított anyagok megfeleljenek a szükséges minőségi előírásoknak.

6.5.2. *Alkalmazás a recycling logisztikában*

- Gyűjtési útvonalak optimalizálása: Melyik jármű melyik gyűjtőpontra menjen, milyen sorrendben, és melyik feldolgozó üzembe szállítsa a hulladékot/ másodnyersanyagot [65], minimalizálva a CO₂-kibocsátást és a költségeket.
- Járműflotta méretezése és összetétele: Mennyi és milyen típusú járműre van szükség a különböző típusú hulladékok gyűjtéséhez és szállításához, figyelembe véve a zöld flotta célokat, illetve az Európai közlekedési térség vonatkozásában ez a vasúti áruszállítás preferálását is jelentheti, amely a CO₂-kibocsátást jelentősen csökkentheti [S4].
- Munkaerő-tervezés: A gyűjtési és válogatási feladatokhoz szükséges munkaerő optimalizálása.

6.6. **Hálózatoptimalizálási modellek**

A hálózatoptimalizálási modellek az LP modellek speciális esetei, amelyek hálózati struktúrák [11] (gráfok szerint csomópontok és élek) optimalizálásával foglalkoznak [66]. A recycling logisztikában ez a hálózat magában foglalja a gyűjtőpontokat, válogatóközpontokat, feldolgozó üzemeket és a végfelhasználókat (az újrahasznosított anyagok vevőit) [67].

6.6.1. *Célok és korlátok*

Hasonlóan az LP-hez, itt is az ESG szempontok dominálnak:

- Környezeti (E) célok:
 - Az új létesítmények (válogatóközpontok, feldolgozó üzemek) környezeti hatásának minimalizálása: Olyan helyszínek kiválasztása, amelyek a legkisebb ökológiai lábnyommal rendelkeznek (pl. alacsony energiafogyasztás, megújuló energiaforrásokhoz való hozzáférés).
 - Anyagveszteség minimalizálása a feldolgozás során: Maximalizálni az újrahasznosítási rátákat a hálózaton belül.
- Társadalmi (S) célok:
 - A gyűjtési szolgáltatások hozzáférhetőségének maximalizálása: Biztosítani, hogy mindenki számára könnyen elérhetőek legyenek a gyűjtőpontok, különösen a hátrányos helyzetű régiókban.
 - Munkahelyteremtés a régióban: Olyan telephelyek kiválasztása, amelyek hozzájárulnak a helyi gazdaság fejlődéséhez.

- Közösségi elfogadottság maximalizálása: Figyelembe venni a helyi lakosság aggodalmait a létesítmények elhelyezésekor (pl. zaj, forgalom, szaghatás).
- Irányítási (G) célok:
 - Az ellátási lánc átláthatóságának növelése: A hálózati modellek támogatják a blockchain alapú nyomon követési rendszerek integrálását, mivel a csomópontok közötti anyagáramok pontosan leírhatók és rögzíthetők.
 - A jogszabályi megfelelés biztosítása: Például a veszélyes hulladékok elkülönített kezelése és szállítása.

6.6.2. Alkalmazása a recycling logisztikában

A recycling logisztikai folyamatok tervezésénél, működtetésénél, irányításánál és ellenőrzésénél mindig szükséges az optimális változatok keresése. Ezek közül említek néhányat.

- Létesítmények elhelyezése: Hol érdemes új gyűjtőpontokat, válogatóközpontokat vagy feldolgozó üzemeket telepíteni, figyelembe véve a hulladéktermelés földrajzi eloszlását, a szállítási költségeket, az energiahatékonyságot és a társadalmi hatásokat.
- Kapacitástervezés: Mekkora kapacitásra van szükség az egyes létesítményekben a jövőbeli hulladékmennyiség és az újrahasznosítási célok eléréséhez.
- Hálózattervezés: Hogyan kapcsolódjanak egymáshoz a gyűjtőpontok, válogatóközpontok és feldolgozó üzemek a leghatékonyabb és legfenntarthatóbb módon. Ez magában foglalja a szállítási módok (közút, vasút, vízi) kiválasztását is.
- Anyagáram-elemzés: Hogyan áramoljanak az egyes hulladéktípusok a hálózaton belül, minimalizálva az ártalmatlanításra kerülő mennyiséget és maximalizálva az újrahasznosítási rátát.

6.6.3. Modellek a klaszter működésben

A klaszterszerű működés meghaladja a virtuális vállalati tevékenységet, mivel a működéssel kapcsolatos döntések meghozatalánál tudásbázis alkalmazására támaszkodik. A klaszter résztvevői különböző típusú elemekből tevődik össze és ezek együttes működtetése szükséges adott célfüggvények és tudásbázis alapján [60]. Egy klaszter esetében, ahol több szereplő működik együtt, az LP és a Hálózatoptimalizációs modellek még nagyobb potenciállal bírnak, ezen esetekre vonatkozóan adok meg néhány példát:

- Közös forrásfelhasználás optimalizálása: A klasztertagok szükség esetén közösen optimalizálhatják a járműparkot, a raktárkapacitásokat és a feldolgozó üzemek kihasználtságát, maximalizálva a gazdasági és környezeti előnyöket.
- Ipari szimbiózis lehetőségeinek feltárása: A modellek segíthetnek azonosítani azokat az anyagáramokat a klaszteren belül, ahol az egyik tag mellékterméke a másik nyersanyaga lehet, minimalizálva a hulladékot.
- Közös ESG célok elérése: A klaszter egésze optimalizálhatja a CO₂-kibocsátást, a vízfelhasználást és a társadalmi hatásokat.

6.7. Életciklus-elemzési (LCA) modellek a recycling logisztikában

Az LCA egy olyan átfogó módszertan, amely egy termék, szolgáltatás vagy folyamat teljes életciklusa során felmerülő környezeti hatásokat vizsgálja [13]. A recycling logisztika kontextusában az LCA modellek kulcsfontosságúak az ESG célok elérésében, mivel lehetővé teszik a valódi környezeti előnyök és hátrányok azonosítását a hulladékkezelés és újrahasznosítás teljes láncában. Az LCA segít elkerülni a "problémaátvitelt", nehogy egy környezetipróbléma máshol (az életciklus egy másik szakaszában) gondot okozzon.

6.7.1. Az Életciklus-elemzés fázisai

Az LCA négy fő fázisra bontható:

- Cél és hatókör meghatározása:
 - Cél: Elemzés elvégzése annak érdekében, hogy optimalizálni lehessen egy recycling logisztikai útvonalat a CO₂-kibocsátás szempontjából; vagy egy ESG jelentés alátámasztására.
 - Hatókör: A rendszerhatárok meghatározása (pl. "bölcsőtől-sírig", "bölcsőtől-kapuig", "kaputól-kapuig", "bölcsőtől-bölcsőig"), a funkcionális egység kiválasztása (pl. "egy tonna PET palack újrahasznosítása", "egy évig használt műanyag csomagolás kezelése"), és az elemzés szintjének megállapítása.
 - Adatgyűjtési stratégiák: Milyen típusú adatokat gyűjtünk (primer – közvetlen mérés, szekunder – átvett vagy korábbi adatbázisokból származó)
- Életciklus Leltárkészítés (Life Cycle Inventory, LCI):

- Ez a fázis gyűjti össze az összes bemenő anyagot és energiát, valamint az összes kimenőanyagot és kibocsátást, a hulladékot a vizsgált rendszerben az életciklus minden egyes szakaszában.
- Példa a recycling logisztikában:
 - Bemenetek: Üzemanyagfogyasztás a gyűjtéshez és szállításhoz, elektromos áram fogyasztás a válogató- és feldolgozó üzemekben, vízfelhasználás a mosási folyamatokban, vegyi anyagok a feldolgozáshoz.
 - Kimenetek: CO₂-kibocsátás a szállításból és energiafelhasználásból, szilárd hulladék a válogatás és feldolgozás során, szennyvíz, zajszenyezés.
- Ez a fázis rendkívül adatigényes, és gyakran használja a már említett digitális platformok és blockchain alapú nyomon követési rendszerek adatait a pontosság biztosítása érdekében.
- Életciklus hatáselemzés (Life Cycle Impact Assessment, LCIA):
 - Az LCI fázisban gyűjtött bemeneteket és kimeneteket a környezeti hatáskategóriákhoz rendeli. Ez a fázis számszerűsíti a lehetséges környezeti hatásokat.
 - Főbb hatáskategóriák:
 - Globális felmelegedési potenciál: CO₂-egyenértékben kifejezve (kiemelten fontos az energiahordozók végessége miatt).
 - Eutrofizáció: Vízi és szárazföldi ökoszisztémák tápanyag-túlterhelése.
 - Savasodás: Savaseső kialakulása.
 - Ózonréteg elvékonyodása.
 - Erőforrás-kimerülés: Többek között a fosszilis energiahordozók, ásványi anyagok kimerülése.
 - Vízlábnyom: A termék vagy folyamat során felhasznált víz mennyisége.
 - Az LCIA segít megérteni, hogy az adott tevékenység milyen mértékben járul hozzá a különböző környezeti problémákhoz.
- Életciklus értelmezés:
 - Ebben a fázisban valósul meg az LCI és LCIA eredményeinek elemzése és értékelése a cél és hatókör fényében. A kulcsfontosságú megállapítások, korlátok és érzékenységek azonosítása itt történik.

- Összehasonlítások: Különböző recycling logisztikai forgatókönyvek (pl. helyi vagy regionális gyűjtés, dízel vagy elektromos flotta) környezeti hatásainak összehasonlítása.
- Hotspot azonosítás: Melyek az életciklus leginkább környezetterhelő szakaszai, ahol a legnagyobb javulás érhető el.
- Javaslatok megfogalmazása: Konkrét intézkedések megfogalmazása a környezeti teljesítmény javítása érdekében.

6.7.2. Az LCA modellek szerepe és alkalmazás a recycling logisztikában

Az LCA modellek az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai rendszer sarokkövei, mivel:

- Mérhető a környezeti teljesítmény (E):
 - Az LCA a legmegbízhatóbb eszköz a környezeti lábnyom számszerűsítésére (CO₂-kibocsátás, energia- és vízfogyasztás, hulladéktermelés).
 - Alapvető információkat szolgáltat az ESG jelentések elkészítéséhez, hitelessé téve a vállalat fenntarthatósági állításait.
 - Lehetővé teszi a "zöld" technológiák (pl. zöld flotta, automatizált válogatóüzemek) tényleges környezeti előnyeinek számszerűsítését.
- Támogatja a "Design for Recycling" elvet: E):
 - Az LCA már a terméktervezési fázisban segíthet a gyártóknak (partnerség a gyártókkal) olyan termékeket fejleszteni, amelyek minimális környezeti hatással bírnak a teljes életciklusuk során, beleértve az újrahasznosításukat is.
- Támogatja a döntéshozatalt (E, S, G):
 - Lineáris programozási és Hálózatoptimalizációs modellek inputja: Az LCA adatok (pl. az egyes szállítási módok vagy feldolgozási technológiák CO₂-kibocsátása) alapvető bemenetet jelentenek a logisztikai optimalizációs modellekhez, segítve a környezeti célok integrálását a költség- és hatékonysági célok mellett.
 - Létesítményelhelyezés: Az LCA segíthet a válogatóközpontok és újrahasznosító üzemek optimális elhelyezésében, figyelembe véve nemcsak a gazdasági, hanem a környezeti és társadalmi hatásokat is.
 - Technológiai választás: Az adott anyagtípus esetén a leginkább fenntartható újrahasznosítási technológia kiválasztása.

- Tudatos fogyasztás ösztönzése: Az LCA eredmények kommunikálásával (pl. termékcímkéken) a fogyasztók tájékozottabb döntéseket hozhatnak.
- Hulladékok nyomon követése és felelősségvállalás (G):
 - Bár az LCA nem közvetlenül követi nyomon a hulladékot, az általa vizsgált anyagáramok és energiabevitelek alapvetően kapcsolódnak a blockchain alapú nyomon követési rendszerek által szolgáltatott adatokhoz. Ezáltal a modell eredményei ellenőrizhetőbbek és hitelesebbek lesznek.
 - A termékdíj rendszerek hatékonyságának értékeléséhez is felhasználható, hiszen megmutatja, hogy a díjak milyen mértékben ösztönzik a környezetbarátabb terméktervezést és újrahasznosítást.
- Folyamatos fejlesztés és innováció (E, G):
 - Az LCA azonosítja a "hotspotokat", azaz azokat a területeket az életciklusban, ahol a legnagyobb környezeti javulás érhető el. Ez segíti az innováció és kutatás-fejlesztés fókuszálását.
 - Lehetővé teszi az új anyagok és technológiák környezeti hatásának előzetes értékelését, mielőtt azok széles körben elterjednének.

6.8. Körforgásos gazdasági modellek a recycling logisztikában

A körforgásos gazdaság egy alapvető paradigmaváltást jelent a jelenlegi, lineáris "termelj-használj-dobj el" modellhez képest. Célja, hogy a termékek és anyagok a lehető leghosszabb ideig maradjanak a gazdasági körforgásban, minimalizálva a hulladékot és az új nyersanyagok felhasználását. Napjaink kutatásai [68] szerint a körforgásos gazdaságra való átállás komplex kihívásokkal terhelt. A szolgáltatásalapú modellek pénzügyi akadályokat okoznak a bevételek és a költségek időbeli eltérése miatt, hosszabb megtérülést eredményezve, miközben a pénzügyi kockázat és a működési kockázat áthelyeződik a szolgáltatóra. Piaci szinten az úgynevezett kannibalizáció fenyeget (a tartós termékek csökkentik az új eladásokat), a szellemi tulajdonhoz és know-how-hoz való hozzáférés korlátozása pedig gátolja a független felújítást. A harmadik fél általi gyenge munka veszélyezteti a márka arculatát, a brandet. Fogyasztói oldalon a tartós termékek nehezen követik a divat gyors változásait. A termék összetettsége és a termék (tömeggyártási) testreszabása nehezíti a felújítást. A szabályozások terén az adózás és ösztönzők rendszere nem körforgásos gazdaság barát, hiányoznak a körforgásos gazdaság egységes mérőszámai, mutatói valamint szabványai. Logisztikai szinten

a recycling logisztikai anyag és információ áramlások bizonytalansága (mennyiség, minőség) aláássa a méretgazdaságosságot, a szállítás és infrastruktúra átalakítása növeli a költségeket. Gondot okoz a megfelelő ellátási lánc partnerek rendelkezésre állása, valamint a hatékony koordináció és információcsere hiánya (IT és adatérzékenység miatt). A termék nyomomonkövethetősége a még drága, és a belső kulturális, illetve vállalatirányítási kérdés (ellenállás, lineáris gondolkodásmód) lassítja az átalakulást. Technológiai téren a használat utáni folyamatok ökohatékonysága nem mindig igazolt, és a terméktechnológiai fejlesztések elavulttá tehetik a tartós termékeket. Az okostermékek esetén az adatvédelem és adatbiztonság aggályai visszatartják a az újrahazsnálatot. Végül a fogyasztói szektorban a tulajdonosi érték elvesztésének érzete, a gondatlan termékhasználat (szolgáltatásalapú modellek miatt) és a felhasználói hajlandóság (a prémium ár elfogadásának hiánya) jelentenek nehézséget. Ezek a problémák gátolhatják az ellátási láncok körforgásos gazdaságra való átállítását, ugyanakkor a recycling logisztika a körforgásos gazdasági átállás sarokköve, hiszen ez a terület felel az anyagok hatékony visszajuttatásáért a körforgásba. A körforgásos gazdasági modellek pedig azok az eszközök, amelyekkel megtervezhetjük, optimalizálhatjuk és szimulálhatjuk ezeket a zárt láncú rendszereket, különös hangsúlyt fektetve az ESG szempontokra.

6.8.1. A Körforgásos gazdaság alapelvei és a recycling logisztika

A körforgásos gazdaság három alapvető elvre épül, amelyek mindegyike szorosan kapcsolódik a recycling logisztika funkciójához:

- Hulladék és szennyezés megszüntetése a tervezés által: Ez az elv hangsúlyozza a megelőzés fontosságát. A termékeket eleve úgy kell megtervezni, hogy azok ne generáljanak felesleges hulladékot, könnyen szétszedhetők, javíthatók és újrahasznosíthatók legyenek. Ezt hívjuk "Design for Recycling" megközelítésnek [69]. A recycling logisztika szempontjából ez azt jelenti, hogy a visszagyűjtési és feldolgozási folyamatokat már a termékfejlesztési szakaszban optimalizálták. Ha egy termék könnyen újrahasznosítható, akkor a gyűjtése és feldolgozása is egyszerűbb és költséghatékonyabb.
- Termékek és anyagok körforgásban tartása: Ez a legközvetlenebbül kapcsolódó elv a recycling logisztikához. Célja, hogy az anyagok és termékek a lehető leghosszabb ideig megőrizzék értéküket. Ez magában foglalja az újrafelhasználást, javítást, felújítást, újragyártást és az újrahasznosítást, valamint végső esetben az energetikai hasznosítást. Itt lép be a képbe a visszafuvar-logisztika (Reverse Logistics), amely a termékek és anyagok visszagyűjtéséért felel a fogyasztótól (pl. csomagolások, elektronikai hulladék, régi

ruházat). A lineáris programozási és hálózatoptimálási modellek kulcsszerepet játszanak a gyűjtőhálózatok, válogatóközpontok és feldolgozó üzemek elhelyezkedésének és kapacitásának optimalizálásában, figyelembe véve az ESG célokat, mint például a CO₂-kibocsátás csökkentése a szállítás során vagy az energiahatékony válogatási folyamatok. Az ipari szimbiózis – ahol az egyik cég hulladéka a másik nyersanyagává válik – szintén egy fontos megvalósulási forma ebben a fázisban, minimalizálva a kimenő anyagáramokat.

- Természetes rendszerek regenerálása: Ez az elv a megújuló energiaforrások használatára, a természeti erőforrások megóvására és a biológiai anyagok (pl. komposzt) visszajuttatására vonatkozik a bioszférába, ezáltal gazdagítva a természeti tőkét. A recycling logisztika közvetett módon, például zöld flotta (elektromos vagy hidrogénüzemű járművek) használatával vagy energiahatékony üzemeltetéssel járul hozzá ehhez, csökkentve a fosszilis energiahordozók felhasználását és a környezeti terhelést.

6.8.2. A körforgásos gazdasági modellek típusai és alkalmazásuk a recycling logisztikában

A körforgásos gazdasági modellek széles spektrumot ölelnek fel, a kvalitatív keretrendszerektől a komplex kvantitatív szimulációkig. Ezek mindegyike segíti a recycling logisztikát abban, hogy ESG kompatibilis módon működjön.

- Anyagáramlási analízis (Material Flow Analysis, MFA) modellek:
 - Lényege: Az MFA egy rendszerszintű, kvantitatív megközelítés, amely az anyagok (pl. műanyag, fém, papír) és az energia be- és kimenetét követi nyomon egy adott rendszerben, például egy régióban, egy iparágban vagy egy vállalatban. Grafikus ábrázolással mutatja be, hogyan áramlanak az anyagok a nyersanyag kinyerésétől a gyártáson, fogyasztáson és hulladékkezelésen át. Olyan, mint egy részletes térkép, ami szemlélteti az anyagok útját.
 - Alkalmazás a recycling logisztikában:
 - Segít azonosítani a keletkező hulladékok mennyiségét és típusait egy adott földrajzi területen.
 - Méri az újrahasznosítási rátákat és azonosítja a "szivárgásokat" vagy veszteségeket az anyagáramban (hol vész el az anyag a körforgásból).

- Feltárja a potenciális körforgásos lehetőségeket (hol lehetne több anyagot visszavezetni a körbe).
- Alapul szolgál az LCA modellekhez, mivel az MFA adatok bemeneti információt biztosítanak az LCA számára, segítve a környezeti hatások pontosabb elemzését.
- ESG relevancia: Kiválóan alkalmas a környezeti pillér támogatására, mivel segít számszerűsíteni az erőforrás-felhasználást és a hulladéktermelést. Irányítási szempontból is fontos az átlátható adatszolgáltatáshoz.
- Rendszerdinamikai modellek (System Dynamics Models, SDM):
 - Lényege: Ezek a modellek a komplex rendszerek viselkedését vizsgálják az idő múlásával, figyelembe véve a visszacsatolási hurkokat, késleltetéseket és nem-lineáris kapcsolatokat. Kifejezetten alkalmasak a hosszú távú trendek és a különböző beavatkozások (pl. új szabályozások, technológiai fejlesztések) rendszerre gyakorolt hatásainak szimulálására. Ez egy szimulációs eszköztár, ami megmutatja, hogyan változik egy rendszer a különböző bemenetek hatására.
 - Alkalmazás a recycling logisztikában:
 - A jövőbeli hulladéktermelés előrejelzése, figyelembe véve a népesség változását, fogyasztási szokásokat, gazdasági változásokat és jogszabályi változásokat (pl. termékdíj emelése).
 - A körforgásos gazdaságra való átállás különböző forgatókönyveinek szimulálása (pl. mi történik, ha x%-kal növeljük az újrahasznosítási rátát, vagy ha bevezetünk egy új ösztönzőt).
 - A beruházások megtérülésének elemzése az újrahasznosítási infrastruktúrában hosszú távon.
 - A fogyasztói magatartás változásainak hatása a visszagyűjtési rendszerekre és az újrahasznosítási arányokra.
 - ESG relevancia: Lehetővé teszi az E, S és G szempontok komplex kölcsönhatásainak vizsgálatát. Segít megérteni, hogyan befolyásolja például egy környezetvédelmi politika (E) a társadalmi elfogadottságot (S) és a vállalati irányítási gyakorlatokat (G).
- Optimalizációs modellek (Lineáris programozás és Hálózatoptimalás):
 - Lényege: Ahogy a dolgozatomban korábban már részleteztem, ezek a matematikai modellek a legalkalmasabbak a konkrét logisztikai műveletek (gyűjtési útvonalak, létesítményelhelyezés, kapacitás-tervezés) hatékonysági és fenntarthatósági

- szempontú optimalizálására [70]. Képesek megtalálni a legjobb megoldást számos korlát és célfüggvény mellett.
- Alkalmazás a recycling logisztikában (körforgásos kontextusban):
 - A visszagyűjtési hálózat optimalizálása, hogy a lehető legkisebb környezeti terheléssel (pl. CO₂, zaj) és költséggel gyűjtsék be az újrahasznosítható anyagokat a klaszter összes pontjáról.
 - A válogatóközpontok és feldolgozó üzemek optimális elhelyezkedése és kapacitása a körforgásos anyagáramok szempontjából, minimalizálva a szállítási távolságokat.
 - Az ipari szimbiózis lehetőségeinek maximalizálása a hálózaton belül, minimalizálva a lerakóba kerülő hulladékot és maximalizálva az anyagok körforgásban tartását.
 - ESG relevancia: Közvetlenül támogatják az E (kibocsátás-csökkentés, erőforrás-hatékonyság), S (szolgáltatási szint, zajcsökkentés) és G (átláthatóság a döntéshozatalban) pilléreket.
 - Diszkrét esemény szimulációs (Discrete Event Simulation, DES) modellek:
 - Lényege: Ezek a modellek egy rendszer események sorozatán keresztül történő viselkedését szimulálják az idő múlásával. Kifejezetten hasznosak a valós idejű folyamatok részletes elemzésére, a szűk keresztmetszetek azonosítására és a folyamatok hatékonyságának javítására [71]. Úgy kell rá tekinteni, mint egy valós folyamat digitális mására.
 - Alkalmazás a recycling logisztikában:
 - A válogatóüzemek belső folyamatainak optimalizálása (pl. anyagáramlási sebesség, gépek kihasználtsága, pufferkészletek), csökkentve a várakozási időket és növelve az áteresztőképességet.
 - A gyűjtési és szállítási folyamatok szimulálása különböző forgalmi és időjárási körülmények között, a hatékonyság és megbízhatóság javítása érdekében.
 - A sorban állási idők minimalizálása a gyűjtőpontoknál vagy a feldolgozó üzemekben, javítva a fogyasztói elégedettséget.
 - ESG relevancia: Bár elsősorban a hatékonyságot célozza, közvetetten hozzájárul az E (energiahatékonyság a folyamatban) és az S (gyorsabb szolgáltatás, jobb munkakörülmények) szempontokhoz.
 - Blockchain alapú nyomon követési rendszerek (mint adatforrás a körforgásos modellekhez):

- Lényege: Bár önmagában nem optimalizálási modellek, a blockchain technológia által biztosított átlátható és manipulálhatatlan adatok elengedhetetlen bemeneti forrást jelentenek a körforgásos gazdasági modellek számára.
- Alkalmazás a recycling logisztikában:
 - Az egyes termékek vagy anyagok eredetének, összetételének és életútjának pontos és ellenőrizhető rögzítése a "bölcsőtől a bölcsőig" elv mentén. Ez segít azonosítani a felelősséget és a származást.
 - Az újrahasznosított anyagok "útlevelének" létrehozása, amely igazolja azok körforgásos eredetét és minőségét. Ez növeli az újrahasznosított anyagok piaci értékét.
 - A termékdíj rendszerek hatékonyabb ellenőrzése és beszedése, mivel a tranzakciók nyomon követhetőek.
- ESG relevancia: Kiválóan támogatja a irányítási (G) pillért az átláthatóság és a nyomon követhetőség biztosításával. Hozzájárul az E pillérhez is azáltal, hogy csökkenti az illegális hulladékszállítást és támogatja a fenntartható beszerzést, mivel az ügyfelek láthatják a termék teljes környezeti lábnyomát [72].

6.8.3. Az ESG-nek megfelelő Recycling logisztikai rendszer és a körforgásos modellek kapcsolata

Az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai rendszer kialakítása nem pusztán technikai kihívás, hanem egy komplex, stratégiai feladat, amelyben a körforgásos gazdasági modellek elengedhetetlen szerepet játszanak [73]:

- Integrált gyűjtési és válogatási hálózat: Az MFA és rendszerdinamikai modellek segítenek megérteni a hulladékáramokat és azok jövőbeli alakulását. Az optimalizációs modellek (Lineáris programozás és Hálózatoptimalálás) pedig a szenzorokkal ellátott intelligens gyűjtőpontok és az automatizált válogatóüzemek optimális elhelyezését és üzemeltetését tervezik az ESG célok szerint.
- Optimalizált szállítás és útvonaltervezés: A Lineáris programozási modellek központi szerepet játszanak a zöld flotta útvonalainak optimalizálásában, a dinamikus útvonaltervezés és a visszfuvar-logisztika megvalósításában, minimalizálva a CO₂-kibocsátást és az üzemanyag-fogyasztást.
- Fejlett adatkezelés és nyomon követés: A digitális platformok és a blockchain technológia biztosítják az MFA és Rendszerdinamikai modellek számára a szükséges adatokat. Ezek

az adatok teszik lehetővé a rendszeres, átlátható ESG jelentések pontos elkészítését és a hulladék eredetének hiteles igazolását.

- Körforgásos tervezés és együttműködés: Az LCA és Rendszerdinamikai modellek támasztják alá a "Design for Recycling" elveit, biztosítva, hogy a termékek már tervezési fázisban fenntarthatóak legyenek [74]. Az optimalizációs modellek az ipari szimbiózis lehetőségeit térképezik fel és optimalizálják a klasztereken belül, maximalizálva az anyagok körforgásban maradását. Az optimális partnerség kialakításahatékonyabbá válik az adatok és modellek segítségével.
- Innováció és kutatás-fejlesztés: Az összes modell együttesen azonosítja a szűk keresztmetszeteket és az innovációs területeket, támogatva az új újrahasznosítási technológiák és az anyagtudományi kutatások irányát, amelyek elengedhetetlenek a körforgásos gazdaság megvalósításához.

A körforgásos gazdasági modellek tehát nem csupán elméleti eszközök, hanem gyakorlati segédletek, amelyekkel a recycling logisztika, a kapcsolódó vállalatok és klaszterek számszerűsíthető módon javíthatják környezeti, társadalmi és irányítási teljesítményüket.

6.9. Blokklánc (Blockchain) alapú nyomon követési rendszerek a Recycling logisztikában

A Blockchain alapú nyomon követési rendszerek (Blockchain-based Traceability Systems) forradalmasíthatják a recycling logisztikát, különösen az ESG elvek mentén felépülő rendszerekben. A blockchain, mint elosztott főkönyvi (adattár) technológia, páratlan átláthatóságot, biztonságot és hitelességet kínál az adatok rögzítésében és kezelésében, ami létfontosságú az anyag- és energiaáramok teljes életciklusú nyomon követéséhez.

6.9.1. A Blockchain technológia alapjai

A blockchain lényegében egy decentralizált, elosztott és kriptográfiaiilag (matematikai eljárások, algoritmusok és protokollok segítségével biztosítja az adatok védelmét) védett adatbázis, amely blokkokból áll, és ezek láncszerűen kapcsolódnak egymáshoz. Minden blokk tartalmazza az előző blokk kriptográfiai hash-ét (egy tetszőleges méretű adat egy fix hosszúságú, egyedi azonosítónak alakított értéke), egy időbélyeget és tranzakciós adatokat. Főbb jellemzői:

- Decentralizáltság: Nincs központi hatóság vagy szerver. Az adatokat a hálózat valamennyi résztvevője tárolja és ellenőrzi.
- Elosztottság: A főkönyv másolata minden résztvevőnél megvan, így az adatokhoz bárki hozzáférhet (engedélyezett blockchain esetén).
- Adatmegváltoztathatatlanság (Immutability): Miután egy tranzakciót rögzítettek egy blokkban és azt a lánchoz adták, gyakorlatilag lehetetlen megváltoztatni vagy törölni anélkül, hogy a hálózat többi résztvevője tudomására jutna. Ez biztosítja az adatok integritását.
- Átláthatóság/Transzparencia: Az összes tranzakció nyilvánosan látható (privát blockchain esetén a jogosult résztvevők számára).
- Biztonság: Kriptográfiai hash-függvények és konszenzusmechanizmusok biztosítják az adatok védelmét a manipulációval szemben.
- Okoszerződések (Smart Contracts): Önmagukat végrehajtó megállapodások, szerződések, amelyek feltételek teljesülése esetén automatikusan aktiválódnak, előre meghatározott szabályok szerint.

6.9.2. *Alkalmazás a Recycling logisztikában*

A blockchain technológia számos ponton javíthatja a recycling logisztika hatékonyságát, átláthatóságát és fenntarthatóságát:

- Hulladékok nyomon követése "bölcstől bölcsőig":
 - Pontos eredet és összetétel: A blockchain minden egyes hulladékáram (pl. gépjárművek műanyag alkatrészei, elektronikai berendezések) keletkezési helyét, idejét, típusát és összetételét rögzítheti. Ezáltal pontosan nyomon követhető, honnan származik egy adott anyag, és milyen kezeléssel esett át [75].
 - Minőségi garancia: Az újrahasznosítási folyamat minden lépését (gyűjtés, válogatás, feldolgozás, tisztítás) rögzítik a blokkláncon. Ez hitelesen igazolja az újrahasznosított anyagok minőségét és eredetét, növelve azok piaci értékét és a vevői bizalmat. Például komplex elektronikai berendezés esetén rögzíthetők a felhasznált anyagok, a használt vegyszerek, a beszállított alkatrészek, a javíthatóságra vonatkozó információk, az alkatrész utánpótlás, illetve, hogy a hulladékká válást követően, a begyűjtés után melyik gyűjtőpontra érkezett és mikor adták le.

- Problémák kiküszöbölése: Megelőzhető az illegális hulladéklerakás és szállítás, mivel minden lépés nyomon követhetővé válik. Csökken a "greenwashing" (zöldre festés) kockázata, hiszen a fenntarthatósági állítások adatokkal igazolhatók.
- Transzparencia és hitelesség az ESG jelentésekben:
 - Mérhető környezeti lábnyom (E): Minden szállítási útvonal, energiaszolgáltatás a válogató- és feldolgozó üzemekben, vízfelhasználás, CO₂-kibocsátás rögzíthető a blokkláncon. Ez biztosítja a valós idejű és ellenőrizhető adatokat az ESG jelentésekhez, alátámasztva a vállalatok fenntarthatósági törekvéseit.
 - Társadalmi hatás (S): A munkakörülményekkel, etikai megfelelőséggel kapcsolatos adatok (pl. fair trade minősítések, munkavállalói képzések) is rögzíthetők, növelve a lánc "szociális" szempontjainak, mérőszámainak átláthatóságát.
 - Irányítási megfelelőség (G): A szabályozásoknak való megfelelés (pl. termékdíj befizetése, veszélyes hulladék kezelése) digitálisan és ellenőrizhetően dokumentálható. Az auditok és tanúsítványok adatai is integrálhatók.
- Okoszerződések a hatékonyság növelésére:
 - Automatizált kifizetések: Amint egy hulladékszállítmány eléri a válogatóközpontot és annak minőségét ellenőrizték (ezt szenzorok is végezhetik), az okoszerződés automatikusan elindíthatja a szállítónak járó kifizetést.
 - Teljesítményalapú ösztönzők: A termékdíj rendszereknél az okoszerződések automatikusan levonhatják a díjakat a gyártóktól a termék forgalomba hozatalakor, vagy jutalmat fizethetnek az újrahasznosítási célok elérése esetén.
 - Minőségellenőrzés: Az okoszerződések automatikusan kiválthatnak minőségellenőrzési lépéseket, ha bizonyos szennyezettségi szinteket észlelnek, vagy ha a beszállított anyag nem felel meg az előírt specifikációknak.
 - Flottakarbantartás: Rögzítve a járművek futásteljesítményét és állapotát, az okoszerződés automatikusan értesítheti a karbantartó céget, vagy tervezheti a szükséges szervizeléseket, támogatva a zöld flotta hosszú távú fenntarthatóságát.
- Decentralizált adatbázis és klaszter együttműködés:
 - A blockchain természetéből adódóan ideális egy recycling klaszter adatmegosztására. Mivel az adatokat decentralizáltan tárolják, a klaszter valamennyi tagja (hulladékgyűjtők, válogatók, feldolgozók, gyártók, K+F intézmények) hozzáférhet a releváns információkhoz, növelve az együttműködést és a bizalmat.

- Megkönnyíti az ipari szimbiózis megvalósulását, mivel az anyagáramok átláthatóan követhetők, és a potenciális "hulladék-nyersanyag" párosítások könnyebben azonosíthatók.
- Az átlátható és ellenőrizhető ESG adatok növelik a vállalatok és projektek hitelességét ezzel növelik a pénzügyi és befektetői bizalmat. Ezáltal könnyebben juthatnak zöld finanszírozáshoz.
- Az újrahasznosítási kreditek vagy "zöld tokenek" kibocsátása új finanszírozási modelleket teremthet az újrahasznosítási infrastruktúra fejlesztésére.

6.9.3. *Integráció más modellekkel és rendszerekkel*

A blockchain alapú nyomon követési rendszerek nem önmagukban működnek, hanem szinergiában más, korábban tárgyalt modellekkel:

- Lineáris programozási és Hálózatoptimalizációs modellek: A blockchain által szolgáltatott valós idejű, pontos adatok (pl. gyűjtési mennyiségek, járműpozíciók, üzemanyag-fogyasztás) bemeneti paraméterként szolgálhatnak az optimalizációs algoritmusok számára, növelve azok pontosságát és hatékonyságát.
- Életciklus-elemzési (LCA) modellek: Az LCA-hoz szükséges részletes anyagmérlegek és energiafogyasztási adatok megbízhatóan gyűjthetők és tárolhatók a blokkláncon, garantálva az LCA eredményeinek hitelességét az ESG jelentésekben.
- Körforgásos gazdasági modellek (MFA, SDM): A blockchain adatok pontos képet adnak az anyagáramokról, az újrahasznosítási rátákról és a veszteségekről, amelyek kulcsfontosságú bemenetek az MFA és a SDM szimulációk számára.

A blockchain alapú nyomon követési rendszerek jelentős potenciált rejtenek a recycling logisztika fejlesztésében, hozzájárulva egy hatékonyabb, átláthatóbb és ESG kompatibilisebb hulladékgazdálkodási rendszer kialakításához. A technológia érettségével és a tudatosság növekedésével egyre inkább elterjedhetnek ezek a megoldások.

6.10. **Összefoglalás**

Összességében a felsorolt modellek nélkülözhetetlen eszközei az ESG-nek megfelelő recycling logisztikai rendszer tervezésének és értékelésének. Segítségükkel a vállalatok nem csupán a jogszabályi előírásoknak felelnek meg, hanem proaktívan hozzájárulnak a fenntartható

fejlődéshez azáltal, hogy csökkentik környezeti lábnyomukat és optimalizálják erőforrás-felhasználásukat a termékek teljes életciklusa során.

Jól példa lehet a felsorolt modellek egymásra való utaltságára a digitális termékútlel, mely egy olyan átfogó adatgyűjtési rendszer, amely a termék teljes életciklusát lefedi – a nyersanyagok beszerzésétől a gyártási és felhasználási szakaszokon át egészen a javítás, az újrahasználat és az újrahasznosítás lehetőségeiig. Fő célja, hogy növelje az átláthatóságot az ellátási láncokban. Minden termékhez egyedi digitális azonosító tartozik, amely biztosítja a termékkel kapcsolatos lényeges információk elektronikus elérését és nyomon követését

Ennek megfelelően a DPP lehetővé teszi, hogy a termékekhez kapcsolódó részletes adatok strukturált módon kerüljenek rögzítésre és megosztásra, ami alapot teremt az életciklus-elemzések pontosabb és automatizált elvégzéséhez. Az LCA során nyert adatok a termékek környezeti hatásainak kvantitatív értékelését és optimalizálását szolgálják, míg a körforgásos gazdasági modellek ezen adatokra építve képesek anyag- és erőforrás-áramok szimulálására, valamint újrahasznosítási és visszavételi stratégiák optimalizálására. A blockchain-alapú nyomonkövetés biztosítja az adatintegritást és transzparenciát az ellátási lánc minden szakaszában, így támogatja az LCA és körforgásos modellek megbízhatóságát. A DPP-ben tárolt, valós idejű és hiteles adatok lehetővé teszik a fenntarthatósági teljesítmény döntéstámogató rendszerként való alkalmazását mind stratégiai, mind operatív szinten. E három eszköz integrációja – DPP, LCA és blockchain-alapú követés – megalapozza a körforgásos gazdaság adatvezérelt, optimalizált és átlátható működését. Ezzel összefüggésben a jelen fejezetben **megalkottam az ESG keretrendszerek működéséhez szükséges új típusú recycling logisztikai rendszer modelljét**, amely kapcsolódik a 7. fejezetben megfogalmazott II. tézisemhez.

7. ESG rendszer modellje, modellelemek és kapcsolatok

Az ESG rendszerek célja, hogy a vállalatok működését a hosszú távú fenntarthatóság, a társadalmi felelősségvállalás és az átlátható irányítás elvei szerint strukturálják. Az ESG nem csupán egy minősítő keretrendszer, hanem egy komplex vállalatirányítási modell, amely a stratégiai döntésekbe integrálja a nem pénzügyi szempontokat is. Az ESG rendszer modellezése lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy struktúráltnan építsék be az ESG szempontokat működésük minden szintjére, valamint mérhetővé és értékelhetővé tegyék teljesítményüket.

7.1. Az ESG rendszer általános modellje

Az ESG rendszer három fő pillérre épül: Környezeti (E), Társadalmi (S) és Irányítási (G). Ezek a pillérek önmagukban is komplex alrendszerek, amelyek szorosan kapcsolódnak egymáshoz és más vállalati funkciókhoz. Az ESG rendszer modellje tipikusan hierarchikus és moduláris:

- Stratégiai szint – ESG politikák, célkitűzések, vállalati küldetésbe integrált fenntarthatósági törekvések.
- Taktikai szint – irányelvek, felelős vezetők, célértékek meghatározása.
- Operatív szint – konkrét intézkedések, mérőszámok (KPI-k), ellenőrzési és jelentési folyamatok [S7].

A modell egy kétirányú ciklikus kapcsolatot feltételez: az ESG értékelés és visszacsatolás hat a döntéshozatalra, és a stratégiai döntések módosítják az operatív ESG mutatókat. A rendszer így dinamikus, tanuló jellegű.

7.2. Modellelemek részletes bontása

Az modellek bontásánál az ESG alapvető pilléreit vettem figyelembe.

Az modellelemek részletes bontása során alapvetően az ESG keretrendszer pilléreit vettem figyelembe. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a hálózati logisztikai döntések meghozatalakor ne csak a gazdasági hatékonyságot, hanem a környezeti fenntarthatóságot, a társadalmi felelősségvállalást és az átlátható irányítási rendszert is beépítsem az értékelési keretbe.

7.2.1. Környezeti pillér (E - Environmental)

A környezeti modellelem célja a vállalat ökológiai lábnyomának csökkentése és a fenntartható erőforrás-gazdálkodás megvalósítása. Fő komponensei:

- Kibocsátásmenedzsment: szén-dioxid, NO_x, PM₁₀ kibocsátások mérése és csökkentése.
- Energiahatékonyság: energiafelhasználás optimalizálása, megújuló energia arányának növelése.
- Vízhasználat és szennyvízkezelés: vízlábnyom elemzése, újrahasznosítási arányok javítása.
- Hulladékgazdálkodás: újrahasznosítási arány növelése, veszélyes hulladék minimalizálása.
- Környezetvédelmi kockázatkezelés: hatásvizsgálatok, kockázatelemzés, megelőző tervek.

Ezeket a szempontokat gyakran az ISO 14001(KIR) vagy az EMAS rendszerekbe integrálják.

7.2.2. Társadalmi pillér (S - Social)

Ez a pillér a vállalat emberközpontú működését szabályozza, belső és külső társadalmi hatásokat egyaránt figyelembe véve. Modellkomponensei:

- Munkavállalói jólét: munkahelyi biztonság, egészségmegőrzés, munkakörülmények.
- Esélyegyenlőség és sokszínűség: nemi, etnikai, életkorbeli diverzitás támogatása.
- Képzés és fejlődés: tudásátadás, utánpótlás-nevelés, belső karrierutak.
- Ügyfélkapcsolatok és fogyasztóvédelem: ügyfélpanasz-kezelés, adatvédelem, átláthatóság.
- Közösségi felelősségvállalás (CSR): társadalmi projektek támogatása, partnerségek.

Az S-pilléren belül kiemelten fontos a stakeholder mapping – az érintettek azonosítása és bevonása.

7.2.3. Irányítási pillér (G - Governance)

Az irányítási modellrész biztosítja a vállalati döntéshozatal átláthatóságát, az etikai normák betartását és a jogszabályi megfelelést. Fontosabb komponensek:

- Etikai kódex és korrupcióellenes szabályzatok.
- Belső ellenőrzés és audit mechanizmusok.
- Vezetői struktúra és függetlenség: igazgatóság felépítése, felelősségi körök.
- Adatkezelés és biztonság: GDPR, kiberbiztonság.

- Kockázatmenedzsment és felelősségi mátrixok: ESG kockázatok beépítése az ERM rendszerbe.

A G-pilléren keresztül az ESG egész modellje irányíthatóvá, mérhetővé és számonkérhetővé válik.

7.3. Modellkapcsolatok és integráció

- Pillérek közötti kapcsolatok esetében az ESG elemek nem elkülönülten működnek, hanem kölcsönösen egymástól függő rendszerként. Ezekre az alábbiakban adok néhány példát:
 - Környezeti beruházások (pl. zöld flotta) hatással lehetnek a munkavállalói elégedettségre és márkamegítélésre.
 - A társadalmi pillér intézkedései (pl. munkahelyi képzések) segíthetik a kockázatkezelés és megfelelés javítását (G-pilléren keresztül).
 - A vezetői döntések átláthatósága (G) hatással van az ügyfélbizalomra és társadalmi elfogadottságra (S).

Ezek a kapcsolatok szinergiákat teremtenek, amelyeket a stratégiai ESG tervezés során ki kell használni.

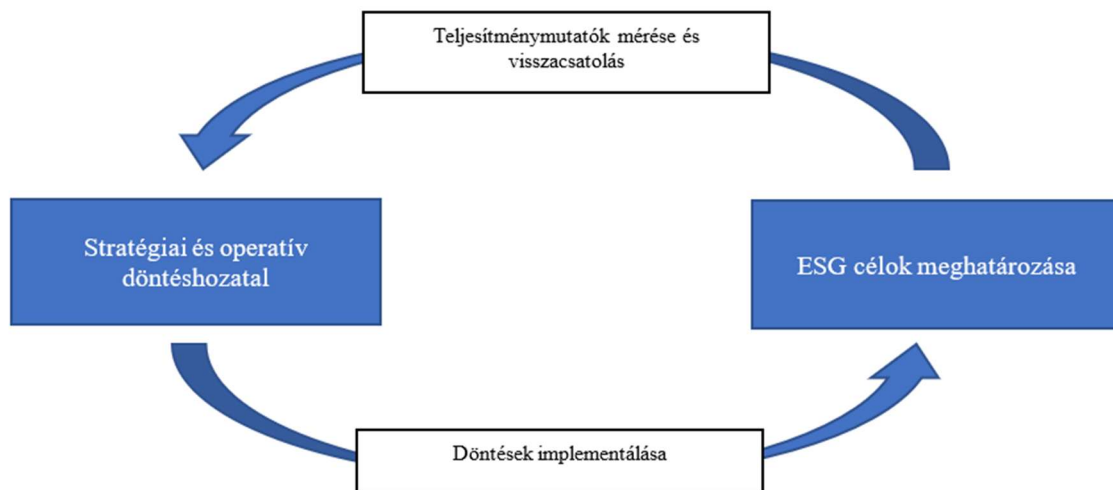
- Vállalati funkciókkal való kapcsolat megadásához az ESG rendszert integrálni kell a következő szervezeti funkciókba:
 - HR – diverzitás, munkakörnyezet, képzés (S-pilléren keresztül).
 - Pénzügy – ESG jelentéskészítés, fenntartható befektetések (G).
 - Beszerzés – zöldbeszerzési szabályzatok (E).
 - Marketing – fenntarthatósági kommunikáció (S, E).
 - IT – adatmenedzsment, kiberbiztonság (G).

Az ESG rendszer sikeressége azon múlik, hogy ezek a funkciók összehangoltan és célorientáltan működjenek.

7.4. Működtetés és visszacsatolás

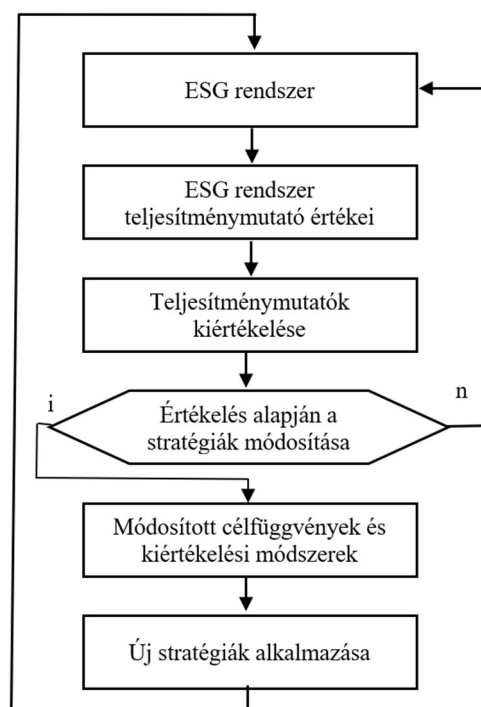
Egy modern ESG rendszer nem statikus, hanem folyamatosan visszacsatolt és optimalizált. A működtetés elemei:

- Mérőszámok és KPI-k: pl. Scope 1-2-3 kibocsátások, fluktuáció, nemi arányok, kockázatbesorolások.
- ESG dashboardok: integrált riporting rendszerek (pl. Power BI, SAP ESG Modules).
- Fenntarthatósági jelentések: GRI, SASB, TCFD, ESRS szabványok szerint [S7].
- Vállalati tanulás: ESG auditok, benchmarking, belső tréningek.



11. ábra Az ESG rendszer kétirányú ciklikus kapcsolata (saját szerkesztés)

A működtetés során az ESG rendszer kétirányú ciklikus kapcsolatban működik (11. és 12. ábra): az értékelési és visszacsatolási folyamatok hatással vannak a stratégiai és operatív döntéshozatalra, míg ezek a döntések új ESG célokat, intézkedéseket és teljesítménymutatókat generálnak. Ez a tanuló jellegű dinamika teszi lehetővé, hogy a vállalatok folyamatosan reagáljanak a külső és belső környezet változásaira, és adaptálják fenntarthatósági törekvéseiket.



12. ábra Az ESG rendszer kétirányú ciklikus kapcsolatának folyamatábrája (saját szerkesztés)

A visszacsatolás eredményei alapján a vezetés stratégiai irányokat módosíthat, erőforrásokat csoportosíthat át, vagy új ESG célokat tűzhet ki.

7.5. Összefoglalás

Az ESG rendszer egy komplex, többszintű vállalatirányítási modell, amely környezeti, társadalmi és irányítási elveken alapul. A modell akkor működik hatékonyan, ha:

- világos szerkezeti felépítéssel rendelkezik,
- jól definiált modellelemeket tartalmaz,
- integráltan kezeli a három pillér közötti kapcsolatokat,
- és képes a működés közbeni tanulásra, optimalizálásra.

A jövő ESG rendszerei várhatóan még fejlettebb technológiai támogatással (AI-alapú ESG elemzés, automatizált jelentéskészítés, valós idejű monitorozás) egészülnek ki, lehetővé téve, hogy a fenntarthatóság valóban stratégiai versenyelőnyé váljon. Az 5. 6. fejezetekben megfogalmazott tézis részekhez, ebben a fejezetben **lehatároltam a modell elemeit, funkcióit, és kapcsolatrendszerét**, amellyel együtt megalkottam a II. tézisemet:

Meghatároztam az ESG rendszerek által a logisztikával kapcsolatban támasztott követelményeket. Megalkottam az ESG keretrendszerek működéséhez szükséges új típusú recycling logisztikai rendszer modelljét. Lehatároltam a modell elemeit, funkcióit, és kapcsolatrendszerét.

8. ESG rendszerek elemei közötti anyag- és információáramlás

Az ESG egyre fontosabb szerepet tölt be a vállalati működésben, a fenntarthatóság, a társadalmi felelősségvállalás és az etikus vállalatirányítás integrálásával a szervezeti stratégiába. Az ESG rendszerek célja, hogy elősegítsék a környezeti hatások csökkentését, a társadalmi értékek érvényesülését és az átlátható, felelős döntéshozatalt. Az ESG rendszer három fő pillére szoros kapcsolatban áll egymással, és működésük során folyamatos anyag- és információáramlás zajlik, amely biztosítja a rendszer hatékonyságát és integritását.

Az ESG rendszerek interdiszciplináris és interfunkcionális jellegűek; megvalósításukért a különböző szervezeti egységek – mint például a fenntarthatósági osztály, HR, pénzügy, beszerzés vagy IT – együttműködnek. Az anyagáramlás például a környezeti pillérhez kapcsolódik [76], amikor újrahasznosított alapanyagok kerülnek be az ellátási láncba, csökkentik az energiafogyasztást a termelési folyamat során, vagy alternatív üzemanyagokat alkalmaznak a logisztikában. Ezzel párhuzamosan az információáramlás viszont minden pillérben alapvető: ide tartoznak a környezeti adatok (pl. CO₂-kibocsátás), a társadalmi mutatók (pl. munkavállalói elégedettség) és az irányítási jelentések (pl. kockázatkezelési protokollok). Ezeket az adatokat különböző ESG jelentési rendszerek (pl. GRI, SASB, CDP) gyűjtik, dolgozzák fel és publikálják a befektetők, partnerek és hatóságok számára [S8].

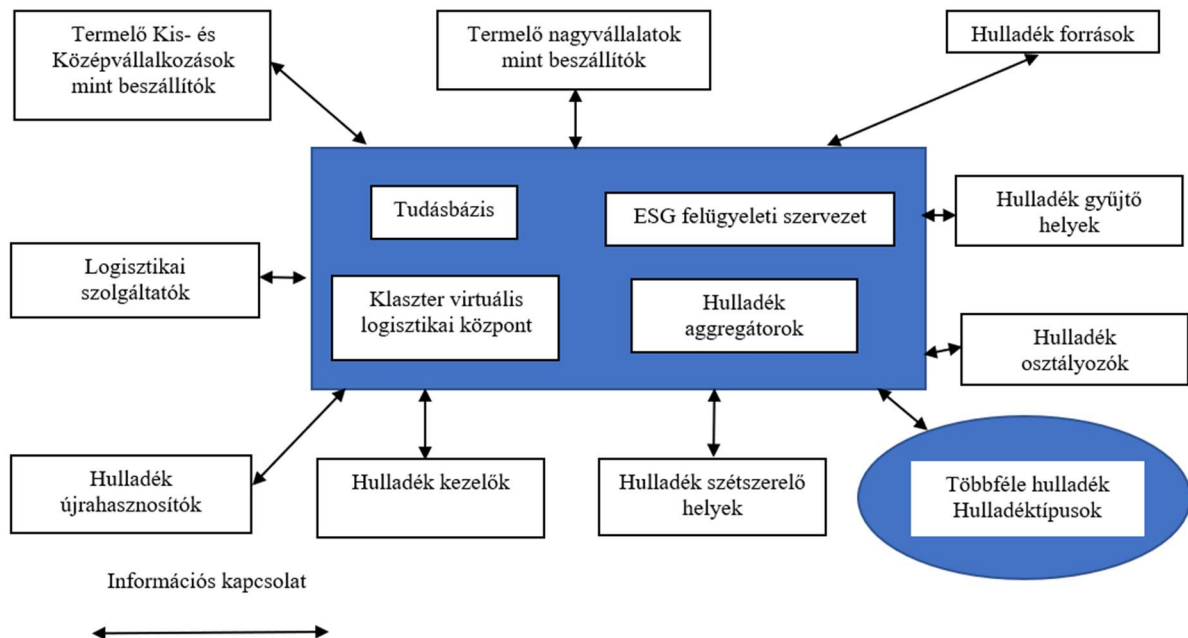
A fizikai anyagáramlás főként az E-pilléren (környezeti dimenzió) belül értelmezhető, de hatással lehet a társadalmi és az irányítási tényezőkre is. A környezeti dimenzióban az anyagáramlás többek között az ellátási lánc átláthatóságában nyilvánul meg, amely kiterjed az alapanyagok származására, ökológiai lábnyomára és a fair trade követelmények betartására. Fontos eleme a körforgásos gazdaság megvalósítása, azaz a hulladék újrafelhasználása és az anyag-visszanyerés, valamint a zöld technológiák alkalmazása, ami az anyagáramlás átalakítását jelenti megújuló forrásokra alapozva. Az anyagáramlásnak ezen felül jelentős társadalmi és irányítási hatásai is vannak, az etikus beszerzés nemcsak anyagi, hanem morális szempontból is befolyásolja az anyagok kiválasztását, és a beszállítói lánc auditálása során az anyagáramlás etikai szűrőként is meggyökeresedik.

Az ESG rendszer hatékony működésének alapja a valós idejű, megbízható és transzparens információáramlás. Ennek a folyamatnak első lépése az adatgyűjtés, amely többféle forrásból történik. Szenzorok és okoseszközök teszik lehetővé a valós idejű környezeti adatok (például energiafelhasználás, hőmérséklet, kibocsátás) gyűjtését. A társadalmi mutatók (például munkahelyi sokszínűség, fluktuáció) a HR-rendszereken keresztül kerülnek rögzítésre, míg a pénzügyi és vezetési adatok integrációját az ERP és BI rendszerek biztosítják. A gyűjtött adatok ezután az adatfeldolgozás és jelentéskészítés fázisába jutnak, ahol a különféle forrásokból származó információk konszolidálása történik. Az automatizált riportok és dashboardok segítik a döntéshozatalt és a külső kommunikációt. Az adatok kommunikálása és az ezzel létrejövő transzparencia garantálja, hogy az információ eljusson a megfelelő célcsoportokhoz. A belső információáramlás célja a vezetők és alkalmazottak közötti ESG tudatosság növelése, míg a külső kommunikáció a befektetők tudatosabb döntéshozatalát valamint a pénzügyi szektor kötelezettségeinek teljesítését segíti, továbbá a civil szervezetek és hatóságok felé irányuló nyilvános jelentések (például fenntarthatósági jelentés, ESG értékelések) transzparenciát és külső ellenőrzést segítik.

Az ESG rendszer hatékony anyag- és információáramlása kiemelt szempont, mely számos kihívással néz szembe, amelyek hátráltathatják az átfogó kép kialakulását és a hiteles jelentéstételt. Ilyen problémát jelent az adatintegritás hiánya, vagyis az adatok hitelességének és manipulációmentességének biztosítása, valamint a szervezeten belüli szigetüzemű rendszerek, amelyek elszigeteltségük miatt akadályozzák az ESG funkciók közötti teljes körű információcserét. Továbbá a globálisan eltérő jelentési keretrendszerekből és mutatószámokból eredő szabványhiány megnehezíti az összehasonlíthatóságot. E kihívások ellenére számos lehetőség kínálkozik a folyamatok javítására a digitalizáció révén: az IoT, a mesterséges intelligencia (AI) és a big data technológiák alkalmazása jelentősen javíthatja az ESG adatok gyűjtését, feldolgozását és elemzését. Az automatizált jelentéskészítés csökkenti az adminisztratív terheket és növeli az adatok pontosságát. Végül, a munkavállalók megfelelő képzése és tudatossága az ESG információk értelmezésében és alkalmazásában jelentős versenyelőnyt biztosíthat a vállalat számára.

Végső soron az ESG rendszerek elemei közötti anyag- és információáramlás kulcsszerepet játszik a fenntarthatóság integrálásában a vállalati működésbe [77]. A jól szervezett adat- és anyagáramlás nemcsak a környezeti hatások csökkentését segíti elő, hanem lehetővé teszi a társadalmi és vezetési célkitűzések hatékony megvalósítását is. Az ESG rendszerek sikeressége azon múlik, hogy a vállalat képes-e ezeket az áramlásokat átláthatóan,

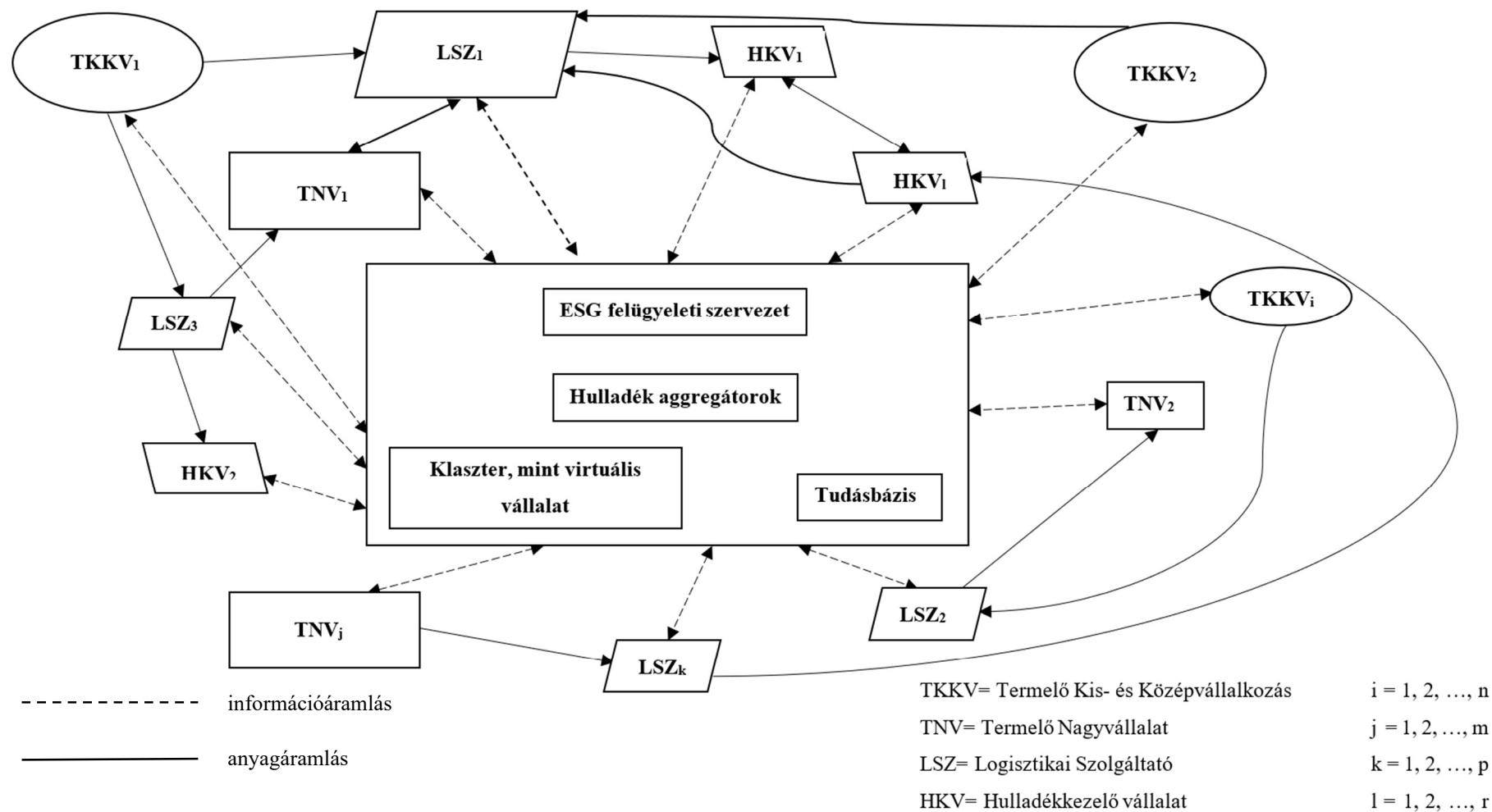
megbízhatóan és integrált módon kezelni. Kifejezetten a recycling folyamatokra vonatkozóan az egyes résztvevőket és tevékenységeket a 13. ábra mutatja csak az információs kapcsolatok alapján, a megvalósuló anyagáramok a virtuális logisztikai központ tudásbázis által alátámasztott döntései alapján jönnek létre.



13. ábra A recycling folyamatok résztvevői és tevékenységeik (saját szerkesztés)

A recycling logisztikai ESG rendszereknél egy klaszter alapú kialakítási lehetőséget mutat be a 14. ábra. Ez egy termelés-szolgáltatás alapú rendszer működését [78] és annak recycling folyamatát valamint adat és információ áramlását mutatja be.

Ebben a fejezetben **feltártam az ESG rendszerek elemei közötti anyag- és információáramlást**, amelyet beépítettem a 9. fejezetben megfogalmazott III. tézisembe.



14. ábra A recycling logisztikai ESG rendszerek esetén kialakítható klaszter alapú működés (saját szerkesztés)

9. A modell kidolgozása

A modell kidolgozásánál külön kitérek a következő esetekre:

- Az ESG és a recycling logisztikai rendszerek összefüggései
- Az ESG szemléletű kockázatkezelés a recycling logisztikai folyamatokban
- A TOPSIS módszer alkalmazása az ESG értékelésben

9.1. Az ESG és a recycling logisztikai rendszerek összefüggései a modellben

A logisztikai folyamatok meghatározó szerepet játszanak az ESG keretrendszer működőképességének sikerességében. A következőkben egy olyan általános modellt fogalmazok meg, amely segítségével a fenntarthatósági stratégiák sikeresen megvalósulnak.

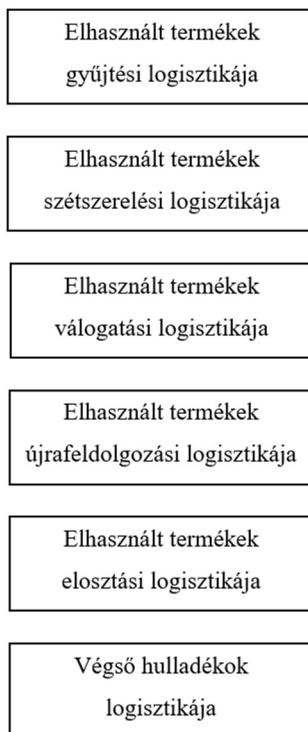
A modell megalkotásánál figyelembe veszem azt, hogy az újrahasznosítási és hulladékkezelési logisztika működtetése nem csak műszaki-technológiai probléma és feladat, hanem pont az ESG keretrendszer alapján jogilag is meghatározott tevékenység. Napjaink jellemzője a gazdaságban található sokféle terméktípus, a termékstruktúrák gyors változása, a termékek életciklusának rövidülése, globális beszállítási hálózatok kialakulása, a keletkező hulladék sokfélesége.

A keletkező hulladékok sokfélesége igényli az újrahasznosítási és hulladékkezelési logisztikai folyamatok megfelelő kialakítását.

Néhány jellegzetes hulladékosztály napjaink gazdaságából:

- elhasznált elektromos termékek,
- elhasznált elektronikus termékek,
- elhasznált háztartási gépek,
- technológiai folyamatok hulladékai,
- veszélyes hulladékok (amelyek szintén tovább csoportosíthatók)
- különböző kommunális hulladékok,
- veszélyes anyagok hulladékai,
- radioaktív hulladékok,
- és így tovább.

Az ESG keretrendszerben fontos szerepet játszó újrahasznosítási (recycling) logisztika tevékenységi körét nagyon fontos definiálni, lehatárolni. A recycling logisztikai tevékenységek alapvető elemeit az 15. ábra szemlélteti.



15. ábra Recycling logisztikai tevékenység folyamatának főbb lépései (saját szerkesztés)

Az 15. ábrán megadott folyamatok végrehajtása a megadott sorrend alapján tud megvalósulni, ugyanakkor egyes tevékenységek függenek az elhasznált termék típusától, vagyis a folyamat gyakorlati megvalósulása sokféle lehet.

Szükséges meghatározni a 15. ábrán megadott folyamat elemeinél jelentkező logisztikai tevékenységeket. Ezt a 16. ábra mutatja.

<i>használt termékek gyűjtési logisztikája</i>	<i>szétszerelési logisztika</i>	<i>válogatás logisztikája</i>	<i>újrafeldolgozás</i>	<i>elosztási logisztika</i>	<i>hulladék- logisztika</i>
- szállítás, - válogatás, - tárolás, - veszélyes anyagok eltávolítása, - egységgrakományok képzése, - rakodás.	- bemenő tárolás, - egységgrakományok bontása, - műveletközi szállítás, tárolás és rakodás, - munkahelyi kiszolgálás, - kimenő tárolás.	- válogatás, - tárolás, - egységgrakományok képzése, - szállítás az újrafeldolgozás helyére.	- rakodás, - tárolás, - műveletközi szállítás, tárolás és rakodás, - új termékek tárolása, - csomagolás.	- egységgrakományok képzése a recyclinghoz, - szállítás, - szállítás a recycling helyére, - tárolás a recycling helyén, - egységgrakományok bontása.	- szállítás, - osztályozás, - deponálás, - megsemmisítés vagy recycling.

16. ábra A recycling logisztikai tevékenység folyamatának főbb lépései (saját szerkesztés)

Az ESG keretrendszer működésének biztosításánál a logisztika mellett egyéb tevékenységek is befolyással bírnak. Ezért szükséges az alapvető feladat-felelősség megosztási irányelvek meghatározása. Ezeket három nagy csoportba sorolom:

- gyártási felelősség,
- elosztási és gyűjtési felelősség,
- újrahasznosítási felelősség.

A gyártói felelősség kiterjed a gyártási folyamat során keletkező környezeti határok minimalizálására, amit a terméktervezési és gyártástervezési tevékenységek végrehajtásával érünk el, ahol jól érvényesül az LCA modell.

Az elosztási és gyűjtési felelősség kiterjed az elosztási logisztikai folyamat és az elhasznált termékek gyűjtési logisztikai folyamatának kialakítására és működtetésére, az alkalmazott logisztikai eszközök fajtájára és mennyiségére, ezen esetekben az optimális megoldást az LP és Hálózatoptimáló modellek adnak.

Az újrahasznosítási felelősség kiterjed az elhasznált termékek szétszerelésére, a még felhasználható egységek kiválasztására, a még felhasználható anyagok kinyerésére, a még maradó elemek megsemmisítése energia visszanyerésére, valamint környezetbarát módon történő deponálására, ezen tevékenységek során a Körforgásos gazdasági modell alkalmazható.

Az előzőekből látható, hogy az ESG keretrendszer működése érinti az egész gazdaság meghatározó elemeit:

- a gyártókat, a termelőket és folyamataikat,
- az elosztókat és gyűjtőket és ezek folyamatait,
- az újrahasznosítást végzőket és folyamataikat.

Mindezekből kitűnik, hogy egy ESG keretrendszernek megfelelően működő gazdaságban egyik alapvető szempont az érintettek hálózatban történő együttműködése, így a többcélú optimalás ideális eredményt adhat [14]. Céлом ennek a hálózati rendszer modelljének a kidolgozása, és jellemzése.

A többcélú optimaláshoz szükséges a kapcsolatok megválasztása, melyhez az adat- és információkapcsolatok kiválasztásának szempontjai között kiemelkedő szerepet kap a relevancia és a kölcsönhatás vizsgálata [62]. Csak olyan adatok és információk

választhatók, amelyek közvetlenül befolyásolják a vizsgált célfüggvényeket és korlátokat. Fontos szempont a megbízhatóság és az időszerűség is, az adatoknak hitelesnek és a valóságnak megfelelőnek kell lenniük. Ezen túlmenően figyelembe kell venni a célok közötti kompromisszumok elemzéséhez szükséges információit, azaz azokat a metrikákat, amelyek segítségével mérhető, hogy az egyik cél javítása mennyiben rontja a másik cél teljesülését. A kapcsolat megválasztásánál különböző szempontok lehetségesek. Alapvetően a gondolkodásomat az egész folyamat működtetésének javítása vezérli. A számításba vehető lehetséges célfüggvényeket a következőekben sorolom fel:

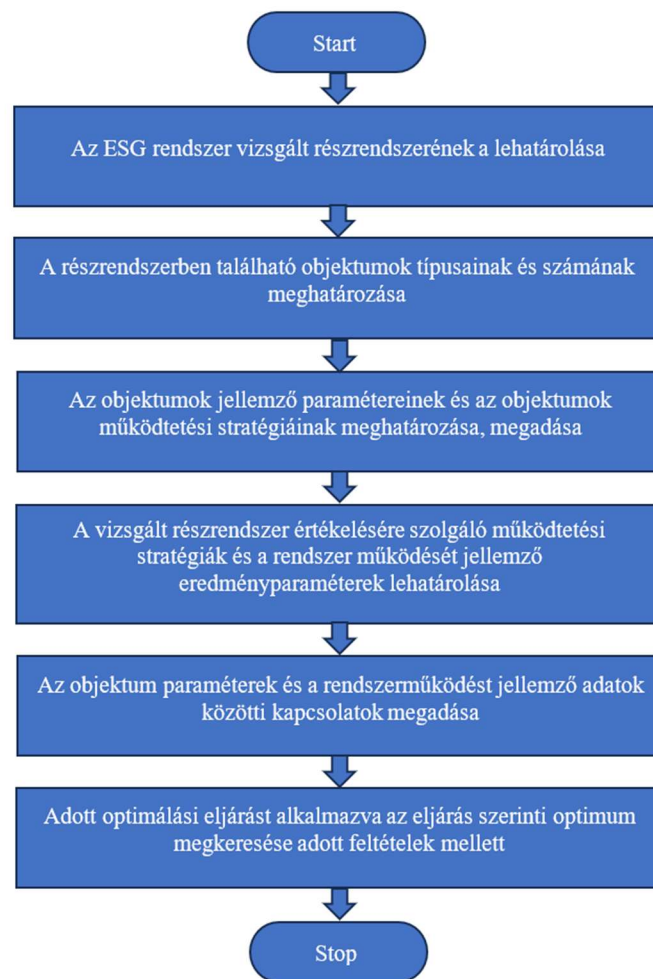
- legyen maximális az újrahasznosított anyagmennyiség,
- legyen minimális a felhasznált energia mennyisége,
- legyenek minimálisak az átfutási idők,
- legyen minimális a folyamat költsége,
- legyen maximális a logisztikai eszközök kihasználtsága,
- legyen minimális a környezet terhelés,
- legyen optimális a szolgáltatások megvalósításának társadalmi hatása (pl. lehetőleg ne lakott területen keresztül történjen a szállítás)
- legyen maximális a kialakított folyamatok megbízhatósága,
- a hálózatszerű működés folyamat jellemzői real-time módon rendelkezésre álljanak,

A többcélú rendszerek esetén a célfüggvények között jelentkező ellentétek szükségessé teszik, a kritériumok közötti kompromisszumok alapján definiálható optimálást. Az előzőek alapján megállapítható, hogy az ESG rendszerek a társadalom különböző területein meghatározó szerephez jutnak. Bármely rendszer optimális működtetéséhez a következő alapeladatokat kell megoldani:

- egyértelműen meg kell adni, le kell határolni a vizsgálandó rendszer működési területét,
- a lehatárolt rendszeren belül meg kell határozni a vizsgálandó objektumok típusát és számukat,
- fel kell tárni a lehatárolt rendszeren belül lévő objektumok jellemző paramétereit, valamint az objektumok működtetési stratégiáit,

- meg kell határozni a lehatárolt rendszer értékelésére vonatkozó eredményrendszer felépítését, vagyis hogy milyen jellemzők szerint kívánjuk értékelni a rendszer működését, valamint milyen működtetési stratégia,
- a lehatárolt rendszert felépítő objektumok paraméterei alapján fel kell tární az objektum paraméterek és a rendszerműködést jellemző adatok közötti kapcsolatokat,
- adott optimalizációs eljárást alkalmazva az eljárás szerinti optimum megkeresése adott feltételek mellett.

A folyamatot a következő, 17-es ábra mutatja.



17. ábra Az ESG rendszerek értékelésének folyamata (saját szerkesztés)

A 17-es ábra alapján láthatóan egy nagyon bonyolult feladat megoldásáról van szó. A feladat bonyolultságát a következők még tovább fokozzák:

- számtalan részrendszer határolható le, de igazából az egész ESG rendszer optimális működtetése a cél,

- adott objektumnál hány darab és milyen típusú paramétert kezelünk,
- minden egyes objektumnál egyenként is többféle működtetési stratégia adható meg, ezekből sokféle rendszert jellemző működés lehetséges,
- különböző típusú működési jellemzők lehetségesek a részrendszerekre vonatkozóan,
- a különféle objektumok, különféle működtetési stratégiái és paraméterei, valamint a részrendszert jellemző értékelési paraméterek közötti kapcsolati rendszer bonyolultsága,
- többféle optimalizációs eljárás és feltétel rendszer lehetséges a kiértékeléshez.

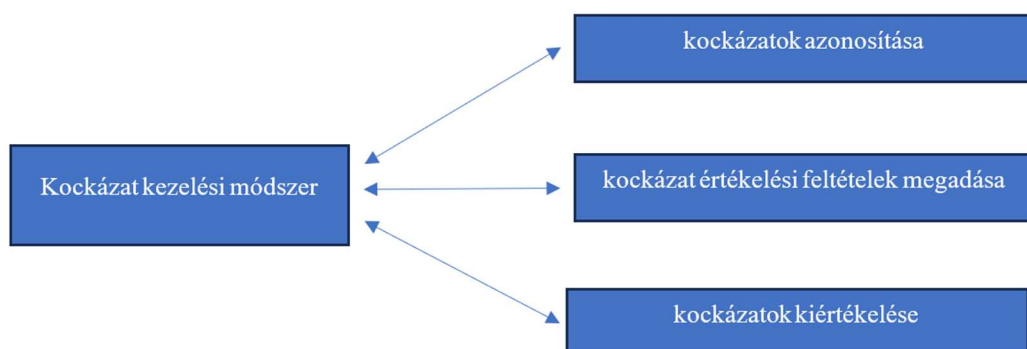
Mindezek alapján megállapítom, hogy egy ESG rendszer megfelelő elemzéséhez bonyolult háttéradatrendszer, működtetési stratégiai rendszerek és speciális optimalizációs folyamatok szükségesek. Ezt egy bonyolult szimulációs rendszerrel lehet csak megoldani.

9.2. Az ESG szemléletű kockázatkezelési modell a recycling logisztikai folyamatokban

Az ESG rendszerek vizsgálatának egy másik lehetséges módja a rizikófaktorok és kockázati tényezők kezelése. Minden egyes folyamatban – így az ESG rendszerek logisztikai folyamataiban is – a működés folyamán különböző kockázati tényezők veszélyeztetik a rendszer működésének zavartalanságát.

Lényeges szempont, hogy a rendszer működését a kockázati tényezők különböző erősséggel zavarhatják. Ezért igen fontos feladat, hogy a kockázati tényezőket a kockázat nagysága alapján valamilyen módon rangsoroljam. Ezen rangsor alapján határozhatók meg a szükséges intézkedések a zavartalan működés érdekében.

A kockázatkezelési eljárás legfontosabb területeit a 18. ábra szemlélteti.



18. ábra Kockázatkezelési eljárás (saját szerkesztés)

A kockázatkezelési eljárás célja, hogy létrehozza, meghatározza a kockázatok lehetséges listáját azon események alapján, amelyek negatív hatással lehetnek a logisztikai folyamat (ESG rendszer) működésére [79].

A logisztikai folyamatok és rendszerek esetén nagy számú kockázati tényező létezik. Ezek a kockázati tényezők egyrészt a logisztikai folyamat anyagáramlási részéhez, másrészt a logisztikai folyamat információ áramlási részéhez kötődnek. A kockázati tényezők kötődhetnek anyagáramlási berendezés jellemzőihez és különféle működtetési stratégiákhoz.

A kockázatkezelési eljárás első lépése a kockázatok azonosítása. Ennek a tevékenységnek szubjektív elemei is vannak, amelyek azzal emberrel kapcsolatosak, aki az azonosítást végzi. Napjainkban ennél a tevékenységnél jól felhasználható a mesterséges intelligencia, ami szűkíti a szubjektivitást.

A logisztikai folyamatok kockázatainak mérséklése miatt fel kell tárni a kockázati tényezők halmazát, valamint az ehhez tartozó mozgatórugókat, feltételeket és eseményeket.

A logisztikai folyamatoknál általában a következő kockázatokat kell figyelembe venni:

- anyagáramlási kockázat,
- információ áramlási kockázat,
- technológiai kockázat,
- katasztrófa kockázat,
- háborús kockázat,
- globalizációs kockázat,
- pénzügy kockázat,
- termék- és szolgáltatás kockázata,
- társadalmi hatás kockázata,
- környezeti hatás kockázata,
- termékstruktúra kockázata,
- energiaellátás kockázata,
- stb.

A kockázatok értékelési feltételeinél is sokféle feltételt meg lehet adni. A következőkben három fontos tényezőt említek:

- az egyedi kockázat előfordulásának valószínűsége,
- a vizsgált kockázattípus lehetséges hatásai,
- a kockázatok csökkentése érdekében végzett ellenőrzések minősége a folyamatok, rendszerek és rendszerelemek esetén.

A kockázati tényező, kockázati feltétel értékeléséhez a következő módszert használok: adott paraméter esetén az elérhető legjobb (pozitív) és előforduló legrosszabb (negatív) értékű lehetőségekre alapozva egy kompromisszumos megoldást keresek.

Az ilyen típusú megoldás keresésére szolgáló módszer a TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

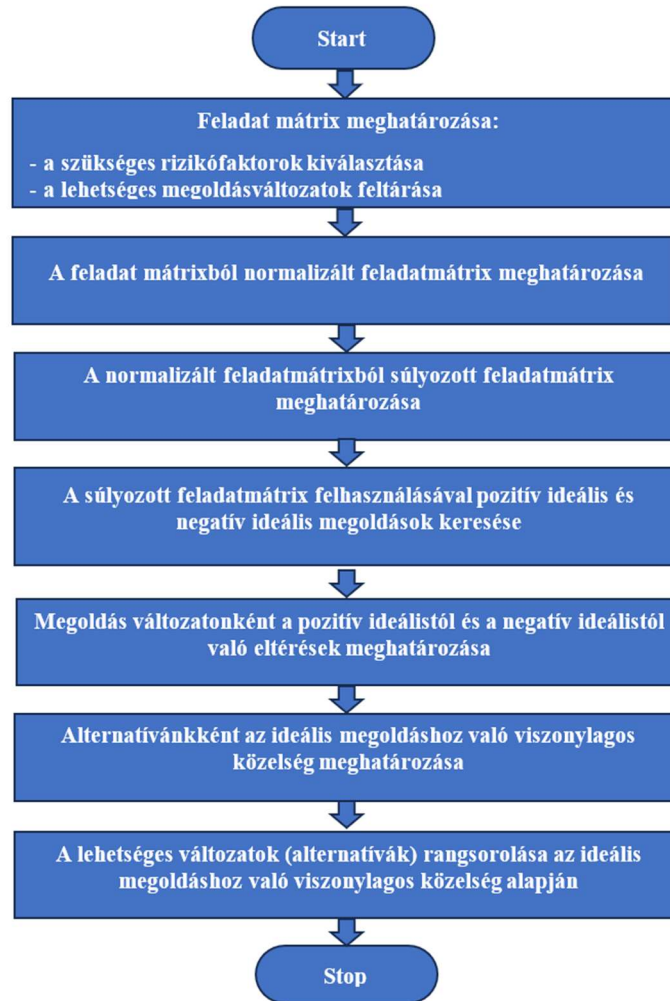
A következőkben ennek a módszernek az alkalmazását vázolom fel a megoldáskeresés metodikája alapján. A megoldáskeresés algoritmusának felépítését a 16. ábra mutatja.

9.3. A TOPSIS módszer alkalmazása az ESG értékelésben

[S9]

A jelen alfejezetben a megoldáskereső módszertan alapján ismertetem ennek a módszernek az alkalmazását. A TOPSIS módszer alkalmazása az ESG értékelésben lehetővé teszi a vállalati döntéshozók számára, hogy több kritérium alapján rangsorolják az alternatívákat. A környezeti, társadalmi és irányítási dimenziók integrálása során elengedhetetlen, hogy az egyes kritériumok különböző súlyozással jelenjenek meg az értékelésben. A módszer előnye, hogy összeveti az alternatívák teljesítményét a legjobb és a legrosszabb megoldásokkal, így biztosítva az objektív összehasonlítást. A folyamat során először meg kell határozni az értékelési kritériumokat, majd hozzá kell rendelni a megfelelő súlyokat és adatokat. Ezt követi a normalizálás, amely biztosítja az összehasonlíthatóságot a különbségek ellenére. A pozitív és negatív ideális megoldások azonosítása után kiszámítható az egyes alternatívák távolsága mindkét referenciaponttól.

A végső rangsor a relatív közelségen alapul, ami jól alkalmazható az ESG kontextusban a kockázatok azonosítására és kezelésére. A 19. ábra vizuálisan bemutatja az eljárás lépéseit, elősegítve a folyamat megértését és gyakorlati alkalmazását.



19. ábra Kockázatkezelési eljárás (saját szerkesztés)

A módszer első lépése a 20. ábrán látható Feladatmátrix (F) felállítása, ahol az alternatívák teljesítményét rögzítik az ESG kritériumokhoz viszonyítva.

Ezt követi a normalizálás és a súlyozás, amelyek biztosítják az összehasonlíthatóságot és a prioritások érvényesítését. A pozitív és negatív ideális megoldások meghatározása után kiszámítható az alternatívák távolsága az egyes referenciaértékektől. A végső értékelés a relatív közelségen alapul, amelyből egyértelmű rangsor állítható fel a fenntarthatósági teljesítményről.

A módszer különösen hasznos olyan esetekben, amikor több vállalati egységet, beszállítót vagy befektetési alternatívát kell értékelni ESG szempontból. A döntéshozatali folyamat eredményeként nemcsak a legkedvezőbb lehetőség azonosítható, hanem a fejlesztésre szoruló területek is feltárhatók. Ez lehetővé teszi a stratégiai irányok meghatározását és az erőforrások fenntarthatósági célokkal összhangban történő elosztását.

A bemutatott folyamat alapján az alábbiakban vázolom a szükséges számításokat.

Feladatmátrix (F)

$$F(i,j) = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & j & \dots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ m \end{matrix} & \left\{ \begin{matrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{matrix} \right\} \end{matrix} \quad f(i,j)$$

20. ábra Feladatmátrix (F) felépítése (saját szerkesztés)
 ahol

$i = 1, 2, \dots, m$ jelöli a lehetséges megoldás változatokat (alternatívákat),
 $j = 1, 2, \dots, n$ jelöli a rizikófaktorok értékeit az adott alternatívánál.

Normalizált feladatmátrix (G)

$$G(i,j) = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & j & \dots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ m \end{matrix} & \left\{ \begin{matrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{matrix} \right\} \end{matrix} \quad g(i,j)$$

21. ábra Normalizált feladatmátrix (G) (saját szerkesztés)
 ahol

$i = 1, 2, \dots, m$ jelöli a lehetséges megoldás változatokat (alternatívákat),
 $j = 1, 2, \dots, n$ jelöli a rizikófaktorok értékeit az adott alternatívánál.

Az összefüggés F és G elemei között:

$$q(i,j) = \frac{f(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^j f(i,j)^2}} \quad (9)$$

ahol

$$i = 1, 2, \dots, m \text{ és } j = 1, 2, \dots, n$$

Súlyozott normalizált feladatmátrix (H)

A súlyozott, normalizált feladatmátrix (H) meghatározásánál figyelembe kell venni a súlyozási tényezőket. Ezek a súlyozási tényezők a rizikó faktorokra vonatkoznak.

Ezeket tartalmazza a $h(j)$ vektor.

$$h(j) \text{ ahol } j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n h(j) = 1 \quad (11)$$

és

$$0 < h(j) < 1 \quad (12)$$

A normalizált feladatmátrix minden egyes oszlopának megszorozása a hozzá tartozó súlyozási tényezővel adja meg a súlyozott, normalizált feladatmátrixot.

$$H(i,j) = h_j \times G(i,j) \quad (13)$$

ahol

$$i = 1, 2, \dots, m \text{ és}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Pozitív ideális és negatív ideális megoldások keresése

A $H(i,j)$, ahol $i = 1, 2, \dots, m$ és $j = 1, 2, \dots, n$ mátrixot használom fel. A pozitív ideális megoldásokat $M^+(j)$ vektor tartalmazza, ahol

$$M^+(j) = \max H(i,j), \text{ ha } j \in J \quad (14)$$

és a negatív ideális megoldásokat tartalmazza, ahol

$$M^-(j) = \min H(i,j), \text{ ha } j \in J' \quad (15)$$

ahol J és J' a haszon és a veszteség jellemzők halmaza.

Változatontként a pozitív és a negatív ideálistól való eltérések meghatározása

A számításoknál a $H(i,j)$ súlyozott normalizált feladatmátrixot és a pozitív ideális (M^+) , valamint a negatív ideális megoldásokat (M^-) tartalmazó vektorokat használok fel.

A pozitív eltéréseket az

$$S(i)^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m [H(i,j) - M^+(j)]^2} \quad (16)$$

ahol $i = 1, 2, \dots, m$ alapján határozom meg.

A negatív eltéréseket az

$$S(i)^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m [H(i,j) - M^-(j)]^2} \quad (17)$$

ahol $i = 1, 2, \dots, m$ alapján határozom meg.

Változatontként az ideális megoldáshoz való viszonylagos közelség meghatározása

Ezt az értéket a

$$C(i) = \frac{S^-(i)}{S^+(i) - S^-(i)} \quad (18)$$

ahol

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

alapján határozom meg, ahol:

$$0 \leq c_i \leq 1, \text{ ahol } (i = 1, 2, \dots, m) \quad (19)$$

Ez az érték mutatja az i . alternatíva viszonylagos közelségét a pozitív ideális megoldás tekintetében.

A $C(i)$ értékek alapján felállítható egy sorrend a lehetséges alternatívák között.

9.4. Összefoglalás

Összességében kijelenthető, hogy az ESG elveken alapuló logisztikai rendszerek értékelése csak komplex, többkritériumos módszerekkel végezhető el hatékonyan. Az ESG keretrendszerek egyszerre foglalják magukban a környezeti, társadalmi és irányítási tényezőket, amelyek szoros összefüggésben állnak az újrahasznosítási logisztika kihívásaival. A kockázati tényezők sokrétű jellege miatt elengedhetetlen azok strukturált azonosítása, prioritizálása, rendezése és kezelése. A TOPSIS módszer alkalmas eszköz a lehetséges megoldási alternatívák összehasonlítására, mivel számszerűsíti a kockázati változók hatását és megkönnyíti az optimális opció kiválasztását.

Az alkalmazott megközelítés lehetővé teszi a logisztikai rendszerek működési zavarainak enyhítését és támogatja a fenntarthatósági célok elérését. Ezenkívül a módszer különböző szervezeti és ipari kontextusokhoz alkalmazkodik, ezáltal növelve gyakorlati relevanciáját. A mesterséges intelligencia integrálása a szubjektív kockázatazonosításba tovább erősíti az értékelési folyamat megbízhatóságát. Mindezek alapján megalkottam az ESG keretrendszerekhez kapcsolódó logisztikai modellt. Kidolgoztam a lehetséges működtetési stratégiákat, és a vizsgálatokhoz meghatároztam az alkalmazható célfüggvényeket, amelyek a 8. fejezetben megfogalmazottakkal együtt a III. tézisbe integrálódtak - **Feltártam az ESG rendszerek elemei közötti anyag- és információáramlást, és megalkottam az ESG keretrendszerekhez kapcsolódó logisztikai modellt. Kidolgoztam a lehetséges működtetési stratégiákat, és a vizsgálatokhoz meghatároztam az alkalmazható célfüggvényeket.**

Továbbá a 9. fejezetben kidolgozott megoldások vonatkozásában megalkottam a IV tézist:

A kapott megoldásokra vonatkozóan kidolgoztam egy rizikófaktorokon alapuló újfajta meghatározását az eredményeknek.

A kutatás eredményei alátámasztják a szimulációs modellek és a fejlett döntéstámogató rendszerek használatát. A jövőbeli kutatásoknak magukban kell foglalniuk a módszertan tesztelését konkrét ipari eseteken és összehasonlítását más többkritériumos technikákkal. A jelen kutatás hozzájárul az ESG orientált recycling logisztikai rendszerek elméleti fejlődéséhez és gyakorlati megvalósításához egyaránt.

10. Az értekezés tézisei

I. Tézis:

Feltártam és meghatároztam az ESG keretrendszerek alkalmazásának szükségességét, valamint a recycling logisztika meghatározó szerepét ezen rendszerekben. Meghatároztam az ESG recycling logisztikai rendszerének komplexitását, valamint megadtam a lehetséges optimálási paramétereket és a lehetséges módszereket.

II. Tézis:

Meghatároztam az ESG rendszerek által a logisztikával kapcsolatban támasztott követelményeket. Megalkottam az ESG keretrendszerek működéséhez szükséges új típusú recycling logisztikai rendszer modelljét. Lehatároltam a modell elemeit, funkcióit, és kapcsolatrendszerét.

III. Tézis:

Feltártam az ESG rendszerek elemei közötti anyag- és információáramlást, és megalkottam az ESG keretrendszerekhez kapcsolódó logisztikai modellt. Kidolgoztam a lehetséges működtetési stratégiákat, és a vizsgálatokhoz meghatároztam az alkalmazható célfüggvényeket.

IV. Tézis:

A kapott megoldásokra vonatkozóan kidolgoztam egy rizikófaktorokon alapuló újfajta meghatározását az eredményeknek.

11. Theses of the dissertation

I. Thesis:

I identified and determined need to apply the ESG frameworks and the key role of recycling logistics in these systems. I defined the complexity of the ESG recycling logistics system and specified the possible optimization parameters and methods.

II. Thesis:

I defined the logistics requirements imposed by ESG systems. I created the model for a new type of recycling logistics system necessary for the operation of ESG frameworks. I defined the elements, functions, and relationships of the model.

III. Thesis:

I explored the flow of materials and information between the elements of ESG systems and created the logistics model related to ESG frameworks. I developed for the logistics model related to the ESG frameworks possible operational strategies. I created and defined the objective functions applicable to the analyses.

IV. Thesis:

Based on the solutions obtained, I developed a new method for determining results based on the risk factors.

12. Összefoglalás

Az ellátási láncok, a kockázatok azonosíthatósága és a digitalizáció összekapcsolódása az elmúlt években egyre inkább az értékteremtő és fenntartható gazdasági működés egyik kulcsfontosságú tényezőjévé vált. A szakirodalomban is megfigyelhető az ESG alapú logisztikai rendszerek, valamint a körforgásos gazdaság és az újrahasznosítási logisztika témakörének dinamikus felfutása. A recycling logisztika, mint a logisztikai folyamatok rendszere, a fenntarthatósági célok egyik legfontosabb eleme. A nem megfelelő működés jelentős gazdasági és környezeti veszteségekhez vezethet, amelyek az egész értékteremtő lánc hatékonyságát befolyásolják. E problémák orvoslásához elengedhetetlen a döntéshozatali folyamatok precíz kidolgozása, valamint az adatvezérelt kockázatelemzés alkalmazása. A legújabb kutatások kiemelik, hogy a digitalizáció és az adatvezérelt döntéshozatal integrálása nélkül a vállalatok nehezen tudnak megfelelni a fenntarthatósági elvárásoknak. Ennek eredményeként a hagyományos, lineáris logisztikai rendszerek fokozatosan a körforgásos gazdaság alapelveit támogató, zárt láncú struktúrákká alakulnak át.

A logisztikai döntéshozatal napjainkban egyre inkább többdimenziós keretben történik, amelyben a gazdasági racionalitás mellett az ESG elvek meghatározó szerepet kapnak. A környezeti tényezők a kibocsátáscsökkentésre, az energiatakarékosságra és a hulladékminimalizálásra irányulnak, míg a társadalmi dimenzió az etikus működésre, a munkavállalói jólétre és a közösségi felelősségvállalásra helyezi a hangsúlyt. Az irányítási tényezők a transzparens és digitálisan nyomon követhető irányítási folyamatokat támogatják, amelyek a bizalom és a hitelesség megteremtéséhez elengedhetetlenek.

A jogi és szabályozási környezet az elmúlt években jelentős változásokon ment keresztül. Az ESG szabályozás mind az Európai Unióban, mind Magyarországon olyan új megfelelési kötelezettségeket hozott, amelyek alapvetően átalakítják a vállalatok működését. Az uniós irányelvek – például az EU Taxonómia Rendelet és a CSRD illetve a CSDDD – előírják, hogy a vállalatok ne csupán pénzügyi, hanem környezeti és társadalmi szempontból is számot adjanak teljesítményükről és tegyék ezt az ellátási láncuk teljesítményéről is. Ez a követelményrendszer új adatgyűjtési, elemzési és jelentéstételi mechanizmusok bevezetését teszi szükségessé, amelyek a logisztikai

rendszerek működését jelentősen befolyásolják. Bár a megfelelés rövid távon többlettermék lehet, hosszú távon a vállalatok fenntarthatósági teljesítményének javulását, reputációjuk erősödését és versenyképességük növekedését eredményezi.

Az elmúlt években a tudományos és szakmai diskurzusban is látványos felfutás tapasztalható az ESG keretrendszerek, a körforgásos gazdaság és a recycling logisztika témaköreiben. A nemzetközi szakirodalomban egyre több kutatás foglalkozik azzal, miként lehet az ellátási láncokat és a logisztikai döntéshozatalt fenntarthatósági kritériumok mentén optimalizálni. A 2020-as évek elejétől kezdődően különösen az Európai Unió fenntarthatósági politikái ösztönözték az akadémiai és ipari kutatásokat. A tudományos érdeklődés középpontjába így az ESG szemlélet integrációja, a zöld logisztikai folyamatok modellezése, valamint a kockázati tényezők többdimenziós értékelése került. Ez a tendencia jól mutatja, hogy az ESG-vel kapcsolatos logisztikai rendszerek mára nemcsak gazdasági, hanem tudományos és társadalompolitikai jelentőséggel is bírnak.

Ugyanebben az időszakban egyre nagyobb hangsúly helyeződött a kockázati tényezők strukturált azonosítására és értékelésére, különösen az ESG keretrendszerek kontextusában. Kutatásom szerint a kockázatok összetett jellege miatt az értékelés csak többkritériumos módszertanokkal végezhető hatékonyan. Ennek megfelelően vizsgálataim során az optimális eredmény kereséséhez a leghatékonyabbnak a TOPSIS módszert találtam. Ez a módszer lehetővé teszi az alternatív megoldások összehasonlítását és az optimális döntések kiválasztását az egyes kockázati tényezők számszerűsített hatásai alapján. Az alkalmazott módszer emellett alkalmas a különböző ipari és szervezeti környezetekhez való adaptálásra, ami növeli gyakorlati relevanciáját. A mesterséges intelligencia eszközeinek integrálása pedig tovább növeli a kockázatok azonosításának pontosságát és az értékelési folyamat megbízhatóságát.

A digitalizációs fejlesztések szintén új lendületet adtak az ESG orientált logisztikai rendszerek vizsgálatának. A mesterséges intelligencia, a gépi tanulás és a prediktív analitika alkalmazása lehetővé teszi, hogy a vállalatok valós időben értékeljék környezeti teljesítményüket, és gyorsan reagáljanak a fenntarthatósági kockázatokra. A blockchain technológia és az IoT-alapú adatgyűjtés révén a recycling folyamatok átláthatóvá, visszakövethetővé és mérhetővé válnak, ami nemcsak a hatékonyságot növeli, hanem a jogszabályi megfeleléshez szükséges adatszolgáltatást is támogatja. A

kutatói irányok tehát egyértelműen abba az irányba mutatnak, hogy az ESG értékelés jövője az automatizált, integrált döntéstámogató rendszerekben rejlik, amelyek képesek ötvözni a gazdasági, környezeti és társadalmi célok egyidejű optimalizálását.

A vállalati gyakorlatban az ESG kritériumokhoz való alkalmazkodás egyre inkább stratégiai kérdéssé válik. A megfelelés nem pusztán kötelezettség, hanem versenytényező is: a transzparens, felelős és fenntartható működés javítja a vállalat reputációját, megkönnyíti a finanszírozási forrásokhoz való hozzáférést, és elősegíti a hosszú távú stabilitást. A jogszabályi előírások folyamatos szigorodása mellett a befektetői és fogyasztói elvárások is fokozzák az ESG szempontok beépítésének szükségességét. A vállalatok számára tehát a digitalizált, ESG kompatibilis recycling logisztikai rendszerek nem csupán a jogszabályi megfelelés eszközei, hanem az innováció, a hatékonyság és a versenyképesség fenntartásának kulcselemei. A jövő gazdasági modellje így egyértelműen a fenntarthatósági és technológiai fejlődés metszéspontjában rajzolódik ki.

Kutatásom eredményei azt mutatják, hogy az ESG elveken alapuló logisztikai rendszerek értékelése csak komplex, többkritériumos elemzési keretek között végezhető el hatékonyan. Az ilyen rendszerek működésében a digitalizáció és az automatizált döntéstámogatás kulcsfontosságú, mivel ezek biztosítják a gyors, megalapozott és átlátható döntéshozatalt. Összességében elmondható, hogy az ESG keretrendszerekhez illeszkedő recycling logisztikai modellek kialakítása és értékelése a fenntartható gazdasági fejlődés kulcsterületévé vált, illetve válik az elkövetkező időszakban. A tudományos és gyakorlati érdeklődés növekedése, a jogszabályi megfelelés iránti igény, valamint a digitalizáció térnyerése mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a jövő értékteremtő láncai ne csupán hatékonyak, hanem felelősek és környezettudatosak is legyenek.

Kutatásomban feltártam és lehatároltam az ESG keretrendszerek működéséhez szükséges új típusú recycling logisztikai rendszer feladatkörét, valamint az alkalmazható modelleket. Meghatároztam a rendszer tevékenységi területeit, és ezek alapján megalkottam egy olyan értékelési módszert, amely képes a fenntarthatósági és gazdasági szempontokat egyidejűleg kezelni. Az általam kidolgozott modell integrálja az ESG szempontokat a recycling logisztikai folyamatok egészébe, lehetővé téve, hogy az újrahasznosítás és a visszaggyűjtési folyamatok a körforgásos gazdaság alapelvei mentén, ugyanakkor mérhető és szabályozott módon működjenek.

13. Summary

The interconnections between supply chains, risk identification, and digitalization have increasingly become a key driver of value creation and sustainable economic operation in recent years. The academic literature also shows a dynamic growth in studies on ESG-based logistics systems, the circular economy, and recycling logistics. Recycling logistics, as a system of logistics processes, plays a key role in achieving sustainability goals. Inadequate operation can lead to significant economic and environmental losses that affect the efficiency of the entire value chain. To remedy these problems, it is essential to develop precise decision-making processes and apply data-driven risk analysis. The latest research highlights that without the integration of digitalization and data-driven decision-making, companies will find it difficult to meet sustainability expectations. As a result, traditional linear logistics systems are gradually transforming into closed-loop structures that support the principles of the circular economy.

Nowadays, logistics decision-making increasingly takes place within a multidimensional framework, in which ESG principles play a decisive role alongside economic rationality. Environmental factors focus on reducing emissions, saving energy, and minimizing waste, while the social dimension emphasizes ethical operations, employee well-being, and community responsibility. Governance factors support transparent and digitally traceable governance processes, which are essential for building trust and credibility.

The legal and regulatory environment has undergone significant changes in recent years. ESG regulations in both the European Union and Hungary have introduced new compliance requirements that are fundamentally transforming the way companies operate. EU directives – such as the EU Taxonomy Regulation, CSRD, and CSDDD – require companies to report on their performance not only from a financial perspective, but also from an environmental and social perspective, and to do so for their supply chains as well. This set of requirements necessitates the introduction of new data collection, analysis, and reporting mechanisms that significantly affect the operation of logistics systems. Although compliance will mean additional burdens in the short term, in the long term it will result in improved sustainability performance, enhanced reputation, and increased competitiveness for companies.

In recent years, there has been a remarkable rise in scientific and professional discourse on ESG frameworks, the circular economy, and recycling logistics. An increasing number of international studies are examining how supply chains and logistics decision-making can be optimized along sustainability criteria. Since the early 2020s, the European Union's sustainability policies in particular have stimulated both academic and industrial research. As a result, scientific attention has increasingly focused on the integration of ESG considerations, the modelling of green logistics processes, and the multidimensional assessment of risk factors. This trend clearly shows that ESG-related logistics systems have now gained significance not only in economic terms, but also in scientific and socio-political contexts.

During the same period, increasing emphasis was placed on the structured identification and assessment of risk factors, particularly within the context of ESG frameworks. According to my research, due to the complex nature of risks, assessment can only be achieved through multi-criteria methodologies. Accordingly, in my research, I found the TOPSIS method to be the most effective for identifying the optimal solution. This method enables the comparison of alternative solutions and the selection of optimal decisions based on the quantified effects of individual risk factors. The method used is also suitable for adaptation to different industrial and organizational environments, which increases its practical relevance. The integration of artificial intelligence tools further improves the accuracy of risk identification and the reliability of the evaluation process.

Developments in digitalization have also given new impetus to the examination of ESG-oriented logistics systems. The use of artificial intelligence, machine learning, and predictive analytics enables companies to assess their environmental performance in real time and respond swiftly to sustainability risks. Blockchain technology and IoT-based data collection make recycling processes transparent, traceable, and measurable, which not only increases efficiency but also supports the data reporting required for regulatory compliance. Research trends therefore clearly point to the future of ESG assessment lying in automated, integrated decision support systems that are capable of simultaneously optimizing economic, environmental, and social goals.

In corporate practice, compliance with ESG criteria is increasingly becoming a strategic issue. Compliance is not only an obligation, but also a source of competitive advantage: transparent, responsible, and sustainable operations improve a company's

reputation, facilitate access to financing, and promote long-term stability. In addition to increasingly stringent legal requirements, investor and consumer expectations are also driving the need to incorporate ESG considerations. For companies, therefore, digitized, ESG-compatible recycling logistics systems are not only a means of regulatory compliance, but also key enablers of innovation, efficiency, and competitiveness. The economic model of the future is thus clearly emerging at the intersection of sustainability and technological advancement.

The results of my research show that logistics systems based on ESG principles can only be effectively evaluated within a complex, multi-criteria analytical framework. Digitalization and automated decision support are key to the operation of such systems, as they ensure fast, well-founded, and transparent decision-making. Overall, it can be said that the development and evaluation of recycling logistics models that fit into ESG frameworks has become and will continue to be a key area of sustainable economic development in the coming period. Growing scientific and practical interest, the need for regulatory compliance, and the rise of digitalization all contribute to ensuring that the value chains of the future are not only efficient but also responsible and environmentally conscious.

In my research, I explored and defined the tasks of a new type of recycling logistics system necessary for the operation of ESG frameworks, as well as the applicable models. I defined the areas of activity of the system and, based on these, created an evaluation method that is capable of addressing sustainability and economic aspects simultaneously. The model I developed integrates ESG aspects into the entire recycling logistics process, enabling recycling and collection processes to operate in line with the principles of the circular economy, while at the same time being measurable and regulated.

14. Irodalomjegyzék

14.1. Értekezés témakörében használt külsős publikációk

- [1] World Commission on Environment and Development: OUR COMMON FUTURE, 1987
- [2] Carbone V., Moatti V.: FROM GLOBAL VALUE CHAINS TO RESHORING: A “SUSTAINABLE TRANSITION?”, ESCP Business school Impact Paper No.2021-11, 2021, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5556263>
- [3] Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F.: WHAT A WASTE 2.0: A GLOBAL SNAPSHOT OF SOLID WASTE MANAGEMENT TO 2050, Washington DC: The World Bank, 2018, <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- [4] Eurostat: GENERATION OF MUNICIPAL WASTE PER CAPITA; 2025, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_pc031/default/bar?lang=en
- [5] KSH: KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG; 2025, <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/korforgasos-gazdasag/index.html>
- [6] Capuzzi S., Timelli G.: PREPARATION AND MELTING OF SCRAP IN ALUMINUM RECYCLING, 2018, <https://doi.org/10.3390/met8040249>
- [7] Diwan H., Unnikrishnan S.: PROSPECTS OF CIRCULARITY IN STEEL INDUSTRY: MAPPING THROUGH LCA APPROACH, Life Cycle Assessment & Circular Economy, 35-46, 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-33982-0_2
- [8] Association of Plastic Recyclers: VIRGIN VS. RECYCLED PLASTIC LIFE CYCLE ASSESSMENT ENERGY PROFILE AND LIFE CYCLE ASSESSMENT ENVIRONMENTAL BURDENS, 2020, <https://plasticsrecycling.org/wp-content/uploads/2024/08/APR-Recycled-vs-Virgin-LCA-May2020.pdf>

- [9] The European Parliament and of the Council: REGULATION (EU) 2024/1781 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL ESTABLISHING A FRAMEWORK FOR THE SETTING OF ECODESIGN REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE PRODUCTS, AMENDING DIRECTIVE (EU) 2020/1828 AND REGULATION (EU) 2023/1542 AND REPEALING DIRECTIVE 2009/125/EC, 2024
- [10] Bessenyei I.: VÁLLALATI STRATÉGIA A LINEÁRIS TEVÉKENYSÉGELEMZÉS MODELLJÉBEN, Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények, 1(1), 1-14, 2016
- [11] Cselényi J., Illés B., Németh J., Bányainé Tóth Á.: ALVÁLLALKOZÓKRA ÉPÜLŐ, HÁLÓZATSZERŰ KARBANTARTÁSI ÉS BERUHÁZÁSI, HÁLÓZATÉPÍTÉSI TEVÉKENYSÉGEK BESZERZÉSI LOGISZTIKAI RENDSZERÉNEK NÉHÁNY MŰKÖDÉSI STRATÉGIÁJA ÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉS, Mechatronikai és Anyagtudományi Kooperációs Kutatási Központ I. tudományos szemináriuma, Miskolc, 1(1), 181-196, 2003, HU ISSN 1589-827X,
- [12] George D. A. R., Lin B. C., Chen Y.: A CIRCULAR ECONOMY MODEL OF ECONOMIC GROWTH, Environmental Modeling and Software, 73, 60-63, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.06.014>
- [13] Daddi T., Nucci B., Iraldo F.: USING LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) TO MEASURE THE ENVIRONMENTAL BENEFITS OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS IN AN INDUSTRIAL CLUSTER OF SMES, Journal of Cleaner Production, 147, 157-164, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.090>
- [14] Cselényi J., Bányai T., Bányainé Tóth Á., Mang B., Telek P.: ELHASZNÁLT ELEKTRONIKAI TERMÉKEK ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁHOZ KAPCSOLÓDÓ INTEGRÁLT LOGISZTIKAI GYŰJTŐRENDSZER STRUKTÚRÁJA ÉS TERVEZÉSI MODELLJE, Mechatronikai és Anyagtudományi Kooperációs Kutatási Központ I. tudományos szemináriuma, Miskolc, 1(1), 145-159, 2003, HU ISSN 1589-827X,
- [15] United Nations Department of Public Information: WHO CARES WINS, 2004

- [16]Wagner, Gy.: ÉPÍTŐELEMES BERENDEZÉSEK FELHŐALAPÚ SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉSE KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A SZÁLLÍTÓSZALAGOKRA, PhD disszertáció, http://193.6.1.94:9080/JaDoX_Portlets/documents/document_44259_section_42618.pdf, 2024
- [17]Kolk A., Pinkse J. M.: MULTINATIONALS’ POLITICAL ACTIVITIES ON CLIMATE CHANGE, *Business & Society*, 46(2), 201-228, 2007, <https://hdl.handle.net/11245/1.306611>
- [18]Friede G., Busch T., Bassen A.: ESG AND FINANCIAL PERFORMANCE: AGGREGATED EVIDENCE FROM MORE THAN 2000 EMPIRICAL STUDIES, *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 5(4), 210–233, 2015, <https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917>
- [19]Sokhetska A., Koren O., Kravchenko A., Danik N., Leonova S.: THE ROLE OF THE INTERNET OF THINGS IN INCREASING THE EFFICIENCY OF LOGISTICS COMPANIES, *Acta logistica – International Scientific Journal about Logistica*, 11(2), 257-267, 2024, <https://doi.org/10.22306/al.v11i2.508>
- [20]Karakaş S., Zafer Acar A., Kucukaltan B.: BLOCKCHAIN ADOPTION IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN: A LITERATURE REVIEW AND RESEARCH AGENDA, *International Journal of Production Research*, 62(1), 1-24, 2021, <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2012613>
- [21]Azzi A., Battini D., Faccio M., Persona A., Sgarbossa F.: INNOVATIVE TRAVEL TIME MODEL FOR DUAL-SHUTTLE AUTOMATED STORAGE/RETRIEVAL SYSTEMS, *Computers & Industrial Engineering* 61(3), 600-607, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.04.015>
- [22]Paulraj A.: UNDERSTANDING THE RELATIONSHIPS BETWEEN INTERNAL RESOURCES AND CAPABILITIES, SUSTAINABLE SUPPLY MANAGEMENT AND ORGANIZATIONAL SUSTAINABILITY, *Journal of Supply Chain Management*, 47(1), 19-37, 2011, <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2010.03212.x>

- [23] Karaman A. S., Kilic M., Uyar A.: GREEN LOGISTICS PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY REPORTING PRACTICES OF THE LOGISTICS SECTOR: THE MODERATING EFFECT OF CORPORATE GOVERNANCE, *Journal of Cleaner Production*, 258, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120718>
- [24] Leogrande A.: INTEGRATING ESG PRINCIPLES INTO SMART LOGISTICS: TOWARD SUSTAINABLE SUPPLY CHAINS, 2024. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5022211>
- [25] Hervani A. A., Helms M. M., Sarkis J.: PERFORMANCE MEASUREMENT FOR GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, *Benchmarking an International Journal*, 12(4), 330-353, 2005, <https://doi.org/10.1108/14635770510609015>
- [26] Klöpffer W.: THE HITCHHIKER'S GUIDE TO LCA - AN ORIENTATION IN LCA METHODOLOGY AND APPLICATION, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 142-142 2006, <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.008>
- [27] Gu F., Guo J., Zhang W., Summers P. A., Hall P.: FROM WASTE PLASTICS TO INDUSTRIAL RAW MATERIALS: A LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MECHANICAL PLASTIC RECYCLING PRACTICE BASED ON A REAL-WORLD CASE STUDY, *Science of the Total Environment*, 723, 138062, 2020., <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.278>
- [28] Mohebbi P., Ershadi M. J., Azizi A., Alemtabriz A.: DESIGNING A RESILIENT SUPPLY CHAIN NETWORK WITH A DECENTRALIZED STRATEGY UNDER UNCERTAINTY, *Engineering Review*, 45(1) 53-84, 2025, <https://doi.org/10.30765/er.2622>
- [29] Anglehart-Nunes J., Glaus M.: ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ASSESSMENT OF A DECENTRALIZED NETWORK OF RECYCLABLE WASTE SORTING FACILITIES: CASE STUDY IN MONTREAL, *Recycling 2025*, 10(2), 58, 2025, <https://doi.org/10.3390/recycling10020058>
- [30] Theeraworawit M., Suriyankietkaew S., Hallinger P.: SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN A CIRCULAR ECONOMY, *Sustainability*, 14 (15), 9304, 2022 <https://doi.org/10.3390/su14159304>

- [31] Zrigui I., Khouli S., Ennassiri A., Bourekkadi S., Larbi Kerkeb M.: REDUCING CARBON FOOTPRINT WITH REAL-TIME TRANSPORT PLANNING AND BIG DATA ANALYTICS, International Conference on Innovation in Modern Applied Science, Environment, Energy and Earth Studies, 412, 2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341201082>
- [32] Alotaibi E. M., Khallaf A., Al-Nasser Abdallah A., Zoubi T., Alnesafi A.: BLOCKCHAIN-DRIVEN CARBON ACCOUNTABILITY IN SUPPLY CHAINS, Sustainability, 16(24), 10872; 2024, <https://doi.org/10.3390/su162410872>
- [33] Tinnes E., Perez F., Kandel M., Probst T., McKinsey & Company: COMPANIES NEED TO REDUCE THEIR LOGISTICS EMISSIONS TO MEET DECARBONIZATION TARGETS, BUT A NEW MCKINSEY SURVEY FINDS THAT FEW COMPANIES HAVE CLEAR PLANS TO DO SO. WHAT IS THE BEST PATH FORWARD? 2024 https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/decarbonizing-logistics-charting-the-path-ahead#
- [34] Alarcon-Gerbier E., Linß F., Buscher U.: WASTE RECYCLING THROUGH A DECENTRALIZED NETWORK OF MOBILE FACILITIES, Journal of Cleaner Production, 415, 137773, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137773>
- [35] Oliveri L. M., D’Urso D., Trapani N., Chiacchio F.: ELECTRIFYING GREEN LOGISTICS: A COMPARATIVE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ELECTRIC AND INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLES, Energies 16(23), 7688; 2023, <https://doi.org/10.3390/en16237688>
- [36] Fan M., Tang Y., Qalati S. A., Blend I.: CAN LOGISTICS ENTERPRISES IMPROVE THEIR COMPETITIVENESS THROUGH ESG IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION? EVIDENCE FROM CHINA, The International Journal of Logistics Management, 36, 196-224, 2024, <https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2023-0216>
- [37] Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M., Hultink E. J.: THE CIRCULAR ECONOMY—A NEW SUSTAINABILITY PARADIGM?, Journal of Cleaner Production, 143, 757–768., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

- [38] UN: FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSI CÉLOK, 2019,
https://unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable_development_goals.html
- [39] UN: UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, (UNFCCC) ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye, 1992,
<https://unfccc.int/>
- [40] UN: THE KYOTO PROTOCOL, 1997, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol>
- [41] UN: THE PARIS AGREEMENT, 2015, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- [42] EU: DIRECTIVE (EU) 2022/2464 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 14 DECEMBER 2022 AMENDING REGULATION (EU) NO 537/2014, DIRECTIVE 2004/109/EC, DIRECTIVE 2006/43/EC AND DIRECTIVE 2013/34/EU, AS REGARDS CORPORATE SUSTAINABILITY REPORTING, 2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>
- [43] EU: DIRECTIVE (EU) 2024/1760 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 13 JUNE 2024 ON CORPORATE SUSTAINABILITY DUE DILIGENCE AND AMENDING DIRECTIVE (EU) 2019/1937 AND REGULATION (EU) 2023/2859, 2024, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1760/oj/eng>
- [44] UN: TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2015, <https://docs.un.org/en/A/RES/70/1>
- [45] EU: DIRECTIVE 2014/95/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 22 OCTOBER 2014 AMENDING DIRECTIVE 2013/34/EU AS REGARDS DISCLOSURE OF NON-FINANCIAL AND DIVERSITY INFORMATION BY CERTAIN LARGE UNDERTAKINGS AND GROUPS, 2014, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/95/oj/eng>
- [46] EU: REGULATION (EU) 2019/2088 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 27 NOVEMBER 2019 ON SUSTAINABILITY-RELATED DISCLOSURES IN THE FINANCIAL SERVICES SECTOR, 2019, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2088/oj/eng>

- [47] EU: REGULATION (EU) 2020/852 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 18 JUNE 2020 ON THE ESTABLISHMENT OF A FRAMEWORK TO FACILITATE SUSTAINABLE INVESTMENT, AND AMENDING REGULATION (EU) 2019/2088, 2020, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>
- [48] EU: P10_TA(2025)0264 CERTAIN CORPORATE SUSTAINABILITY REPORTING AND DUE DILIGENCE REQUIREMENTS AMENDMENTS ADOPTED BY THE EUROPEAN PARLIAMENT ON 13 NOVEMBER 2025 ON THE PROPOSAL FOR A DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL AMENDING DIRECTIVES 2006/43/EC, 2013/34/EU, (EU) 2022/2464 AND (EU) 2024/1760 AS REGARDS CERTAIN CORPORATE SUSTAINABILITY REPORTING AND DUE DILIGENCE REQUIREMENTS (COM(2025)0081 – C10-0037/2025 – 2025/0045(COD)), 2025, https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-10-2025-0264_EN.html
- [49] Bundestag: GESETZ ÜBER DIE UNTERNEHMERISCHEN SORGFALTSPFLICHTEN ZUR VERMEIDUNG VON MENSCHENRECHTSVERLETZUNGEN IN LIEFERKETTEN, 2021, <https://www.gesetze-im-internet.de/lksg/BJNR295910021.html>
- [50] Magyar Országgyűlés: 2023. ÉVI CVIII. TÖRVÉNY A FENNTARTHATÓ FINANSZÍROZÁS ÉS AZ EGYSÉGES VÁLLALATI FELELŐSSÉGVÁLLALÁS ÖSZTÖNZÉSÉT SZOLGÁLÓ KÖRNYEZETTUDATOS, TÁRSADALMI ÉS SZOCIÁLIS SZEMPONTOKAT IS FIGYELEMBE VEVŐ, VÁLLALATI TÁRSADALMI FELELŐSSÉGVÁLLALÁS SZABÁLYAIRÓL ÉS AZZAL ÖSSZEFÜGGŐ EGYÉB TÖRVÉNYEK MÓDOSÍTÁSÁRÓL, 2023, <https://njt.hu/jogszabaly/2023-108-00-00.13#CI>
- [51] Colicchia C., Marchet G., Melacini M., Perotti S.: BUILDING ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: EMPIRICAL EVIDENCE FROM LOGISTICS SERVICE PROVIDERS; Journal of Cleaner Production, 59, 197-209, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.057>

- [52] Lieb K. J., Lieb R. C.: ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN THE THIRD-PARTY LOGISTICS (3PL) INDUSTRY, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 2010, 40(7) 524-533, 2010, <https://doi.org/10.1108/09600031011071984>
- [53] Cselényi J., Horváth E.: ZÁRT LÁNCÚ GAZDASÁG INTEGRÁLT LOGISZTIKAI GYŰJTŐRENDSZERÉNEK STRUKTÚRÁJA ÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉSE, Magyar Tudományos Akadémia Marketing Bizottság Logisztikai Albizottság Ülése, Miskolc, Logisztika a felsőfokú szakkepzésben L, Szerkesztette: Prof. Dr. Turcsányi Károly, 69-76, 2001. JÚNIUS 13, ISBN 9635083327,
- [54] World Bank: THE DECARBONIZATION OF LOGISTICS IN LOWER INCOME COUNTRIES., 2023.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099102423135014721/pdf/P1748630dee0f80840bcfa0589883e375d8.pdf>
- [55] Cselényi J., Illés B., Bányainé Tóth Á., Bányai T., Kovács L., Mang B., Németh J.: LOGISZTIKAI RENDSZEREK I., Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2009
- [56] Cselényi J., Illés B., Németh J.: LOGISZTIKAI FELADATOKRA SZERVEZŐDŐ HOLONIKUS RENDSZEREK STRUKTURÁLÓDÁSA, A RAKTÁROZÁSI- ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ LOGISZTIKAI SZOLGÁLTATÁSOKAT ELLÁTÓ HOLONIKUS RENDSZER EGY JELLEGZETES MODELLJE, Logisztikai Évkönyv 2002, 45-54, 2002, ISSN 1218-3849.
- [57] Cselényi J., Tóth T.: INTERRELATIONS BETWEEN LOGISTICS AND PRODUKTION CONTROL, MANSA '94 9th National Conference of the South African Institute of Industrial Engineers Manufacturing in Southern Africa, Proceedings, 365-370, 1994
- [58] Cselényi J., Tóth T.: HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ LOGISZTIKÁVAL INTEGRÁLT TERMÉK ÖSSZESZERELÉST VÉGZŐ RENDSZER OPTIMALIZÁLÁSÁRA SZOLGÁLÓ MATEMATIKAI MODELL, Gépgyártás, XLI. évfolyam 7-8 szám. 51-61, 2001

- [59] Cselényi J., Illés B., Kota L.: SZÉTSZÓRT OBJEKTUMOK KARBANTARTÁSÁNAK, IDŐSZAKOS MŰSZAKI ELLENŐRZÉSÉNEK OPTIMÁLIS MŰKÖDTETÉSÉRE SZOLGÁLÓ VIRTUÁLIS LOGISZTIKA, Országos Emelőgép- Üzemeltetői Biztonságtechnikai Konferencia, Nyíregyháza, 2001. június 20-21., Gépgyártás XLI. évfolyam 5. szám 15-18, 2001
- [60] Cselényi J., VERNYIK A.: VIRTUÁLIS VÁLLALATOK TERVEZÉSÉRE SZOLGÁLÓ MATEMATIKAI MODELLEK, Magyar Tudományos Akadémia Marketing Bizottság Logisztikai Albizottság Ülése, Miskolc 2001. június 13. Logisztika a felsőfokú szakképzésben, 77-89, I., Szerkesztette: Prof. Dr. Turcsányi Károly, 2001, ISBN 9635083327,
- [61] OECD: DECARBONISING TRANSPORT IN EUROPE: THE WAY FORWARD, International Transport Forum, 2022 <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-transport-europe-way-forward.pdf>
- [62] Ameli M., Mansour S., Ahmadi-Javid A.: A MULTI-OBJECTIVE MODEL FOR SELECTING DESIGN ALTERNATIVES AND END-OF-LIFE OPTIONS UNDER UNCERTAINTY: A SUSTAINABLE APPROACH, Resources, Conservation and Recycling, 109, 123-136, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.011>
- [63] Barrows G., Ollivier H.: CLEANER FIRMS OR CLEANER PRODUCTS? HOW PRODUCT MIX SHAPES EMISSION INTENSITY FROM MANUFACTURING, Journal of Environmental Economics and Management, 88(3), 134-158, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.10.008>
- [64] Gale D.: THE THEORY OF LINEAR ECONOMIC MODELS, New York, McGraw-Hill, 157, 1960
- [65] Boltakova N. V., Faseeva G. R., Karibov R. R., Nafikov R. M., Zakharov Y. A.: UTILIZATION OF INORGANIC INDUSTRIAL WASTES IN PRODUCING CONSTRUCTION CERAMICS. REVIEW OF RUSSIAN EXPERIENCE FOR THE YEARS 2000-2015, Waste Management, 60, 230-246, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.008>

- [66] Cselényi J., Oláh B., Bányai T.: ALGORITHM OF OPTIMAL ASSIGNMENT OF ASSEMBLY PLANTS AND END USERS WITHIN THE FRAMEWORK OF PRODUCTS IN COOPERATIVE ASSEMBLY SYSTEM, Miskolczi Konferencia 2003, „Die neusten Ergebnisse auf dem Gebiet Fördertechnik und Logistik” Universität Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, 145-150, 2003, ISBN 9636614938
- [67] Cselényi J., Illés B., Németh J.: HÁLÓZATSZERŰ KARBANTARTÁS ÉS HÁLÓZATÉPÍTÉS KÉSZLETEINEK OPTIMÁLIS ELHELYEZÉSE, FŐLÖSLEGESSÉ VÁLÓ KÉSZLETEK KEZELÉSE PROJEKTORIENTÁLT MŰKÖDÉS ESETÉN, Elhangzott: Országos Karbantartási és Munkabiztonsági Konferencia 2004, CD kiadvány, „Gépgyártás” című folyóirat „Logisztika” különszám, 2004
- [68] Bressanelli G., Perona M., Sacconi N.: CHALLENGES IN SUPPLY CHAIN REDESIGN FOR THE CIRCULAR ECONOMY: A LITERATURE REVIEW AND A MULTIPLE CASE STUDY, International Journal of Production Research, 57(23), 7395-7422, 2019, <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1542176>
- [69] Dobos I.: VISSZAUTAS LOGISZTIKA ÉS TERMELÉSTERVEZÉS, Szigma, , 39. évf. 3-4. sz., 139-167, 2008
- [70] Geldermann J., Treitz M., Rentz O.: TOWARDS SUSTAINABLE PRODUCTION NETWORKS, International Journal of Production Research, 45, (18-19), 4207-4224, 2007, <https://doi.org/10.1080/00207540701440014>
- [71] Klemes J. J., Varbanov P. S., Huisingh D.: RECENT CLEANER PRODUCTION ADVANCES IN PROCESS MONITORING AND OPTIMIZATION, Journal of Cleaner Production, 34(1-8), 159, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.026>
- [72] Genovese A., Acquaye A. A., Figueroa A., Koh S. C. L.: SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND THE TRANSITION TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY: EVIDENCE AND SOME APPLICATIONS, Omega, 66, 344-357, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- [73] Inghels D., Dullaert W., Bloemhof J.: A MODEL FOR IMPROVING SUSTAINABLE GREEN WASTE RECOVERY, Resources, Conservation and Recycling, 110, 61-73, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.013>

- [74] Dobos I.: KÖRNYEZETVÉDELMI TEVÉKENYSÉG EGY DINAMIKUS TERMELÉSI MODELLJE, Szigma, 32 (3-4), 131-140, 2002
- [75] Song B., Yeo Z., Kohls P., Herrmann C.: INDUSTRIAL SYMBIOSIS: EXPLORING BIG-DATA APPROACH FOR WASTE STREAM DISCOVERY, The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Procedia CIRP, 61, 353-358, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.245>
- [76] Li S.: THE RESEARCH ON QUANTITATIVE EVALUATION OF CIRCULAR ECONOMY BASED ON WASTE INPUT-OUTPUT ANALYSIS, Procedia Environmental Sciences, 12 (A), 65-71, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.248>
- [77] Miller R. E., Blair P. D.: INPUT-OUTPUT ANALYSIS: FOUNDATIONS AND EXTENSIONS, New York, Cambridge University Press, 2009, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
- [78] Vörös J.: TERMELÉS- ÉS SZOLGÁLTATÁSMENEDZSMENT. Budapest, Akadémiai Kiadó, 2010, ISBN 9789634542162
- [79] Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága: KOCKÁZATKEZELÉS ESG ÚTMUTATÓ I. KÖTET, 2025, ISBN 9789636713409

14.2. Értekezés témakörében használt saját publikációk

- [S1] Latorcai Zs; Illés B; Tamás P.: ESG-RENDSZEREK ÉS LOGISZTIKA KAPCSOLATA, Barabás, István (szerk.) OGÉT 2025 - XXXIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 33rd International Conference on Mechanical Engineering, Nagyvárad, Románia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), 335-340, 2025
- [S2] Latorcai Zs; Illés B; Tamás P.: THE RELATIONSHIP BETWEEN ESG SYSTEMS AND LOGISTICS, In: Elke, Glistau; Sebastian, Trojahn; Fabian, Behrendt (szerk.) 18th International Doctoral Students Workshop on Logistics, Supply Chain and Production Management, Magdeburg, Németország: Otto von Guericke University Library, 99-106, 2025, <http://dx.doi.org/10.25673/119021>

- [S3] Vida L., Latorcai Zs., Illés B., Véha A.: ADVANCE CONTAINER HANDLING
In: PMLO2025 - PMLO2025 (szerk.) 2025 4rd International Conference on
Problems of Logistics, Management and Operation in the East-West Transport
Corridor (PLMO), Baku, Azerbajdzsán: IEEE XPLORE, 1-5, 2025
- [S4] L. Vida, Zs. Latorcai, B. Illés, A. Véha: CONTAINER HANDLING ALONG
THE SILK ROAD In:2024 3rd International Conference on Problems of
Logistics, Management and Operation in the East-West Transport Corridor
(PLMO),Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1-6, 2024,
<https://doi.org/10.1109/PLMO62307.2024.10887164>
- [S5] Vida L., Illés B., Latorcai Zs.: ESG RENDSZEREK, FEJLETT
KONTÉNERKEZELES In: Barabás, István (szerk.), OGÉT 2025 - XXXIII.
Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 33rd International Conference on
Mechanical Engineering, Nagyvárád, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki
Tudományos Társaság (EMT), 1-6, 2025,
<https://ojs.emt.ro/oget/article/view/1942/1992>
- [S6] Latorcai Zs., Illés B., Tamás P.: PROJECT ORIENTED MANAGEMENT (POM)
AND LOGISTICAL CHALLENGES IN MAINTENANCE AND NETWORK
DEVELOPMENT SYSTEMS, Advanced Logistic Systems: Theory and Practice,
17(4), 5-13, 2023, <https://doi.org/10.32971/als.2023.025>
- [S7] Latorcai Zs. (szerk.): MVM CSOPORT INTEGRÁLT ESG JELENTÉS 2022,
2023, [https://mvm.hu/-
/media/MVMHu/Documents/Befektetoknek/ESG/HU/2022/2022_MVM_Csoport_Integralt_ESG_Jelentese.pdf](https://mvm.hu/-/media/MVMHu/Documents/Befektetoknek/ESG/HU/2022/2022_MVM_Csoport_Integralt_ESG_Jelentese.pdf)
- [S8] Latorcai Zs. (szerk.): MVM CSOPORT INTEGRÁLT JELENTÉS 2021, 2022,
[https://mvm.hu/-
/media/MVMHu/Documents/Befektetoknek/ESG/HU/2021/MVM_Csoport_Integralt_Jelentes_2021.pdf](https://mvm.hu/-/media/MVMHu/Documents/Befektetoknek/ESG/HU/2021/MVM_Csoport_Integralt_Jelentes_2021.pdf)
- [S9] Latorcai Zs., Illés B., Tamás P.: Risk assessment of ESG-based logistics systems
using a TOPSIS-based approach, Acta logistica – International Scientific Journal
about Logistica, Megjelenés alatt

I. Ábrajegyzék

1. ábra Rendelkezésre álló modellek (saját szerkesztés).....	6
2. ábra Az ESG recycling logisztikai rendszerének komplexitása (saját szerkesztés)	9
3. ábra "Sustainability AND life cycle assessment" kifejezésre adott keresési eredmény a Scopus adatbázisából (saját szerkesztés)	13
4. ábra Az " ESG AND Logistics networks " kifejezésre adott keresési eredmény a Scopus adatbázisából (saját szerkesztés)	13
5. ábra "recycling AND logistics optimization" kifejezésre adott keresési eredmény a Scopus adatbázisából (saját szerkesztés)	14
6. ábra Fenntarthatósági témájú publikációk trendjei (2014-2024) (saját szerkesztés).....	15
7. ábra Alkatrész gyártó-szerelő hálózat (Cselényi, Illés Logisztikai rendszerek I. 2004)	44
8. ábra Elhasznált termékek gyűjtésének és újrafeldolgozásának logisztikai hálózata (Cselényi, Illés Logisztikai rendszerek I. 2004)	45
9. ábra: A kis – és középvállalatokat segítő virtuális logisztikai központ elvi struktúrája (Cselényi, Illés Logisztikai rendszerek I. 2004)	47
10. ábra Az M megoldásmátrix felépítése (Saját szerkesztés).....	52
11. ábra Az ESG rendszer kétirányú ciklikus kapcsolata (saját szerkesztés).....	74
12. ábra Az ESG rendszer kétirányú ciklikus kapcsolatának folyamatábrája (saját szerkesztés)	74
13. ábra A recycling folyamatok résztvevői és tevékenységeik (saját szerkesztés)	78
14. ábra A recycling logisztikai ESG rendszerek esetén kialakítható klaszter alapú működés (saját szerkesztés).....	79
15. ábra Recycling logisztikai tevékenység folyamatának főbb lépései (saját szerkesztés)	81
16. ábra A recycling logisztikai tevékenység folyamatának főbb lépései (saját szerkesztés).....	81
17. ábra Az ESG rendszerek értékelésének folyamata (saját szerkesztés)	84
18. ábra Kockázatkezelési eljárás (saját szerkesztés).....	85
19. ábra Kockázatkezelési eljárás (saját szerkesztés).....	88
20. ábra Feladatmátrix (F) felépítése (saját szerkesztés)	89
21. ábra Normalizált feladatmátrix (G) (saját szerkesztés)	89

II. Táblázatok jegyzéke

<i>1. táblázat Publikációk éves növekedése az ESG, a recycling és az életciklus-szemlélet témakörében.....</i>	<i>17</i>
--	-----------

III. Idegen kifejezések és rövidítések jegyzéke

1	AI	Artificial Intelligence	Mesterséges Intelligencia (MI)
2	BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	Német Szövetségi Gazdasági és Exportellenőrzési Hivatal
3	BI	Business Intelligence	üzleti intelligencia - olyan IT eszköz, amely feldolgozza és megjeleníti az üzleti adatokat, például jelentések, diagramok és grafikonok formájában
4	Blockchain technológia		blokklánc technológia, amely a DLT-re épül
5	COP	Conference of the Parties	ENSZ Részres Felek Konferenciája
6	CSDDD	Corporate Sustainability Due Diligence Directive	Vállalati Fenntarthatósági Átvilágítási Irányelv
7	CSR	Corporate Social Responsibility	vállalati társadalmi felelősségvállalást
8	CSRD	Corporate Sustainable Reporting Directive	Vállalati Fenntarthatósági Riportálási Irányelv
9	DES	Discrete Event Simulation	Diszkrét esemény szimuláció
10	DLT	Distributed Ledger Technology	elosztott főkönyvi technológia
11	DPP	Digital Product Passport	Digitális Termékűtlével
12	EMAS	Eco-Management and Audit Scheme	Környezetvédelmi vezetési és hitelesítési rendszer
13	ERM	Enterprise Risk Management	Vállalati Kockázatkezelés
14	ERP	Enterprise Resource Planning	Vállalati Erőforrás Tervezés
15	ESG keretrendszer	Environmental, Social, Governance keretrendszer	Környezeti, Társadalmi, Irányítási keretrendszer
16	ESG törvény		2023. évi CVIII. Törvény a fenntartható finanszírozás és az egységes vállalati felelősségvállalás ösztönzését szolgáló környezettudatos, társadalmi és szociális szempontokat is figyelembe vevő, vállalati társadalmi felelősségvállalás szabályairól és azzal összefüggő egyéb törvények módosításáról
17	ESRS	European Sustainability Reporting Standards	Európai Fenntarthatósági Jelentéstételi Szabványok
18	EU ETS	EU Emissions Trading System	Európai Unió Kibocsátáskereskedelmi Rendszere
19	EU Taxonómia	EU Taxonomy	Egy rendszer, amely meghatározza, mely gazdasági tevékenységek minősülnek környezetileg fenntarthatónak az Európai Unióban

20	GDPR	General Data Protection Regulation	Általános Adatvédelmi Rendelet
21	GPS	Global Positioning System	Globális Helymeghatározó Rendszer
22	GRI	Global Reporting Initiative	Globális Jelentéstételi Kezdeményezés
23	IoT	Internet of Things	A dolgok internete - nem számítógépként funkcionáló eszközök hálózata
24	KIR		Környezetközpontú Irányítási Rendszer
25	KKv		Kis- és Középvállalkozások - amely a mikro-, kis- és középvállalkozásokat foglalja magában
26	KPI	Key Performance Indicator	kulcs teljesítménymutató
27	KSH		Központi Statisztikai Hivatal
28	LCA	Life Cycle Assessment	Életciklus-elemzés
29	LCI	Life Cycle Inventory	Életciklus Leltárkészítés
30	LCIA	Life Cycle Impact Assessment	Életciklus hatáselemzés
31	LKSG	Lieferkettensorgfaltspflichten gesetz	Német Beszállítói Lánc Átvilágítási Törvény
32	LP modellek		Lineáris programozási modellek
33	MFA	Material Flow Analysis	Anyagáramlási analízis
34	NFRD	Non-Financial Reporting Directive	Nem pénzügyi jelentéstételi irányelv
35	Omnibus szabályozás		Az Európai Bizottság az Omnibus szabályozási javaslatai az uniós szabályozások egyszerűsítését célozzák
36	PAI	Principal Adverse Impacts	Fő kedvezőtlen hatások
37	PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses	szisztematikus vizsgálatok és metaanalízisek preferált jelentési szempontjai
38	RFID	Radio Frequency Identification	Rádiófrekvenciás azonosítás
39	SASB	Sustainability Accounting Standards Board	A fenntarthatósági számviteli szabványokat kidolgozó non-profit szervezet, amely iparág-specifikus szabványokat fejleszt az ESG tényezők pénzügyi jelentőségére fókuszálva
40	SDG	Sustainable Development Goals	Fenntartható Fejlődési Célok
41	SDM	System Dynamics Models	Rendszerdinamikai modellek
42	SFRD	Sustainable Finance Disclosure Regulation	Az EU Fenntartható finanszírozási átláthatósági rendelete
43	Smart contract		okosszerződés egy digitális, önmagát végrehajtó szerződés, amely kód formájában íródik és a blokkláncon tárolódik, az előre meghatározott feltételek teljesülésekor a szerződés automatikusan teljesül

44	TCFD	Task Force on Climate-related Financial Disclosures	Éghajlat-specifikus Pénzügyi Közzétételekkel Foglalkozó Munkacsoport - A TCFD egy ajánlás-alapú keretrendszer, amely rányomatást ad, hogyan legyen közzétéve információk az éghajlatváltozással kapcsolatos pénzügyi kockázatokról és lehetőségekről.
45	TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution	Ideális Megoldáshoz Való Hasonlóság Alapján Történő Preferencia Sorrend Módszere
46	UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye
47	VLC	Virtual Logistic Center	Virtuális Logisztikai Centrum
48	POM	Project Oriented Management	Projekt Orientált Működtetés
49	WCED	World Commission on Environment and Development	Környezet és Fejlődés Világbizottság (Brundtland Bizottság)