

Termelési logisztika II.

Győr, 2008

Tartalomjegyzék

1	TERMELÉSI LOGISZTIKA.....	4
1.1	TERMELÉSI TÉNYEZŐK.....	4
1.2	A TRANSZFORMÁCIÓ FOLYAMATA.....	4
1.3	OUTPUTOK.....	5
1.4	TERMELÉS ÜTEMEZÉSE	7
1.4.1	<i>Kereslet előrejelzés</i>	<i>9</i>
1.4.2	<i>Összesített (aggregált) tervezés.....</i>	<i>9</i>
1.4.3	<i>Termelési terv.....</i>	<i>10</i>
1.5	TERMELÉSI VEZÉRPROGRAM (MPS)	10
1.5.1	<i>MPS összeállítása.....</i>	<i>13</i>
1.6	KAPACITÁSTERVEZÉS (CAPACITY REQUIREMENTS PLANNING).....	14
2	KÉSZLETGAZDÁLKODÁS	15
2.1	KÉSZLETGAZDÁLKODÁS FELADATAI	15
2.2	A KÉSZLETEZÉSI RENDSZER KÖLTSÉGEI.....	16
2.3	ÁTFUTÁSI IDŐ – LEAD TIME	18
2.4	KÉSZLETGAZDÁLKODÁS MEGKÖZELÍTÉSI MÓDJAI	19
2.5	KERESLETTŐL FÜGGETLEN KÉSZLETGAZDÁLKODÁS.....	19
2.5.1	<i>Gazdaságos rendelési mennyiség (Economic Order Quantity – EOQ).....</i>	<i>21</i>
2.5.2	<i>Biztonsági készletek.....</i>	<i>25</i>
2.6	KERESLETTŐL FÜGGŐ KÉSZLETGAZDÁLKODÁS: AZ MRP PROGRAM.....	26
2.7	AZ MRP II.....	33
2.8	A JIT (JUST-IN-TIME) TERMELÉS, PULL RENDSZER	36
2.9	A KANBAN	40
2.10	VEGYES RENDSZEREK, OPTIMALIZÁLT TERMELÉSI TECHNOLÓGIA (OPT)	44
2.11	ÖSSZEHASONLÍTÁS: MRP II, KANBAN ÉS AZ OPT.....	46
3	PUFFER KÉSZLET (BUFFER)	47
4	MEGBÍZHATÓSÁG (RELIABILITY).....	51
4.1	PILLANATNYI MEGBÍZHATÓSÁG (INSTANTANEOUS RELIABILITY)	51
4.2	SORBAN KAPCSOLT ELEMENK MEGBÍZHATÓSÁGA.....	53

4.3	PÁRHUZAMOSAN KAPCSOLT ELEMOK MEGBÍZHATÓSÁGA	55
5	KÖTEGELT FELDOLGOZÁS (BATCH PROCESSING).....	59
5.1	KÉSZLETCSÖKKENTÉSI IGÉNY	59
5.2	KÖTEGELT FELDOLGOZÁS FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI	60
5.3	KÖTEGELT FELDOLGOZÁS DÖNTÉSI SZITUÁCIÓI.....	61
5.4	KÖTEGEK SORBA RENDEZÉSE	65
5.5	AZ EGYES KÖTEGEK MÉRTÉNEK MEGHATÁROZÁSA	66
5.5.1	<i>A teljes köteg egyszerre kerül készletre</i>	<i>68</i>
5.5.2	<i>A teljes köteg egyszerre kerül készletre, de hiány van az igényhez képest</i>	<i>70</i>
5.5.3	<i>A köteg készletre kerülése folyamatos</i>	<i>73</i>
6	FOLYAMATRENDSZEREK TERVEZÉSE ÉS ÜTEMEZÉSE	75
6.1	TÖMEGTEMELÉS	75
6.2	EGYSZERŰ GYÁRTÓSOROK FELÉPÍTÉSE.....	78
	ÁBRAJEGYZÉK	98
	TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	100
	FELHASZNÁLT IRODALOM	101

1 Termelési logisztika

1.1 Termelési tényezők

A termelés során felhasznált termelési tényezők sokkal összetettebbek lehetnek, mint az először gondolnánk. Szükség van üzemekre, fényre, védelemre az eső elől, munkapadra, stb. Ezenkívül különböző berendezésekre és eszközökre van szükségünk, hogy a nyersanyagokat átalakítsuk. Ezen eszközök közös jellemzője, hogy nem képezik részét a végterméknek. Gépszír, toll, gemkapocs: olyan eszközök, melyek a végtermék előállítását segítik, de nem képezik általában részét annak.

Másik fontos termelési tényező a tudás, amelynek segítségével alapanyagokból végterméket készíthetünk. A vállalat dolgozói rendelkeznek ezzel a tudással, de nem feledkezhetünk meg egy utolsó, kötelezően szükséges termelési tényezőről: elegendő idő a tevékenységek végrehajtására. A termelési folyamat gyakran azért nem teljesül, mert nem tudja a szükséges időn belül végrehajtani az **átalakítást**.

1.2 A transzformáció folyamata

Ez a része a vállalat működésének a termelési folyamat érték hozzáadó lépése. Ez az érték többféleképpen előállítható, az alábbiakban a négy legfontosabbat soroljuk fel:

Megváltoztatás

Valamilyen fizikai átalakítást értünk ezen a leggyakrabban, ami valaminek a struktúráját megváltoztatja. Ez a folyamat megy végbe a legtöbb termelő üzemben, ahol az alapanyagot vágják, ragasztják, összeszerelik, stb. Ezután mi megvásároljuk ezeket a termékeket, ruhákat, számítógépet, bármit. De a megváltoztatás nem csak egy tárgyat érinthet, a megváltoztatás céljai mi is lehetünk: levágják a hajunkat, vagy kiveszik a vakbelünket.

De másfajta változtatás is hordozhat számunkra értéket: az érzelmi „módosítás”. Hideg, ha melegünk van, meleg, ha fázunk, zenehallgatás. Ezen túlmenően beszélhetünk még pszichológiai módosításról, mely szintén értéket hordoz számunkra: egy diploma megszerzése például.

Szállítás

Gyakran előfordul, hogy egy entitás, akár mi magunk, értékesebbek vagyunk máshol, mint ahol éppen tartózkodunk. Értéke van a virágnak, de nem a virágboltban, hanem a lakásban és értéke van a szemétnek, ha nem a lakásban van, hanem a szemételepen.

Raktározás

Értéket növel az is, ha egy tárgy – vagy mi magunk – biztonságos tárolóhelyen van egy bizonyos ideig. Például a karácsonyi ajándék értékét növeli, ha elrejtjük az ünnepekig, illetve ha mi egy motelben szállunk meg egy éjszakára – mind értéknövelő tényezők.

Ellenőrzés

Értéket növel, ha egy tárgynak tudjuk bizonyos tulajdonságait, melyet mások leellenőriztek előttünk. Leggyakrabban olyan tárgyaknál, amit használni akarunk (lift, bolti mérleg gyakori ellenőrzése) vagy meg szeretnénk vásárolni (garanciák).

Láthatjuk, hogy értéket sokféleképpen tudunk hozzáadni egy tárgyhoz. Megváltoztathatjuk fizikai valójában, térben, időben, sőt a bennünk róla kialakult képet is.

1.3 Outputok

A termelési rendszerekből kétfajta output születhet: termékek és szolgáltatások. A termékek fizikai javak, míg a szolgáltatások valami nem megfogható absztrakt dolgok. Vizsgáljuk meg az alábbi táblázatot, mely e két dolog főbb jellemzőit foglalja össze.

1. táblázat: Termékek és szolgáltatások

Termékek	Szolgáltatások
- kézzelfogható - minimális kapcsolat a vásárlóval - a vásárló csak minimálisan vesz részt az előállításban - fogyasztás a termelés után - eszköz-intenzív termelés - minőség könnyen ellenőrizhető	- nem kézzelfogható - széleskörű kapcsolat a vásárlóval - a vásárló részt vesz az előállításban - fogyasztás azonnal - munka-intenzív termelés - minőség nehezen mérhető

Az osztályba sorolás természetesen nem minden esetben egyértelmű. A szállítás, a raktározás, vagy egy termék végszerelése is szolgáltatás, mint termék vásárlása. Vagy ha a fogorvos műfogsort készít a számunkra. A fenti táblázat alapján nehéz ezek egyértelmű besorolása.

Könnyítésképpen azt mondjuk, hogy minden fizikai entitást, amely valamely értékteremtő transzformáció kísér, elősegítő javaknak nevezzük. Sok esetben ilyen elősegítő jószág nem jelenik meg a folyamat során, ilyenkor beszélünk tisztán szolgáltatásról.

Ily módon minden transzformáció, ami értéket ad, egyszerűen szolgáltatás, elősegítő javakkal vagy anélkül. Egy deszka megvásárlásakor nem egy termék kerül megvásárlásra, sokkal inkább egy szolgáltatás-csomag, amely gyakran elősegítő javakkal is kapcsolatos: favágás, mint szolgáltatás, a fűrészmalom, szállítás, raktározás, mint szolgáltatás, sőt a reklántevékenységet is, ahonnan tudjuk, hol lehet deszkát venni. Ezeket a szolgáltatásokat tekinthetjük „hasznoknak”, melyek néha megfoghatóak (kivágott fatörzs, fűrészáru) néha nem (eladók tevékenysége, a telephely jó megközelíthetősége). Összefoglalva tehát a szolgáltatás egy olyan haszon-csomag, mely egy része kézzelfogható, más része nem, és esetleg elősegítő jószággal együtt jelentkezik.

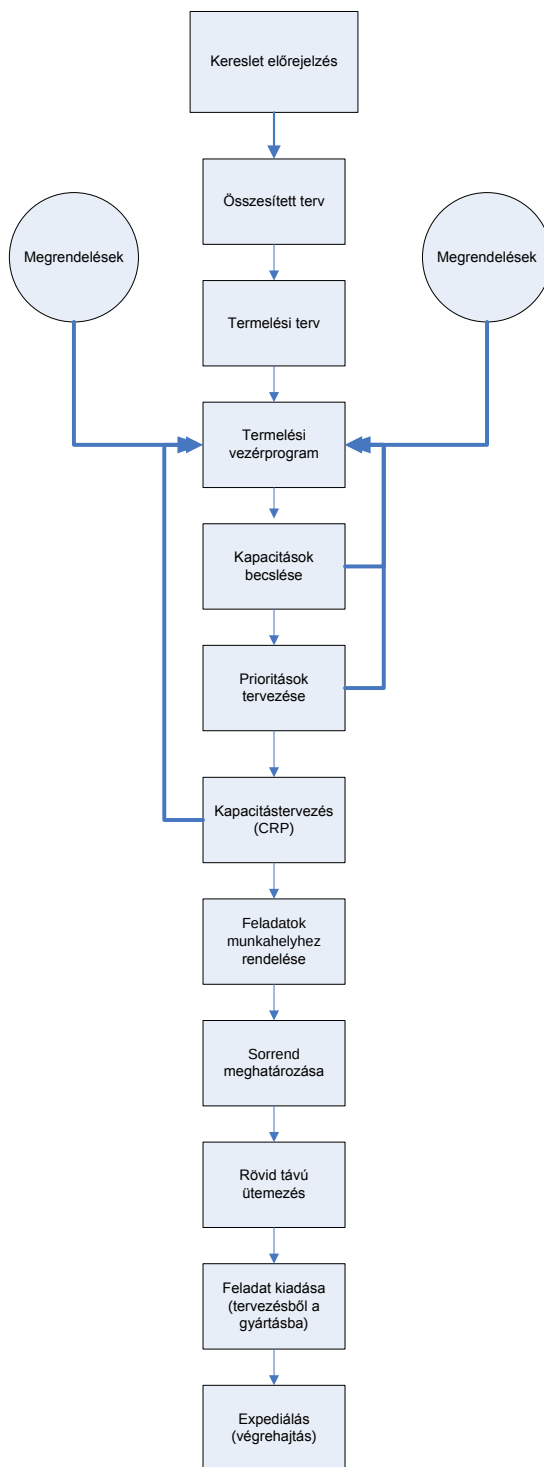
Cégek gyakran esnek bele abba a hibába, hogy tevékenységüknek ezt a szektorát nem tartják jelentősnek. Egy fatelepnek tartják magukat, nem egy haszon-csomag értékesítőinek. Tisztában vannak vele, hogy kézzel fogható szolgáltatásokat kell nyújtaniuk (ki kell vágni a fát a vevő által kért méretben), de nem gondolnak a nem kézzelfogható szolgáltatásokra (megfelelő számú eladószemélyzet, bankkártya-elfogadás).

A következőkben részletesen megismerkedünk ezzel az értékteremtő folyamattal. És éppen a fentiek miatt nem a termék vagy szolgáltatás kifejezéseket fogjuk használni, hanem az output szót.

1.4 Termelés ütemezése

A legtöbb vállalatnál külön részleg (osztály) foglalkozik a termelés valamint a vállalat egyéb folyamatainak ütemezésével. Termelő vállalatok esetében ezt hívják gyártástervezés- és irányításnak. A részleg feladata és felelőssége vállalatonként eltérő lehet, előfordul, hogy csak a kibocsátások nagyvonalú tervezésére szorítkozik, de előfordulhat, hogy az 1. ábra összes ütemezési feladatát tartalmazza.

Az ábrán látható tevékenységek természetesen vállalatonként eltérőek lehetnek. Ez az általános ábra azon lépéseket mutatja be, mely egy számítógépes ütemezést használó vállalatnál megjelennek. A következőkben az ütemezés lépéseinek néhány pontját mutatjuk be részletesebben.



1. ábra: Az ütemezés összefüggései

1.4.1 Kereslet előrejelzés

A tervezés alapját minden esetben a keresleti előrejelzések kell hogy adják a legtöbb esetben. Néhány vállalatnál a vevők gyakran egy évre előre leadják a rendeléseiket a hosszú lead time (átfutási idő) vagy a gyakori késedelmes szállítások miatt. Ebben az esetben az előrejelzés könnyű, ha van egyáltalán, hiszen a vállalatnak az aktuális megrendelések kielégítésére kell törekednie.

A legtöbb vállalat azonban nem ilyen szerencsés, az ő sikerük a kereslet előrejelzésének pontosságán múlik. Az erőjelzés időtávja lehet hosszú (2-20 év), általában épületek és kapacitások hosszú távú tervezéséhez veszik igénybe (új gyárépület, raktár építése, új gépsor vásárlása). 9 és 18 hónap közötti tervek az összesített tervek készítéséhez szükséges, míg a rövid, pár hónapos előrejelzések már az ütemezés utolsó lépéseit a feladat kiosztást és gyártási sorrend választást befolyásolják.

1.4.2 Összesített (aggregált) tervezés

Az összesített terv egy előzetes, megközelítő pontosságú ütemezése a vállalat folyamatainak, mely biztosítja a kereslet előrejelzésben szereplő mennyiség előállítását a legkisebb költséggel. A tervezés időtávja, amire vonatkozóan a változásokat és keresletet figyelembe veszik, általában egy év, hónapokra vagy negyedévekre lebontva. Az összesített tervezés egyik legfontosabb célja, hogy kiküszöbölje a mindennapi tervezés szűklátókörűségét. Ha a vállalat a mindennapi tervezés alapján dolgozna kizárólag, előfordulhatna, hogy egyszerre kevés anyagot rendel a beszállítótól, vagy elbocsátana munkásokat, miközben pár hét múlva újra rendelni kellene, vagy új munkásokat kellene felvenni. Hosszabb távú tervezéssel ezek az egyenetlenségek költséghatékony módon kezelhetők.

Az összesített tervezés a rövid távú tervezés eltéréseinek minimalizálása érdekében „összesített” egységekkel történik: összes dolgozó, összes munkaóra, összes gépidő, összes nyersanyag. Ugyanígy a végtermék is összesítve szerepel: szervíz óra, késztermék tonnában, stb. Nem vesszük figyelembe, hogy hány féle terméket gyártunk, hány féle szakemberünk, gépünk van, milyen kapacitással: ezeket a tényezőket a tervezés későbbi lépéseiben fogjuk felhasználni.

Ezeket az összesített egységeket gyakran nehéz meghatározni, főleg ha a gyártott termékek különbözőek egymástól. Ha egy gyár mosógépeket, mosogatógépeket és szárítógépeket is gyárt, mi legyen az output megnevezése? Az ilyen esetekben ún. „egyenértékű egységeket” határoznak meg, érték, befektetett munkaóra, költség alapján. Például a fenti cég így határozhatja meg a tervezett termelést: Január 5000 készülék, február 4000 készülék. A „készülék” adódhat pl. úgy, hogy 1 mosógép 1 készülék, 1

szárítógép 0,9 készülék, 1 szárítógép 0,8 készülék, mondjuk a befektetett munkaóra alapján. (egy szárítógépet a mosógép előállításához szükséges munkaóra 80%-val elő lehet állítani eszerint)

Az összesített tervezés feladata tehát a vállalat hosszú távú költségeinek minimalizálása az előre jelzett kereslet kielégítésével. Milyen költségekről van itt szó: munkások felvételének és elbocsátásának költségei, késztermék raktározásának költsége, bérék, túlóradíjak, készlethiány költségei. Mint látni fogjuk, készletek raktározása (pufferelése) a termelés ingadozásainak kiküszöbölésére egy roppant fontos vezetői eszköz. Ez szolgáltató vállalatok esetében értelemszerűen nem alkalmazható.

1.4.3 Termelési terv

A termelési terv az összesített terv időtervével megegyezően tartalmazza a vállalat tervezett termelését, még mindig csoportosítva, de már jobban lebontva, mint az előzőekben (például modellre már lebontva, de színek szerint még nem). A termelési terv már tartalmazza a jövőben szükséges termelési kapacitásokat és a kibocsátás várható változását. Látszik a munkaerő-igény változása (elbocsátásra vagy új emberek felvételére lesz-e szükség), anyagkészlet és a kibocsátás várható relatív változása.

1.5 Termelési vezérprogram (MPS)

A termelési vezérprogram (master production schedule – MPS) a fő hajtóerő, ami az egész tervezési folyamat mögött áll. Ennek két fő oka van:

1. Ez az a pont, ahol az aktuális rendelések megjelennek a tervezési folyamatban
2. Itt történik meg az összesített tervezett kibocsátás lebontása termelési egységekre (level zero items). Ezeket az egységeket aztán összevetik a műveleti kapacitásokkal és a rendelkezésre álló idővel (gyártáshoz, szállításhoz – lead time), megvalósíthatóság szempontjából.

Maga az ütemezés egy iterációs folyamat: előzetes terv felállítása, lehetséges problémák vizsgálata, terv átalakítása. Milyen lehetséges problémákról lehet itt szó?

- Megfelel ez az ütemezés a termelési tervnek?
- Megfelel ez az ütemezés a kereslet előrejelzésnek?
- Nincs prioritás vagy kapacitásütközés az ütemezésben?
- Nem ütközik ez az ütemezés valamilyen már meglévő korlátba? (lead time, berendezés ellátás, stb.)

- Megfelel az előírás a szervezeti előírásoknak?
- Nem ütközik az ütemezés jogi vagy szakszervezeti akadályba?
- Elég rugalmas az ütemezés?

Bármelyik fent említett probléma fennállása azt eredményezheti, hogy az ütemezést át kell gondolni, majd ezeken a problémákon újra végigmenni. Az elkészült termelési vezéprogram végül tartalmazni fogja, hogy milyen terméket fogunk előállítani, melyik időperiódusban a költségek minimalizálása érdekében, és ugyanakkor biztosítja, hogy a terv megvalósítható. Így már érthető, miért nagyon fontos a termelési vezérprogram a tervezés, ütemezés során.

Mint korábban írtuk, az összesített terv alapján készül el a vállalat termelési terve. A termelési terv feladatainak szétosztása végtermékekre eredményezi a termelési vezérprogramot (MPS). Az MPS mutatja meg, hogy mennyit és milyen terméket gyártson a vállalat, és mikor. Míg a termelési terv általában valamilyen pénznemben van meghatározva addig az MPS termelési egységekben (pl. darab)

Mivel az MPS mondja ki a végső szót arról, hogy mikor mit gyártson a vállalat, ezért a menedzsment kezében egy fontos irányító eszköz. Az MPS megváltoztatásával van lehetőségük módosítani a kapacitás-kihasználási igényeket, készletszinteket, stb. Ez a fegyver azonban visszafelé is elszülhet: Amennyiben a menedzsment „túlhajtja”, túltervezi az MPS-t, többet akar termelni, mint amire képes, az azt eredményezheti, hogy feltorlódik az elvégzendő munka és még a meglévő kapacitásokat sem tudja a vállalat kihasználni. A kapacitás korlátait különösen figyelembe kell venni az MPS megalkotásakor, nem használható az MPS mintegy a menedzsment „kívánságlistájaként”.

A két fő résztvevő az MPS készítésében az értékesítés és a termelés, az MPS két fő célját képviselve:

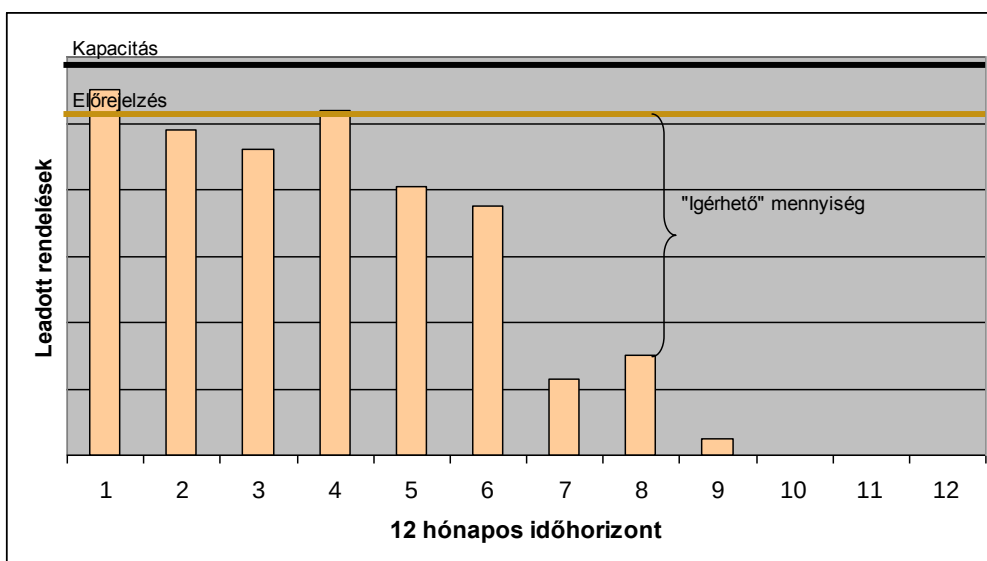
1. **Értékesítés:** úgy gyártani le a termékeket, hogy a megrendeléseket ki tudják elégíteni;
2. **Termelés:** a termelő helyek megfelelő kihasználásának biztosítása, elkerülve a túltervezést és alultervezést is.

Amennyiben ezeket a célokat nem tudják biztosítani, például valamelyik termelési hely kapacitásának korlátozása miatt, a termelési tervet át kell dolgozni.

Azon túl, hogy reális szinten tartja a tervezett termelést, egyéb feladatai is vannak az MPS-nek. Először is, finomítja az előrejelzett kereslet által szabott

termelési tervet: átcsoportosít munkát a rendelési csúcsokból a kevésbé kihasznált időperiódusba. Levonja a készleten lévő termékeket a termelési tervből, így nem gyárt a vállalat fölöslegesen olyat, ami már készleten van. Ezen kívül gazdaságos és megfelelő csoportokba „adagolja” a kereslet által támasztott termelési igényt hogy a szűkös termelési kapacitásokkal spóroljon.

Mint már korábban írtuk, az MPS egyrészt a tényleges, már beérkezett megrendelésekből épül fel, másrészt az előrejelzésekből, amire nem érkezett még tényleges megrendelés. Az előrejelzéseken kívül bekerül az MPS-be az olyan extra megrendelés is, mint például az alkatrész utánrendelések. Ezeket összesítik egy tervezési horizontra, hogy lássák, mennyit kell pontosan az adott vállalatnak termelnie. Ahogy egyre több megrendelés érkezik be, folyamatosan cserélik le az előrejelzést tényleges rendelésre. Ami megmarad az előrejelzés és a már megérkezett rendelések között, arra a mennyiségre „lehet ígérni” az értékesítésnek az adott időpontban.



2. ábra: Időhorizont az MPS-ben

Az MPS-t általában heti bontásban készítik el. Némelyik cég napokat alkalmaz, némelyik órákat, de a negyedéves vagy havi termelési tervek lebontása MPS-be ugyanúgy történik. A tervezési időtáv általában egy év, vagy annál több, de mindenképpen több, mint az adott termék leghosszabb lead time-al rendelkező részegységének lead time-a. (Ha az egyik alkatrész másfél év alatt készül el, nincs értelme egy évre tervezni, hiszen már fél éve

gyártásban van a tervezési időhorizont végén elkészülő termék egyik alkatrésze).

Gyakori módszer, hogy csak megrendelésre szerelik készre a terméket (make-to-order, MTO), a hozzá szükséges részegységeket viszont korábban legyártja (make-to-stock, MTS). Ilyenkor MPS-ben történik a részegységek programozása, míg a készreszerelés már egy külön program alapján történik, a beérkezett megrendelések alapján.

Azt gondolhatjuk, hogy a MPS készítése statikus folyamat. A valóságban nagyon is dinamikus, folyamatosan változó tervezést igényel, akár a tervek heti felülvizsgálatával. Gördülő tervezésnek is nevezhetjük, ahol az elmúlt hét törlésre kerül, és egy újabb hét kerül beiktatásra.

Az MPS-ben négy különböző tervezési periódus van, mindegyik különböző feladatot lát el. Az első, a soron következő a „befagyasztott” vagy zárolt periódus. Itt semmiféle változtatás nem történhet, mivel az erőforrásokat már kiosztották az egyes feladatokhoz. Ez a periódus általában egy hónapos, hiszen a legtöbb termék a kiszállítás előtti két-három hétben kerül összeszerelésre. Következő időperiódus a „szilárd”. Itt különleges esetben lehet változtatni a terven. A következő a „full” periódus, mert az előrejelzést már teljesen betöltötték rendelésekkel, de van lehetőség változtatni a feladatokon. A negyedik periódus az ún. „nyitott” periódus, ahol még van „ígérhető mennyiség”.

1.5.1 MPS összeállítása

Milyen adatokra van szükség az MPS összeállításához?

- Termelési terv (termékek, mennyiségek, határidők)
- Kapacitás adatok (periódusonként, beleszámítva a javítási időket)

Példaképpen nézzünk egy termelési tervet. A vállalat háromféle pumpát gyárt, HZ, HC és R típusút. A termelési terv szerint a következő negyedévben 400 pumpát kell legyártani, hogy a költségek minimálisak legyenek. Ez a 400 darab a háromra együtt vonatkozik (aggregált terv), de az értékesítési adatokból tudjuk, hogy az értékesített termékek kb. 10 százaléka HZ, 35 százaléka HC és 55 százaléka R típusú. Ezen adatok ismeretében kell lebontanunk a következő negyedévre tervezett 400 darabot. A táblázatból látszik, hogy a késztermékekből rendre 12, 25 és 35 darabos készlet rendelkezésre áll. Továbbá a vállalat 10, 20 és 40 darabos biztonsági készletet kíván tartani. Ennek megfelelően került a heti bontásban

módosításra (csökkentés a meglévő készlet miatt, növelés a biztonsági készlet miatt) a gyártandó mennyiség.

Az MPS készítéséhez az első negyedévre a tervezett termelést eloszthatjuk a rendelkezésre álló 13 hétre minden termékre egyenlően. A gépek beállítása a különböző termékek gyártására azonban időigényes feladat, ezért érdemesebb a 13 hétre kiadott feladatot úgy legyártani, hogy egy féle termékből egyszerre nagyobb mennyiség készüljön el. A mi példánkban a HZ pumpákat négyhetente gyártják összesen három alkalommal, így érik el a kért mennyiséget, míg a HC és R pumpák esetében két-kéthetente gyártanak termékeket.

2. táblázat: Példa MPS-re

Készlet	Arány	Bizt. Készlet	Típus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Összesen
12	10%	10	HZ				12				13				13		40-12+10=38
25	35%	20	HC		23		22		23		22		23		22		140-25+20=135
35	55%	40	R	32		32		32		32		32		32		33	220-35+40=225

Összes termelés: 398

1.6 Kapacitástervezés (Capacity Requirements Planning)

A kapacitástervezés célja a termelési vezérprogram érvényességének ellenőrzése. Ennek elvégzésére két mód is kínálkozik: a durva kapacitástervezés és a részletes kapacitástervezés. A durva kapacitástervezés során közelítő munka- és gépórakkal számolnak, közvetlenül a termelési vezérprogramból, hogy a szükségletlebonthatás nélkül előre tudják jelezni a kapacitásigényeket. Ha nem elegendő a kapacitás, akkor vagy a vezérprogramot módosítják, vagy a kapacitást változtatják meg, hogy megvalósítható vezértervhez jussanak.

Ha részletes kapacitástervezést használnak, akkor a kapacitástervezés csak az anyagszükségletek tervezését követően kerül sorra. A kialakuló gyártási rendeléseket összevetik a munkaállomások kapacitásával. Az eredmény egy előrejelzés az egyes munkaállomások munkaóra és gépóra felhasználásáról. Ha nem elegendő a kapacitás, akkor ebben az esetben is a vezérprogram változtatása, vagy a kapacitások növelése adhat megoldást. Amennyiben elég a kapacitás, akkor már rögtön az anyagszükségletek is rendelkezésre állnak.

2 Készletgazdálkodás

2.1 Készletgazdálkodás feladatai

Az anyaggazdálkodás célja megfelelő mennyiségű készletet tartani raktáron, a lehető legalacsonyabb költséggel. Főbb feladatai:

- megállapítani a marketing előrejelzésekből a szükséges anyagmennyiséget és kapcsolatba lépni a beszerzési osztállyal,
- beérkező áruk fogadása és tárolása megfelelő körülmények között
- anyagigénylés kielégítése
- felesleges készletek felismerése és csökkentése.

Anyagok típusai

A vállalat által felhasznált anyagok főbb típusai a következők:

- Nyersanyag és beszerzett áruk, beépülő termékek
- Műveletközi készlet (Work in Progress – WIP)
- Félkész termékek
- Késztermék
- Segédanyagok (tisztító folyadék, villanykörte, stb.)

Normális esetben az első és az utolsó terméktípus egyértelműen az anyagbeszerzőkhöz tartozik. A segédanyagokat nevezhetjük közvetett anyagoknak is, hiszen a költségüket nem tudjuk közvetlenül a termékekhez kapcsolni, csak költséghelyekhez. Nyersanyagok lehetnek közvetettek és közvetlenek is.

A műveletközi készletek és a késztermékek is tartozhatnak az anyagbeszerzőhöz, de tartozhat a vállalat más osztályához is. Ezen két említett anyagtípusból amennyiben felesleges többletmennyiség áll rendelkezésre, át kell gondolni és alakítani a tervezési és ellenőrzési rendszert.

Műveletközi készletek (WIP – Work in Progress)

A termelési folyamat során az input anyagok végighaladnak a megmunkálás különböző fázisain. Az átalakítási folyamat különböző lépcsői előtt és alatt az anyag a gépek, berendezések kapacitásainak eltérése, ill. magának az alakváltoztatási folyamat időszükséglete miatt „várákozik”. Nyilvánvaló tehát, hogy készletek magában a termelési folyamatban is vannak, ezek mértéke erősen függ a termelési technológia időszükségletétől, valamint a termelési folyamat lépéseinek összehangolásától.

2.2 A készletezési rendszer költségei

A készletezési rendszer ráfordításainak vizsgálatakor a közvetlen ráfordítások mellett figyelembe kell venni a vállalkozás egészét érintő hatásokat is, mint például a befektetett (lekötött) tőkét, az esetleges veszteségek, hiányok miatti veszteségeket stb. A készletezés költségeit a vizsgálatokhoz a következőképpen szokás csoportosítani:

- a készlettartás költségei (a készletek tárolásával, kezelésével stb. kapcsolatos kiadások, vagyis a készletek, mint fizikai tárgyak állapotának megőrzése érdekében felmerült költségek, valamint a termékek értékjellegéhez kapcsolódó költségek tartoznak ide);
- a készletpótlás költségei (a készletek létrehozásának, szállításának, rendelésének stb. költségeit soroljuk e csoportba);
- a hiányköltségek (ezek alapvetően lehetnek konkrét veszteségek, ill. a hiány miatt elvesztett lehetőségek).

A fenti csoportokhoz tartozó költségeket részletesebben a következők tartalmazzák:

Készlettartási költségek

A készlettartási költségeket két nagy alcsoportra osztjuk, tekintettel arra, hogy a készletek egyrészt *fizikai* tárgyak, másrészt azok *értéket* képviselnek.

A készletek *fizikai jellegéhez* kapcsolódó költségek:

- raktárak, tárolóterületek fenntartási, üzemeltetési költségei és ezek értékcsökkenése;
- a tárolással kapcsolatos anyagmozgatás ráfordításai (ki- és betárolás, kommissiózás stb.);

- tárolási veszteségek (beszáradás, minőségromlás stb.);
- raktári adminisztráció költségei.

A készletek *érték* jellegéhez kapcsolódó költségek:

- a készletekbe fektetett tőke jövedelmezőségi normája;
- a készletezési rendszer tárgyi eszközei (épületek, gépek stb.) által lekötött tőke jövedelmezőségi normája;
- készletek avulási, értékcsökkenési vesztesége;
- biztosítási kiadások.

A termék értékéhez kapcsolódó költségei között kiemelkedő szerepe van a készletekbe, mint inaktív eszközökbe történő tőkebefektetésből eredő potenciális veszteségeknek. A számítások során ügyelni kell azonban arra, hogy a fenti „jövedelmezőségi norma” a lekötött tőkének a készletezésbe, ill. esetleg más területen történő befektetése közötti különbséget, azaz nem a tőke szokásos jövedelmezőségi normáját jelenti.

A hiány költségei

A hiányköltségek alapvetően két területen jelentkeznek. Egyrészt beszélhetünk a *termelés menetét, technológiáját befolyásoló* készlethiányokról, amelyek a termelési kapacitások kihasználatlanságán vagy a termelési eljárások átalakításán keresztül befolyásolják a költségeket. Ezek a készlethiány miatt felmerülő belső költségek.

A készlethiányok külső hatásai a *vállalkozás piaci helyzetét károsan befolyásoló*, nehezen felmérhető és inkább hosszú távon jelentkező hitelvesztés, imázsromlás, ill. az ezek kiküszöbölése érdekében tett intézkedések viszonylag pontosan kimutatható költségei, mint pl. kötbérfizetés, rendkívüli szállítások költségei stb.

A *termelést akadályozó* készlethiány költségei (belső készlethiány-költségek):

- tárgyi eszközök (gépek) kihasználatlansága;
- a munkaerő kihasználatlansága, ill. a ténylegesen felmerülő túlóraköltségek;
- a termelés átszervezéséből adódó költségek.

A *vállalat piaci helyzetét befolyásoló*, ill. ennek kiküszöbölését célzó tevékenységek költségei (külső készlethiány-költségek):

- goodwill veszteség;

- elmaradó, vagy később jelentkező nyereség;
- rendkívüli utánpótlás többletköltségei;
- kötbér költségek.

A készletpótlás költségei

A készletpótlás költségeit is két fő alcsoportra bonthatjuk. Egyrészt beszélhetünk a *beszerzendő készletek vételáráról*, amelyeket a szállítóknak kell megtéríteni, ill. az előző „külső” költségeken felüli „belső” költségekről, amelyek a *beszerzések lebonyolításának konkrét ráfordításait*, a rendelések adminisztrációs költségeit, ill. az árutovábbításra fordított kiadásokat takarják.

A *beszerzési költségek* közé sorolhatók:

- vételár,
- esetleges vám- és adóterhek.

A *lebonyolítási költségek* a következők lehetnek:

- rendelés, utánpótlás adminisztrációs költségei;
- árutovábbítási költségek (szállítás, rakodás);
- árukezelési költségek (átvétel, minőségellenőrzés, reklamáció stb.).

2.3 Átfutási idő – Lead Time

A készletgazdálkodás gyakran használt kifejezése a lead time. Úgy definiálhatjuk, hogy az igény felmerülése és teljesítése között eltelt idő. Két különböző lead time-ről szoktunk beszélni, a beszerzési és a gyártásiról. Ebben a részben a beszerzési lead time-ről fogunk beszélni. A beszerzési lead time nem egyezik meg a szállítási idővel: beletartozik a rendelés feladásához szükséges idő valamint az áru érkeztetése a megfelelő raktárba.

Beszerzési lead time		
Megrendeléshez szükséges idő	Szállítási idő	Árufogadási idő

A megrendeléshez szükséges idő és az árufogadási idő ugyanolyan fontos lehet, mint a szállításhoz szükséges idő. Gondoljunk arra, amikor a

készletgazdálkodásért felelős menedzser várja az árut, és a beszerzés elfelejtette feladni a rendelést (megnő a megrendeléshez szükséges idő), vagy már megérkezett az áru, de a beérkezési minőségellenőrzésen elakadt (árufogadási idő nőtt meg). Ezek mind a lead time bizonytalanságához vezetnek, melyek jelentős többletköltségekkel járhatnak (magas lead time miatt magas biztonsági készletszintet kell tartani, míg a lead time csökkentésével ez a készlet csökkenthető). Ez az első és utolsó tényező a vállalat irányítása alatt áll, így a vezetésnek különös figyelmet kell ezen területekre szentelnie.

2.4 Készletgazdálkodás megközelítési módjai

Napjainkban kétfajta megközelítéssel találkozhatunk a készletgazdálkodásban:

- kereslettől független és
- kereslettől függő

megközelítés.

Kereslettől független megközelítést leginkább a késztermékek és a segédanyagok készletgazdálkodása esetében alkalmazzák, míg a kereslettől függőt (figyelembe veszi a megrendelések hatását) a nyersanyagok és a műveletközi készletek esetében.

A készletgazdálkodás hatalmas mennyiségű adat feldolgozását teheti szükségessé. Ennek egyszerűsítéseképpen lehet – érdemes csoportokba rendezni a készleteket aszerint, hogy milyen szintű ellenőrzésre van szükség. ABC-elemzés szerinti csoportba rendezés alapján kiválaszthatjuk azt a készletcsoportot, amelynek ellenőrzése kiemelten fontos, illetve kevésbé fontos. Tapasztalatok szerint a készletek mindössze 20 százalékának ellenőrzésével lehetővé válik az éves felhasználási érték 80 százalékának ellenőrzése. A kereslettől függő megközelítés egyik módszere az MRP (Material Requirements Planning), melyet a későbbiekben ismertetjük.

2.5 Kereslettől független készletgazdálkodás

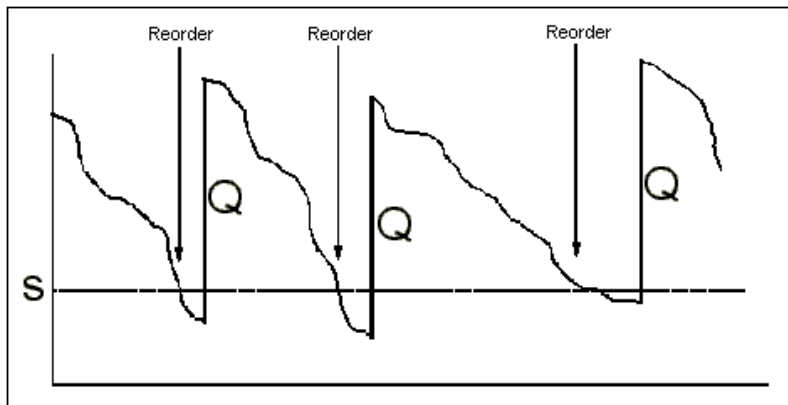
Ennél a megközelítésnél a készlet vásárlását magának a készletnek valamilyen viselkedése idézi elő, nem a végtermékre leadott megrendelések száma. Innen a név: kereslettől független. Két fő típusát mutatjuk be az alábbiakban:

1. Fix rendelési mennyiség: Ebben az esetben a rendelés akkor kerül feladásra, amikor az adott készlet elér egy bizonyos szintet: az

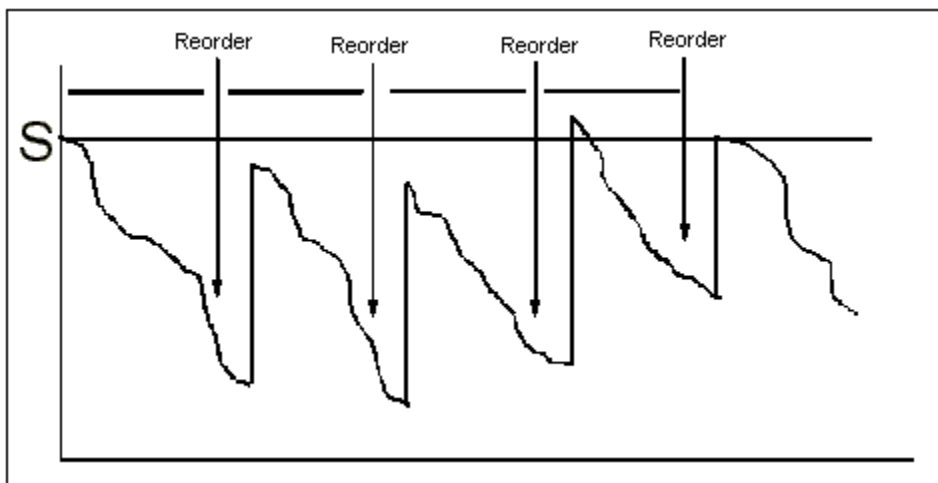
ún. újrendelési szintet (re-order level – ROL). A rendelt mennyiség (re-order quantity – ROQ) általában egy előre megállapított fix mennyiség, mely a lead time ismeretében biztosítja a megfelelő készletszintet. Példa: Két doboznyi fénymásoló papír található a vállalatnál. Amikor az egyik doboz elfogy, rendelnek egy újat (utánrendelési szint 1 doboznál, utánrendelési mennyiség 1 doboz), és amíg a beszállítás megtörténik (beszerzési lead time) a másik doboz készletét használják.

2. Fix újrendelési intervallum (periodic review): Ebben az esetben az utánrendelés bizonyos időperiódusonként történik. A rendelt mennyiség lehet fix, mint az előző esetben, de gyakrabban történik úgy, hogy elérjen egy bizonyos előre megállapított szintet. Előnye ennek a módszernek, hogy a beszállítók tudják, mikor várható a megrendelés beérkezése, valamint a beszerzési osztály is jobban megtervezheti a saját munkáját. Az előző példát követve: a vállalat minden hónapban rendel fénymásolópapírt, még hozzá úgy, hogy a készlet 5000 lap legyen.

Ezzel a két megközelítéssel a vállalatok a készleteik kb. 50 százalékának a beszerzését tervezik, mely az éves felhasznált érték mindössze 5 százalékát teszi ki. Így marad számítási kapacitás arra a 20 százalékra, mely a felhasznált érték akár 80 százalékát is kiteheti.



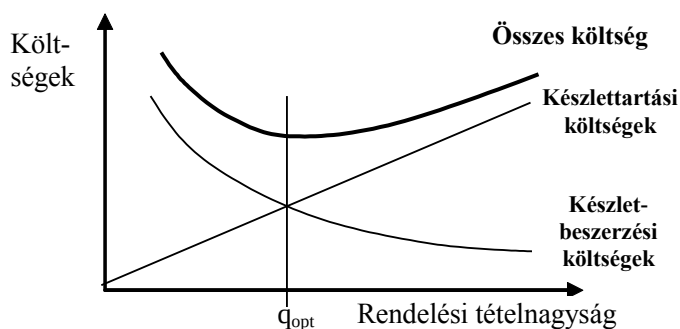
3. ábra: Fix újrendelési mennyiség (Q állandó)



4. ábra: Fix újrendelési intervallum

2.5.1 Gazdaságos rendelési mennyiség (Economic Order Quantity – EOQ)

A rendelt mennyiség (legyen az a vállalaton belülről egy másik műhelyből, vagy egy külső beszállítótól) több költségtevénytől függ. Egyrészt az ún. rendelési költség vagy készlet-utánpótlási költség: a gépeket át kell állítani, vagy külső szállító esetén szállítási költség, rakodási költséggel kell számolni. Minél kevesebb a rendelések darabszáma, ezek a költségek annál alacsonyabbak. Viszont a kevés rendelés azt jelenti, hogy magas lesz az átlagos készletszint a vállalatnál, mely növeli a készlettartási költségeket. E két költség ismeretében kell megállapítani a gazdaságos rendelési mennyiséget, mely biztosítja a készletgazdálkodás minimális költségekkel történő működését.



5. ábra: Gazdaságos rendelési mennyiség

A GRM azt a rendelési mennyiséget keresi, amely mellett a figyelembe vett összes költség a minimumot adja.

A költségek alakulása

A készlettartási költségek egyenesen arányosak az átlagos készletmennyiséggel, valamint az egységnyi készlet időegységre vetített tartási költségével.

Egységnyi időnek általában kisebb egységet, napot, hetet választunk, de lehet az egység természetesen ennél nagyobb is. Az átlagos készlet nagysága arányos a rendelt mennyiséggel.

Legyen a készlettartás költsége K , a rendelés összköltsége R , a kettő összege, vagyis az összes költség $K_{\bar{O}}$. Ezekkel a *készlettartás* költsége:

$$K = \frac{q}{2} \cdot k_k \cdot T,$$

itt k_k az időegységre jutó készlettartási költséget,

T pedig a vizsgálat időtartamát jelenti.

A *rendelési* költségek, fentiek szerint a következő egyenlettel írhatók le:

$$R = \frac{Q}{q} \cdot k_r,$$

ahol Q a vizsgálati időtartam alatti igény,

k_r pedig egy tétel rendelésének költsége.

Az *összes* költség a fenti két költségcsoporthoz összege, azaz

$$K_{\bar{O}} = \frac{q}{2} \cdot k_k \cdot T + \frac{Q}{q} \cdot k_r.$$

Ezekkel a költségekkel a „teljes” költség szempontjából legjobbnak tartott rendelési mennyiség már könnyen számítható.

Az „optimális” tétel nagyság

A költségek szempontjából legkedvezőbb (legkisebb összköltséget eredményező) tétel nagyságot ott kapjuk, ahol az összköltségek 3. ábrán bemutatott görbéje minimumot ér el.

Tekintve, hogy ez a függvény folytonos, deriválható, ezért a költségminimumot ott kapjuk, ahol az egyenlet q szerint vett első differenciál-hányadosának értéke nulla. Meghatározhatjuk (ebben az esetben) azonban a minimális költséget adó tétel méretet úgy is, hogy a két költséggörbe metszéspontját megkeressük. Mivel ekkor a két görbe azonos költséget mutat, ezért írható, hogy:

$$\frac{q}{2} \cdot k_k \cdot T = \frac{Q}{q} \cdot k_r$$

Innen q -t kifejezve a szakirodalomban jól ismert négyzetgyökös formulát kapjuk:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2Q}{T} \cdot \frac{k_r}{k_k}}$$

Differenciálszámítást alkalmazva:

$$\frac{dK_{\text{Ö}}}{dq} = \frac{k_k \cdot T}{2} - \frac{Q}{q^2} \cdot k_r = 0,$$

ahonnan q -t kifejezve szintén a fenti formulát kapjuk.

A gazdaságos rendelési mennyiség érzékenysége

Az előbbi ábrán bemutatott összköltség-függvény a minimum közelében láthatóan lapos. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az előző számítással megállapított gazdaságos rendelési mennyiség bármilyen irányú kismértékű változtatásával az összköltség nem változik nagy mértékben. Éppen ezért a gazdaságos rendelési mennyiség általában nem egy konkrét érték, hanem egy szűk intervallum, ami csak néhány százalékos összköltség-növekedést eredményez.

A GRM kritikája

Mivel az itt bemutatott formula nagyon egyszerű, ezért sok vállalatnál alkalmazzák, jöllehet az így kapott „optimális” érték csak bizonyos, ritkán meglévő feltétel mellett igaz. Akkor használhatjuk ezt a számítást, ha

- a vizsgált időszakban az igény közel állandó és folytonos, nem merül fel készlethiány
- a számításhoz figyelembe vett költségek pontosak,
- a pótlási idő elhanyagolható, vagyis az utánpótlás „azonnalinak” tételezhető fel, a beszállító megbízható
- vagy csak egy árufélét vizsgálunk, vagy több termék esetén mind az igény, mind az egységnyi készletezési költség mindegyik elemből közel ugyanannyi,
- a rendelési költség nem függ a tétel nagyságtól,
- nem számolunk biztonsági készlettel.

Bár a GRM a leírtak szerint csak korlátozottan alkalmazható, az abból levont következtetések értékesek, s általános érvényűek. Így pl. megállapítható, hogy

- mennél nagyobb a vizsgált időszak összes igénye, annál nagyobb tételeket célszerű rendelni,
- hasonlóképpen, mennél nagyobb az egy tétel rendelésének költsége, annál inkább törekedni kell a nagyobb tételekre,
- minél drágább a termék (ami a készletezési költségben tükröződik), annál kisebb tételeket kell rendelni.

Mínthogy az optimális tétel nagyság a rendelési és a készletezési költségek hányadosának függvénye, egyáltalában nem mindegy, hogy a vállalatnál felmerült költségeket hova vetítjük. Vegyük észre, hogy a költségek vetítése során bekövetkezett kisebb tévedések (vagy azok szándékos manipulálása) egészen más eredményt produkál. Különösen fontos ezért, hogy a költségek elkülönítése korrekten, objektíven történjék meg.

Ha a tétel nagyságot a GRM módszerrel határozza meg, még néhány gyakorlati szempontot is figyelembe venni. Így például:

- az összköltség görbéje az optimális pont környezetében meglehetősen „lapos”, vagyis attól kisebb eltérést mid felfelé, mind lefelé nyugodtan megengedhetünk,

- érdemes a kapott eredményt kerekíteni, nem szabad elfeledkezni a fizikai korlátoktól, adottságoktól, így:
 - a raktárkapacitásról,
 - az anyagmozgatási kapacitásról,
 - az esetleges beruházás problémáiról stb.

2.5.2 Biztonsági készletek

A fenti számítások abból indulnak ki, hogy mind a kereslet, mind a lead time ismert és állandó. Valóságban ezek a tényezők nem mindig ismertek és nem állandóak, bár előre jól jelezhetők.

Egy egyszerű példát nézve: Ha a lead time 5 hét, a heti felhasználás az adott anyagból 16, akkor az utánrendelési szint (re-order level, ROL):

$$ROL = 5 \cdot 16 = 80$$

Vagyis amikor a raktárban az adott anyagból 80 áll rendelkezésre, fel kell adnunk a megrendelést. Azonban ha akár a lead time, akár a kereslet változik, készlethiány alakul ki. Ennek kivédése érdekében az átlagos kereslet és az átlagos lead time alapján kikalkulált utánrendelési szint (ROL) felett szükséges bizonyos mértékű biztonsági készlet tartása is.

A biztonsági készlet nagysága függ a menedzsment kockázatvállalási kedvétől. A főbb, készlethiányból adódó költségek a következők:

1. Késztermékek esetén ez a költség attól függ, hogy a vásárló hajlandó-e várni a termék elkészültére, vagy máshol veszi meg. Ez jelenthet profit veszteséget és goodwill veszteséget is.

2. Alapanyagok esetében a költség a következményektől függ:

a., a készletfogyás miatt munkaerő és gépek állnak kihasználatlanul. A költség ilyenkor arányos a kiesés hosszával és a hiányzó termékek számával.

b., át kell dolgozni a termelési tervet. Ennek a költsége független a kiesés hosszától és a hiányzó termékek számától.

c., alternatív beszerzési forrást kell keresni, természetesen magasabb áron: a hiányzó termékek darabszámával arányos költségnövekedés következik be.

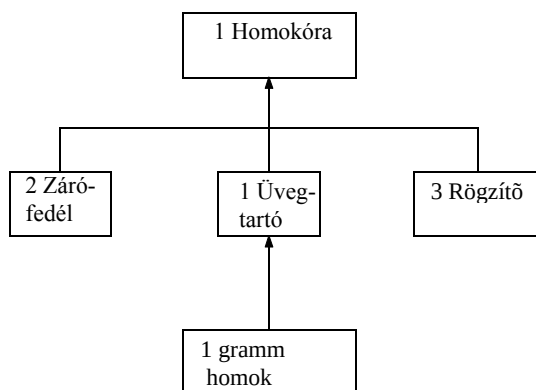
A biztonsági készletek alkalmazása növeli az átlagos készletszintet, így a készlettartási költségeket is. Ha a lead time és a kereslet körüli bizonytalanságot (ami életre hívta a biztonsági készletet) csökkenteni tudjuk, a készlettartási költségek is csökkennek. Ez elérhető különböző adatgyűjtési és feldolgozási technikákkal, jó előrejelzésekkel.

2.6 Kereslettől függő készletgazdálkodás: Az MRP Program

Az MRP program abból indul ki, hogy mennyi a gyártási programban meghatározott igény a végtermékek iránt, az anyagjegyzékből ennek milyen alapanyagigénye származik, és ezen információk alapján a végtermék igényeket lefordítja a bruttó alapanyag és alkatrész igények szintjére. Ezután kiszámítja a nettó igényeket, figyelembe véve a meglévő és már megrendelt készleteket, és kidolgozza, hogy milyen további alapanyag megrendeléseket kell megindítani, és milyen ütemezésben.

Példa az MRP működésére

Hogy jobban megértsük az MRP működési mechanizmusát, nézzünk meg egy olyan vállalat példáját, amelyik pl. a tojásfőzéshez használatos kis homokórákat gyárt. Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy egy darab végtermék előállítására van igény, melyet a mostantól számított nyolcadik héten kell leszállítani. Ebben az esetben az MRP működése a következő:



Forrás: Coyle et al. (1992), *The Management of Business Logistics* 5th edition.

6. ábra: Termékfa, anyagjegyzék

A 6. ábra a homokóra összeszerelését leíró anyagjegyzéket mutatja be. Egy végtermék előállításához a bruttó anyagigény két záró fedél, egy üvegtartó, három rögzítő és 1 gramm homok. Az árából az is kiderül, hogy már az összeszerelés előtt a homokot az üvegtartóba kell tölteni.

3. táblázat: Készletnyilvántartás File: MRP Homokóra példa

Termék	Bruttó igény	Meglévő készlet	Nettó igény	Átfutási idő (hetekben)
Homokóra	1	0	1	1
Zárófedél	2	0	2	5
Rögzítő	3	2	1	1
Üvegtartó	1	0	1	1
Homok	1	0	1	4

A 3. táblázat bemutatja a homokóra összeszerelés készletnyilvántartását, és kiszámítja a nettó alapanyagigényeket, figyelembe véve a bruttó igényt és a már meglévő készleteket. Egyben azt is rögzíti, hogy mennyi az átfutási idő az egyes részegységekre. Például a rögzítők és az üvegtartó gyártásához szükséges idő egy hét, míg a homok beszerzéséhez négy hét, a zárófedelek legyártásához öt hét kell. Ha minden alkatrész rendelkezésre áll, akkor a végső összeszerelés egy hetet vesz igénybe.

4. táblázat: Megrendelés ütemezés

HOMOKÓRA(LT=1)	1	2	3	4	5	6	7	8
Szükséges mennyiség								1
Gyártás ütemezés							1	

ZÁRÓFEDÉL(LT= 5)	1	2	3	4	5	6	7	8
Bruttó igény							2	
meglévő készlet	0	0	0	0	0	0	0	
ütemezett beérkezés							2	
Megrendelés		2						

RÖGZÍTŐ (LT=1)	1	2	3	4	5	6	7	8
bruttó igény							3	
meglévő készlet	2	2	2	2	2	2	2	
ütemezett beérkezés							1	
Megrendelés feladása						1		

ÜVEGTARTÓ (LT=1)	1	2	3	4	5	6	7	8
Bruttó igény							1	
Meglévő készlet	0	0	0	0	0	0	0	
Ütemezett beérkezés							1	
Megrendelés feladása						1		

HOMOK (LT=4)	1	2	3	4	5	6	7	8
Bruttó igény						1		
Meglévő készlet	0	0	0	0	0	0		
Ütemezett beérkezés						1		
Megrendelés feladása		1						

Forrás : Coyle et al. (1992), *The Management of Business Logistics* 5th edition.

A 4. táblázat összefoglalóan tartalmazza azokat a tevékenységeket, melyek a megrendelésekkel, anyagfogadásokkal, beérkezésekkel kapcsolatosak. Mivel a gyártónak a nyolcadik héten kell befejeznie a termék legyártását, az ehhez szükséges összes részegységnek a hetedik héten kell rendelkezésre állni, mely jól látható a táblázat felső részén.

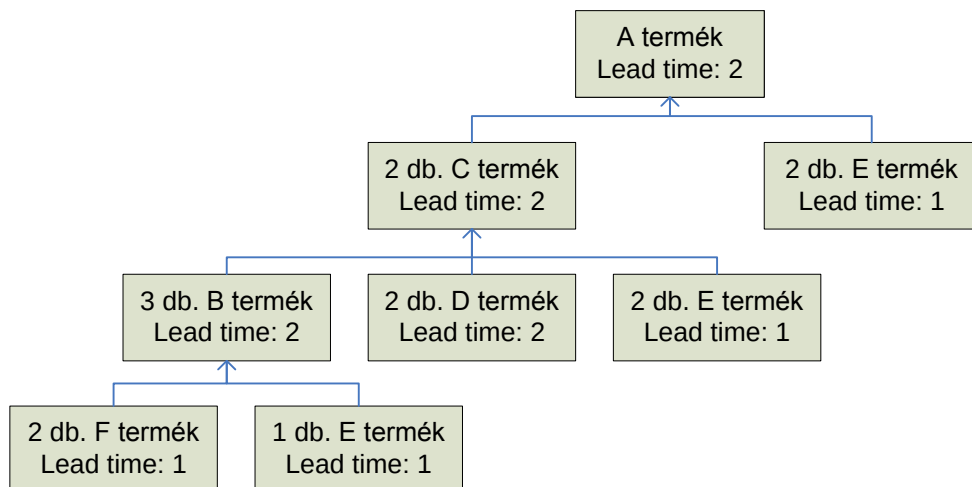
Visszafelé haladva, a hetedik héttől visszaszámolva az alsó táblázatok meghatározzák, hogy milyen beszerzési stratégiával és ütemezéssel kell megrendelni a szükséges részegységeket, alkatrészeket. Így például, mivel a zárófedelek átfutási ideje (lead time - LT) öt hét, ezért a cégnek ezeket a második héten meg kell rendelnie. A rögzítőkből kettő már van készleten, ezért csak egyet kell rendelni, az átfutási idő egy hét, ezért a hatodik héten kell feladni a megrendelést. Az üvegtartót a hatodik héten kell megrendelni, hogy a hetedik hétre megérkezzen, a homokot a második héten, hogy a hatodikon megöjjön, és legyen idő betölteni az üvegtartóba.

A példa jól illusztrálja, hogy az MRP miképpen kezeli a készletek ütemezését és felügyeletét. A gyakorlatban az MRP program maga végzi el ezeket a számításokat. Amikor a program kidolgozza az ütemezést, a beszerzéssel foglalkozók számára megfelelő formában megjeleníti ezeket az adatokat, így a cég a kívánt mennyiségben és a megfelelő időben tudja feladni anyagmegrendeléseit.

Az MRP kiválóan alkalmas arra, hogy nagy mennyiségű és különböző alapanyagok beszerzésével kapcsolatos tervezési, ütemezési és ellenőrzési funkciót ellássa. A bemutatott igen egyszerű példától eltekintve, bonyolultabb esetekben a megoldás csak számítógépes támogatással képzelhető el. A cégek MRP rendszere csak nagyteljesítményű, modern számítógépes rendszerekkel működhet hatékonyan.

Összefoglalva: a fő gyártási programra alapozva az MRP meghatározza a szükséges készletszinteket, és kidolgozza az időben ütemezett készlet beérkezéseket. Mivel az MRP a késztermék gyártásához szükséges alapanyagok listáját készíti el, és előírja a megrendeléseket, ezért ún. push, ("tolt") megközelítésnek is nevezik. Ezért esetében fontos a megrendelések előrejelzésének pontossága. Általában az MRP-t ott alkalmazzák, ahol az alapanyagok és részegységek iránti igény valamely végtermék iránti keresletből közvetlenül számolható.

Gyakorló feladat



7. ábra: MRP anyagjegyzék

A 6. ábrán egy termék összeállítási diagramja látható.

A megrendelés szerint az „A” késztermékből **2500 db-ot** kell átadni a vevőknek a mostantól számított 9. héten. Jelenleg a raktárunkban 500 A termék van. További induló készletek:

C – 200 db

E – 600 db

D – 100 db

A B részegységből szerződés alapján minden héten érkezik 400 db külön megrendelés nélkül.

A C részegységből szerződés alapján minden héten érkezik 200 db külön megrendelés nélkül.

Készítse el az alábbi táblázatban az MRP táblákat arra, hogy az E részegységből mikor és mennyit kell rendelni, hogy vevőink felé a határidőket tartani tudjuk!

5. táblázat: MRP tábla a gyakorló feladathoz

Hét	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Megnevezés									
LT									
Bruttó igény									
Készlet									
Nettó igény									
Megrendelés									
Megnevezés									
LT									
Bruttó igény									
Készlet									
Nettó igény									
Megrendelés									
Megnevezés									
LT									
Bruttó igény									
Készlet									
Nettó igény									
Megrendelés									
Megnevezés									
LT									
Bruttó igény									
Készlet									
Nettó igény									
Megrendelés									
Megnevezés									
LT									
Bruttó igény									
Készlet									

Nettó igény									
Megrendelés									
Megnevezés									
LT									
Bruttó igény									
Készlet									
Nettó igény									
Megrendelés									

Az MRP alapú rendszerek fő jellemzői:

- Ésszerű nagyságú biztonsági készletet tart fenn, ugyanakkor törekszik a készletek általános szintjének csökkentésére
- Időben felismeri a folyamatban felmerülő problémákat, és képes a beavatkozásra
- A termelési program a tényleges és előre jelzett igényeken alapul
- A cég egész logisztikai rendszerének anyagmegrendeléseit kezeli
- Alkalmas a szakaszos és batch termelés és összeszerelés kiszolgálására

Az MRP korlátai:

- Sikere nagy mértékben függ a keresleti előrejelzések pontosságától
- Mind a megrendelési, mind a szállítási költségek jelentősen emelkednek, ha a cég a készletszintjeit megpróbálja lejjebb szorítani, és egyszerre csak kisebb mennyiségeket rendel, az aktuális szükségletei szerint
- Nem annyira érzékeny a rövid távú kereslet ingadozásokra, mint az újrendelési szint eljárás
- Időnként a rendszer meglehetősen bonyolulttá, nehezen áttekinthetővé válik

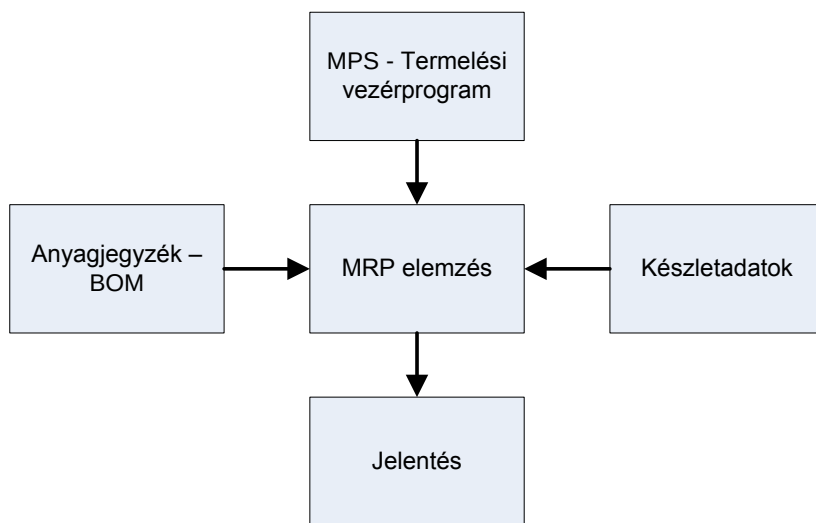
Gyakorta viták tárgya, hogy az MRP-ben van-e szükség biztonsági készletek alkalmazására. A végtermék elérni kívánt készletszintjébe általában beterveznek néhány bizonytalanság miatti többletet.

A 6. ábrán az MRP általános struktúrája látható. A három fő bemenő adat:

- Bill of Materials – anyagjegyzék (ld. 6. ábra)

- Készletadatok
- MPS – termelési vezérprogram. Tartalmazhat már meglévő rendeléseket és az előrejelzett rendeléseket is, mindegyik időperiódusra és termékre.

A fentebb bemutatott számítás egyszerűnek tűnik. A valóságban azonban több készterméktípus van, mindegyik külön termékfával, és több száz alkatrésszel, melyek gyakran ugyanazok különböző termékek esetén. A terv pedig akár több periódust is felöllelhet. Mindezek miatt az MRP általában számítógépes alkalmazásként fut. Ez lehetővé teszi, hogy bármely input-tényező változása esetén újra lefuttassák a programot. A program sikeres működéséhez természetesen a bemenő adatok pontossága a legfontosabb.



8. ábra: Az MRP struktúrája

2.7 Az MRP II

Amint az előző részben láttuk, az MRP nem veszi figyelembe a kapacitásokat a tervezés során. Ez és egyéb más okok miatt, az MRP továbbfejlesztéseként dolgozták ki az MRP II-t, mely kezdetben ugyan megegyezik "elődjével" de a tényleges elnevezése Manufacturing Resource Planning (Gyártási erőforrás tervezés). Az MRP előnyeit megtartva az MRP II képes a logisztikai terület és a pénzügyi rendszer integrálására is.

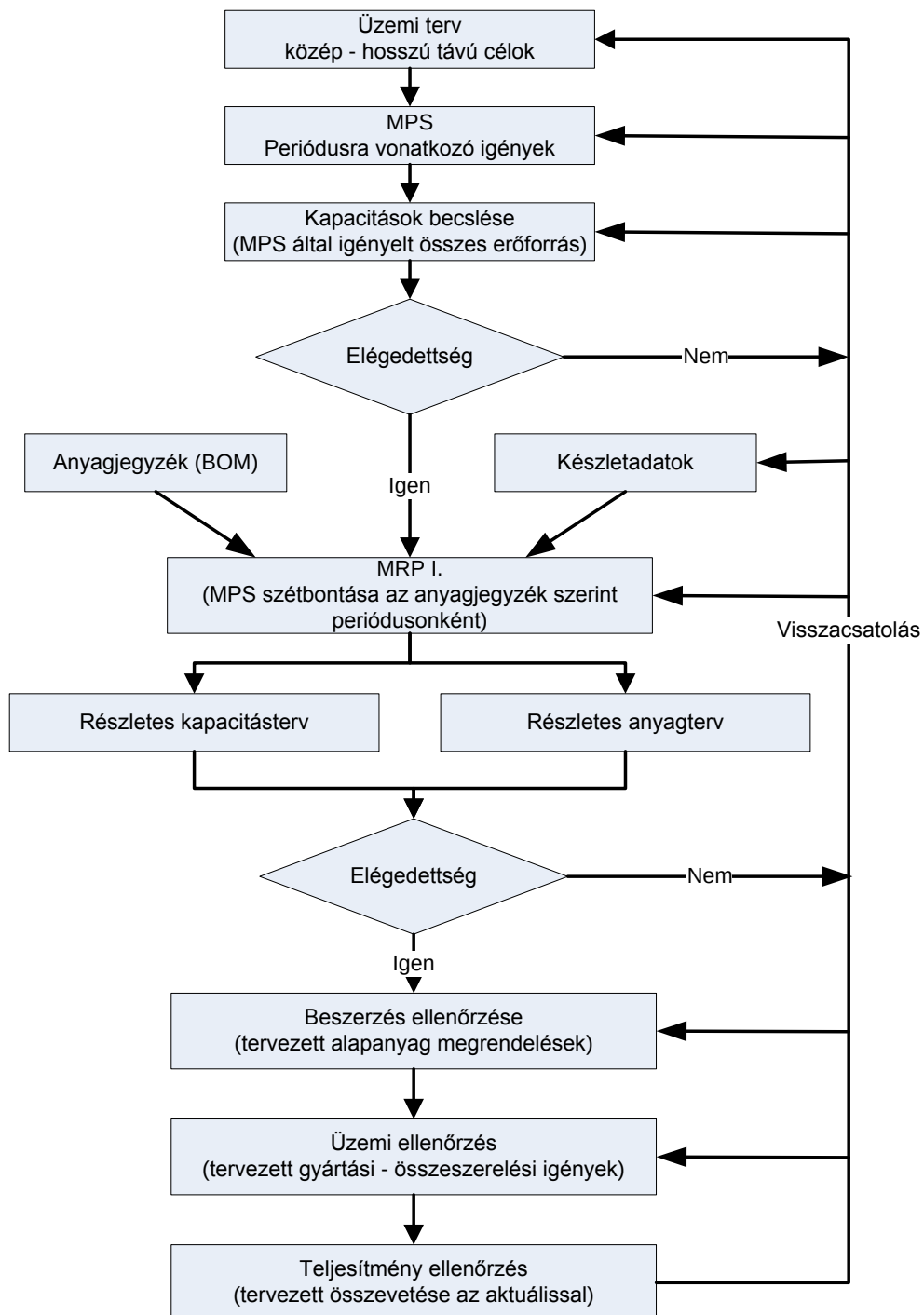
Az MRP II egy igen hasznos tervezési rendszer, mely abban nyújt segítséget, hogy szimulálja az egyes logisztikai, gyártási, marketing és pénzügyi stratégiák lehetséges kimeneteleit, ezzel támogatva a döntéshozók munkáját. Segít választ adni a " Mi lenne, ha ..?" típusú kérdésekre, így kiválaszthatók a megfelelő anyagáramlási módszerek és eljárások, a tárolási technológia a logisztikai rendszer különböző pontjain.

Az MRP II célja

- Csökkenteni a gyártási folyamat összköltségét és idejét, ezáltal csökkenteni a működési költségeket, a gyártásközi készleteket és egyben növelni a bevételeket is
- Fokozni a termék rendelkezésre állását és az időben történő kiszállítások arányát
- Képesé tenni a rendszert az igények változásának követésére
- Felgyorsítani az információáramlást és csökkenteni az adminisztrációt
- Kikényszeríteni a pontos információk beszerzését, hiszen a pontatlan, hibás adatok többlet költséget és magasabb készletszintet eredményeznek

Látható, hogy az MRP II egy olyan eljárás, mely magába integrálja a cég összes funkcionális területét. Az MRP II hatására javul a vevők kiszolgálásának színvonala, hiszen csökken a készlethiányok valószínűsége, szervezettebb a kiszállítás, rugalmasabban lehet igazodni a felmerülő igényekhez. Az MRP II bevezetésével csökken a készletek szintje, és a készletek költsége, kevesebb fennakadás van a gyártósoron és sokkal rugalmasabb a termelés.

A 9. ábra mutatja az MRP II rendszer egyszerűsített struktúráját.



9. ábra: Leegyszerűsített MRP II

2.8 A JIT (Just-in-Time) termelés, pull rendszer

A JIT egy általános filozófia, termelési, szervezési, irányítási elv, melyet gyakran és tévesen a készlet nélküli termelés szinonimjaként alkalmaznak. Ennek oka talán a JIT elnevezésének félreérthetőségében rejlik. A „Just-In-Time” szó szerint fordításaként az „Éppen időben”-t szokták megadni, ami félrevezető a tekintetben, hogy ki vagy mi van éppen időben. Mivel a JIT pull rendszer, azaz a termék előállítása, az anyagáramlás csak konkrét megrendelésre, utasításra kezdődhet, így az anyag valóban éppen időben van, az anyag nem vár a rendszerben, hiszen már őt várják. Ellenben a vevő vár, az átfutási időket ezért kell a minimálisra szorítani.

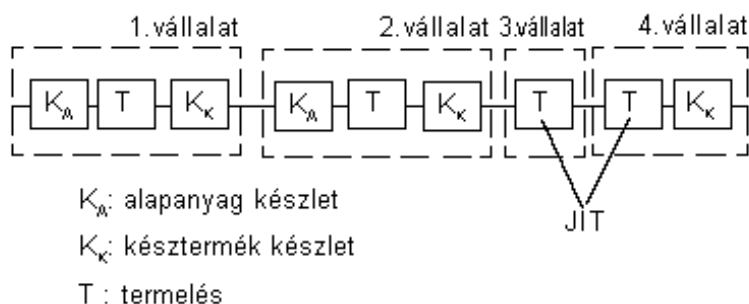
Általánosan a JIT egy működési filozófia, ami a veszteség csökkentésén, az alkalmazottak bevonásán, az állandó folyamatfejlesztésen keresztül a költségcsökkentésért, a kiszolgálás és a minőség javításáért küzd.

Ebben az értelemben a JIT többet jelent, mint egyszerűen a készletnélküli termelést. Általában a következő veszteségtípusokat különböztetik meg:

1. Veszteség a túlermelésből.
2. Veszteség a várakozásból.
3. Szállítási veszteség.
4. Feldolgozási veszteség.
5. Készletezési veszteség.
6. A mozgatás okozta veszteség.
7. A termékhibából származó veszteség.
8. Veszteségek a képességek és lehetőségek kihasználatlanságából.
9. Veszteség az adatkezelésből.
10. Veszteség a párhuzamosságok létrehozásából.
11. Veszteség a félreértésekből és hibákból.

A JIT pusztán készletnélküli termelésként való felfogása tulajdonképpen a JIT értelmének elvesztését jelenti, ugyanis például egy jól működő MRP (push) rendszer ugyanolyan jól tudja kezelni az alapanyag készlet szintet. Egyébként is, csak az alapján, hogy egy termelő vállalat késztermék raktárának készlet szintjét megnézzük, nem lehet eldönteni, hogy push vagy pull rendszerről van-e szó. Egyszerű próba lehet viszont, hogy ha minden egyes késztermékről meg tudjuk mondani, hogy melyik vevőnek, melyik

megrendelése alapján került legyártásra és mikor kerül kiszállításra, akkor pull rendszer (JIT), ha a válasz az, hogy még nem tudjuk, majd valakinek értékesítik a kereskedők, akkor push rendszer.



10. ábra: Termelési és készletezési folyamatok.

A JIT nem öncél. Egyik eredménye az ún. logisztikai gondolkodásmódnak, megközelítésnek, ami szerint a részrendszerek optimuma helyett az összrendszerek optimumára kell tördelni. A cél a zavartalan, hatékony anyag- és információáramlás. Ez a globális optimumra való törekvés vezethet oda, hogy valamelyik készletszintre a 0 érték az optimális. Más esetekben lehet az eredmény valamilyen adott készletszint.

A JIT komoly követelményeket támaszt a menedzsmenttel szemben. Megkívánja, hogy a termék pontosan a szükséges időben a szükséges mennyiségben rendelkezésre álljon. Az ütemezésről semmilyen irányban nem lehet eltérés. (Egyel több darabot gyártani éppolyan hiba, mint egyel kevesebbet. Minden, ami a szükséges minimum felett van, veszteség.)

A JIT kihívása a vezetés irányába azon alapul, hogy nem tűri a tartalékokat, veszteségnek tekinti őket. A vezetők többsége ugyanakkor szereti bebiztosítani magát, rendszeresen képez tartalékot (idő, kapacitás, anyag), arra az esetre, ha a dolgok mégsem mennének rendben.

A JIT rendszerben az ideális kezelt téte nagyság az egy darab. A hagyományosan készleteken keresztül kapcsolódó alrendszerek együttesét úgy tekintjük, mintha egy hatalmas rendszer részei volnának, belső (al)rendszerhatárok nélkül, amiben az egyik munkahelyről a következőre közvetlenül vándorolnak a munkadarabok. Ezáltal:

- a készletek (és a hozzájuk kapcsolódó) költségek a legalacsonyabbak,
- csökken az átfutási idő,

- gyorsabban lehet reagálni a változó és egyéni igényekre,
- a minőségi problémák azonnal kiderülnek

(Ha készletre gyártunk, előfordul, hogy egy nem megfelelő félkész termékkel feltöltjük a raktárt, és ez csak akkor derül ki, amikor elkezdik őket felhasználni.). A készlet - időben - eltolja a hibák felismerését.

- kisebb a helyigény.

Ebben a megközelítésben a készlet nem vagyon, hanem egy negatív, kerülendő dolog.

A JIT alapvető elemei:

1. Állandó termelési volumen.
2. Alacsony készlet
3. Kis tételek.
4. Gyors, kevés költséggel járó átállás.
5. A célnak megfelelő üzemelrendezés.
6. Hatékony megelőző karbantartás.
7. Többszakmász munkások.
8. Magas minőségi szint.
9. Együttműködési készség a problémák megoldásában.
10. Megbízható szállítók.
11. Húzó rendszer
12. Folyamatos tökéletesítés.
13. Erős informatikai kapcsolat, kommunikáció a vevő és szállító között.

JIT bevezetése

A JIT bevezetésére gyakran az ügyfelek nyomására, kezdeményezése alapján kerül sor. Napjaink piaca által megkívánt (másképpen a differenciált

vevőigényeket jobban figyelembe vevő) termékek előállítása egyre nagyobb követelményeket támaszt a gyártási idővel és a raktárkészletek minimalizálásával szemben. A JIT napjainkban a legjobbnak tűnő módszer, amellyel ezekre a kihívásokra a megfelelő választ meg lehet adni.

Gyakori az a nézet, amely szerint ha az ügyfél nem hajlandó készleteket tartani, akkor azokat a beszállítónál kell raktározni és az ezzel járó költségeket neki kell viselni. Annak érdekében, hogy ez részben elkerülhető legyen, szorosabb kapcsolatot kell a beszállítókkal kiépíteni. Amennyiben ez sikerül, a JIT előnyeit mindkét vállalat élvezheti és a készletek az egész ellátási láncban belül csökkenthetők. Ha a JIT jól működik, az ellátási láncban résztvevők mindegyike nyerhet általa.

A részes partnerek közötti jó kapcsolat a következő előnyökkel járhat:

- állandó, jó minőségű áru készülhet;
- a szállítási idők garantáltak lesznek;
- állandó és előre jelezhető az igény;
- gyorsabb, hatékonyabb kommunikációs csatornák alakulnak ki;
- beszállítók közelebb kerülnek a vállalathoz (erre törekedni kell az ellátásban esetleg bekövetkező veszélyek mérséklése érdekében);
- kölcsönös bizalom alakul ki;
- termékfejlesztés költségeinek közös viselésére is sor kerülhet.

A JIT bevezetését akadályozó problémák

1. A felső vezetés elkötelezettségének hiánya.
2. Gyenge termékminőség.
3. A dolgozók rossz hozzáállása, támogatásuk hiánya.
4. Alkalmatlan szállítási rendszerek.
5. A beszállító vonakodó kooperációja, együttműködési készsége.
6. A támogatás megszerzésére irányuló tervek hiánya.
7. az ellátási lánc kommunikációs rendszerének hiányosságai.

A menedzsment kulcsfontosságú feladatai a JIT bevezetésekor

1. A menedzsmentnek eltökéltnek kell lennie a folyamatokban rejlő veszteségek felszámolására.
2. A menedzsmentnek elkötelezettnek kell lennie az innováció irányában.
3. Jól motivált és rugalmas munkaerőre van szükség.
4. Rugalmas gyártórendszert kell létrehozni, tartalék kapacitásokkal.
5. A minőségben a "nulla hibaszázalék" megközelítésre kell törekedni.
6. Az alkalmas beszállítókat szelektálni kell.
7. A beszállítókkal hosszú távra szóló kapcsolatot kell kiépíteni.
8. Kisebbségi és gyakoribb beszállításokra kell felkészülni.
9. Megbízható szállítási időkre van szükség.
10. Ki kell építeni a szoros kommunikációs kapcsolatot a beszállítókkal.

2.9 A kanban

Kissé leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a Kanban a gyártásközi készletek területén megvalósuló JIT módszer.

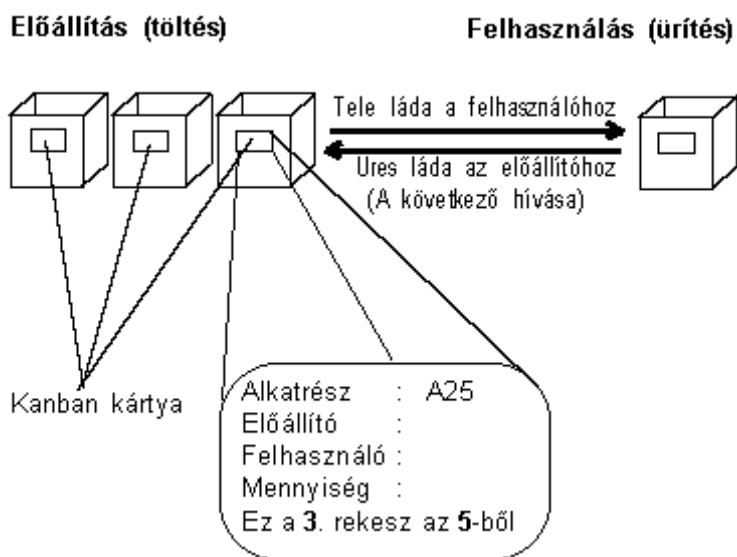
A kanban japán szó, kártyát, látható feljegyzést jelent. A termelésirányításban alkalmazott kanban általánosabb kommunikációt a felhasználtól az ellátó irányába kiadott – húzó – jelet jelent. Az eredeti kanban irányítási rendszer esetén ennek a jelnek a hordozója egy kártya.

Lehet azonban más is kanban, például: kiáltás, hang, vagy fényjel, számítógép terminál képernyője, hangjele; egy elküldött üres tárolórekesz; telefon, hangosbemondó. Az üzenet, amit a kanban hordoz: "Küldheted, küldjed!". Működése az alábbi elemekből tevődik össze.

1. A felhasználónál igény jelentkezik.
2. Kiadja a hívójelet.
3. Az igényt teljesítik.

Kártyás kanban

Ennél a megoldásnál a hívó üzenet hordozója egy kártya. A rendszer működését a következő példán keresztül mutatjuk be. Az A alkatrészt a gyárban állítják elő és a késztermék szerelésekor használják fel. Az előállítási és szerelési munkahelyek közötti anyagforgalomra 4 ládát állítottak be. Tegyük fel, hogy egy tetszőlegesen választott időpontban a 4 ládából 3 található az előállítónál, egy pedig a felhasználónál. A ládák befogadóképessége 10 alkatrész/láda. Amikor a felhasználónál a láda kiürül, visszaküldi az előállítóhoz. A ládákra rá van erősítve, a kanban kártya, amely az információkat hordozza. (11. ábra.)



11. ábra: A kártyás kanban működése

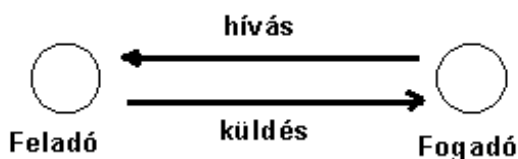
A kártyán található információk felhasználása:

- Alkatrész: A felhasználó az adott konténerbe helyezze a megfelelő alkatrészt,
- Előállító: A feladási hely. Az anyagmozgatónak az üres konténert ide kell visszajuttatnia,
- Felhasználó: A fogadópon. A tele konténert (ládát, rekeszt) ide kell szállítani.

- **Mennyiség:** Az előállító (feladó) ennyit tegyen bele.
- **A ládák azonosítója és az összládák száma:** azonosítás, a ládák elkeveredésének megelőzése. Ládacsere esetén a tévedés kizárása.

A ládák kiürülése különböző ideig tarthat, ez a rendszer működése szempontjából közömbös. Mozgásuk függ a felhasználás ütemétől. A ládák száma és a ládákba helyezhető cikk mennyisége adott. Ezzel a gyártásközi készletek mennyisége behatárolt. (Az előállító nem tud többet gyártani, mert nincs hova tennie!)

A rendszer működésének modellje tehát (12. ábra.):



12. ábra: A kanban működése

A módszer bevezetésekor úgy célszerű eljárni, hogy több konténert helyezünk üzembe, és nem töltjük meg őket teljesen. Ez biztonságot ad, mivel szükség esetén a konténerekbe több, nagyobb mennyiségű anyag helyezhető el, és a felhasználónál több tele konténer is tartható. A működtetési tapasztalatok alapján azután a konténerek száma csökkenthető. Csökkenés adódhat a betanulásból is, az emberek gyakorlatot szereznek a rendszer üzembiztos működtetésében. A tapasztalatok alapján beállítható az egy konténerbe rakandó mennyiség is. Emiatt ugyancsak változhat a konténerek száma. Ha úgy döntünk, hogy – például a munkahelyi készletek csökkentése érdekében – kivesszünk egy konténert a rendszerből, ezt kanban eltávolításnak (kanban removat) hívjuk.

A visszavonás lehetőségére utaló jelek:

- A felhasználónál soha nem lép fel hiány, mindig sok készlete van.
- Az előállító mindig kényelmesen meg tudja tölteni a tárolókat.

Kanban bevitelének szükségességére utaló jelek:

- gyakori hiány a felhasználónál,
- az előállítónál műszak végén gyakori túlórák a tárolók feltöltése érdekében.

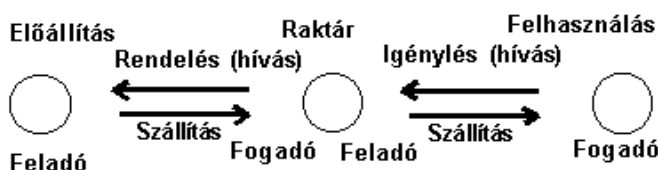
A kártyás módszer optikai leolvasók, vonalkód alkalmasságával “elektronizálható”. A leolvasási információtovábbítás ezáltal számítógépekkel segíthető.

Kettős kanban.

Vannak esetek, amikor az előállító és a felhasználó között nem nélkülözhető a raktár. Ilyenek lehetnek:

- eltérő kapacitás,
- több felhasználó, több előállító,
- nagy távolság.

A raktározást is tartalmazó kanban modellje a 10. ábrán látható.



13. ábra: A kettős kanban működése

Kanban területek

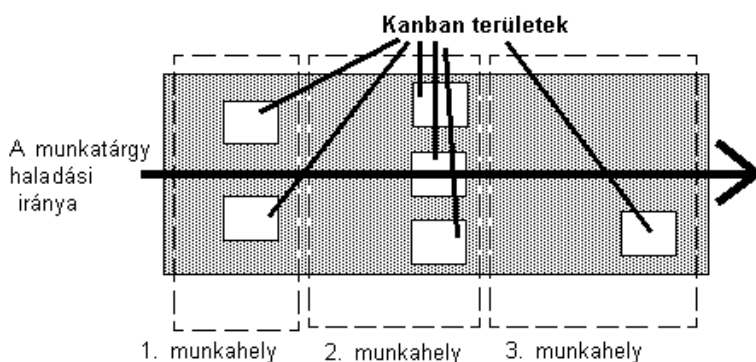
Nemcsak a tárolóeszközök, hanem a terület is szolgálhatja a készletek korlátozását. Az ilyen munka(hely)közi helyek a kanban területek. Alkalmazásukat a 10. ábrán látható példán keresztül mutatjuk be.

Mindegyik munkahely csak a hozzátartozó kanban területről dolgozik. Ha egy terület kiürül, akkor azt a megelőző fázisból feltöltik. A terek befogadóképessége függ a kapacitásviszonyoktól, a véletlen ingadozástól.

A rendszer kialakításakor körültekintően kell eljárni. A cél nem a kanban alkalmazása, vagy a készlet nélküli termelés. A cél a rendszer hatékony működtetése. Összrendszer szinten kell optimalizálni. Ha a kapacitásviszonyok olyanok, megengedhető bizonyos gyártásközi készlet a

nagyobb kapacitású keresztmetszet után. Amíg ezt a készletet feldolgozzák, más munkát végezhet a dolgozó. (Pl. besegít a szűk keresztmetszetű helyeken.) A szélsőséges kanban alkalmazás ronthatja a munkaerő kihasználását. A kanbannál feltétlenül kell gondoskodni a kapacitáskülönbségekből adódó várakozási idő hasznosításáról.

Igaz az is, ha a kanbant nagyon “lazán” alkalmazzuk, - sok kanban - könnyen nyomó rendszerre válhat, és nagy készleteket eredményezhet.



14. ábra: Kanban területek

2.10 Vegyes rendszerek, optimalizált termelési technológia (OPT)

Az előzőekben azt láthattuk, hogy a kanban a JIT egy manuális megközelítése, addig az OPT megvalósításához szoftver alkalmazására van szükség

Az optimalizált termelési technológiát az 1970-es években fejlesztették ki Izraelben azzal a céllal, hogy kapacitáshiányos esetben is ki lehessen elégíteni a vevők igényeit. Kifejlesztése óta a világ több országában elterjedt.

Az OPT célja a szűk keresztmetszetek kihasználásának maximalizálása és az anyagáram szinkronizálása révén a gyártásközi készletek alacsony értéken tartása.

A második célt illetően az OPT hasonlít a JIT-re, a módszer, ahogyan azt el kívánja érni, különböző. Az OPT nem a különböző termékek keverékének állandó ütemű gyártásán alapul. A termékválaszték széles határok közötti

ingadozása ugyanis a szűk keresztmetszetek eltolódásait okozhatja, emiatt az üzemet a kapacitásviszonyok szempontjából állandóan újra kell elemezni. Az OPT nem alkalmazza a húzó rendszert sem, ahol a munkahelyekre beérkező anyagáram illeszkedik a feldolgozás üteméhez. Ehelyett úgy koordinálja az anyagok mozgását, hogy azok a szűk keresztmetszethez igazodva szinkronban mozogjanak. Így tehát az OPT egy vegyes rendszer, a szűk keresztmetszet előtt pull rendszer, az anyagáramot behúzza a szűk keresztmetszetbe, utána push rendszer, azaz az elkészült terméket rátolja a többi termelési fázisra.

Tegyük fel, hogy egy üzem nemcsak félkészeket, alkatrészeket, hanem azokból összetett terméket is előállít, továbbá az igény meghaladja az üzem kapacitását. Ekkor bizonyos munkahelyek **szűk keresztmetszetként** viselkednek, mivel korlátozzák bizonyos összetevők gyártási ütemét. Mivel a komponensek szükségesek a késztermékhez, a szűk keresztmetszet egyúttal korlátozza a késztermék gyártását is, ezen keresztül pedig az árbevételt. Az összes többi komponens mennyiségét a szűk keresztmetszeten átmenő komponensek mennyisége határozza meg. Ha a nem szűk keresztmetszetekben a gyártás nem illeszkedik a szűk keresztmetszethez (meghaladja annak kapacitását), akkor felesleges, felhasználásra várakozó félkész termék készletek halmozódnak fel.

Az OPT a szűk keresztmetszetekre összpontosít, igyekszik feltárni őket, majd megbizonyosodni arról, hogy ezek az erőforrások teljesen kihasználtak.

OPT elvek:

1. A anyagáramot egyenlítsük ki, ne pedig a kapacitást. Fontosabb az anyagáram folyamatossága, mint a kapacitások azonossága.
2. A nem szűk keresztmetszetek kihasználási szintjét nem annyira a saját lehetőségei, mint inkább más rendszerbeli korlátok, határozzák meg. Ha például az összeszerelés nem szűk keresztmetszeten olyan alkatrészekből történik, amelyek szűk keresztmetszeten készülnek, a szűk keresztmetszet határozza meg a nem szűk keresztmetszeten átmenő anyagáramot.
3. Egy erőforrás hasznosítása és aktivitása nem azonos fogalmak. Aktivitás az az idő, amit a gép vagy más erőforrás működéssel tölt, függetlenül attól, hogy a termékre van szükség, vagy nincs. Az olyan alkatrészek gyártása, amelyekre nincs szükség, csak foglalja, leköti az erőforrást, nem pedig hasznosítja. Hasznosításról akkor beszélünk, ha az erőforrás a szűk keresztmetszettel összhangban működik.
4. A szűk keresztmetszet egyórás kiesése a rendszer egyórás kiesését eredményezi. Oda kell figyelni a szűk keresztmetszetek hatékony

működésére, mivel ezek határozzák meg a gyár teljes (eladható) termékmennyiségét.

5. A nem szűk keresztmetszeteknél az időmegtakarítás felesleges. Csak növelnénk az amúgy is felesleges kapacitást.

6. A szállítási adagok nagysága nem kell, hogy azonos legyen a feldolgozási sorozat nagysággal (batch). Előfordulhat, hogy a gyártási sorozatot több továbbítási egységre kell felbontani.

7. A feldolgozási sorozatnak (batch) nem állandónak, hanem változtathatónak kell lennie. Az egy sorozatban gyártott mennyiség időről időre és műveletről műveletre változhat. Az adag mérete függ például az adagok közötti pótlólagos átállási időtől.

8. Olyan ütemezést kell alkalmazni, amely a különböző korlátokat egyidejűleg veszi figyelembe. Az előkészületi idők (lead times) az ütemezés eredményei, nem pedig előre eldöntött hosszúságúak. Függnek például a tétel nagyságtól, fontosságtól. Emiatt szintén nem lehetnek állandóak.

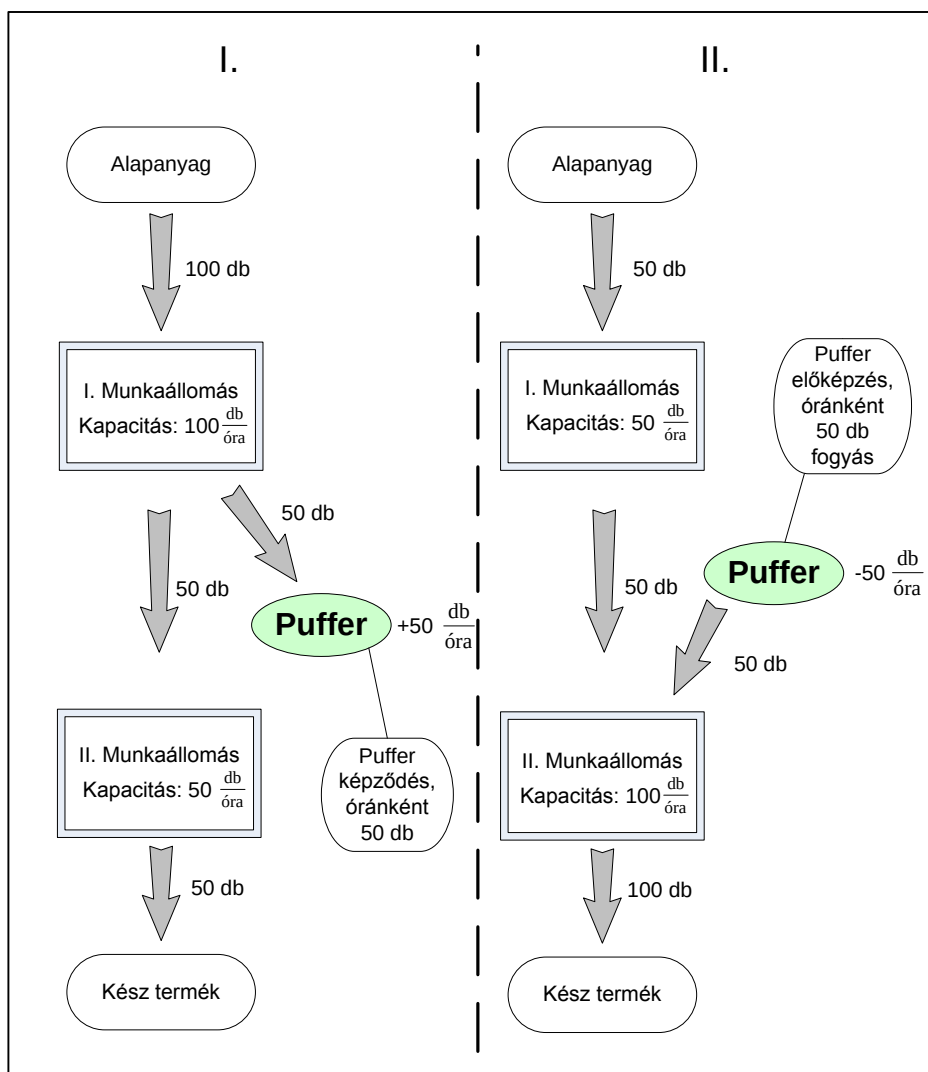
2.11 Összehasonlítás: MRP II, Kanban és az OPT

Az MRP II, a Kanban és az OPT koncepciók esetében több hasonlóságot megfigyelhettünk az előzőekben (készletek csökkentése például). MRP II, de még inkább az OPT olyan tervezési koncepciók, melyek végrehajtásához fejlett szoftverek szükségesek. Az MRP II „tolja” a késztermék előállításához szükséges igényeket végig a gyártási folyamaton, és figyelembe véve a lead time-okat, megfelelő időben feladott rendeléseket generál beszerzésre, gyártásra, összeszerelésre. Az OPT koncepció a szűk keresztmetszetek hasznosításával elméletben felhasználható lenne az MRP II részletes kapacitástervezési képességében. A kanban rendszer egy ellenőrzési és végrehajtási technika, ahol is az igények (a kereslet) vezérli az összeszerelést: amennyiben anyagigény lép fel a gyártásban, az eggyel előző szintről „húzza”, ezen az előző szinten is egy igényt teremtve. Ez a húzó folyamat ismétlődik a teljes termelési folyamatban.

Mind az MRP II-nek mint az OPT-nek nagy szüksége van pontos bemeneti adatokra a tervezés végrehajtásához, és megfelelő számítógépes rendszerre az adatok feldolgozásához. Többféle termék és összetevő kezelésére alkalmas, akár komplex körülmények között is, ellentétben a kanban rendszerrel, amely bizonyos esetekben nem, vagy csak alapos tervezés után használható. Mindegyik rendszernek szüksége van jó piaci előrejelzésekre. Gyakran a legjobb megoldás az MRP II és az OPT közös alkalmazása a tervezéshez, és kanban használata a végrehajtáshoz és ellenőrzéshez.

3 Puffer készlet (Buffer)

A puffer készlet, mint készlet típus többféle képen definiálható. Az egyik definíció szerint puffernek nevezzük a biztonsági készletet, melynek célja, hogy a termelés vagy az értékesítés területén jelentkező véletlen hatások káros következményeitől megvédje a vállalkozást. Ez a készlet tulajdonképpen egy olyan „többletkészlet”, amelyet a vállalkozás azért tart, hogy a váratlanul bekövetkező, előre meg nem becsülhető igény, vagy egy szállítási problémák miatt késlekedő beszerzés stb. miatt ne fusson ki a készletből. – Logisztika I – II.



15. ábra: Puffer képződés

Egy másik megközelítés a szerint a puffer készlet a termelésben képződő áthidaló készlet, mely az egymáshoz kapcsolódó termelési folyamatok között képződik az eltérő átfutási idők, kapacitáskülönbségek vagy munkaszervezési okok miatt (15. ábra).

Ezen kívül számos folyamat eredményezhet puffer készletet, mint például

- ideiglenes leállások
- torlódások
- késések

amik nem feltétlenül kell, hogy holtidőket eredményezzenek. Számos hátránya van egy gyártósori puffer készletnek. Gyártási folyamatokban a készlet növekedése egyben a lekötött tőke növekedését is jelenti, hiszen a termékbe épített alapanyag és élőmunka máshol már nem felhasználható. A puffernek továbbá helyet is kell biztosítani. Sok esetben a termelés méretei miatt sem éri meg puffert képezni. (Gyártásközi puffer bevezetésének javaslata egy autóipari vállalat összeszerelő gyártósoránál nem ragadtatná el sem a könyvelési osztályt, sem a termelési vezetőket.) Azonban pufferképzés számos esetben elengedhetetlen tartozéka egy gyártósornak.

Rendszerveszteség

Az 16. ábra két, tökéletesen kiterhelt gyártósor teljesítményét mutatja a munkaállomások számának függvényében. A rendszer vesztesége láthatóan növekszik a munkaállomások számának növekedésével, hiszen

$$e = \frac{T_c}{T_c + \sum_{i=1}^n p_i * td_i}$$

ahol: e = kihasználtság

$1 - e$ = rendszerveszteség

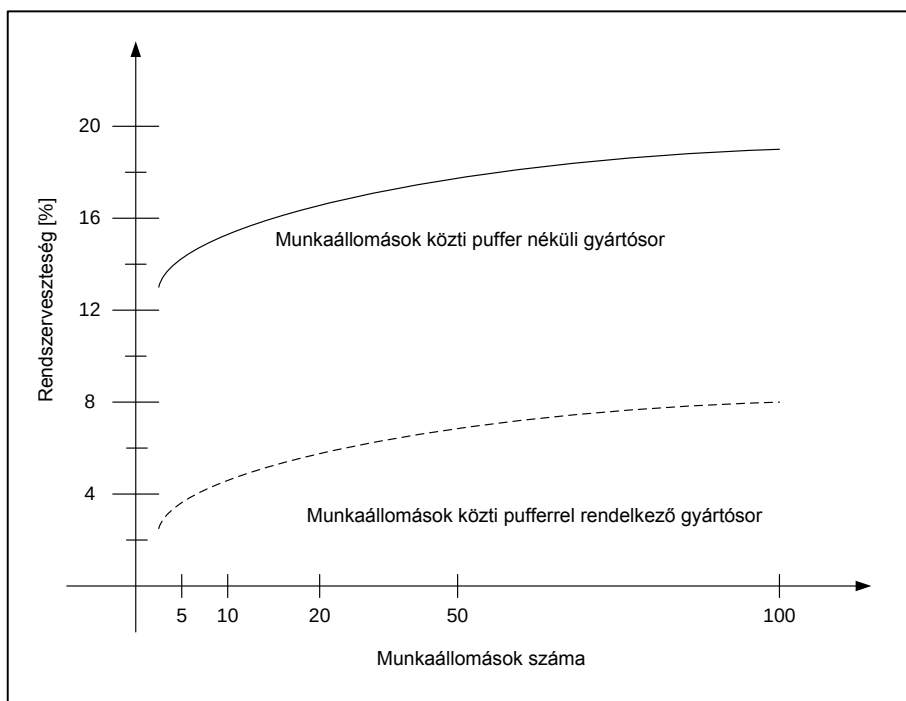
T_c = teljes ciklusidő

n = munkaállomások száma

p_i = meghibásodás valószínűsége

td_i = meghibásodás kijavításához szükséges átlagos idő

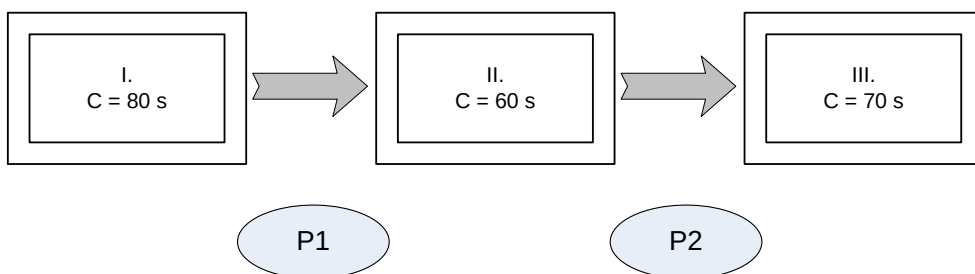
Ezt azonban még nagymértékben befolyásolja, hogy használunk-e puffer készleket, vagy nem.



16. ábra: Rendszer veszteség alakulása a munkaállomások számának és puffer használatnak a függvényében – Ray Wild: Production and operation management – pp 491.

Mintapélda

Egy szekvenciális gyártósorban lévő munkaállomások adatai a következők:



Nem számolunk gépmeghibásodásokkal, az elméleti és gyakorlati ciklusidő megegyezik, de mint látható, gépenként különbözik. A műszak hossza 8 óra. Ismertesse a P1 és P2 puffer méretezési elveit! Hogyan alakul a pufferben lévő termékek száma a műszak alatt? Ábrázolja diagrammban is!

Megoldás

A műszak hosszt a legnagyobb ciklusidejű munkaállomásnál kell figyelembe venni, mivel ugyan azt a mennyiséget az gyártja le a leghosszabb idő alatt.

$$8 \text{ h} = 28\,800 \text{ s}$$

$$C_1 = 80 \text{ s/db}$$

$$\text{Legyártott mennyiség a műszak során: } \frac{28\,800}{80} = 360 \text{ db}$$

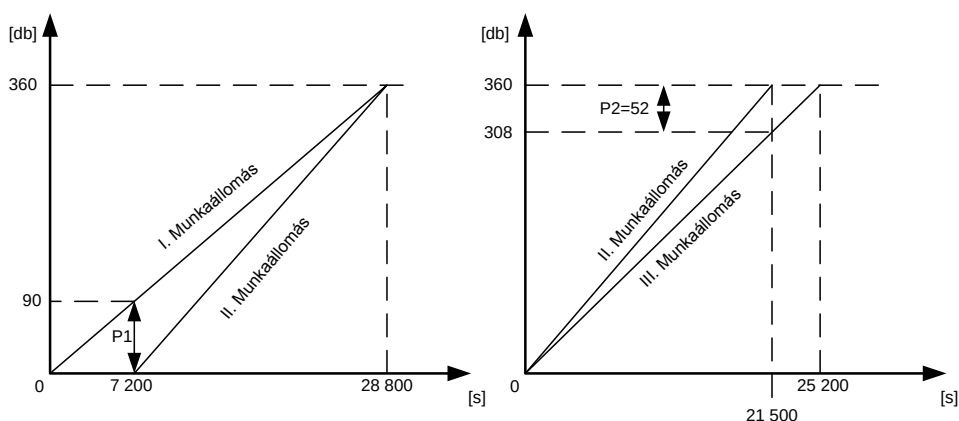
Mivel az I. Munkaállomás lassabban termel, mint a II., ezért a II. Munkaállomást később kell bevonni a termelésbe, hogy folyamatosan tudjon termel, és ne legyen olyan nagy a holtidő.

360 db termék legyártásához szükséges idő a II. Munkaállomáson: $360 \cdot 60 = 21\,600 \text{ s}$, vagyis 7 200 s-al (2 órával) később kell elindítani a II. Munkaállomást, hogy egyszerre fejezzék be a termelést, és ne legyen minden termék legyártása után várakozás.

A 7 200 s alatt felgyülemlett termék száma: $\frac{7\,200}{80} = 90 \text{ db}$, erre kell méretezni a P1-et.

A II. Munkaállomás gyorsabban termel, mint az első, így együtt kell indítani őket, ám a folyamatos termelés alatt puffer képződik. A II. Munkaállomás 21 600 s alatt gyártja le a 360 db terméket, a III. pedig $360 \cdot 70 = 25\,200$ alatt, vagyis 3 600 s-al (1 órával) lassabban. A puffer maximális mérete tehát az a darabszám, amit a III. Munkaállomás 3 600 s alatt termel

$$\frac{3\,600}{70} = 51,4 \Rightarrow 52 \text{ re kell méretezni a P2-t (felfele kell kerekíteni).}$$



4 Megbízhatóság (Reliability)

A megbízhatóságot úgy definiáltuk, mint annak az eshetőségét, hogy egy adott termék vagy szolgáltatás a megadott működési feltételeknek megfelelően a megadott időintervallumban az elvárt módon teljesít.

A megbízhatóság fogalma általában egy termékkel vagy egy szolgáltatással van összefüggésben, vagy olyan termékek, szolgáltatások csoportjával, amelyek egymással kapcsolatban állnak. Ezek között találhatók olyan termékek, mint munkagépek, háztartási gépek, akár egy konzervnyitó, vagy szolgáltatások, mint banki ügyintézés, gyógyászati kezelés, jogi tanácsadás (ami szintén lehet megbízhatatlan); valamint nagyobb csoportok, úgy mint termelési rendszerek, szervezetek, gyártósorok, gyártásfejlesztő csapatok, vagy számítógépes rendszerek. Ezért itt most a megbízhatóság inkább a rendszer értelmében, vagyis sok részből álló egész értelmében lesz használva a termék, szolgáltatás, output vagy ezek csoportjai helyett.

Az előzőekben említett példa egy többszintű, interaktív elemekből álló rendszert alkot, amelyek közül mindegyik elem egy vagy többféle módon meghibásodhat, így nem meglepetés, hogy a rendszer megbízhatósága nagyon alacsony lehet, hacsak a speciális feltételeket nem vesszük figyelembe. Természetesen ez különösen igaz olyan rendszerekre, amelyek olyan elemekből állnak össze, melyek képességei széles skálán mozognak – mint például emberekből. Mivel a szolgáltatások többsége munkaerő igényes, ezért nem meglepő, hogy a szolgáltatások megbízhatósága – ha csak a kimeneti oldalt vizsgáljuk – nem lesz olyan magas, mint egy gépek által előállított terméké. Azonban előfordul, hogy gyakran ilyen sokrétűség beépítése növelni tudja a teljes rendszer megbízhatóságát (például ilyen a végellenőr feladatkör egy gyártósor esetében).

4.1 Pillanatnyi megbízhatóság (Instantaneous reliability)

A pillanatnyi megbízhatóság meghatározása kétfajta számítási módszert foglal magában. Az egyik, amikor a rendszer elemei sorban vannak kapcsolva (ha bármelyik elem meghibásodik, az az egész rendszer meghibásodását jelenti), a másik, amikor a rendszer elemei párhuzamosan vannak kapcsolva (a rendszer egyik eleme a másik elem tartaléka). Ezután a rövid bevezető után ezt a két esetet külön fogjuk áttekinteni.

Ha egy rendszer két elemből áll, melyben az első elem megbízhatósága 60%, a második elem megbízhatósága pedig 40%, akkor a rendszer megbízhatósága $R = 0,4 \times 0,6 = 0,24$ vagyis 24%, amennyiben mindkét elem

működése szükséges a rendszer működéséhez. Ennél fogva az olyan rendszer összesített megbízhatósága, amely több, önálló elemből épül fel és az elemek sorban vannak kapcsolva egymással alacsonyabb lesz, mint a rendszert alkotó elemek megbízhatósága. Vagyis ha egy rendszer minél több elemből épül fel, melyeknek a megbízhatósága akár magas is lehet, a rendszer megbízhatósága annál alacsonyabb lesz. Például egy hét elemes rendszer esetén, amelyben az elemek megbízhatósága 90%, az összesített megbízhatóság $R = (0,9)^7 = 0,48$ vagyis 48%.

Kétségtől bármilyen háztartási eszköznek, például egy varrógépnek, vagy egy rádiónak, ami legalább 50 független alkatrészből áll, rendkívül magasan megbízható elemekből kell felépülni (mondjuk 99,99%) ahhoz, hogy használni tudjuk az igényeinknek megfelelően.

Mindezek ellenére egy autó hogy tud ilyen megbízható lenni a több ezer alkatrészével? Erre három válasz létezik. Elsőként talán mégsem olyan megbízható, mint amilyennek gondoljuk. Akinek volt már valaha régi autója, az már biztos találkozott azzal az idegesítő ténnyel, hogy ahányszor használunk egy ilyen autót, mindig szembesülünk vele, hogy valamit meg kell javítani rajta. Másodsorban az autó akkor is működik, ha a rádió elromlik benne, a fényszórók nem világítanak, sőt, akkor is, ha nem tudok hármasba kapcsolni. Ez jelenti azt, hogy nincs minden elem sorba kapcsolva egymással. Tehát az egyik elem leállása nem jelenti feltétlenül a teljes rendszer leállítását, csupán a rendszer egy része válik használhatatlanná.

És végül harmadikként a tervezők gyakran építenek redundanciát (párhuzamos elemeket) a rendszerbe, ezzel növelve a megbízhatóságát. Példaként az emberi test számos ilyen redundáns elemet tartalmaz (a vese, a szem, a kéz, stb.) Két szemmel könnyebben látunk, a térlátásunk szélesebb és a mélység érzékelése is lehetséges. Az egyik szem elvesztése miatt ugyan megszűnnek ezek a képességek, de nem vezet a rendszer teljes leállításához, a vaksághoz. Az emberi szív-ér rendszer még összetettebb redundanciát tartalmaz, mivel képes helyettesítő elemeket kialakítani egyes sérült vagy tönkrement testrészekben.

Az autó tervezésében lévő redundancia megjelenik a több hengerben, a dupla első és hátsó fényszórókban, a pótkeréknél, valamint a dupla fékrendszerben (hidraulikus és mechanikus). Vészhelyzet esetén továbbá számos fékezési rendszer érhető el. Például ha lejtőmenetben tönkremennek a fékek, a mechanikus fék (kézfék) segítségével meg tudunk állni. Ha ez szintén tönkremegy, akkor még mindig ott a lehetőség alacsonyabb sebességfokozatba kapcsolni, ami által az autó lelassul. Ha ez sem elég, lekapcsolhatjuk a gyújtást a gépjármű sebességének további csökkentéséhez. És ha a vészhelyzet kellőképpen komoly, a sebességváltót hátramenetbe vagy

parkolás funkcióba kapcsolhatjuk, amivel blokkolhatjuk a kerekeket (a tengelykapcsolót pedig ezzel persze tönkretehetjük). Egy másik gyakori példa a redundanciára a számítógépekben lévő áramkörök kettős kapcsolása.

4.2 Sorban kapcsolt elemek megbízhatósága

Az alábbi ábra egy több, interaktív elemből felépülő rendszer megbízhatóságának alakulását mutatja.



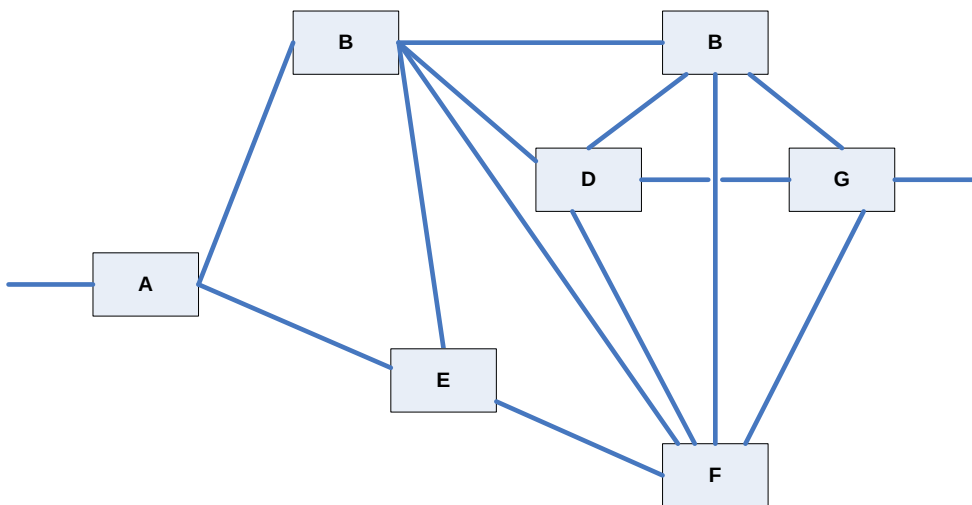
17. ábra: Két sorban kapcsolt elem

Az ábrán a két elem (A és B) egymással sorban van kapcsolva. Ahhoz, hogy a rendszer működőképes legyen, egyaránt mindkét elemnek működnie kell (pl.: egy autónál elengedhetetlen a gyújtás és a tengelykapcsoló működése). Ha az A és B elem megbízhatóságát (annak valószínűségét, hogy megfelelően működik) $R(A)$ -nak és $R(B)$ -nek vesszük, akkor

$$\text{a rendszer megbízhatósága: } R = R(A \text{ és } B) = R(A) R(B)$$

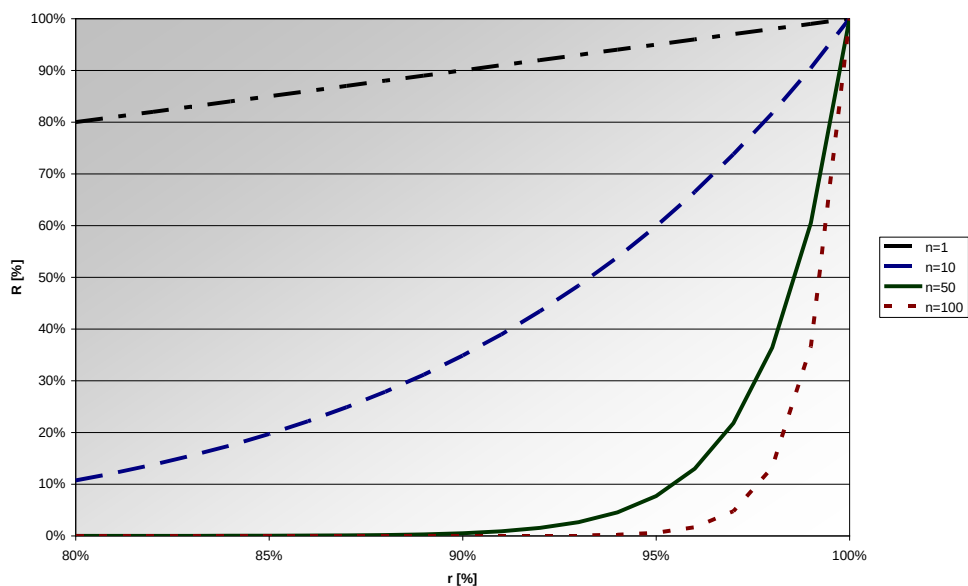
ha a két elem működése független egymástól. Egy speciális eset, amikor a két elem megbízhatósága megegyezik, vagyis $R(A) = R(B) = r$, ekkor a rendszer megbízhatósága r^2 .

Az 18. ábra hét azonos elemből álló kvázi soros kapcsolást mutat. Itt nincs minden elem sorba kapcsolva ugyan, ám ebben az esetben is minden egyes elemnek megfelelően kell működnie ahhoz, hogy a teljes rendszer megfelelően működjön. Ilyenkor a rendszer megbízhatósága r^7 .



18. ábra Több független elem kapcsolata

Ha például egy rendszer minden elemének megbízhatósága 90 %, vagyis $r = 0,9$, akkor a teljes rendszer megbízhatósága (R) a két elemes rendszer esetén $R = 0,9 \times 0,9 = 0,81$, a hét elemes rendszer esetében pedig $R = (0,9)^7 = 0,48$, ami mindkét esetben jelentősen kisebb, mint 0,9. Az 19. ábra szemlélteti, hogy hogyan alakul egy több elemből álló rendszer megbízhatósága.

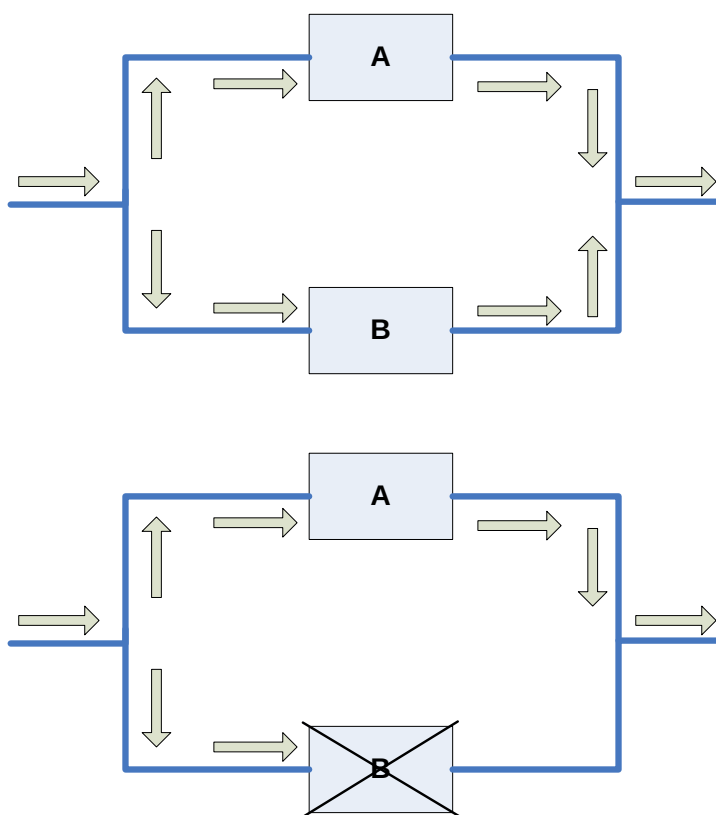


19. ábra: A sorban kapcsolt elemek számának és megbízhatóságának hatása a rendszer megbízhatóságára

A független változó az egyes elemek megbízhatósága (feltételezzük, hogy bármennyi elemből áll is a rendszer, az egyes elemek megbízhatósága ugyanakkora), a függő változó pedig a teljes rendszer megbízhatósága. Látható, hogy az ábra tetején lévő görbe az egy elemes rendszer megbízhatóságát ábrázolja. Ilyenkor a rendszer megbízhatósága megegyezik az adott elem megbízhatóságával, ezért egy lineáris függvényt kapunk. Az alatta lévő görbe a 10 elemes rendszer függvénygörbéje. Látható, hogy ha az egyes elemek megbízhatósága 100 %, akkor a rendszer megbízhatósága itt is 100 %, vagyis ebben a pontban találkozik az előző görbével. De ha lecsökkentjük az egyes elemek megbízhatóságát $r=90\%$ -ra, akkor a rendszer megbízhatósága $R = 0,9^{10} = 35\%$ lesz. Azonban ha ennél is lejjebb visszük, mondjuk 80% -ra, akkor rendszer megbízhatósága már csak 11% lesz.

4.3 Párhuzamosan kapcsolt elemek megbízhatósága

Egy rendszer megbízhatóságában a párhuzamos elemek hatását (redundanciát) a 20. ábra mutatja.

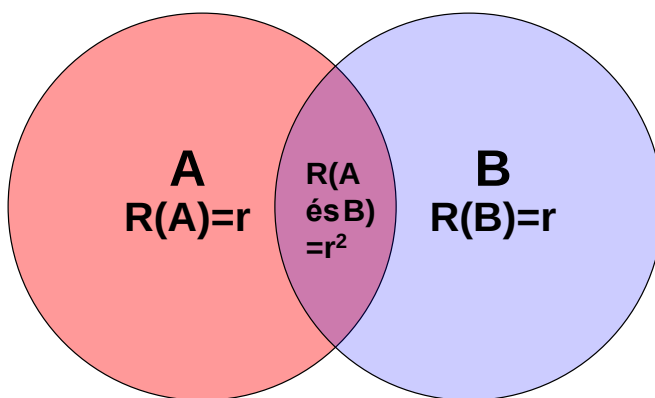


20. ábra: Párhuzamosan kapcsolt elemek hatása

Ebben az esetben ha 'A' meghibásodik, 'B' veszi át a szerepét, vagy éppen fordítva. Ahhoz, hogy a rendszer meghibásodjon, A-nak és B-nek egyaránt meg kell hibásodnia, ami elég valószínűtlen. A rendszer megbízhatósága az egyes elemeivel kifejezve (amennyiben az elemek meghibásodása független egymástól) ebben az esetben:

$$R=R(A \text{ vagy } B)=R(A)+R(B)-R(A \text{ és } B)$$

Ez abból következik, hogy amikor A megbízhatóságát vizsgáljuk – $R(A)$ –, vagyis azon eseteket, amikor A működik, akkor azokat az eseteket is beleszámoljuk, amikor B is működik [$R(A \text{ és } B)$]. Ez önmagában még nem lenne probléma, ám amikor B megbízhatóságát vizsgáljuk, akkor is figyelembe vesszük azt az esetet, amikor A és B egyaránt működik, így ezt kétszer vesszük figyelembe. Ennek az elkerülése végett le kell vonni egyszer A és B közös megbízhatóságát – $R(A \text{ és } B)$. A 21. ábra Venn diagrammal szemlélteti ezt.



21. ábra: Két elemű rendszer megbízhatósága

Az A elem megbízhatóságát – $R(A)$ – a bal oldali kör jelenti, a B elemét – $R(B)$ – pedig a jobb oldali. Amennyiben a rendszer működéséhez mindkét elemnek működnie kell, úgy a rendszer megbízhatósága a két kör metszete lesz – $R(A \text{ és } B)$ –, olyan független elemek esetén, melyek megbízhatósága r , ez az érték r^2 lesz.

De ha a rendszer egyaránt működik akkor is, ha az A és B közül csak az egyik működik, akkor $R(A \text{ vagy } B)$ megbízhatóság a két kör által lefedett teljes területet jelenti. Ez a terület normál esetben $R(A)$ és $R(B)$ területének

összegét jelentené, azonban mivel A és B függetlenek egymástól, ezért a kettő között átfedés van. Ez az átfedés jelenti azt, hogy A és B egyaránt működik. Azt elkerülve, hogy kétszer szerepeljen ez terület, A és B együttes működését ki kell vonni az $R(A) + R(B)$ összefüggésből. Így a rendszer megbízhatósága:

$$R(A) + R(B) - R(A \text{ és } B) = r + r - r^2 = 2r - r^2$$

Egy másik módszer ennek az összefüggésnek a meghatározására fordított logikával:

$$R(A \text{ vagy } B) = 1 - P(A \text{ és } B \text{ egyszerre hibásodik meg})$$

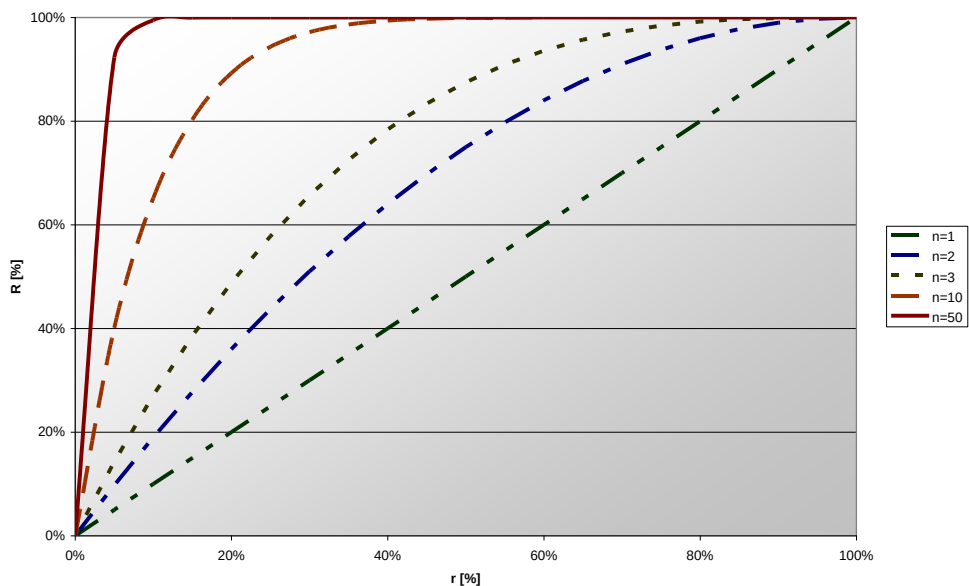
Ahol a P (probability) a valószínűséget jelenti. Annak a valószínűsége, hogy A meghibásodik $1 - R(A)$ vagy $1 - r$, annak pedig, hogy B hibásodik meg $1 - R(B)$, vagy szintén $1 - r$. Ebből a rendszer megbízhatósága:

$$1 - (1 - r)^2 = 1 - 1 + 2r - r^2 = 2r - r^2$$

Ez az egyszerű megközelítés kiterjeszthető bármekkora számú elemre. Például azonos valószínűséggel rendelkező, párhuzamos elhelyezkedésű, n elemű rendszer megbízhatósága:

$$R = 1 - (1 - r)^n$$

A 22. ábra a párhuzamosan elhelyezkedő, azonos megbízhatóságú elemek összevont megbízhatóságát mutatja be az elemek számától és az egyes elemek megbízhatóságának nagyságától függően (hasonlóan, mint az 19. ábra)



22. ábra: A párhuzamosan kapcsolt elemek számának és megbízhatóságának hatása a rendszer megbízhatóságára

Megfigyelhető, hogy 3 elem olyan elem párhuzamosan illesztve, melyeknek megbízhatósága 0,9, már

$$R = 1 - (1 - 0,9)^3 = 1 - 0,13 = 1 - 0,001 = 0,999$$

vagyis 99,9 %-os megbízhatóságot eredményez, ami azt jelenti, hogy 1 000 próbálkozásból egy lesz hibás.

5 Kötegelt feldolgozás (Batch processing)

Ez a fejezet a gazdaságos termelési/feldolgozási sorozatnagyság meghatározásával foglalkozik. Számos tevékenység esetén előnyt jelent, ha a gyártási, vagy feldolgozási folyamat egysége (köteg) nem egyezik meg a fogyasztási egységgel (egyed), vagyis több egyed együttes kezelése alkotja a köteget. Erre azért van szükség, hogy a termelési/feldolgozási folyamat során hasznosítani tudjuk a rendszer kapacitásainak kihasználhatóságából eredő méretgazdaságosságot. Vagyis több egyed együttes kezelése gyorsabban, alacsonyabb költség ráfordítással valósítható meg fajlagosan. Azonban a kötegelt kezelésnek hátrányai is vannak, ami elsősorban a készlettartási költségek megnövekedése. A fejezet ezen döntési szituációk kezelésével foglalkozik.

5.1 Készletcsökkentési igény

A gyártásközi készlet mérete a termelés során esetlegesen alkalmazott kötegelt feldolgozás egyik jellemző tulajdonsága. Számos vállalat törekszik arra, hogy a gyártásközi puffer készletét minimalizálja, esetlegesen nullára csökkentse. Másként fogalmazva a klasszikus értelemben vett kötegelt feldolgozással ellentétben a mai vállalatok igyekeznek a kötegek méretének minimalizálására, ami lehetőleg közelítsen az egy darabhoz.

A kötegelt feldolgozáshoz két költség kapcsolódik szorosan: a készlettartási költség, ami növekszik a köteg méretének növekedésével, valamint az átállási költség, ami csökken a köteg méretének növekedésével. Vagyis a kisebb szériák használata (mondjuk egy darabos) ott ésszerű, ahol a készlettartási költségek magasak, továbbá az átállítási költségek alacsonyak.

Vagyis ahhoz, hogy gazdaságosan tudjuk csökkenteni a készletszintet, csökkenteni kell a gyártások közötti átállási költséget. Ezt kétféle képen lehet elérni: az anyagok megmunkálási folyamatai közötti különbségek csökkentésével, vagyis egyszerűsítéssel, valamint a gyártó eszközök rugalmasságának növelésével. A folyamat egyszerűsítése megoldható tervezési változtatásokkal, továbbá megegyező alkatrészek használatával. Ezen kívül termékcsaládokat, vagy hasonló egységeket lehet bevezetni, és a termelési rendszert ezen egységek alapján beállítani. A gyártó eszközök rugalmasságát növelni lehet szabványos eszközök bevezetésével, a gépek tervezésben történt módosításokkal, valamint bonyolultabb gépek használatával, melyek jobban támogatják az egyes folyamatok közti átállást.

5.2 Kötegelt feldolgozás felhasználási lehetőségei

Bár a kötegelt feldolgozás egyre inkább kapcsolódik a kötegelt gyártáshoz, más feldolgozó rendszerekben is jelen van. Az ellátási rendszerben is megtalálható a kötegelt kezelés, példaként említhetjük azt, amikor a vásárló az árut a készletekből nem darabban, hanem nagyobb tételben, kötegben kapja meg. Az adag, vagy köteg (batch) kialakítás méretgazdaságossági okok miatt történik éppúgy a termelés, ahogy az értékesítés, vagy akár a kiszállítás területén is. Például ha egy értékesítési hálózatban magasak az ellátási költségek, akkor előnyös lehet, ha az egyes igények kiszolgálása helyett több vásárló igényét bizonyos termékek esetében összevontan kezeljük. Hasonlóképpen előnyös lehet a kötegelt feldolgozás használata olyan elosztó rendszereknél, amelyek nem alkalmaznak biztonsági készletet, vagyis a rendszerben jelen lévő minden áru egy vevői megrendelést képvisel. Ilyen formában történik a részvények adás vétele, valamint egyes árucikké is. Számos szolgáltatás esetében is az ügyfeleket kötegelten „dolgozzák fel”. Például bizonyos szórakoztató ágazatokban csak akkor juthatunk hozzá a szolgáltatáshoz, ha a megrendelők száma eléri egy adott mennyiséget. Ez olyan esetekben fordulhat elő, ha a szolgáltatás teljesítéséhez nagyobb erőforrásokat kell mozgósítani. Hasonlóképpen működik néhány szállítási szolgáltatás. Itt csak akkor válik elérhetővé a szolgáltatás, ha egy bizonyos igényt meghalad a szolgáltatást igénylők száma, így tulajdonképpen ez a minimum limit elérése indítja el a szolgáltatást.

Ezek közös tulajdonsága, hogy a köteg kialakításánál meg kell állapítani egy olyan mértet, amely használata a teljes folyamatra vizsgálva is előnyös. A termelésben ez a típusú kötegelt feldolgozás ott alkalmazható, ahol a folyamat végén készletezés van, vagyis a termelés az igények felmerülése előtt gyártja le a termékeket, vagy a termékek egy részét. Abban az esetben alkalmazható rendelésre történő gyártásnál is, ha a megrendelések között megfelelő számú összevonható tétel szerepel.

Szállításnál vagy egyéb szolgáltatási ágazatban a kötegelt feldolgozás csak ott alkalmazható, ahol a beérkező vevői igényeket nem kell rögtön kielégíteni, hanem létre lehet belőlük hozni egy sorbaállási rendszert. Általában ritkán fordul elő, hogy a vevői megrendelések olyan sorrendben és mennyiségben futnak be a vállalatához, hogy az illeszkedjen kialakított kötegelt feldolgozásukhoz. Ám ha a megrendeléseket nem a beérkezési sorrendben dolgozzuk fel, hanem lehetőség van egyéni sorrend felállítására, akkor ki lehet alakítani kötegelt feldolgozási rendszert. Ezen típusú kötegelt feldolgozású rendszer csak bizonyos piaci körülmények között alkalmazható, mivel vásárlói várakozások megnövekedése gyakran elfogadhatatlan. Ezzel ellentétben egy másik lehetőség, amikor azért alkalmazunk kötegelt

feldolgozást, hogy a vásárlói igényeket megelőzve készleteket halmozzunk fel. Ez akkor fontos, amikor csökkenteni akarjuk a vásárlói várakozásokat.

5.3 Kötegelt feldolgozás döntési szituációi

Amikor kötegelt feldolgozást szeretnénk alkalmazni valahol, általában az alábbi három sarkalatos kérdéssel kerülünk szembe:

- a kötegek sorba rendezése, vagyis hogy az egyes cikkek, vagy esetleg vásárlók melyik kötegben kapjanak helyet
- az egyes kötegek méreteinek meghatározása, vagyis hogy egyszerre hány terméket vagy vásárlót dolgozzunk fel
- a kötegek időzítése, vagyis hogy mikor melyik termékköteget vagy vásárlói köteget dolgozzuk fel

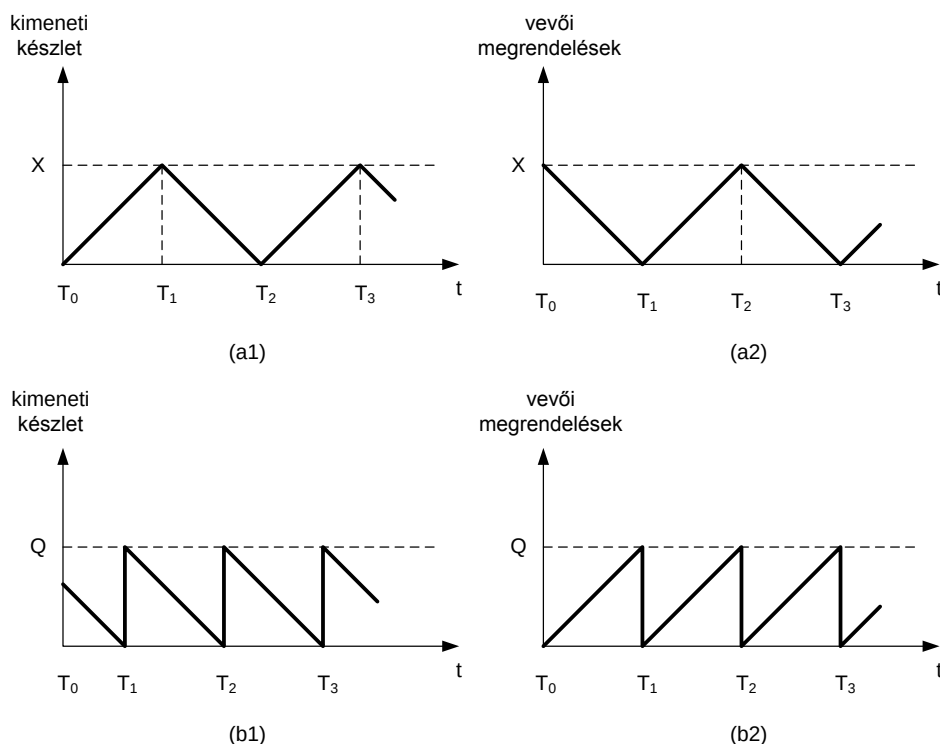
A 6. táblázat példákat tartalmaz kötegelt feldolgozásra a termelés, az ellátás, a szállítás és a szolgáltatás területén. Ezen esetek közös tulajdonsága, hogy a különböző típusú termékek/vevők feldolgozásmódja azonos eszközön/rendszerben történik, valamint hogy az adott termék vagy vevő előállítási vagy feldolgozási rátája magasabb, mint a felhasználási vagy a beérkezési rátája. A táblázat továbbá azt is mutatja, hogy milyen döntésekkel kell számolni az egyes esetekben. Fontos megjegyezni, hogy a köteg méretének meghatározása minden helyzetben egyaránt szükséges döntési feladat.

6. táblázat: Példák a kötegelt feldolgozásra

Alkalmazás területe	Kötegelt feldolgozás típusok	Sarokpontok megjelenése a tervezés során		
		A kötegek sorba rendezésének meghatározása	A kötegek méretének meghatározása	A kötegek időzítése
A Termelés és B Ellátás (beszerzés)	I Meghatározott mennyiségű termék előállítása vagy beszerzése készletre egy későbbi vásárló igények megelőzésére	Szükséges	Szükséges	Szükséges
	II Meghatározott mennyiségű termék előállítása vagy beszerzése már létező vásárlói igények kielégítésére (nincs kimenő készlet)	Valószínűleg szükséges	Szükséges	Valószínűleg szükséges
C Szállítás és D Szolgáltatás	I Egy megrendelési köteg kiszállítása vagy szolgáltatása egy nagyobb megrendelési sorból, melybe a megrendelések beérkezése folyamatos	Valószínűleg szükséges	Szükséges	Valószínűleg szükséges
	II Ugyan az, mint az I, csak itt a teljes sor kiszállítása megtörténik, amikor eléri az előre meghatározott mennyiséget	Nem szükséges	Szükséges	Nem szükséges

A 23. ábra mutatja, hogy a kötegelt feldolgozás milyen módon mehet végbe. Az ábra (a1) része egy kimeneti készlet alakulását mutatja az idő függvényében. A T_0 időpillanatban kezdődik meg a köteg feldolgozása, majd az elkészült termék folyamatosan áramlik át a kimeneti készletbe. Ezzel egy időben az áru a kimeneti készletről további felhasználásra kerül (egy másik folyamat bemeneti egységként). Mivel azonban a készlet képződése gyorsabb, mint a fogyása, ezért a felhalmozott mennyiség T_1 időpontban eléri az X értéket. Ekkor a termelés befejeződik, a köteg legyártásra került. T_1 és T_2 időpont között a gyártás szünetel, csak fogyasztás történik, emiatt T_2 időpontban kimerül a kimenő készlet, a köteg teljes egészében átlép a

következő folyamatba. A termelés folytatásához szükséges a második köteg feldolgozásának elkezdése. Ez a típusú termelés ott jellemző, ahol a termékeket előre meghatározott mennyiségekben gyártják kimenő készletre. A 6. táblázat besorolását figyelembe véve ez a típusú termelés az AI és az AII példákra inkább, míg a BI és a BII példákra kevésbé jellemző.



23. ábra: Kötegelt feldolgozó rendszerek típusai

A 23. ábra (b1) része azt az eset mutatja, amikor T_1 időpillanatban a teljes köteg le lesz szállítva a kimeneti készletbe, majd a T_1 és T_2 időpontok között a fogyasztása folyamatos. T_2 időpillanatban a kimeneti készlet arra a szintre esik vissza, amikor a következő köteggel fel kell tölteni. Ez a feltöltés az (a1) szituációval ellentétben nem folyamatos, hanem azonnali. Ez a helyzet a gyakorlatban általában ritkábban fordul elő, de azért lehet rá példát keresni a 6. táblázat AI, AII, BI és BII szituációiból, amikor is a köteg egyszerre kerül feldolgozásra, vagy addig nincs kivonva a feldolgozási folyamatból, amíg a teljes köteg el nem készül.

A fenti eseteket ott lehet alkalmazni, ahol a termelés végeredménye a kimeneti készlet. A szállításnál és a szolgáltatásnál a vásárlók a bemeneti

oldalon helyezkednek el. Ebben az esetben egy úgymond bemeneti készlet alakul ki a vevői igényekből, majd ez lesz feldolgozva kötegeltten. A 23. ábra (a2) részén látható, ahogy a T_0 és T_1 időpontok között vásárlói igényekből képzett sorbaállások száma csökken egészen addig, amíg a teljes bemenő készlet el nem fogy. Ez annak köszönhető, hogy a vásárlói igények feldolgozási rátája magasabb, mint az érkezési rátája. A T_1 és T_2 időpontok között a feldolgozás szünetel, így ismét kialakul a vásárlói igényekből egy sorbaállási szituáció. Ilyen típusú feldolgozási módszerre az 6. táblázat CI, CII, DI, és DII soraiból kereshetünk példákat. A 23. ábra (b2) része azt a helyzetet mutatja, amikor egy bemeneti készlet képződése folyamatos, ám feldolgozása szakaszos. A T_0 időponttól kezdődően a készlet felhalmozása egészen addig tart, amíg el nem éri a Q szintet T_1 időpontban. Ilyenkor a teljes készlet egy kötegben kerül feldolgozásra, ezáltal lenullázódik a bemeneti készlet, majd a ciklus folytatódik tovább.

A 23. ábra összes szituációjában fontos szerepet játszik a feldolgozáshoz szükséges köteg nagyságának meghatározása, ez ugyanis nagymértékben befolyásolja az átlagos készletszintet. Az ábra *b* szituációiban például a maximális készletszint megegyezik a köteg méretével. Ha tehát az átlagos készletszintet a maximális készlet felének tekintjük, akkor a köteg méretének duplázásával az átlagos készletszint is megduplázódik. Az ábra *a* szituációban a maximális készletszint alacsonyabb, mint a köteg mérete, mivel a készlet fogyása párhuzamosan megy végbe a feldolgozási folyamattal, vagyis a készletképződéssel. Mindazonáltal a köteg méretének a megnövelése itt is növelné a készletszintet. Ez a legfőbb ellenérv az ellen, hogy a köteg méretét növeljük. A nagyobb készletszint ugyanis megnöveli a készlettartási költségeinket, akár egy gyártási folyamat késztermékéről, akár vevői megrendelések kötegelt kezeléséről van szó. Azonban ha nagyobb kötegeket használunk, akkor ugyanazon idő alatt nyilván kevesebb köteget kell feldolgozni. Mivel minden köteghez tartozik egy bizonyos beállítási/átállítási idő (ez egyben költséget is jelent), ami termelésnél például a munkagépek beállítását jelenti, ezért kevesebb kötegnél nyilván az erre fordított idő kevesebb ugyanazon termékmennyiségre vagy időtartamra vetítve. Más szóval a köteg méretének meghatározása egyben a készlettartási költségek és az átállítási költségek közötti egyensúly keresését jelenti.

A kötegelt feldolgozó rendszerekre jellemző, hogy különböző termékeket vagy vevői megrendeléseket dolgozunk fel ugyanazon a berendezésen. Emiatt a feldolgozó berendezés beállítási költsége nem csak attól függ, hogy mit fogunk feldolgozni rajta, hanem attól is, hogy előzőleg mit dolgoztunk fel rajta. Emiatt az átállítási költség fontos jellemzője a kötegek feldolgozási sorrendjének, vagyis ajánlatos meghatározni egy olyan köteg-feldolgozási sorrendet, ami minimalizálja az átállási költségeket. Tehát ahhoz, hogy

meghatározzuk a köteg méretét, először meg kell határoznunk a kötegek sorrendjét, mivel ez befolyásolja az átállítási költséget, ami szükséges a köteg méretének meghatározásához.

A legtöbb esetben fontos meghatározni az egyes kötegek időzítését is, vagyis hogy az egyes kötegek feldolgozási folyamata mikor induljon. Ehhez azonban szintén szükséges a köteg méretének a meghatározása, mivel ha egy adott igényhez nagyobb köteget rendelünk, akkor kevesebb köteget dolgozunk fel, a kötegek feldolgozásához szükséges időintervallum azonban nagyobb lesz. Ellenben ha kisebb köteget választunk alapegységnek, akkor több köteget kell feldolgozni, az egyes kötegek feldolgozási ideje azonban kevesebb lesz.

5.4 Kötegek sorba rendezése

Lehetséges, hogy bizonyos vásárló-, vagy termékkötegek feldolgozásához szükséges berendezések átállítási költségei nem kizárólag az adott kötegben feldolgozásra kerülő vásárló vagy termékköteg típusától függ, hanem az előzőleg ugyanazon a berendezéseken feldolgozott kötegek típusától is. Vagyis ha termékeink közül két nagyon hasonló típusú terméket (A és B) egymás után dolgozunk fel ugyanazon gyártósoron, a gyártósor átállítási költsége az A termék gyártásáról B termék gyártására relatíve alacsony ahhoz képest, mint ha az A termék után egy olyan terméket gyártanánk, aminek a típusában több az eltérés. Vagyis egy gyártósor átállási költsége nagy mértékben függ a rajta előállított termékek gyártási sorrendjétől. Ennél fogva ajánlatos meghatározni azt a sorrendet, ami a kumulált átállítási költséget minimalizálására. Tételezzük fel, hogy négy típusú terméket (A, B, C és D) állítunk elő ugyanazon a gyártósoron. A gyártósor átállási költségét az befolyásolja, hogy előzőleg milyen típusú termékekre volt a gyártósor beállítva. Abban az esetben, ha az átállítási költség minden variációra ismert, meghatározható a négy termék leggyártására egy optimális sorrend, amikor a termékek előállításához szükséges kumulált átállítási költség a lehető legalacsonyabb.

Termékcsaládok feldolgozása

Számos termék előállítása során gyakori, hogy több különböző típusú termék hasonló, de nem egyedi beállítást igényel, míg más termékek gyártása során teljesen egyedi beállításra van szükség. Ebben az esetben azok a termékek, amelyek közel azonos gyártási beállítást igényelnek termékcsaládnak tekinthetők. Ennek akkor van jelentősége, ha a gyártósort beállítjuk egy termékcsalád bármely darabjának előállítására. Ilyenkor hasznos lehet húzni abból, hogy a termékcsalád más elemeit is legyártjuk, különösképp akkor, ha az átállítási költsége relatív magas.

Például a 7. táblázat szerint a B, C és D termékek feldolgozása során felmerült átállítási költségek alacsonyak, ellenben a B, C és D termékcsalád elemei és az A termék, valamint az E termék közötti átállítási költségek magasak. Ennélfogva érdemes a B, C és D termékcsalád tagjait egymás után gyártani, a táblázat értékeinek megfelelően lehetőleg a C, B, D sorrendben, míg a másik két terméket külön, lehetőleg A, E sorrendben. Ilyen esetekben, különösképpen, amikor egy termékcsaládról van szó, egy alternatív megközelítésre van szükség.

A termékcsalád sorba rendezési problémájára egy lehetséges megközelítés a következő:

- a termékek azonosítása a családon belül
- ezen termékek gyártási ciklusának meghatározása (vagyis a termékcsalád tagjainak egymást követő gyártási időintervallumának) az egyes termékek mennyiségével együtt
- a fennmaradó termékek optimális sorrendjének meghatározása

7. táblázat: Termékcsaládon belüli és kívüli termékek gyártása során jelentkező átállási idő

Feldolgozott termék	Követő termék				
	A	B	C	D	E
A	0	100	90	110	60
B	105	0	10	5	60
C	95	20	0	25	70
D	100	15	10	0	80
E	70	75	80	75	0

5.5 Az egyes kötegek mértének meghatározása

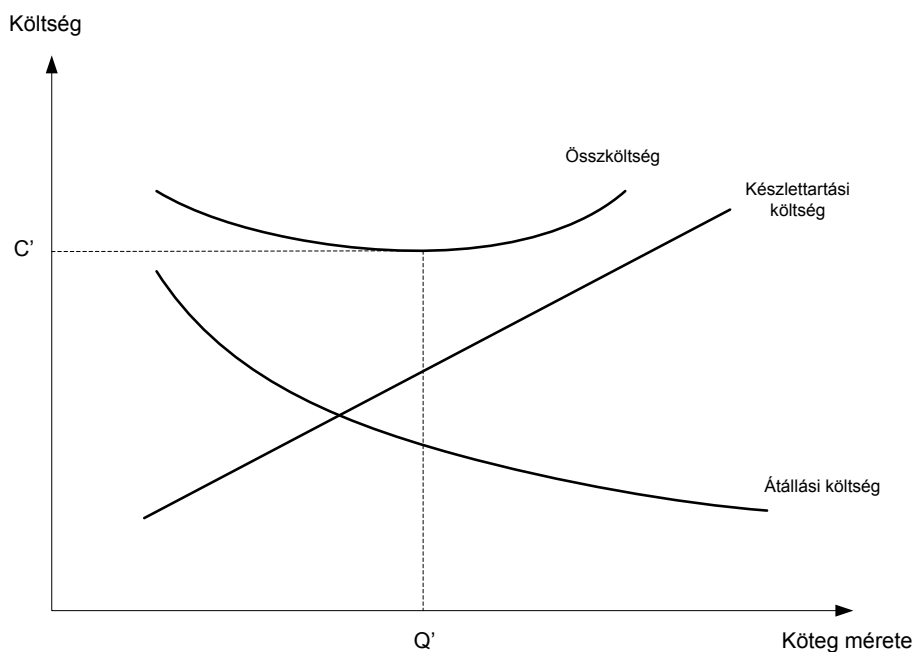
Az általános megközelítés, hogy olyan kötegméreteket próbáljunk meghatározni, melyek valamely módon csökkentsek a teljes költséget.

Ha túl nagy kötegeket használunk, akkor az általában növeli a készletszintet, ami miatt a készletekben lekötött tőke értéke is sokkal magasabb lesz. Ezt a tőkét azonban máshol is lehetne hasznosítani. Az indokolatlanul magas készletszinttel költségek is együtt járnak, mint például a készlettartási költség, biztosítás, értékvesztés. Másrészről a túl kicsi kötegek azt eredményezik, hogy egy adott időintervallum alatt nagyszámú kötegeket kell

legyártani, ami magas átállási költséget jelent. A gyakorlatban a kötegméretetek ritkán konstansak. Gyakran ajánlatos a termelés közben a köteg felosztása, vagy olyan kötegméret alkalmazása, amely eltér az elméleti optimumtól. Ennek tükrében a kötegméret meghatározására használatos formulát inkább csak belátás szerint kell használni, nem szabad hozzá mereven ragaszkodni.

A kisebb köteg méret használata akkor igazolt, ha az átállási költségek alacsonyok, vagy csökkenthetőek, vagyis az alacsony készletszintű Just in Time rendszer szorosan kapcsolódik az alacsony átállási költségekhez. Amennyiben az átállási költségek nagyon alacsonyok és ha a készlettartási költségeket magasnak tekintjük, úgy igazolt a köteg méretének csökkentése akár az egységnyi mértékig. Gyakran ez az oka az ilyen intézkedéseknek.

A 24. ábra a kialakított köteg mérete és a köteghez kapcsolódó költségek közötti összefüggést mutatja. A további feladat az, hogy meg kell határozni azt a köteg méretet (Q'), ami minimalizálja az összköltséget (C').



24. ábra: Gazdaságos sorozatnagyság meghatározása

A továbbiakban csak determinisztikus szituációkkal foglalkozunk, amikor is az igényeket ismertnek és konstansnak tekintjük. Ezek közül az alábbi három lehetőség modellezésével foglalkozunk:

- a teljes köteg egyszerre kerül készletre
- a teljes köteg egyszerre kerül készletre, de hiány van az eltervezetthez képest
- a köteg készletre kerülése folyamatos

5.5.1 A teljes köteg egyszerre kerül készletre

A modellezésben használt jelölések a következők:

$$Q = \text{a feldolgozott köteg mérete} \left[\frac{db}{köteg} \right]$$

$$C_s = \text{átállási vagy előkészületi költség} \left[\frac{költség}{köteg} \right]$$

$$C_1 = \text{készlettartási költség} \left[\frac{költség}{idő * db} \right]$$

$$r = \text{fogyasztási ráta} \left[\frac{db}{idő} \right]$$

Az alábbi összefüggések írhatjuk fel:

$$\text{átlagos készletszint} = \frac{Q}{2} [db]$$

$$\text{készlettartási költség egységnyi idő alatt} = C_1 * \frac{Q}{2} \left[\frac{költség}{idő} \right]$$

$$\text{átállási költség egységnyi idő alatt} = \frac{C_s * r}{Q} \left[\frac{költség}{idő} \right]$$

Ahhoz, hogy meghatározzuk az optimális kötegméretet, meg kell vizsgálnunk azokat a költségeket, amelyek függnek a köteg méretétől.

A készlettartási és az átállási költségek összege:

$$C = C_1 * \frac{Q}{2} + \frac{C_s * r}{Q} \quad (1)$$

Az összköltség-függvény minimumának meghatározásához a függvényt deriválnunk kell Q szerint:

$$\frac{dC}{dQ} = \frac{C_1}{2} - \frac{C_s * r}{Q^2}$$

majd megkeresve a zérushelyét:

$$\text{kötegméret a legalacsonyabb költségszintnél} = Q' = \sqrt{\frac{2 * C_s * r}{C_1}} \quad (2)$$

Az optimális kötegméretet (2) az összköltségbe (1) helyettesítve megkapjuk az egy egységre jutó optimális összköltséget:

$$C' = \sqrt{2 * r * C_s * C_1} \quad (3)$$

Az optimális feldolgozási ciklusidő

$$t' = \frac{Q'}{r}$$

Mintapélda

Watertight Ltd gumicsizmákat gyárt. 14 féle különböző típust (akár színben, akár stílusban). A BB típusút adják el a legtöbb példányban, havonta hozzávetőleg 4 500 párat. Minden ilyen cipőt kötegekben állítanak elő, a gyártási folyamat úgy van ütemezve, hogy a teljes köteg egyszerre készül el.

Átállási költség kötegenként=10 000 Ft

Készlettartási költség páronként = 1 200 Ft évente

A jelenlegi termelési politika szerint 3000 párat dolgozunk fel egy kötegben szabályos időközönként. Hasonlítsuk össze a jelenlegi ciklusidőt az optimális ciklusidővel!

Megoldás

$$r = 4\,500 \frac{db}{h\acute{o}nap}$$

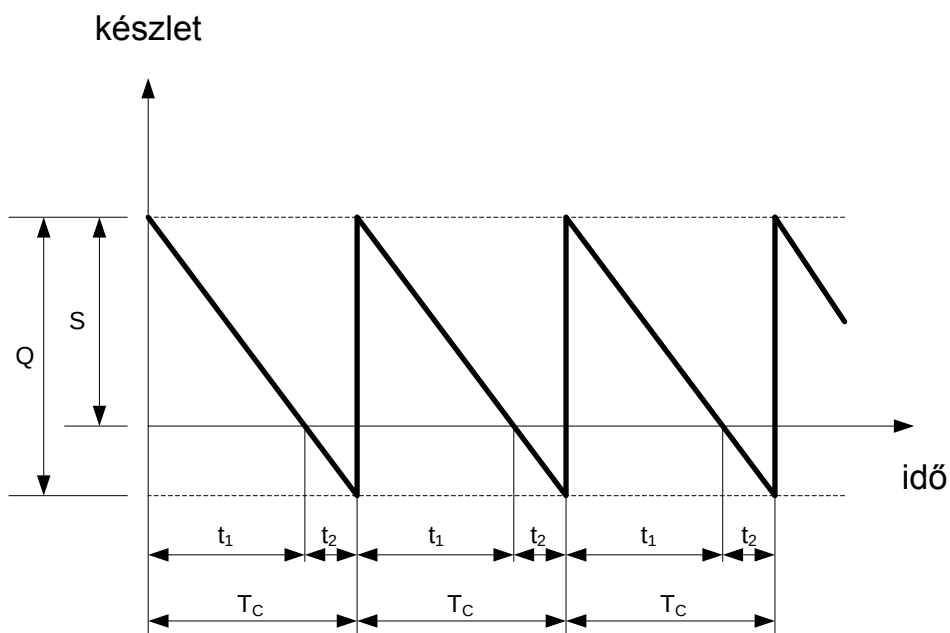
$$C_s = 10\,000 \frac{Ft}{k\acute{o}teg}$$

$$C_1 = \frac{1200}{12} = 1\,000 \frac{Ft}{h\acute{o}nap * db}$$

$$Q' = \sqrt{\frac{2 * C_s * r}{C_1}} = \sqrt{\frac{2 * 10000 * 4500}{1000}} = 300 \text{ db}$$

5.5.2 A teljes kőteg egyszerre kerül készletre, de hiány van az igényhez képest

Ez a modell annyiban más az előzőhöz képest, hogy itt a leszállított készlet nem elegendő, így nem elégíti ki a teljes vevői igényt. Emiatt bevezetésre kerül egy új költségelem, a készlethiány költsége, melynek jelölése C_2 . Az igény ebben a modellben is ismert és konstans, ahogy azt a 25. ábra is mutatja. Az időtengely alatti rész, vagyis amit a t_2 időtartam jelöl egy olyan igény, amit ki tudtunk volna elégíteni, amennyiben lett volna megfelelő mennyiség készleten. Ezt a típusú készlethiányt akár elmaradt haszonnak, vagy alternatív költségnek is nevezhetjük. Mivel ez a típusú költség is befolyásolja a kötegméretet, ezért be kell építeni a kötegméret meghatározására szolgáló összefüggésbe.



25. ábra: Köteg-feldolgozás hiány megengedésével

A bevezetett új jelölés:

$$C_2 = \text{készlethiány költsége} \left[\frac{\text{költség}}{\text{idő} * db} \right]$$

Ennek tükrében:

$$\begin{aligned} \text{készlettartási költség egységnyi idő alatt} &= \frac{S}{2} * \left(\frac{t_1}{t_1 + t_2} \right) * C_1 \\ &= \frac{C_1 * S}{2} * \left(\frac{S}{Q} \right) \\ &= \frac{C_1 * S^2}{2 * Q} \end{aligned}$$

$$\text{készlethiány költsége egységnyi idő alatt} = C_2 * \frac{Q-S}{2} * \left(\frac{t_2}{t_1 + t_2} \right)$$

$$= \frac{C_2 * (Q - S)^2}{2 * Q}$$

$$\text{átállási költség egységnyi idő alatt} = \frac{C_s * r}{Q}$$

Az egységnyi idő alatti teljes költség az előző három költség összege, vagyis:

$$C = \frac{C_1 * S^2}{2 * Q} + \frac{C_2 * (Q - S)^2}{2 * Q} + \frac{C_s * r}{Q} \quad (1)$$

S szerint deriválva:

$$\frac{dC}{dS} = \frac{S * C_1}{Q} - \frac{(Q - S) * C_2}{Q}$$

Zérus hely keresés:

$$S' = \frac{Q * C_2}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

Q szerint deriválva:

$$\frac{dC}{dQ} = \frac{-S^2 * C_1}{Q^2} + \frac{4 * Q * (Q - S) - 2 * (Q - S)^2}{4 * Q^2} * C_2 - \frac{C_s * r}{Q^2}$$

Zérus hely keresés:

$$Q' = \sqrt{\frac{2 * C_s * r}{C_1}} * \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C_2}} \quad (3)$$

A (3) képletet az (1)-be helyettesítve:

$$C' = \sqrt{2 * C_s * C_1 * r} * \sqrt{\frac{C_2}{C_1 + C_2}}$$

Mintapélda

$r = 9\,500$ per hónap

$C_1 = 5$ Ft per darab per év

$C_s = 1\,250$ Ft

$C_2 = 2$ Ft per darab per hónap

Hasonlítsa össze az optimális szállítási mennyiséget a:

- a) ha a készlethiány nem lehetséges
b) ha lehetséges készlethiány

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_s^* r}{C_1}} * \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C_2}} = \sqrt{\frac{2 * 1250 * 9500}{\frac{5}{12}}} * \sqrt{\frac{\frac{5}{12} + 2}{2}} = 7550 * 1.1 = 8305$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_s^* r}{C_1}} = 7550$$

$$C^* = \sqrt{2rC_1C_s} * \sqrt{\frac{C_2}{C_1 + C_2}} = \sqrt{\frac{2 * 9500 * 5 * 1250}{12}} * \sqrt{\frac{2}{\frac{5}{12} + 2}} =$$

$$= 3146 * 0.910 = 2863 \text{ Ft/hónap}$$

$$2863 \text{ Ft} = \sqrt{2r * C_s * C_1}$$

$$C_s = \frac{2863^2}{2r * C_1} = \frac{2863^2 * 12}{2 * 9500 * 5} = 1035 \text{ Ft}$$

$$\text{Maximum } C_s = 1035 \text{ Ft}$$

5.5.3 A köteg készletre kerülése folyamatos

Ebben a modellben a köteg nem egyszerre, teljes egészében kerül a készletre, hanem a feldolgozási periódus alatt folyamatosan.

Ez előzőekben felállított összefüggések ebben a modellben a következők szerint alakulnak:

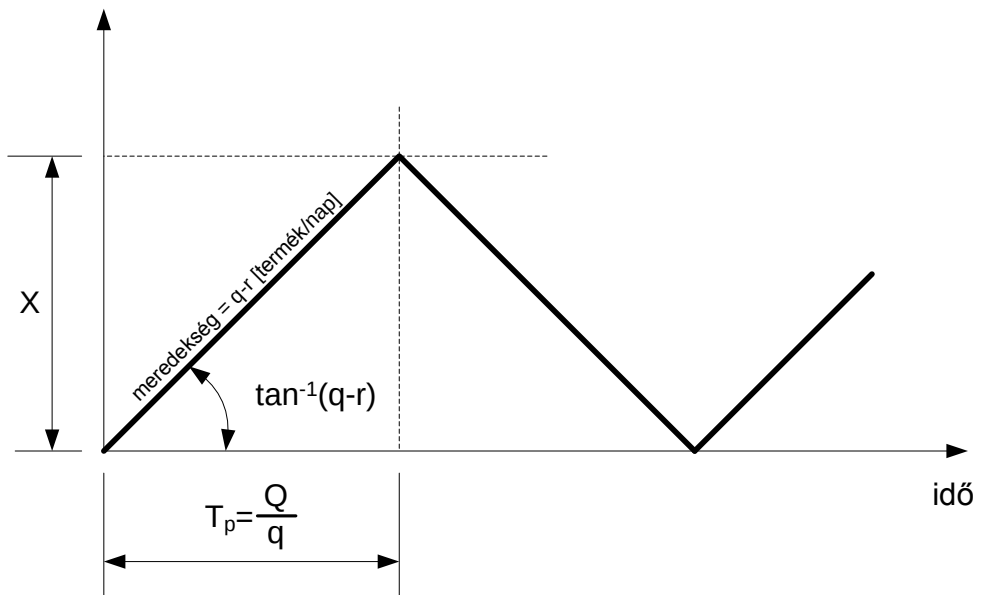
$$\text{maximális készlet szint} = X$$

$$\text{átlagos készlet szint} = \frac{Q}{q} * (q - r)$$

$$\text{készlet tartási költség egységnyi idő alatt} = C_1 * \frac{Q}{2} * \left(1 - \frac{r}{q}\right)$$

A készlet tartási és az átállási költségek összege egységnyi idő alatt:

$$C = \frac{C_1 * Q}{2} * \left(1 - \frac{r}{q}\right) + \frac{C_s * r}{Q} \quad (1)$$



26. ábra: Folyamatos készletre vétel és készletfogyás

Q szerinti deriváltja:

$$\frac{dC}{dQ} = \frac{-C_s * r}{Q^2} + \frac{C_1}{2} * \left(1 - \frac{r}{q}\right)$$

Egyenlővé téve 0-val pedig megkapjuk az (1) szélsőértékeit, vagyis:

$$Q' = \sqrt{\frac{2 * C_s * r}{C_1 * \left(1 - \frac{r}{q}\right)}} \quad (2)$$

Az egy egységre jutó teljes költséget úgy kapjuk, hogy (2)-t behelyettesítjük (1)-be.

$$C' = \sqrt{2 * r * C_s * C_1} * \sqrt{1 - \left(\frac{r}{q}\right)} \quad (3)$$

6 Folyamatrendszerek tervezése és ütemezése

Ez a fejezet a folyamatrendszerek tervezésével és működésével foglalkozik, mivel ez a fogalomkör jelentősége miatt kiemelt figyelmet érdemel. Alapvetően a legtöbb működő rendszernek van folyamat feldolgozó része, pl. az alapanyagok megérkeznek a rendszerbe bemeneti oldalon, majd keresztülhaladnak az egyes részlegeken, mielőtt a kimeneten megjelennek. Azonban számos egyéb esetben is hasonló működési elven alapuló folyamatrendszert figyelhetünk meg. Néhány egyszerűbb példa:

- a) dokumentumok mozgása irodák között
- b) betegek mozgása az egyes korházi részlegek között
- c) adatok áramlása egy számítógépes rendszerben
- d) gyerekek áramlása egyik osztályból a másikba vagy egyik iskolából a másikba az oktatási rendszer részeként
- e) egy autó mozgása a gyártósorokon keresztül az összeszerelés során

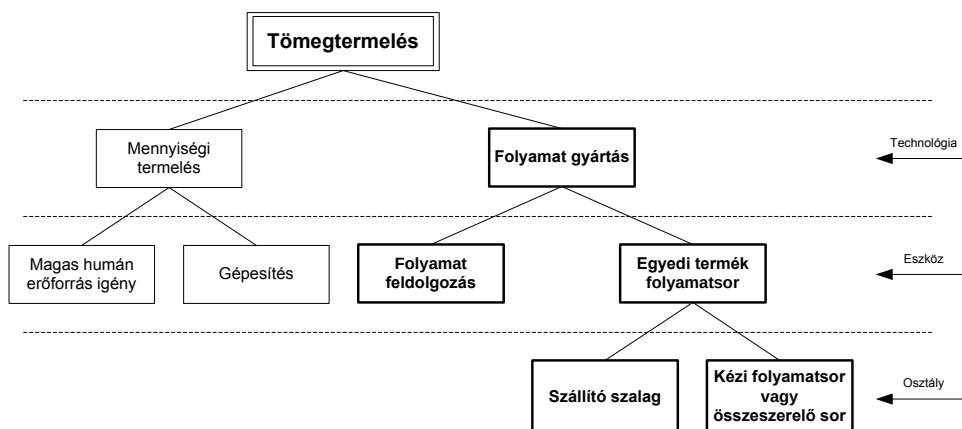
Néhány szituációban az útvonalak sűrűsége, az áramlási irány, valamint az igény az átfutási idők csökkentésére azt eredményezi, hogy a gyártósor elrendezése terméktípusok szerint gazdaságos (pl.: e)-nél soros). Más esetekben a funkcionális/folyamat szempontú elrendezés a megfelelő.

Következő fejezetben kiváltképp a soros elrendezésű gyártási anyagáramlási rendszerekkel foglalkozunk. Pontos képet fog adni az alkalmazási lehetőségeiről, valamint a folyamat feldolgozó rendszerek tulajdonságairól, problémáiról.

6.1 Tömegtemelés

A folyamatsor a tömeggyártó rendszerek egyik alapismérve. Számos különféle tömeggyártó rendszer létezik, melyben a részletek különböznek, de az alapelv ugyanaz: a termékeket különböző munkaállomásokon történő áthaladásuk során készítik, vagy szerelik össze. Az alapanyagokat a gyártósor elején, vagy bizonyos munkaállomásokon táplálják a gyártási folyamatba, a késztermék pedig a végén hagyja el a sort. Gépjárművek gyártásánál a főegységet az első munkaállomásra szállítják, ahol is a gyártósori operátorok megkezdik az éppen soron következő munkafolyamatot, majd a technológiai sorrendnek megfelelően munkaállomásonként építik be a motort, váltót, felfüggesztést, karosszériát, stb..., amíg a termék el nem készül.

Bonyolult termékek tömeges előállításának (pl. autógyártás) az egyik fő alapelve a folyamat szerinti termelés, ami az egyik legfontosabb gyártástechnológia eredmény. A *tömegtermelés* kifejezés két technológiát foglal magába: az egyszerűbb *menyiségi termelést*, és az abból kifejlesztett *folyamat gyártást*.



27. ábra: Tömegtermelési rendszerek

Mennyiségi termelés alatt a nagy mennyiségben viszonylag kisebb bonyolultságú alkatrészek egyetlen gyártóegységben történő gyártását értjük. Ekkor nincs a gyártóegységek közötti anyagáramlás. Így a *tömegtermelés* és a *folyamat gyártás* nem minden esetben fog megegyezni, mivel a *tömegtermelés* csak akkor minősül *folyamat gyártásnak*, ha a gyártott termék sajátosságai (pl.: a termék bonyolultsága) megkívánják, hogy a gyártást több gyártóegység végezze.

A *folyamat gyártás* két alapvető típusa létezik:

- *folyamat feldolgozás*: nagy mennyiségben ömleszthető, folyadék, vagy folyadék jellegű anyagok gyártására tervezték
- *folyamatsor*: ugyanúgy a hatékony anyagáramlási alapelvre épül, de ezt nagy bonyolultságú, különálló termékek gyártására tervezték

Azokat a folyamatsorokat, amelyeken többségében összeszerelést végeznek, manuális folyamatsornak, míg a gépesített gyártósorokat automata soroknak nevezzük.

Meghatároztuk a lineáris gyártás két típusát, melyeket számos altípusra lehet bontani. Mindkét típus szolgálhat akár egy, akár több típusú termék gyártására is. Egyetlen termék gyártása esetén egyik típusnál sincs szükség átállásra (pl.: szerszámcsere, munkaállomás átrendezés, stb.). Több termék gyártása esetén bonyolultabb a helyzet. Két lehetséges stratégia létezik:

- a) Kettő vagy több termék gyártása külön kötegekben. Ezt a továbbiakban **több-modelles** szituációnak nevezzük, ilyen esetekben átállás szükséges az egyes kötegek gyártása között.
- b) Kettő vagy több termék egyidejűleg történő gyártása egyetlen soron. Ezt a továbbiakban **kevert modelles** szituációnak nevezzük.

Folyamatsor leírás		Termék szám	Termék változás	Termék mozgása	Munkaeszközök átállítási szükséglete
Osztály	Típus				
Szállító szalag	Egyszerű modelles	1	Nincs	Szabályozott	Nincs rá szükség
	Több-modelles	>1	Köteg változtatás	Köteg szinten szabályozott	Kötegváltás esetén szükséges
Kézi folyamatsor vagy összeszerelő sor	Egyszerű modell	1	Nincs	Szabálytalan ¹	Nincs rá szükség
	Több-modelles	>1	Köteg változtatás	Szabálytalan ¹	Kötegváltás esetén szükséges
	Kevert modelles	>1	Folyamatos ³	Szabálytalan	Általánosan szükséges ²

¹ A munkaállomásonként váltózó ciklusidő miatt

² Lehetséges, hogy a termelőeszközök egy speciális termékcsaládhoz vannak hozzárendelve

³ A folyamatsorban állandóan különböző termékek vesznek részt

Bármelyik stratégiát is alkalmazzuk, több termék azonos soron történő gyártása esetén az egyes termékek gyártásának hasonló műveleteket kell tartalmaznia. Minél közelebb áll két művelet egymáshoz, annál könnyebb mind a több-modelles, mind a kevert modelles gyártást megvalósítani. Az összeszerelő sorok rugalmasabban alakíthatók ki, így könnyebben valósítható meg mindkét típusú gyártás. Például sok gépkocsi-összeszerelő sort kevert modelles gyártás szerint alakítanak ki, az adott soron egyszerre gyártják az autók különböző részegységeit, esetleg különböző típusait. A rugalmasságot átprogramozható, vagy univerzális szerszámok, ipari robotok teszik lehetővé. Ezzel szemben az automata sorok sokkal rugalmatlanabbak. Legtöbbször egyetlen modell gyártására, vagy nagysorozatú több modelles gyártásra lehet csak használni őket.

A tömeggyártásnak egy alapvető feltétele van, a tömeges igény. Mivel a gyártósori gyártás a tömeggyártás egyik módja, ezért ennek szintén feltétele a tömeges igény.

Amikor tömeges igényről beszélünk, akkor az igénynek nem csupán a mennyiségét kell nézni, hanem a folyamatosságát is. Egy terméket gyártáson csak állandó és magas igényszint megléte esetén érdemes gyártani. Azonban néhány esetben megéri gyártósort kialakítani egyszeri, kiugróan magas igény kiszolgálására is. Gyakorlatban ez az eset viszonylag ritka, általában a folyamatosan magas igényszint előfeltétele a gyártósor kialakításának. A termék jellege meghatározza a tömeggyártás módját, az egyes módok további előfeltételeitől függ a tömeggyártás megvalósíthatósága.

6.2 Egyszerű gyártósorok felépítése

Az egyszerű gyártósorok felépítésének és sajátosságainak meghatározása:

Egy gyártósor munkaállomások sorozatából áll, mely automata sorok esetén egy vagy több gépből tevődnek össze, manuális sorok esetén egy vagy több gyártósori dolgozóból és az ő kéziszerszámaikból. A teljes befektetett munka ezen munkaállomások között oszlik meg, ahogy a termék halad a gyártósoron, úgy növekszik folyamatosan az elkészültsége.

A gyártósorok tervezésekor az egyik kihívás, hogy a munkaterhelést egyenletesen osszuk az egyes munkaállomásokra. Ezt a gyártósor kiegyensúlyozásának hívjuk. Ennek a kiegyensúlyozásnak a hiányában hatékonyság csökkenne, a veszteség növekedne, mivel bizonyos állomásoknak több feladata lenne a többinél. Optimális esetben minden munkaállomásnak a ciklusideje megegyezik, vagyis a rendszer egyes elemei egyen kapacitásúak lesznek.

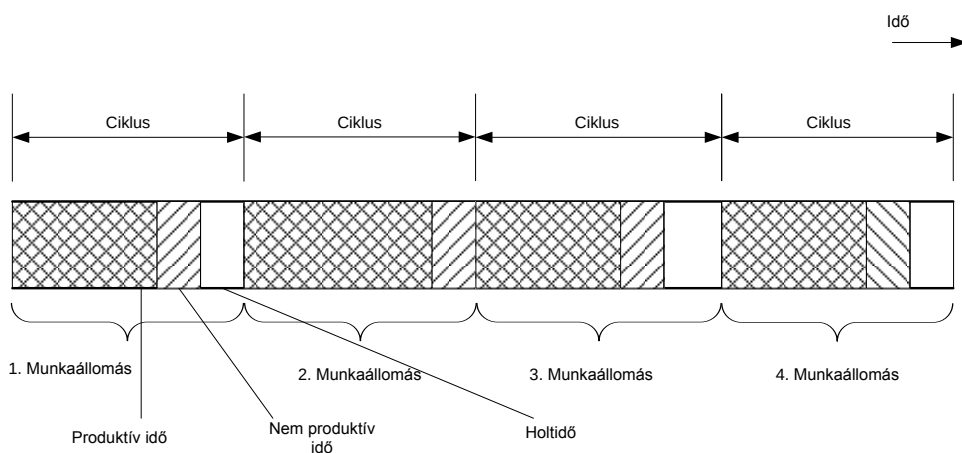
A megadott időt, ami alatt a műveletnek végre kell hajtódnia kiszolgálási időnek nevezzük. A munkafázis elvégzésére rendelkezésre álló idő normál esetben nagyobb, mint a kiszolgálási idő, ezt nevezzük ciklusidőnek. A ciklusidő az egymást követő termékeken végrehajtott művelet kezdete között eltelt idő, mely egyaránt tartalmazza a produktív és a nem produktív műveletek idejét, valamint a holtidőt is. A nem produktív munkafolyamatok időszükséglete mind a manuális, mind az automata gyártósorok esetében elsősorban a munkaállomások közötti szállítási időkből tevődnek össze, amihez az előbbi esetében még az anyagkezelési idők is hozzáadódik.

$$\text{Ciklusidő} = \text{Kiszolgálási idő} + \text{Holtidő}$$

$$= \text{Produktív idő} + \text{Nem produktív idő} + \text{Holtidő}$$

A teljes művelet ideje az összes produktív időből és az összes nem produktív időből tevődik össze.

Az egyes műveletek munkaállomásokhoz történő rendelésének számos feltétele van. A teljes megmunkálási vagy feldolgozási folyamat különböző munkaegységekre, műveletekre bontható, ezen műveletek egymáshoz viszonyított előidejűségét, sorrendjét a technológiai kötöttségek határozzák meg. Például a fűrés minden esetben megelőzi a menetvágást. Ez a sorrendiség a munkafolyamat megtervezésénél csökkenti az egyen kapacitás kialakításának a lehetőségeit.



A műveletek és a munkaállomások összerendelését a *zónák* is limitálják. Ezek a megkötések előírják, vagy kizárják egyes műveletek összevonását egyes állomásokon. Ilyen egymást kizáró művelet lehet például a nehézkovácsolás és a finommegmunkálás egy munkaállomásra történő összevonása. Az egymást kizáró megkötéseket **negatív zóna megkötésnek**, két művelet egymáshoz, egy munkagéphez történő rendelését pedig **pozitív zóna megkötésnek** nevezzük. Ez utóbbi hasznos lehet, amikor egy drága univerzális gép kihasználtságát a maximálisra kívánjuk növelni. Ezen megkötések miatt a gyakorlatban nem lehet tökéletesen egyenletesen elosztani a munkafeladatokat a munkaállomások között, így mindig van olyan kiegyenlítetlen hézag, vagy veszteség, ami holtidőt eredményez. Ez az **egyensúlyi veszteség** a munkafeladat elvégzéséhez rendelkezésre álló és az ahhoz szükséges idők különbsége. Például egy munkaállomáson az egyensúlyi veszteség a ciklusidő és a kiszolgálási idő különbsége. Az egyensúlyi veszteség arányosított formája, amikor a ciklusidő és a kiszolgálási idő különbségét elosztjuk a ciklusidővel.

$$\text{egyensúlyi veszteség aránya} = \frac{\text{ciklusidő} - \text{kiszolgálási idő}}{\text{ciklusidő}} * 100$$

Ennek analógiájára egy gyártósor egyensúlyi vesztesége a munkafeladat elvégzéséhez rendelkezésre álló összes idő (ciklusidők összege) és az ahhoz szükséges összes idő (kiszolgálási idők összege) különbségének és az összes rendelkezésre álló időnek a hányadosa százalékban kifejezve.

$$\text{gyártósori egyensúlyi veszteség} = \frac{\sum \text{ciklusidő} - \sum \text{kiszolgálási idő}}{\sum \text{ciklusidő}} * 100$$

Gyártósor kiegyensúlyozása

A ciklusidő nagyvonalú számítása a tervezett gyártási mennyiségből és a gyártásra szánt időből történik. Amennyiben N db terméket T idő alatt gyártunk le, akkor a ciklusidő:

$$C = \frac{T}{N}$$

A munkaállomások számának meghatározása a munkaállomási ciklusidőből

$$n_{\min} = \frac{N \sum t}{T}$$

ahol t az egyes munkaállomások ciklusidejét jelenti. Egy bonyolultabb terméknek, melynek előállítása sok időt vesz igénybe, úgy csökkenthető a teljes igény előállítási ideje (T), ha több munkafázisra daraboljuk szét. Tegyük fel, hogy egy olyan terméket, melynek előállítása 3 órát vesz igénybe, 3 munkafázisra bontunk szét. Ez esetben 1 termék előállítása továbbra is 3 órát fog igénybe, ám ha 1 000 terméket gyártunk le ilyen rendszerben, akkor az ehhez szükséges gyártási idő alig lesz több 1 000 óránál. Vagyis a ciklusidő 1 órára rövidül.

Az átlagos műveleti idő ($\bar{c}$) a teljes munkaóra igény ($\sum t$) és a munkaállomások számának (n) hányadosa:

$$\bar{c} = \frac{\sum t}{n}$$

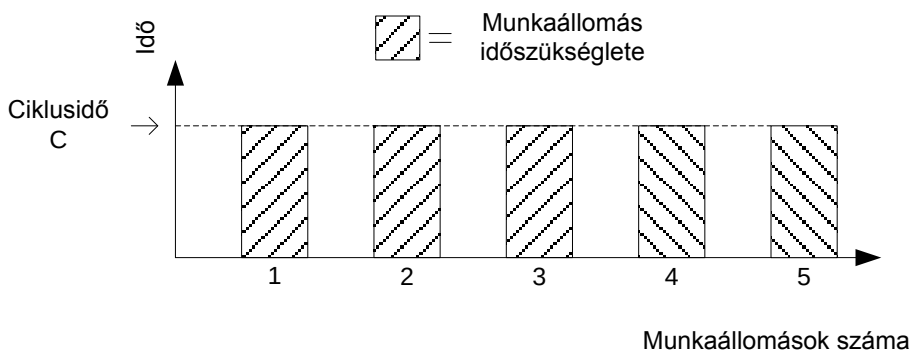
Ez az érték szinte törvénytzerűen kisebb, mint a ciklusidő (C). Így:

$$\text{a kiegyenlítési veszteség (\%)} = \frac{C - \bar{c}}{C} * 100$$

vagy

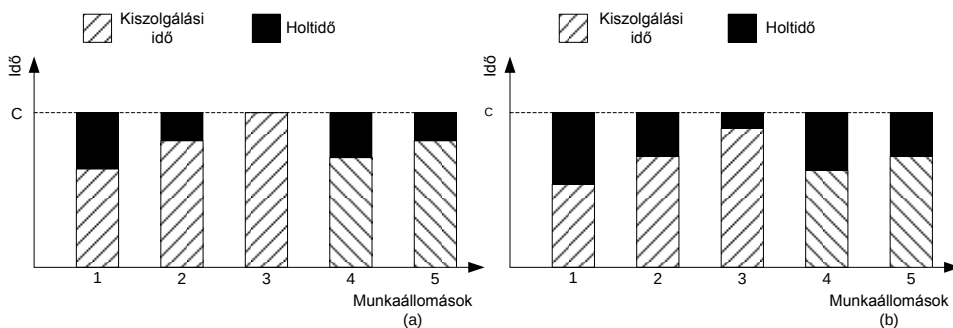
$$= \frac{n(C) - \sum t}{n(C)} \cdot 100$$

A gyakorlatban a gyártósorok tervezésénél nem lehet a teljesen egyenletes terhelést megvalósítani. A 28. ábra mutatja ezt a szerencsés esetet, de gyakran a munkaállomások terhelései nem egyenlők, ill. a legnagyobb időterhelés nem egyenlő a kívánt ciklusidővel.



28. ábra: 5 munkaállomásból álló teljesen kiegyensúlyozott gyártósor

Habár szó volt az egyenlőtlen terhelésből eredő veszteség időkről, ciklusidők különbsége általában kiegyenlítődik, mivel a gyártósori operátorok műveletük elvégzésekor normál esetben kitöltik a rendelkezésre álló időt. Ez tulajdonképpen a Parkinson törvénynek megfelelő szituáció, vagyis a munka egészen addig nyúlik ki, amíg azt a rendelkezésre álló idő engedi. Ugyanakkor az eredmény ebben az esetben is erőforrás kihasználatlanság.



29. ábra: 5 munkaállomással rendelkező összeszerelő sor kiegyensúlyozási vesztesége

Becslések szerint az iparban megjelenő kiegyenlítési veszteség 5 és 20 % közötti.

Az összeszerelő sorok kiegyenlítésekor alapvető cél, hogy adott ciklusidőt, sorozatnagyságot, a műveletek ésszerű felbontásakor azok műveleti idejét és egyéb megkötéseket figyelembe véve a munkaállomásokat és a műveleteket a következő szempontok szerint összerendeljük:

- mellékidők vagy kiegyensúlyozási veszteségidők minimálisak legyenek
- munkaállomások száma minimális legyen
- a kiegyensúlyozási veszteség egyenlően legyen elosztva a munkaállomásokon
- ne ütközzünk megkötésbe

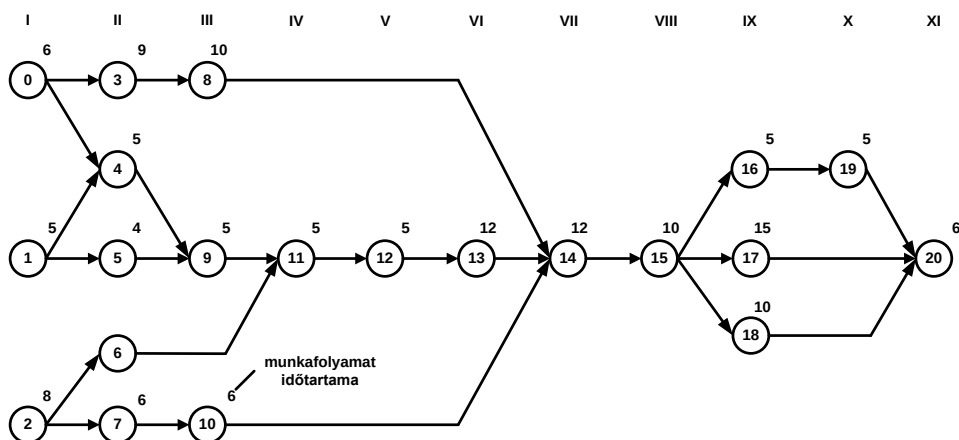
Egyszerű gyártósoron kiegyensúlyozási módszerei

Az összeszerelő sorok kiegyenlítési problémájára az első analitikus eljárást Bryton dolgozta ki 1954-ben, míg Salveson egy lineáris programozási megoldást publikált 1955-ben, továbbá Bowman 1962-ben. Hasonló eljárásokat dolgozott ki Mitchell, Hoffmann és Klein, de ezek nagyobb méretű és valósághű problémák megoldására nem alkalmazhatóak. Aktualitása miatt sok szervezet foglalkozott problémával, a legismertebb és a legjobban alkalmazható eljárásokat Helgerson és Birnie, Tonge, Kilbridge és Wester és Arcus dolgozta ki.

A Kilbridge és Wester módszer

Egy alkatrész gyártása 21 műveletet igényel, ezeknek a műveleteknek a sorrendjét és megkötéseit a 30. ábra mutatja. A körök balra vannak rendezve, a nyilak a körök jobb oldalából indulnak ki. A diagram fölött oszlop számok

szerepelnek. Az első oszlopban szereplő műveletek azonnal indíthatóak, míg a második oszlopban szereplők csak akkor indíthatók, ha a hozzájuk szükséges egy vagy több első oszlopban szereplő művelet már befejeződött, és így tovább a többi oszlopnál is.



30. ábra: Munkafolyamatok kapcsolódási diagramja egy adott termék gyártása esetén

A diagram adatai táblázatos formába is rendezhetőek (8. táblázat), a táblázatban a műveletek oldalirányú mozgásának lehetőségeit lehet ábrázolni. A 6-os műveletet a III-as oszlopban is helyet kaphatna éppúgy, ahogy a II-esben. A 8-as és a 10-es műveleti elem ugyanígy mozgatható az ábra szerint. Amennyiben a 8-as elemet elmozdítjuk, úgy a 3-as elem is mozgathatóvá válik, ugyanúgy, mint a 7-es elem.

Tételezzük fel, hogy az a feladatunk, hogy a gyártósort 36-os ciklusidőre egyensúlyozzuk ki. Ebben az esetben a következő a feladatunk:

8. táblázat: A 30. ábra táblázatos alakja

Oszlop-szám (a)	Munkaelem sorszáma (b)	Munkaelem áthelyezhetősége (c)	Munka- folyamat időtartama (d)	Oszlop időtartama (e)	Kumulált időtartam (f)
I.	0 1 2		6 5 8	19	19
II.	3 4 5 6 7	III – V (a 8-assal együtt) III III – V (a 10- essel együtt)	9 5 4 5 6	29	48
III.	8 9 10	IV – VI IV – VI	10 5 6	21	69
IV.	11		2	2	71
V.	12		5	5	76
VI.	13		4	4	80
VII.	14		12	12	92
VIII.	15		10	10	102
IX.	16 17 18	X X	5 15 10	30	132
X.	19		5	5	137
XI.	20		6	6	143

Feladatmegoldáskor a következő eljárást kell végrehajtani:

1. Van-e a kumulált időtartamok (f) között olyan, amelyiknek az értéke megegyezik a ciklusidővel, vagyis az értéke 36? – **Nincs.**
2. Válassza ki a legnagyobb kumulált időtartamot (f), aminek az értéke kisebb, mint 36! **Ez a I. oszlop, értéke 19.**
3. Vonja ki a 19-et a 36- ból! = **17**

4. Létezik-e a II. oszlopban olyan elem, amelynek akár önmagában, akár más elemekkel összeadva 17 egység az időtartama? – **Nincs, a legközelebbi a 4-es, a 6-os és a 7-es elem időtartama, ezek összege 16. Tehát a 0, 1, 2, 4, 6 és 7 elemek időtartamának összege 35. Ezek alkotják az első munkaállomást.**
5. Válassza ki a kumulált időtartamokból (f) azt a legkisebb értéket, amelyik nagyobb, mint 36! – **Ez a I. és II. oszlop összege, értéke 48.**
6. Lehetséges-e az I. és a II. oszlopból munkaelemet későbbre áthelyezni úgy, hogy a II. oszlop kumulált ideje 36, vagy kevesebb legyen? **Igen, ha a 3-as elemet áthelyezzük (előtte a 8-ast is későbbre kell csúsztatni) a III. oszlopba és hasonlóképpen a 6-ost is, akkor az I. és II. oszlop időszükségleteinek összege 34 lesz.**
7. Válassza ki az (f) oszlopból a legnagyobb időtartamot, például az I., II., és III. oszlopokhoz 69!
8. Lehetséges-e az I., II. és III. oszlopokból a III. oszlopon túlra áthelyezni egy vagy több elemet, hogy 36-ra csökkentsük az időtartamot? **Nem, a legközelebbi elemek a 3, 7, 8 és 10, melyek időtartama 38 lenne, ami túl nagy.**
9. Az (f) oszlopból egy hosszabb időtartam figyelembevételével biztosítható-e ehhez a munkaállomáshoz az elemek jobb elrendezése.
Nem
10. Alkalmazza az előzőekben meghatározott a legjobb elrendezést, vagyis a 4. lépésben meghatározott elrendezést, amelynél az I. munkaállomás időtartama 35!
11. Írja át a táblázatot úgy, hogy mutassa az új elrendezést és az új kumulatív mutatókat számolja át az (f) oszlophoz!
12. Az új táblázat (f) oszlopában van-e 36-os időtartam? **Igen, a III. és IV. oszlopokhoz tartozó érték.**
13. Rendezze ezen oszlopok elemeit a II. munkaállomásba és írja át a táblázatot úgy, hogy az (f) oszlop az új értékeket mutassa! (9. táblázat)
14. Az új táblázat (f) oszlopában van-e 36-os cikuszidő? **Nincs**
15. Válaszd ki az (f) oszlopban a 36-nál kisebb legnagyobb időtartamot, vagyis az V., VI., VII. és VIII. oszlopokhoz tartozó érték 31.
16. Vonja ki a 31-et a 36-ból! =5

9. táblázat: 8. táblázat folytatása

Oszlop- szám (a)	Munkaelem sorszáma (b)	Munkaelem áthelyezhetősége (c)	Munka- folyamat időtartama (d)	Oszlop időtartama (e)	Kumulált időtartam (f)
	0 1 2 4 6 7			35	(35) 1. Munkaállomás
III	3 5 9 8		9 4 5 10		
IV	10 11		6 2	36	(36) 2. Munkaállomás
V	12		5	5	5
VI	13		4	4	9
VII	14		12	12	21
VIII	15		10	10	31
IX	16 17 18	x x	5 15 10	30	61
X	19		5	5	66
XI	20		6	6	72

17. A következő oszlopban vannak-e 5-tel egyenlő elemek? **Igen, a 16. elem**

18. Rendelje az érintett oszlopokat és ezt az elemet a munkaállomáshoz és írja át a táblázatot! (10. táblázat)

19. Az új táblázat (f) oszlopában van-e 36-os időtartam? **Igen, a IX., X. és XI. oszlopokhoz tartozó érték.**

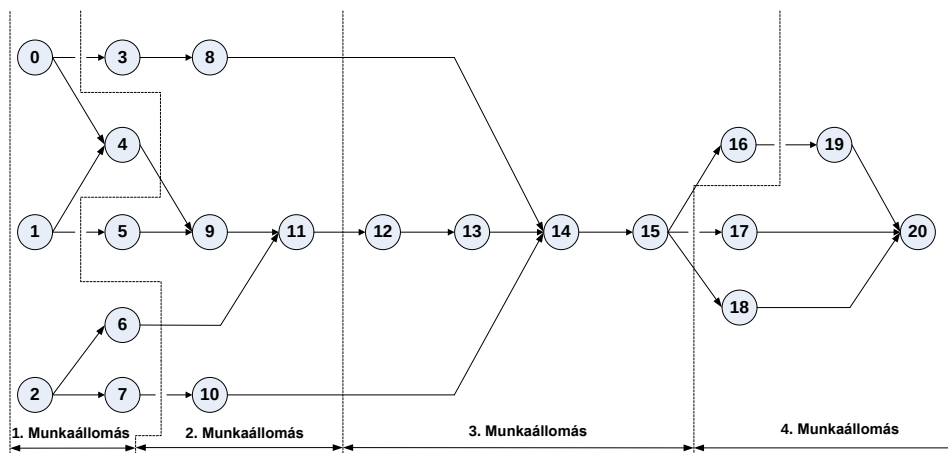
20. Ezen oszlopok elemeit rendelje a munkaállomáshoz

10. táblázat: A munkaállomások alakulása

Oszlop- szám (a)	Munkaelem sorszáma (b)	Munkaelem áthelyezhetősége (c)	Munka- folyamat időtartama (d)	Oszlop időtartama (e)	Kumulált időtartam (f)
	0 1 2 4 6 7			35	(35) 1. Munkaállomás
III IV	3 5 9 8 10 11			36	(36) 2. Munkaállomás
V VI VII VIII IX	12 13 14 15 16		5 4 12 10 5	36	(36) 3. Munkaállomás
X	19		15 10	25	25
X	19		5	5	30
XI	20		6	6	36

Ezzel mind a 21 elemet hozzárendeltük a négy munkaállomáshoz a 31. ábra szerint, kiegyensúlyozási veszteség pedig az alábbiak szerint alakul:

$$\begin{aligned}
 & \frac{n * (C) - \sum t}{n * (C)} * 100 \\
 &= \frac{4 * (36) - 143}{4 * (36)} * 100 \\
 &= 0,7\%
 \end{aligned}$$



31. ábra: A 21 elem elrendezése 4 munkaállomásba

A példából is látszik, hogy a heurisztikus módszer gyors, könnyű, és hatékony. Az allokálás a sorrendiségi kapcsolatokon múlik, az oldalirányú mozgatás segíti az allokálást szükség esetén. A módszer alkotói a következő módszer segítségével a következő megjegyzést adták:

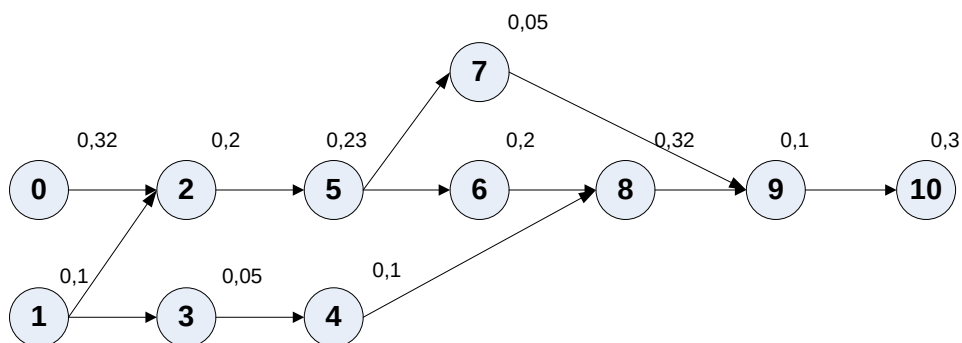
- Az oszlopokon belüli felcserélhetőség segíti a feladatok kiválasztását. Oldalirányú mozgathatóság miatt műveleteket anyagáramlás szempontjából optimálisabb helyre lehet allokálni a gyártósoron belül.
- Általában a megoldások nem egyediek. A műveletek oszlopon belül általában felcserélhetőek. Emiatt lehetőség nyílik a műveletek felcserélésére anélkül, hogy az optimális sorkiegyensúlyozás felborulna.
- Lehetőség szerint a hosszabb idejű műveleteket érdemes előbb indítani.
- Amennyiben oldalirányú mozgatás lehetséges, arra a munkaállomásra érdemes jobbra mozgatni, amihez lehet több egyéb műveletet is hozzárendelni.

Az RPW (Ranked Positional Weight)

Az RPW módszert Helgerson és Birnie fejlesztette ki, ez egy közelítő, gyors megoldást ad a sorkiegyenlítési problémára, ezáltal egy elfogadható eredményt szolgáltat lényegesen kevesebb időráfordítással, mint számos alternatív módszer. Zónákat és sorrendi megkötéseket egyaránt figyelembe vesz. A következő példa illusztrálja a módszert.

Egy egyszerű alkatrész gyártása 11 műveletre bomlik. A sorrendben van megkötés, a zónákat illetően viszont nincsen. 32. ábra írja le a gyártási

folyamatot. A körök jelentik az egyes munkafázist, a felettük levő szám pedig a munkafolyamat elvégzéséhez szükséges idő órában kifejezve. A sorrendi megkötés a 2-es munkafázis esetében abban nyilvánul meg, hogy az 0-s és 1-es munkafázisok után következik, valamint a 5-ös munkafázis előtt.



32. ábra: Az egyes munkafolyamatok sorrendi megkötése – gyártási hálóterv

A 11. táblázat ugyan ezeket az adatokat tartalmazza. Az első oszlop a munkafázis sorszámát, a második oszlop a munkafázis időtartamát, az utána következő oszlopok pedig az egyes megkötéseket tartalmazzák. A függőleges vonal (|) jelenti azt, hogy az egyik munkafázis közvetlenül követi a másikat, míg a kereszt (+) azt, hogy a munkafázisok közvetve, más elemekhez kapcsolódva követik egymást. Ha négyzetben se vonal, se kereszt nincs, az azt jelenti, hogy a két munkafázis sorrendiségében semmilyen megkötés nincs, vagyis az elvégzési időpont egymáshoz képest tetszőleges.

11. táblázat: A folyamatban lévő megkötések és pozíció súlyok

Munkafázis sorszáma	Munkafázis időtartama	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pozíció súly (PW)
0	0,32						+	+	+	+	+	+	1,72
1	0,10					+	+	+	+	+	+	+	1,65
2	0,20							+	+	+	+	+	1,40
3	0,05									+	+	+	0,87
4	0,10										+	+	0,82
5	0,23									+	+	+	1,20
6	0,20										+	+	0,92
7	0,05											+	0,45
8	0,32											+	0,72
9	0,10												0,40
10	0,30												0,30

A táblázat utolsó oszlopa a pozíció súlyát (PW – Positional Weight) adja minden egyes műveletre. A PW az adott művelet és az azt követő műveletek idejének az összege. Ez a 0-ás elem esetében a következőképpen alakul:

$$\begin{aligned}
 \text{PW (0)} &= 0\text{-ás elem időtartama} &= 0,32 \\
 &2\text{-es elem időtartama} &= 0,20 \\
 &5\text{-ös elem időtartama} &= 0,20 \\
 &6\text{-os elem időtartama} &= 0,20 \\
 &7\text{-es elem időtartama} &= 0,20 \\
 &8\text{-as elem időtartama} &= 0,20 \\
 &9\text{-es elem időtartama} &= 0,20 \\
 + &10\text{-es elem időtartama} &= 0,20 \\
 \hline
 &&= 1,72
 \end{aligned}$$

A pozíció súlya jellemzi a művelet hosszát és az elhelyezkedését a sorozatban. A 12. táblázat tartalmazza az egyes műveleteket, a műveleti idejüket, a művelethez tartozó PW-t, ami szerint csökkenő sorrendbe van rendezve a táblázat, valamint az egyes műveleteket közvetlenül megelőző műveletek sorszámát.

12. táblázat: A munkafázisok a hozzájuk tartozó pozíció súly szerinti sorrendben

Munkafázis száma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Össz
Időtartam	0,32	0,1	0,2	0,23	0,2	0,05	0,1	0,32	0,05	0,1	0,3	1,97
PW	1,72	1,65	1,4	1,2	0,92	0,87	0,82	0,72	0,45	0,40	0,30	
Előző fázis	—	—	0;1	2	5	1	3	4;6	5	7;8	9	

Feladat a munkaállomások minimalizálásával gyártósor tervezése 0,55 órás ciklusidővel (vagyis óránként 1,82 darabot kell gyártani). Az egyes munkafázisok a hozzájuk tartozó PW alapján vannak csökkenő sorrendbe rendezve a 12. táblázat szerint. A sorrendbe rendezésnél figyelni továbbá arra is, hogy semmilyen megkötést ne sértsünk meg, vagyis az egyes munkafázisok kötelező sorrendjei ne boruljanak fel. A 0-ás műveletnek a legnagyobb a PW-je (1,72), ezt rendeljük először az 1-es munkaállomáshoz. Azért elfogadható ez az összerendelés, mert a 0-s műveletnek nincs közvetlen megelőző művelete, és a műveleti ideje kisebb, mint az 1-es állomáson rendelkezésre álló tartalékidő.

Munka- állomás	Munkafázis	PW	Megelőző munkafázis	Munkafázis ideje (C)	Kumulatív munka- állomás idő (Z)	Megmaradt tartalékidő (C-Z)
I.	0	1,72	-	0,32	0,32	0,23
	1	1,65	-	0,10	0,42	0,13
	3	0,87	1	0,05	0,47	0,08
II.	2	1,40	0;1	0,20	0,20	0,35
	5	1,20	2	0,23	0,43	0,12
	4	0,82	3	0,10	0,53	0,02
III.	6	0,92	5	0,20	0,20	0,35
	8	0,72	4;6	0,32	0,52	0,03
IV.	7	0,45	5	0,05	0,05	0,50
	9	0,40	7;8	0,10	0,15	0,40
	10	0,30	9	0,30	0,45	0,10
C=0,55 Kiegyensúlyozási veszteség = $\frac{4 * (0,55) - 1,97}{4 * (0,55)} * 100 = 10,45\%$						

Az 1-es munkafázis a következő, amit az I. munkaállomáshoz rendelünk, mivel ez rendelkezik a második legnagyobb PW-vel. Ezt azért tehetjük meg, mivel nem sértünk megkötést, és van elegendő ciklusidő tartalék az első munkaállomáson. A következő legnagyobb PW a 2-es művelethez tartozik. Az ezt kötelezően megelőző műveletek már hozzá lettek rendelve a munkaállomáshoz, ám ennek ellenére mégsem lehet az 1-es állomáshoz rendelni, mivel a még szabad ciklusidő tartalék (0,13) az állomáson kevesebb, mint a művelet ideje (0,20).

Az 5-ös számú munkafolyamatot nem rendelhetjük az 1-es munkaállomáshoz, mivel a 2-es munkafolyamat után kell következnie, bár az idő ebben az esetben elegendő lenne.

A 6-os munkafázis hasonló okok miatt nem lehet a 2-es munkaállomáshoz rendelni.

A 3-as munkafázis azonban hozzárendelhető az 1-es munkaállomáshoz, mivel nincs olyan művelet, ami hiányozna és ezért kizárná, valamint a művelethez szükséges idő is befér a fennmaradt tartalékidőbe.

A fennmaradó munkafázisok közül csak a 7-esnek van olyan időszükséglete, hogy beleférne még az 1-es munkaállomás tartalék idejébe, ám mivel követnie kell az 5-ös munkafázist, ezért már nem rendelhető hozzá az 1-es munkaállomáshoz.

A többi munkaállomás meghatározásához megismételjük ezt az eljárást.

4 munkaállomás szükséges a gyártáson, melyeknek a példában vizsgált elrendezéssel 10,4%-os kiegyensúlyozási vesztesége van. Vegyük észre, hogy minden állomáson van kihasználatlan idő, a legnagyobb terhelés a 2-es állomáson van, 0,53 óra. Hasonló helyzet állt elő, mint ahogy azt az előzőekben a 29. ábra is illusztrálta.

A kívánt termelékenység eléréséhez (1,82 db/óra) nincs jobb megoldási módszer a fenténél, de ha egyéb szempontoknak is megfelel, akkor a ciklusidő lecsökkenthető 0,53 órára, így a kibocsátás 1,89 db/óra-ra nő, így a kiegyensúlyozási veszteség 7%-ra csökken. Ahhoz, hogy a ciklusidőt 0,53 óra alá csökkentsük, már 5 munkaállomás szükséges.

A 0,55-ös ciklusidő megtartásának nincs sok értelme, hisz ez csak a hatékonyság csökkentését, a rendszerben lévő kapacitástartalékok szándékos kihasználatlanságát jelenti olyan céllal, hogy megtartsuk az előre eltervezett kibocsátási sebességet (1,82 db/óra). Ebből következően sokkal inkább érdemes a termelékenységet a kiegyensúlyozási veszteség minimalizálása mellett meghatározni.

Vagyis a kiegyensúlyozás folyamata hatékonyabb, ha először az előre meghatározott ciklusidő mellett egy egyenletes terhelést valósítunk meg a munkaállomásokon. Ezután pedig minimalizáljuk a ciklusidőt, vagyis az egyes munkaállomások ciklusidejét közelítjük egymáshoz ugyanannyi munkaállomás alkalmazásával. Az így kapott legnagyobb ciklusidejű munkaállomás, vagyis a ciklusidő valószínűleg alacsonyabb lesz.

Mintapélda

Egy termék előállításához 15 művelet szükséges. A műveletek sorrendjét és szükséges időket az alábbi táblázta mutatja:

sorszám	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
megelőző művelet		0	1	1	0	2;4	3;5	6	7	6	9	10	8	12	11; 13
időszükséglet tc [s]	20	14	10	20	16	12	15	10	20	15	19	15	14	13	20

Az elméleti gyártási szükséglet 60 termék óránként. A selejtarány 5%. Rajzolja meg a gyártás hálótervét! Az RPW módszert alkalmazva állapítsa

meg a sor kiegyenlítéséhez szükséges munkaállomások számát és a műveletek csoportosítását! Mennyi lesz a kihasználtság értéke?

Megoldás

$$\text{Igény: } 60 \frac{\text{db}}{\text{óra}} = \frac{1}{60} \frac{\text{db}}{\text{s}}$$

Selejtarány: 5%

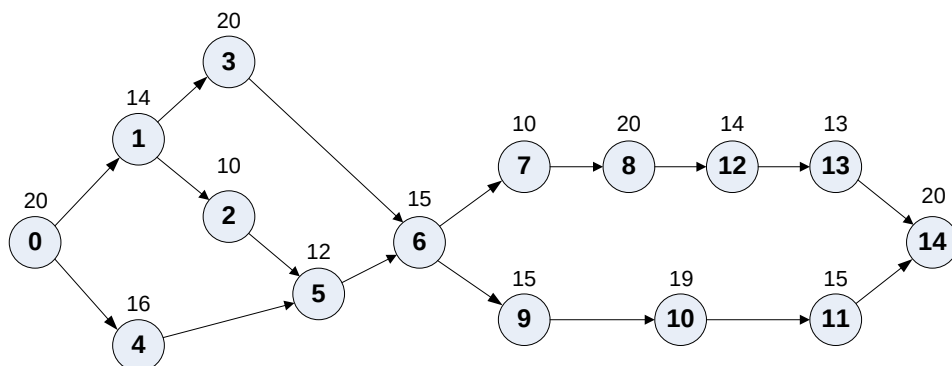
Maximális ciklusidő:

$$C_{\max} = \frac{1}{\frac{\text{Igény}}{1 - \text{Selejtarány}}} = \frac{1 - \text{Selejtarány}}{\text{Igény}} = \frac{0,95}{\frac{1}{60}} = 0,95 * 60 = 57 \text{ s}$$

Összes műveleti idő: 233 s

Minimális munkaállomás-szám: $\frac{233}{57} = 4,09 \Rightarrow$ minimum 5 munkaállomás szükséges

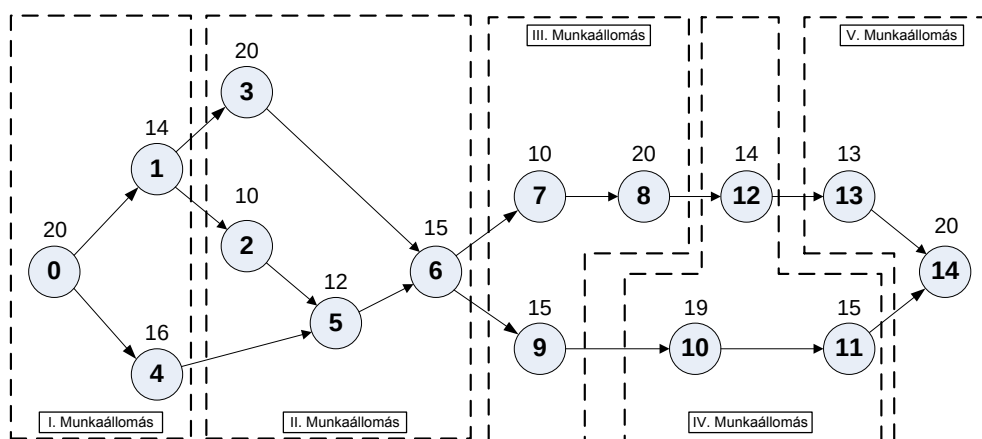
Gyártási hálóterv:



Munkaállomás	RPW sorrendi időszükséglet	RPW sorrend	Munkafázis	PW
		0	0	233
		1	1	197
		4	2	163
		2	3	161
		3	4	169
		5	5	153
		6	6	141
		7	7	77
		9	8	67
		8	9	69
		10	10	54
		12	11	35
		11	12	47
		13	13	33
		14	14	20

1. lépésben kitöltjük a PW oszlopot úgy, hogy az adott sorszámú munkafázis idejéhez hozzáadjuk az öt követő munkafázisok idejét is.
2. lépésben a PW értékek szerint sorba rendezzük a munkafázisokat (RPW sorrend).
3. lépésben kitöltjük az RPW sorrend szerint az egyes munkafázisokhoz tartozó időszükségletet felhasználva vagy az alapadatokat, vagy a gyártási hálótervet.
4. Az RPW sorrend szerint haladva összeadjuk a munkafázisok időtartamát, úgy, hogy ne haladja meg a kiszámított 57 s-os ciklusidőt. Amennyiben az adott munkafázisnál meghaladja, akkor az már a következő munkaállomáshoz tartozik.
5. Meghatározzuk a teljes gyártási folyamat ciklusidejét, ami a legnagyobb ciklusidejű munkaállomás ciklusidejével egyezik meg. $C=57$ s

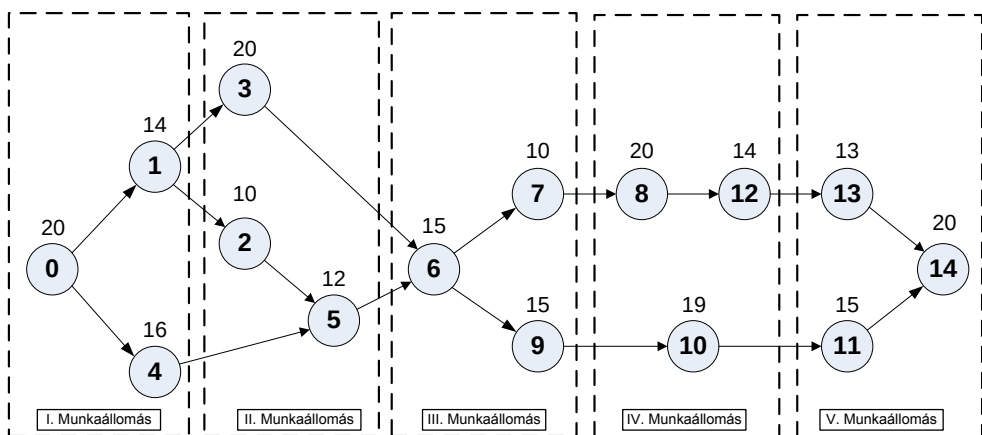
Munkaállomás	RPW sorrendi időszükséglet	RPW sorrend	Munkafázis	PW
I. 50 s	20	0	0	233
	14	1	1	197
	16	4	2	163
II. 57 s	10	2	3	161
	20	3	4	169
	12	5	5	153
	15	6	6	141
III. 45 s	10	7	7	77
	15	9	8	67
	20	8	9	69
IV. 48 s	19	10	10	54
	14	12	11	35
	15	11	12	47
V. 33 s	13	13	13	33
	20	14	14	20



6. Kihasznátság értékének kiszámítása: $e = \frac{\sum tc}{5 * C} = \frac{233}{5 * 57} = 81,75\%$

Az így kapott eredményt lehet még optimalizálni, ha a legnagyobb ciklusidejű munkaállomás ciklusidejét tudjuk úgy csökkenteni, hogy az újabb elrendezés kisebb ciklusidőt eredményez az összes munkaállomás tekintetében.

Munkaállomás	RPW sorrendi időszükséglet	RPW sorrend	Munkafázis	PW
I. 50 s	20	0	0	233
	14	1	1	197
	16	4	2	163
II. 42 s	10	2	3	161
	20	3	4	169
	12	5	5	153
III. 40 s	15	6	6	141
	10	7	7	77
	15	9	8	67
IV. 53 s	20	8	9	69
	19	10	10	54
	14	12	11	35
V. 48 s	15	11	12	47
	13	13	13	33
	20	14	14	20

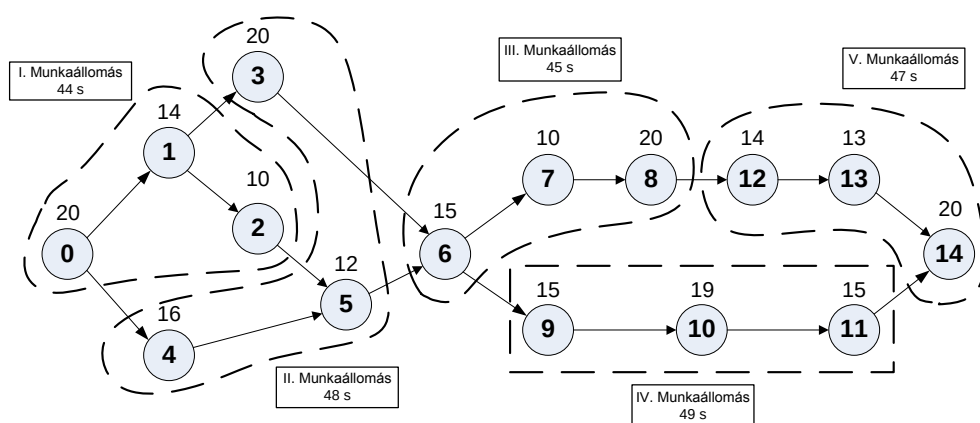


Ezzel az elrendezéssel a ciklusidő 53 s-ra csökken, így a kihasználtság:

$$e = \frac{233}{5 \cdot 53} = 87,92\%, \text{ ami jelentős javulás az előzőhöz képest.}$$

Azonban ezt is lehet még javítani, hisz ahogy az az előzőekben már meg lett említve, az RPW módszer nem az optimális megoldásra törekszik, hanem hogy egy aránylag gyors módszer segítségével elfogadható eredményt találjon.

Ennél a példánál a kihasználtság maximalizálására $\frac{233}{5} \approx 47$ s ciklusidejű munkaállomások kialakítása lenne a cél, vagyis hogy az összes munkaállomás minél közelebb legyen ehhez az értékhez. A példa érdekessége, hogy ha a munkaállomásokat nem az RPW szerinti sorrendben, hanem a munkafázisok sorrendjében alakítjuk ki, akkor közel ilyen eredményt kapunk.



Az így kapott elrendezés esetében a IV. Munkaállomásnak van a legnagyobb ciklusideje, ami 49 s. Így a kihasználtság: $e = \frac{233}{5 \cdot 49} = 95,1\%$

Ábrajegyzék

1. ábra: Az ütemezés összefüggései	8
2. ábra: Időhorizont az MPS-ben.....	12
3. ábra: Fix újraprendelési mennyiség (Q állandó)	20
4. ábra: Fix újraprendelési intervallum	21
5. ábra: Gazdaságos rendelési mennyiség	21
6. ábra: Termékfa, anyagjegyzék	26
7. ábra: MRP anyagjegyzék	30
8. ábra: Az MRP struktúrája.....	33
9. ábra: Leegyszerűsített MRP II.....	35
10. ábra: Termelési és készletezési folyamatok.	37
11. ábra: A kártyás kanban működése.....	41
12. ábra: A kanban működése	42
13. ábra: A kettős kanban működése.....	43
14. ábra: Kanban területek	44
15. ábra: Puffer képződés	47
16. ábra: Rendszer veszteség alakulása a munkaállomások számának és puffer használatnak a függvényében – Ray Wild: Production and operation management – pp 491.	49
17. ábra: Két sorban kapcsolt elem	53
18. ábra Több független elem kapcsolata.....	54
19. ábra: A sorban kapcsolt elemek számának és megbízhatóságának hatása a rendszer megbízhatóságára	54
20. ábra: Párhuzamosan kapcsolt elemek hatása.....	55
21. ábra: Két elemű rendszer megbízhatósága	56
22. ábra: A párhuzamosan kapcsolt elemek számának és megbízhatóságának hatása a rendszer megbízhatóságára.....	58
23. ábra: Kötegelt feldolgozó rendszerek típusai	63
24. ábra: Gazdaságos sorozatnagyság meghatározása	67
25. ábra: Köteg-feldolgozás hiány megengedésével	71

26. ábra: Folyamatos készletre vétel és készletfogyás	74
27. ábra: Tömegtermelési rendszerek.....	76
28. ábra: 5 munkaállomásból álló teljesen kiegyensúlyozott gyártósor.....	81
29. ábra: 5 munkaállomással rendelkező összeszerelő sor kiegyensúlyozási vesztesége.....	82
30. ábra: Munkafolyamatok kapcsolódási diagramja egy adott termék gyártása esetén.....	83
31. ábra: A 21 elem elrendezése 4 munkaállomásba	88
32. ábra: Az egyes munkafolyamatok sorrendi megkötése – gyártási hálóterv	89

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Termékek és szolgáltatások	5
2. táblázat: Példa MPS-re	14
3. táblázat: Készletnyilvántartás File: MRP Homokóra példa	27
4. táblázat: Megrendelés ütemezés.....	28
5. táblázat: MRP tábla a gyakorló feladathoz	31
6. táblázat: Példák a kötegelt feldolgozásra	62
7. táblázat: Termékcsaládon belüli és kívüli termékek gyártása során jelentkező átállási idő	66
8. táblázat: A 30. ábra táblázatos alakja	84
9. táblázat: 8. táblázat folytatása	86
10. táblázat: A munkaállomások alakulása	87
11. táblázat: A folyamatban lévő megkötések és pozíció súlyok.....	89
12. táblázat: A munkafázisok a hozzájuk tartozó pozíció súly szerinti sorrendben	90

Felhasznált irodalom

Production and Operations Management – Alan Muhlemann, John Oakland, Keith Lockyer – University of Bradford

The Management of Operations: A Conceptual Emphasis – Jack R. Meredith – University of Cincinnati

Production and Operations Management – Ray Wild – Henley – The Management College and Brunel University

Logisztika I. – szerk.: dr. Prezenszki József – BME Mérnöktovábbképző Intézet

Az értékteremtő folyamatok menedzsmentje – szerk.: Chikán Attila, Demeter Krisztina – Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem

Logisztika I–II. – szerk.: Földesi Péter – Széchenyi István Egyetem

Logisztika-menedzsment – Szegedi Zoltán, Prezenszki József – Kossuth Kiadó 2008