Miskolci Egyetem
Gépészmérnöki Kar

TERMELÉSIRÁNYÍTÁS

(saját fejlesztésű tananyag)

Készítette: **Dr. Tóth Tibor**
egyetemi tanár

Miskolc
2002.

Tartalomjegyzék

I. A TERMELÉSIRÁNYÍTÁS MAI FOGALOMKÖRE ÉS ESZKÖZRENDSZERE 3
1. A termelésirányítás tágabb és szűkebb értelmezése …… 3
2. A termelésirányítás rendszerszemléletű megközelítése …… 5
2.1. A termelésirányítási rendszer funkciója …… 12
2.2. A termelésirányítási rendszer struktúrája ……. 13
2.2.1. Funkcionális struktúra …….. 14
2.2.2. Időbeli ciklusok struktúrája …….. 15
2.2.3. Hierarchikus struktúra …….. 17
2.2.4. Adatbázis-struktúra …… 17
II. A TERMELÉSIRÁNYÍTÁS OPTIMÁLÁSI PROBLÉMÁI ……. 22
1. A termelésirányítás feladata …….. 22
2. A termelésirányítás célja, az optimális irányítás fogalma ……. 22
3. A termelésirányítás hierarchikus szintjei …… 23
4. Vezetési struktúra …….. 23
5. Modellezés ……. 24
6. A számítógép és az ember viszonya …….. 24
7. Termeléstervezés …… 25
8. Termelésütemezés …….. 26
9. Termelésprogramozás …… 26
10. Nagyméretű optimálási feladatok megoldása …….. 27
11. Termelésirányítási rendszerek ipari bevezetése …… 29
12. Gépipari gyártásformák, irányítási feladatok …….. 29
12.1. Általános szempontok ……. 29
12.2. A gyártásformákat jellemző tényezők …… 30
12.3. Néhány gyakran előforduló gyártásforma …….. 32
13. Integrált gyártórendszerek termelésirányítása (IGYR) …… 35
14. Matematikai modellek a termelésirányításban …… 35
14.1. Lineáris programozás …….. 36
14.2. Diszkrét programozási problémák …….. 37
14.2.1. A hátizsák feladat ……. 37
14.2.2. Az utazó ügynök feladata ……. 39
14.2.3. A hozzárendelési probléma …….. 41
14.3. Ütemezési problémák és megoldási lehetőségeik …… 42
III. RUGALMAS GYÁRTÓRENDSZEREK SZÁMÍTÓGÉPES TERMELÉSPROGRAMOZÁSA …….. 50
1. Milyen gyártóberendezés-csoport tekinthető rugalmas gyártó-rendszernek? 50
2. Rugalmas gyártórendszerek típusai (fizikai komponensek alapján) ……. 51
3. Fizikai rugalmas gyártórendszer típusok (Buzacott, Groover) …….. 52
4. Rugalmas gyártórendszerek termelésprogramozási alapesetei …….. 53
4.1. Off-line irányítási környezetű FMS-ek termelésprogramozási rendszere 57
4.2. A termelésprogramozási rendszer működése *on-line* üzemmód esetén 62

I. A TERMELÉSIRÁNYÍTÁS MAI FOGALOMKÖRE ÉS ESZKÖZRENDSZERE

1. A termelésirányítás tágabb és szűkebb értelmezése

A „termelésirányítás” szakkifejezést, jóllehet általánosan elterjedt, a szakemberek korántsem egységesen értelmezik. Miután a szóösszetétel mindkét tagja, a „termelés” és az „irányítás” önmagukban is igen bonyolult fogalomköröket fednek le, a sokféle értelmezés jogos és természetes.

A termelésirányítás *tágabb értelemben* a termeléssel kapcsolatos döntési feladatok megfogalmazásával, megoldásával és a döntések végrehajtásának ellenőrzésével foglalkozik, miközben figyelembe veszi a termelés legfontosabb tényezőit (a termelés céljait, a termelőket, a termelés eszközeit, tárgyát és feltételeit). *Szűkebb értelemben* termelésirányításon termelési feladatok meghatározását és végrehajtásuk megszervezését értik.

A termelésirányítás fogalomkörének ez a jellemzése mind a termelés, mind az irányítás technikájának és technológiájának változásával szemben *invariáns*.

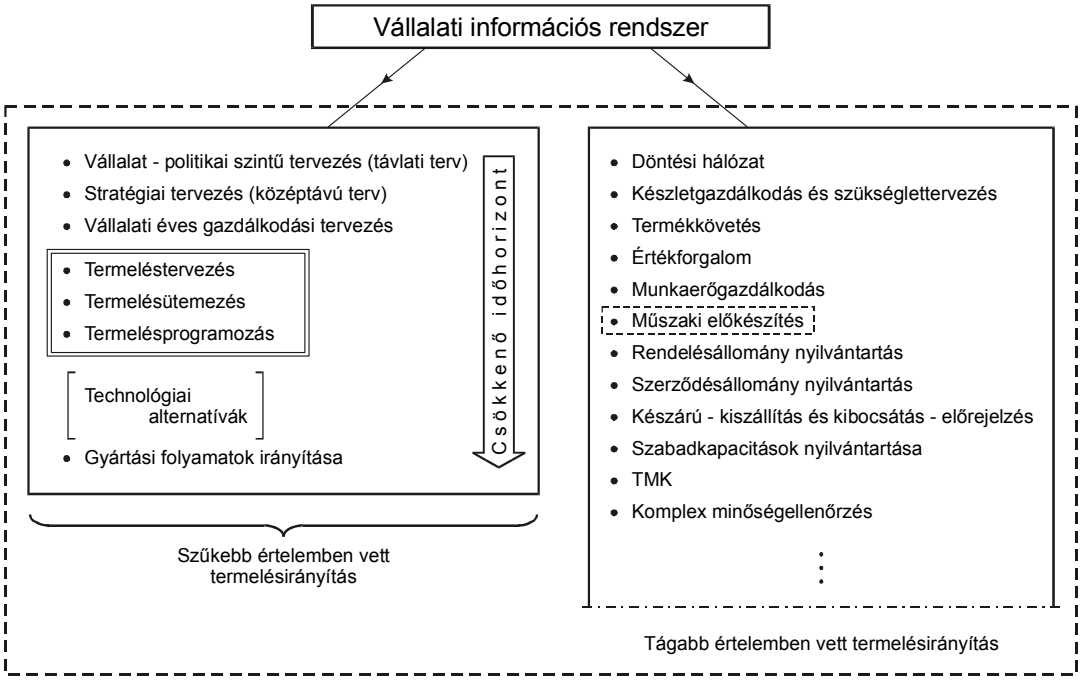
A tantárgy keretében mindig *vállalati termelésirányításról*, vagy annak valamilyen speciális rendezőelv szerinti részterületéről van szó. Bár megállapításaink döntő többsége független a vállalat profiljától, jelezni kívánjuk, hogy mindenekelőtt olyan iparvállalatok termelésirányítását elemezzük, amelyek gyártással és szereléssel egyaránt foglalkoznak a belső folyamataik *diszkrét*, szakaszos jellegűek.

A *vállalatirányítás* a termelésirányításnál tágabb fogalomkör, mivel kiterjed a termelésfejlesztés, a választékbővítés, a vállalati költséggazdálkodás, a piackutatás és feltárás területeire és más, a vállalat működésével összefüggő egyéb területekre is, amelyek a megrendelések beérkezésétől a késztermék kiszállításáig tartó, szűkebb értelemben vett termelési folyamatokon kívül esnek.

A termelésirányítás tágabb és szűkebb értelmezését a vállalati információs rendszerből kiindulva is szemléltethetjük (1.1. ábra). Az ábra egy lehetséges és célszerű csoportosításban kísérli meg érzékeltetni a feladatok bonyolultságát és sokféleségét. Az ábrából követhetően a *szűkebb* értelemben vett termelésirányítás feladatainak csoportosításakor az *előre irányuló tervezési idősáv* (időhorizont) nagysága jelenti a rendező elvet, azaz felülről-lefelé haladva egyre kisebb időhorizontú tevékenység tervezéséről és irányításáról van szó.

A tágabb értelmezés szerint legfontosabb *funkciócsoportok* az alábbiak:

- a gyártási igények előre-becslése;
- termeléstervezés;
- készletgazdálkodás;
- gyártásütemezés;
- munkaadagolás.



1.1.ábra: A termelésirányítás tágabb és szűkebb értelmezése

A funkciócsoportokban *közös,* hogy olyan tevékenységekből állnak, amelyek egy vállalat gyártási folyamataihoz közvetlenül kapcsolódnak.

A nemzetközi szakirodalomban a „termelésirányítás” szakkifejezésnek nincs teljesen azonos tartalmú megfelelője, az angol nyelvű „tükörfordítás” (Production Control) önállóan nem használják. A termelésirányítás különféle részterületeit a következő terminológiák fedik:

- Management Information System (MIS), (Vezetési/igazgatási információs rendszer);
- Production Planning and Scheduling (PPS), (Termeléstervezés és –ütemezés) vagy Production Planning System (PPS), (Termeléstervezési rendszer);
- Manufacturing Resources Planning (MRP) (Gyártási erőforrások tervezése);
- Computer Aided Production Planning (CAPP), (Számítógépes termeléstervezés).

Ezek közül az ESPRIT (European Strategy Program for Research and Development of Information Technology) javaslatban szereplő utolsó elnevezést a CAPP technológiai

tartalmú lekötöttsége (Computer Aided Process Planning) miatt egyáltalán nem használhatjuk. A további három kifejezés közül számunkra a PPS látszik megfelelőnek, ha deklaráljuk:

(1) a tervezést elvileg tetszőleges mértékig számítógép támogathatja;

(2) az (1)-ből következőleg a termelésirányítási rendszer a CIM rendszer alrendszere;

(3) a gyártási folyamat irányítása (különösen az *on-line*, *real-time* irányítás) nem tartozik a PPS-hez, ezért PPS/CAM interfészekre van szükség.

2. A termelésirányítás rendszerszemléletű megközelítése

Rendszerelméleti szempontból a vállalati működés a vállalaton, mint bonyolult rendszeren belül lejátszódó folyamatokon keresztül valósul meg. E folyamatok, amelyek lényegük szerint a rendszerben lejátszódó állapotváltozások időbeli sorozatai, alapvetően két fő csoportra oszthatók:

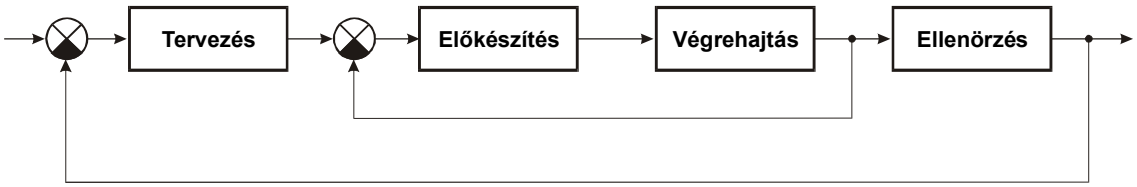
(1) ***anyagi folyamatok***, amelyekben fizikai, kémiai, biológiai, stb. materiális jellegű állapotváltozások irányított sorozatai mennek végbe;

(2) ***vezetési-irányítási-ellenőrzési folyamatok***, amelyek az anyagi folyamatok közvetítése útján további két fő tevékenységi kört fognak át, nevezetesen:
- a *fejlesztést*, mint önálló szellemi és anyagi folyamatok szintézisét;
- az *üzemszerű termeléshez*, az annak lebonyolításához szükséges funkciókhoz kapcsolódó folyamatokat.

Ez utóbbi két esetben a folyamatok tovább bonthatók a célok kitűzéséhez, a végrehajtás megszervezéséhez és ellenőrzéséhez, valamint magához a végrehajtáshoz (kivitelezés, realizálás) kapcsolódó tevékenységcsoportokra.

Ismeretes, hogy a bonyolult rendszerként tekintett vállalat egészének működését – vagyis a vállalaton belül végbemenő főbb tevékenységi folyamatokat – célszerű *négy* szakaszra felbontani, amelyek a következők: *tervezés, előkészítés, végrehajtás, ellenőrzés.* Fontos hangsúlyozni, hogy ezek a szakaszok egy-egy tetszőleges, de választás után rögzített feladatra értelmezhetők, ezért amikor egyes feladatok tervezése vagy előkészítése folyik, akkor más feladatok a végrehajtás vagy az ellenőrzés (számbavétel) stádiumában vannak. Ugyanakkor a felsorolt szakaszok nem függetlenek egymástól: a tervezési és előkészítési munkákat befolyásolják azok az új feltételek, körülmények is, amelyek az éppen folyamatban lévő végrehajtás vagy a már lezajlott folyamatok ellenőrzése (számbavétele) során alakulnak ki. A megváltozott feltételek a tervezési és előkészítési munkát jelentős mértékben

módosíthatják. A vállalati működés egésze ezért már első közelítésben is kéthurkú szabályozáselméleti modellre vezet (1.2. ábra).



1.2. ábra: A vállalati működés egészét szemléltető kettős visszacsatolású szabályozáselméleti modell lényege

A visszacsatolás elvét – amely szerint a tervezett értéktől való eltérés képezi a folyamat működésének javítását célzó, következő beavatkozás alapját – a termelővállalatok irányítása nem nélkülözheti. A szűkebb (belső) szabályozási kör magában foglalja a termelés ütemezését és a végrehajtás közvetlen számbavételét: gyakran ezt tekintik (szűkebb értelemben) termelésirányításnak. A tágabb értelemben vett, integrált termelésirányítási rendszernek ez a központi magva a mindenkori „élő”, operatív feladatokkal foglalkozik.

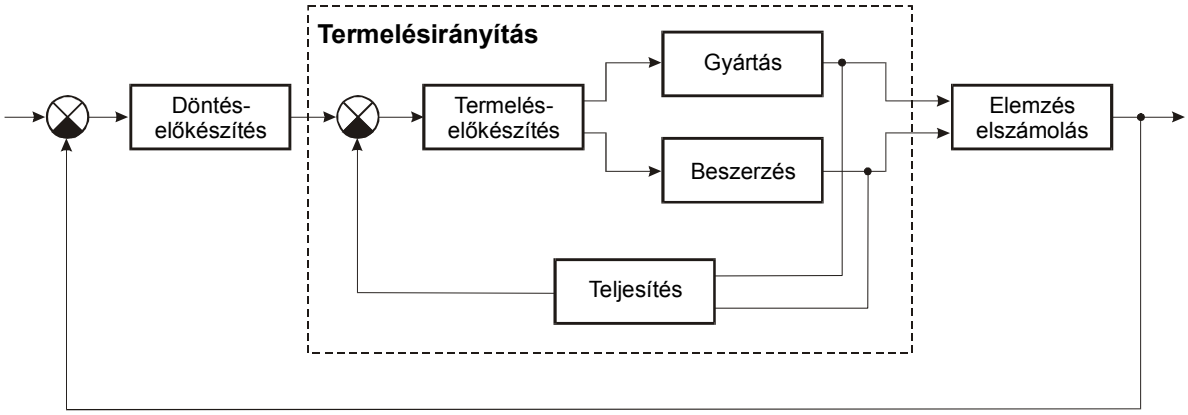
A szakirodalomban elterjedt egyik felfogás szerint a termelésirányítás a 2. ábrán vázolt szabályozási körben az előkészítés- és végrehajtáselemekből álló belső szabályozási kört foglalja magába, tehát a termelés tervezését és az erre alapozott vállalati döntések meghozatalát nem tekinti termelésirányítási feladatnak. E szűkebben értelmezett termelésirányítási rendszer főbb feladatai a következők:

- felméri és kijelzi a hiányzó gyártmányszerkezeti, konstrukciós és technológiai alapadatokat;
- kiszámítja és határidőzi az erőforrás-szükségleteket a termelési feladatok jellegének megfelelő időperiódusok szerint (anyag, gyártóberendezés,
- termelési ütemtervet (programot) készít „helyben gyártandó” és „beszerzendő” komponensek szerinti bontásban;
- kooperációs előrejelzést ad a túlterhelés elkerülésére és jelzi a nem megfelelően terhelt munkahelyeket;
- a várható felhasználás időpontjára anyag- és előre számfejtett munkautalványt állít ki;
- ellenőrzi a végrehajtás tervszerűségét, készültségi fokát.

A tevékenységek számbavételét, elszámolását és kiértékelését egy, a „múltra irányuló” rendszer végzi és ezzel a 1.2. ábrán jelzett *ellenőrzési szakasz* feladatait látja el. Az ellenőrzési

szakasz szorosan kapcsolódik a termelésirányítási szakasz azon befejező részéhez, amely a *tervszerűséget* és a *készültségi fokot* ellenőrzi. Természetesen a két csatlakozó szakasz tartalma szignifikánsan eltér: míg a tervszerűséget az utalások és a tényleges felhasználások azonossága, hasonlósága igazolja, addig az ellenőrzési szakaszban a felhasználások és az eltérések számszerűsítése, csoportosítása és elemzése megy végbe azzal a céllal, hogy a következő időszak döntéselőkészítését segítse. Maga a döntéselőkészítő rendszer egyaránt támaszkodik a múlt elemzéséből visszacsatolt adatokra és a korszerű matematikai módszerekkel kidolgozott előrejelzésekre. A fontosabb döntések meghozatalában az emberi interaktivitás ma még nem nélkülözhető.

Így záródik a külső szabályozási kör és a 1.3. ábrán feltüntetett kéthurkú modellt kapjuk, amely a vállalati termelésirányítás információs folyamatainak szabályozását a lényeget illetően jól tükrözi.



1.3.ábra: A vállalati termelésirányítás információs folyamatainak szabályozását szemléltető kéthurkú szabályozási kör egy lehetséges változata

A termelésirányítás rendszerszemléletű megközelítésében sajátos új iskolát képvisel az a hazai kutató-fejlesztő csoport, amely a Kybernos fantázianevű, többtelephelyes anyaggazdálkodási és termelésirányítási rendszert létrehozta. A következőkben az általuk javasolt és realizált termelésirányítási elveket, módszereket vázoljuk.

Ismeretes, hogy a termelésirányítást kiszolgáló információs rendszerek rendkívül változatosak; a megvalósított rendszerek nemcsak megoldásaikban, hanem az általuk lefedett területekben is különböznek egymástól. Ez a kép a felületes szemlélő számára azt sugallhatja, hogy a különbözőségek a termelés alapfolyamataiból fakadnak és nincs mód nagyobb általánossági fokú, több helyen alkalmazható rendszer kidolgozására. E feltételezést csak

erősíti a termelésirányítási rendszerek fejlesztésével (is) foglalkozó nagy cégek általánosságra igényt tartó rendszereinek vizsgálata, amelyek ipari bevezetését rendkívüli bonyolultságuk évekre elhúzódóvá – és kevésbé tőkeerős, kisebb vállalatok számára eleve reménytelenné – teszi. Ugyanakkor a termelésirányítást támogató kisebb és olcsóbb szoftverek, legalábbis eddig, igen erős korlátaik miatt nem tudtak igazán hasznos segédeszközzé válni.

Az új megközelítés lényege az, hogy bebizonyítsa:

- egyrészt található egy olyan irányítási célrendszer, amely a vállalatok széles körére illeszthető,
- másrészt konstruálható erre egy olyan matematikai-irányítástechnikai-számítástechnikai modell, amely a termelési helyzetek döntő részét kezelni képes.

A Kybernos rendszer fejlesztői a fenti állítások igazolásához első lépésként bevezették az ún. „*termelési háromszög*” fogalmát. Ennek lényege, hogy a termelési folyamat gazdasági szempontból *három* jellemzővel, nevezetesen

- a szállítókészség,
- a készletszint és
- a gyártókapacitások kihasználása

segítségével kézbentartható. (A *szállítókészség* definíció szerint egy meghatározott mennyiségű termék leszállításához szükséges idő reciprok értékét jelenti a szállítási igény megjelenésétől a leszállítás teljesítéséig terjedő időintervallumra vetítve [1/nap]).

E három jellemző (komplex paraméter) a termelési folyamatban különleges szerepet tölt be. Bizonyítható ugyanis, hogy a termelésirányításhoz e három jellemző *együttes irányítása szükséges és egyben elégséges feltétel*. Így a termelésirányítás, mint feladat, e három jellemző irányításával lesz azonos.

A feltétel szükségessége azt jelenti, hogy ennél kevesebb paraméterrel termelést irányítani egyáltalán nem lehet. Az elégségesség pedig azt, hogy ennél több paraméterre lényegében nincs szükség.

Az állítás első része – azaz a jellemzők szükségessége – logikai úton is belátható abból a megfontolásból, hogy a fenti három jellemző közül bármelyik a másik kettő rovására viszonylag könnyen javítható.

> Egy vállalat készletszintjét aránylag könnyen csökkenteni lehet, ha csökkenteni kívánjuk a szállítókészséget és elfogadjuk a gyártóberendezések kihasználásának csökkenését (ezáltal a termelési volumen csökkenését). Hasonlóan: „raktárra termelés-sel” (készletnöveléssel) a gyártóberendezések kihasználása tetszés szerint fenntartható. A szállítókészség növelését

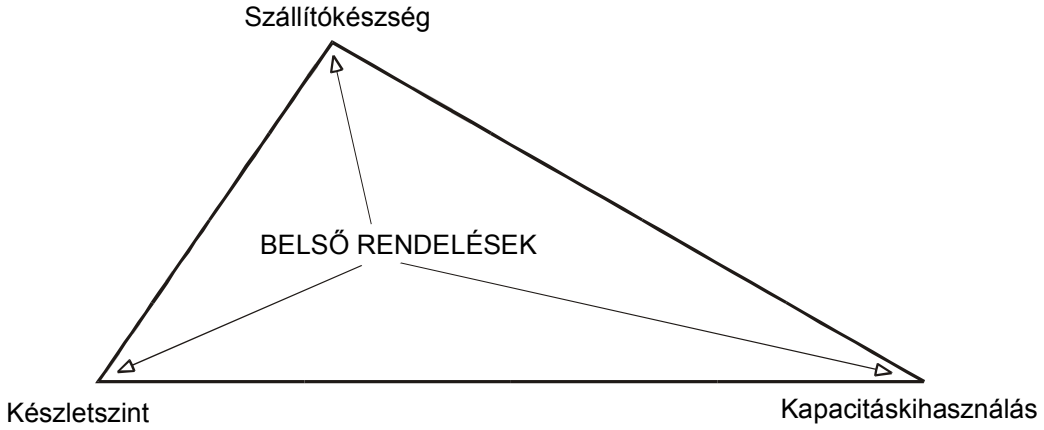
leggyakrabban félkész- és késztermékek raktározásával (vagyis készletnöveléssel) és/vagy tartalékkapacitások fenntartásával lehet megoldani. E gondolatmenet alapján be lehet látni, hogy a készletgazdálkodás számítógépes optimálása önmagában nem értelmezhető feladatot jelent. Másrészt a szállítókészség fogalmának bevezetése nélkül maga a termelésirányítás válik értelmezhetetlenné.

A három komplex paraméter elégségességének bizonyítása nehezebb feladat. A bizonyítás egyik vonala arra a felismerésre támaszkodik, hogy a termelés gazdaságosságát alapvetően a *szállítókészség-készletszint-kapacitáskihasználás* hármas határozza meg. A készletszint csökkentése és a kapacitáskihasználás párhuzamos növelése egyértelmű gazdasági eredményt jelent. A korábban elhanyagolt szállítókészség fontosságát jelzi, hogy azonos minőséget szavatoló szállítók esetében versenytárgyalásokat eldöntő tényezővé válhat.

A termelés fenti három jellemzőjének elégségességét pusztán e három paraméter szabályozására alapozott anyaggazdálkodó és termelésirányító rendszer eddigi alkalmazási tapasztalatai is alátámasztják. A rendszer a végrehajtott vizsgálatok és esettanulmányok szerint úgyszólván minden termelési helyzet megfelelő kezelésére képesnek bizonyult további jellemzők bevezetése nélkül.

Kiss Dénes és *Esze Tamás*, a Kybernos elméleti megalapozói publikációikban matematikai úton bizonyítják, hogy termelés három kérdéses jellemzője – megfelelő definíciókra alapozva – a beszerzési és gyártási rendelésekkel determinisztikusan meghatározható. Ílymódon a termelésirányítási feladat az *általánosított rendelések* helyes meghatározására redukálódik. Amennyiben ugyanis a beszerzési és gyártási rendeléseket megadjuk, akkor a termelés jövőbeli helyzete (szállítókészség, készletszint, kapacitáskihasználás) – az induló értékek ismeretében – meghatározottá válik.

A termelésirányítás fő összefüggéseit a 1.4. ábrán látható „termelési háromszög” érzékelteti.



1.4. ábra: Termelési háromszög

A termelésirányítás felfogható úgy, mint a készlet, a kapacitáskihasználás és szállítókészség együttes optimalizálása. Bebizonyítható, hogy mindhárom optimálandó tényező kifejezhető a belső rendelések függvényében. Ezt az 1.4. ábra szimbolikusan is kifejezi.

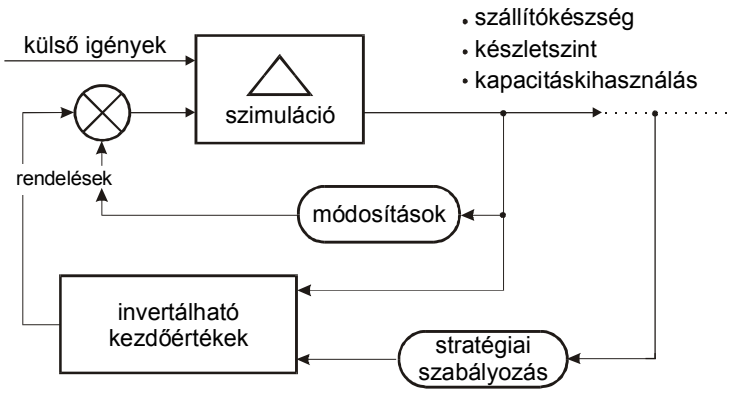
> A *belső* RENDELÉS olyan vállalati döntés, amely a szükségletek meghatározott körének kielégítésére szolgál. Vonatkozhat a vállalat által gyártott tételekre (*gyártási rendelés*) vagy más vállalat által gyártott, azaz vásárolt tételekre (*beszerzési rendelés*).
> A SZÜKSÉGLET külső megrendelés vagy egy gyártási rendelés (belső rendelés) nyomán keletkezett igény. Az első esetben *független*, a másodikban *függő* szükségletről van szó.

A termelési háromszög alapján matematikai modell és számítógépi program készíthető. A matematikai modell és a számítástechnikai megoldás tartogat azonban egy nem lebecsülendő nehézséget. A levezetett ún. „termelési egyenletek” vizsgálatából ugyanis annak kellene következnie, hogy ha a rendeléseket ismerjük, akkor a termelés komplex paraméterei (szállítókészség, készletszint, kapacitáskihasználás) meghatározhatók.

A valóságban azonban éppen fordítva, a rendelések meghatározására lenne szükség. Matematikai szempontból ez a termelési egyenletek valamilyen inverzióját jelentené. A termelési egyenletek bonyolultságuk miatt azonban nem invertálhatók, pontosabban szólva az inverzió csak különféle elhanyagolások árán lehetséges; a megoldást ezért más irányban kell keresni.

Miután a mérnöki gyakorlatban ismert, hogy a jól modellezhető, de analitikusan nem megoldható feladatokat szabályozási problémákra vezetik vissza (és mint korábban láttuk, a termelésirányítás lényegét tekintve ilyen feladat), egyáltalán nem meglepő, hogy Kiss Dénes és Esze Tamás is a szabályozáselmélet felé fordul. Megállapítják, hogy az álltaluk javasolt matematikai modell esetében egy anticipatív (előérző) interatív szabályozás jó megoldásnak bizonyul. A kiindulási értékeket a termelési egyenletek invertálható ágai jelentik, a végső megoldást pedig emberi beavatkozással a szimulált jövő megfelelő visszacsatolásával érik el. A szabályozási kor vázlatát az 1.5. ábra szemlélteti.

A *Kybernos* rendszer itt vázolt elméleti alapjai és a kifejlesztett koncepcionális rendszermodell a gyakorlatban is meglepően hatékonynak bizonyultak.



1.5. ábra: Anticipatív szabályozási kör termelési egyenletek megoldására

Mind a részletes algoritmusok, mind az adatmodell készítésekor a termelési egyenletek adták a vezérfonalat. Segítségükkel egy csekély mértékben korlátozott rendszer volt felépíthető, amely a termelésirányítás főfeladatára koncentrál. A munka egyik legfigyelemreméltóbb eredménye a bemutatott megközelítés és rendszermodell szemléletformáló hatása. A termelési egyenletekkel ugyanis nemcsak egy adott vállalaton belüli termelési folyamat mennyiségi jellemzői tarthatók kézben: a folyamatok térben és időben lezajló alakulása a vállalatközi kapcsolatokra is vonatkozik, amiből további, fontos következtetések is levonhatók. Ilyen például annak felismerése, hogy egy vállalat beszerzési rendelése a másik vállalatnál független szükségletként jelentkezik: ez pedig egy vállalaton belül a szerelőüzem és az alkatrészgyártó részleg kapcsolatának analógiája. Ugyanez az analógia a szállítókészségre is kiterjeszthető: a vállalat külső szállítókészsége egy másik vállalat felé pontosan olyan jellegű matematikai összefüggésekkel írható le, mint az alkatrészgyártó gyáregység belső szállítókészsége a szerelőüzem felé.

A termelési egyenletek részletes diszkussziója még egy igen érdekes következtetésre vezet. Nevezetesen: matematikai úton is levezethető az az állítás, amely szerint „ha egy termelési folyamat szigorúan *rendelés-szükséglet* alapon szerveződik (azaz minden egység 'megvárja', amíg tőle rendelnek), akkor a vállalat végtermékre vetített szállítókészsége a nullához tart, vagyis valójában szállításképtelenség és piacvesztés következik be.

A termelési egyenletekkel bizonyítható ugyanis, hogy rövidebb szállítási határidőket csakis a gyártási vertikum bizonyos pontjain beiktatott (prognosztikai alapokon nyugvó) előrendelésekkel – azaz „raktárra rendeléssel" – lehet biztosítani. Mivel a prognosztikai hibák készletnövekedést okoznak, belátható, hogy a mindenkori készleteknek csak egy része jelent szállítói, felhasználói ütemtelenségből származó logisztikai problémát. A másik, esetleg jelentősebb rész a szükséges prognosztika hibáiból képződik.

2.1. A termelésirányítási rendszer funkciója

A termelésirányítási rendszer funkciója rendszerelméleti szempontból komplex funkció, amely a részrendszerek funkcióinak uniójaként értelmezhető. Konkrétabban: a termelésirányítás funkciója azon diszkrét folyamatok összességére terjed ki, amelyek

- a termeléshez szükséges tervek és programok kialakítását;
- a termelés megindításához és folyamatos fenntartásához szükséges információk közlését;
- a termelési tényezőkre vonatkozó tényleges adatok összegyűjtését, ezek rendszerezését, értékelését és a módosító intézkedések kiadását

foglalják magukban.

Korszerű *általános definíciónak* tekinthető a termelésirányítás funkciójára vonatkozóan a *Kiss Dénes* által adott meghatározás is, amely szerint a termelésirányítás funkciója a készlet, a kapacitáskihasználás és a szállítókészség együttes optimalizálása.

A konkrét funkciók a megvalósított termelésirányítási rendszerek elemzéséből vezethetők le. Ezek rendkívül sokféle felosztás szerint rendezhetők. A szakirodalom és a hozzáférhető PPS-ek többsége az alábbi fő funkciókat emeli ki:

- a gyártási igények előre becslése,
- termeléstervezés,
- készletgazdálkodás és szükséglettervezés,
- gyártásütemezés,
- műhelyszintű irányítás (munkaadagolás).

2.2. A termelésirányítási rendszer struktúrája

Rendszerelméleti szempontból a PPS a *szervezett rendszerek* közé tartozik, ezért érvényes rá a *C.West Churchman* által adott definíció: „A rendszer adott cél(-ok) elérésére koordinált elemek halmaza”. Az elemek a PPS esetében egymásra és egymásba épülve az alárendelési viszonyokat és a kölcsönhatásokat tükröző *hierarchikus struktúrába* szervezettek. A PPS így hatáskapcsolatban álló részrendszerekből épül fel, amelyek szintén felbonthatók további – esetenként önmagukban is igen összetett – alkotókra.

A PPS struktúráját a rendszer funkciójának megfelelően, célszerűen kell kialakítani. Eszerint minden PPS létrehozásakor először azt kell tisztázni, hogy a rendszer:

(1) a működés során
- milyen funkciókat lásson el;
- milyen időbeli ciklusokat fogjon át,
- milyen irányítási szinteket rendeljen egymás alá, végül
- milyen adat és tudásbázisokra támaszkodjon;

(2) a működtetés pedig
- milyen módszerekkel,
- milyen eszközökkel,
- milyen személyi feltételekkel

történjen. Az egyes kérdésekre adott önálló válaszokat egységes, egymással összefüggő és kompatíbilis megoldássá integrálva hozható létre a termelésirányítási rendszer egésze. Az első csoport négy kérdése a termelésirányítási rendszer *struktúrájának* négy oldalát (vetületét) tükrözi, a második csoport három kérdése pedig egy-egy konkrét alkalmazás *adaptációs problémaköréhez* tartozik.

A termelésirányítási rendszer elemzése szemszögéből is célszerű felidézni a struktúra rendszerelméleti definícióját. Eszerint: *a rendszer elemei között fennálló relációk összességét* nevezzük a rendszer struktúrájának. A struktúra a rendszer szempontjából meghatározó, mivel a rendszer a struktúra alapján válik megkülönböztethető identitású objektummá. A rendszer struktúrája az a rendszerjellemző, amely *invariáns* a rendszerben végbemenő transzformációkkal szemben, tehát a struktúra fogalma fejezi ki a rendszer állandóságát.

Például a termelésirányítási rendszer változatlan funkciókat lát el akkor is, ha egy vagy több termékcsalád megváltozik vagy gyártásuk megszűnik; hasonlóan, a PPS funkcióin az sem változtat, ha gyártóberendezések egy részét lecserélik vagy korszerűsítik, esetleg a személyi feltételek egy része változik meg. Fontos utalni itt arra, hogy egy rendszeren belül nagyszámú olyan részstruktúra értelmezhető, amelyek összessége a rendszer teljes struktúráját adja. Ezeket a részstruktúrákat a teljes rendszerstruktúra egyfajta „vetületeiként" foghatjuk fel.

Egy termelésirányítási rendszer invariáns struktúráját *Szintay István* javaslata szerint célszerű négy vetületben vizsgálni. Ezek rendre: funkcionális, időciklus-, hierarchikus és adatbázis struktúra. A következőkben röviden ezeket tekintjük át.

2.2.1. Funkcionális struktúra

Minden PPS meghatározott, egymással összefüggő feladatok megoldására szervezett rendszer. E feladatok logikai sorrendben a következők:

(1) *Feladat-meghatározás*, amely mindig két lényegi kérdéskört fog át:

a) *Mit kell gyártani?*

Célszerűen három termékcsoport képezhető:

a1) piaci igények kielégítésére szánt *teljesen új termék*, amelynek létrehozása mindig műszaki fejlesztési feladat megoldását is feltételezi;

a2) *meglévő termékre, termékcsoportra* alapozott igény, amely adaptációs feladatot jelent;

a3) *katalogizált, standard termék*, kiforrott konstrukciós és technológiai dokumentációval és gyártási háttérrel.

b) *Mennyit kell gyártani?*

A válasz vagy piaci megrendelésként, vagy piaci előrejelzésekre alapozott, készletre-gyártási feladatok megoldása útján adható meg.

(2) *Feltétel-meghatározás*, amely az (1) szerinti feladatok megoldásához szükséges tárgyi, személyi, pénzügyi, stb. feltételek vizsgálatát, továbbá a feltételek szava-tolását szolgáló tevékenységek beindítását foglalja magában. Ezek közül néhány:

a) *Műszaki előkészítés*, amelynek fő szakaszai:

a1) *Gyártmánytervezés és ajánlatkészítés*, adott esetben meglévő elemekből (alkatrészek, szerelési részegységek), a konstrukciók dokumentálása;

a2) *Szerelési, előgyártási és alkatrészgyártási folyamatok tervezése* lehetőleg minél nagyobb mértékben az ismeret technológiai folyamatok terveire támaszkodva, a technológiai folyamatok dokumentálása;

a3) *Komplex gyártási struktúra kialakítása,* modellek kidolgozása a termelés szervezési előkészítéséhez.

b) *Erőforrás-szükséglet meghatározása,* terhelésvizsgálat homogén keresztmetszetenként;

c) *Anyagszükséglet meghatározása,* ellátási és szállítási feltételek szavatolása.

(3) *Határidőzés*, amely a feladatok időbeli ütemezését, az átfutási idők meghatározását, a terhelés időhatárhoz való rendelését és ellenőrzését foglalja magába.

(4) *Végrehajtás*, a feladatok és feltételeik megvalósíttatása a gazdálkodási korlátok figyelembevételével.

(5) *Előrehaladás/teljesítés ellenőrzés*, a feladat-végrehajtás időbeli teljesítésének áttekintése termékek és/vagy termelő-berendezések szerint.

(6) *Zavarelhárítás*, a megvalósítás közben fellépő, előre nem látható akadályok leküzdése.

(7) *Számbavétel, visszajelzés*, egy adott időszakra vagy programegységre (pl. munkaszámra) vonatkozó teljesítések regisztrálása. Értelemszerűen a számbavétel lehet esemény- vagy időkövető rendszerű. Az eseménykövető számbavétel kevésbé elterjedt.

2.2.2. Időbeli ciklusok struktúrája

Minden termelésirányítási feladat – az időbeli előrelátás és előkészítés miatt – több időintervallumban való gondolkodást igényel. Az időciklus struktúra nemcsak a termelésirányítás, hanem a vállalat egészének irányítása esetén is értelmezett.

A termelésirányítás szempontjából – mint a PPS elnevezésből is kitűnik – legalább *két* komplex időciklust szokás megkülönböztetni: a *termeléstervezés* és a *termelésütemezés* összetett időciklusait. Egy másik ismert felosztás a termelés tervezésének, ütemezésének és programozásának *három* időhorizontja szerinti időciklusokat különböztet meg.

Hatékonynak és célszerűnek látszik a *Szintay István*, *Bíró Zoltán* és *Eszes László* által javasolt felosztás, amely a termelésirányítás időciklusait két csoportba sorolja:

(1) A termeléstervezés fogalomkörébe tartozó időciklus, amely további két részre bontható, az éves (speciális, nagy átfutási idejű termékek – pl. úszódaruk, tolóhajók – esetén annál nagyobb, 2-3 éves) termelési tervre és az ún. rendelés-elbírására (szokásos rövidítése: REB);

(2) Az operatív termelésirányítás időciklusai, amelyek általában további három részre tagolhatók: (1) durvaprogram, (2) finomprogram és (3) munkaadagolás.

Két komplex csoportba való besorolásnál az alábbi elveket szokás figyelembe venni:

- Minden PPS esetében szükséges egy nagyobb időhorizontú ciklus *értékbeli* összefüggéseit a belsejében elhelyezkedő, rövidebb időtávokra konkretizálható *naturális* összefüggésektől elválasztani. Lényegében az 1.3. ábra kéthurkú szabályozáselméleti modellje is utal erre. Megjegyzendő még, hogy az érték kategóriáját kész, funkciójának teljesen megfelelő *termékre*, míg a naturális összefüggéseket gyártásba adott *félkész-termékre* (szerelési egységre, alkatrészre, munkadarabra) szokás vonatkoztatni.
- Az *éves termelési terv* a vállalati komplex terv része, a kitűzött cél megvalósítását (megvalósíthatóságát) hivatott körvonalazni. Az ilyen időciklusban való értékbeni gazdálkodás a makro- és mikrogazdasági irányítás rendszerében is értelmezett és meghatározott. (A vállalati komplex tervet szokás vállalatpolitikai, stratégiai és éves gazdálkodási tervre felbontani).
- Az éves időcikluson belül a termelési terv mellett a REB a következő indokok alapján helyezhető el. A terv igényeket, előrejelzéseken alapuló és reálisan várható feladatokat főként értékben, kisebb részben naturális mértékek segítségével fogalmaz meg. A REB ennek a tervnek megfelelően funkcionál és a terv igényei szerint tölti meg azt naturális tartalommal.
- A REB az egyetlen olyan tevékenységi kör a termelésirányításon belül, amely a belátható időciklusokat (év, félév, negyedév, hónap, …, stb.) nem kezeli merev határként, mivel mindig megrendelt termékben, átfutási időben és határidőkben való gondolkodást testesít meg.
- A durva- és finomprogramozás, valamint a munkaadagolás egy nagyobb időciklus belső intervallumai, általában negyedév, hónap, dekád, nap, műszaki időhorizontokkal. Az időtengelyhez tartozó szeletekhez az előző időszakbeli terhelés eredményeként olyan termelési részhalmazok tartoznak, amelyek még különböző szűrési, prioritási elvek alapján átrendezhetők.

2.2.3. Hierarchikus struktúra

A vállalatok – mint mikrogazdasági rendszerek – esetében egyfelől *szervezeti*, másfelől *irányítási hierarchiát* célszerű megkülönböztetni.

A *szervezeti hierarchiát*, vagyis a szervezeti felépítés függelmi tagozódását vállalat, gyár, gyáregység, üzem, műhely szintjén szokás értelmezni, további két lépcsőként a munkahely és a technológiai berendezés is megkülönböztethető. Alulról felfelé haladva egyértelmű analógia mutatható ki a CIM rendszerek három alsó klasszikus szintjével: Process Level, Workstation Level, Cell Level. Sőt, a magasabb szintek is értelmezhetők a CIM tágabb körű felfogása alapján, amikor azt integrált vállalatirányítási filozófiaként értelmezzük.

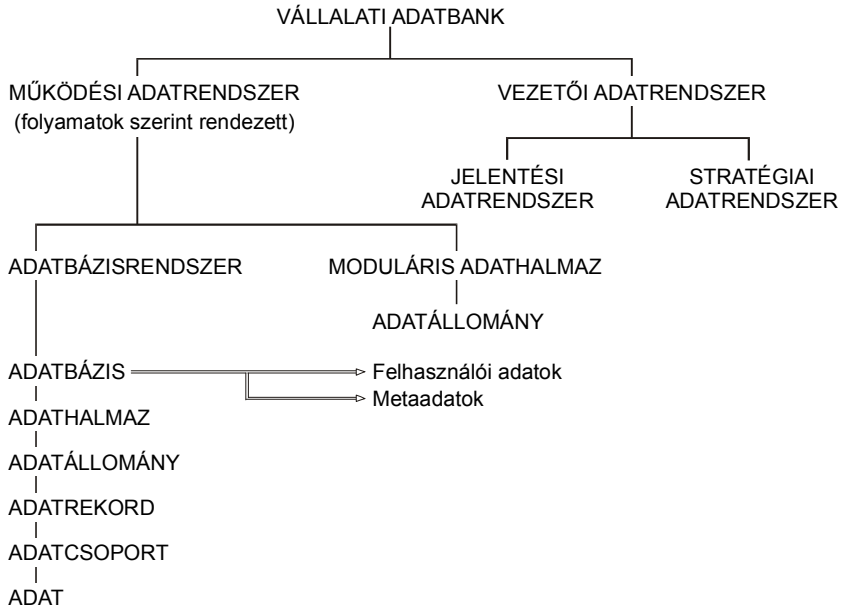
Az *irányítási rendszer hierarchikus struktúrája* szerint a vállalat politikai, stratégiai és taktikai irányítási szintjét szokás megkülönböztetni. Az irányítási rendszer hierarchiája jelentősen eltérhet a szervezeti hierarchiától – például a stratégiai szint funkcióit több, függelmi kapcsolatban lévő szervezet is elláthatja – azonban a szervezeti szintekhez a vállalatpolitikai-, -stratégiai és – taktikai feladatok mindig egyértelműen hozzárendelhetők.

A vállalati termelésirányítás legtöbbször az éves gazdasági tervből, vagyis a vállalatirányítás taktikai szintjén jelentkező feladatok, feltételek, határidők áttekintéséből indul ki. Ez a felfogás feltételezi, hogy egyrészt a stratégiai és taktikai tervezési szintek kapcsolata módszeresen kiépített, vagyis a funkcionális és időrendi ciklusok struktúráival összehangol, másrészt az irányítás hierarchikus szintjei nem esetlegesen funkcionálnak. A feladatok minden szint számára folyamatosan jelentkeznek, csupán eltérő időintervallum áll az elemzések, döntések meghozatalára és a végrehajtás áttekintésére.

2.2.4. Adatbázis-struktúra

Célszerű a termelésirányítás adatbázis-struktúráját a vállalat egészét átfogó adatrendszerből – a „vállalati adatbank”-ból – levezetni. Ez a fogalom az információhordozók fajtájától, minőségétől és a számítógépes háttér kiépítettségétől függetlenül, logikai alapon is értelmezhető, pl. az 1.6. ábra szerint. Figyelembe véve, hogy az információ nem más, mint feldolgozott adat, az adatfeldolgozáshoz pedig megfelelő szakemberekre és szoftverekre (részben általános rendeltetésű, részben az adatok tartalmától függő funkciójú programokra, programcsomagokra, program-rendszerekre) van szükség, nyilvánvaló, hogy a vállalati adatbank a *vállalati információs rendszer* része. Hasonlóan, a vállalati információs rendszer

része, de semmiképpen nem tévesztendő azzal össze a *vállalati informatikai rendszer*, amelyet hierarchikusan szervezett számítógépes hálózat (hardver + szoftver) valósít meg.



1.6. ábra: A vállalati adatbank egy lehetséges logikai struktúrája

Miután az információs rendszert tartalmi meghatározottság nélkül nem lehet értelmezni, az informatikai rendszer kiépítése viszont bizonyos mértékig függetleníthető a feldolgozandó adathalmazok tartalmától, tézisszerűen ki lehet jelenteni, hogy *az informatikai rendszert célszerűen alá kell rendelni az információs rendszer igényeinek*.

A vállalati adatbank *működési* és *vezetői* adatrendszerre, az utóbbi pedig *jelentési* és *stratégiai* adatrendszerre tagozódik. Míg a működési adatrendszer az irányítási folyamatok szerint szerveződik, addig a jelentési és stratégiai adatrendszerek a vállalatvezetés igényeit szolgálják. Ebből következően minden irányítási folyamat – így a termelésirányítás is – saját adatbázisrendszerrel rendelkezik. Az összehangolt működés érdekében az adatbázisrendszert alkotó adatbázisok között meghatározott kapcsolatokat kell kialakítani. Az adatbázisok (és alacsonyabb hierarchiai szintű alkotóik) közötti kapcsolatokat a működés szempontjából három típusba sorolhatjuk:

(1) Csak olvasási kapcsolat (az adatot különböző funkciók használják fel);

(2) Csak írási kapcsolat (a funkció az adatot meghatározza és rögzíti);

(3) Írási-olvasási kapcsolat (a funkció az adat tartalmát felhasználva az értékét újra írja).

Ezek a működési kapcsolatok fontos szerepet játszanak az adatrendszer fizikai kialakításánál. A hatékony használat megköveteli, hogy a fontosabb adatbázisok az elsődleges adatforrásokat tartalmazó folyamatban töltődjenek fel, például a konstrukciós adatbázis a gyártmányfejlesztés folyamatában, a technológia adatbázis a gyártásfejlesztés folyamatában, az anyag- és vásárolt alkatrész adatbázis az anyagellátás folyamatában. Viszont a termelésirányításnak hozzá kell férnie ezekhez az adatokhoz a feltételek biztosításának ellenőrzésekor (olvasás) és jeleznie kell a foglaltságot (írás).

A termelésirányítás által használt adatbázisokkal szemben további alapvető követelményeket támasztunk. Ilyenek:

- illeszkedjenek a funkció-struktúrához;
- a hierarchia különböző szintjeiről elérhetők és értelmezhetők legyenek;
- az adatállományok tartalmilag kövessék az időciklusokat.

Az adatbázisokat – vagyis az azonos funkciójú adatok rendezett halmazát – a termelésirányítás szempontjából célszerű négy típusba sorolni:

(1) *Alapadatbázis* (törzsadatbázis), amelynek tartalma a termelési feladattól független és hosszabb időintervallumban (esetleg több tervezési cikluson keresztül) állandó, vagy csak kismértékű korrekciót igényel. Az alapadatbázis lényegi változását a megvalósítás technikai szintjének vagy technológiájának módosítása, fejlesztése indokolja.

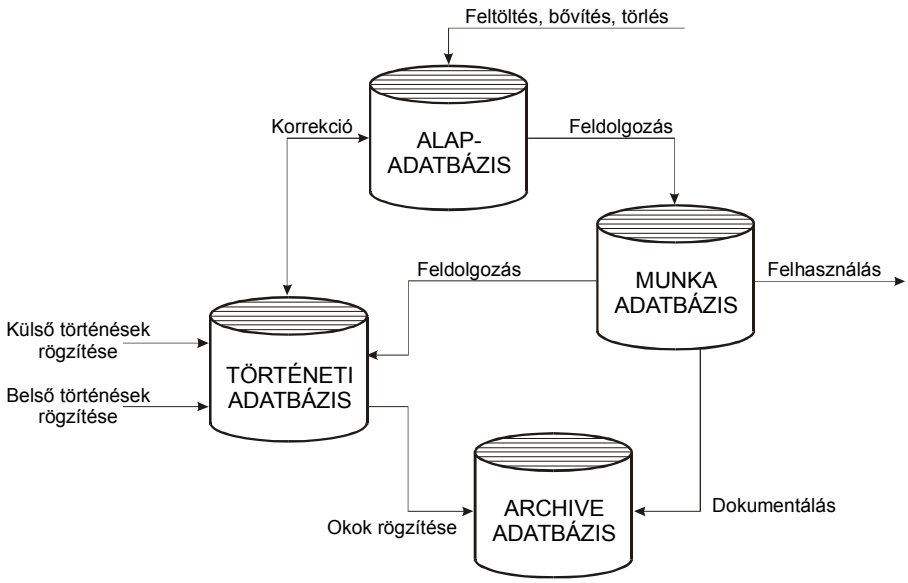
(2) *Munkaadatbázis* (számított adatok bázisa), amelynek tartalma vagy a feladathoz, vagy a mindenkori idővetülethez kötődik és azt több tevékenység (funkció) használja fel. A feladat végrehajtása vagy az időtartam lejárta után az adatokra nincs szükség.

(3) *Történeti adatbázis*, amely a végrehajtás (a termeléshez tartozó fontosabb események) adatainak rögzítésére szolgál. Ismétlődési periódusa mindig időtartam vetületű. A mindenkori időciklus lejárta után – feldolgozáson keresztül – az adatok egy része beépül az alapadatbázisba, másik része pedig archiválódik.

(4) *Archív adatbázis*, olyan adatokat tartalmaz, amelyek több irányítási időcikluson keresztül változatlanok, vagy a feladat teljesülése után a történések dokumentálására szolgál.

Az adatbázisok *adathalmazokra* tagozódnak. Az adathalmaz, valamilyen rendezőelv szerint értelmezve, azonos területre, dolgokra vonatkozó adatok összességét jelenti. Az adathalmazon belül egy-egy szűkebb témakör adatait *adatállománynak* nevezzük.

Az adatbázisok közötti kapcsolatot a 1.7. ábra szemlélteti. A termelésirányítás adatbázisrendszerének struktúrájára Bíró, Eszes és Szintay mutat be viszonylag jól általánosítható példát (1. táblázat).



1.7. ábra: A termelésirányítási rendszer adatbázisai között értelmezhető legfontosabb kapcsolatok

I. táblázat/1.

Adatbázis rendszer	***Adatbázis***	***Adathalmaz***	***Adatállomány***
Termelés-irányítás	Alapadat-bázis	Gyártmányhoz kötődő adatok	Katalógus-adatok; Konstrukciós adatok; Technológiai (pl. műveletterv) adatok; Fajlagos erőforrásigény adatok; Költség, fedezet, ár (gazdasági) adatok.
		Gyártóberendezések-hez kötődő adatok (berendezésenkénti bontásban)	Kapacitás, áteresztőképesség adatok; Karbantartás-előírási adatok; Üzemviteli előírási adatok; Nyilvántartási adatok.
		Gazdasági adatok	Általános költségadatok; Előkalkulációs adatok; Gyártási költségadatok.
		Kereskedelmi adatok	Vevők adatai; Elbírálási kritériumok adatai.

I. táblázat/2.

Adatbázis rendszer	*Adatbázis*	*Adathalmaz*	*Adatállomány*
Termelés-irányítás	Munka-adat-bázis	Rendeléshez (feladathoz) kötődő adatok	Szükségleti (erőforrás-igény) adatok (féleségenként: - anyag, energia, - kapacitás, -munkaerő, stb.); Határidős adatok; Szerződéskötéshez szükséges adatok.
		Időtartamhoz kapcsolódó adatok	Éves termelési terv-adatok; Negyedéves, havi termelési program; Finomprogram (dekád, heti, napi).
		Gyártási tételhez kötődő adatok	Szükségleti (erőforrásigény) adatok (féleségenként); Munkaadagolási adatok; Gyártáselőkészítési adatok.

I. táblázat/3.

Adatbázis rendszer	*Adatbázis*	*Adathalmaz*	*Adatállomány*
Termelés-irányítás	Történeti adatbázis	Kereskedelmi adatok	Rendelés-nyilvántartási adatok; Piackutatási és –feltárási adatok; Szerződés-nyilvántartási adatok.
		Nyilvántartási (rendelkezésre-állási) adatok (féleség-bontásban)	Készletadatok; Kapacitásterhelési adatok; Foglaltsági adatok.
		Számbavételi adatok	Termelési adatok; Erőforrás-felhasználási adatok; Munka- és bérügyi adatok; Teljesítési adatok; Üzemállapot-nyilvántartási adatok.

I. táblázat/4.

Adatbázis rendszer	*Adatbázis*	*Adathalmaz*	*Adatállomány*
Termelés-irányítás	Archív adatbázis	Kereskedelmi adatok	Lezárt szerződések adatai; Piaci adatok; Értékesítési adatok (múlt).
		Termelési adatok	Termelési adatok (készáru, félkészterm.); Ráfordítási adatok; Bér- és munkaügyi adatok; Terv- és programadatok.
		Gazdasági adatok	Költségfelhasználás adatai; Utókalkulációs adatok.

II. A TERMELÉSIRÁNYÍTÁS OPTIMÁLÁSI PROBLÉMÁI

1. A termelésirányítás feladata

Tágabb értelemben a termelésirányítás a termeléssel kapcsolatos *döntési feladatok megfogalmazásával* és *megoldásával* foglalkozik, figyelembe véve a termelés különböző tényezőit; továbbá ellenőrzi a döntések végrehajtását.

A termelés *fő tényezőit* az alábbi csoportokba sorolhatjuk:

a) termelők (munkások, konstruktőrök, technológusok, vezetők, stb.);
b) a termelés eszközei (gépek, szerszámok, anyag, raktárak, stb.);
c) a termelés tárgya (amit termelünk);
d) a termelés feltételei (szervezettség, árviszonyok, eladhatóság, gazdasági szabályozók, egyéni érdekeltség, információáramlás, stb.);
e) A termelés céljai (nemzetgazdasági igény, nyereség, minőség, mennyiségi termelés, export, stb.).

Szűkebb értelemben *termelésirányításon termelési feladatok meghatározását és végrehajtásuk megszervezését értjük.* A továbbiakban a termelésirányításnak a technológiai folyamatok tervezésével legjobban összefüggő *három szintjére, a termeléstervezésre*, *termelésütemezésre* és *termelés-programozásra* szűkítjük vizsgálatainkat. (A termelésirányítás - mint komplex problémakör - az előző fejezetben szerepelt. A jelen fejezet terminológiája némileg eltérő a korábbitól, de ennek célszerűségét az optimálási feladatok kitűzése indokolja).

2. A termelésirányítás célja, az optimális irányítás fogalma

A termelésirányítás célja, hogy a rendelkezésre álló eszközök figyelembevételével minél jobban törekedjék a kitűzött komplex gazdaságpolitikai célok elérésére. A termelési feladatok megválasztásától kezdve egészen a késztermék kiszállításáig bonyolult irányítási rendszer látja el ezt a feladatot és az irányítási rendszer feladatai szintenként nagyon eltérőek.

Természetesen minden hierarchikus szinten a legjobb megoldást keressük, ez azonban nem lehet egyetlen szűken értelmezett cél (pl. max. termelési érték előállítása). Ehelyett optimális irányításról akkor beszélünk, ha a rendelkezésünkre álló információk alapján olyan irányítási döntéseket hozunk, amelyek

- nagy biztonsággal megvalósíthatók,
- sokoldalú céljainkat a lehető legjobban szolgálják,
- figyelembe veszik az egyes célok fontosságát.

3. A termelésirányítás hierarchikus szintjei

Még abban az esetben is elképzelhetetlen lenne a termelés minden mozzanatának egy évre előre való lerögzítése, ha a teljes évre kiterjedően ismernénk az összes termelési feladatot. Egyrészt ilyen nagy mennyiségű adatot tárolni és használni sem lehetne, másrészt teljesen áttekinthetetlen volna az egész rendszer. Így az egy időpontban fontos és lényegtelen dolgok összekeverednének.

Természetesen a szükséges adatok sem állnának rendelkezésünkre és az adódó feladatokat sem tudnánk megoldani. Minderre azonban nincs is szükség. *A termelésirányítás több, hierarchikusan egymásba illeszkedő szinten megy végbe*. A magasabb szint hosszabb időszakot fog át és csak a fontosabb szempontokat képes áttekinteni. Az alacsonyabb szinten a felsőbb szintről kapott irányítási döntések alapján készítik el az egyre részletesebb, de egyre rövidebb időperiódusra vonatkozó irányítási döntéseket. Ugyanakkor azonban, ha az alsóbb hierarchikus szint megoldhatatlan feladatot kap (akár azért, mert a magasabb szint nem tudott mindent figyelembe venni, akár azért, mert a körülmények közben megváltoztak), akkor visszajelez az eggyel feljebb lévő szintre, ahol módosítást kell végrehajtani.

A követező három alapvető irányítási szintet különböztetjük meg:

- termeléstervezés;
- termelésütemezés;
- termelésprogramozás.

4. Vezetési struktúra

Minél magasabb a termelés technikai színvonala egy gyárban, annál magasabb vezetési színvonal szükséges annak irányítására. A magas színvonalra jellemző egyebek között az is, hogy a vezetők összehangoltan és megfelelő előkészítés után hozzák meg döntéseiket.

Az összehangoltság feltétele, hogy mindenki tudja, milyen információk alapján, milyen további eszközök segítségével és miről kell döntenie, majd az erre vonatkozó utasításait kivel kell közölnie, továbbá gondoskodik a végrehajtás ellenőrzéséről. Mindezek nélkül a legjobb irányítási rendszer is működésképtelen.

5. Modellezés

A termelésirányítási döntések között vannak olyanok is, amelyekhez csak megfelelő adatok szükségesek, azokból egyszerű szabályok szerint az eredmény megkapható.

Az ilyen típusú tevékenység gépies, könnyen az adatbázist hordozó számítógépre lehet bízni. Azonban a bonyolult környezeti feltételek és célok nem láthatók át. Ilyenkor célszerű a feladatot *modellezni*, azaz a legfontosabb feltételeket és célokat kiemelve optimálási feladatot kitűzni és megoldani. Ebben az esetben az illetékes vezető megalapozottabb döntésekhez juthat. Természetesen, gondosan ügyelni kell arra, hogy a modellben figyelmen kívül hagyott feltételek és szempontok nem okoznak-e nehézséget.

Gyakran problémát jelent az is, hogy a megfogalmazott matematikai feladatok egzakt megoldása reménytelenül nehéz. Ebben az esetben *közelítő megoldásokkal* vagy *szimulációval* kísérletezhetünk. Mindenképpen fennáll azonban az, hogy bonyolult feltételek és nagyszámú adat elemzéséhez a számítógép különböző módokon nagy segítséget nyújthat.

6. A számítógép és az ember viszonya

Egyformán nagy hiba a számítógépet (és a számítógépes módszereket) mértéktelenül túlbecsülni, vagy azt állítani, hogy a tapasztalt vezetőnek nincs rá szüksége. A számítástechnika ugyanis alapvetően megváltoztatja a modern vezetést, mivel

a) rendkívül gyorsan szolgáltatja a kívánt pontosságú adatokat, igy gyors és megfelelő beavatkozást tesz lehetővé;
b) az adatok kumulálásával (halmozásával), szelektálásával és más egyszerű átalakításával nagyobb területek működésére és a változás tendenciájára vonatkozó információhoz jutunk, következtetéseket vonhatunk le, a helyzetet elemezhetjük;
c) bonyolult feltételek mellett sokoldalú céloknak megfelelő modellek és megoldásuk segítségével hatékonyabb és eredményesebb irányítási módszerekhez juthatunk. Döntéseink realitását és annak következményeit felmérhetjük, majd újabb döntéseinket ennek tudatában hozhatjuk meg.

Lényegében tehát a számítógépek segítségével a vezetők is megszabadulhatnak gépies munkájuktól és figyelmüket az érdemi döntések meghozatalára fordíthatják, ismerve azok további kihatását is.

7. Termeléstervezés

Egy hosszabb időszakra (1-3 hónap) a rendelkezésre álló erőforrásokat (ember, gép, anyag, energia, raktár, stb.) figyelembe véve a vállalati céloknak legjobban megfelelő termelési tervet kívánunk létrehozni. A vállalati célok rendszerint sokrétűek: gyártási kötelezettségek; vállalási határidők; gazdaságos termelés; önköltség-csökkentés; minőségjavítás; a termelékenység növelése; a berendezések, gépek viszonylag egyenletes terhelése; a nyereség növelése; az export növelése, stb.

A felsorolt célok összeegyeztetése igen nehéz. A termeléstervezés matematikai modelljében az *erőforrások korlátozó feltételként* szerepelnek.

Ezen túlmenően a célok többségét ugyancsak korlátozó feltételként tekinthetjük, ugyanis csak olyan tervet fogadunk el, amely ezeknek a céloknak legalább valamilyen előre megadott mértékben eleget tesz. *A legfontosabb cél lesz az optimálási feladat célfüggvénye.* Amennyiben egyetlen cél kiemelése nem reális, akkor néhány célfüggvény súlyozott összegével is dolgozhatunk. A feltételek közé helyezett célok a feladat paraméterei.

A termeléstervezés az éves, vagy annál is hosszabb távú munkavállaláson alapszik és annak kedvezőbb alakítását is lehetővé teszi. Ezenkívül a már elvállalt gyártási feladatokat igyekszik a legmegfelelőbben csoportosítani és 1-3 hónapos időközökre betervezni. Feladata tehát nemcsak a következő időszak lehető legjobb tervének elkészítése, hanem gondoskodnia kell arról is, hogy az egymást követő időperiódusok egyformán jól tervezhetők legyenek. Továbbá már az eggyel alacsonyabb irányítási szint, a termelésütemezés legfontosabb szempontjait is szem előtt kell tartania.

Minthogy minden komplex gyártási folyamatban vannak véletlenszerű tényezők, a terv ellenőrzéséről és esetleges korrekciójáról is gondoskodni kell. Erre szolgál a *csúszótervezés*, amelyet dinamikus tervezésnek is nevezhetünk. A csúszótervezés lényege az, hogy a tervperiódus (pl. 1 hónap) egy részének (pl. első hetének) elteltével újabb négyhetes tervet készítünk, amelynek első három hete az előző terven alapul, de figyelembe veszi a bekövetkezett változásokat. A negyedik hétre új terv készül, amely illeszkedik az előzőekhez, a feladatokhoz, a lehetőségekhez és figyelembe veszi a célokat.

Célszerű a tervezésen belül is elkerülni a túl nagy időbeli ugrásokat, Így az éves tervet negyedévesekre, a negyedéveseket havi tervekre bonthatjuk le. Mind a három havi, mind a négyhetes tervek csúszótervezéssel készülnek.

Amennyiben egyes termékek gyártási ideje hosszabb, mint egy tervperiódus, akkor a hosszabb idejű tervnek a részfeladatok végső határidejét ki kell jelölnie. Ennél - indokolt esetben - előbb elkészülhet a részfeladat (pl. alkatrész), később nem.

8. Termelésütemezés

A termeléstervezés során többszáz vagy többezer munkadarab gyártási idejéről döntünk. (Melyik hónapban, melyik héten kerülnek gyártásra.) Nyilvánvaló, hogy a tervezés szintjén nem foglalkozhatunk sem a pontos időbeosztással, sem egyéb mikrokörnyezeti problémákkal, amelyek az egyes munkadarabok egyidejű gyártásakor felmerülnek. A termelésütemezés feladata, hogy rövidebb időszakra (**5-10** napra) az előzőleg elfogadott havi terv alapján elkészítse a munkák elvégzésének részletes ütemtervét.

Ez magába foglalja az esetleges alternatív megmunkálási sorrendek közötti választást, az egyes munkák vagy az azokon végzett műveletek részére a megfelelő gépek és berendezések kiválasztását és mindenekelőtt a munkák elvégzésének időbeli ütemezését. Ez az utóbbi feladat elsősorban az egyes munkák és műveleteik elvégzésének sorrendjét jelenti. A termelésütemezés kapcsán a terven és a berendezések kapacitásán túlmenően a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- az egyes gyártási sorrendek anyagi és minőségi kihatásait,
- a raktárkészletek alacsony szinten tartását,
- az egyes gépek, berendezések zökkenőmentes együttműködésének megvalósítását (azaz, hogy a technológiai sorban előbb álló berendezések kellő időre anyagot, félkészterméket szolgáltassanak a következőknek),
- a berendezések viszonylag egyenletes terhelését,
- az azonos, vagy részben azonos funkciót ellátó berendezések között a munka optimális megosztását,
- a szerszámok, alap- és segédanyagok gazdaságos kihasználását.

9. Termelésprogramozás

A termelésirányítás felsőbb szintjei mindig valamilyen *tervezett* vagy *feltételezett* helyzetből indulnak ki. A termelésprogramozás azonban a *tényeket tükröző adatok* alapján rövid időre (8-24 óra) részletesen rögzíti a termelés menetét.

A kiindulópont itt is az eggyel magasabb irányítási szintnek, a termelésütemezésnek a szóbanforgó időre (1 műszakra, ..., 1 napra) eső része. Egyrészt ellenőrizni kell, hogy a szükséges erőforrások és anyagok rendelkezésre állnak-e, továbbá az esetleg módosult körülmények között nem célszerű-e jelentős módosítást végrehajtani. Másrészt a termelés-programozás kevesebb anyaggal és rövidebb időperiódussal foglalkozik, így lehetővé válik,

hogy a termelés teljes folyamatát kézbentartása. Magasabb szinten bizonyos szerelési, anyagmozgatási, szerszámelőkészítési és sok egyéb tevékenységet még nem lehet figyelembe venni. Ennek csak egyik oka az, hogy ez igen nagyszámú tevékenység és összefüggésük áttekinthetetlenné, kezelhetetlenné válik.

Legalább ennyire fontos, hogy a legpontosabban végrehajtott gyártás esetén is vannak *időbeli bizonytalanságok* és *váratlan események. Ezek áthidalása a termelésprogramozás feladata.* Az elkészült termelési programnak természetesen bizonyos határig rugalmasnak kell lennie. Ha a termelés ennél nagyobb mértékben tér el az előírttól, akkor kellő időben új, módosított termelési programot kell készíteni.

A termelésprogramozás fő feladata tehát, hogy a zökkenőmentes termelést valósítsa meg az irányítás magasabb szintjein megadott elvek és tervek szerint. Ha módosítás szükséges, mert a tények a tervezettől lényegesen eltérnek, akkor a termelésprogramozásnak *át kell hidalnia* azt az időt, amely az ütemezés és esetleg a termeléstervezés feladatainak újbóli megoldásáig eltelik.

10. Nagyméretű optimálási feladatok megoldása

Gyakran előfordul, hogy egyszerű típusú és az igényekhez mérten nem nagyméretű optimálási feladatok egzakt megoldása meglepően hosszú ideig tart.
Ebből azonban nem szabad azt a következtetést levonni, hogy nagyobb termelésirányítási feladatok számítógépen úgyis megoldhatatlanok, tehát marad a régi módszer (ami gyakran találgatást jelent).

Az alábbiakban megemlítünk néhány módot, amelyekkel a matematikai modellek használhatósága kiterjeszthető.

a) ***Vertikális dekompozíció***

Ugyanúgy, ahogy a termelésirányítást három hierarchikus szintre és igy különböző típusú feladatokra osztottuk, e szintek számát - legalábbis a számítógépen belüli technikában - még tovább növelhetjük. Ennek egyik megvalósítása, hogy egy bonyolult termelésprogramozási feladatot időben egymást követő részekre bontunk. A részfeladatok megoldása után megkíséreljük a teljes probléma megoldását javítani, vagy ennek lehetetlenségét kimutatni.

b) ***Horizontális dekompozíció***

Viszonylag lazán összefüggő termelő egységeket időszakosan külön vizsgálunk, majd ismét az együttes problémával foglalkozunk.

c) ***Aggregálás***

Ha a termékek viszonylag hasonló elemeket tartalmazó csoportokra bontható, akkor - első közelítésben - ezeket a csoportokat homogénnek képzelhetjük és igy egyszerűbb feladathoz jutunk.

d) ***Több cél egyidejű figyelembevétele***

Ez sokféleképpen megoldható. A célokat kifejező függvények súlyozott összege egyetlen célfüggvényt ad. Más megközelítésben az egyes függvényekre külön korlátok is előírhatók, amelyeket külső beavatkozással vagy automatikusan különböző módon meg lehet változtatni: így az egyes célok különböző szintű elérését valósíthatjuk meg. A *variánsok közötti döntés* -az értékelések figyelembevételével - *az ember feladata*.

e) ***Heurisztikus megoldási módszerek alkalmazása***

A matematikai modellekkel szemben két, egymásnak ellentmondó fő követelményt támasztunk:

(1) minél hűebben tükrözzék a valóságot;

(2) minél egyszerűbbek legyenek.

A valósághűségre való törekvés bonyolítja a matematikai struktúrát és növeli a számításigényességet. Következésképpen a matematikai módszerek használatát végső soron a matematika és a számítógépi technika pillanatnyi fejlettsége korlátozza.

A matematikai módszerek használatának feltételei:

- a probléma numerikus formában is felírható legyen;
- az elérendő cél kifejezhető legyen jól definiált célfüggvényként;
- álljon rendelkezésre valamilyen számítási eljárás, amelynek számítás-igényessége nem lépi túl a rendelkezésre álló számítógép kapacitását, továbbá elfogadható időn belül elvezet a probléma megoldásához.

Ha a feladat a fenti feltételeknek *nem tesz eleget*, akkor az ún. *heurisztikus módszerek* alkalmazása válik szükségessé.

A heurisztikus módszer az adott probléma megoldását egy terv konstruálása útján keresi. Ez a konstruálási folyamat *lépésről-lépésre dönt a következő tervezési elemről*. Minél gondosabban, célszerűbben készítjük el előrehaladási stratégiánkat, annál jobb megoldást kapunk, de ezek az eljárások a matematikai eljárásokkal szemben az esetek többségében csak *szuboptimális* (vagy ún. kvázioptimális) megoldásokhoz vezetnek.

A heurisztikus eljárások sokkal egyszerűbbek és kevésbé igényesek, mint a matematikai optimálások. *Jelentőségük gyakorlati alkalmazhatóságukban van*. Mindegyik heurisztikus eljárással az emberi tervezési mechanizmust utánozzuk, amelynél a tervezés folyamata a gondos körültekintés ellenére is sokszor megakad. Ezekben az esetekben a

tervező a tervkonstrukció egy részét lebontja, majd kijavítva újra felépíti. Sokszor az eredeti feltételeken, korlátokon is változtatva alakul ki a végleges terv.

A heurisztikus eljárás mindig tartalmaz szubjektív tényezőt, ezért az eljárás jóságát mindig gyakorlati alkalmazhatóságán lehet lemérni.

A heurisztikus eljárásokat sok változót tartalmazó, bonyolult problémák megoldására alkalmazzuk, amikor az eljárás kiépítése magában foglalja egy számítógépes program elkészítését is. Ehhez *a manuális tervezési technikát addig kell módosítani, ameddig a terv automatikus felépítése lehetségessé nem válik* (algoritmizálhatósági feltétel kielégítése).

A heurisztikus megoldó módszereknek olyan változatai is ismeretesek, amelyek jól kombinálhatók egzakt eljárásokkal. Ennek eredményeként létrehozható olyan eszköz, amely nagyobb számítógépi időigénnyel pontosabb eredményt szolgáltat. Ennek a megközelítésnek az az előnye is megvan, hogy egy gyors első megoldás rossz adatokat vagy bizonyos koncepcionális hibákat is kiszűrhet.

11. Termelésirányítási rendszerek ipari bevezetése

Gyakran felmerül a kérdés, hogy miért nem vesz át egy gyár kész termelésirányítási rendszert, hiszen ha saját maga fejleszt vagy fejlesztet, az igen sok pénzbe és munkába kerül. Ennek fő oka az, hogy az általános célú termelésirányítási rendszerek éppen általánosságuk miatt túl nagy felesleges terhet hordoznak (Nagyobb számítógép szükséges hozzá, nehezebb az implementálás, stb.). Ugyanakkor gyakran még ez a nagyobb rendszer sem tud bizonyos igen fontos speciális igényeket kielégíteni.

Ha egy nagyvállalat - külső segítséggel - TIR kifejlesztésére határozza el magát, ez egyben az új termelésirányítási koncepció bizonyos mértékig kollektív kialakítását is jelenti. Egy kész TIR üzemszerű használata igen sok gonddal jár, amit még a próbaüzem alatt sem észleltek. A bevezetést ezért gondosan meg kell tervezni és alaposan kell előkészíteni.

12. Gépipari gyártásformák, irányítási feladatok

12.1. Általános szempontok

A gépgyártás folyamata két, egymástól jól elkülöníthető részre oszlik: *alkatrészgyártásra* és *szerelésre*. Bár az irányítás során a kettő csak együtt kezelhető, a tantárgy keretei között csak az alkatrészgyártással, ezen belül a forgácsolási műveletek

irányításával foglalkozunk. Csak megemlítjük, hogy a szerelési feladatok ütemezésére jól bevált módszerek léteznek (pl. PERT, CPM).

A TIR kimenő információi közvetlenül vagy közvetve előírják a gyártásban résztvevő minden munkadarabra, hogy azon MIKOR, HOL, MIT, és MIVEL végezzenek el. A MIKOR jelentése egy tényleges időpont, ha az irányítás közvetlen, de lehet valamilyen feltételek által meghatározott döntések eredménye is, ha az irányítás közvetett. A HOL munkahelyet, gépet jelent, a MIT technológiai műveletsorozatot, a MIVEL pedig szerszámokat, készülékeket, segédanyagokat.

Az irányítás célja: a fenti kérdéscsoport olyan megválaszolása, amely - kielégítve a környezeti, technológiai és gazdasági feltételeket - valamilyen cél(-ok) szerinti optimális termelést ad.

Az optimalitási kritérium megfogalmazása, az egzakt megoldás megkeresése rendkívül nehéz, lévén minden bonyolult rendszer eleme egy nála még nagyobb és bonyolultabb rendszernek. Elméletileg már a nemzetgazdaság irányításában kellene figyelembe venni minden kis részletet, de ez természetesen lehetetlen.

Közel optimális megoldáshoz juthatunk azonban vertikális dekompozíció segítségével, amelynek lényege, hogy a feladatot különböző szintekre bontjuk, minden szinten egyetlen optimálási feladatot oldunk meg bizonyos célok és feltételek mellett és az egyes szintek optimális megoldásai szerepelnek a következő, eggyel alacsonyabb szint feltételeinek kialakításában. Egy gyakori példán szemléltetve:

Szint	Feltételek	Optimálandó változók
Éves terv	eszközök technológia	MIT
Havi terv	eszközök technológia MIT	HOL
Napi terv	eszközök technológia MIT HOL	MIKOR

12.2. A gyártásformákat jellemző tényezők

Az optimálási feladatok megszokott formája, hogy vannak bizonyos feltételek, amelyeket az optimálandó változóknak ki kell elégíteniük és van egy célfüggvény, amelynek szélsőértékét kell meghatározni az említett feltételek kielégítése mellett. Ilyen feladatok

megoldásával a Matematikai Programozás tudománya foglalkozik. A feltételek és célok matematikai formái azonban olyan sokfélék, hogy egy általános termelésirányítási feladat megoldásához szükséges apparátus felöleli a Matematikai Programozás teljes eszköztárát. A modellezés során a megoldhatóság figyelembevétele korlátként jelentkezik: *egy általános célú programcsomag csak kisméretű konkrét feladatokat tud megoldani*.

A nagyméretű feladatok megoldására írt algoritmusoknak alkalmazkodniuk kell az adott, *tényleges adatstrukturákhoz*, így lehet megsokszorozni az eredeti program(-rendszer) teljesítőképességét.

A gépipari termelésirányítási rendszerek jellemző tényezői:

Feltételek:

a) Környezeti feltételek:
- gépállomány;
- raktárkapacitások;
- munkaerő.

b) Technológiai feltételek:
- az egyes gyártási fázisok idősorrendje;
- időigények és időkorlátok;
- minőségi feltételek.

c) Üzemi és gazdasági feltételek:
- vállalati terv;
- értékesítési viszonyok;
- gyártási határidők;
- raktárkészletek;
- importkorlátozások;
- exporttámogatások;
- a termelés illesztése a gyári környezethez.

Célok:
- maximális nyereség;
- minimális önköltség;
- legrövidebb átfutási idő;
- maximális termelékenység;
- <ezek valamilyen kombinációja>;
- maximális fedezet;
- minimális készlet;
- határidők betartása;
- ütemes szállítás;
- maximális bruttó kibocsátás;
- a berendezések egyenletesen maximális leterhelése; piacok megtartása, stb.

Az egyes feltételek lehetnek *egyenlőség*, *egyenlőtlenség* vagy *logikai* típusúak, a függvények *lineárisak*, *nemlineárisak*, a változók *folytonosak*, *diszkrétek* vagy *valószínűségi* változók.

12.3. Néhány gyakran előforduló gyártásforma

A következőkben néhány, hazai viszonyok között alkalmazható modellt említünk.
Idevágó *alapfogalmak*:

Sorozatnak vagy *tételnek* nevezzük az azonos, egymást minden szempontból helyettesítő és a gyártás során együtt haladó munkadarabok halmazát. Egy sorozat vagy egy tétel speciálisan egyetlen munkadarab is lehet.

A munkadarabon *műveleteket* kell elvégezni, amelyek sorrendjét a technológiai dokumentáció (műveletirányítási lap, műveletterv) írja elő. Ez az ún. *technológiai sorrend.*

Egy *elvégzendő munka* az egy sorozaton (tételen) végrehajtandó műveletek együttesét jelenti, amelyek sorrendjét a technológiai sorrend rögzíti.
Alkalmanként a *munka* szó magát a munkadarabot (vagy a sorozatot) is jelölheti, ami a szöveg összefüggéseiből kitűnik.

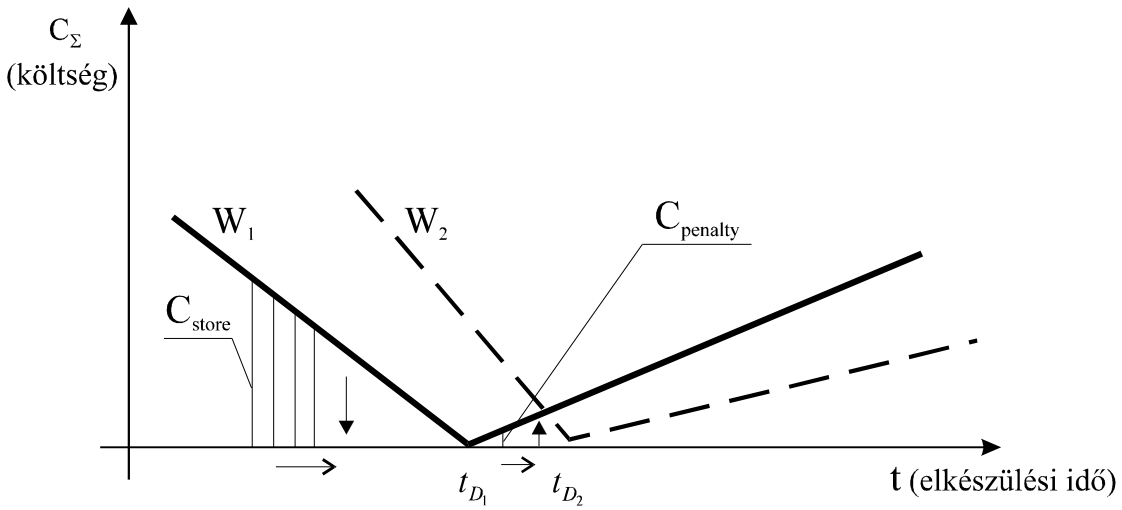
Az ütemezési feladatoknál a *gép* jelenthet egy *konkrét gépet* vagy egy (ekvivalens gépekből álló) *homogén gépcsoportot*. Általában, amikor *m* számú *gépről* van szó, akkor ez *m* különböző homogén gépcsoportot jelent.

A munkák nem feltétlenül érintik a rendelkezésre álló összes gépet a gyártási műveletek során. A munkák *technológiai útvonala* jelenti azt az utat, amelyet az egyes tételek (sorozatok) a műveletek előírt technológiai sorrendje szerint a gépeken be kell, hogy járjanak a teljes legyártásig.

a) 1-gépes termelés

Adott egy gép, vagy 1 géppel helyettesíthető homogén gépcsoport. Ezen a gépen *n* munkát kell elvégezni, amelyeknek gépidőigényét ismerjük. Feladatunk a munkák elvégzésének optimális sorrendjét meghatározni a következő esetekben:

a) Adottak a munkák elvégzési határidői és a gépidőigények. Ha egy munka határidőn túl készül el, az okozott kárt a késéssel arányos *kötbérrel* modellezhetjük, amely az egyes munkákra - fontosságuktól függően - más és más. Ha határidő előtt készül el valami, ez pedig *raktározási költséget* okoz, amely arányos azzal, hogy mennyivel előbb készül el a munka.



2.1. ábra: Költségösszetevők alakulása az elkészülési idő függvényében

Az optimalitási kritérium a minimális költség, amely ideális esetben, amikor mindegyik munka pontosan határidőre készül el, *zérus*. A feladat visszavezethető a *hozzárendelési feladatra*.

b) Az egyes munkák elvégzésének határidői nem szorosak, viszont a munkák közötti átállás ideje nem elhanyagolható. Ez az átállási idő attól függ, hogy melyik munka után melyik másik munka következik és ezek az idők különbözőek. Nem mindegy tehát, hogy milyen sorrendben követik egymást a munkák, ha a célunk az, hogy az *átállási idők összege* minimális legyen.
Ha most az egyes munkákat *városoknak*, az átállási időket *utazási időknek* tekintjük, máris eljutottunk az ún. ***utazó ügynök feladathoz***. Az ügynök körútja megfelel a munkák elvégzésének. Az utazó ügynök feladatot később részletezzük.

b) Sorozatgyártás a terv teljesítésére

Raktárra termelnek, szoros határidők nincsenek. A tervidőszakra kijelölt munkát *egyenletesen kell elosztani időben*, valamint *a gépek és a munkások* között. Az egyenletes terhelés elérése céljából az optimálás változói közé a forgácsolási paramétereket is be kell vonni. *Az irányítás célja: a tervfeladatok teljesitése minimális költséggel*.

A költségekben számításba vesszük:

- a megmunkálás közben felhasznált energiát; továbbá
- a szerszám-elhasználódást, amelyek függenek a forgácsolási paraméterektől;
- a gép amortizációs költségét, amely csak közvetve, a megmunkálási idő révén függ a forgácsolási paraméterektől;
- a kapacitáskorlátokra nézve
  - a gépek és
  - a munkaerő

kapacitását.

Az önköltségszámításban a $C_{E,i}$ energiaköltséget, a $C_{s,i}$ szerszámköltséget és a $C_{G,i}$ géplekötési költséget vesszük számításba (az i index valamely aktuális munka sorszámát jelzi):

$$min \sum_{i=1}^{n} l_i \left[C_{E,i}(d_i, f_i, v_i) + C_{S,i}(d_i, f_i, v_i) + C_{G,i}(d_i, f_i, v_i) \right]$$

$$\sum_{i=1}^{n} l_i t_{i,j}^{G} \le T_j^{G} \qquad j = 1,2,...,m \qquad \text{(gépkapacitás korlát)}$$

$$\sum_{i=1}^{n} l_i t_{i,k}^{M} \le T_k^{M} \qquad k = 1,2,...,M \qquad \text{(munkaerő-kapacitás korlát)}$$

ahol: n - a munkák száma; m - a gépek száma; M - a munkások száma; l_i - az i-edik munkából elkészítendő darabszám; $d_i, f_i v_i$ - az i-edik munka forgácsolási paraméterei (rendre: fogásmélység, előtolás, forgácsolási sebesség); $C_{E,i}(d_i, f_i, v_i)$ - az i-edik munka felhasznált energiaköltsége; $C_{S,i}(d_i, f_i, v_i)$ - az i-edik munka felhasznált szerszámköltsége; $C_{G,i}(d_i, f_i, v_i)$ - a megmunkáló gép lekötésének költsége; $t_{i,j}^{G}(d_i, f_i, v_i)$ - az i-edik munka gépidőigénye a j-edik gépre; $t_{i,k}^{M}(d_i, f_i, v_i)$ - az i-edik munka időigénye a k-adik munkásra; T_j^{G} - a j-edik szerszámgép rendelkezésre álló munkaideje (időalapja); T_k^{M} - a k-adik munkás rendelkezésre álló munkaideje (időalapja).

A feladat megoldását nehezíti, hogy a C_E, C_S, C_G függvények nemlineárisak. Megoldási módszerként a *geometriai programozás* alkalmazható. Ez a módszer a matematikai programozás eszköztárának egy eleme és lényegében a számtani és a mértani közép között fennálló egyenlőtlenség általánosításán alapszik. *A geometriai programozás általánosított*

polinom alakú célfüggvények minimalizálásával (maximalizálásával) foglalkozik, amikor a korlátozó feltételek is általánosított polinom alakú egyenlőségek, vagy egyenlőtlenségek.

13. Integrált gyártórendszerek termelésirányítása (IGYR)

Az IGYR-ekben a termék általában palettára szerelve járja végig a technológia által előírt sorrendben a munkahelyeket. Ebből következik, hogy a megmunkálások közti tárolást - tekintve, hogy a tárhelyek száma korlátozott - figyelembe kell venni az irányításban.

Ugyanilyen korlátozás érvényes az egyes gépek szerszámtáraira is. Az ilyen magas fokon automatizált gyártórendszerek beruházási és fenntartási költsége igen nagy, ezért a rendszer maximális kihasználtságát, lehetőleg szakadatlan működését kell megvalósítani. Az irányítás három szintjén ezeket a szempontokat az alábbi módon kell figyelembe venni.

a) ***Tervezéskor*** a *legjobb termékválaszték* meghatározása és a *hosszútávú terv lebontása havi tervekre* a két legfontosabb feladat.

b) ***Ütemezéskor***:
   - a *haviterv lebontása heti-* vagy *dekádtervekre*;
   - a *munkák géphezrendelése*;
   - a *gyártás-előkészítés* és *anyagellátás megszervezése*.

c) ***Programozáskor***: a már előkészített, raktáron lévő munkadarabok közül kell kiválasztani a soronkövetkező műszakban megmunkálásra kerülőket és azok megmunkálási sorrendjét elő kell írni.

14. Matematikai modellek a termelésirányításban

A termelésirányítással kapcsolatban számos matematikai feladat adódik az *irányítás szintjétől* és a *technológiai adottságoktól* függően. Nyilván minél szűkebb az a terület, amelynek tevékenységét vizsgáljuk, annál pontosabb modellre van szükség. Megfordítva, ha nagyobb egységet vizsgálunk, nem vehetünk számításba minden részletet.

Néhány fontosabb modell ill. módszer:

- a lineáris programozás;
- diszkrét programozási feladatok, ezen belül pl. a hátizsák-feladat;
- az utazó ügynök feladata;
- a hozzárendelési feladat;
- heurisztikus termelésprogramozási módszerek.

14.1. Lineáris programozás

Egy gyár bizonyos időszakra szóló termelési feladatának meghatározása a lineáris programozás egyik tipikus alkalmazási területe. Meg kell határozni azokat a mennyiségeket, amelyeket a gyár termékeiből elő fogunk állítani egy adott tervidőszakban. Korlátozó tényezőt jelentenek a *rendelkezésre álló erőforrások*.

A különböző termékek egységnyi mennyiségének előállításához szükséges erőforrások ismertek. További megkötés a piaci elvárások rendszere (az adott időszakban teljesítendő szerződések és más követelmények), valamint a gyártmánystruktúrából származó feltételek. Ilyen módon bonyolult feltételrendszer jöhet létre. A termelési feladat egészét tekintve nem haladhat meg bizonyos korlátokat, de egyes termékek mennyiségére külön alsó és felső korlátok is adódhatnak. Ismert továbbá a termékek valamilyen értékelése. A célunk az *adott feltételek mellett minél nagyobb értékű termelési feladatot meghatározni*. Az említett értékelés lehet a termék ára vagy a terméken jelentkező haszon. A megfelelő értékelést az adott körülményeknek megfelelően kell kiválasztani. Fontos megjegyezni, hogy a *különböző értékelések más-más optimális megoldásokhoz vezetnek.*

Egy másik példa a lineáris programozás alkalmazására a következő. Az egyes termékekre *alternatív technológiák* ismertek. Egy-egy termék különböző technológiai folyamatai a berendezéseken különböző kapacitás-lekötéseket jelentenek és megvalósítási költségük is eltérő.

A feladat: a technológiai folyamat-alternatívák olyan kiválasztása, hogy a kapacitáskorlátokat ne lépjük túl és az összköltség minimális legyen.

Egy jellemző termelésirányítási feladat:

Készítsünk havi tervet egy gyáregység részére, mely *n* féle különböző terméket állit elő. A termeléshez rendelkezésre álló erőforrások (gépek, áram, víz, ember, stb.) száma legyen *m*. A *j*-edik termék egységének előállításához az *i*-edik erőforrásból a_{ij} mennyiség szükséges. Az egyes erőforrásokból rendelkezésre álló mennyiség legyen b_i. A *j*-edik termék egységnyi mennyiségén jelentkező haszon legyen c_j. Az adott hónapban x_j mennyiséget állítsunk elő a *j*-edik gyártmányból.

Ekkor a legnagyobb hasznot hozó havi tervet a

$$max \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \le b_i \, (i = 1,2,...,m)$$

$$x_j \ge 0 \, (j = 1,2,...,n)$$

lineáris programozási modell adja, ahol c_j, a_{ij}, b_i konstansok, x_j változó.
(Természetesen más feltételek is figyelembe vehetők, a feladat lényege nem változik.)

14.2. Diszkrét programozási problémák

Ha egy optimumszámítási problémában az ismeretlenek egy része, vagy az összes ismeretlen csak diszkrét értékeket vehet fel, *nemfolytonos* modellről beszélünk. A nemfolytonos modellek - értelemszerűen - "tiszta diszkrét" és "vegyes" típusúak lehetnek.

Csupán matematikai szempontból nézve, szinte minden folytonos feladatnak felírható az integer megfelelője. Az integritás előírására gyakran szükség is van, amikor kis darabszámú, nem osztható termék esetén a folytonos optimum kerekítésével nyerhető megoldás távol eshet az integer optimumtól.

Az irányításban szükséges döntések két csoportra, *minőségi* és *mennyiségi* döntésekre oszthatók. A folytonos változók a mennyiségi döntések jellemzésére alkalmasak. Ha a modellben minőségi döntések hatásait is figyelembe kell venni, akkor szükségessé válik diszkrét változók bevezetése is, amelyek csak előre meghatározott értékeket vehetnek fel.

Ha mennyiségi és minőségi döntések együtt fordulnak elő a feladatban, *vegyes diszkrét* modellekhez jutunk. Ilyen jellegű modellt kapunk, ha egyes tevékenységeket meghatározott szintek valamelyikén végezhetünk, de a szintek mennyiségi jellemzői bizonyos határok között mozoghatnak. Ekkor a diszkrét változók az optimális szintek kiválasztását szolgálják, míg a folytonos változók - a szinteken belül - a mennyiségi paramétereket állítják be.

14.2.1. A hátizsák feladat

A diszkrét programozási problémák közül a legegyszerűbb az ún. *hátizsák feladat*. Az elnevezés onnan ered, hogy a problémát meg lehet fogalmazni a következő módon: egy turista különböző tárgyakat kíván magával vinni egy útra. Ezek súlya együttesen azonban már meghaladja teherbíró képességét. Így kénytelen szelektálni. Minden tárgynak ad egy értéket. A válogatást úgy akarja elvégezni, hogy a súlykorlátozás betartása mellett a magával vitt tárgyak összértéke maximális legyen.

A "hátizsák" feladat matematikai megfogalmazása a következő:

$$\sum_{j=1}^{n} a_j x_j \le b$$

$x \in B_n$ (bináris számok halmaza)

$$H = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j = max$$

$$\forall a_j \ge 0 \ \& \ \forall c_j \ge 0.$$

ahol B_n - a bináris számok halmaza és b - természetes szám.

Továbbá n tárgyból áll a hátizsák-rakomány, amely összességében a b súlynál nem nehezebb; a_j - a j-edik tárgy súlya, c_j az aktuális használati értéke. Az x_j aszerint 0 vagy 1, hogy az illető tárgy bekerül-e a hátizsákba, vagy sem.

A feladat gyakorlati alkalmazására egy példa: n különböző méretű csődarabra van szükségünk. Az egyes darabok mérete $a_j (j = 1,...,n)$. Egy b hosszúságú csövet vágunk szét. Kérdés, mely darabokat leggazdaságosabb a csőből előállítani. Legyen az egyes darabok valamilyen szempont szerinti értéke $c_j (j = 1,...,n)$. Ha az anyagveszteség minimalizálására törekszünk, akkor $c_j = a_j$. Vezessük be az $x_j (j = 1,...,n)$ döntési változókat. Az x_j aszerint 1 vagy 0, hogy a megfelelő méretű darabot levágjuk-e vagy sem. Így a feladat:

$$max \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_j x_j \le b$$

$$x_j = 0 \,|\, x_j = 1 (j = 1,...,n)$$

$$\forall a_j \ge 0 \ \& \ \forall c_j \ge 0.$$

A hátizsák-feladat alkalmas előre ismert *szűk keresztmetszet* vizsgálatára. Bizonyos munkák közül választhatunk, amikor a termelési feladatot össze akarjuk állítani. A j-edik munkán a haszon legyen c_j és a munka igénye a szűk keresztmetszetet jelentő erőforrásból a_j. Az erőforrásból rendelkezésre álló mennyiség legyen b. Ekkor a fenti feladat optimális célfüggvényértéke tájékoztatást ad az elérhető legnagyobb haszonról.

A hátizsák-feladatok általánosításaként, több feltétel esetén a **c** ill. **b** n ill. m dimenziós vektorokkal és az **A** mxn méretű mátrixszal, mint együtthatóval a

$$\max \underline{c}\underline{x}$$
$$\underline{\underline{A}}\underline{x} \le \underline{b}$$
$$x_j = 0 \,|\, x_j = 1 (j = 1,\dots,n)$$

alakú problémát nyerjük.

A vegyes diszkrét feladatok esetében a változók egy csoportjától csak *nemnegatívitást* követelünk meg:

$$\max(\underline{c}^T \underline{x} + \underline{d}^T \underline{y})$$
$$\underline{\underline{A}}\underline{x} + \underline{\underline{B}}\underline{y} \le \underline{b}$$
$$\underline{x} \ge \underline{0}$$
$$y_j = 0$$
$$y_j = 0 \,|\, y_j = 1, j = 1,\dots,n$$

A megoldási módszereknek két csoportja alakult ki: a *Benders*-dekompozíció és a *Branch* & *Bound* (szétválasztás & korlátozás) típusú eljárások.

14.2.2. Az utazó ügynök feladata

Adva van n számú város. Jelöljön ezek közül kettőt i és j. Ekkor ismert ezek c_{ij} távolsága. Feladat egy adott városból kiindulva a legrövidebb úton bejárni valamennyit úgy, hogy mindegyiket csak egyszer érintsük és utunkat a kezdőpontban fejezzük be. Ugyanehhez a problémához jutunk, ha *egy gépen egy adott időszakra* (pl. egy műszakra) *úgy akarjuk az elvégzendő munkák sorrendjét meghatározni, hogy az átállítási idők összege minimális legyen*. Ebben az esetben c_{ij} az i-edik és j-edik munkadarab közötti átszerszámozási idő.

Több kísérlet történt arra, hogy az alapmodellt további feltételekkel egészítsék ki. Az egyik ilyen változat az, amikor a körüljárást úgy kívánjuk megvalósítani, hogy egyetlen városból kiindulva és oda ismételten visszatérve több kisebb körút során jutunk el valamennyi városba. Továbbá nemcsak egyszerű utazásról van szó, hanem az ügynök csomagokat is szállít a városokba. Az egy részkörúton szállított árú összsúlya korlátozva van.

Ütemezési szempontból ez annak az esetnek felel meg, amikor az átszerszámozási időkön kívül a megmunkálási időket is figyelembe vesszük.

Ugyanez a feladat eredeti értelmezésben is felmerülhet a következőképpen. Egy nagy kiterjedésű gyárban sok helyen felhasználják az egyik üzemrész által előállított alkatrészeket. Ekkor meghatározott útvonalakon menetrendszerűen célszerű közlekedtetni a

szállítóeszközöket. Az optimális útvonalakat - és így a szállítóeszközök optimális kihasználásának módját - a fenti probléma megoldásával nyerhetjük.

Egy másik alternatíva, amikor határidőket veszünk figyelembe, azaz bizonyos városokat egy megadott időpontig el kell érni. Ez lehetőséget ad arra, hogy a berendezés más gépek ütemezéséhez alkalmazkodni tudjon, azaz több berendezésre együttes programot tudjunk készíteni.

A probléma egyik lehetséges matematikai megfogalmazása a következő:

Tegyük fel, hogy az ügynök az i_1 városból indul, innen i_2-be megy, stb. Így

$$P = (i_1, i_2, ..., i_n, i_{n+1} = i_1)$$

egy körbejárás. Feladatunk az összes lehetséges körbejárások közül a minimális költségű kiválasztása, azaz

$$\min_P \sum_{j=1}^{n} c_{i_j i_{j+1}}$$

mivel az i_1-ből i_2-be való utazás költsége $c_{i_1 i_2}$, az i_2-ből i_3-ba való utazás költsége $c_{i_2 i_3}$, stb., és ezek nyilván összegeződnek.

Amikor több kisebb körutat valósítunk meg, akkor ezek száma legyen *m*, az egyes körbejárások pedig:

$$P_1, P_2, ..., P_m$$

Ezekben az utakban valamennyi városnak szerepelnie kell, azaz

$$\bigcup_{k=1}^{m} P_k = \{1, ..., n\}. \tag{1}$$

Legyen a körutak közös kiinduló- és végpontja i_0. Nyilván nincs értelme, hogy egy városba többször is elmenjünk, mert ezzel csak a költségeket növelnénk feleslegesen. (Az ütemezési esetben ez azt jelentené, hogy ugyanazt az alkatrészt többször akarnánk legyártani.) Tehát a különböző körutaknak i_0-n kívül közös csúcsuk nem lehet, azaz

$$P_l \bigcap P_k = \{i_0\} \text{ és } l \neq k. \tag{2}$$

Minden j-edik városba q_j lehet a megmunkálási idő vagy a szállított alkatrészek mennyisége a szállítóeszköz szempontjából mérve.

Legyen G az egy körútban szállítható mennyiség (a műszak hossza, ill. a gépkocsi kapacitása). Így a

$$\sum_{j \in P_k} q_j \leq G \qquad \text{(k=1,...,m)} \tag{3}$$

feltételhez jutunk.

Jelölje D_k a P_k halmazon az utazó ügynök feladat optimális megoldását. Ekkor feladatunk a

$$\min_{(P_1,\ldots,P_m)} \sum_{k=1}^{m} D_k$$

szélsőérték meghatározása az (1), (2) és (3) feltételek mellett.

14.2.3. A hozzárendelési probléma

Adott n férfi és ugyanennyi nő, akik valamennyien házasságot szeretnének kötni. Mivel a bigámiát a törvény tiltja, így minden férfihoz pontosan egy nő tartozhat és megfordítva is ez áll. Legyen c_{i_j} az a hozomány, amit az i-edik nő családja ad, ha a nőt a j-edik férfi veszi el feleségül. A hozzárendelési feladat célja lehet ez esetben: megkeresni azt a házasítást, amely mellett a hozományok összege minimális.

Hosszabb időszak gyártási feladatainak szétosztása több műhely (gép) között hasonló hozzárendelési problémára vezet. Egy adott tervidőszakban n tétel (sorozat) gyártását kell szétosztani ugyanennyi műhely (gép) között. Ezek közül mindegyik csak egy tétel gyártását köteles elvégezni és egy tétel gyártását csak egy műhelynek (gépnek) lehet kiadni. Legyen c_{i_j} az a költség, amellyel az i-edik tétel gyártása jár a j-edik műhelyben (gépen). Ismertnek feltételezve ezeket a költségeket, keresni lehet azt a szétosztást, amely mellett a gyártási összköltség minimális. Valamennyi lehetséges variációt nem célszerű megvizsgálni, hiszen csupán 10 gyártandó tétel esetén is ez 3628000 lehetőséget jelent.

A feladat matematikai megfogalmazásához vezessük be az x_{i_j} segédváltozót. Ennek értéke legyen 1, ha az *i*-edik tétel gyártását a *j*-edik műhelyre (gépre) osztjuk ki, egyébként pedig 0. Így a feladat az alábbi, összköltségre vonatkozó célfüggvénnyel és korlátozó feltételekkel adható meg:

$$min\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}c_{ij}x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n}x_{ij}=1 \qquad (i=1,2,...,n)$$

minden *j* sorszámú gyártandó tételhez egy és csakis egy műhely (gép) tartozik

$$\sum_{i=1}^{n}x_{ij}=1 \qquad (j=1,2,...,n)$$

minden *i* sorszámú műhely (gép) egy és csakis egy tételt köteles gyártani.

A feladat megoldására - még nagy méretek esetén is - hatékony eljárás az ún. "Magyar módszer".

14.3. Ütemezési problémák és megoldási lehetőségeik

A gyakorlati tapasztalatok, amelyeket a felhasznált termelésprogramozási módszerekre vonatkozó nemzetközi szakirodalom is alátámaszt, azt mutatják, hogy a gyártási műveletek ütemezésére eddig ismert egzakt megoldási módszerek csak kis rendszerekre érvényesek és nagyon számításigényesek. Így ipari méretű problémák kezelését ezekkel meg sem szabad kísérelni. Ez a magyarázata, hogy a gyakorlatban *heurisztikus eljárásokat* alkalmaznak nagyméretű ipari feladatok megoldására. (A heurisztikus módszer itt ismert egzakt eljárások felhasználását jelenti új problémák megoldására, figyelembe véve a termelő üzembeli empíriát, más szavakkal *"trial and error ≡ kísérlet és hiba"* módszere.)

A termelésprogramozási feladat általánosan a következőképpen fogalmazható meg: *Adott a gyártó műhelyben **n** számú elvégzendő munka és a gyártáshoz **m** gép áll rendelkezésre. Meg kell határozni a munkáknak azt a sorrendjét a gépeken, amely bizonyos előre megadott szempontok szerint optimális*. Például aszerint, hogy minimális legyen a munkák átfutási ideje vagy előírt határidőre készüljenek el a munkák, vagy minimális legyen a gyártási összköltség, stb.

Az általános termelésprogramozási feladatkörön belül egy konkrét gyártásütemezési problémát matematikai tárgyalás szempontjából a következő főbb jellemzőkkel lehet behatárolni:

a) ***A munkák beérkezési mintájával.*** Ha egyidejűleg *n* munka érkezik a géphez, amely szabad és azonnal tud fogadni munkát, akkor az ütemezési probléma *statikus*. Ha a munkák megszakításokkal érkeznek a géphez, sztochasztikus sorrendben és a gép foglalt is lehet, akkor az ütemezési probléma *dinamikus*.

b) ***Azoknak a gépeknek a számával***, amelyekre a munkákat ütemezni kell. A *két* és *háromgépes* ütemezési feladatok ún. *kisfeladatok*, amelyekre még ismert egzakt megoldás. A többgépes ütemezési feladatok az ún. *nagyfeladatok*, amelyekre egzakt megoldás nem ismert.

c) A munkáknak a ***gépeken előírt technológiai útvonalával***. Ahol adott a technológiai útvonal és ez minden munkadarabra nézve azonos, ott *egyutas* gyártásütemezési feladatokról van szó. Ha a munkadaraboknak a műhelyben eltérő technológiai útjaik vannak, a feladat *többutas*.

d) ***Az ütemezés optimumkritériumával***, amely az ütemezési hatékonyság kiértékelésének alapja.

Megjegyezzük, hogy az üzemi gyakorlatban tipikusan a dinamikus ütemezési problémát felvető nagyfeladatok a jellemzőek. Könyvünkben - terjedelmi okokból - csak az egyutas gyártásütemezési feladatok megoldására szolgáló heurisztikus módszerekkel foglalkozunk.

Feladat: *n* számú munkát *m* számú különböző gépen kell elvégezni. Minden egyes munkának egy és ugyanaz a technológiai útvonala. Ez az útvonal, valamint a műveleti idők előre adottak (manuális számítás alapján, vagy valamely CAPP rendszer kimenetén). A gyártásütemezés célja lehet - egyebek között - a munkák olyan sorrendjének meghatározása, amely mellett az *átfutási idő*, azaz az első munka gépre kerülésétől az utolsó munkadarab megmunkálásának befejezéséig terjedő időintervallum, *minimális*.

Az angol nyelvű szakirodalomban az *egyutas* problémákat a "*flowshop*" elnevezés alatt tárgyalják. (A gyakorlatban ilyen pl. a fogaskerekek gyártásának menete, amikor az egyes munkadarab-sorozatok azonos típusú darabokból állnak. A *flowshop* típusú ütemezési feladatokat további két osztályba sorolják, ezek az ún. "*passing*" és "*no-passing"* feladatok. (Passing: a munkák az egyes gépeken előzhetik egymást; no-passing: előzés nem lehetséges)).

Célszerű bevezetni ezekre a megfelelő magyar terminológiát: az *egyutas előzéses* és az *egyutas előzés nélküli* ütemezés fogalmát. Az előzéses esetre példa: különböző méretű fogaskerekek gyártása, amikor *megmunkálásközi raktárak* vannak, és így lehetővé válik, hogy egy munkadarab-sorozat, amely az *i*-edik gépen első volt, a *j*-edik gépen pl. ötödikként kerüljön megmunkálásra. Az előzés nélküli eset tipikus példája a futószalag.

A feladat megoldására bemutatandó módszerek *közelítő eljárások*, mert elhanyagolják a gépek közötti anyagmozgatási vagy tranzitidőt, a gépbeállítási (előkészületi) időket a műveleti időben veszik figyelembe és nem engednek meg átlapolást a műveletek között.

(a) Az egyutas, előzés nélküli ütemezési feladat

Legyen a kitűzött cél: *a munkák átfutási idejének minimalizálása*. Ez más szavakkal az egyes gépek állásidejének minimalizálását is jelenti.

A munkadarabok meghatározott sorrendben kerülnek a gépekre. Az első munkadarab azonosítója legyen j_1, a másodiké $j_2,...,$ az utolsóé j_n. Jelöljön ebből $S_{j_s} = (j_1,...,j_s)$ egy

kezdeti részsorozatot, $T(S_{j_s},i)$ pedig legyen az S_{j_s} sorozat átfutási ideje a technológiai útvonal szerinti első *i* számú gépen.

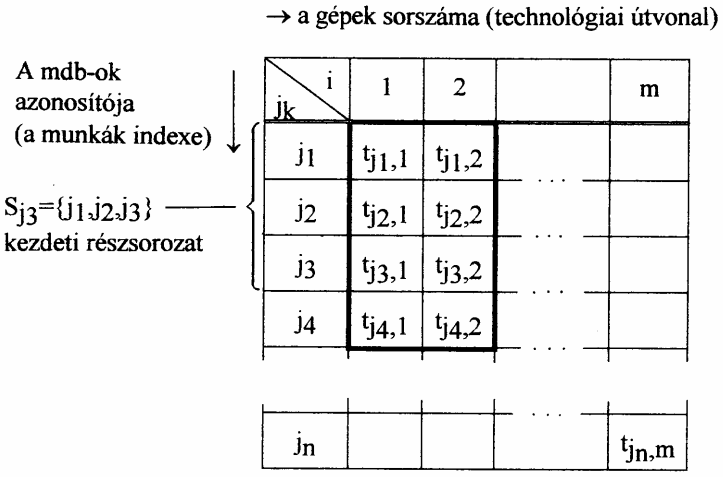
Tegyük fel, hogy az S_{j_s} részsorozat után a j_{s+1} azonosítójú munkát végezzük el. Az átfutási időkre az alábbi rekurzív formulát kapjuk:

$$T(S_{j_s+1},i) = max\left[T(S_{j_s},i),T(S_{j_s+1},i-1)\right]+t_{j_s+1,i},$$

ahol: $T(0,i)=T(S,0)=0$ minden *S*-re és *i*-re, továbbá $t_{j_s,i}$ a j_s-edik alkatrész megmunkálási ideje az *i*-edik gépen. Így a flowshop-probléma egy tetszőleges *P* munkadarab-sorrendre:

$$\min_P T(P,m)$$

alakban írható fel. Az elmondottakra vegyünk egy példát (2.2. ábra):



2.2. ábra: Indexelési technika az egyutas, előzés nélküli ütemezési feladathoz

Megjegyzés: $j_1, j_2,..., j_n$ helyett *1,2,...,n* is írható, ekkor

$$t_{j_s,i} \equiv t_{k,i}$$

amelyre

$$1 \le k \le n$$

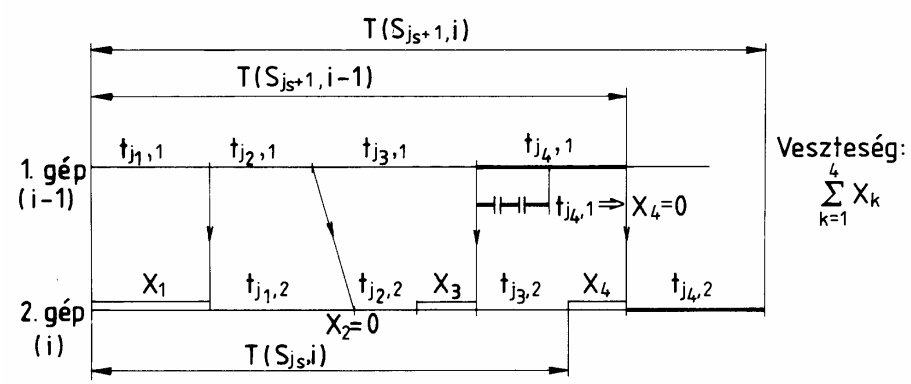
és

$$1 \le i \le m$$

(*n* számú munka *m* számú gépen) $t_{j_s,i}$ - a j_s-edik alkatrész megmunkálási ideje az *i*-edik gépen.

Legyen most *i=2*; $j_s = j_3$; $j_{s+1} = j_4$; $S_{j_s} = S_{j_3} = \{j_1, j_2, j_3\}$.

Rajzoljuk fel az 1. és 2. gép terhelésére vonatkozó ún. *Gantt*-diagramot (2.3. ábra).



2.3. ábra: Gantt-diagram az 1. és 2. gép terhelésére vonatkozóan

Ha $i=2$, $j_s = j_3 = 3$, $S_{j_s} = S_{j_3}$; $S_{j_s+1} = S_4$, akkor a 2.3. ábra alapján látható, hogy:

$$T(S_4,2) = max[T(S_3,2),T(S_4,1)] + t_{4,2}.$$

Általánosan is igaz, hogy

$$T(S_{j_s+1},i) = max[T(S_{j_s},i),T(S_{j_s+1},i-1)] + t_{j_s+1,i},$$

amint azt korábban feltettük. A bizonyítás *teljes indukcióval* könnyen elvégezhető.

A feladat kezelhetősége erősen függ a berendezések számától. *m=2* esetén egy igen egyszerű módszer, a *Johnson-algoritmus* használható fel a feladat egzakt megoldására, amely *m=3* esetén is bizonyos esetekben alkalmazható. Az egyutas előzés nélküli feladat megoldására *m>2* esetére számos heurisztikus módszert dolgoztak ki. A legfontosabbak *Palmer, Campbell-Dudek-Smith, Page* és *D.G.Dannenbring* nevéhez fűződnek.

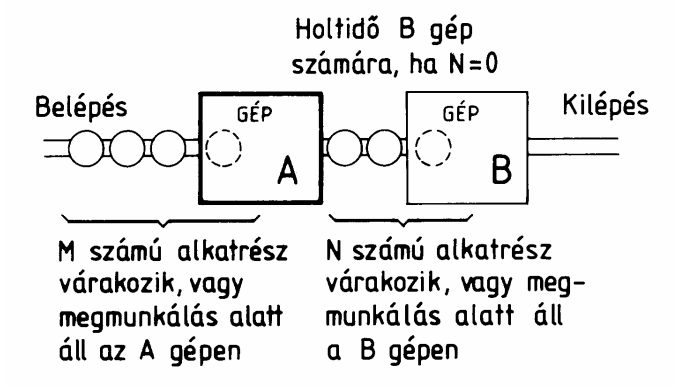
(b) Johnson algoritmusa

Johnson algoritmusa lehetővé teszi az olyan sorbarendezési (itt egyutas, előzés nélküli ütemezési) feladatok megoldását, amelyekben n számú munkát kell két, egymást követő munkahelyhez (géphez, berendezéshez) hozzárendelni. Egyes speciális esetekben a feladat *m=3*-ra is kiterjeszthető. Bár *m>3* esetén nem használható, rendkívül fontos eljárás, mert alapját képezi a nagyobb feladatokhoz kifejlesztett heurisztikus módszereknek. Tekintsük a 2.4. ábrát.

Az ábra két gépből álló gyártósejtet mutat, amelyen a megmunkálási folyamat a két gépnek megfelelően legyen a következő:

$A \rightarrow$ furatesztergálás (nagyolás),
$B \rightarrow$ furatesztergálás (simítás).

Tegyük fel, hogy a furatmegmunkálás két (különböző pontosságú) gépre való bontása a tűrések miatt indokolt.



2.4. ábra: Két gépből álló gyártócella modellje a *Johnson*-algoritmus levezetéséhez

A kétféle megmunkálási műveletet *n* számú különböző alkatrészen végzik el, amelyek jellege hasonló, de méreteik különbözőek, továbbá tetszőleges sorrendben jelentkezhetnek. Következésképpen az átfutási idő egy tetszőleges, de választás után rögzített sorozatra igen eltérhet ugyanannak a munkadarab sorozatnak egy más sorrendben gyártott variánsáétól.

Jelöljük most A_i-vel és B_i-vel azt az időt, amelyet az *i*-edik alkatrész megmunkálására fordítanak az *A* és *B* gépen. *A feladat a B gép állásidejének minimalizálása.* Vagyis olyan $p_1, p_2, ..., p_i, ..., p_n$ sorrendet akarunk megállapítani, amelynél a p_j és a p_{j+1} alkatrészek simító furatesztergálása közötti állásidők összege a legkisebb, az egymást követő *j* értékekre számítva az összeget. (*p* - a "*part*" = alkatrész szó kezdőbetűje).

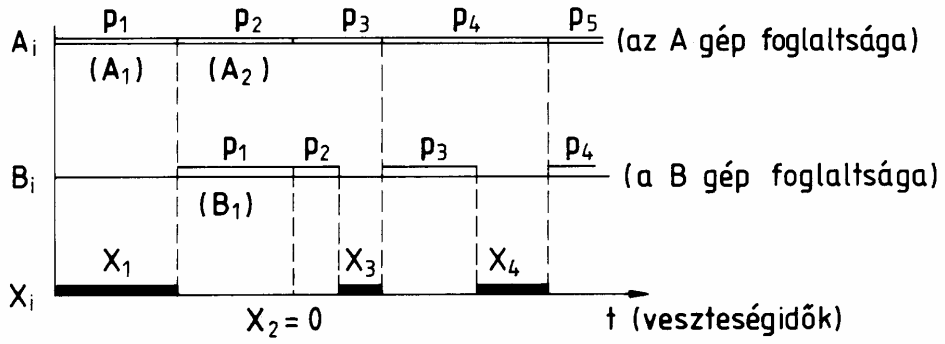
Nevezzük *T*-nek az összes időt, amely eltelik az első alkatrész furat-nagyolásának megkezdése és az utolsó alkatrész furat-simításának befejezése között. Legyen X_i a holtidő a p_{i-1}-edik feladat befejezése és a p_i-edik megkezdése között. A 2.5. ábra alapján felírhatjuk:

$$T = \sum_{i=1}^{n} B_i + \sum_{i=1}^{n} X_i ,$$

és mivel $\sum_i B_i$ adott és ismert, csak $\sum_i X_i$ minimalizálandó.

A probléma egzakt megoldását a következő könyvben találhatjuk meg:
Tóth Tibor: *Tervezési elvek, modellek és módszerek számítógéppel integrált gyártásban.* Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998. (3. sz. Függelék, 235-238.old.)

A részletes levezetésből azonnal látható, hogy a sorrendet lépésről-lépésre meg lehet határozni a *Johnson* algoritmus segítségével. Az operációkutatásban azt a matematikai módszert, amely egymástól függő döntések sorozatát optimalizálja, *dinamikus programozásnak* nevezzük. *Johnson* algoritmusa tulajdonképpen dinamikus programozási problémát old meg.



2.5. ábra: A Gantt-diagram alapértelmezése a kétgépes gyártócella-modellhez

A dinamikus programozás alaptétele a *Bellman*-féle optimalitási tétel, amelyet sokféleképpen meg lehet fogalmazni és be lehet mutatni.

A *Bellman*-féle optimalitási tétel (diszkrét és determinisztikus rendszerekre):

Legyen egy rendszerünk, amelynek állapota az egyes k fázisokban megváltozhat döntés következtében. Az egyes k fázisokban ($k=0,1,2,...,N$) a rendszer véges vagy végtelen, de megszámlálható állapotban lehet. "Politikának" nevezzük a döntések egy bizonyos sorozatát $k=0$-tól $k=N$-ig. 'Alpolitikának" nevezzük a kapcsolódó döntések olyan sorozatát, amely valamely politikának része. Ha ebben az esetben az állapotváltozásoktól függő értékfüggvényt veszünk fel és ezt a függvényt optimálni kívánjuk, akkor igaz az alábbi tétel: ***Egy optimális politika csak optimális alpolitikákból állhat.***

Bellman megfogalmazásában: *"Valamely politika akkor optimális, ha egy adott periódusban - akármilyenek voltak az előző döntések - a hátralévő döntések optimális politikát alkotnak, figyelembe véve az előző döntések eredményét."*

(c) A Johnson-algoritmus kiterjesztése 3 gépre

A *Johnson*-algoritmust fel lehet használni az alábbi két különleges esetben:

$$min\ A_i \geq max\ B_i \quad \text{vagy} \quad min\ C_i \geq max\ B_i,$$

amikor az n elvégzendő műveletből álló munkáknál 3 gép A, B és C adott. Ilyenkor az idők vizsgálatát az $A_i + B_i$ és $B_i + C_i$ összegekkel végezzük.

Tekintsük a következő feladatot:

Definiálják az esztergálási, marási és köszörülési műveleteket az A_i, B_i és C_i időtartamok a $p_1,...,p_5$ alkatrészeken. Induljunk ki a következő táblázatból:

II. táblázat

	Esztergál (A_i)	Mar (B_i)	Köszörül (C_i)
p_1	8	6	7
p_2	12	3	10
p_3	9	5	4
p_4	15	4	18
p_5	11	5	10

Érvényes, hogy $min\ A_i \geq max\ B_i$, mert $8 > 6$. Összeállíthatjuk a második táblázatot is:

III. táblázat

	$A_i + B_i$	$B_i + C_i$
p_1	14	13
p_2	15	13
p_3	14	9
p_4	19	22
p_5	16	15

Alkalmazva a Johnson algoritmust, kapjuk:

1.

p_1	14	13
p_2	15	13
p_4	19	22
p_5	16	15
p_3	14	9

2.

p_1	14	13
p_4	19	22
p_5	16	15
p_2	15	13
p_3	14	9

3.

p_4	19	22
p_5	16	15
p_1	14	13
p_2	15	13
p_3	14	9

Az algoritmus jól követhető az 1)-2)-3) táblázatokon.

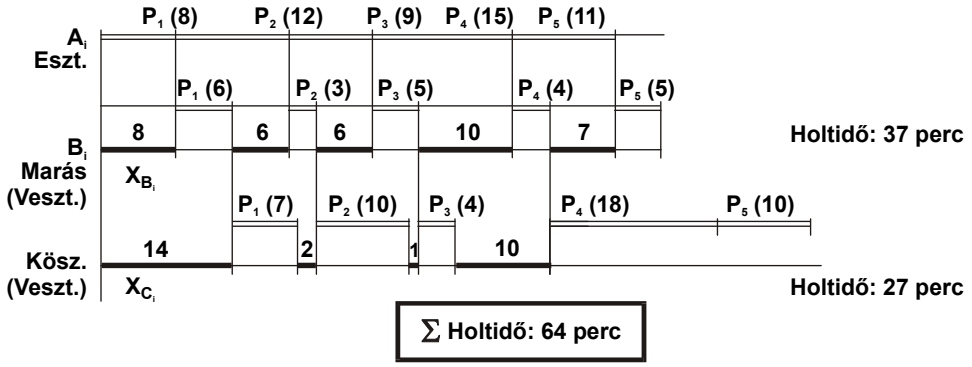
1. Megvizsgáljuk, hogy a III. táblázatban melyik a legkisebb idő; jelen esetben ez 9 perc.
2. Ha ez az érték a táblázat *első* oszlopába tartozó érték, akkor a neki megfelelő munkadarabbal kezdünk; ha második oszlopba tartozó, akkor a neki megfelelő munkadarabbal fejezzük be a megmunkálást.
3. Elkülönítjük a táblázat megfelelő sorát, majd a maradék táblázatrésszel folytatjuk az 1.-2.-3. lépést. Az optimális ütemezési sorrendre azt kapjuk, hogy

$$S = (p_4, p_5, p_1, p_2, p_3).$$

Vegyük az eredeti *ad hoc* sorrendet:

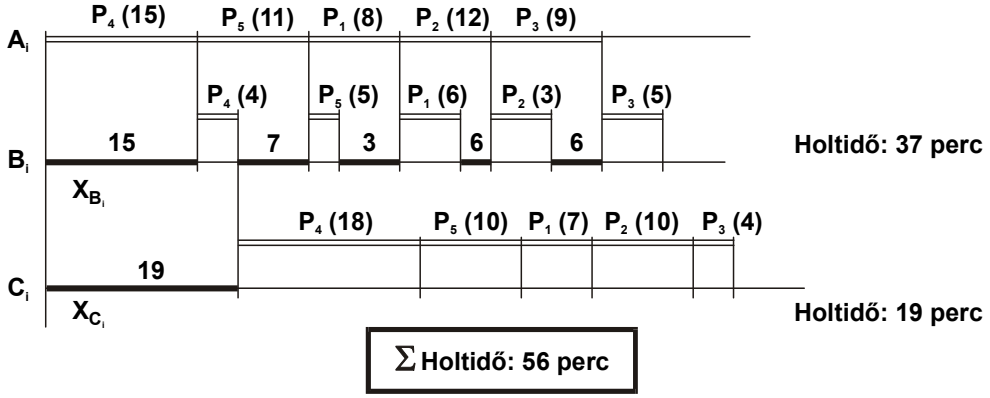
$$S_1 = (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5).$$

Ábrázolva (2.6. ábra):



2.6. ábra: A Johnson-algoritmus 3 gépre való kiterjesztésének szemléltetése konkrét példán (Gantt-diagram, *ad hoc* sorrend)

A *Johnson*-algoritmus szerint (2.7. ábra):



2.7. ábra: A *Johnson*-algoritmus 3 gépre való kiterjesztésének szemléltetése konkrét példán (Gantt-diagram, *optimális* sorrend)

A két *Gantt*-diagramból látható, hogy a *Johnson* algoritmus 8 perccel csökkenti az állásidőket.

III. RUGALMAS GYÁRTÓRENDSZEREK SZÁMÍTÓGÉPES TERMELÉSPROGRAMOZÁSA

1. Milyen gyártóberendezés-csoport tekinthető rugalmas gyártó-rendszernek?

(*Buzacott, Groover, Kusiak* munkái alapján)

Szempontok:

- legyen meg benne a 8 flexibilitás-típusból legalább egy;
- az automatizálás bizonyos mértéke, kiterjedtsége;
- a gyártandó alkatrészféleségek elég széles skálája, amelyet tipikusan kis- és közép-sorozatokban állit elő a rendszer.

Flexibilitás típusok

(1) *Gép (gyártóberendezés) flexibilitás*, amely megkönnyíti a gépnél (berendezésnél) való változtatásokat (pl. szerszámcsere, NC program csere, stb.), amelyek egy adott alkatrésztípusból álló halmaz legyártásához szükségesek; ez részben fejlett technológiával, részben a gépre való megfelelő műveletkijelöléssel érhető el.

(2) *Gyártási folyamat flexibilitás*: különböző alkatrésztípusok különféle műveleteket igénylő és anyagokat felhasználó változatos halmazát tudja gyártani a rendszer egyidejűleg: ez elérhető a gépek flexibilitása, ill. többcélú, adaptálható CNC megmunkáló központokkal.

(3) *Termék vagy gyártmány flexibilitás* az a képesség, hogy a rendszer gazdaságosan és gyorsan tudjon átállni új termék vagy termékcsoport gyártására; ezt a gyors reakcióképességet segíti egy hatékony és automatizált termeléstervezési és irányí-tási rendszer (pl. automatikus művelet hozzárendelés a gépekhez, automatikus paletta szétosztási képesség, stb.), valamint a gép flexibilitás megvalósítása.

(4) *Technológiai útvonal flexibilitás*, amely lehetővé teszi, hogy egy-egy gép kiesése (pl. meghibásodása) esetén is folytatni tudja a rendszer az adott alkatrészhalmaz gyártását előre adott technológiai változatok vagy adott helyettesítő gépek révén. Ez elérhető a technológiailag ekvivalens gépek homogén gépcsoportokba való összevonásával, műveleti technológiai variánsok felkínálásával, esetleg egy-egy műveletnek duplikált géphez rendelésével s az összes ilyen lehetőség kihasználásával a termelésprogramozás során.

(5) *Gyártási volumen flexibilitás*: képesség a különböző (esetleg kis) volumenek melletti gazdaságos gyártásra; ezt elősegítik a többcélú gépek, a gyártási folyamathoz nem

kötött műhelyelrendezés, az anyagmozgató-, kezelő rendszer automatizáltsága és rugalmassága, továbbá a technológiai útvonalak rugalmassága.

(6) *A gyártórendszer kiterjeszthetőség flexibilitása*: lehetőség a gyártórendszer fokozatos, moduláris kiépítésére és kiterjesztésére; ezt elősegíti a gyártási folyamathoz nem kötött műhelyelrendezés, rugalmas anyagmozgató rendszer, moduláris gyártócellákból való építkezés és a technológiai útvonalak rugalmassága.

(7) *A gyártórendszer működési flexibilitása*

- felcserélhetőség bizonyos műveletek között (precedencia-struktúrán belül);
- nyitott technológiai útvonal.

(8) *Termelési flexibilitás*: a meglévő technológiai színvonallal függ össze és a rendszerben egyáltalán gyártható alkatrésztípusok által meghatározott.

<table>
<tr><td>GÉP
FLEXIBILITÁS</td><td>• TERMÉK FLEXIBILITÁS
• GYÁRT.FOLY. FLEXIBILITÁS
• MŰKÖDÉSI FLEXIBILITÁS</td><td rowspan="2">TERMELÉSI FLEXIBILITÁS</td></tr>
<tr><td>TECHNOLÓGIAI ÚTVONAL FLEXIBILITÁS</td><td>• VOLUMEN FLEXIBILITÁS
• KITERJESZT-HETŐSÉG FLEXIBILITÁS</td></tr>
</table>

2. Rugalmas gyártórendszerek típusai (fizikai komponensek alapján)

(a) szerszámgépek

- általános vagy speciális célú gépek;
- automatikus szerszámcsere képesség, szerszámtár kapacitás, szerszámcsere-szükséglet, stb.;

(b) anyagmozgató és szállító rendszerek

- változatos típusúak (pl. felrakógép, konveyor);
- az alkatrészek mozgatása (pl. raklapon, palettán);
- szerszámszállítás megoldása (pl. kézi, automatikus);

(c) műveletközi tárolási helyek

- központi puffertár;
- decentralizált puffer minden egyes gépnél;
- lokális tárolás;

(d) számítógépes irányítás

- elosztott döntési rendszer;
- információs rendszerre építkezés, centralizált döntés;
- a gyártandó alkatrészek összetételét egyszerű periodikus input szabályozza, vagy visszacsatoláson alapuló prioritási szabály.

3. Fizikai rugalmas gyártórendszer típusok (Buzacott, Groover)

I. Rugalmas gyártócella (FMC)

A legegyszerűbb és ezért legrugalmasabb *autonóm gyártóegység*, amely egy CNC szerszámgépből, automatizált anyagkezelő berendezésből (pl. robot) és input-output puffer-tárolókból tevődik össze.

Lényegében megvannak benne egy rugalmas gyártórendszer összes komponensei.

II. Rugalmas gyártórendszer (FMS)

Döntően *on-line, real-time* irányítású rendszer, amely általános célú szerszámgépekből, vagy ilyeneket tartalmazó gyártócellákból áll. A rendszerben kis sorozatban gyártandó munkadaraboknak számos különböző technológiai utat kell megtenniük a készregyártásig.

Az ilyen FMS az anyagmozgató és szállító berendezések változatos fajtáival lehet felszerelve. Jellemző rá a *gép-gyártási folyamat-* és *termék-flexibilitás*, valamint a *technológiai útvonal flexibilitás*, aminek következtében könnyen és automatikusan áthidalja a gép-meghibásodásokat. *Job-shop* típusú műhelynek felel meg.

III. Rugalmas transzfersor (FML)

Az alkatrésztípusok technológiai útvonala azonos, a gyártórendszer elrendezése a gyártási folyamat által meghatározott.

4. Rugalmas gyártórendszerek termelésprogramozási alapesetei

(1) Hagyományos gyártási környezetbe telepített FMS esetén

- egységesen *off-line* termelésirányítás és gyártási folyamatirányítás valósul meg;
- az FMS-nek a befogadó műhely szerves részeként kell működnie;
- az FMS termelésprogramozási rendszerének a befogadó műhely termelés-programozásával összhangban kell működnie, mivel *a termelésütemezés szintjéről kapott, ugyanazon tervperiódusra szóló gyártási feladaton osztoznak*.

(2) Önmagában funkcionáló, egységes egészként kezelendő FMS esetén

- az FMS, önálló műhelyhez hasonlóan, készregyárt munkadarab-sorozatokat;
- *on-line, real-time gyártási folyamat-irányítással* rendelkezik, amely lehetővé teszi az ugyancsak *on-line termelésprogramozást*;
- a gyáron belül rá kiterjedő felsőbb szintű termelésirányítás döntéseit és a rá kiszabott gyártási feladatokat önállóan valósítja meg.
- Az automatizáltsági szintje magasabb, mint az (1) típusé.

A termelésprogramozási rendszer feladata, hogy a magasabb időhorizontú termelésirányítási szinttől egy rövidebb tervidőszakra (pl. 1 hét, 1 dekád) kapott termelési feladat *gyártási műveleteit időben és térben* konkrét gépekre (munkahelyekre) *ütemezze* és ezzel előállítsa az operatív műhelyszintű irányítás alapját képező *finomprogramokat*. Mindezt adott gazdasági célok és korlátozó feltételek, valamint a termelés aktuális állapotának figyelembevételével kell ellátnia.

Követelmények:

(1) A termelésprogramozási rendszernek figyelembe kell vennie a termelésirányítás magasabb szintjén előírt, az *adott szintre aktualizált gazdasági célokat*. Ilyenek:

- a termelésütemezés szintjén deklarált határidők betartása;
- a gyártórendszer erőforrásainak hatékony kihasználása;
- a sorozatok átfutási időinek csökkentése;
- a műveletközi készletekben lekötött érték csökkentése.

(2) A termelésprogramozási rendszernek az *aktuálisan adott kapacitás- és gyártóeszköz korlátok között* kell működnie, vagyis:

- a termelőkapacitások (gépek) korlátos kapacitására *általában*, a kialakuló szűk keresztmetszetekre vagy gépkiesésekre *aktuálisan* felkészültnek kell lennie;
- a műveletközi szállítás módjától függően tekintettel kell lennie a sorozatok *egyszerre mozgatható* adagjaira (pl. raklapos továbbításnál az egység-rakományokra, palettás rendszernél a palettán mozgatott darabok számára);
- a gyártóeszköz-korlátok (pl. palettás rendszereknél a véges palettaszám) figyelembevételével kell kialakítania az *optimális sorozatnagyságokat*;

(3) A finomprogramok összeállítása során összhangot kell teremtenie a *befogadó gyártási környezet* termelésprogramozási döntéseivel;

(4) A finomprogram-készítést ajánlati jelleggel (különösen *on-line* folyamatirányítás estén) ki kell terjeszteni a *gyártási segédfolyamatokra* (pl. gyártáselőkészítésre) is;

(5) Az FMS flexibilitás-típusainak megvalósítását *szoftver-oldalról* támogatnia kell

- a munkadarab-sorozatok gyártásánál választható *technológiai útvonal variánsok*,
- *műveletenként redundáns gépek* (pl. homogén gépcsoport gépei)

közül való választással, figyelembe véve a műveletek egymás közötti felcserélhetőségét;

(6) *Real-time, on-line* irányítású rendszereknél lehetővé kell tennie az ún. *elosztott döntést* a finomprogramozás során (*dinamikus* ütemezés);

(7) Figyelembe kell vennie a döntések előkészítésekor a *termelés mindenkori aktuális állapotát* (státuszát), ugyanis csak a termelésből visszacsatolt információn alapuló döntések eredményezhetnek *végrehajtható* finomprogramokat. *On-line* folyamat-irányítás megvalósulása esetén a visszacsatolt információt egy *real-time termeléskövetési nyilvántartásnak* kell szolgáltatnia.

(8) A termelésprogramozási rendszernek tovább kell adnia a gyártásba vett munkadarab-sorozatok *készültségi fokára* vonatkozóan a termelésből visszacsatolt információt a termelésirányítás felettes szintjének;

(9) A gyártási folyamatban bekövetkező esetleges *zavarok, váratlan események áthidalásában* a termelésprogramozási rendszernek támogatnia kell a gyártási folyamatirányítást;

(10) A termelésprogramozási rendszer *szoftver* realizációjának *moduláris felépítésűnek* kell lennie a könnyű adaptálhatóság érdekében.

A követelmények kielégítésére javasolt elvi megoldások:

ad(1): *Prioritási szabály-bázis* szükséges az ütemezési eljáráshoz, amelyből a gyártási finomprogramok generálásakor az aktuális gazdasági cél és az adott termelési helyzet elemzése alapján a megfelelő prioritási szabály kiválasztható egy gép aktuális terheléséhez. *Az egyes prioritási szabályok szubrutinok formájában lehívhatók a döntésnél*. A prioritási szabályok több cél egyidejű figyelembevétele esetén kiegészíthetők bizonyos *heurisztikákkal* (Például: átszerszámozások számának minimalizálása, műveletek átlapolt végrehajtása).

ad(2): A termelőkapacitások (napi munkaidő) *norma adatai* a termelésprogramozási rendszer alapadatai közé sorolandók és ezeket a termelésből való visszacsatolással *aktualizálni* kell. A termelésprogramozási rendszernek a kialakuló *szűk keresztmetszetű* gépeket (bottleneck) kiemelten kell kezelnie: az ütemezési eljárás döntései során mindig először ezekre történik döntés a szabad gépek közül. Az ütemezés során megfelelő *szimulációs eljárás* gondoskodik a paletták visszacirkuláltatásáról a gyártásba és csak elégtelen számú paletta esetén kezdeményez *sorozatbontást*.

ad(3): Hagyományos gyártási környezetbe telepített FMS esetén a termelésprogramozási rendszer összhangban működik a hagyományos műhely termelésprogramozásával: ugyanazon gyártási feladat egy-egy munkadarab sorozatán osztoznak.

ad(4): Az FMS-ek termelésprogramozási rendszere az operatív gyártáselőkészítéssel való összehangolt működést a *gördülő*-(*csúszó*-) tervezés elvének alkalmazásával teszi lehetővé (mellék- és segédfolyamatok). Ennek elsősorban a gyors termékátfutásokra és termékváltásokra felkészített *on-line*, *real-time* FMS-ek esetében van jelentősége, amelyeknél a termelésprogramozási rendszer napi gyakorisággal való futtatására az igény és lehetőség megvan.

A termelésprogramozási rendszer a felettes irányítás által adott T tervperióduson (pl. egy dekádon) belül minden egyes napra (vagy tetszés szerinti $T1<T$ időszakra) ún. "*éles*" *finomprogramot* szolgáltat az esedékes végrehajtható gyártási műveletre. Az "éles" finomprogram folytatásaként a felhasználó kívánsága szerinti további néhány napra ($T2$ időperiódusra, ahol $T1+T2\leq T$) ún. *ajánlati finomprogramot* állít elő (ha $T2\neq 0$) a gyártási feltételekkel még nem rendelkező további gyártási tevékenységekre. Az operatív gyártáselőkészítés így megteremtheti a következő $T1$ periódus gyártási feltételeit.

ad(5): A termelésprogramozás szintjén hozott ütemezési döntéseknél érvényesített *technológiai útvonal flexibilitás* szoftver oldalról végső soron a *termelési flexibilitáshoz* járul hozzá. Ehhez a termelésprogramozási rendszer bemenetén meg kell adni a technológiai útvonal variánsokat leíró gráfokat vagy fákat a műveleti törzsadatállományban. Az ütemezési eljárás során a technológiai variánsok figyelembevételével tehermentesíthetők a szűk keresztmetszetű gépek, azáltal, hogy egyes munkák számára az ilyen gépet megkerülő útvonal lesz választva.

Ugyancsak felhasználhatók a szűk keresztmetszetek feloldására a műveletekhez megadott *duplikált gépek* vagy *homogén gépcsoportok*, amelyek az ütemezési döntés számára meghagyják azt a *szabadsági fokot*, hogy a kevésbé terhelt gépre lehessen ütemezni a munkákat.

Szokás használni az ún. *előretekintési heurisztikákat* is az üres gépre vonatkozó ütemezési döntéseknél, figyelembe véve a gépre később beérkező munkákat is.

ad(6): *On-line*, *real-time* folyamatirányítású FMS-eknél a folyamatirányításban megvalósítható a *real-time termeléskövetés*. A termeléskövetés nyilvántartásában minden, a valóságos gyártásban elkezdett vagy befejezett szignifikáns gyártási tevékenység vagy esemény azonnal naplózható. Ennek alapján egy *real-time* döntésekre alkalmas *dinamikus ütemező modullal* - amely a termelés-programozási rendszer része - kivitelezhetők magából a gyártási folyamatból az egyes gépek felszabadulása által kiváltott, *real-time* és gépekre elosztott döntések.

Ilyenkor a gyártási folyamatirányító rendszer aktiválja működésre a dinamikus ütemező modult, valahányszor egy gép felszabadul a fizikai termelési folyamatban. Ezért a dinamikus ütemező modulnak rendkívül gyorsnak kell lennie. *A döntésnek ezen a szinten már csak a felszabaduló (vagy meghibásodott) gép fizikai várakozó sorában lévő munkára kell kiterjednie.* Ezek már mind a szükséges gyártási feltételekkel rendelkező munkák, tehát a döntés eredményeként a gépre terhelt munka (a munkadarab-sorozat valamely művelete) biztosan végrehajtható.

ad(7): Csakis a gyártási folyamatból visszacsatolt információt figyelembevenni képes termelés-programozási rendszert tekinthetünk elfogadhatónak. A visszacsatolás módja *off-line* és *on-line*, *real-time* FMS-eknél nagyon eltérő (v.ö.: ad(6)).

ad(8): A termelésprogramozási rendszer működéséhez tehát minden újrafuttatásánál szükség van a gyártás valóságos előrehaladásáról visszacsatolt információra (*Off-*

line esetben pl. a termelési bérbizonylatok adatállományából, *on-line* esetben pedig a gyártási folyamatirányítás termeléskövetési nyilvántartásából nyerhető).
Nyilvánvaló, hogy minden újrafuttatás kezdetén maga a termelésprogramozási rendszer módosítja a felettes irányítás (pl. dekádtervezés) valamely adatállományban rögzített és az adott tervidőszakra előirt gyártási feladatának műveleti rekordjait, leírva belőlük a már elkészült tételeket, illetve műveleteket (Visszacsatolás a műhelyszintű irányításból a termelésütemezéshez).

ad(9): *Off-line folyamatirányítás* esetén magát a folyamatirányítást az *intelligens műhely-diszpécser* látja el. Az ő megítélésétől függően aktiválódik újra a termelésprogramozási rendszer az új adatokkal.
On-line folyamatirányítás esetén az "éles" finomprogramban ütemezett (tehát előzetesen tervezett) folyamat bármikor összehasonlítható a dinamikus ütemezési döntések alapján megvalósuló folyamattal. Ha a zavarok mértéke következtében a valóságos folyamat ún. *fatális* mértékben eltér a tervezettől, akkor a folyamatirányítás a statikus (éles) újraütemezést kezdeményezi.

ad(10): A moduláris felépítés előnyei közismertek. Hármas követelményt jelent:
- kapcsolhatóság
- csatlakoztathatóság
- újra-felhasználhatóság.

Bevált gyakorlat az egyes modulok *funkciójuk* általi definícióját használni.

4.1. Off-line irányítási környezetű FMS-ek termelésprogramozási rendszere

Hagyományos gyártási környezetben az FMS-nek a befogadó műhely szerves részeként kell működnie.

Időhorizont: 8-24 óra (1-3 műszak).

Felettes szint: *termelésütemezés*

(max. időhorizont: dekád).

Az FMS az egész műhely szempontjából
- egy nagy termelékenységű gépcsoport;
- nem szabad, hogy szűk keresztmetszet legyen.

Az FMS a műhely feletti irányítási szinten homogén módon kezelendő a műhely hagyományos részével, egy-egy tervidőszakra a megadott gyártási feladatokon azzal osztozik.

Az FMS *termelésprogramozási rendszere* a műhely hagyományos részével *kooperatív*, de *autonóm* kapcsolatban van. (Indoklás: a fejlettebb, bonyolultabb, rugalmasabb, egyben drágább rendszer *prioritása*).

Az FMS-t magába foglaló gyártóműhelyben az adott időhorizontra vonatkozó gyártási feladat munkadarab-sorozatainak *technológiai útvonala* többféle lehet:

(1) "*BENT-KINT*" *sorozattípus*: az első néhány művelet az FMS-ben, a továbbiak a hagyományos műhelyrészben;

(2) "*KINT-BENT*" *sorozattípus*: az első néhány művelet a hagyományos műhelyrészben, a további (befejező) műveletek az FMS-ben;

(3) "*BENT-KINT-BENT*" *sorozattípus*;

(4) "*KINT-BENT-KINT*" *sorozattípus*.

Diszkusszió:

ad(1): Kiemelt prioritás az FMS finomprogramozási rendszerében: az adott munkadarab-sorozat összes *külső* műveletének is el kell készülnie a tervperiódus végére (dekád, hét).[Lásd: 3.1. ábra].

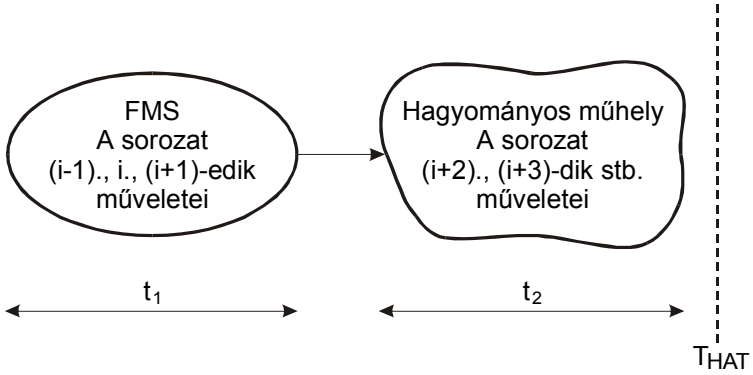
Az FMS nem lehet szűk keresztmetszet. Cél (kritérium): a sorozat átfutási (megmunkálási + várakozási) idejének csökkentése. Több sorozat: egymás közötti, relatív prioritások.

ad(2): Bizonytalan beérkezés veszélye miatt az FMS termelésprogramozásának a finomprogramokon kívüli *figyelmeztető listán* közölnie kell azon munkadarab-sorozatok jegyzékét és az FMS-be való legkésőbbi beérkezési idejét, amelyek befejező műveleteit a tervidőszak végéig az FMS-ben kell végrehajtani. [Lásd: 3.2. ábra].

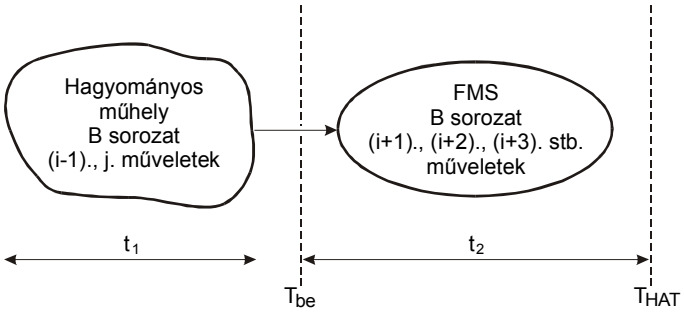
Több sorozat esetén a beérkezési időket (T_{be}), a tervperiódus végét (T_{HAT}) és a hátralévő átfutási-idő igényeket kell figyelembe venni (relatív prioritások).

ad(3): Visszavezethető (1) és (2) kombinációjára, de a hagyományos műhelyrészbe távozott és onnan visszatérő sorozatok *új prioritást* kapnak visszatéréskor (figyelmeztető listák itt is!).

ad(4): A (2) és (1) alapesetre visszavezetve először az FMS-be a kellő időben történő beérkezésről kell gondoskodni a figyelmeztető listával. Ezután az FMS termelésprogramozási rendszerének kell a beérkezett sorozatokra kiemelt prioritással rövid átfutást biztosítani. *Relatív prioritás* a külső, hátralévő műveletek szerint.



3.1. ábra



3.2. ábra

A termelésprogramozási rendszer felépítése off-line irányítási környezetben

Alapfeltevések:

(1) Ilyenkor a termelésprogramozási rendszer is *off-line*, *batch* (kötegelt) futtatásokkal működő rendszer, amelyet a műhelydiszpécser aktivál a szükség szerinti gyakorisággal.

(2) Az FMS termelésprogramozási rendszere számára:

- naprakészen hozzáférhetők az egész műhelyre vonatkozó rendelésállományból az FMS gépeire előírt munkák (sorozatok műveletei) egy tervperiódusra;
- elérhetők az FMS gépein végzendő műveletek technológiai adatai és az FMS gépeinek normaidő (kapacitás) adatai az egész műhely feladatainak *műszaki* (technológiai) *törzsadatállományában*.

(3) Az előző tervidőszak gyártási bizonylatainak kiértékelése alapján elvégezhető a teljesítések és befejezetlen állapotok vizsgálata a gyártott tételekre.

Ez azt is jelenti, hogy

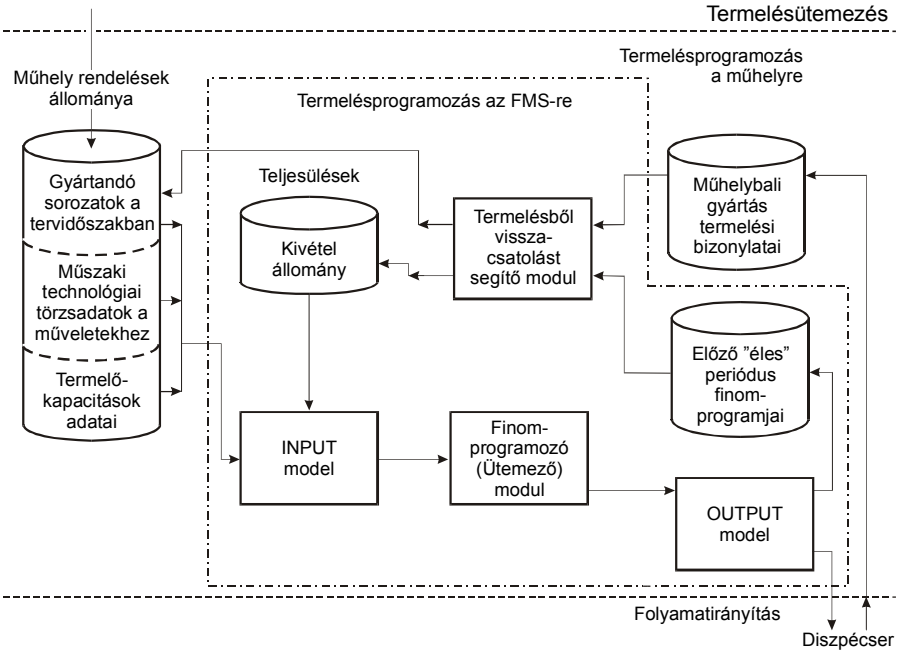
- a teljesítések leírhatók a műhely gyártandó tételeinek állományából;
- a *befejezetlen tételekből* a jelen tervidőszakra áthozott ún. *kivételállomány* képezhető, mint egyik input az aktuális finomprogram elkészítéséhez;
- megállapítható, hogy az FMS gépei milyen folyamatban lévő munkákkal és meddig vannak leterhelve.

E három lépés biztosítja a termelésből való visszacsatolást a termelés aktuális állapotáról.

A termelésprogramozási rendszer moduljai:

- az INPUT modul;
- a finomprogramozó (ütemező modul);
- a termelésből a visszacsatolást segítő modul és
- az OUTPUT modul.

  [lásd: 3.3. ábra]



3.3. ábra

A termelésprogramozási rendszer interfészei és működése

Az *off-line* irányítási környezetű termelés-programozási rendszer működése a 3.3. ábrán látható.

A termelésprogramozási rendszernek 4 interfészét célszerű létrehozni (*osztott* interfész a teljes rendszerre nézve):

(1) A felettes termelésirányítási szint, a termelés-ütemezés felé az INPUT modul jelenti a csatlakoztatási felületet. Ezen keresztül az alábbi adatok hozzáférhetők az FMS termelés-programozási rendszere számára:

- *gyártandó tételek a tervperiódusban* (sorozatok azonosítói, határidői, darabszámai és gyártandó műveletei);
- *a műszaki (technológiai) törzsadatok* az előbbi műveletekhez (egy-egy művelet azonosítóihoz az előírt gép kódja, műveleti idő, előkészületi idő, gyártóeszközök kódjai);
- *a termelőkapacitások normaidő adatai*.

(2) A felhasználói interfész itt a művezető *diszpécseré*, aki aktiválja a rendszert, megadván az aktuális dátumadatokat:

- a *termelésből visszacsatoló modul* az aktuális futtatási nap dátumát kapja (a kivétel-állomány már ezzel képződik);
- az *INPUT* modul megkapja a finom-programozási tervidőszak hosszát (az éles és az ajánlati programozási napok számát) és dátumállományát.

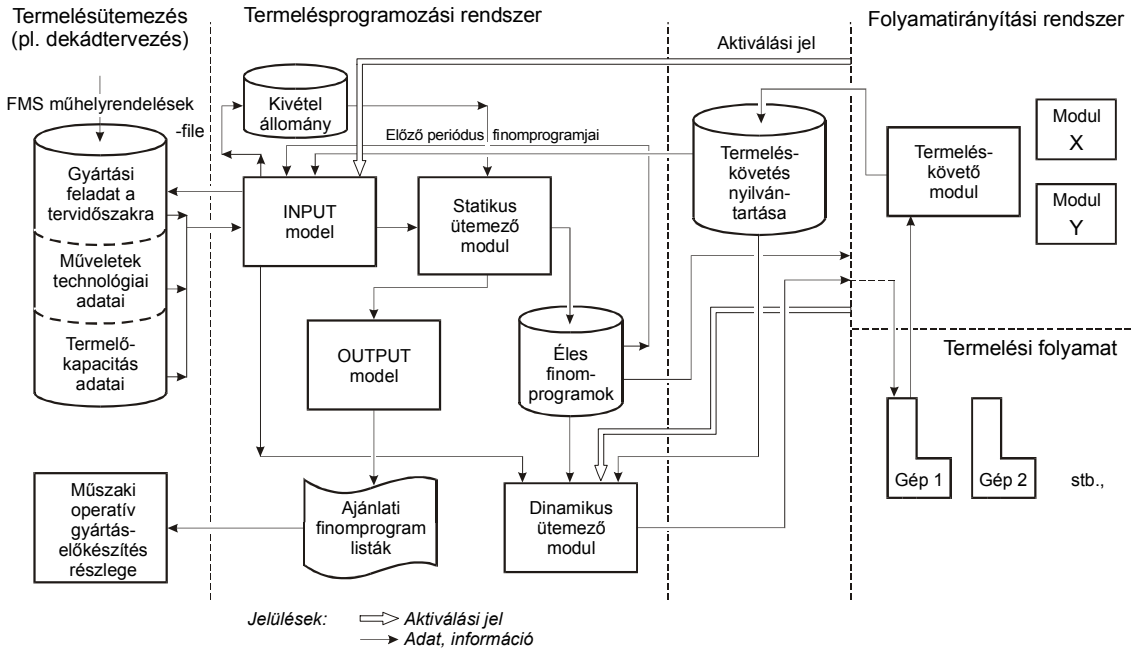
(3) A termelésből visszacsatoló modulnak nemcsak a művezető diszpécser (folyamatirányítás) felé van a (2)-ben leírt interfésze, hanem a *teljesült gyártási feladatok* leírásával a műhelyirányításon át a termelésütemezés felé is.

(4) A rendszer *OUTPUT* modulja jelenti az (*éles*) *finomprogramok tablóinak* és a *figyelmeztető listáknak* a generálásával az interfészt a folyamatirányítás (diszpécser) felé. Másrészt, az opcionálisan kérhető *ajánlati finomprogram listákon* keresztül a műszaki operatív gyártáselőkészítés (GYEK) felé ad interfészt.

4.2. A termelésprogramozási rendszer működése *on-line* üzemmód esetén

On-line, *real time* folyamatirányítású FMS esetén a rendszer rendkívül magas automatizáltsági fokú, önálló műhelyként működik, amelyben a diszpécser szerepét real-time termeléskövető program-modul veszi át. Ez azt jelenti, hogy a termeléskövetés háttértárolóra

írt nyilvántartásában minden befejezett lényeges gyártási tevékenység, valamint a valóságos gyártásban már elkezdett munkafázis gyakorlatilag azonnal megjelenik, naplózásra kerül. A rendszer része egy dinamikus ütemező modul, amely real-time döntésekre alkalmas. Szokványos, normális gyártási folyamat esetében ennek be-menetén a termeléskövetésből származó információk folyamatosan jelennek meg és kivitelezhetők magából a gyártási folyamatból az egyes gépek felszabadulása által kiváltott, real-time és gépekre elosztott döntések. Amikor egy gép felszabadul egy adott munkafázis alól, a gyártási folyamatirányító rendszer *aktiválja* működésre a dinamikus ütemező modult, amelynek emiatt nagyon gyorsnak kell lennie. Aktiválási jelként a gép meghibásodása esetén magas prioritású üzenet jelenik meg, amely azonnali intézkedésre készteti a dinamikus ütemező modult a meghibásodott gép fizikai várakozó sorának átütemezésére és a hibás gép helyettesítésének kezdeményezésére (3.4. ábra).



3.4. ábra