



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

*A szétválasztó pont és a fenntarthatóság
kapcsolata a termelésben*

TDK-dolgozat

Szerzők:

**Gaál Bernadett,
Herbert Bálint**

Témavezető:

Dr. Bóna Krisztián

Budapest, 2024

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
2.	Irodalomkutatás	5
2.1.	Releváns publikációk bemutatása	6
2.1.1.	Review tanulmányok.....	6
2.1.2.	Készletmodellek	6
2.1.3.	Csomagolás	7
2.1.4.	Előrejelzés pontossága	8
2.1.5.	Gyártási folyamat	8
2.1.6.	Kiegészítő témakörök.....	9
2.2.	Szakirodalmak értékelése	10
3.	Gyártási folyamatok vizsgálata	11
3.1.	Egylépéses gyártási folyamat	11
3.2.	Többlépéses gyártási folyamat	12
3.2.1.	Hipotézis az előrejelzés pontosságára	13
3.2.2.	Többlépéses gyártási folyamat bemutatása	14
3.2.3.	Iparági példák	15
3.3.	Költségtényezők összefoglalása	16
3.3.1.	Egylépéses gyártási folyamat	16
3.3.2.	Kétlépéses gyártási folyamat.....	17
4.	A modellalkotás módszertana.....	20
4.1.	Korlátozó feltételek és főbb paraméterek.....	21
4.2.	Működés bemutatása	23
4.2.1.	Egylépéses gyártási folyamat ismertetése	23
4.2.2.	Kétlépéses gyártási folyamat ismertetése.....	26
5.	Kísérletezés	29
5.1.	Alkalmazott paraméterek	29
5.2.	Eredmények.....	30
5.2.1.	Az egylépéses stratégiához tartozó kísérletek eredményei	31
5.2.2.	A kétlépéses stratégiához tartozó kísérletek eredményei	35
5.2.3.	A kétféle megközelítés összehasonlítása.....	38

6.	Továbblépési lehetőségek.....	42
7.	Összefoglalás.....	44
	Ábrajegyzék.....	45
	Táblázatjegyzék	46
	Hivatkozások	47
	Mellékletek	49

1. Bevezetés

A fenntarthatóság az élet minden területén egyre fontosabb szemponttá válik. Ez azonban igen tág fogalomkör, amit egy-egy adott probléma kapcsán tartalommal kell megtölteni. Mivel a logisztikának a fenntarthatóság szempontjából igen nagy a hatása, így ezen a területen különösen fontos olyan konkrét szempontok megfogalmazása, amelyekkel ezek a hatások mérhetővé válnak. A logisztikai döntéstámogató modellek olyan eszközök és rendszerek, amelyek segítik a vállalatokat a logisztikai folyamatok optimalizálásában, a döntéshozatalban és a stratégiai tervezésben. Ezek különböző matematikai, statisztikai és informatikai módszereket alkalmaznak, hogy pontos és megalapozott döntéseket lehessen hozni a logisztikai lánc különböző szintjein. Tanulmányunkban a fenntarthatósági szempontok integrációs lehetőségeit vizsgáljuk a vállalati operáció irányításában használt döntéstámogató modellekben. Célunk a termelésben megjelenő szétválasztó pont, valamint olyan újszerű megközelítések kapcsolatának vizsgálata, amelyekben különböző jellegű fenntarthatósági tényezők jelennek meg.

A vállalati operáció irányításában logisztikai szempontból érintett területeken (pl. készlettervezés, termelésstervezés) meghozott döntések esetében a fenntarthatósági szempontoknak az integrációja igen eltérő eredményekre vezethetnek az ezeket a szempontokat figyelembe nem vevő modellekhez képest. Érdekes kérdés, hogy vajon megváltoztatja-e a jövőben ezeknek a tényezőknek az integrációja a vállalatok működését.

A mai világban nagyon fontos az, hogy olyan szabályzások és olyan szemlélet alakuljon ki, amely a fenntarthatóságot segíti. Olyan szigorú törvényeket hoznak meg az országok és olyan szigorú kereteket szabnak meg a cégek, amelyek ezen feltörekvést viszik előre. A fenntarthatóság integrálása a logisztikai folyamatokba nemcsak a környezetre gyakorolt hatások csökkentése érdekében fontos, hanem gazdasági és társadalmi előnyöket is hoz, hozzájárulva a vállalatok hosszú távú sikeréhez. Nem szabad elhanyagolni azt a tényt, hogy azok a vállalatok, amelyek elkötelezettek a fenntarthatóság mellett, versenyelőnyre tehetnek szert, mivel a fogyasztók egyre inkább előnyben részesítik azokat a cégeket, amelyek környezettudatosak.

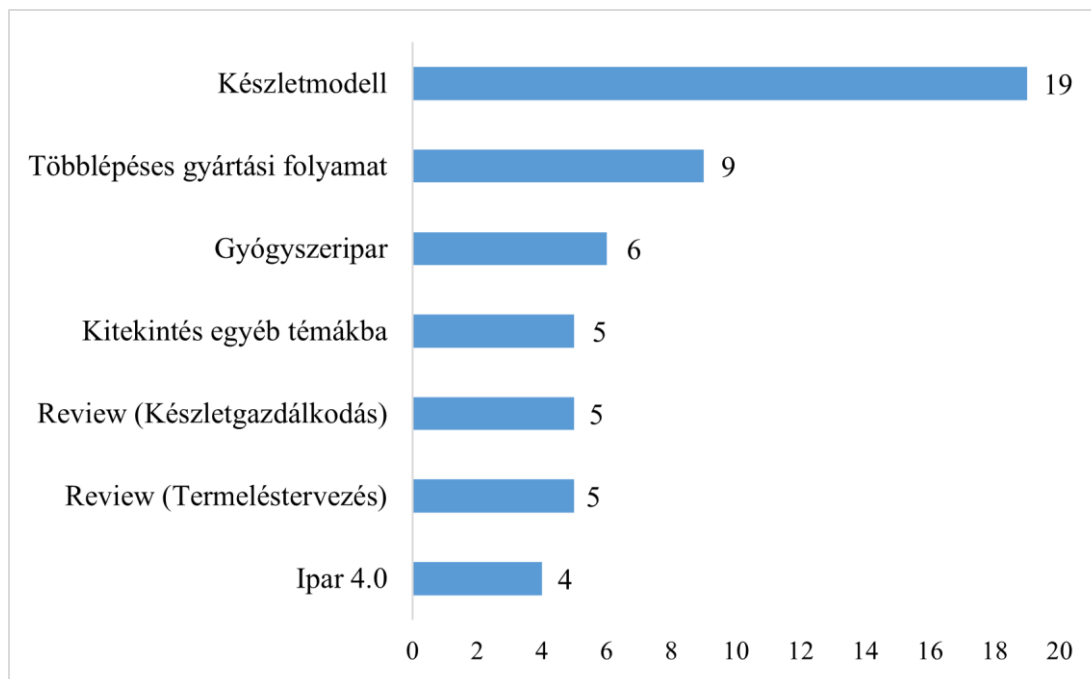
Dolgozatunkban a többlépcsős gyártási folyamatok egy speciális esetét vizsgáljuk. Ennek lényege, hogy az egy egységet alkotó gyártási folyamatokat szétbontjuk és közöttük félkésztermék raktárakat helyezünk el. Az egyes fázisok után átmeneti csomagolóanyagokba helyezzük az elkészült árucikkeket, majd ezeket félkésztermék raktárakban tároljuk a felhasználásukig. Hipotézisünk, hogy ezzel a megközelítéssel egy „fenntarthatóbb” működés valósítható meg, és a pontosabb előrejelzéseknek köszönhetően csökkenthetők a veszteségek, pl. lényegesen kisebb csomagolóanyag felhasználást lehet elérni, csökkenthető az el nem adható / megsemmisítésre kerülő termékek volumene. Különösen fontos ez a jelenség olyan termékek, illetve termelő vállalatok esetében, ahol egy-egy termék valójában csak a megjelenési formájában / kiszerezésében tér el és a „belső” tartalma (használati értéke) megegyező.

Bár a legtöbb termelési folyamat ebből a szempontból több részre szegmentálható, ebben a dolgozatban a kétfázisú (kétlépéses) gyártási folyamatokra koncentrálnak. Különböző helyzetekben vizsgáljuk a készletmennyiség alakulását egy erre készített modell segítségével mind az egylépéses, mind a kétlépéses gyártási folyamat esetén. Részletes költségtényezőket határozzunk meg, melyek figyelembevételével összköltség alapján hasonlítjuk össze a két stratégiát és vonunk le következtetéseket.

Kutatásunk célja egy olyan modell létrehozása, amely a gyakorlatban jól felhasználható, a vállalatok vagy iparágak sajátosságaikkal kiegészítve tudják megfelelően hasznosítani és ezáltal jobb döntéseket, eredményeket érhetnek el.

2. Irodalomkutatás

A kutatómunkánk tudományos cikkek, illetve tanulmányok keresésével és olvasásával kezdődött. Ez fontos volt, hiszen meg kellett ismerkednünk a témakörrel, azon belül pedig mélyebben fel kellett tárnunk különböző témákat. Összesen 53 publikációt tekintettünk át, melyeket 7 darab nagyobb témakörbe soroltunk be. Ezek megoszlását az 1. ábra mutatja be.

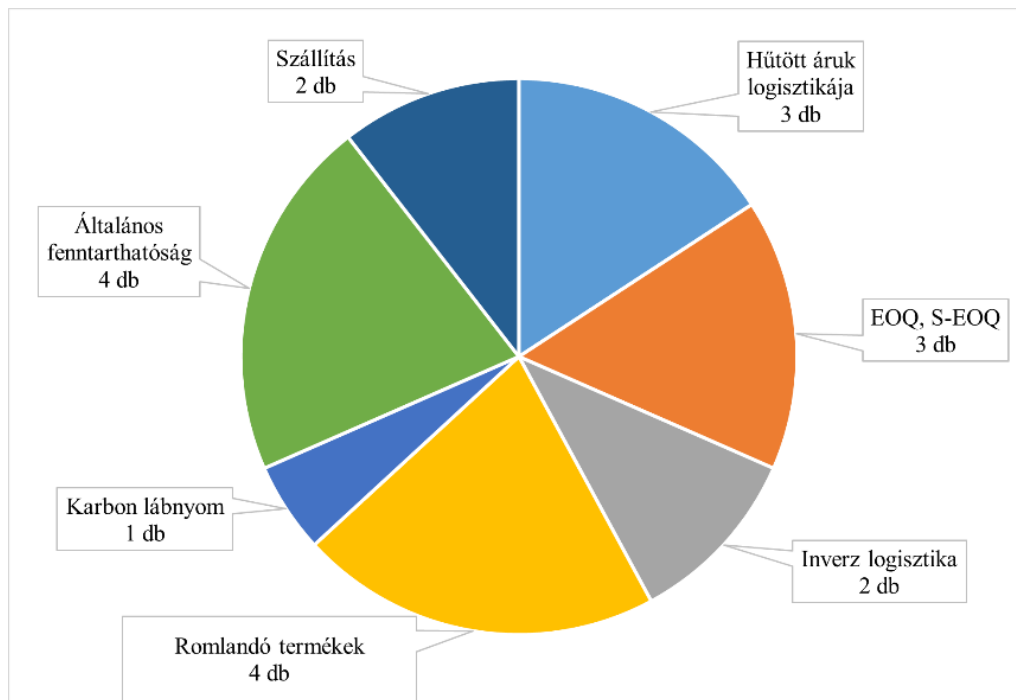


1. ábra: Feldolgozott tanulmányok témakörönkénti darabszáma

Kezdetben „review” jellegű cikkeket olvastunk, amik nagyon hasznosak voltak, hiszen szélesebb körben szerezhettünk információkat, valamint rengeteg értékes tanulmányt találtunk a hivatkozások között. Ezekből később olyan ötleteket merítettünk, amelyek segítették az előrehaladásunkat. Kitekintő témaköröket is értinettünk, mint például a dolgozók jólléte, a fenntartható gyártás vagy a ruházati ellátási lánc. Ezek áttekintése is fontos volt, mivel ezzel is szélesedett a látókörünk és mélyebb kapcsolatokat fedeztünk fel az említett témákban.

A többlépéses gyártási folyamathoz kapcsolódóan megismerkedtünk, a csomagolás kérdéskörével, a gyártásközi készlettel, a szétválasztó ponttal, valamint az előrejelzés pontosságával. Ezek kimondottan hasznos alapot biztosítottak a későbbi fejezetekben bemutatásra kerülő munkákhoz.

Mivel a készletmodellek témában a többihez képest lényegesen több cikket elemeztünk, illetve amiatt, hogy ez a terület igen szerteágazó, szükségét éreztünk ezen belül is egy csoportosítás elvégzésére. Ebben az esetben is 7 darab alkategóriát alkalmaztunk, melyeket a 2. ábra szemléltet.



2. ábra: Készletmodell témakörben feldolgozott tanulmányok

2.1. Releváns publikációk bemutatása

Az áttekintett tanulmányok kategorizálása után a következőkben a témakörünkhöz szorosabban kapcsolódó, fontosabb megállapításokat csoportosítottuk.

2.1.1. Review tanulmányok

Becerra *et al.* [1] egy nagyon jól összeállított és sokoldalú *review* cikket készítettek, amely kitűnő kiindulási alapnak szolgált számunkra. Megismerkedtünk a fenntartható készletgazdálkodás (SIM) és az S-EOQ modell alapjaival, valamint a leggyakrabban alkalmazott tényezőkkel. Fejlesztési lehetőségként kiemelték a tanulmány szerzői, hogy érdemes sztochasztikus módszereket alkalmazni, illetve nagyon fontos, hogy a társadalmi tényezőt sem szabad elhanyagolni a teljeskörű fenntarthatóság vizsgálata érdekében. Becerra *et al.* [2] egy másik értékes *review* cikket is írtak, amiben különböző *supply chain* megoldásokra fókuszálnak (pl. fenntartható, inverz logisztika, zárt láncú). Foglalkoztak még az alkalmazható modellekkel és szoftverekkel, valamint a döntési szintek elkülönülésével is.

2.1.2. Készletmodellek

Bozorgi *et al.* [3] a hűtött áruk ellátási láncát vizsgálja és egy olyan készletmodellt állítottak elő, amely a költségeket és a kibocsátásokat veszi figyelembe. Az elkészült modellt adatsoron validálták és vizsgálták a hatékonyságát. Stenius *et al.* [4] egy időalapú szállítmány konszolidációs rendszert mutatnak be, ahol a cél a teljes költség minimalizálása, miközben

optimalizáljuk az újrarendelési szinteket, a beszállítások időközeit és a lekötött kapacitások mennyiségét. Kiemelik a szállítással kapcsolatos kibocsátások fontosságát, valamint azt is, hogy az optimalizálás megvalósításához több megközelítés is lehetséges. Lehet olyan, hogy nem engedünk meg kibocsátást, lehet olyan, hogy ismert költsége van a kibocsátásnak és lehet olyan, hogy az időegység alatt történő kibocsátásnak ismerjük a maximalizált értékét. Tiwari *et al.* [5] által bemutatott készletmodell célja a készletezésből, illetve a karbonkibocsátásból származó költségek minimalizálása. A készletmodellek általában azzal az egyszerűsítéssel élnek, hogy az átvett cikkek hibátlanok, de a való életben közel sem ez a helyzet, ezért a szerzők nem tökéletes minőségű, romlandó árucikkekekkel foglalkoznak. Tempelmeier *et al.* [6] tanulmányának legfontosabb üzenete, hogy a készletekkel és a szállításokkal kapcsolatos döntéseket együtt kell meghozni. Vizsgálják a biztonsági készlet csökkentéséből eredő szállítási költségek növekedését, amely ellensúlyozhatja a készletköltségek változását, továbbá megemlítik, hogy egy rossz készletezési szolgáltatási szint a szállítási munkamennyiség nagyfokú változékonyságához vezet, ami jelentős költségekkel járhat.

2.1.3. Csomagolás

A termékek csomagolása elkerülhetetlen, mivel ez szükséges a biztonságos tároláshoz, valamint megkönnyíti a szállítás és a forgalmazás során a mozgatót. Elvárás, hogy alacsony környezetterheléssel, illetve alacsony költséggel legyen az árucikkek csomagolása megvalósítva. A jelenlegi megközelítések alapján a különböző iparágak környezeti hatásának vizsgálatakor elsősorban a szén-dioxid kibocsátásra összpontosítanak. Ebben a tanulmányban azonban az ökológiai lábnyomot alkalmazzák, amely nem csak a szén-dioxid-kibocsátást veszi figyelembe, hanem az iparágnak a bolygóra gyakorolt tényleges hatását is. Az ökológiai lábnyom azt a mennyiségű területet és vizet méri, amely az erőforrás – és energiaigények kielégítéséhez szükséges. Ezt meghatározták az alapanyagokra, a felhasznált energiára és vízre, a munkaerőre, valamint a szállításra. A számítások és az összehasonlítások elvégzéséhez az előbb említett komponensek költségtényezőit vették figyelembe. [7]

Egy esettanulmányon alapuló kutatás betekintést nyújt a jelenlegi csomagolási gyakorlatokba az ellátási lánc szemszögéből és olyan fenntartható lehetőségeket javasol, amelyek csökkentenék egy adott vállalat környezeti hatását. A környezetbarát csomagolás és termékek iránti, világszerte növekvő vásárlói igény nyomást gyakorol a vállalatokra, hogy újratervezzék az eddig megszokott módszereiket. A jelenlegi csomagolási gyakorlatot figyelembe véve a szerzők célja a fenntartható gyakorlatok továbbfejlesztése a negatív környezeti hatások csökkentése érdekében. Olyan ötleteket vizsgáltak, mint például a csomagolás szabványosítása minden ügyfél számára, a helyi beszállítók edukálása, a csomagolás kompaktabbá és könnyebbé tétele, továbbá a karbon lábnyom és az üzemanyag-fogyasztás csökkentése a légi helyett tengeri szállítás ösztönzésével. [8]

2.1.4. Előrejelzés pontossága [9]

Fontos hangsúlyozni, hogy a pontos előrejelzés beépítése a készletgazdálkodási stratégiába sokkal összetettebb, mint egy kitűzött számérték elérése. A kereslet előrejelzése kulcsfontosságú a rövid élettartammal (szavatossági idővel) rendelkező termékek esetén, mint például a friss élelmiszerek vagy gyógyszerek. A hosszabb ideig eltartható termékek esetén is természetesen fontos a minél pontosabb előrejelzés, azonban ezeknél a tervezési folyamat más részei jelentősebb hatást jelenthetnek.

A pontos előrejelzés segít a termékek elérhetőségének növelésében, a biztonsági készletek csökkentésében, a pazarlás minimalizálásában és a kiadások csökkentésében is. Azonban nem elegendő csak erre fókuszálni, hiszen a többi befolyásoló elemet is folyamatosan felül kell vizsgálni. Ide tartozik a biztonsági készlet, a beszállítók megbízhatósága, átfutási idők, gyártási tételnagyságok.

Kiemelik, hogy a rövid távú előrejelzések pontosabbak, mint a hosszútávúak. Utóbbinál a nagyobb időtáv növeli annak az esélyét, hogy a jövőbeli keresletet befolyásoló váratlan változások álljanak be. Erre a kérdéskörre még visszatérünk a későbbiekben és egy hipotézist is megvizsgálunk ezzel kapcsolatosan.

2.1.5. Gyártási folyamat

Egy gyártó vállalnál az árucikkek iránti keresletet az erőforrásoknak megfelelően termelési tervre fordítják. Ennek keretében elkészül az MPS (*Master Production Scheduling*), vagyis a termelési vezérprogram, amely meghatározza a szükséges termékek mennyiségét, illetve azt, hogy mikor van rájuk szükség középtávú tervezésben. Ezt később részleteire bontják, hogy meghatározzák az egyes munkaállomások által elvégzendő feladatokat.

A mai felgyorsult ütemű gyártási és termelési környezetben a WIP (*Work in Progress*), vagyis gyártásközi készlet szerepe egyre kritikusabbá válik. Egyfajta hidat jelent az alapanyagok és a késztermékek között és olyan árucikkeket foglal magába, amelyek gyártási folyamat már elkezdődött, de még nem fejeződött be. Ennek optimalizálása kulcsfontosságú a gyártási hatékonysága, illetve a nyereség növelése szempontjából. [10]

A gyártási folyamatok jelentős kutatási területet biztosítottak és biztosítanak a jövőben is mind az elméleti, mind az alkalmazott kutatás számára, különösképpen a sorban állás elméletével és annak elemzésével kapcsolatosan. A gyártásban a teljesítmény egyik fontos mérőszáma a gyártási átfutási idő, ami szorosan kapcsolódik a gyártásközi készlet témaköréhez. Kimutatható, hogy optimalizálási technikákkal, a sztochasztikus modellek közelítésével és szimulációs modellek alkalmazásával jelentős javulások érhetőek el a teljesítményben. [11]

A termelésben különféle gyártási stratégiákat lehet alkalmazni, mint például a vevői rendelésre történő tervezés, vevői rendelésre történő összeszerelés alkatrészekből, készletre gyártás stb. Ezek között az jelenti a különbséget, hogy az árucikken melyik fázisig jutunk el,

vagyis hol van az a pont, ahol szüneteltetjük a gyártást. Ezt szétválasztó pontnak nevezzük, amelynek meghatározásához többféle prognózis alkalmazható, melyek közül a két legalapvetőbb stratégia a halogatás és a spekuláció. Előbbinél az a cél, hogy a termék hosszú ideig semleges állapotban legyen, míg utóbbinál az, hogy minél hamarabb specifikus állapotba kerüljön. A többi jellemzőt az 1. táblázat foglalja össze. [12]

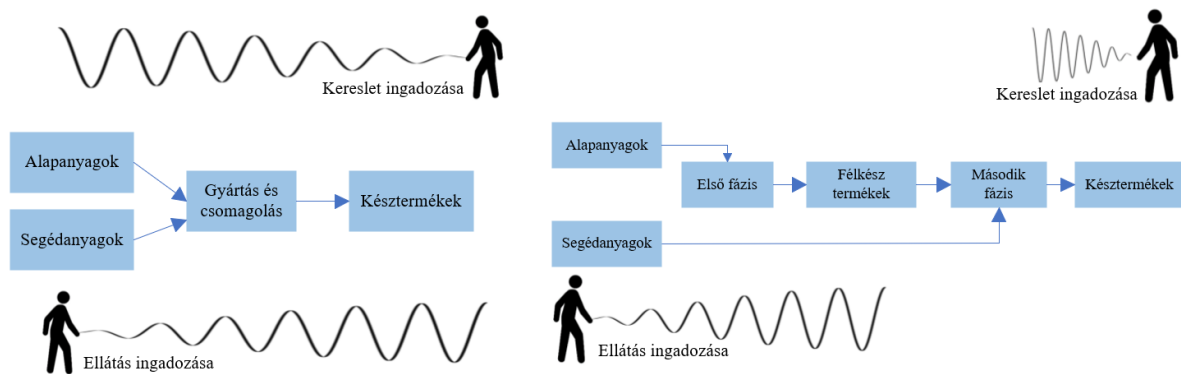
1. táblázat: Halogatás és spekuláció jellemzői [12]

	Halogatás	Spekuláció
Diszpozíció	Vevői igényekhez igazított módon készletetett	Prognózisokhoz igazított módon viszonylag gyorsan
Készlet összetétele	Univerzális	Specializált
Stratégia	Pull elv alkalmazása megrendeléseken alapuló információk alapján	Push elv alkalmazása prognózisokon alapuló információk alapján
Termék szortiment	Nagy, változó termékstruktúrával	Kisebb, stabilabb termékstruktúrával

2.1.6. Kiegészítő témakörök

Jogosan merülhet fel az kérdés, hogy el lehet-e jutni odáig, hogy nem az előrejelzésre hagyatkozunk, hanem a vevői rendelések vezérlik a rendszert? Ennek kivitelezéséhez mindenképpen szükség van a szétválasztó pont helyzetének megfelelő megválasztására. Erre két lehetőséget mutatnak be, amelyek a stratégiai és az analitikus megközelítés. Előbbiben különféle tudásalapú rendszerek segítségével történik iránymutatás a döntés meghozatalához, míg utóbbiban matematikai vagy szimulációs modellekkel történik az optimális pozíció megtalálása. A szerzők célja, hogy megfelelő termelési tervet adjanak meg, amely egyensúlyt teremt a termelési ráta gyakori változása és a készletezési költségek között az előre rögzített céloknak megfelelően. Elemzik a termék életciklusának és az előrejelzési hibának a hatását a gyártási teljesítményre. [13]

Az ostorcsapás effektus kialakulásának okai, hogy adott vállalatok túl erősnek gondolják a saját szerepüket az ellátási láncban, illetve túlzott mértékű harcot folytatnak a vevőkért és nem képesek engedni az elképzeléseikből a lánc fejlődésének érdekében. A hullámzó keresleti intenzitás instabilitást okoz az anyagáramlásban, valamint gerjeszti a kiszámíthatatlanságot, ezt a jelenséget a 3. ábra szemlélteti. Bizonytalan helyzet áll elő, amelynek elfedéséhez egyre nagyobb készletre lesz szükség, azonban erre a volumenre nincs valós igény. Összességében ez tervezhetetlenséghez vezet, ami különösen a sokszereplős ellátási láncokban jelent veszélyt. [14]



3. ábra: Ostorcsapás effektus bemutatása [15]

2.2. Szakirodalmak értékelése

A kutatásunk pontosabb irányának megtalálásához elengedhetetlen volt az általunk megismert tanulmányok és cikkek kritikai elemzése, majd pedig a konklúziók levonása. Ezeknek a feladatoknak a végrehajtásához összegyűjtöttük a szakirodalmak legfontosabb üzeneteit és azonosítottuk a kutatási *gap*-eket. Utóbbi különösen is fontos, hiszen ezek segítenek abban, hogy újszerű megoldást dolgozzunk ki egy adott problémakörre. A 4. ábra bemutatja a kutatómunkánk során azonosított továbblépési lehetőségeket.



4. ábra: Kutatási *gap*-ek összefoglalása

3. Gyártási folyamatok vizsgálata

A szakirodalom jelenlegi állapotának széleskörű megismerése és értékelés után szűkíteniünk kellett az előbbieken bemutatott kutatási *gap*-eken. Erre azért volt szükségünk, hogy megtaláljuk azokat az irányokat, amelyek a szétválasztó pont és a fenntarthatóság szempontjából kulcsfontosságúak. Az ismertetett továbblépési lehetőségek (4. ábra) közül a következők felhasználásával dolgoztunk tovább:

- Sztochasztikus kereslet alkalmazása modellekben
- Ellátási lánc bővítése, szélesebb körű vizsgálat
- EOQ modell bővítése, akár hiányt megengedő stratégia is
- Újszerű fenntarthatósági paraméterek figyelembevétele.

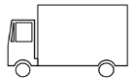
Ebben a fejezetben ismertetjük a vizsgált gyártási folyamatokat és kifejük az egyes esetekben megjelenő költségtényezőket is.

3.1. Egylépéses gyártási folyamat

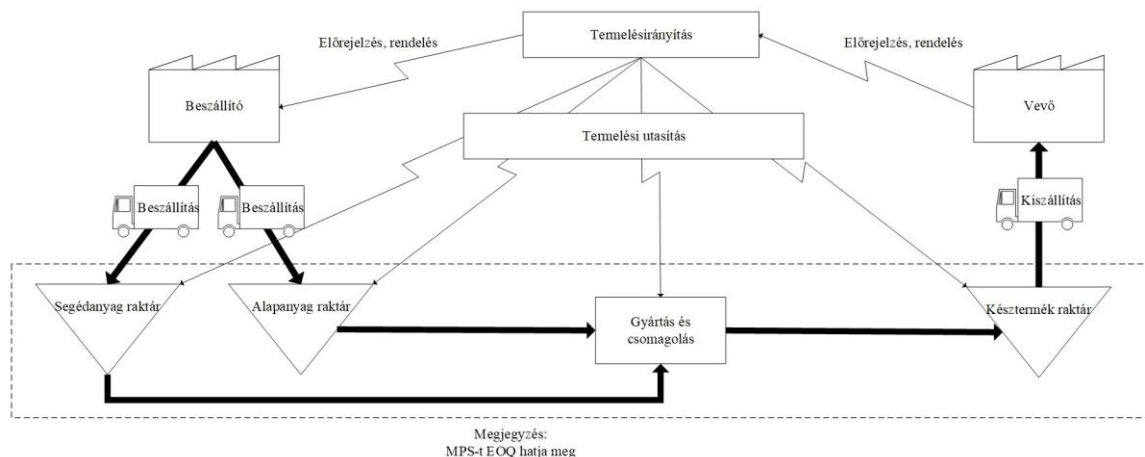
Dolgozatunkban először a jelenkorban megszokottabb, általánosabb megközelítést vizsgáltuk meg. Ebben az esetben a gyártás és a csomagolás egy egységet képez, vagyis nem különülnek el egymástól. A rendszerben nem kezelnek félkésztermékeket, az előállítás végeztével fogyasztói csomagolások jönnek létre, melyeket a késztermék raktárban helyeznek el. Erre a megközelítésre példaként említjük az egyszerű elektronikai eszközök gyártását, mint például a LED égők. Az alkatrészeket (vezetékek, fényforrás, burkolat) egy gyártósoron összeszerelik, majd a csomagolóállomások végén elnyerik végső formájukat és a késztermék raktárba mozgatják az elkészült termékeket.

A gyártási folyamat ábrázolásához a leanben használt értékáram elemzési módszert, a VSM-et (*Value Stream Mapping*) alkalmaztuk, amely grafikusan szemlélteti a termék útját egységes szimbólumrendszer segítségével. Segít vizualizálni a termékkel történő lépéseket az egész folyamat során, vagyis a rendelés feladásától addig, amíg azt a vevő át nem vette. A környezetvédelem jelentőségének növekedésével felmerült az igény a zöld szempontok figyelembevételére az értékáram elemzés készítése során is, ezt nevezik *Green VSM*-nek. Ebben az esetben számolni kell az egyes tevékenységek környezetterhelésével is, ami lehet légszennyezés, energiafelhasználás, anyagfelhasználás vagy hulladék keletkezése. Az általunk készített ábrákon zöld EHS (*Environment, Health and Safety*, azaz Környezet-, Egészségvédelem és Munkabiztonság) ikonnal jelöljük meg azokat a folyamatokat, melyek környezetterhelésének csökkentésére lehetőséget látunk. A legfontosabb számunkra az volt, hogy megértsük az anyag-, és információáramlás egyes lépéseit, valamint, hogy vizuálisan jobban látható legyen a két koncepció közötti különbség, vagyis, hogy milyen plusz lépésekre van szükségünk a két lépéses gyártási folyamat megvalósításához. Ehhez az általunk használt szimbólumokat a 2. táblázat foglalja össze. [16] [17]

2. táblázat: Folyamatok bemutatásához használt VSM szimbólumok

Szimbólum	Név
	Folyamatok, illetve termelési terv
	Külső partner (beszállító, vevő)
	Szállítás
	Raktár
	Anyagáramlás
	Információk elektronikus áramlása (email, EDI)

Az 5. ábra a fentebb említett VSM szabályrendszer segítségével mutatja be az ebben az esetben lejátszódó folyamatokat, amelyek közül jelen dolgozatban a szaggatott vonallal körülvettekkel foglalkozunk részletesebben.



5. ábra: Egylépéses gyártási folyamat bemutatása

3.2. Többlépéses gyártási folyamat

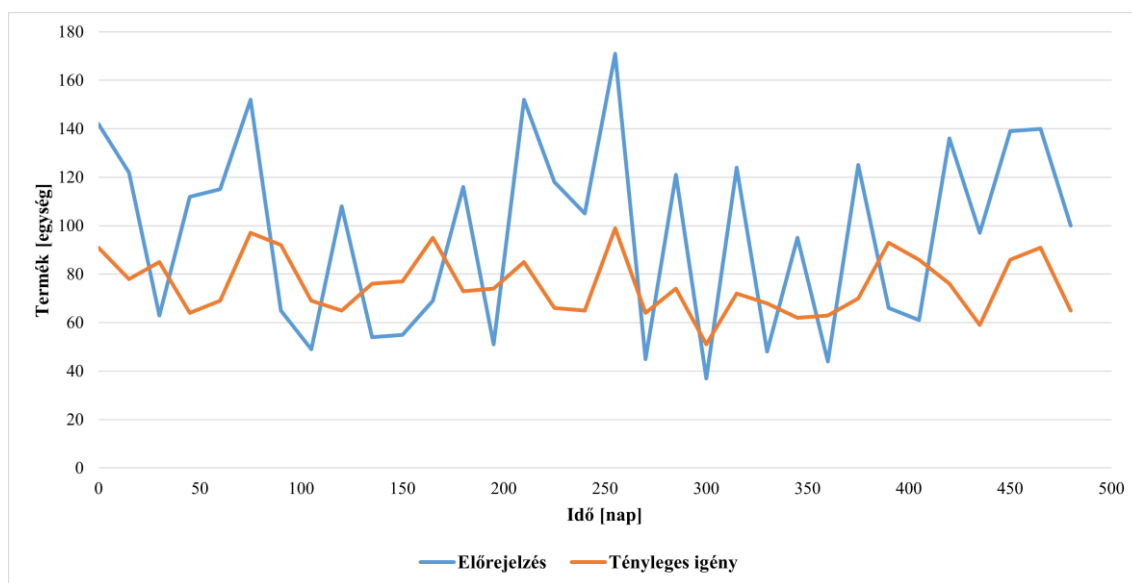
Olyan iparágakban, ahol a szavatossági idő kulcsfontosságú, a félkésztermékek raktározása különösen előnyös lehet. Egylépéses esetben gyakori probléma a felesleges készletezésből adódó hulladék, kiemelten a lejárt termékek esetén. Legtöbbször ez megsemmisítést jelent, azonban megoldás lehet az újrafelhasználás (például bútorgyártók esetén), illetve a csökkentett áron való értékesítés (például élelmiszeripar) is. Többlépéses megközelítés esetén ezen veszteségköltségek csökkentését érhetjük el, mivel kevesebb a végtermékek készlettömege a rendszerben.

3.2.1. Hipotézis az előrejelzés pontosságára

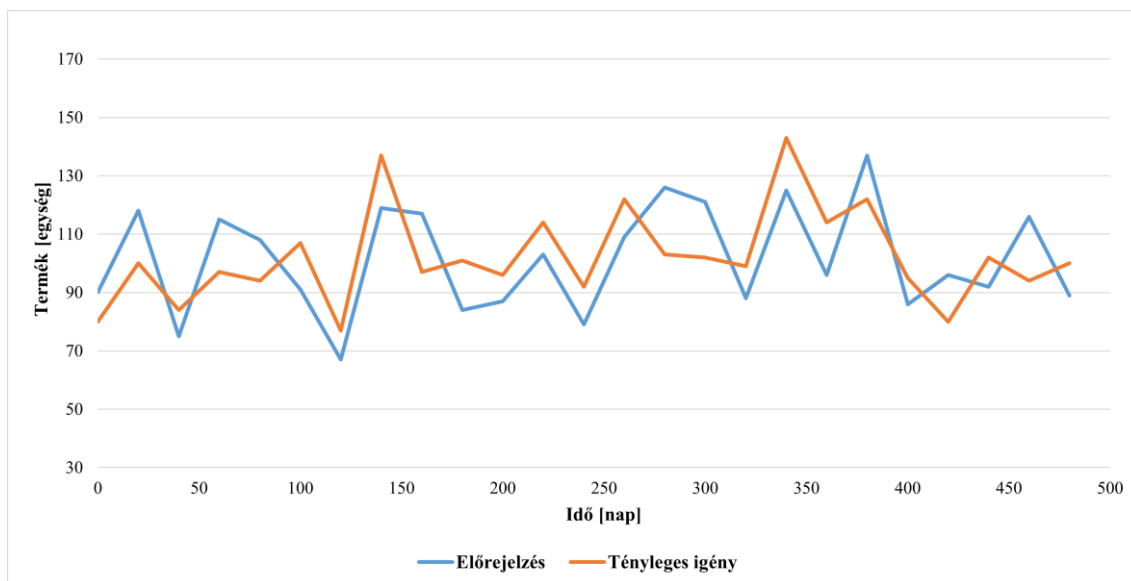
Többlépéses gyártási folyamat esetén vélhetően pontosabb előrejelzést tudunk adni a késztermékek iránti igényre, mivel ekkor a gyártástervezésnek legkésőbb a második gyártási fázis (csomagolás) előtt van szüksége az előrejelzési adatokra, így időben közelebb vagyunk a valós kereslet felmerüléséhez, ezért sokkal pontosabb adatokból lehet becslést készíteni a keresletre vonatkozóan. A hagyományos egylépéses megközelítésnél a gyártástervezésnek már a gyártásindítás előtt szüksége van az előrejelzési adatokra így időben távolabb, általában lényegesen pontatlanabb adatokból lehet csak becslést készíteni a keresletre vonatkozóan.

Ez egy természetes jelenség, hiszen a félkésztermékként raktározott termékek „közelebb” vannak a tényleges igény fellépéséhez, kisebb átfutási idővel teljesíthetőek az adott megrendelések. Kétlépéses gyártási folyamat esetén feltételezhető, hogy a késztermékek rendelési ciklusideje nagyobb lesz, ami azt eredményezi, hogy egy rendelés során hosszabb időszakra vonatkozóan adjuk meg a késztermékek várható igényét. Ezzel a lépéssel csökkenthető az idősorokra jellemző véletlen hatás, vagyis simítható a megjelenő zaj, amely szintén hozzájárul a pontosabb előrejelzéshez. Ez a javulás különösen kritikus olyan termékek esetében, ahol a kereslet erősen ingadozhat, vagy ahol a szavatossági idő rövid. A precízebb prognózisoknak köszönhetően optimalizálhatjuk a logisztikai folyamatokat, továbbá minimalizálhatjuk a készletek megsemmisítéséből származó veszteségeket és a túlzott készletezésből eredő költségeket. Ezek mellett a fenntarthatósági szempontokban is javulás érhető el, hiszen kevesebb hulladék keletkezik, illetve az energiafelhasználás is csökkenthető.

A későbbiekben (4. és 5. fejezet) bemutatásra fog kerülni egy szimulátor, amelynek segítségével modelleztük az egylépéses és a kétlépéses esetet is. A modell által kapott eredményeket fel tudtuk arra is használni, hogy a hipotézisünket diagramokkal is szemléltessük, amelyeket a 6. ábra és a 7. ábra mutatnak be.



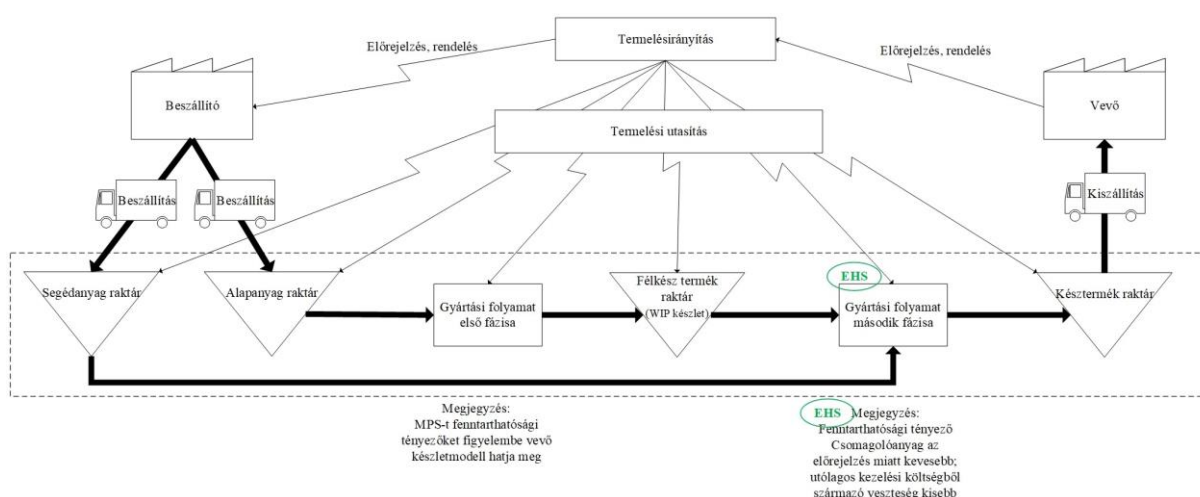
6. ábra: Egylépéses gyártásnál készített előrejelzés eredménye



7. ábra: Kétlépéses gyártásnál készített előrejelzés eredménye

3.2.2. Többlépéses gyártási folyamat bemutatása

A többlépéses megközelítés jelen vizsgálatunkban azt jelenti, hogy két részre bontjuk az eddig egyben kezelt gyártási és csomagolási műveleteket. Ezeket két külön fázisra osztjuk fel, közéjük pedig beékelődik a félkésztermék raktár, ahol a gyártásközi készletet tárolják. A második fázis után elkészülnek a végtermékek, amelyek a késztermék raktárban tárolódnak a kiszállításukig. A 8. ábra értékáram elemzés segítségével mutatja be az általunk vizsgált esetben végbemenő folyamatokat. Ahogy az egylépéses gyártási folyamat esetén, úgy itt is a szaggatott vonallal jelölt területtel foglalkozunk bővebben.



8. ábra: Kétlépéses gyártási folyamat bemutatása

A rendszer működéséhez szükség van arra, hogy a félkésztermékeket egy olyan átmeneti tárolóeszközben tárolják, amely megfelel az iparág előírásainak. Kezdeti célunk a fenntarthatósági szempontok figyelembevétele, amelyet ennél a megközelítésnél érvényesíteni

tudunk, különösen a lejáratí idővel rendelkező árucikkek esetén. A szétválasztó pontot úgy határozzuk meg az előrejelzéssel összhangban, hogy az igényeket minél jobban ki tudjuk elégíteni és minimalizáljuk a túlkészletezést. A szavatossági idővel rendelkező termékeknél egy fontos előnye a kétlépéses gyártási folyamatnak, hogy rugalmasabban lehet döntést hozni előállítási időpontokról, valamint mennyiségekről. Ezeknek köszönhetően az el nem adható termékek kezeléséből fakadó költségeket tudjuk csökkenteni, illetve fenntarthatóbb működést tudunk elérni, hiszen lejárt termékek esetén kisebb eséllyel keletkezik a késztermék csomagolóanyagából hulladék.

3.2.3. Iparági példák

Gyógyszeriparnál a kiszerelés egy olyan szempont, amely nem hagyható figyelmen kívül, gyártásközi készlet alkalmazásával sokkal rugalmasabban lehet váltani a különböző mennyiségeket tartalmazó fogyasztói csomagolások között. Ha több piacot is kiszolgál egy termelő vállalat, akkor a különböző régiókban eltérő csomagolási előírásoknak kell megfelelni. Csomagolásindítás előtt azt is meg kell mondani, hogy milyen nyelvű címke kerüljön az adott készítményre, illetve, hogy milyen nyelvű leírással rendelkezzen az adott árucikk. Ezek mind olyan paraméterek, amelyek a többlépéses stratégiában jobban kezelhetők.

Az italiparban is előfordulhat a többlépéses gyártási folyamat alkalmazása, például gyümölcslevek, üdítők vagy sörök esetén. Az elkészített folyadékokat nagy tartályokban tárolják az iparágra jellemző feltételek mellett, majd a rendelések, illetve a későbbi, pontosabb előrejelzések alapján történik a csomagolásuk. Itt is előnyt jelenthet ezen eljárás a kiszerelések kiválasztásánál, illetve a termékre kerülő megfelelő címke elhelyezésénél.

Továbbá kiegészítésképpen említünk egy példát háromlépéses gyártási stratégia alkalmazására is, amely a vegyiparban, főleg festékek és bevonatok előállítása esetén nagy előnyökkel járhat. Ez az iparág gyakran termel hosszabb távon tárolható alapanyagokat, amelyekből később, a kereslet függvényében állítják elő a késztermékeket. A festékgyártás során a nyersanyagokat, például pigmenteket, oldószereket és adalékanyagokat először nagy mennyiségben keverik össze, de nem feltétlenül késztermék formájában. Ez az összekevert massa még nem tartalmazza a végső, a fogyasztók által megvásárolható készítmény színeit vagy különleges tulajdonságait. Az előállított félkész festékek és bevonatok tárolhatóak egy erre kialakított raktárban, majd később testre szabhatóak az igényeknek megfelelően. Ez lehetővé teszi a gyártóknak, hogy pontosan azt a színt, állagot és kiszerelést hozzák létre, amire szükség van. Ezáltal csökkenthető a túlkészletezés, illetve a nem kívánt színek és formulák raktározása.

3.3. Költségtényezők összefoglalása

Ahhoz, hogy integrálni tudjunk fenntarthatósági tényezőket a döntéstámogató modellünkben, vizsgálnunk kellett ezen szempontok gazdasági hatását is. Ennek eléréséhez szükségünk volt a költségtényezők részletes feltárására mind az egylépéses, mind a kétlépéses gyártási folyamat esetében. Tapasztalataink alapján ugyanis az eddigi modellek esetében az egyik legnagyobb probléma, hogy ezeket a tipikus fajlagos költségeket meglehetősen nagyvonalúan kezelik, így a modellek gyakorlati alkalmazhatósága is nehézségekbe ütközik. Emiatt az alkalmazott költség tényezők definiálása során igyekeztünk a valósághoz minél inkább közel álló költség paramétereket megtalálni.

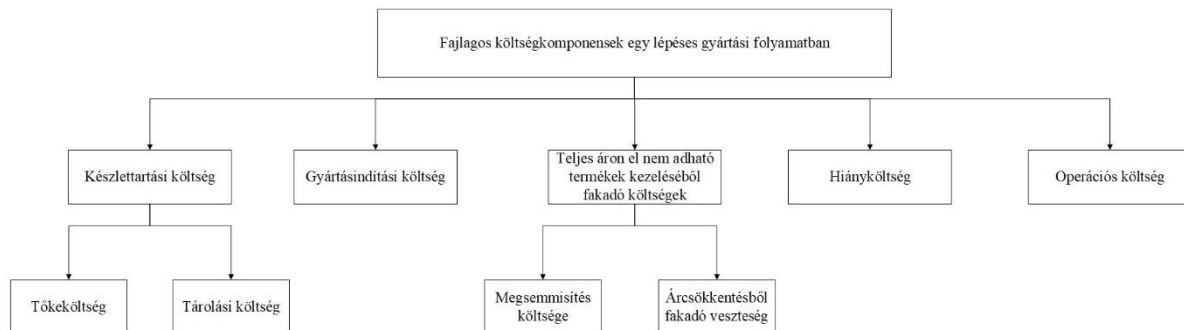
3.3.1. Egylépéses gyártási folyamat

Az egylépéses gyártási stratégia esetében az alábbi költségtényezőket vettük figyelembe:

- **Készlettartási költség:** A tőkeköltség és a tárolás költség összege.
- **Tőkeköltség:** Alapvető tényezőket értünk alatta, például az energiafelhasználás költségét, munkaköltséget, beépülő alap- és segédanyag költségét.
- **Tárolási költség:** Raktárápület üzemeltetési költsége, melynek része az energiafelhasználás (világítás, hűtés, fűtés), vagyonvédelem, illetve egyéb tényezők.
- **Gyártásindítási költség:** Egy új gyártási sorozat megkezdéséhez kapcsolódó tényező, amely nem függ attól, hogy hány egységet gyártanak le a sorozatban, hanem magának az indításnak a költségeit foglalja magában. Többféle összetevőt is magába foglal, például a gépek előkészítését, dolgozók munkaidejét, illetve az ellenőrzési költségeket.
- **Teljes áron el nem adható termékek kezelésből fakadó költségek:** A megsemmisítési költségnek és az árcsökkentésből fakadó veszteségköltségének az összege.
- **Megsemmisítés költsége:** Amikor a raktározott késztermék feleslegessé válik (például lejár vagy megsérül) és emiatt meg kell semmisíteni a megfelelő előírások alapján. A raktározott késztermék feleslegessé válása esetén (például szavatossági idő lejáratára vagy sérülés) a megfelelő előírások alapján végzett eljárás költsége. Ez továbbá veszteségként kiegészül a megsemmisített termékek eladási árának összegével.
- **Árcsökkentésből fakadó veszteség:** Előfordulhat olyan eset, hogy a raktározott késztermékeket kénytelenek vagyunk olcsóbb áron eladni (pl. közel van a lejárat dátuma, várakozásoknál kisebb a kereslete), ez azonban egy veszteségköltséget jelent.
- **Hiányköltség:** Hiányból származó negatív hatások költségeit jelenti, például pillanatnyilag és hosszútávon elmaradt haszon, termelés kiesés költsége, az újratervezés és az esetlegesen felmerülő termelés átállás költsége.

- **Operációs költség:** A teljes gyártási folyamat során fellépő anyagmozgatások költségének összessége.

Az említett tényezőket egy fadiagram segítségével foglaltuk össze, amit a 9. ábra mutat be.



9. ábra: Egylépéses gyártási folyamat költségei

3.3.2. Kétlépéses gyártási folyamat

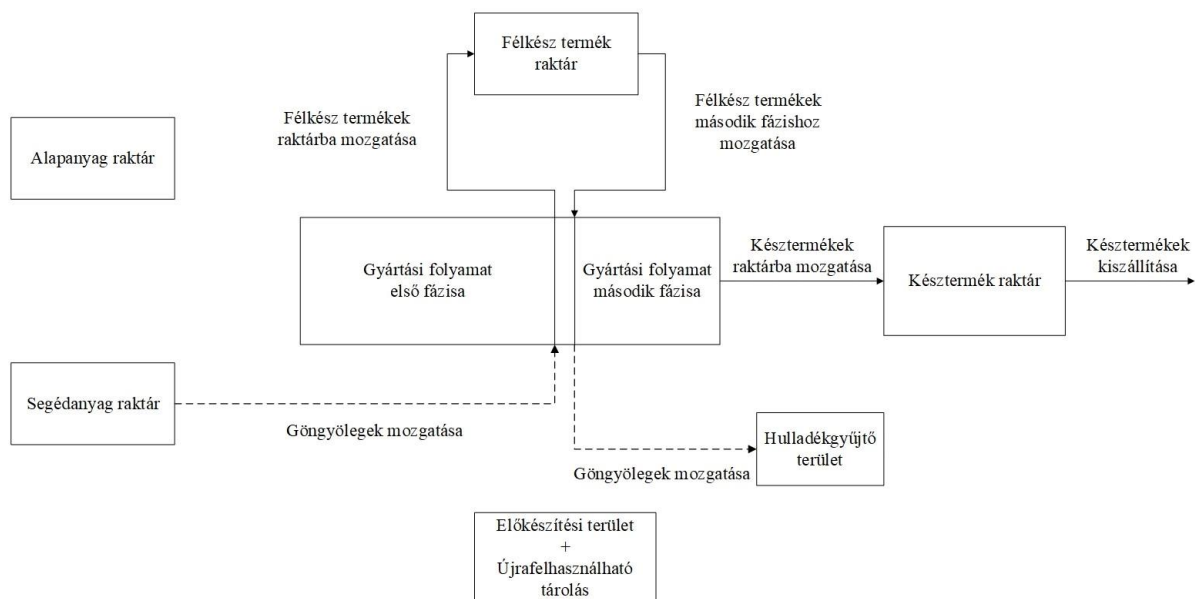
A kétlépéses gyártási folyamat esetében vannak olyan költségek, amelyeket az egylépésesnél már definiáltunk, így ezeket itt nem említjük külön. Figyelembe vettünk azonban olyan tényezőket is, melyek újonnan jelennek meg ebben az esetben, ezek a következők:

- **Kiegészítő tőkeköltség:** A félkésztermék tárolására használt göngyöleg költsége tartozik ide, amely két esetre bontható. Újrafelhasználható esetén a tárolóeszközök beszerzése tekinthető egyszeri költségnek, hiszen ez leíródik a többszöri használat ideje alatt. Egyszer használatos csomagolóanyag esetén ez egy állandó költségtenyező lesz, mivel mindig újakat kell beszerezni.
- **Kiegészítő tárolási költség:** A kétlépéses megközelítés miatt szükség van a félkésztermékek és az átmeneti tárolóeszközök, vagyis göngyölegek tárolására. Ezek a korábban említett tényezők (lásd 3.3.1) miatt költséget jelentenek mind a félkésztermékek, mind a göngyölegek esetén.
- **Csomagolásleállási költség:** Ez a költségtenyező akkor lép fel, amikor van késztermék iránti igény, viszont a második fázis ebből egyetlen egyet sem tud kielégíteni. A csomagolásleállási költség magába foglalja a gyártósorok megállása miatti termelés kiesés okozta veszteséget, illetve az újraindítással járó kiadásokat.
- **Sorozatindítási költség:** A kétlépéses gyártás miatt külön kell kezelni az első és a második fázis indítási költségeit. Fontos, hogy a figyelembe vett tényezőket, például a gépek megfelelő beállítása, ellenőrzések elvégzése vagy a félkésztermékek kicsomagolása az átmeneti tárolóeszközből, mindkét fázisra meg kell vizsgálni, majd ezek összegeként kapjuk meg a sorozatindítási költséget.

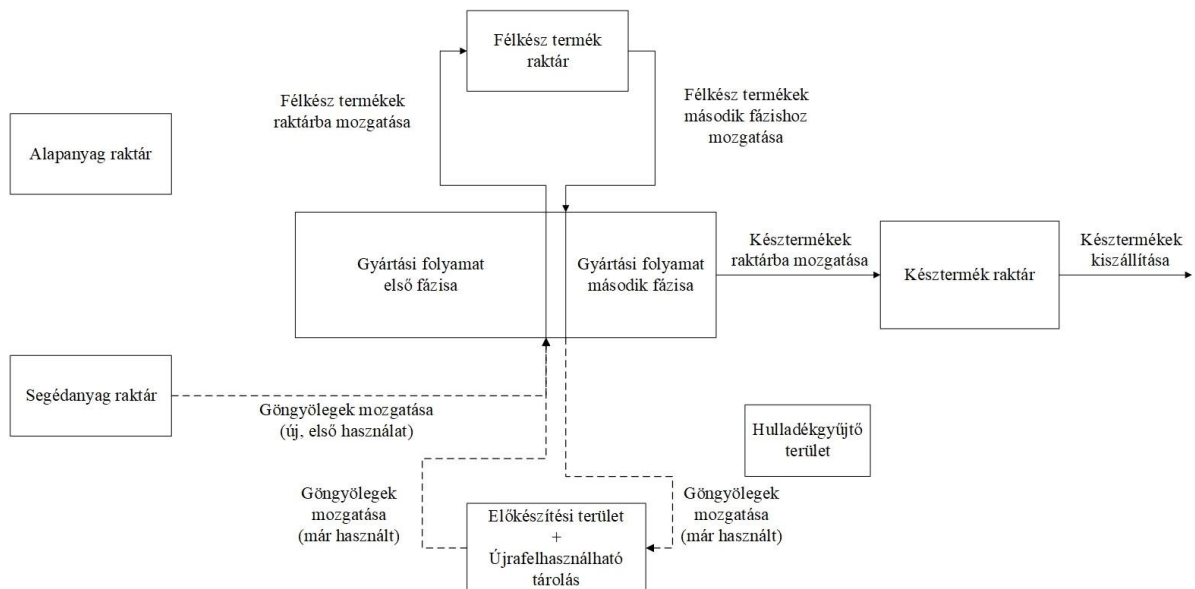
- **Megsemmisítés költsége:** Mivel ebben a rendszerben félkésztermékek is jelen vannak, ezért ezeknek is figyelembe kell venni a megsemmisítését. Ezt azt jelenti, hogy a késztermékekénél fellépő költség kiegészül a félkésztermékekénél alkalmazott eljárás költségével, valamint a megsemmisített áru eladási árának összegével.
- **Kiegészítő operációs költség:** A kétlépéses gyártási folyamatnak köszönhetően az alapvetők mellett kiegészítő folyamatokra is szükség van. Ezek költségének összege adja meg ezen tényező értékét.
- **Göngyölegek anyagmozgatásának költsége:** Újrafelhasználható csomagolóanyag esetén a második fázis kezdetén keletkezett üres tárolóeszközt az előkészítési helyére kell mozgatni, majd innen ezeket az első fázis végéhez kell továbbítani, ahol újra felöltésre kerülnek. Ezen csomagolóanyagok első használatakor a segédanyag raktárból az első fázis gyártósortainak végéhez kell mozgatást végezni. Egyszer használatos göngyölegek használatakor minden esetben a segédanyag raktárból az első fázis végéhez kell mozgatni ezeket, ahol feltöltésre kerülnek. Később, a második fázis kezdetén keletkezett üres tárolóeszközöket a megfelelő hulladékgyűjtő területre helyezik.
- **Göngyölegek előkészítési költsége:** Újrafelhasználható csomagolóanyag alkalmazása esetén az előkészítési területen belül végzett operációk költsége. Ez lehet a tárolóeszköz mosása, fertőtlenítése, szárítása, illetve bármely egyéb olyan tevékenység, amely a megfelelő felhasználáshoz szükséges.
- **Félkésztermékek anyagmozgatásának költsége:** Az első fázis végén az átmeneti tárolóeszközökben lévő félkésztermékek továbbítása az erre a célra szolgáló területre. Később, igény esetén a félkésztermék raktárból az átmeneti tárolóeszközöket a második fázis elején lévő munkaállomáshoz mozgatják.

A kétlépéses gyártási folyamat költségkomponenseit ismét egy fadiagram segítségével foglaltuk össze, amit az 1. melléklet tartalmaz. Fontos, hogy a teljes áron el nem adható termékek kezelésből fakadó költségeket ebben az esetben is figyelembe vettük, azonban ezen gyártási megoldás egyik célja, hogy ezek a lehető legalacsonyabbak legyenek.

Készítettünk két, a fő folyamatokat ábrázoló egyszerűsített ábrát, melyen a kétlépéses gyártási folyamathoz kapcsolódó operációs költségeket tüntettük fel a könnyebb érthetőség elősegítése érdekében. A 10. ábra az egyszer használatos csomagolóanyagokra vonatkozó tényezőket ismerteti, míg a 11. ábra az újrafelhasználható tárolóeszközök esetét mutatja be. Mindkét ábrán szaggatott vonallal ábrázoltuk az üres göngyölegek mozgatását, míg a felhasznált göngyölegek, illetve a késztermékek mozgatását folytonos vonallal szemléltetjük.



10. ábra: Egyszer használatos csomagolóanyag kiegészítő költségei



11. ábra: Újrafelhasználható tárolóeszköz kiegészítő költségei

4. A modellalkotás módszertana

Témánkat egy valós probléma alapján kezdtük el jobban megvizsgálni. Gyógyszeriparban való munkánk során megismerkedtünk a többlépéses gyártási folyamat alkalmazásának lehetőségével, amely az alapötletét adta a dolgozatunknak. Elkezdtünk foglalkozni a szétválasztó pont helyzetének vizsgálatával, ami egy izgalmas és számos fejlesztési lehetőséget tartalmazó problémakör. Azért különösen érdekes ez a jelenség, hiszen számos különböző iparágban lehet hasznos ennek a gyártási stratégiának a megfelelő alkalmazása, ami elősegíti a vállalatok fenntarthatóbb működését. Korábban már említettünk néhány lehetséges példát (lásd 3.2.3), azonban itt még ismertetünk két konkrétabb esetet részletesebben.

Először az egyik legszemléletesebbet mutatjuk be, amely az italiparhoz kapcsolódik. A fogyasztók igényei az utóbbi évek során nagyon széleskörűvé váltak, melyek kielégítéséhez a gyártók igyekeznek alkalmazkodni. Az üdítőitalok esetén ennek eredményeképpen egyre többféle kiszerelés jelent meg a boltok polcain, de mind ugyanazt a terméket tartalmazza. Az általunk vizsgált kétlépéses gyártási megközelítés előnyös lehet, mert magát az üdítőitalt, ami mindegyik termékvariáns esetén közös, félkésztermékként raktározzák például különböző befogadóképességű tartályok segítségével. Az eltérő kiszerelésekre vonatkozó előrejelzéseket az igények fellépéséhez közeledve tudják meghatározni, amely a hipotézisünk szerint vélhetően pontosabb, mint az egylépéses esetben és ezáltal hatékonyabb működés érhető el (lásd 3.2.1). A 12. ábra bemutatja, hogy hány különböző méretű műanyag palackba, alumínium dobozba és üvegbe kerülhet üdítőital, jelen példában a CocaCola.



12. ábra: Különböző méretű és anyagú üdítőitalos kiszerelések [18]

Második példánk a táplálékkiegészítőkhez kapcsolódik, azon belül is a fehérjeporokhoz. Ebben az esetben is igazak az előbbieken említettek, vagyis pozitív hatások érhetőek el a gyártás és a csomagolás szétválasztásával. A 13. ábra ismerteti, hogy egy adott ízű fehérjeporból hányféle választási lehetőségünk van a kiszerezésüket tekintve.



13. ábra: Táplálékkiegészítők különféle megjelenési formái [19]

Dolgozatunk elkészítéséhez egy célspecifikus szimulátort építettünk fel Microsoft Excel környezetben. Ebben egy fiktív példát vizsgáltuk meg annak érdekében, hogy a modellünk széleskörben alkalmazható legyen a paraméterek megfelelő beállítása mellett. A következőkben kifejtjük a modell felépítését és a működését.

4.1. Korlátozó feltételek és főbb paraméterek

Mivel a választott témakörünk nagy és komplex, ezért le kellett szűkítenünk, hogy milyen helyzeteket tudunk megvizsgálni jelen kutatás keretein belül, illetve bizonyos kikötéseket kellett tennünk a modell működésével kapcsolatban. Ezek azok a feltételek, amelyeket a jövőben továbblépésként fejleszteni lehet és ezáltal egy összetettebb, a valóságot jobban közelítő megoldást kaphatunk.

Feltételeztük azt, hogy az alapanyag és segédanyag raktárban a gyártáshoz szükséges anyagok korlátlanul rendelkezésünkre állnak, mellyel biztosítani tudjuk a folyamatos utánpótlást a gyártósoroknak. Jelenleg egy olyan esetet vettünk figyelembe, amely megengedi azt, hogy egy adott napon gyártott félkésztermékeket még ugyanezen a napon le is tudják csomagolni, melynek eredményeképpen késztermékeket kapunk. Folytonos igény esetét vettük figyelembe, amely azt jelenti, hogy lényegében minden egyes időperiódusra, a beállított értékek alapján generálódik vevői igény (amely bizonyos esetekben lehet nulla is, de túlnyomó többségben ez az érték nullánál nagyobb).

A gyártási és tárolási egységekre vonatkozóan két fontos szempontot kellett lehatárolnunk. Elsőnek azt, hogy a rendszerben megjelenő minden *lot* (azaz gyártási sorozat) azonos szavatossági idővel rendelkezik, továbbá, nem fordulhat elő olyan eset, hogy egy később gyártott sorozat előbb járna le egy korábban gyártottnál. A termékek felhasználása során az egy lépéses és a kétlépéses modell esetében is (az első és a második fázisban egyaránt) a

FEFO (First Expired First Out) elvet követi a modell. Másodszor, mivel a modellünk jelenlegi állapotában napi egy darab *lot* gyártására/csomagolására képes, ezért az átmeneti tárolóegységek tétel nagyságát úgy kellett meghatározni, hogy közelítőleg egy munkanap alatt lehessen feldolgozni. Ezáltal a termelési folyamatban minden nap 1-1 korábban említett sorozat megkezdésére van szükségünk. Fontos volt meggondolni azt is, hogy a szimulátorban megengedjük-e a hiányszituációk keletkezését, vagy sem. Mivel egy olyan megoldást szerettünk volna találni, amely életszerű, így a késztermékek esetében hiányt nem megengedő, míg a félkésztermékek hiányt megengedő stratégiát választottunk. Előbbi esetben tehát az igény elvész, az utóbbinál azonban ez azt jelenti, hogy a második fázis által generált kielégítetlen igények megjegyzésre kerülnek (azaz az igények nem vesznek el), majd a félkésztermék gyártás utáni újbóli rendelkezésreállítás esetén azonnal kielégítésre kerülnek (azaz megtörténik a csomagolás).

A korlátozások után a főbb paraméterek összegyűjtése következett. A kétlépéses gyártási folyamat megalkotása az általános esetből indul ki, így vannak olyan paraméterek, melyek megegyeznek. Ezt a 3. táblázat foglalja össze, melyben az egyes tényezők nevét, illetve azok mértékegységeit mutatjuk be. Ezeken kívül a kétlépéses struktúrában szükségünk van még néhány plusz tényezőre, amelyet a 4. táblázat foglal össze. A költségeket már egy előző fejezetben (3.3. fejezet) tárgyaltuk, így ezek egyik esetben sem kerülnek újból bemutatásra.

3. táblázat: Mindkét esetben alkalmazott paraméterek összefoglalása (részlet)

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
Késztermék gyártási egységmérete	PUFG	db/egység
Késztermék igény várható értéke	MREQ	egység/nap
Késztermék igény szórása	DREQ	egység/nap
Előrejelzési pontosság minimuma	FACCMIN	%
Előrejelzési pontosság maximuma	FACCMAX	%
Szavatossági idő	EPER	nap
Késztermék nyitókészlete	OSFG	egység
Késztermék biztonsági készlete	SSFG	egység
Késztermék rendelési ciklusideje	CTFG	nap
Késztermék gyártás teljesítőképessége	PPFG	egység/nap
Lejáró szavatossági idejű termékekből megsemmisítésre kerül	EXD	%
Lejáró szavatossági idejű termékekből árcsökkentett eladásra kerül	EXPR	%
Egy egység késztermék önköltsége	CPFG	Ft/egység
Egy egység késztermék árrese	MFG	Ft/egység
Egy egység késztermék eladási ára	SPFG	Ft/egység
Árcsökkentés mértéke	PR	%
Veszteség egy egység csökkentett árú készterméken	LFG	Ft/egység

4. táblázat: A kétlépéses gyártási folyamathoz tartozó paraméterek (részlet)

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
Félkésztermék gyártási egységmértéke	PUWIP	db/egység
Félkésztermék nyitókészlete	OSWIP	egység
Göngyöleg nyitókészlete	OSEM	egység
Félkésztermék maximális készlete	MAXWIP	egység
Félkésztermék rendelési ciklusideje	CTWIP	nap
Félkésztermék gyártás teljesítőképessége	PPWIP	egység/nap
Egy egység félkésztermék önköltsége	CPWIP	Ft/egység

Lejáró szavatosságú termékeket két módon vezethetünk ki a rendszerből, vagy megsemmisítjük őket, vagy árcsökkentetten eladásra kerülnek. Mivel ez a két kategória adja meg a száz százaléknyi lejáró szavatosságú termékeket, így az egyik százalékos mennyiségét a másiktól kapjuk meg az (1) összefüggés alapján.

$$(1) \quad \text{EXD} = 100 \% - \text{EXPR} \quad \text{EXPR} = 100 \% - \text{EXD}$$

Egy termék eladási árát az önköltség és az árres összegeként kapjuk meg. Mivel lesznek árcsökkentetten eladott termékek, ezért meg kell határoznunk egy százalékos értéket, amellyel redukáljuk az eladási árat. Ez minden eladott termék esetén veszteségként fogható fel, melynek meghatározását a (2) összefüggés mutatja be.

$$(2) \quad \text{LFG} = \text{SPFG} - (\text{SPFG} \cdot \text{PR})$$

4.2. Működés bemutatása

A következőkben ismertetjük a modell működését a különböző gyártási stratégiák esetében. Többek között bemutatásra kerül a diszpozíciós logika és a készletkorosítás, valamint kiemeljük a legfőbb jellemzőket.

4.2.1. Egylépéses gyártási folyamat ismertetése

Korábban bevezettük a legfontosabb paramétereket (lásd 3. táblázat), amelyek közül először az előrejelzéssel és az igényekkel kapcsolatosakkal foglalkozunk. A szimulált működési modellben a predikció a késztermék rendelési ciklusidejének (CTFG) megfelelő időtartamra készül el, ami a kereslettervezés időhorizontja (FHFG). Ehhez felhasználjuk a feltételezett pontosság előre beállított minimum (FACCMIN) és maximum (FACCMAX) értékét. Az előrejelzési folyamat modellezése „visszafelé gondolkodva” történik. A ténylegesen megjelenő igény minden időperiódusra egy normális eloszlás szerinti véletlenszám generátorral van előállítva, majd összegezve a vizsgált kereslettervezési időhorizontra, mely a kereslet várható értékétől (MREQ), illetve szórásától (DREQ) függ. Erre a tényleges igényre, egy egyenletes eloszlás szerinti véletlenszám generátor egy szimulált „pontatlanságot” állít elő, ami

hozzáadódik a tényleges igényhez, amely összeg a ciklusra szimulált előrejelzést (FORFG) adja meg. A torzítás elkerülése érdekében az alul-, valamint felülbecslés valószínűségeit egyenlőnek (50-50%) vettük a számítások során.

A késztermékekre vonatkozó gyártási rendelés feladásának szükségességét a korábban említett ciklusidő (CTFG) szerint meghatározott időközönként kell ellenőrizni (periodikus felülvizsgálat). Itt egy $[t; q^*]$ készletmodell alapú gondolkodást vezettünk be, amely egy idő vezérelt diszpozíciós stratégia. Ez azt jelenti, hogy előre meghatározott „ t ” időközönként (jelenleg CTFG) kell ellenőrizni a rendelés szükségességét, amelynek mennyisége (q^*) szabályozott. Rendelésfeladás szükségessége esetén a rendelt mennyiséget (ORDFG) az adott időperiódusban a ciklusidőre (azaz a kereslettervezési időhorizontra) becsült igények határozzák meg, ügyelve a mindenkor szükséges biztonsági készlet (OSFG) fenntartására, valamint figyelve az aktuális nyitókészlet nagyságát (QFG) [20]. Azaz a paraméterezés a következőképpen alakul:

$$(3) \quad t = \text{CTFG}; \quad q^* = \text{ORDFG}, \text{ ahol ha}$$

$$(4) \quad \text{QFG} \leq \text{FORFG} + \text{SSFG}, \text{ akkor}$$

$$(5) \quad \text{ORDFG} = \text{FORFG} + \text{SSFG} - \text{QFG}$$

Az általunk vizsgált fenntarthatósági szempontok közül a teljes áron el nem adható termékekre helyeztük a legnagyobb hangsúlyt, ezért figyelembe kellett vennünk a termékek szavatossági idejét (EPER). Emiatt kulcsfontosságú volt, hogy a modellünkben készletkorosítást valósítsunk meg azért, hogy nyomon tudjuk követni az egyes készletek életkorát. A költségtényezőknél korábban bemutatottak szerint (lásd 10. ábra) a késztermékek megsemmisítését és árcsökkentett eladását is kezeli a szimulációs modell. A lejáró készlettömegből egyszerű arányosítás segítségével határozzuk meg a két kategóriába kerülő termékek mennyiségét. Kiemelendő, hogy a teljes, szavatossági idejét elérő készlettömeg mértékével kevesebb lesz az éppen rendelkezésre álló készlet nagysága, függetlenül attól, hogy megsemmisítésre vagy csökkentett áron történő eladásra kerülnek ezek az árucikkek.

5. táblázat: Az egy lépéses gyártási folyamathoz kapcsolódó jellemzők

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
Hányszor indítunk késztermék gyártást?	NFG	sorozat
Vizsgált időszakban kezelt késztermék készlettömeg	STFG	egység·nap
Vizsgált időszakban mozgatott késztermék mennyiség	HUFG	egység
Összesített vevői igény	SCR	egység
Kiszolgált vevői igény	FCR	egység
Vevőkiszolgálási szint	CSL	%
Vizsgált időszakban előforduló késztermék készlethiány	SFG	egység
Vizsgált időszakban megsemmisített késztermék mennyiség	DFG	egység
Vizsgált időszakban csökkentett áron eladott késztermék mennyiség	PRFG	egység

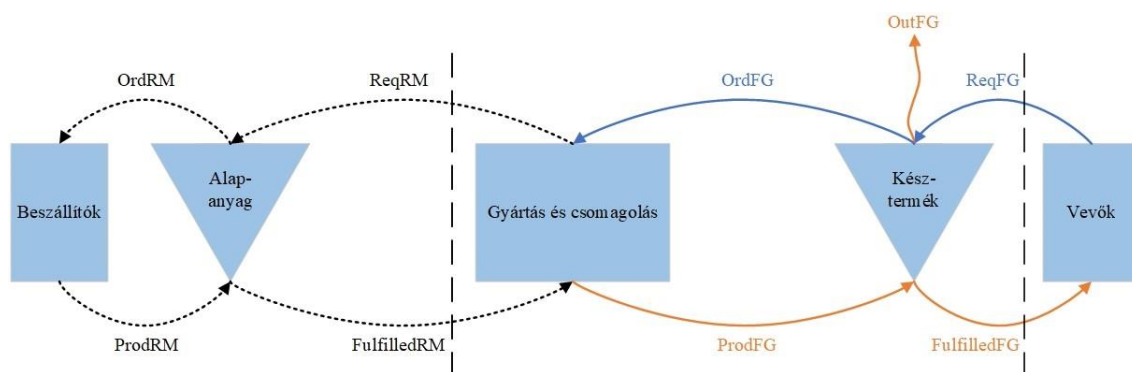
Az 5. táblázat azokat a jellemzőket foglalja össze, amelyeket azért kellett bevezetni, hogy a továbbiakban elemzéseket tudjunk végrehajtani a kapott eredményekkel.

Dolgozatunkban már többször kiemeltük, hogy a gazdaságossági szempont kritikus és ennek köszönhetően a szimulátornak is elengedhetetlen része az általunk meghatározott, relevánsnak gondolt költségtényezők meghatározása. Az 5. fejezetben ismertetjük a fontosabbak kiszámítását és elemezzük hatásaikat.

A 2. mellékletben bemutatjuk az Excelben elkészített modell egylépéses gyártási folyamathoz kapcsolódó munkalapját. A következőkben röviden bemutatjuk ebből a legfontosabbnak ítélt oszlopokat:

- **LotNrFG:** A leggyártott késztermék sorozatok közül egy VBA-ban (*Visual Basic for Applications*) készített saját függvény segítségével kiválasztja azt a következő elérhető legkisebb sorozatszámú *lot*-ot, amelyből kielégítjük a késztermékek iránti igényt. Amennyiben 0-ás érték szerepel ebben az oszlopban, akkor azt jelenti, hogy nem áll rendelkezésre olyan *lot*, amelyből tudnánk gyártani.
- **AbilityOfActualLotNrFG_pcs:** Megadja, hogy az adott időpillanatig legyártott és megkezdett *lot*-ok, összesen hány darab készterméket tartalmaznak, vagyis, hogy legfeljebb hány darabot tudtunk az igények kielégítésére felhasználni.
- **OutFromOtherLotNrFG_pcs:** Előfordulhat olyan eset, hogy egy sorozat legyártott készterméknek még azelőtt lejár a szavatossági ideje, mielőtt elkezdhetnénk belőle rendeléseket teljesíteni. Ez az oszlop azt a késztermék darabszámot tartalmazza, amelyet ily módon kell megsemmisítenünk, vagy árcsökkentetten eladnunk.
- **QFG_pcs:** A késztermékek zárókészletének darabszámát adja meg. Ezt úgy kapjuk meg, hogy az előző napi zárókészlethez hozzáadjuk az aznap gyártott késztermékek darabszámát és ebből levonjuk a kielégített igényeket és lejárt szavatosságú készleteket.

A 14. ábra bemutatja az egylépéses szimulációs modell elvi működését. Kék színű nyilakkal jelöltük az anyagigényeket, narancssárga színűekkel pedig a fizikai folyamatokat reprezentáltuk.



14. ábra: Az egylépéses modell logikai felépítése

A függőleges szaggatott vonalak segítségével lehatároljuk, hogy a rendszer mely pontjai között végzünk vizsgálatot. Az ezen kívül eső, az alapanyagok ellátáshoz kapcsolódó folyamatok, azaz az igény (ReqRM), a rendelés (OrdRM), a gyártás (ProdRM), valamint az igény teljesítése (FulfilledRM) szaggatott nyilakkal vannak jelölve, hiszen ezek nem szerepelnek a jelenlegi modellben. A belső anyagellátást a vevői igény (ReqFG) határozza meg, hiszen ez indítja el a folyamatot. A késztermék raktár a modellben alkalmazott stratégiának megfelelően rendeléseket ad le (OrdFG) a gyártásnak és csomagolásnak a vevőkiszolgáláshoz szükséges megfelelő késztermék készletszint fenntartása érdekében. A megfelelő mennyiség legyártása és lecsomagolása után a késztermékek a késztermék raktárba kerülnek (ProdFG), ahonnan a vevői rendelések teljesíthetők (FulfilledFG). Előfordulhat olyan eset, hogy a raktárban megjelennek teljes áron el nem adható késztermékek. Ezek a korábban említett két módon kezelendők, vagyis megsemmisítés vagy árcsökkentett eladás útján eltávolításra kerülnek a késztermék raktárból (OutFG).

4.2.2. Kétlépéses gyártási folyamat ismertetése

Az előzőekben többször hangsúlyoztuk, hogy a kétlépéses gyártási folyamat az egylépéses alapjaira épült, így számos közös jellemzőt tartalmaznak, amelyeket a 3. táblázat mutat be. A 4.2.1-es fejezet első bekezdésében összefoglaltak itt is érvényesek, így ezek nem kerülnek ismételt bemutatásra. Az eltérő paramétereket külön táblázatban foglaltuk össze (lásd 4. táblázat), amelyek főként a göngyölegekkel és a félkésztermékekkel kapcsolatosak, hiszen ezekkel bővítettük a kétlépéses gyártási folyamatot. A késztermékekre vonatkozó gyártási rendelések feladásának logikája a kétlépéses modellben azonos az egylépéses modellben alkalmazott logikával (lásd fentebb). Ebben az esetben azonban a félkésztermékekre vonatkozó gyártási rendelések feladását is vezérelni szükséges. A modellben ebben az esetben is egy idővezérelt diszpozíció került megvalósításra, viszont ebben az esetben egy $[t;S]$ -alapú készlet szabályozási logikát alkalmaztunk. A félkésztermék gyártási rendelés feladásának szükségességét jelen esetben is egy előre beállított ciklusidő (CTWIP) szerint meghatározott időközönként kell ellenőrizni (periodikus felülvizsgálat). Rendelésfeladás szükségessége esetén a rendelt mennyiséget (ORDWIP) az határozza meg, hogy mekkora a szintén előre beállított, a félkésztermékekre vonatkozó maximális készletszint (MAXWIP), ugyanis a cél, az erre a készletszintre való feltöltése a félkésztermék készletnek, figyelve az aktuális nyitókészlet nagyságát (QWIP). Érdemes megjegyezni, hogy ebben az esetben a biztonsági készletet egy a MAXWIP mennyiség implicit tartalmazza, az nem kerül külön beállításra [20]. Azaz a paraméterezés a következőképpen alakul:

$$(6) \quad t = \text{CTWIP}; \quad S = \text{MAXWIP}, \text{ ahol ha}$$

$$(7) \quad \text{QWIP} \leq \text{MAXWIP}, \text{ akkor}$$

$$(8) \quad \text{ORDWIP} = \text{MAXWIP} - \text{QWIP}$$

A késztermékek készletkorosításának megvalósítása ennél a gyártási folyamatnál eltérő módon történik, mivel figyelembe kell vennünk, hogy a félkésztermékek mikor gyártódnak le és melyik napon kerülnek a második fázisba. Továbbá mivel a félkésztermék raktárban is keletkezhetnek teljes áron el nem adható termékek (mielőtt a következő gyártási fázisba kerülhetnének), ezért szükséges ezekhez is életkort rendelni, hogy követhető legyen az életútjuk. A késztermékek korosítását úgy valósítottuk meg, hogy nyomon követtük, melyik félkésztermék *lot*-ból készültek el, és az így meghatározott életkort „örökli” az elkészült késztermék. Így megvalósítható egy pontos életkor nyomon követés, amely figyelembe veszi a kétlépéses gyártást.

Az egylépéses megközelítéshez hasonlóan a kétlépéses esetben is be kellett vezetni különféle jellemzőket a későbbi elemzések végrehajtása érdekében. Ezeket tartalmazza a 6. táblázat.

6. táblázat: A kétlépéses gyártási folyamathoz kapcsolódó jellemzők

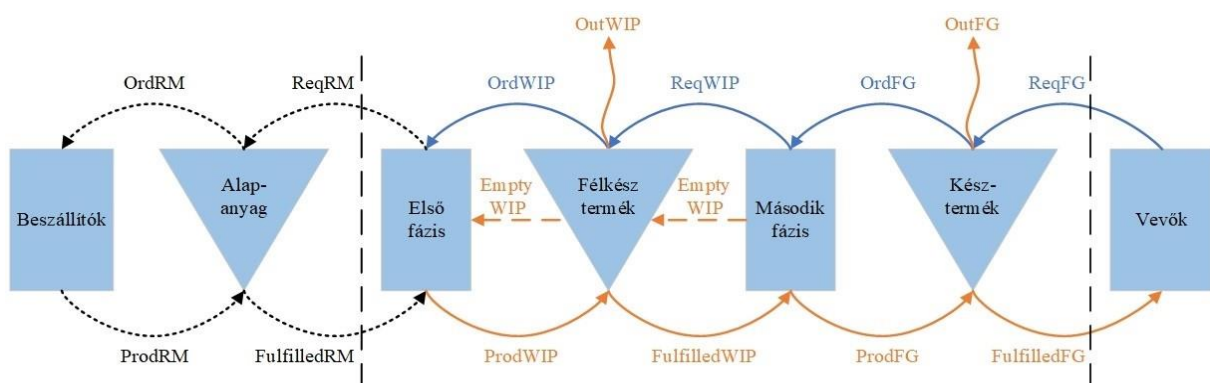
Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
Hányszor indítunk első fázist?	NWIP	sorozat
Hányszor indítunk második fázist?	NFG	sorozat
Vizsgált időszakban kezelt félkésztermék készlettömeg	STWIP	egység·nap
Vizsgált időszakban kezelt késztermék készlettömeg	STFG	egység·nap
Vizsgált időszakban kezelt göngyöleg készlettömeg	STEM	egység·nap
Vizsgált időszakban mozgatott félkésztermék mennyiség	HUWIP	egység
Vizsgált időszakban mozgatott göngyöleg mennyiség	HUEM	egység
Vizsgált időszakban előkészítendő göngyöleg mennyiség	PREM	egység
Első fázis leállások száma	STOP	alkalom
Vizsgált időszakban megsemmisített félkésztermék mennyiség	DWIP	egység
Vizsgált időszakban mozgatott késztermék mennyiség	HUFG	egység
Összesített késztermék termelési igény	SPR	egység
Kiszolgált késztermék termelési igény	FPR	egység
Termelés kiszolgálási szint	PSL	%
Összesített vevői igény	SCR	egység
Kiszolgált vevői igény	FCR	egység
Vevő kiszolgálási szint	CSL	%
Vizsgált időszakban előforduló késztermék készlethiány	SFG	egység
Vizsgált időszakban megsemmisített késztermék mennyiség	DFG	egység
Vizsgált időszakban csökkentett áron eladott késztermék mennyiség	PRFG	egység

A 3. melléklet tartalmazza az Excelben készített modell azon munkalapját, amely a kétlépéses gyártási folyamathoz kapcsolódik. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk azokat az oszlopokat, amelyeket a legfontosabbnak ítéltünk, és amelyek újdonságként jelennek meg a kétlépéses folyamat működésében:

- **ReqWIP_un:** Megadja, hogy hány egység átmeneti tárolóegységre van szükség a napi gyártáshoz, vagyis, hogy mennyit kell megbontani az igények kielégítéséhez.

- **AgeOfLotNrWIP:** A késztermékek gyártáshoz aktuálisan használt, megkezdett félkésztermékeket tartalmazó *lot* életkorát adja meg.
- **QRestWIP_pcs:** Azt mutatja meg, hogy egy termelésben maradó, megbontott átmeneti tárolóegységben hány darab félkésztermék található, amelyből a következő napon el lehet kezdeni a gyártást.
- **EmptyWIP_un:** Az adott nap kiüresedő göngyölegek darabszámát adja meg, amely bekövetkezhet egyrészt amiatt, hogy felhasználják a második fázisnál, másrészt amiatt, hogy a lejáró szavatossági idejű félkésztermékeket ki kell üríteni belőle.

A 15. ábra ismerteti a kétlépéses szimulációs modell elvi működését. Az előző esethez hasonlóan itt is a vevői igény (ReqFG) határozza meg a belső anyagellátást. A modellben definiált készletszabályozási stratégiának megfelelően a késztermék raktár rendeléseket ad le a második gyártási fázis számára (OrdFG) a vevőkiszolgáláshoz szükséges megfelelő késztermék készletszint fenntartása érdekében. A második gyártási fázis a gyártási feladatok végrehajtásához szükséges anyagigényeket (ReqWIP) a félkésztermék raktár irányába továbbítja. A félkésztermék a modellben alkalmazott készletszabályozási stratégiának megfelelően raktár rendeléseket ad le az első gyártási fázis számára (OrdWIP) a második gyártási fázis kiszolgáláshoz szükséges megfelelő félkésztermék készletszint fenntartása érdekében. A belső ellátási láncban az anyagigények kielégítése során az első gyártási fázis a félkésztermék raktár számára szükséges félkésztermék mennyiségeket (ProdWIP) legyártja, mindeközben a félkésztermék raktár kielégíti a második gyártási fázis félkésztermék igényeit (FulfilledWIP), továbbá a második fázis legyártja a késztermék raktár számára szükséges késztermékeket (ProdFG), amely kiszolgálja a késztermékekre felmerülő vevői igényeket (Fulfilled FG). A második fázisban a késztermékek gyártása során kiürülnek az átmeneti tárolásra alkalmazott csomagolószerkezetek (göngyölegek), amelyek a félkésztermék raktáron keresztül az előírásoknak megfelelő tisztítás és átmeneti tárolás után az első gyártási fázisba visszakerülnek (EmptyWIP). A kétlépéses gyártási folyamatban két ponton, a félkész-, illetve késztermék raktárban keletkezhet teljes áron el nem adható termék. Előbbinél csak a megsemmisítés lehet opció (OutWIP), utóbbinál viszont megjelenhet emellett a csökkentett áron történő értékesítés is (OutFG).



15. ábra: A kétlépéses modell logikai felépítése

5. Kísérletezés

A modell bemutatása után a felhasználásával kapott eredményeinket foglaljuk össze jelen fejezetben. Különböző paraméterek mellett több kísérletet is végeztünk, ezáltal eltérő helyzetekben és állapotokban figyeltük meg a költségkomponensek, az összköltség és a vevőkiszolgálási szint alakulását. A két gyártási folyamat külön-külön történő elemzése után összehasonlításokat hajtottunk végre, ahol egymáshoz viszonyítva elemeztük a különböző helyzetekben kapott eredményeket.

5.1. Alkalmazott paraméterek

A kísérletek elvégzéséhez szükség van arra, hogy a meghatározott paraméterekhez értékek legyenek rendelve. Korábban említést tettünk (lásd 3. táblázat) a mindkét esetben alkalmazott paraméterekről, amelyeknél kiemelendő, hogy azonosan kell ezeket beállítani a két stratégia megfelelő összehasonlítása érdekében. Ezek közül a fontosabbakat a következő felsorolás tartalmazza:

- Szavatossági idő (EPER): 20 nap
- Késztermék gyártási egységmérete (PUFG): $25 \frac{\text{db}}{\text{egység}}$
- Késztermék igény várható értéke (MREQ): $5 \frac{\text{egység}}{\text{nap}}$
- Késztermék igény szórása (DREQ): $3 \frac{\text{egység}}{\text{nap}}$
- Egy egység késztermék önköltsége (CPFG): $1200 \frac{\text{Ft}}{\text{egység}}$
- Egy egység késztermék árrese (MFG): $300 \frac{\text{Ft}}{\text{egység}}$
- Árcsökkenés mértéke (PR): 60%
- Késztermék nyitókészlete (OSFG): 5 egység
- Késztermék biztonsági készlete (SSFG): 7 egység

Külön említjük a késztermék biztonsági készletének (SSFG) és a késztermék rendelési ciklusidejének (CTFG) beállítását. Mindkét paraméterre igaz, hogy az általunk választott módszerektől eltérően is meghatározhatóak, ezáltal eltérő helyzetek idézhetőek elő az általunk bemutatottaktól. Előbbinél a biztonsági készlet meghatározásához használt „általános” (a folyamatok normalitását feltételező) összefüggés segítségével kapott becslést alkalmaztuk, utóbbinál pedig egy „határérték” kiszámítása mellett döntöttük, és ebben a határhelyzetben vizsgáltuk a modell működését. Ezt az értéket a késztermék gyártási teljesítőképességnek (PPFG) és az igény várható értékének (MREQ) hányadosából számítottuk ki.

A 7. táblázat azokat a paraméterek tartalmazza, amelyek mindkét esetben előfordulnak, azonban eltérő értékekkel.

7. táblázat: Az eltérő értékkel rendelkező jellemzők

Stratégia/ Paraméterek	FACCMIN [%]	FACCMAX [%]	CTFG [nap]	PPFG [egység/nap]
Egylépéses	55	65	15	72
Kétlépéses	80	90	20	96

A kétlépéses gyártási folyamat teljesítőképességet (PPFG2) napi 96 egységre állítottuk be, amely mindkét, párhuzamosan működtethető fázisára érvényes. Az egylépéses folyamatban azonban a két gyártási fázis egymással sorba van kapcsolva, amelynek a teljesítőképessége a tapasztalatok alapján általában kisebb annál, mint amikor a két gyártási fázis egymástól függetlenül, párhuzamosan működtethető, mivel ez jellemzően egy lényegesen rugalmatlanabb megoldás. A soros kapcsolású felépítés miatt a hibák okozta állásidők hosszabbak lehetnek, illetve az egyes fázisok kiszolgálása is sok esetben nehezebben szervezhető, hiszen az egyes fázisok egymással kapcsolatban állnak, így egymásra vannak utalva, és függőségek keletkeznek a termelési rendszerben. Ezek alapján jelenlegi vizsgálatunkban kezdetben úgy állítottuk be az egylépéses gyártás teljesítőképességét (PPFG1), hogy 25%-kal kevesebb készterméket tudjon előállítani naponta, mint a kétlépéses folyamat. Később érdekes lehet ennek a paraméternek a változtatása, és annak vizsgálata, hogy ez miként hat a termelési rendszer működésére.

A kétlépéses esetben vannak olyan kiegészítő paraméterek, amelyek az egylépéses folyamatnál nem jelentek meg, ezeket tartalmazza a 8. táblázat. A 4. melléklet pedig tartalmazza mindkét esetre vonatkozóan az összes felhasznált paraméter értékét.

8. táblázat: A kétlépéses folyamatra jellemző kiegészítő paraméterek értékei

Stratégia/ Paraméterek	PUWIP [db/egység]	OSWIP [egység]	MAXWIP [egység]	CTWIP [nap]	CTFG [nap]
Kétlépéses	80	90	5	7	20

5.2. Eredmények

A paraméterek értékeinek beállítása után kísérletek elvégzésére volt szükségünk a termelési rendszer működésének vizsgálata érdekében, amelyek gyors és hatékony végrehajtásához Excel makrókat alkalmaztunk. Először 20 darab szimulációs futtatás eredményéből mentettük ki a költségkomponensek és a vevőkiszolgálási szintek értékét és végeztünk ezek alapján bizonyos jellemzőkön elemzéseket. A számítások alapján meghatároztuk a szükséges mérésszámot az egyes jellemzőkhöz a (9) összefüggés alapján. Ehhez szükség volt az elvárt megbízhatóságra ($REL = 95\%$), a Student-eloszlás inverz értékére (t), az adatsor szórására ($D(T)$), a megengedett statisztikai hibára ($\varepsilon = 10\%$) és az adatsor várható értékére ($M(T)$).

$$(9) \quad N = \left\lceil \frac{t_{\alpha, n-1} \cdot D(T)}{\varepsilon \cdot M(T)} \right\rceil$$

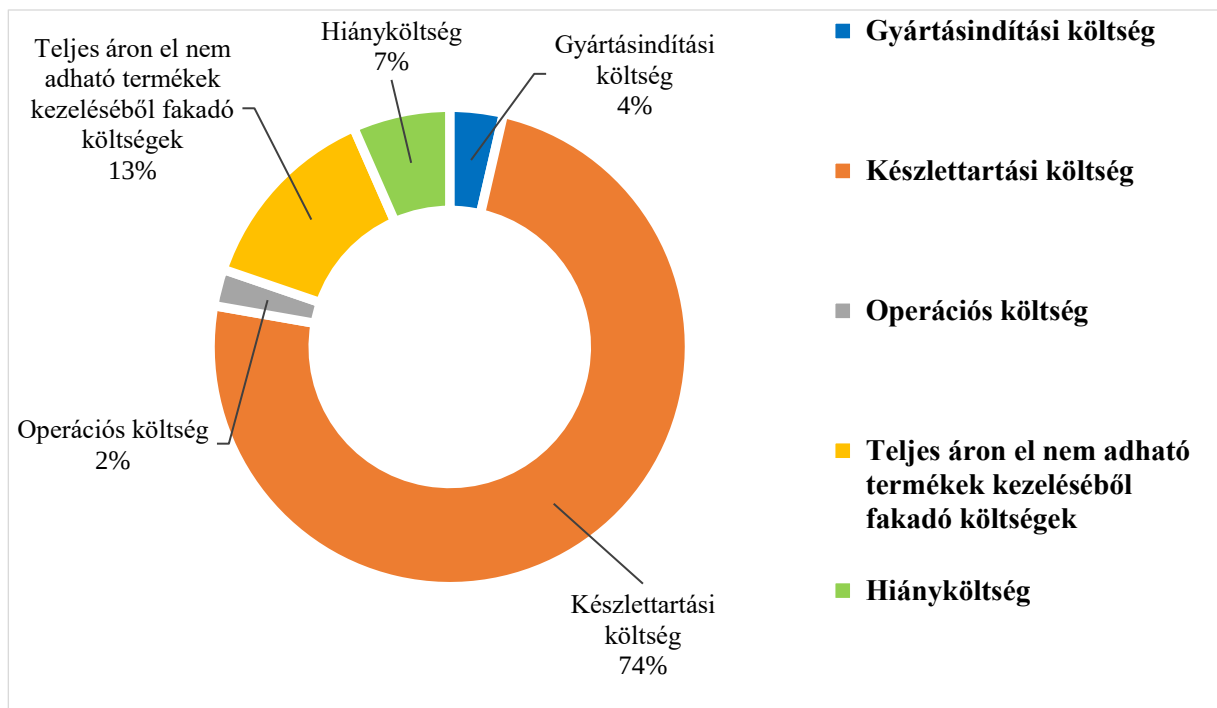
Az egylépéses esetenél 9 darab, míg a többlelépéses esetenél 11 darab jellemzőt vizsgáltunk meg (lásd 5. melléklet), melyek közül 8 esetben kaptunk 20-nál nagyobb szükséges mérésszámot. Megnövelve a futtatások számát 30-ra ismét megvizsgáltuk a szükséges mérésszámot, ekkor már csak 4 esetben volt szükség még több mérésre. Ezek mind olyan költségtényezők voltak, amelyek a többlelépéses gyártási folyamatban szerepelnek és elhanyagolható mértékben befolyásolják az összköltséget, mivel ezen 4 érték összege az összköltség körülbelül 3%-át jelenti. Emiatt elfogadjuk, hogy 95%-os megbízhatóságot és 10%-os statisztikai hibát feltételezve elegendő 30 darab kísérletet végeznünk. A szimulációs futtatási eredmények vizsgálatára felépített munkalapot a 7. melléklet tartalmazza.

5.2.1. Az egylépéses stratégiához tartozó kísérletek eredményei

A 30 darab szimuláció elvégzése, illetve az eredmények kimentése után táblázatokat és diagramokat készítettünk a kapott eredmények feldolgozásához. Az adatok diagramokon történő megjelenítése rendkívül előnyös, mert a vizualizáció segítségével érthetőbbé és áttekinthetőbbé válnak a komplex összefüggések és tendenciák. Gyorsabban észrevehetőek olyan jelenségek is, melyeket csupán a számok alapján nem könnyű felismerni.

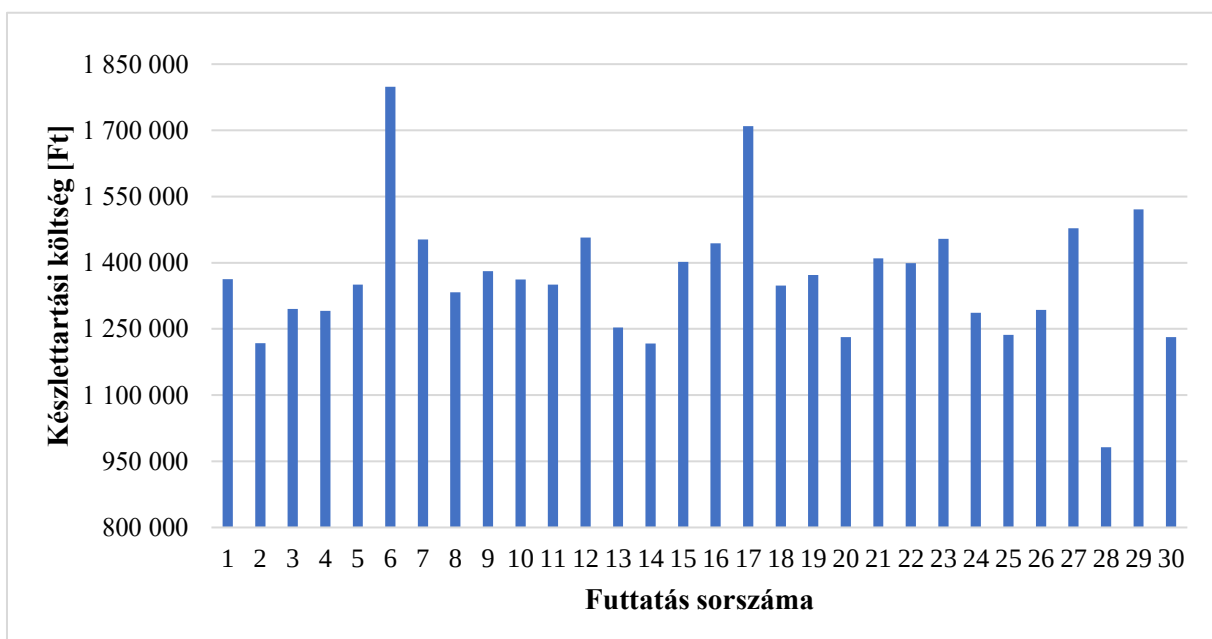
Korábban már hivatkoztunk a vizsgált statisztikai mutatószámokat tartalmazó táblázatra, amelyet az 5. melléklet mutat be. Ebben meghatároztunk alapvető statisztikai jellemzőket (például minimum, maximum, átlag), valamint az egyes jellemzőkhöz tartozó szükséges mérésszámot és elért megbízhatóságot a korábbiakban említettek szerint (lásd 5.2-es fejezet bevezetése). Továbbá kiszámítottuk a konfidenciaintervallum alsó és felső határértékét 95%-os megbízhatóságot figyelembevéve, amely megadja, hogy az adott vizsgált jellemző várható értéke milyen korlátok közé fog esni.

A percediagram (vagy gyűrűdiagram) kiváló eszköz az összköltséget alkotó komponensek megjelenítésére, mivel egyszerűen és jól áttekinthetően szemlélteti az egyes elemek arányát a teljes költségen belül, így gyorsan érthetővé válik annak felépítése. A 16. ábra egy kísérlet konkrét eredményét mutatja be, azonban a megjelenített arányok a további szimulációs futtatások esetében is ehhez hasonlóan alakulnak. Látható, hogy a legjelentősebb költségkomponens a készlettartási költség, illetve az általunk a kezdetektől fogva fontosnak ítélt teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség, ami a második legnagyobb részesedéssel bír.



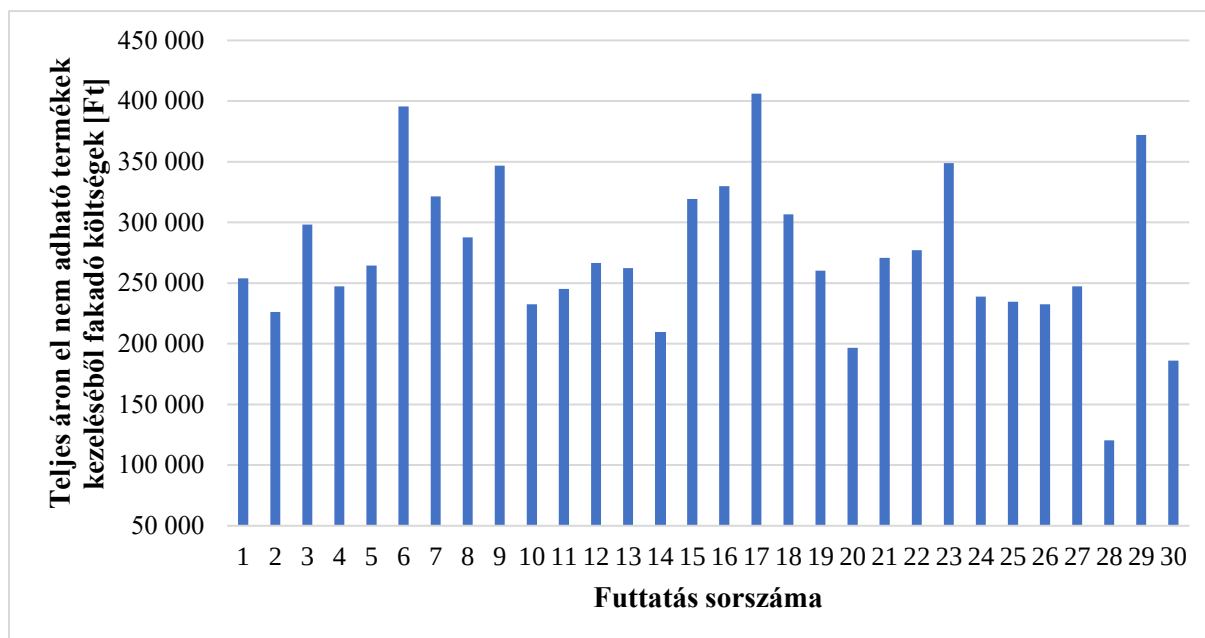
16. ábra: Az egylépéses stratégia összköltség komponenseinek aránya egy futtatás alapján

Az összköltség összetételének elemzése után az ezt felépítő költségkomponensekkel foglalkozunk. Kíváncsiak voltunk ezek hogyan változnak az egyes futtatások alkalmával, van-e olyan, mikor kiugróan magas vagy alacsony értékeket kapunk. Két paramétert emeltünk ki, melyek közül a készlettartási költség, amely változékony, és nagyban meghatározza az összköltség értékét. A 17. ábra mutatja be a különböző szimulációs futtatások során kapott készlettartási költségeket.



17. ábra: A készlettartási költség alakulása a szimulációs futtatások során egylépéses gyártási folyamat esetében

A másik vizsgált elem a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség, mely fontosságát és befolyásoló hatását többször is kiemeltünk dolgozatunk során. A 18. ábra szemlélteti, hogy ezen tényező is ingadozó és jelentős hatással van az összköltségre, mivel értéke viszonylag magas. A többi költségkomponensből készített oszlopdiagramokat a 7. melléklet tartalmazza.



18. ábra: A teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség alakulása a szimulációs futtatások során egy lépéses folyamat

Az összköltségek (TCFG) látványos szemléltetésének egyik eszköze a hisztogram, amely számos előnnyel jár, különösen az eloszlás jellegének és a gyakorisági mintázatoknak a megértésében. Elkészítéséhez az első szükséges lépés az osztályközök számának (k) meghatározása, melyet két tanult módszer felhasználásával számítunk ki. Elsőként a gyök-módszert alkalmazzuk, amelynél ezt a számot a (10) összefüggés segítségével kapjuk meg, ahol „ n ” a vizsgált minta nagyságát jelöli ($n=30$ kísérlet).

$$(10) \quad k_{\text{gyök}} = \sqrt{n} = \sqrt{30} = 5,48$$

Másodikként a Sturge-módszert használjuk, melynél az osztályközök számának meghatározása a (11) képlet alapján történik.

$$(11) \quad k_{\text{Sturge}} = 1 + \log_2 n = 1 + \log_2 30 = 5,91$$

A „ k ” értékének meghatározásához a két kapott érték számtani közepét ($\text{AVG}[k_{\text{gyök}}; k_{\text{Sturge}}]$) vettük, melyet felfelé kerekítettünk és így azt az eredményt kaptuk, hogy 6 darab osztályközre van szükségünk. Ezt követően kiszámításra kerültek az osztályközök szélességei (h) az egyes módszerekhez kapcsolódóan, amelyet a (12) és (13) számítások ismertetnek.

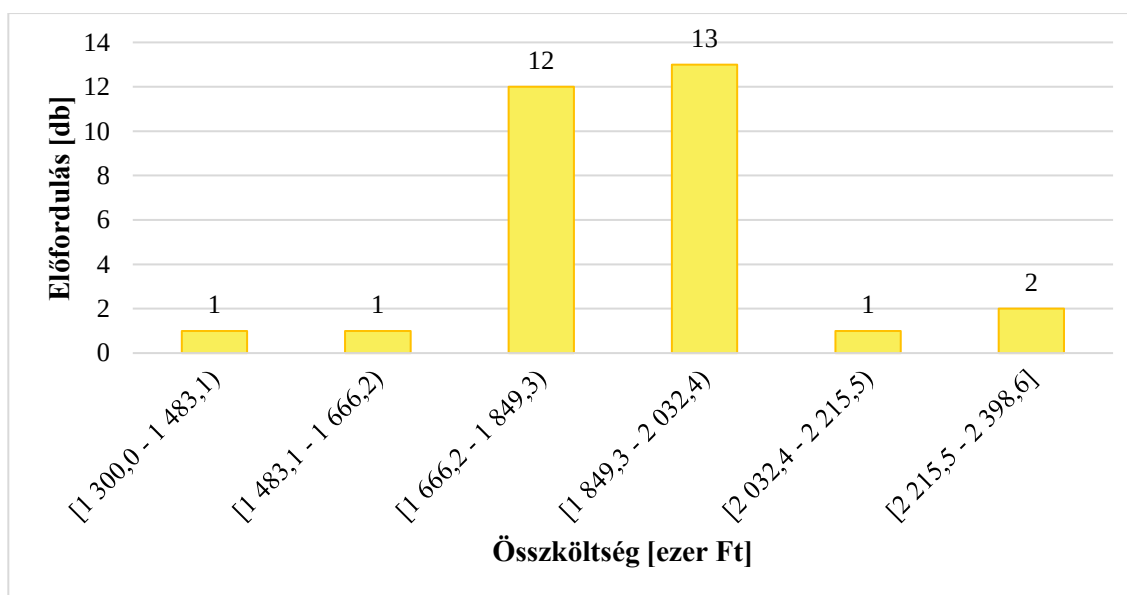
$$(12) \quad h_{\text{gyök}} = \frac{\text{TCFG}_{\text{max}} - \text{TCFG}_{\text{min}}}{k_{\text{gyök}}} = \frac{998\,746 \text{ Ft}}{5} = 199\,749 \text{ Ft}$$

$$(13) \quad h_{\text{Sturge}} = \frac{\text{TCFG}_{\text{max}} - \text{TCFG}_{\text{min}}}{k_{\text{Sturge}}} = \frac{998\,746 \text{ Ft}}{6} = 166\,458 \text{ Ft}$$

Itt ugyancsak a két érték átlagát ($\text{AVG}[h_{\text{gyök}}; h_{\text{Sturge}}]$) vettük, mely 183 104 Ft lett. Végül megkaptuk az intervallumokat és az egyes gyakoriságokat. Az osztályközök tartományait, illetve a hozzájuk tartozó előfordulásokat, melyet a 9. táblázat mutat be, a 19. ábra pedig az elkészített hisztogramot ábrázolja.

9. táblázat: Osztályközök, előfordulások az egylépéses esetben

Alsó határ [ezer Ft]	Felső határ [ezer Ft]	Osztályköz tartomány	Előfordulás [db]
1 300,0	1 483,1	[1 300,0 - 1 483,1)	1
1 483,1	1 666,2	[1 483,1 - 1 666,2)	1
1 666,2	1 849,3	[1 666,2 - 1 849,3)	12
1 849,3	2 032,4	[1 849,3 - 2 032,4)	13
2 032,4	2 215,5	[2 032,4 - 2 215,5)	1
2 215,5	2 398,6	[2 215,5 - 2 398,6]	2



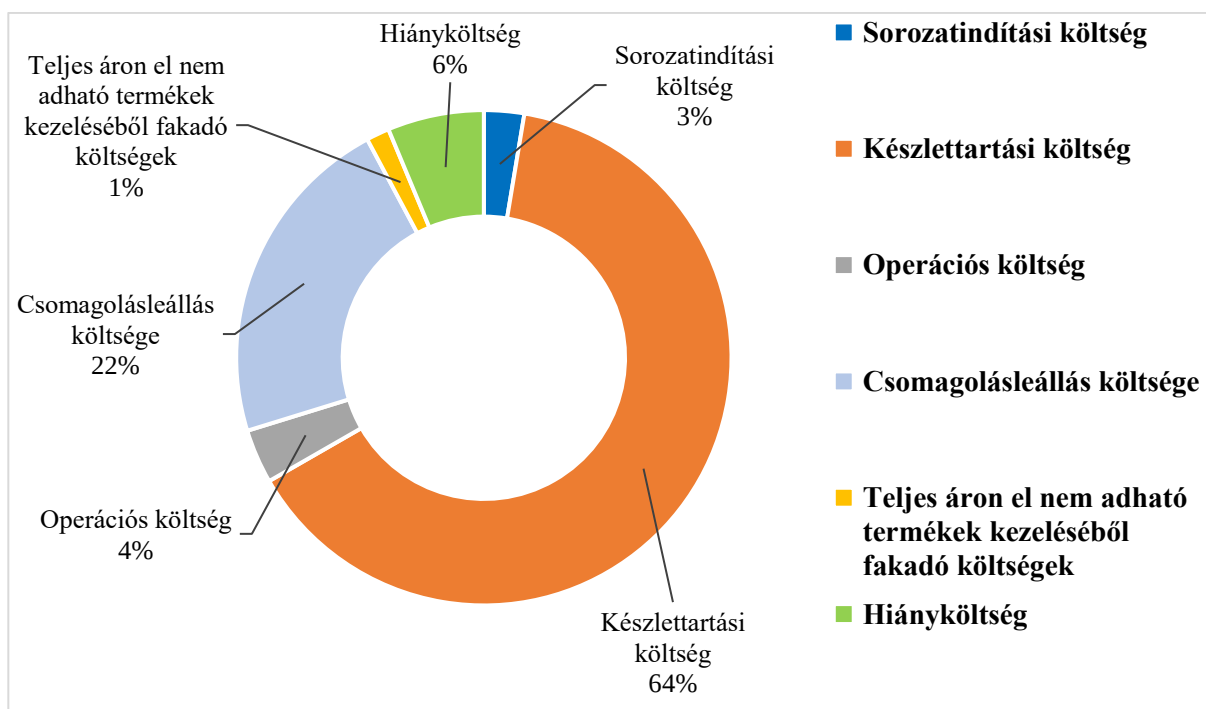
19. ábra: Az összköltség értékeinek gyakoriságai egylépéses gyártási folyamat esetén

A hisztogram értékeléséhez megvizsgáltuk a ferdeségét, illetve a csúcsosságát. Az eloszlás ferdesége 0,4584, eszerint a szimmetrikushoz képest balra ferde a vizsgált valószínűségi változó eloszlásának sűrűségfüggvénye. Az eloszlás csúcsossága 2,0790, amiből az következik, hogy az eloszlás sűrűségfüggvénye csúcsosabb, mint a normális eloszlás haranggörbe-szerű sűrűségfüggvénye. [21]

5.2.2. A kétlépéses stratégiához tartozó kísérletek eredményei

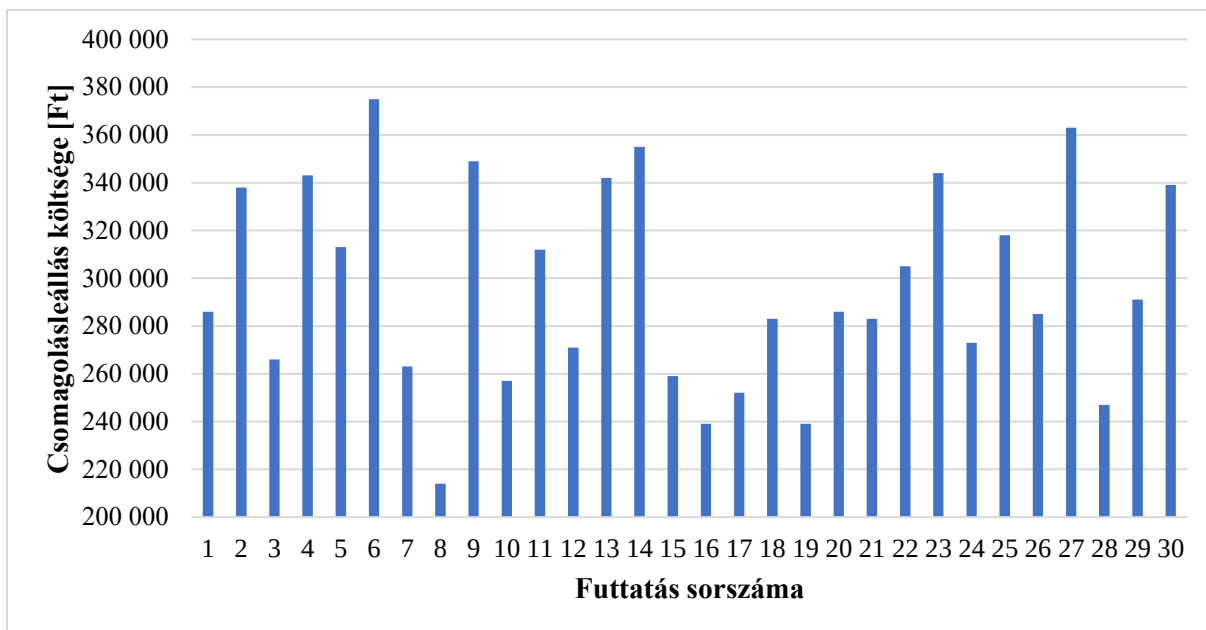
Ahogy az egylépéses stratégia esetén is megtettük, úgy itt is készítettünk diagramokat, melyek segítenek a kapott értékek feldolgozásában, valamint a különféle előforduló jelenségek megfigyelésében. Az ebben az esetben kapott statisztikai mutatószámokat szintén az 5. melléklet tartalmazza, melyet az 5.2.1-es fejezet második bekezdése foglal össze.

A 20. ábra az összköltség komponenseinek arányát jelenítettük meg, ismét egy percediagram segítségével. Ebben az esetben vannak elnevezésbeli különbségek (gyártásindítási költség helyett ebben az esetben sorozatindítási költségről beszélünk), illetve van egy plusz tényező is. Ez a csomagolásleállás költsége, mely csak a kétlépéses gyártási folyamat esetén jelenik meg és látható, hogy ez az érték a második legnagyobb részesedéssel bír. Jelentős különbséget tapasztalhatunk a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség, mely ebben az esetben csak 1%, azonban az egylépéses esetben összköltség 13%-át adta.



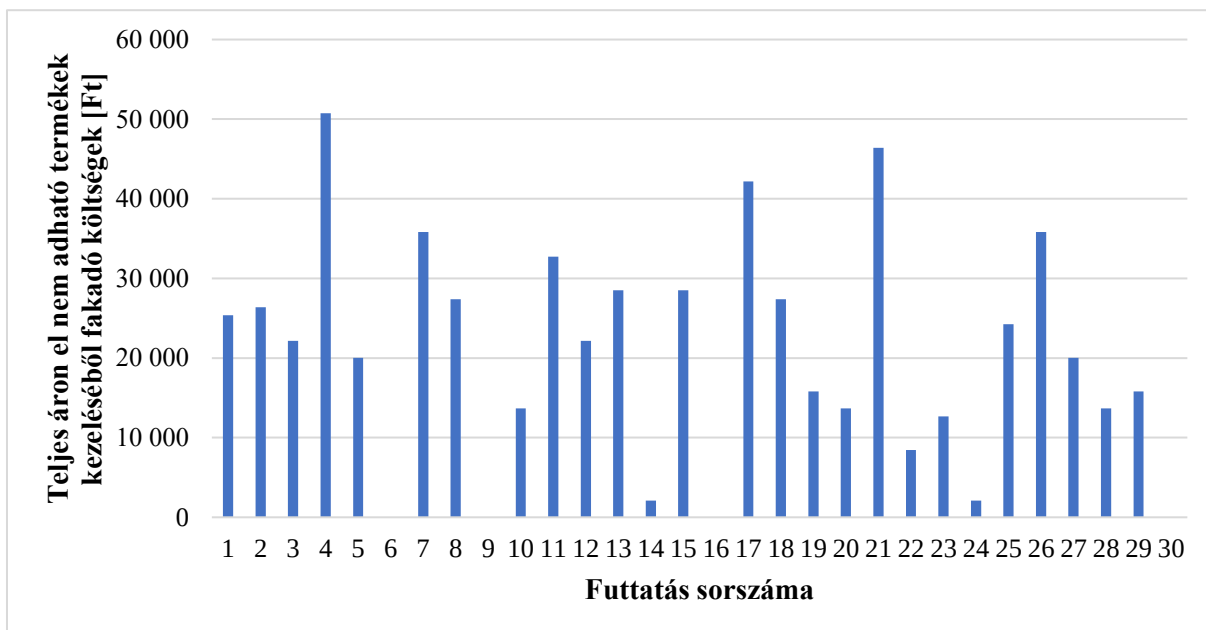
20. ábra: A kétlépéses stratégia összköltség komponenseinek aránya egy futtatás alapján

Az összköltség összetételének elemzése után – az előzőekhez hasonlóan – itt is a legérdekesebb vélt költségkomponensek alakulását emeljük ki. A készlettartási költség továbbra is változékonyságot mutatott és jellegében hasonló, mint a 17. ábra. A csomagolásleállás költségének alakulását a 21. ábra mutatja be, amelyen látható, hogy ezen tényező nagy szórással rendelkezik, illetve, hogy értéke nem elhanyagolható.



21. ábra: A csomagolásleállítás költség alakulása a szimulációs futtatások során egylépéses folyamat

A 22. ábra a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költségeket szemlélteti, amely számunkra meghatározó. Látható, hogy itt a maximum érték körülbelül 50 000 Ft, míg az egylépéses esetben a minimum érték is meghaladja a 100 000 Ft-ot, tehát jelentős csökkenést lehet megfigyelni. Kiemelendő, hogy bizonyos esetekben az is előfordul, hogy ez a költség nullás értéket vesz fel, ami azt jelenti, hogy az adott időszakban nem jelent meg lejáráó félkész vagy késztermék a rendszerben. A további komponensek diagramjai a 8. mellékletben található.



22. ábra: A teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség alakulása a szimulációs futtatások során kétlépéses folyamat

Ebben az esetben is készítünk egy hisztogramot az összköltségek (TCWIP) megoszlásának bemutatására, amelynek menetét már korábban bemutattuk (lásd 5.2.1). Mivel az osztályközök számának meghatározása kizárólag a mérések számától függ, mely ebben az esetben is 30, így végeredményként ugyanazt kapjuk, hogy 6 darab osztályközre van szükségünk. Ezután meghatároztuk az osztályközök szélességét, amely eltérő lesz a kétlépéses gyártási folyamat esetén a terjedelem változása miatt. A számításokat a (14) és (15) összefüggések ismertetik.

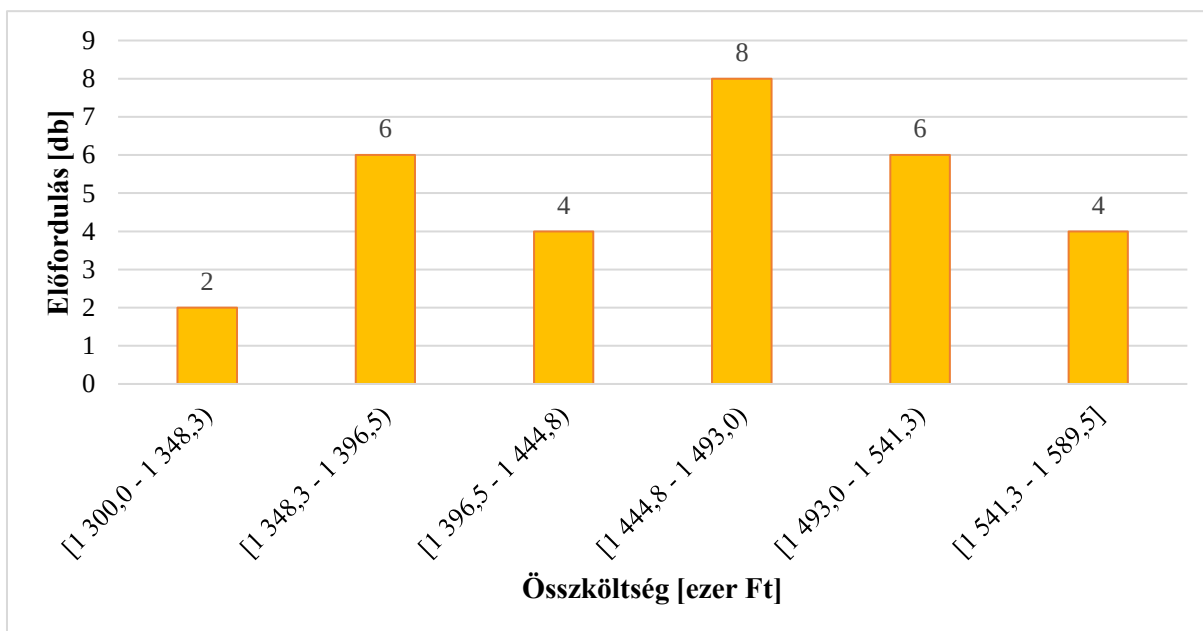
$$(14) \quad h_{\text{gyök}} = \frac{\text{TCWIP}_{\text{max}} - \text{TCWIP}_{\text{min}}}{k_{\text{gyök}}} = \frac{263\,181 \text{ Ft}}{5} = 52\,636 \text{ Ft}$$

$$(15) \quad h_{\text{Sturge}} = \frac{\text{TCWIP}_{\text{max}} - \text{TCWIP}_{\text{min}}}{k_{\text{Sturge}}} = \frac{263\,181 \text{ Ft}}{6} = 43\,863 \text{ Ft}$$

Ismételten a két érték számtani közepét ($\text{AVG}[h_{\text{gyök}}; h_{\text{Sturge}}]$) vettük, amely 48 250 Ft lett. Az osztályközök tartományait, valamint a hozzájuk tartozó előfordulásokat a 10. táblázat mutatja be, míg a 23. ábra az elkészített hisztogramot szemlélteti.

10. táblázat: Osztályközök, előfordulások a többlépéses esetben

Alsó határ [ezer Ft]	Felső határ [ezer Ft]	Osztályköz tartomány	Előfordulás [db]
1 300,0	1 348,3	[1 300,0 - 1 348,3)	2
1 348,3	1 396,5	[1 348,3 - 1 396,5)	6
1 396,5	1 444,8	[1 396,5 - 1 444,8)	4
1 444,8	1 493,0	[1 444,8 - 1 493,0)	8
1 493,0	1 541,3	[1 493,0 - 1 541,3)	6
1 541,3	1 589,5	[1 541,3 - 1 589,5]	4

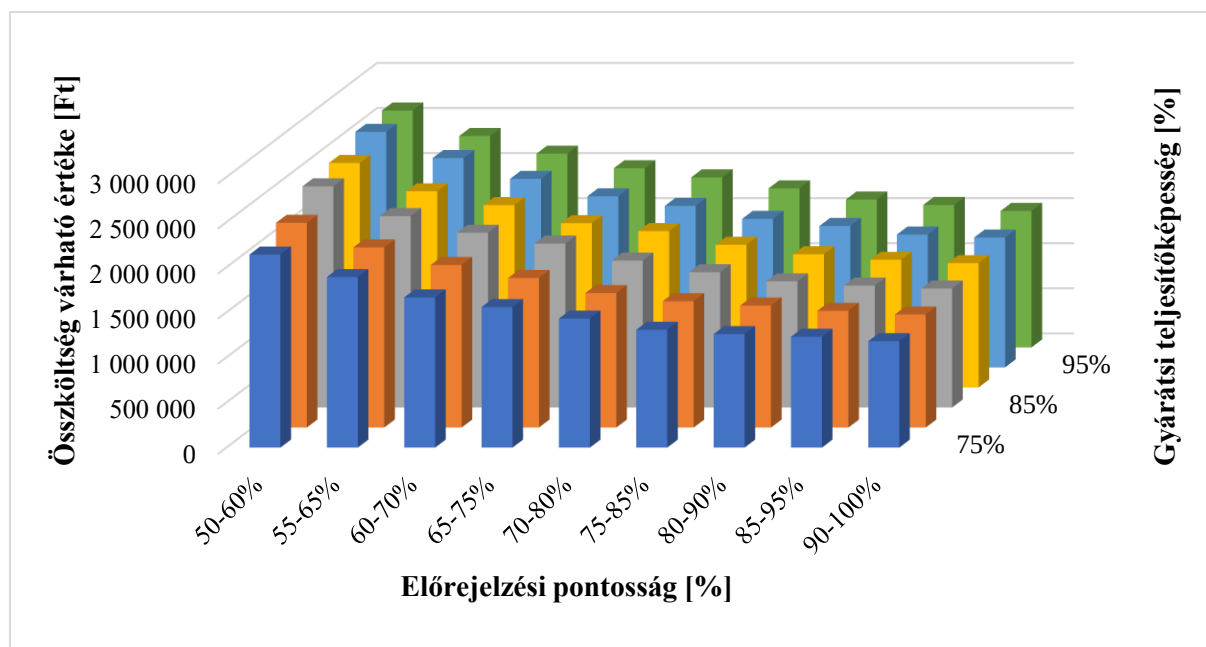


23. ábra: Az összköltség értékeinek gyakoriságai kétlépéses gyártási folyamat esetén

A hisztogram értékelését a 5.2.1.-ben már bemutatott módon hajtjuk végre. Az eloszlás ferdesége -0,2008, ami azt jelenti, hogy a szimmetrikushoz képest jobbra ferde a vizsgált valószínűségi változó eloszlásának sűrűségfüggvénye. Az eloszlás csúcsossága -0,8985, amiből az következik, hogy az eloszlás sűrűségfüggvénye laposabb, mint a normális eloszlás haranggörbe-szerű sűrűségfüggvénye. [21]

5.2.3. A kétféle megközelítés összehasonlítása

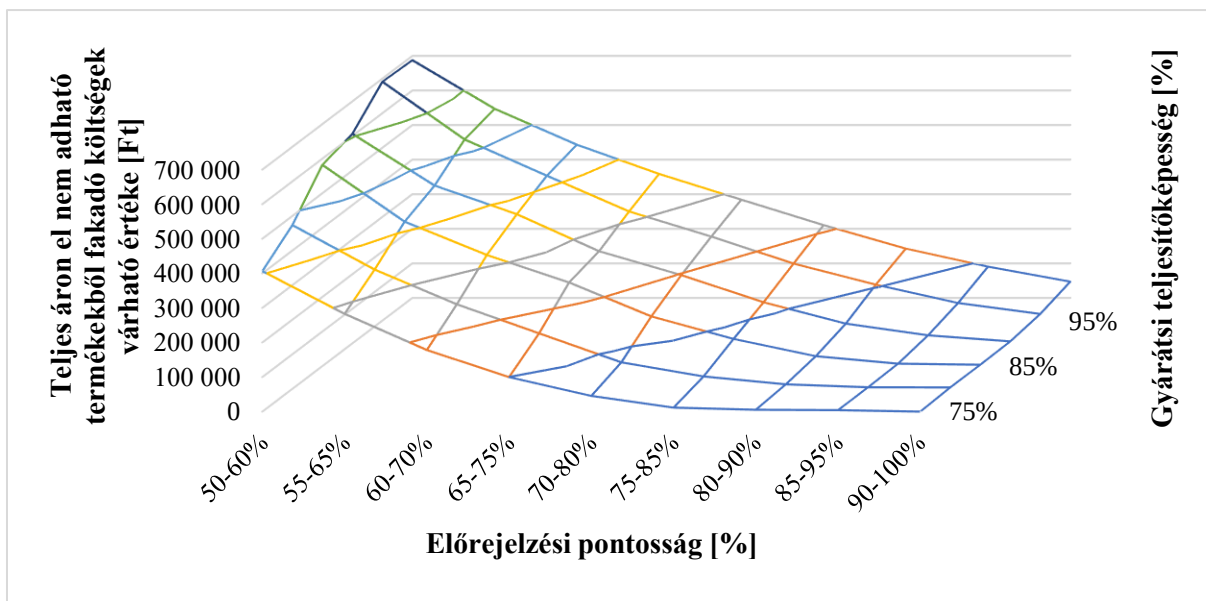
A megfelelő mintaszámú kísérletek elvégzése során azonosítottuk azokat a kulcsparamétereket, amelyek a legjobban befolyásolják az eredményeket. Az egyik ilyen kulcsparaméter az előrejelzés pontossága (FACCMIN, FACCMAK) volt, a másik pedig a gyártási teljesítőképességek értékei (PPFG1, PPFG2). A kísérleteinket úgy végeztük el, hogy az előrejelzési pontosságot 10%-os terjedelemben adtuk meg, melynek legalacsonyabb szintje az 50-60% közötti érték volt és ezeket 5%-os lépésekben növeltük 90-100%-os tartományig. Ezen kívül a második kulcsparaméter esetében a korábban meghatározott (lásd 5.1) minimum szintről indultunk és ezt szintén 5%-os lépésekkel emeltük a kétlépéses teljesítőképesség kezdetben meghatározott értékéig (PPFG2). Mindkét esetben, minden lehetséges párosítást megvizsgálva megfigyeltük, hogy a kulcsparaméterek eltérő értékei milyen változásokat idéznek elő a különböző vizsgált tényezőkben. Ezekből a legjelentősebbeket mutatjuk be a következőkben, a többi elkészített diagramot a 9. és 10. mellékletek tartalmazzák.



24. ábra: Az egylépéses gyártás esetén az összköltség várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében

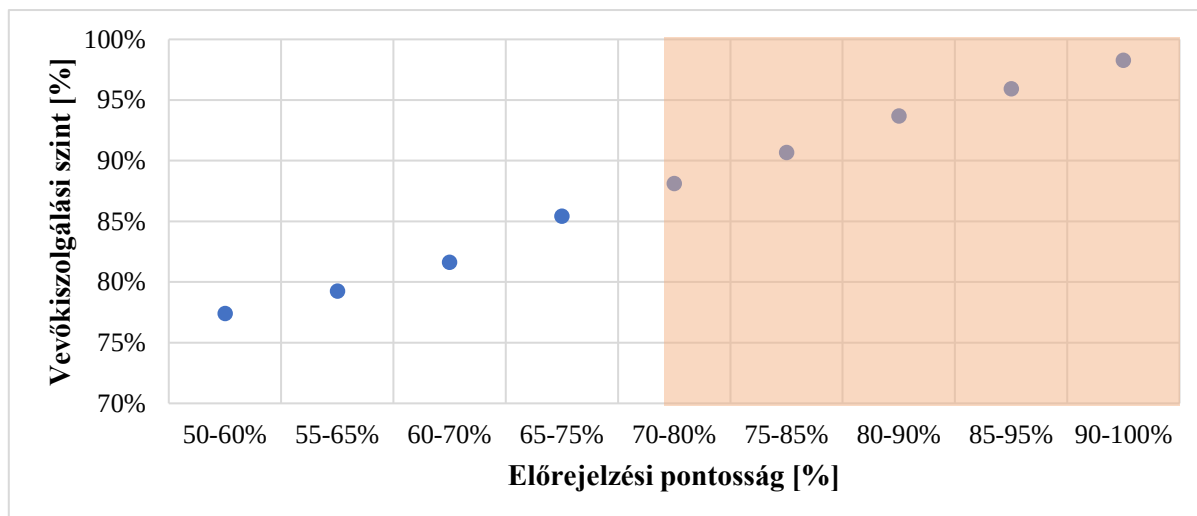
A 24. ábra az összköltség várható értékének alakulását szemlélteti a fent említett tényezők függvényében. Jól látható, hogy minél pontosabb előrejelzést tudunk adni a késztermékre, annál alacsonyabb lesz ennek értéke. A futtatási eredményekből az látszik, hogy a gyártási

teljesítőképesség az összköltséget kis mértékben befolyásolja, vagyis adott előrejelzési pontosság tartományban nincsenek akkora eltérések különböző teljesítőképesség értékek figyelembevétele esetén.



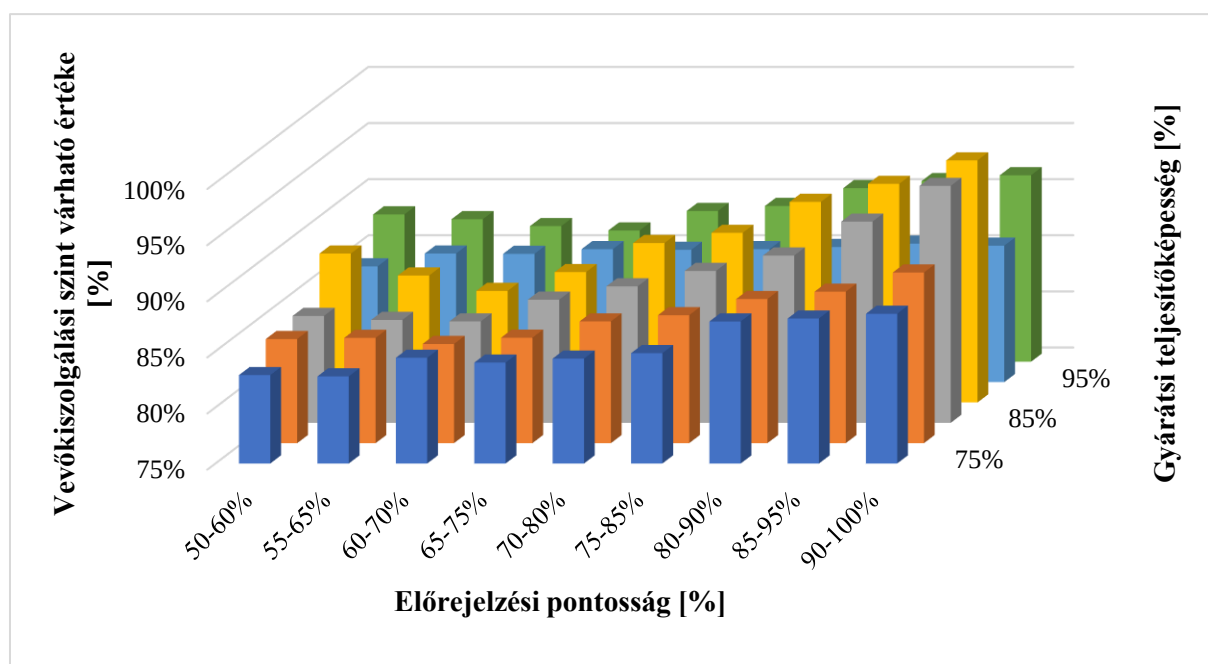
25. ábra: Az egy lépéses gyártás esetén a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében

A 25. ábra egy drótvázás felületdiagramon mutatja be a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség várható értékének alakulását a fentebb említett két paraméter függvényében. Ebben az esetben még látványosabban látszik, hogy mekkora befolyása van az előrejelzés pontosságának, sőt itt már a gyártási teljesítőképesség is nagyban befolyásolja ezen költség értékét. Érdekes megfigyelni, hogy a legalacsonyabb költségeket a 90-100%-os előrejelzés tartományban, azon belül is 80-90%-os gyártási teljesítőképesség mellett kapjuk.



26. ábra: Az egy lépéses gyártás esetén a vevőkiszolgálási szint alakulása az előrejelzés pontosság függvényében

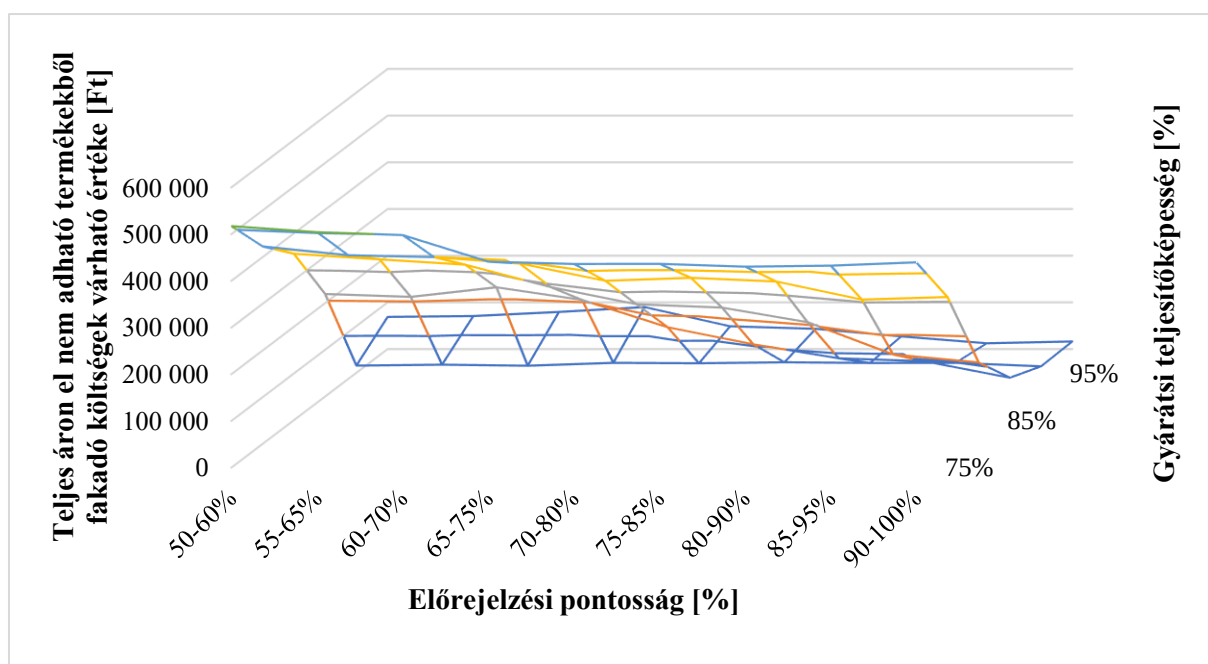
A következő, még az egylépéses gyártási folyamatot elemzi, de már csak két tényező függvényében. Kíváncsiak voltunk, hogy a vevőkiszolgálási szint hogyan reagál az előrejelzés pontosságának változására. Piros résszel azt a területet jelöltük, mely meglátásunk szerint nem reális ezen gyártási folyamat során, hiszen ebben az esetben általában pontatlanabbul lehet becslést adni a késztermékek igényére. Észrevehető, hogy az előrejelzés pontossága, valamint a vevőkiszolgálási szint között közelítőleg lineáris összefüggés van, vagyis minél jobban becsüljük meg az igényeket, annál jobb vevőkiszolgálási szintet kapunk.



27. ábra: A kétlépéses gyártás esetén az vevőkiszolgálási szint várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében

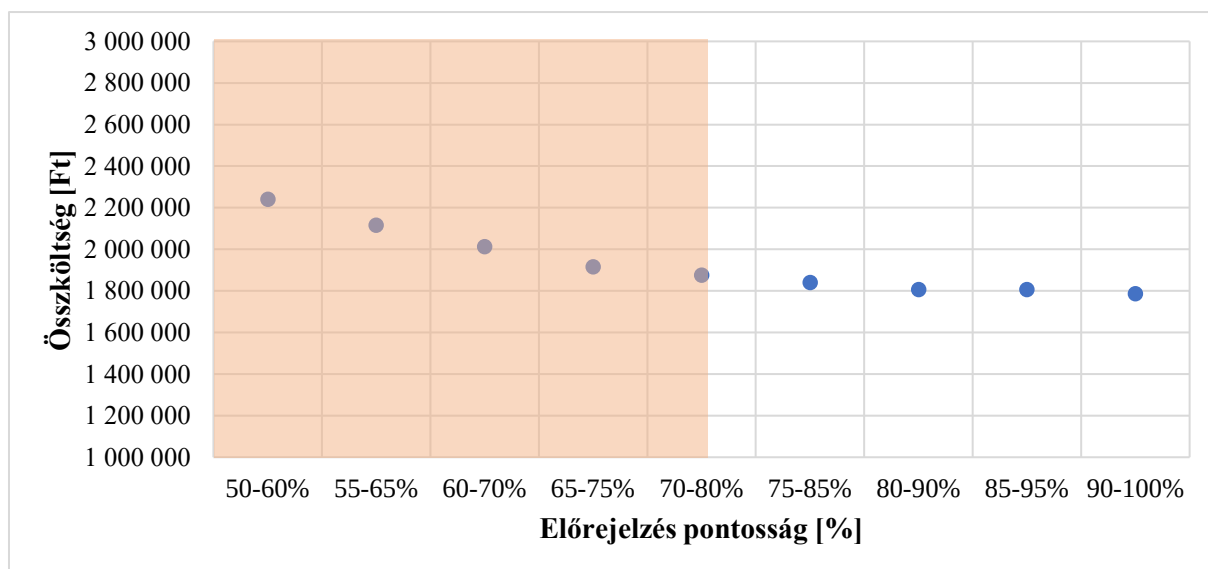
A kétlépéses gyártási folyamat esetén is megvizsgáltuk néhány paraméter változását. A a vevőkiszolgálási szint nagyságát mutatja be a két kulcsparaméter függvényében. Kellően pontos előrejelzés (90-100%) és megfelelő gyártási teljesítőképesség (85%) beállítása mellett körülbelül 96%-os is lehet az elért szint.

Kétlépéses gyártási stratégia esetén is készítettünk drótvázis felületdiagramot a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség várható értékének alakulásáról, amelyet a 28. ábra mutat be. Az egylépéses esettől eltérően ezen gyártási folyamat esetén akkor lesz a legalacsonyabb ez a költség, ha minél jobb a gyártási teljesítőképesség. A szimulációs futtatások eredményéből azt kaptuk, hogy körülbelül 95%-os teljesítőképesség esetén tudjuk a legmegfelelőbb értékeket elérni. Természetesen az előrejelzési pontosság növelése is csökkenti a költség mértékét, azonban ennél a jelenségnél nagyobb befolyásúnak bizonyult a gyártási teljesítőképesség változása.



28. ábra: A kétlépéses gyártás esetén a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében

Legvégül az összköltségnek és az előrejelzési pontosságnak az egymáshoz képesti viszonyát elemeztük, ezt a 29. ábra szemlélteti. A futtatási eredményekből az látszódik, hogy az általunk valószínűbbnek tekintett pontossági szinteken (körülbelül 75%-tól 100%-ig) közelítőleg azonos összköltségeket kapunk. Ebben az esetben tehát a pontosabb becslés nem okozott akkora változást, mint azt elsőre gondoltuk.



29. ábra: A kétlépéses gyártás esetén az összköltség alakulása az előrejelzési pontosság függvényében

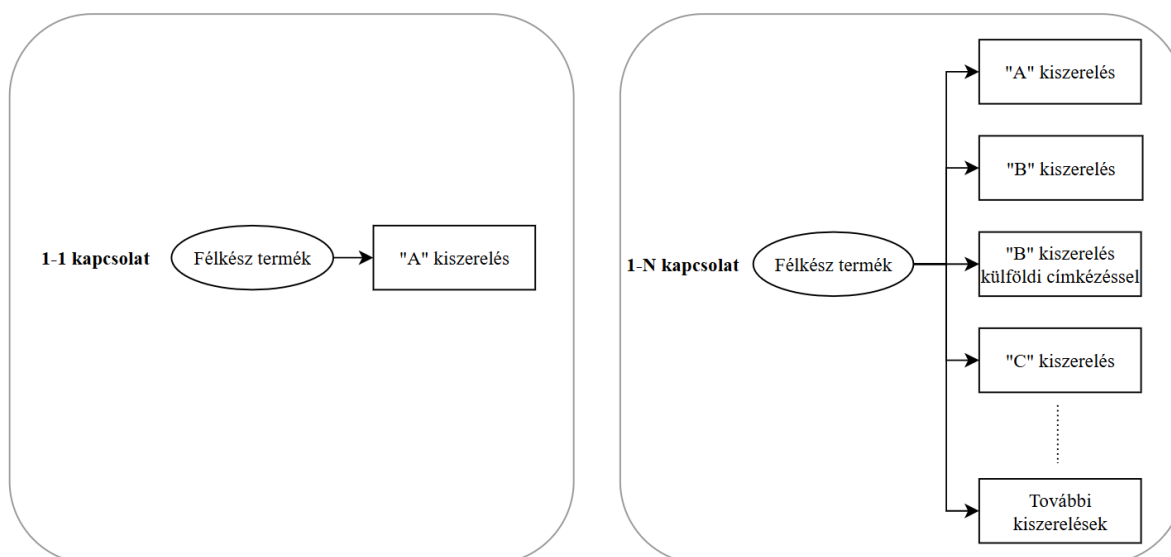
6. Továbblépési lehetőségek

A kutatásunk értékes részét képezi a továbblépési lehetőségek összegyűjtése, amelyeket a következőkben két külön csoportban foglalunk össze. Az elsőben azokat az ötleteket soroljuk fel, melyeket a meglévő modell segítségével képesek lennénk megvalósítani, azonban ebben a dolgozatban nem térünk ki rájuk. A másodikban pedig azokat a jövőbeli irányokat vesszük sorra, amelyekkel továbbfejleszhető a meglévő szimulációs modell, hogy egy realisztikusabb felépítés valósulhasson meg.

A kiegészítő opciók közé tartozik az általunk beállított költségtényezők felülvizsgálata és vállalatoktól származó, valós adatok alapján történő meghatározása. Ezzel azt érhetjük el, hogy pontosabb elemzéseket tudunk végrehajtani, illetve az adott cégek vonatkozásában el lehet dönteni, hogy megéri-e a kétlépéses gyártási folyamat bevezetése. A költségek terén maradva, a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költséget egy újabb komponenssel lehetne kiegészíteni. Úgy véljük, hogy bizonyos iparágakban – például a bútoriparban – érdemes megfontolni a termékek újrafelhasználásának lehetőségét. Célunk, hogy modellünkbe minél több fenntarthatósági szempontot építsünk be, így ennek bevezetése kiemelten fontos lépés lenne, hiszen az újrafelhasználás egy nagyon fenntartható megoldást jelenthetne az ipari szereplők számára. Természetesen ez a folyamat járna némi költséggel, amit figyelembe kell venni, mivel a részegységek, félkész vagy késztermékek megfelelő állapotba hozása időt, erőforrást és munkaerőt igényel. A jelenlegi vizsgálataink során a nyitókészlet értékeit tapasztalati úton állítottuk be az alapján, hogy működőképes legyen a rendszer, illetve ne keletkezzen ebből fakadó többletköltség. Fejlődést lehetne elérni, ha ennél a megközelítésnél precízebben történné ezeknek az értékeknek a kiválasztása. A jelenlegi modellünk számos összefüggő tényezőt tartalmaz, amelyek közül mi is vizsgáltunk néhányat (lásd 5.2.3). Érdemes lenne részletesebben megvizsgálni a ciklusidő és a szavatossági idő közötti kapcsolatot, hiszen érezhető, hogy ez a két komponens szoros összefüggésben áll egymással.

A modell továbbfejlesztési lehetőségei közül elsőként a vegyes diszpozíciós készletmodellek alkalmazását érdemes megemlíteni. Ebben az esetben a rendelés időpontját nem csak az idő múlása határozza meg, hanem a volumen is vezérelni. Beállíthatunk egy újrendelési pontot (*Reorder point*), amelyet, ha elér a készletszintünk, akkor is történik egy rendelés. [20] A modell egy olyan funkcióval is kiegészíthető lenne, amely figyelni azt, hogy egy adott késztermék vagy félkésztermék melyik gyártási sorozatból származik. Jelenleg gyártás első és második fázisának teljesítőképessége meg kell egyezzen amiatt, hogy egy nap csak egy *lot*-ot tudunk felhasználni. Érdemes lenne olyan átalakításokat végezni, amelyek segítségével a fázisokat eltérő teljesítményűnek lehet beállítani, ami ugyan bonyolultabbá tenné a készletkorosítást is, ugyanakkor pontosabb eredményekhez vezethetne. Jelenleg a folyamatok vizsgálata során egy napos diszkrét időperiódusokban gondolkodtunk, azonban javasoljuk, hogy a jövőben ezt órás bontásra finomítani lehessen, ezzel is növelve a pontosságot. Ebben az új diszkrét időértelmezésben egy napot a műszakok száma és azok időtartama alapján állítanánk

be. Jelen dolgozatunkban a belső ellátási lánc egy részére fókuszáltunk és azt elemeztük, ugyanakkor fontos lenne a folyamat külső ellátási láncba való illeszkedésének átfogóbb vizsgálata, a beszállítóktól egészen a vevőig. Emellett a csomagolóanyagok megfelelő rendelését és kezelését is érdemes lenne alaposabban bemutatni, mivel ezek optimális felhasználása egy meghatározó fenntarthatósági szempont. Utolsó továbblépési lehetőségként a többtermékes modell bevezetését említjük meg, amelyről azt gondoljuk, hogy igazán képes lenne megmutatni a kétlépéses gyártási stratégia előnyét. Ezt az ugyanazon félkésztermékekből készített különféle kiszerelésű árucikkekből adódó méretgazdaságosságra alapozzuk, ami azt jelenti, hogy az előállított félkésztermékek többféle késztermékben is megjelenhetnek. Ezt szemléltettük korábban a 13. ábra és a 14. ábra segítségével. S bár a jelenlegi modell egyfajta félkésztermékből gyártott egyféle termék esetét vizsgálja (1-1), a benne létrehozott folyamatok jól általánosíthatók többféle termék gyártásának esetére is (1-N). Ezt a két esetet mutatja be a 31. ábra.



31. ábra: 1-1, 1-N kapcsolatok szemléltetése

7. Összefoglalás

A dolgozat a fenntarthatósági szempontok és a gyártási folyamatok kapcsolódási pontjait vizsgálja, különös tekintettel a szétválasztó pont jelentőségére, amely a gyártás és az ellátási láncban a fenntartható működés egyik kulcsfontosságú elemévé válhat. A kutatás során létrehoztunk egy olyan modellt, amely elősegíti a termelési folyamatok vizsgálatát, különösen a fenntarthatósági szempontok tekintetében.

Az egylépéses gyártási modell továbbfejlesztésével készítettük el a kétlépéses gyártási modellt, melynek lényege, hogy a gyártási folyamatokat két szakaszra bontjuk, amelyek között félkésztermékek tárolása történik, ezzel növelve a folyamat rugalmasságát. A kutatás során feltételeztük, hogy a szétválasztó pont beiktatása a gyártásba jobb előrejelzési pontosságot tesz lehetővé, mivel a gyártástervezés a csomagolási fázishoz közelebb kerül, így a tényleges keresleti igények időben közelebb állnak a gyártási folyamat indításához. A pontosabb előrejelzés lehetővé teheti, hogy a készletezésből származó veszteségeket minimalizáljuk, hiszen a termékek lejáratí ideje alatt kisebb mennyiségű termék halmozódik fel feleslegesen, és kevesebb lesz a megsemmisítésre szoruló árucikk. A fenntarthatósági szempontokat tovább erősíti, hogy a többlépéses gyártásban kisebb mennyiségű csomagolóanyagra lehet szükség, és csökkenthető az energiafelhasználás is. A kutatás alapján a kétlépéses gyártási folyamat nemcsak gazdasági, hanem környezetvédelmi szempontokból is előnyösebb lehet. Részletes költségelemzést készítettünk mindkét modell esetében, figyelembe véve a készlettartási, gyártásindítási, hiány és teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költségeket, amelyek elemzése lehetőséget adott a két eset összehasonlítására.

Összességében a kutatás eredményei alapján a többlépéses gyártási folyamat mind gazdaságilag, mind fenntarthatósági szempontból alternatívát jelenthet a vállalatok számára. A fentebb megfogalmazott továbbfejlesztési irányokba érdemes lehet előrelépést tenni, amellyel még pontosabb képet lehet formálni a szétválasztó pont és a fenntarthatósági tényezők kapcsolatát illetően. Végül fontosnak tartjuk kiemelni azt, hogy a kifejlesztett szimulációs modell alapvetően kísérletezésre alkalmas. Jelen formájában nem célja a folyamat paramétereinek optimalizálása, viszont különféle helyzetek, illetve állapotok vizsgálatára és megfigyelésére kiválóan alkalmas. Dolgozatunk értéke a kísérletezésre alkalmas modell megalkotása, amit egyébként a jövőben akár optimalizálási elvek tesztelésére, a folyamatoptimalizálás támogatására is fel lehet használni.

Ábrajegyzék

1. ábra: Feldolgozott tanulmányok témakörönkénti darabszáma	5
2. ábra: Készletmodell témakörben feldolgozott tanulmányok.....	6
3. ábra: Ostorcsapás effektus bemutatása [15]	10
4. ábra: Kutatási <i>gap</i> -ek összefoglalása	10
5. ábra: Egylépéses gyártási folyamat bemutatása	12
6. ábra: Egylépéses gyártásnál készített előrejelzés eredménye.....	13
7. ábra: Kétlépéses gyártásnál készített előrejelzés eredménye	14
8. ábra: Kétlépéses gyártási folyamat bemutatása.....	14
9. ábra: Egylépéses gyártási folyamat költségei.....	17
10. ábra: Egyszer használatos csomagolóanyag kiegészítő költségei	19
11. ábra: Újrafelhasználható tárolóeszköz kiegészítő költségei	19
12. ábra: Különböző méretű és anyagú üdítőitalos kiszerelések [18]	20
13. ábra: Táplálékkiegészítők különféle megjelenési formái [19]	21
14. ábra: Az egylépéses modell logikai felépítése.....	25
15. ábra: A kétlépéses modell logikai felépítése	28
16. ábra: Az egylépéses stratégia összköltség komponenseinek aránya egy futtatás alapján ..	32
17. ábra: A készlettartási költség alakulása a szimulációs futtatások során egylépéses gyártási folyamat esetében.....	32
18. ábra: A teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség alakulása a szimulációs futtatások során egylépéses folyamat	33
19. ábra: Az összköltség értékeinek gyakoriságai egylépéses gyártási folyamat esetén.....	34
20. ábra: A kétlépéses stratégia összköltség komponenseinek aránya egy futtatás alapján	35
21. ábra: A csomagolásleállítás költség alakulása a szimulációs futtatások során egylépéses folyamat.....	36
22. ábra: A teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség alakulása a szimulációs futtatások során kétlépéses folyamat	36
23. ábra: Az összköltség értékeinek gyakoriságai kétlépéses gyártási folyamat esetén.....	37
24. ábra: Az egylépéses gyártás esetén az összköltség várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében.....	38
25. ábra: Az egylépéses gyártás esetén a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében	39
26. ábra: Az egylépéses gyártás esetén a vevőkiszolgálási szint alakulása az előrejelzés pontosság függvényében	39
27. ábra: A kétlépéses gyártás esetén az vevőkiszolgálási szint várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében.....	40

28. ábra: A kétlépéses gyártás esetén a teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költség várható értékének alakulása az előrejelzés pontossága és a gyártási teljesítőképesség függvényében	41
29. ábra: A kétlépéses gyártás esetén az összköltség alakulása az előrejelzési pontosság függvényében	41
30. ábra: 1-1, 1-N kapcsolatok szemléltetése	43

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Halogató és spekuláció jellemzői [12]	9
2. táblázat: Folyamatok bemutatásához használt VSM szimbólumok	12
3. táblázat: Mindkét esetben alkalmazott paraméterek összefoglalása (részlet)	22
4. táblázat: A kétlépéses gyártási folyamathoz tartozó paraméterek (részlet).....	23
5. táblázat: Az egylépéses gyártási folyamathoz kapcsolódó jellemzők	24
6. táblázat: A kétlépéses gyártási folyamathoz kapcsolódó jellemzők	27
7. táblázat: Az eltérő értékkel rendelkező jellemzők.....	30
8. táblázat: A kétlépéses folyamatra jellemző kiegészítő paraméterek értékei.....	30
9. táblázat: Osztályközök, előfordulások az egylépéses esetben.....	34
10. táblázat: Osztályközök, előfordulások a többlépéses esetben	37

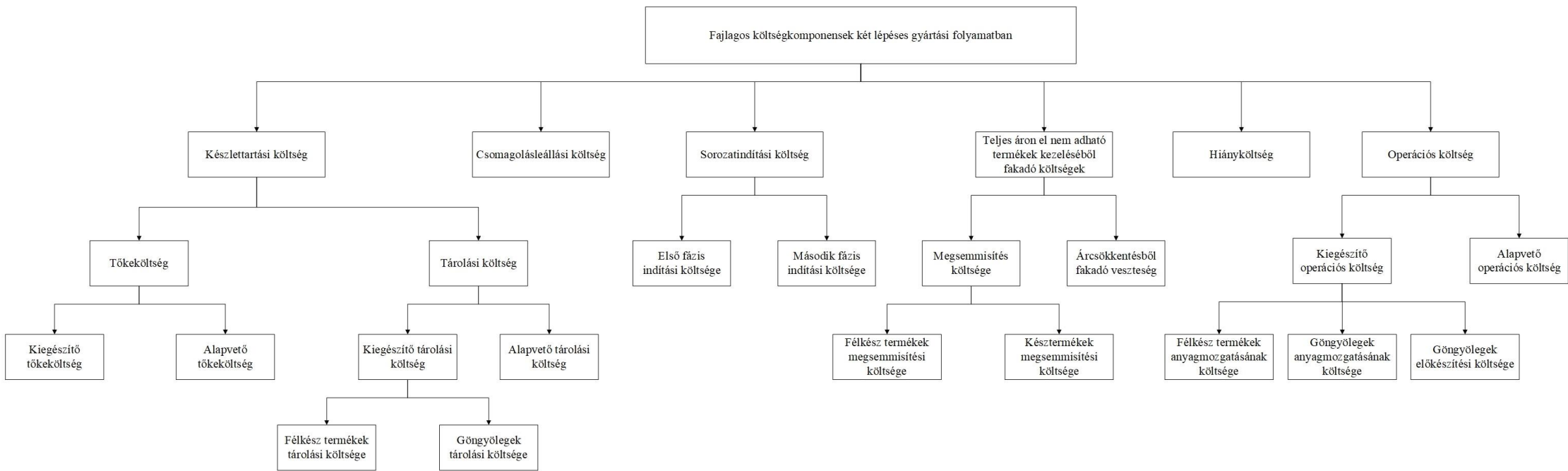
Hivatkozások

- [1] *Pablo Becerra, Josefa Mula, Raquel Sanchis* (2022). **Sustainable Inventory Management in Supply Chains: Trends and Further Research.** *Sustainability* 14 (5), 2613. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14052613>
- [2] *Pablo Becerra, Josefa Mula, Raquel Sanchis* (2021). **Green supply chain quantitative models for sustainable inventory management: A review.** *Journal of Cleaner Production* 328, 129544. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129544>
- [3] *Ali Bozorgi, Jennifer Pazour, Dima Nazzal* (2014). **A new inventory model for cold items that considers costs and emissions.** *International Journal of Production Economics* 155, pp. 114-125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.01.006>
- [4] *Olof Stenius, Johan Marklund, Sven Axsäter* (2018). **Sustainable multi-echelon inventory control with shipment consolidation and volume dependent freight costs.** *European Journal of Operational Research* 267 (3), pp. 904-916. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.029>
- [5] *Sunil Tiwari, Yosef Daryanto, Hui Ming Wee* (2018). **Sustainable inventory management with deteriorating and imperfect quality items considering carbon emission.** *Journal of Cleaner Production* 192, pp. 281-292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.261>
- [6] *Horst Tempelmeier, Oliver Bantel* (2015). **Integrated optimization of safety stock and transportation capacity.** *European Journal of Operational Research* 247 (1), pp. 101-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.069>
- [7] *Vishal Nawandar, Dilawar Husain, Ravi Prakash* (2021). **Ecological Footprint Assessment and Its Reduction for Packaging Industry.** *Assessment of Ecological Footprints, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*, pp. 41-78. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0096-8_2
- [8] *Zeeshan Asim, Ibrahim Rashid Al Shamsi, Mariam Wahaj, Ahmed Raza, Syed Abul Hasan, Sohaib Ahmed Siddiqui, Alaeldeen Aladresi, Shahryar Sorooshian, Tan Seng Teck* (2022). **Significance of Sustainable Packaging: A Case-Study from a Supply Chain Perspective.** *Applied System Innovation* 2022, 5(6), 117. DOI: <https://doi.org/10.3390/asi5060117>
- [9] *RELEX Solutions* (2023). **Measuring forecast accuracy: The complete guide.** URL: <https://www.relexsolutions.com/resources/measuring-forecast-accuracy/> (Letöltve: 2024. 08. 27.)
- [10] *Craftybase* (2022). **Understanding Work-in-Progress Inventory.** URL: <https://craftybase.com/blog/work-in-progress-wip-inventory> (Letöltve: 2024. 07. 30.)
- [11] *S. Subba Rao* (1992). **The relationship of work-in-process inventories, manufacturing lead times and waiting line analysis.** *International Journal of Production Economics* 26, 1–3, pp. 221-227. DOI: [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(92\)90067-H](https://doi.org/10.1016/0925-5273(92)90067-H)

- [12] *Dr. Bóna Krisztián* (2023). **Termelési logisztika – A termékstruktúrák és a gyártási technológia modellezése.** BME KJK, ALRT. URL: <https://archive.edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2024. 09. 17.)
- [13] *In-Jae Jeong* (2011). **A dynamic model for the optimization of decoupling point and production planning in a supply chain.** *International Journal of Production Economics* 131, 2, pp. 561-567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.02.001>
- [14] *Dr. Bóna Krisztián* (2023). **Ellátási-elosztási rendszerek – Bevezetés, kihívások.** BME KJK, ALRT. URL: <https://archive.edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2024. 09. 19.)
- [15] *Freepple* (2021). **Decoupling points in a supply chain** URL: <https://frepple.com/blog/decoupling-points-in-a-supply-chain/> (Letöltve: 2024. 08. 14.)
- [16] *Dr. Sztrapkovichs Balázs* (2021). **Bevezetés a lean szemléletbe – Értékáram elemzés.** BME KJK, ALRT. URL: <https://archive.edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2024. 09. 20.)
- [17] *Tóth Ádám* (2022). **Módszertani fejlesztések a sürgősségi betegellátás értékteremtő folyamatának vizsgálatában.** BME KJK, ALRT. TDK. URL: <https://tdk.bme.hu/ConferenceFiles/KJK/2022/Paper/Ertekaram-elemzes-alkalmazasa-a-surgossegi.pdf?paperId=11792> (Letöltve: 2024. 09. 20.)
- [18] *Reddit* (2022). **Different Size Coke Bottles.** URL: https://www.reddit.com/r/cocacola/comments/usnea6/different_size_coke_bottles/?rdt=53842 (Letöltve: 2024. 10. 18.)
- [19] *Scitec Nutrition* (2024). **Tejsavó fehérje koncentrátumok.** URL: <https://scitec.hu/tejsavo-feherje-koncentratumok-c136> (Letöltve: 2024. 10. 18.)
- [20] *Dr. Sárdi Dávid Lajos, Bertalan Marcell* (2023). **Ellátási-elosztási rendszerek – Készletmodellezés.** BME KJK, ALRT. URL: <https://archive.edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2024. 08. 01.)
- [21] *Dr. Sárdi Dávid Lajos, Dr. Bóna Krisztián* (2023). **Statisztikai elemzések a logisztikában – A következtető statisztikai vizsgálatok értelmezése, alapjai, szerepük a logisztikai rendszerek értékelésében.** BME KJK, ALRT. URL: <https://archive.edu.kozlek.bme.hu/> (Letöltve: 2023. 12. 07.)

Mellékletek

1. melléklet: Kétlépéses gyártási folyamat költségei



2. melléklet: Egylépéses gyártási folyamat Excel modellje

t	Késztermék igények				Késztermék igények kielégítése					Késztermék korosítás		Késztermék gyártási rendelés		Késztermék gyártás			Késztermék zárókészlet	
	CycForFG_un	CycReqFG_un	ReqFG_un	ReqFG_pcs	FulfilledFG_pcs	TotalFulfilledFG_pcs	LotNrFG	AgeOfLotNrFG	AbilityOfActualLotNrFG_pcs	OutFromActualLotNrFG_pcs	OutFromOtherLotNrFG_pcs	OrdFG_un	OrdFG_pcs	ProdFG_pcs	ProdFG_un	LotNrFG	QFG_pcs	QFG_un
0	67	97	3	75	75	75	1	0	1725	0	0	69	1725	1725	69	1	1775	71
1			4	100	100	175	1	1	1725	0	0	0	0	0	0		1675	67
2			8	200	200	375	1	2	1725	0	0	0	0	0	0		1475	59
3			4	100	100	475	1	3	1725	0	0	0	0	0	0		1375	55
4			7	175	175	650	1	4	1725	0	0	0	0	0	0		1200	48
5			4	100	100	750	1	5	1725	0	0	0	0	0	0		1100	44
6			8	200	200	950	1	6	1725	0	0	0	0	0	0		900	36
7			3	75	75	1025	1	7	1725	0	0	0	0	0	0		825	33
8			6	150	150	1175	1	8	1725	0	0	0	0	0	0		675	27
9			13	325	325	1500	1	9	1725	0	0	0	0	0	0		350	14
10			7	175	175	1675	1	10	1725	0	0	0	0	0	0		175	7
11			8	200	50	1725	0	0	1725	0	0	0	0	0	0		125	5
12			7	175	0	1725	0	0	1725	0	0	0	0	0	0		125	5
13			8	200	0	1725	0	0	1725	0	0	0	0	0	0		125	5
14			7	175	0	1725	0	0	1725	0	0	0	0	0	0		125	5
15	69	100	5	125	125	1850	2	0	3500	0	0	71	1775	1775	71	2	1775	71
16			9	225	225	2075	2	1	3500	0	0	0	0	0	0		1550	62
17			4	100	100	2175	2	2	3500	0	0	0	0	0	0		1450	58
18			9	225	225	2400	2	3	3500	0	0	0	0	0	0		1225	49
19			11	275	275	2675	2	4	3500	0	0	0	0	0	0		950	38
20			4	100	100	2775	2	5	3500	0	0	0	0	0	0		850	34
21			7	175	175	2950	2	6	3500	0	0	0	0	0	0		675	27
22			2	50	50	3000	2	7	3500	0	0	0	0	0	0		625	25
23			1	25	25	3025	2	8	3500	0	0	0	0	0	0		600	24
24			7	175	175	3200	2	9	3500	0	0	0	0	0	0		425	17
25			11	275	275	3475	2	10	3500	0	0	0	0	0	0		150	6
26			5	125	25	3500	0	0	3500	0	0	0	0	0	0		125	5
27			9	225	0	3500	0	0	3500	0	0	0	0	0	0		125	5
28			10	250	0	3500	0	0	3500	0	0	0	0	0	0		125	5
29			6	150	0	3500	0	0	3500	0	0	0	0	0	0		125	5
30	61	86	6	150	150	3650	3	0	5075	0	0	63	1575	1575	63	3	1550	62
31			6	150	150	3800	3	1	5075	0	0	0	0	0	0		1400	56
32			0	0	0	3800	3	2	5075	0	0	0	0	0	0		1400	56
33			8	200	200	4000	3	3	5075	0	0	0	0	0	0		1200	48
34			4	100	100	4100	3	4	5075	0	0	0	0	0	0		1100	44
35			10	250	250	4350	3	5	5075	0	0	0	0	0	0		850	34
36			4	100	100	4450	3	6	5075	0	0	0	0	0	0		750	30
37			9	225	225	4675	3	7	5075	0	0	0	0	0	0		525	21
38			4	100	100	4775	3	8	5075	0	0	0	0	0	0		425	17
39			3	75	75	4850	3	9	5075	0	0	0	0	0	0		350	14
40			2	50	50	4900	3	10	5075	0	0	0	0	0	0		300	12
41			12	300	175	5075	0	0	5075	0	0	0	0	0	0		125	5
42			9	225	0	5075	0	0	5075	0	0	0	0	0	0		125	5
43			7	175	0	5075	0	0	5075	0	0	0	0	0	0		125	5

3. melléklet: Kétlépéses gyártási folyamat Excel modellje

Első fázis - félkész termék																				
Félkész termék igények			Félkész termék igények kielégítése					Félkész termék korosítás		Maradvány félkész termék a gyártásban		Kiüresedő göngyöleg	Félkész termék gyártási rendelés		Félkész termék gyártás			Félkész termék zárókészlet		
t	ReqWIP_pcs	ReqWIP_un	FulfilledWIP_pcs	TotalFulfilledWIP_pcs	LotNrWIP	AgeOfLotNrWIP	AbilityOfActualLotNrWIP_pcs	OutFromActualLotNrWIP_pcs	OutFromOtherLotNrWIP_pcs	QRestWIP_pcs	QRestWIP_un	EmptyWIP_un	OrdWIP_un	OrdWIP_pcs	ProdWIP_pcs	ProdWIP_un	LotNrWIP	QEmptyWIP_un	QWIP_pcs	QWIP_un
0	2400	7	2100	2100	1	0	2100	0	0	0	0	7	7	2100	2100	7	1	2	600	2
1	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
2	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
3	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
4	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
5	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
6	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
7	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
8	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
9	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
10	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
11	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
12	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
13	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
14	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
15	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
16	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
17	850	0	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	600	2
18	850	3	850	2950	2	0	4200	0	0	50	1	2	7	2100	2100	7	2	1	1850	7

Második fázis - késztermék																			
Késztermék igények				Késztermék igények kielégítése					Késztermék korosítás			Késztermék gyártási rendelés		Késztermék gyártás				Késztermék zárókészlet	
t	CycForFG_un	CycReqFG_un	ReqFG_un	ReqFG_pcs	FulfilledFG_pcs	TotalFulfilledFG_pcs	LotNrFG	AgeOfLotNrFG	AbilityOfActualLotNrFG_pcs	OutFromActualLotNrFG_pcs	OutFromOtherLotNrFG_pcs	OrdFG_un	OrdFG_pcs	ProdFG_pcs	ProdFG_un	LotNrFG	AgeOfLotNrFG	QFG_pcs	QFG_un
0	116	116	10	250	250	250	1	0	2100	0	0	118	2950	2100	84	1	0	1975	79
1			4	100	100	350	1	1	2100	0	0	0	0	0	0			1875	75
2			4	100	100	450	1	2	2100	0	0	0	0	0	0			1775	71
3			10	250	250	700	1	3	2100	0	0	0	0	0	0			1525	61
4			5	125	125	825	1	4	2100	0	0	0	0	0	0			1400	56
5			2	50	50	875	1	5	2100	0	0	0	0	0	0			1350	54
6			7	175	175	1050	1	6	2100	0	0	0	0	0	0			1175	47
7			6	150	150	1200	1	7	2100	0	0	0	0	0	0			1025	41
8			6	150	150	1350	1	8	2100	0	0	0	0	0	0			875	35
9			6	150	150	1500	1	9	2100	0	0	0	0	0	0			725	29
10			1	25	25	1525	1	10	2100	0	0	0	0	0	0			700	28
11			9	225	225	1750	1	11	2100	0	0	0	0	0	0			475	19
12			5	125	125	1875	1	12	2100	0	0	0	0	0	0			350	14
13			4	100	100	1975	1	13	2100	0	0	0	0	0	0			250	10
14			3	75	75	2050	1	14	2100	0	0	0	0	0	0			175	7
15			11	275	50	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0			125	5
16			2	50	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0			125	5
17			7	175	0	2100	0	0	2100	0	0	0	0	0	0			125	5
18			8	200	200	2300	2	0	2950	0	0	0	0	850	34	2	0	775	31

4. melléklet: Összes alkalmazott paraméter bemutatása

Egylépéses gyártási folyamat		
Késztermék gyártási egységmérete	25	db/egység
Késztermék igény várható értéke	5	egység/nap
Késztermék igény szórása	3	egység/nap
Előrejelzési pontosság minimuma	55%	
Előrejelzési pontosság maximuma	65%	
Késztermék nyitókészlete	5	egység
Késztermék biztonsági készlete	7	egység
Késztermék biztonsági készlete	175	darab
Késztermék rendelési ciklusideje	15	nap
Késztermék gyártás teljesítőképessége	72	egység/nap
Késztermék gyártás teljesítőképessége	1800	darab/nap
Késztermék gyártás egy sorozatának indítási költsége	2 000	Ft/sorozat
Egységenkénti késztermék napi tökeköltsége	0,493	Ft/(egység*nap)
Egységenkénti késztermék napi tárolási költsége	50	Ft/(egység*nap)
Egységenkénti késztermék anyagmozgatási költsége	10	Ft/egység
Lejáró szavatossági idejű termékekből megsemmisítésre kerül	50%	
Lejáró szavatossági idejű termékekből árcsökkentett eladásra kerül	50%	
Egy egység késztermék önköltsége	1 200	Ft/egység
Egy egység késztermék árrese	300	Ft/egység
Egy egység késztermék eladási ára	1 500	Ft/egység
Egy egység késztermék megsemmisítésének költsége	15	Ft/egység
Árcsökkentés mértéke	60%	
Egy egység késztermék csökkentett eladási ára	900	Ft/egység
Veszteség egy egység csökkentett árú készterméken	600	Ft/egység

Kétlépéses gyártási folyamat		
Késztermék gyártási egységmérete	25	db/egység
Késztermék igény várható értéke	5	egység/nap
Késztermék igény szórása	3	egység/nap
Előrejelzési pontosság minimuma	80%	
Előrejelzési pontosság maximuma	90%	
Késztermék nyitókészlete	5	egység
Késztermék biztonsági készlete	7	egység
Késztermék biztonsági készlete	175	darab
Késztermék rendelési ciklusideje	20	nap
Késztermék gyártás teljesítőképessége	96	egység/nap
Késztermék gyártás teljesítőképessége	2400	darab/nap
Második fázis egy sorozatának indítási költsége (késztermék csomagolása)	500	Ft/sorozat
Egységenkénti napi alapvető tökeköltség (késztermék)	0,493	Ft/(egység*nap)
Egységenkénti késztermék napi tárolási költsége	50	Ft/(egység*nap)
Egységenkénti késztermék anyagmozgatási költsége	10	Ft/egység
Lejáró szavatossági idejű termékekből megsemmisítésre kerül	50%	
Lejáró szavatossági idejű termékekből árcsökkentett eladásra kerül	50%	
Egy egység késztermék önköltsége	1 200	Ft/egység
Egy egység késztermék árrese	300	Ft/egység
Egy egység késztermék eladási ára	1 500	Ft/egység
Egy egység késztermék megsemmisítésének költsége	15	Ft/egység
Árcsökkentés mértéke	60%	
Egy egység késztermék csökkentett eladási ára	900	Ft/egység
Veszteség egy egység csökkentett árú készterméken	600	Ft/egység
Félkész termék gyártási egységmérete	300	db/egység
Félkész termék nyitókészlete	2	egység
Göngyöleg nyitókészlete	2	egység
Félkész termék maximális készlete	9	egység
Félkész termék maximális készlete	2700	darab
Félkész termék rendelési ciklusideje	18	nap
Félkész termék gyártás teljesítőképessége	8	egység/nap
Félkész termék gyártás teljesítőképessége	2400	darab/nap
Első fázis egy sorozatának indítási költsége (félkész termék gyártása)	1 000	Ft/sorozat
Egységenkénti napi kiegészítő tökeköltség (félkész termék)	4,142	Ft/(egység*nap)
Egységenkénti félkész termék napi tárolási költsége	25	Ft/(egység*nap)
Egységenkénti göngyöleg napi tárolási költsége	10	Ft/(egység*nap)
Csomagolásleállítás költsége	1 000	Ft/alkalom
Egységenkénti félkész termék anyagmozgatási költsége	8	Ft/egység
Egységenkénti göngyöleg anyagmozgatási költsége	5	Ft/egység
Egységenkénti göngyöleg előkészítési költsége	15	Ft/egység
Lejáró szavatossági idejű termékekből megsemmisítésre kerül	100%	
Egy egység félkész termék önköltsége	10 080	Ft/egység
Egy egység félkész termék megsemmisítésének költsége	10	Ft/egység

5. melléklet: Statisztikai mutatószámok az egyes gyártási folyamatok esetében

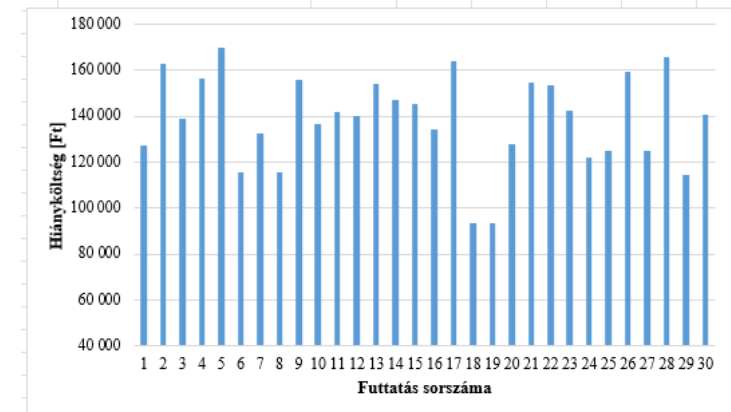
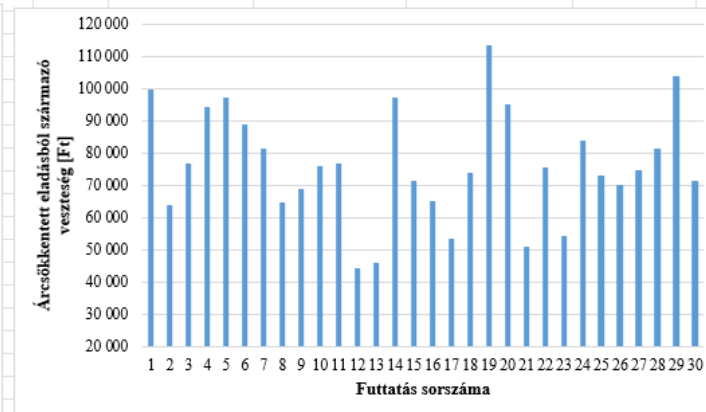
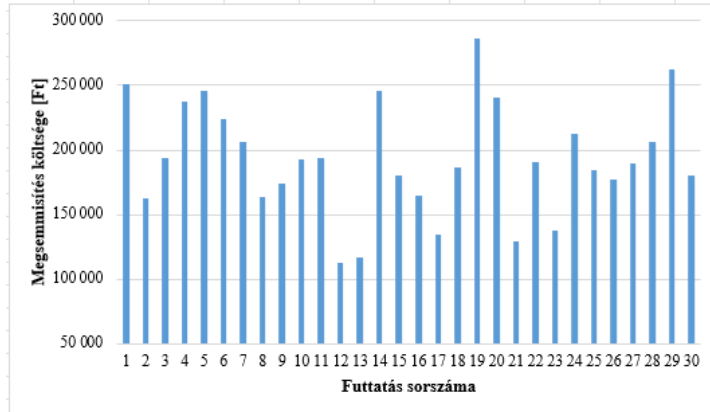
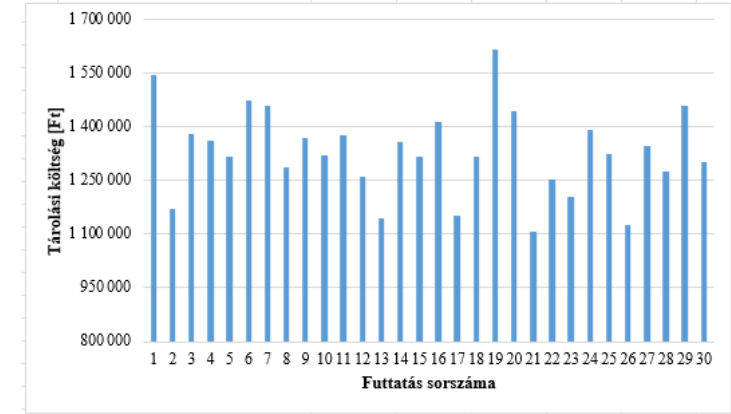
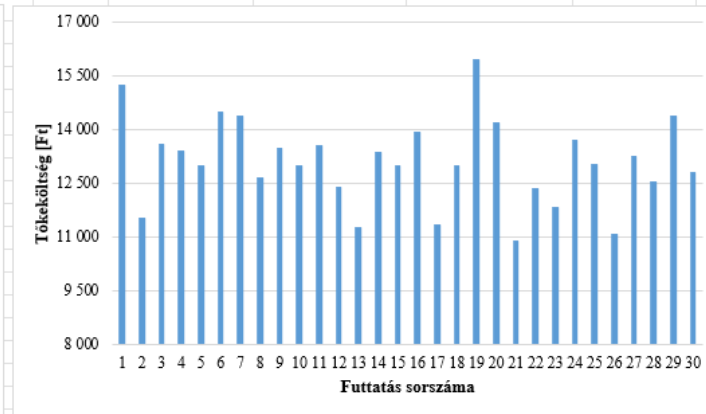
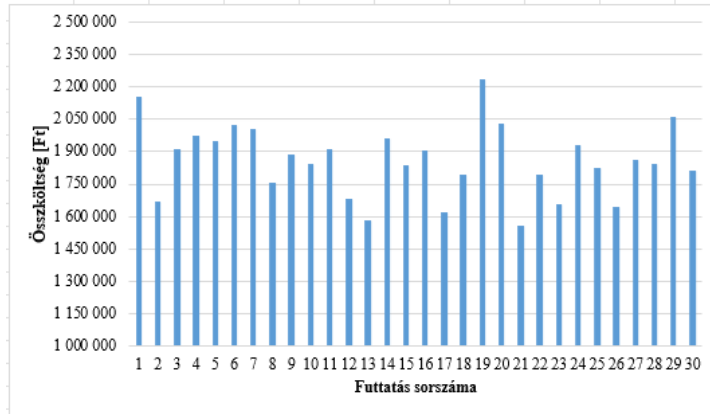
Statisztikai mutatószámok (Egylépéses gyártási folyamat)									
Vizsgált jellemzők	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Medián	KAH	KFH	Szükséges mérésszám	Elért megbízhatóság
Készlettartási költség	981 789	1 798 415	1 363 953	150 567	1 356 069	1 307 730	1 420 176	6	100,00%
Tőkeköltség	9 589	17 565	13 321	1 471	13 244	12 772	13 870	6	100,00%
Tárolási költség	972 200	1 780 850	1 350 632	149 096	1 342 825	1 294 958	1 406 305	6	100,00%
Teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költségek	120 555	406 080	273 540	62 995	263 318	250 017	297 063	23	97,58%
Megsemmisítés költsége	86 355	290 880	195 940	45 124	188 618	179 091	212 789	23	97,58%
Árcsökkentett eladásból származó veszteség	34 200	115 200	77 600	17 871	74 700	70 927	84 273	23	97,58%
Hiányköltség	63 900	166 200	129 880	21 650	128 400	121 796	137 964	12	99,73%
Összköltség	1 378 254	2 377 000	1 875 784	194 940	1 857 057	1 802 992	1 948 575	5	100,00%
Vevőkiszolgálási szint	76,1%	90,5%	81,9%	2,9%	81,9%	80,8%	83,0%	1	100,00%

Statisztikai mutatószámok (Kétlépéses gyártási folyamat)									
Vizsgált jellemzők	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Medián	KAH	KFH	Szükséges mérésszám	Elért megbízhatóság
Készlettartási költség	899 141	1 083 666	975 379	48 634	975 022	957 219	993 539	2	100,00%
Göngyöleg tárolási költsége	7 790	13 480	9 819	1 465	9 370	9 272	10 366	10	99,90%
Késztermék tárolási költsége	827 800	1 013 500	910 692	49 350	910 825	892 264	929 119	2	100,00%
Csomagolásleállítás költsége	214 000	375 000	296 333	42 607	286 000	280 424	312 243	9	99,93%
Teljes áron el nem adható termékek kezeléséből fakadó költségek	2 115	50 760	23 614	14 050	21 093	18 368	28 861	149	63,51%
Félkésztermék megsemmisítési költsége	13 690	27 380	17 797	9 998	13 690	14 064	21 530	133	66,24%
Késztermék megsemmisítési költsége	1 515	36 360	8 801	7 611	5 303	5 960	11 643	313	46,86%
Késztermék árcsökkentett eladásából származó veszteség	600	14 400	3 486	3 014	2 100	2 360	4 611	313	46,86%
Hiányköltség	35 100	109 800	74 340	17 151	72 000	67 936	80 744	23	97,56%
Összköltség	1 318 028	1 581 209	1 460 949	73 091	1 458 497	1 433 656	1 488 241	2	100,00%
Vevőkiszolgálási szint	86,0%	93,4%	90,0%	1,6%	90,1%	89,4%	90,6%	1	100,00%

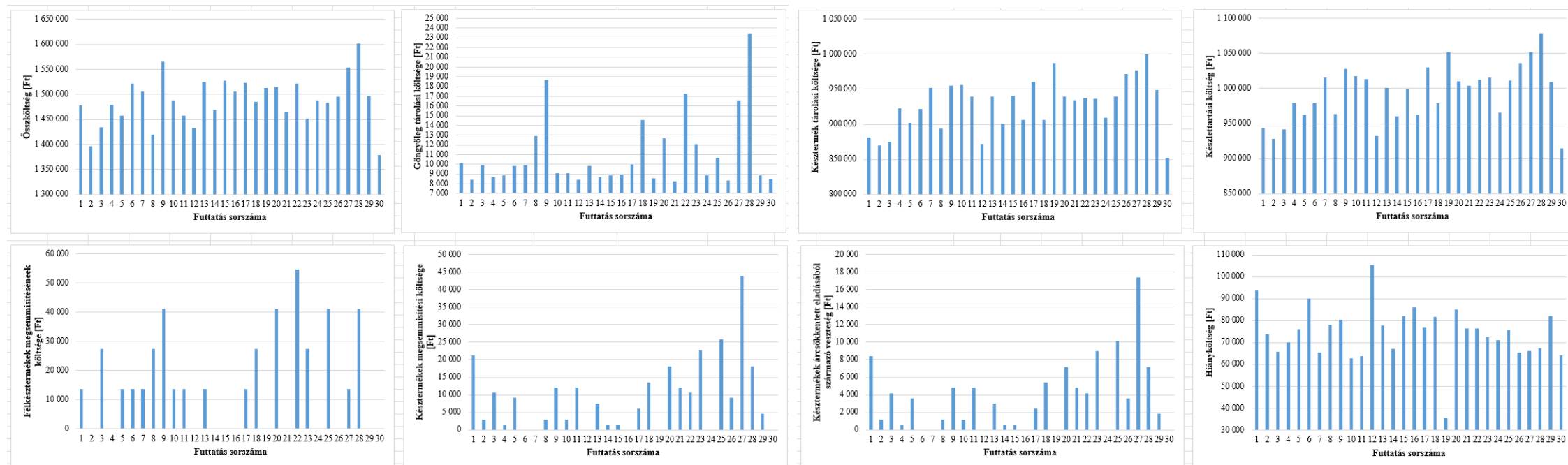
6. melléklet: Szimulációs futtatás munkalap bemutatása

[illegible]

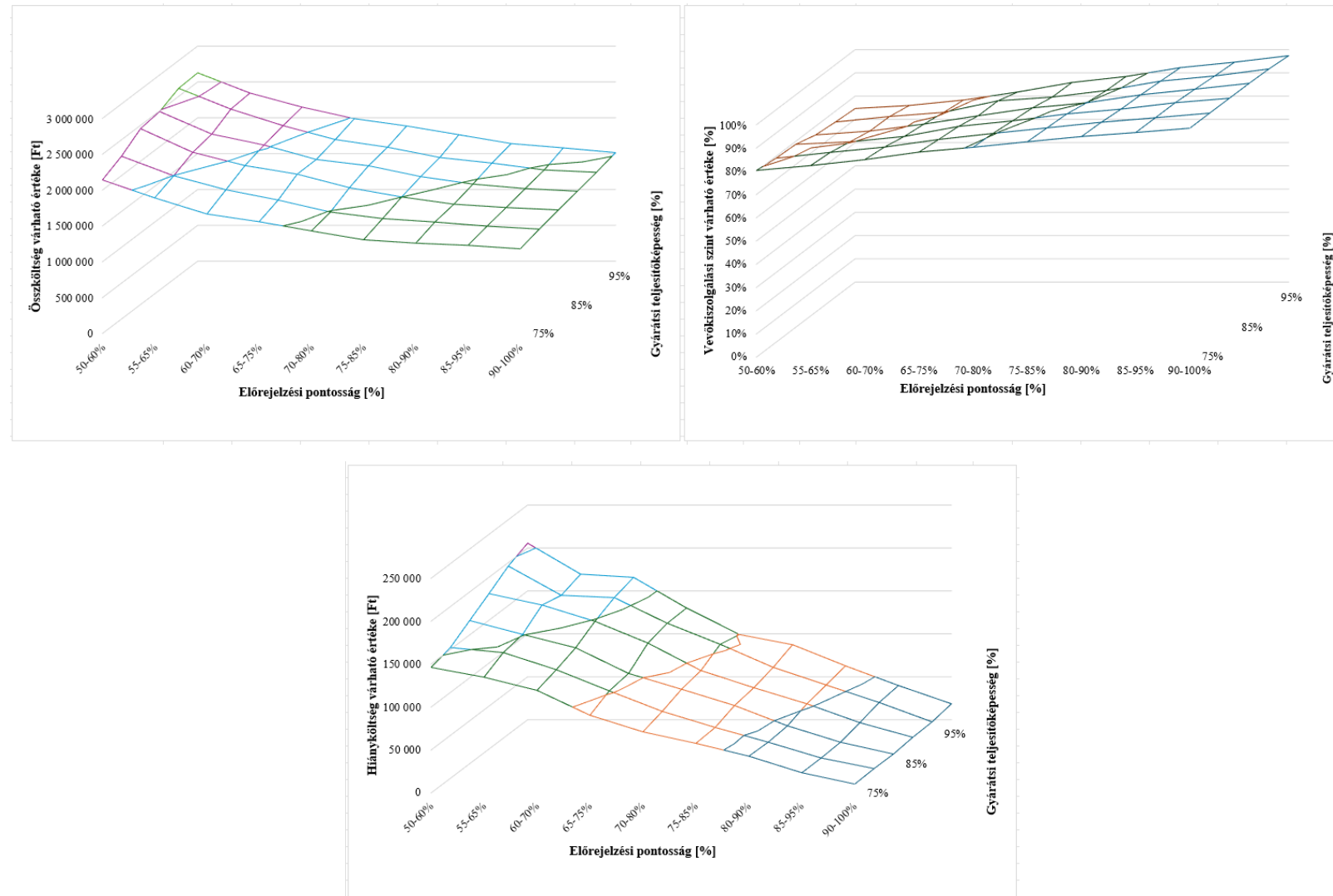
7. melléklet: Egylépéses gyártási folyamat költségkomponenseinek diagramjai



8. melléklet: Kétlépéses gyártási folyamat költségkomponenseinek diagramjai



9. melléklet: Az egylépéses gyártási folyamat drótvázás felület diagramjai



10. melléklet: A kétlépéses gyártási folyamat drótvázás felület diagramjai

