

Termelővállalat recycling logisztikai rendszerének optimális kialakítása

Optimization of reverse logistics systems in manufacturing companies

*HARDAI Ibolya PhD hallgató¹, Prof. Dr. ILLÉS Béla egyetemi tanár²,
Dr. BÁNYAINÉ Dr. TÓTH Ágota egyetemi docens³*

¹ altibo@uni-miskolc.hu, ² altilles@uni-miskolc.hu, ³ altagota@uni-miskolc.hu,
^{1,2,3} Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Logisztikai Intézet,
tel.:+3646565111 / 17-39 mellék, fax: +3646563399, <http://www.alt.uni-miskolc.hu>

Abstract

Nowadays, the increase in consumption and the shortening of the life cycle of products significantly increase the amount of waste generated, causing serious environmental problems. As a result, waste management has become one of the most important tasks of the 21st century, which puts a huge burden on the economy. In this thesis, we have set out to develop a concept for the optimal design and operation of a reverse logistics system for a production company.

Keywords: waste management, reverse logistics, Industry 4.0, optimization, scheduling

Összefoglaló

Napjainkban a fogyasztás növekedése és a termékek életciklusának lerövidülése jelentős mértékben megnöveli a keletkező hulladék mennyiségét, ami környezetvédelmi szempontból komoly problémákat vet fel. Ennek következtében a hulladékgazdálkodás a 21. század egyik legjelentősebb feladatává vált, amely óriási terhet ró a gazdaságra. Jelen dolgozatban egy termelő vállalat recycling logisztikai rendszerének optimális kialakítására és működtetésére vonatkozó koncepció kidolgozását tűztük ki célul.

Kulcsszavak

hulladékgazdálkodás, recycling logisztika, Ipar 4.0, optimalizáció, ütemezés

1. BEVEZETÉS

A társadalmi és gazdasági fejlődés hatására sok és sokféle hulladék keletkezik, melyek újrahasznosítása, kezelése mindannyiunkat érintő globális probléma. A nem megfelelően kezelt vagy tárolt hulladék súlyos környezeti károkat okozhat, rontja a víz-, talaj- és levegőminőséget, súlyos betegségek okozója is lehet [1]. A fenntartható fejlődés egyik legfontosabb alapja az erőforrásokkal történő észszerű gazdálkodás. A szelektív hulladékgyűjtés és az újrahasznosítás rendkívüli jelentőséggel bír, mivel a hulladékok fontos nyersanyag- és energiaforrások is lehetnek.

A hulladékkezelés során is kiemelt jelentőséggel bír a logisztika (pl. hulladékgyűjtés). A korszerű hulladékgyűjtést támogathatják az Ipar 4.0 koncepció különböző elemei. A digitalizáció nyújtotta előnyök kiaknázásával, big data, digital twin megoldások alkalmazásával, szenzorokkal felszerelt, automatikusan működő rendszerek kialakítása válik lehetővé. Ezen megoldások segítségével a hatékonyság és a rugalmasság növelhető, míg a költségek csökkenhetnek. A hulladékgyűjtés során alkalmazhatunk okos kukákat, különféle vezeték nélküli kommunikációs megoldásokat, önvezető járműveket, így egy integrált rendszer alakítható ki.

2. A HULLADÉKGYŰJTÉSI RENDSZER MODELLEZÉSE

A jövő gyárában a hulladékgyűjtésre egy megbízható, könnyen változtatható, rugalmas rendszer kialakítására van szükség. A lehető legtöbb munkafolyamat adaptív, egyetemes, értékteremtő kell legyen. A vezérlés, az ellenőrzés legyen integrálható, ipari felhasználásra alkalmas és hatékony.

2.1 A hulladékgyűjtés folyamata, jellemzői

A szelektíven gyűjtendő hulladékok sokféleségének megfelelően és a tárolni kívánt mennyiség függvényében határozható meg a hulladékudvarok száma és mérete (depó).

A hulladékgyűjtő járművek a depóból indulnak üres állapotban, majd az előre definiált útvonal mentén történő begyűjtési folyamat végén a gyűjtött hulladék anyagi minőségének megfelelő gyűjtőállomásra térnek vissza és ott megtörténik a járművek ürítése. A szállítójárművekre az ürítendő tárolóedényeket manuálisan vagy automatikusan teszik fel. Az összegyűjtött hulladék további válogatás és osztályozás után az újrahasznosítás vagy az újrafeldolgozás helyszínére kerül továbbításra.

A gyűjtési folyamat során azok az hulladéktároló edények kerülnek ürítésre, melyekben a hulladék mennyisége elérte a jelzőszintet.

Ha több vagy más méretű hulladéktároló edény vagy hulladékgyűjtő jármű kerül kihelyezésre, azt a rendszerben dokumentálni kell, a tervezés a továbbiakban a megváltozott paraméterek szerint történik. Újabb depó területek megnyitása, illetve a meglévők területének/számának csökkentése esetén az eljárás hasonló.

2.2 Az alkalmazott modell jellemzői

A hulladékudvarok száma a szelektíven gyűjtendő anyagok száma szerint határozható meg. A kihelyezett tárolók száma az igényeknek megfelelően dinamikusan változtatható, kapacitásuk az igények függvényében választható. A tárolókban elhelyezett hulladék mennyisége a korszerű adatgyűjtési- és szenzortechnológiák alkalmazásának köszönhetően – monitorozható és ismert valós időben, a hulladék mennyiségének időbeli változása a historikus adatok segítségével és statisztikai módszerek alkalmazásával megbecsülhető, előre jelezhető (forecasting methods), a várható mennyiségek prognosztizálását támogathatja hulladékgyűjtő irányítási rendszernek a termelési rendszerrel való összekapcsolódásával megvalósított kommunikáció, adatsere. Szabadon változtatható a teljes kapacitás. AGV-k (Automated Guided Vehicles) támogathatják a begyűjtési folyamatokat. A hulladékgyűjtő járművek helyzete és állapota valós időben követhető, elemezhető, Szabadon programozható logisztika a folyamatok és az AGV-k összekapcsolása révén.

2.3 A modell előnyei

A modell legjelentősebb előnyei közé a következők sorolható a teljes kapacitás skálázhatósága a rendszer mérete, a komponensek száma a megváltozott igényeknek megfelelően tetszőleges mértékben növelhető. A nagyfokú rugalmasság megjelenik a hulladékudvarok (depó), a járművek és a hulladéktároló edények szintjén is, automatikus az adatgyűjtés, feldolgozás, elemzés. A begyűjtési folyamat útvonala automatizáltan, az optimális megoldásnak megfelelően kerül meghatározásra, így kevesebb a megtett út a hulladékgyűjtő járművek vonatkozásában, ezáltal alacsonyabb költségszint, kevesebb károsanyag-kibocsátás érhető el.

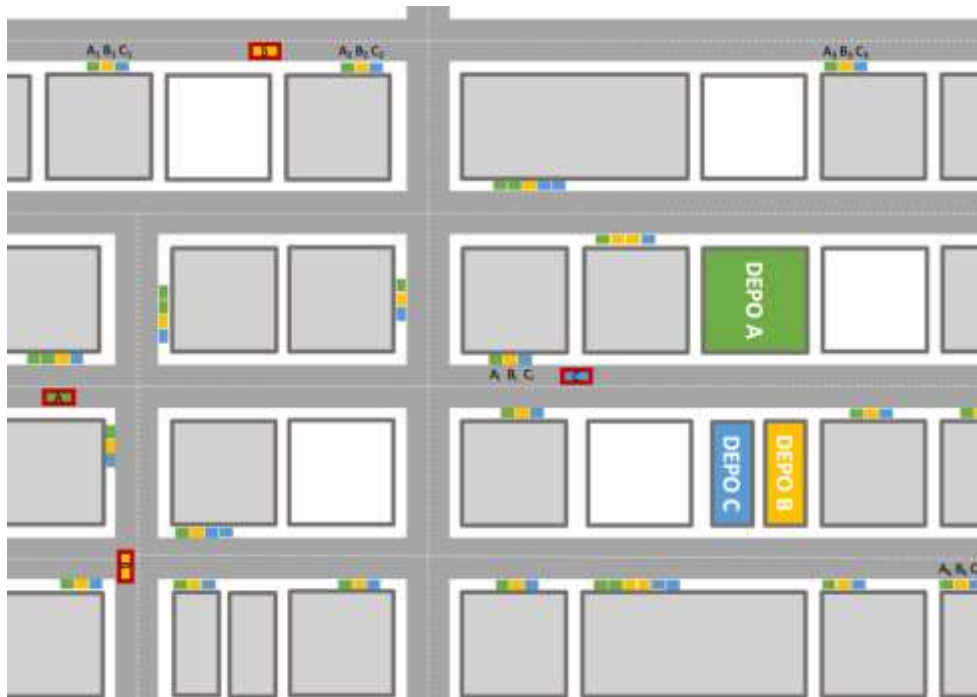
3. MINTAGYÁR – A SZIMULÁCIÓ

Egy mintagyár példáján keresztül mutatjuk be (1.ábra), hogy a különféle részegységek termelési folyamatai során keletkező hulladék miképpen gyűjthető össze szelektíven és az Ipar 4.0 elvek mentén egy kibernetikai rendszerben. Mindehhez korszerű, automatizált szállítójárművekre, rugalmas bővíthető rendszerkomponensekre, az adatgyűjtéshez elengedhetetlen infrastruktúrára (szenzorok, jeltovábbítók, szerver, szoftver) van szükség. Ezen berendezések, eszközök, alkalmazások segítségével a rugalmasság és nagyfokú hatékonyság biztosítható.

A szimuláció nyújtotta lehetőségek kiaknázásával vizualizálható, javítható, majd meghatározható a logisztikai rendszer optimális kialakítása [2]. Kellően nagy probléma esetén a szűk keresztmetszet a futtatási környezet (hardver) és a ráfordítható idő [3]. Míg egy kisebb rendszer esetében az összes lehetséges eset figyelembevételével valós időben is meghatározható a legkedvezőbb hulladékgyűjtési ütemezés és útvonal, addig egy nagyobb probléma megoldása során egy NP-hard feladatot kell megoldanunk, amiben különféle heurisztikus algoritmusok nyújthatnak segítséget [4].

A szoftveres megvalósítás első ütemében a szimuláció még nem alkalmaz heurisztikus algoritmusokat, arra egy későbbi kutatás során kerül majd sor.

Az optimalizációs folyamatot 3 fő szegmensre bontottuk, ezek az optimális elrendezés, az optimális begyűjtendő csoportok és az optimális útvonal meghatározása. Az optimális elrendezés esetében meghatározható a depók legjobb elhelyezkedése, az erre szabadon felhasználható területek figyelembevételével. Az optimális begyűjtési csoportok esetében azokat a hulladéktároló edényeket jelöljük ki, amelyeknél a szenzorok által jelzett szintek a hulladékbegyűjtés szükségességét mutatják. A tárolókba kerülő hulladékok mennyiség-idő függvényeit a szimuláció bemeneti paraméterei között adhatjuk meg. Az optimális útvonal a begyűjtésre jelölt hulladékot tartalmazó edények pozícióit tartalmazó olyan útvonal, amelynél a legalacsonyabb a ráfordított idő, költség, károsanyag kibocsátás.



1. ábra. A mintagyár megjelenítése a szimulátor segítségével

4. A SZIMULÁCIÓT MEGVALÓSÍTÓ SZOFTVER

A szoftvert egyedileg, kimondottan a vizsgált problémához készítettük. Három nagyobb részből tevődik össze. A *szimulátor* vizuálisan mutatja az üzem működését valós időben egy elrendezéssel (frame/s). A vizualizáció a szűk keresztmetszetek és a helyes/hibás műveleti megoldások felismerésében segít. A szimulátor kimenete: valós időben a gyártási folyamat tetszőleges időpillanata megtekinthető. Valójában a tervezés ütemező kimenete kerül vizualizálásra. A *begyűjtés ütemező* lebonyolítja az adott sorrend szerinti begyűjtést egy megadott elrendezésre. A begyűjtés ütemező kimenete: másodpercre lebontott "mi történt" fájl készül, az egyes útvonalak idejei, megtett távolság, jármű napló, gyűjtőedény napló. Az *elrendezés variátor* az összes lehetséges elrendezésen végigküldi az ütemezőt. A variátor kimenete: az legjobb N db út eredménnyel rendelkező folyamatról a következő aggregált adatok: javasolt cellaelrendezés, teljes összes út és idő, maximális szállítójármű szükséglet, szállítójármű kihasználtság, gyűjtőedények kihasználtsági adatai.

5. A MODELL MATEMATIKAI HÁTTERE

Jelölje A , B , C a háromféle, szelektíven gyűjtött hulladék tárolására szolgáló edényeket, A_i , B_i , C_i az i -edik pozícióban levő konkrét tárolókat, ezek kapacitását K_{A_i} , K_{B_i} , K_{C_i} [m^3] és az aktuális telítettségét S_{A_i} , S_{B_i} , S_{C_i} [m^3]. Legyen L_{1A_i} , L_{1B_i} , L_{1C_i} [%] az első jelzőszint és L_{2A_i} , L_{2B_i} , L_{2C_i} [%] a második jelzőszint.

A következőkben az A típusú hulladék gyűjtésével kapcsolatosan írjuk fel a feltételeket, korlátokat, célfüggvényeket. Analóg módon felírhatók az összefüggések a B és C hulladékok esetére is.

Ha egy tároló része a következő útvonalnak, akkor legyen $D_{A_i} = S_{A_i}$, egyébként $D_{A_i} = 0$.

Az egy járat alatt megtett út:

$$S_1 = \min \left\{ d_0^1 + \sum_{i=1}^k d_i^{i+1} + d_k^0 \right\} \quad (1)$$

ahol d_i^{i+1} az i -edik és $i+1$ -edik pont közötti távolság [m] és az útvonal k pontot (pozíciót) tartalmaz, S_1 az összes sorrend kombináció vizsgálatával kapott minimális út hossza. A nulladik pont a depó.

A következő begyűjtési útvonal része kell legyen az i -edik tároló, ha

$$K_{A_i} \cdot L_{2A_i} \leq S_{A_i} \quad (2)$$

A j -edik járat által mindenképpen összegyűjtendő hulladék mennyisége:

$$G_j = \sum_{i=1}^n D_{Ai} \quad (3)$$

ahol n a lehetséges pozíciók száma. A begyűjtéshez szükséges járatok száma:

$$N_V = F \left[\frac{G_j}{K_V} \right] + 1 \quad (4)$$

ahol K_V a jármű kapacitása [m^3], és $F[\]$ az egészrészt jelöli.

Ha $N_V \neq F \left[\frac{G_j}{K_V} \right]$, akkor begyűjtésre kerülhet a hulladék olyan tárolókból is, melyek eddig nem lettek bejelölve, de igaz ezekre, hogy

$$K_{Ai} \cdot L_{2Ai} \leq S_{Ai} \quad (5)$$

Az N_V darab járat esetén az összes megtett út legyen minimális ($S_{N_V} = \min$).

Az N_V darab járat által megtett út során felmerülő költség (C_{N_V}) és a károsanyag-kibocsátás (P_{N_V}):

$$C_{N_V} = S_{N_V} \cdot c \quad \text{és} \quad P_{N_V} = S_{N_V} \cdot p \quad (7,8)$$

ahol a szállítójármű 1 km-re jutó költsége c és károsanyag-kibocsátása p .

ÖSSZEFOGLALÁS

Földünket egyre nagyobb mennyiségű hulladék borítja el. A felhalmozódó szeméttől megszabadulni rendkívül költséges és környezetszennyező folyamat. Minderre az egyik leghatékonyabb és leginkább környezetbarát megoldás az újrahasznosítás. Ahhoz, hogy az újrahasznosítás megtörténhessen, a keletkezett hulladékokat –lehetőség szerint költséghatékony módon – össze is kell gyűjteni. A gyűjtési folyamat kialakítására mutat módszert jelen tanulmány.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A cikkben/előadásban/tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kaza et al. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.
- [2] Telek, P., 2018. Process-based planning of material handling in manufacturing systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 448, 012018
- [3] Kota, L., 2012. Optimization of the supplier selection problem using discrete firefly algorithm. Advanced Logistic Systems: Theory and Practice 6, 10-20.
- [4] Gubán, M, Gubán, Á., 2012. Production scheduling with genetic algorithm. Advanced Logistic Systems: Theory and Practice 6, 33-44.