

Gyártási folyamat kapacitástervezése

Önálló projekt, szakmai gyakorlat II.
2021/2022 2. félév

Hatala Imre

Bevezetés

Ebben a félévben egy világszinten vezető száj- és fogápolási termékeket gyártó cég gyártási folyamatának kapacitástervezési problémájával foglalkoztam. A vállalatnak világszerte vannak gyárai, a gyárakban külön-külön kell optimalizálni a rendelkezésre álló eszközök kapacitását a jövőbeli kereslet kielégítésére. Tehát meg kell határozni, hogy az egyes eszközök adott időszakokban milyen anyagot, terméket állítsanak elő és milyen mennyiségben. A projekt keretein belül erre a feladatra fejlesztettem egy tervezéstámogató eszközt.

A gyártási folyamat

A gyártási folyamat két lépésből áll. Első lépésben egy keverőgép egy nagy tartályban kikeveri az anyagot, amiből majd a késztermékek készülnek. Ezután az anyagot kisebb, ún. puffer tartályba töltik és úgy használják fel a második lépésben. A puffer tartályt többször újratöltik a nagy tartályból, és a keverőgép mindaddig nem használható új feladatra, amíg a nagy tartály ki nem ürül. A második lépésben a kikevert anyagot egy gyártósoron tubusokba töltik, és így előállnak a késztermékek.

Az egyes eszközök, anyagok és késztermékek paraméterei különbözők, így változó, hogy melyik eszköz melyik anyagot, terméket tudja kezelni, és hogy egységnyi anyag, termék legyártása mennyi időt (kapacitást) vesz igénybe egy eszközön.

A tervezési folyamat

A tervezési folyamatban a gyártás két lépését egymástól teljesen függetlenül tervezik, noha azok a valóságban erősen összefüggnek. Adott, hogy az egyes időszakokban mennyi anyagot és mennyi készterméket kell legyártani és a termelési tervet ennek megfelelően állítják össze.

A tervezésre a vállalat jelenleg egy belső fejlesztésű Excel munkafüzetet használ, mint tervezéstámogató eszköz. A munkafüzetben meg lehet adni a gyár eszközeinek rendelkezésre álló kapacitását munkaórában, valamint a termelési tervet, amiből automatikusan számolódik az egyes eszközök kihasználtsága. Tervezni ezzel oly

módon lehet, hogy a termelési tervet lépésenként felépítve a tervező tud figyelni arra, hogy a terv az egyes eszközök kapacitását milyen arányban veszi igénybe. Ez azonban, bár a papír-ceruza megoldásnál kifinomultabb, mégis csak egy manuális, nehézkes tervezést tesz lehetővé, amelyből aligha születnek hatékonynak nevezhető termelési tervek.

Jellemző problémái a termelési terveknek, hogy az eszközök kihasználtsága nem egyenletes, egyes gépekre, gyártósorokra a rendelkezésre álló kapacitást meghaladó mennyiségű munka kerül betervezésre, míg más eszközök kihasználtsága elmarad az ideálistól. A fenti tervezési folyamat további gyengesége, hogy nem számol készletekkel, noha a termelésstervezésben alapvető szerepe van a készletnek.

Az új tervezéstámogató eszköz

Az általam készített eszköz egy optimalizáló applikáció. Az applikációt az AIMMS modellező nyelvben készítettem, amely amellett, hogy kiválóan alkalmas optimalizáló modellek építésére, kiemelkedő eszköztárral rendelkezik felhasználói felületet készítéséhez is.

Az applikáció optimalizálja a termelési tervet úgy, hogy a lehető legkevesebb összesített kapacitást igényelje, más szóval a fennmaradó szabad kapacitást maximalizálja. Az optimalizálás ezen kívül két extra funkcionalitást is tartalmaz. Egyrészt kezeli az eszközök túlterhelését oly módon, hogy ha másképpen nem elégíthetők ki az igények, akkor a minimálisan szükséges mértékben túlterheli a gépeket, de csak ebben az esetben. Másrészt készleteket is tud kezelni, figyelembe véve a megkövetelt készletfolyosót.

A matematikai modell

Az applikáció a következő LP-moddellel dolgozik.

Indexek:

s : gyártósorok

p : késztermékek

t : időszakok

Paraméterek:

D_{pt} : a p termékre vonatkozó igény a t időszakban

U_{spt} : egy egység p termék legyártáshoz szükséges kapacitásigény az s gyártósoron a t időszakban

K_{spt} : az s gyártósoron lehet-e gyártani a p terméket a t időszakban

C_{st} : az s gyártósor kapacitása a t időszakban

S_p^{kezd} : a p termékből rendelkezésre álló készlet a tervezési horizontot elején

S_{pt}^{min} : a p termékből szükséges minimális készlet a t időszak végén

S_{pt}^{max} : a p termékből tárolható maximális készlet a t időszak végén

M : a gyártósorok maximális kapacitáson túli kihasználtságának összesített maximuma

Változók:

x_{spt} : az s gyártósoron a p termékből mennyit gyártunk a t időszakban

$$(\forall s, p, t : K_{spt})$$

k_{pt} : a p termékből rendelkezésre álló készlet a t időszak végén $(\forall p, t)$

v_{st} : az s gyártósor maximális kapacitáson túli kihasználtsága a t időszakban

$$(\forall s, t)$$

Célfüggvény:

$$\min \sum_{s,t} \sum_p U_{spt} \cdot x_{spt}$$

Korlátok:

$$\sum_p U_{spt} \cdot x_{spt} \leq C_{st} + v_{st} \quad \forall s, t \quad (1)$$

$$S_p^{kezd} + \sum_s x_{spt_1} = D_{pt_1} + k_{pt_1} \quad (2a)$$

$$k_{pt_i} + \sum_s x_{spt_j} = D_{pt_j} + k_{pt_j} \quad \forall s, t_i, t_j : i = j - 1, j > 1 \quad (2b)$$

$$S_{pt}^{min} \leq k_{pt} \quad \forall p, t \quad (3)$$

$$k_{pt} \leq S_{pt}^{max} \quad \forall p, t \quad (4)$$

$$\sum_{s,t} v_{st} \leq M \quad (5)$$

Az (1) korlát biztosítja, hogy ne terheljük túl a gyártósorokat, vagy csak a minimálisan szükséges mértékben. A (2a) és (2b) egyenletek biztosítják, hogy az igény, gyártás és készlet mennyisége konzisztens legyen. A (3) és (4) korlátok biztosítják a megkövetelt készletfolyosót, (5) pedig korlátozza a gyártósorok összesített túlterhelését.

A modellt a késztermékek gyártására írtam fel, aholis minden változó nem-negatív. Igaz ugyan, hogy a valóságban nem lehetséges törtértékű terméket gyártani, azonban a termelési terv szempontjából a kerekített eredmény megfelelő lesz, a tört érték elhanyagolható. A gyártási folyamat első lépésére ugyanez a modell érvényes, csak gyártósorok helyett keverőgépekkel és késztermékek helyett anyagokkal. Azonban az anyagokat csak tartályokban, nagy mennyiségben lehet kikeverni, így itt a gyártásra vonatkozó x változónak már egészértékűnek kell lennie. Az LP-modell eredményének kerekítése itt nem jó megoldás, mert egy tartály több tonna anyagot tartalmaz, ami a teljes termelési terv szempontjából is jelentős mennyiség. Itt tehát át kell térniük IP-modellre.

Az optimalizálás mindkét gyártási folyamat esetén két fázisban történik:

1. Meghatározzuk, a minimálisan szükséges összesített kapacitás túlterhelést. Ha ez nulla, akkor a gépek kapacitása elegendő az igények kielégítéséhez. Ehhez a fenti modellt használjuk két módosítással: az (5) korlátra most még nincs szükség, a célfüggvény pedig az összesített kapacitástúlterhelés minimalizálása lesz: $\min \sum_{s,t} v_{st}$.
2. Az M paraméternek értékül adjuk az első fázis célfüggvényének optimumát, majd futtatjuk a teljes fenti modellt.

Az applikációban megadhatók optimalizálási beállítások is, úgy mint időkorlát és relatív optimum tolerancia, illetve a keverőgépek és anyagok tervezése is futtatható LP-modellként tekintettel arra az esetre, ha mégis megengedhetők részlegesen megtöltött tartályok.

Előnyök, eredmények

Már az is nagy előrelépés lenne, hogy az applikációval elhanyagolható mértékűre csökken a tervezési idő, nem beszélve arról, hogy a manuális tervezéshez képest mennyivel hatékonyabb terv készül. Az eszközök túlterhelése még minimális variációs lehetőségek mellett is nagyjából a felére csökkent a manuális tervezéshez képest.

A gyorsaság és könnyű kezelhetőség pozitív hozadéka, hogy könnyen lehet elemezni különböző üzleti scenáriókat, úgy mint az igények lehetséges változása, különböző készletfolyosók alkalmazása, vagy az eszközök fejlesztése. Utóbbi alatt egyaránt lehet gondolni a kapacitás bővítésére, valamint arra, hogy mely anyagok, termékek gyárthatók az adott eszközön. Nem utolsó sorban pedig egy ilyen optimalizáló modell nagy előnye, hogy egyszerűen bővíthető, könnyen tovább lehet fejleszteni.

Lehetséges fejlesztési irányok

Egyszerű és kézenfekvő bővítése a modellnek, hogy – a kapacitás korlát megsértése helyett – megengedjük az igények nem teljesítését. Míg a túlterhelés engedésével azt lehet vizsgálni, hogy mely gépek teljesítménye jelent szűk keresztmetszetet a termelési rendszerben, addig ezzel a módosítással arra kaphatunk választ, hogy mely termékek igényének kielégítése szűk keresztmetszet. Ehhez a módosításhoz a v_{st} változók mintájára be kell vezetni új e_{pt} nemnegatív eltérésváltozókat, amelyek segítségével relaxáljuk a (2a) és (2b) korlátokat.

$$S_p^{kezd} + \sum_s x_{spt_1} = D_{pt_1} - e_{pt} + k_{pt_1} \quad (2a')$$

$$k_{pt_i} + \sum_s x_{spt_j} = D_{pt_j} - e_{pt} + k_{pt_j} \quad \forall s, t_i, t_j : i = j - 1, j > 1 \quad (2b')$$

Ekkor természetesen a v_{st} változókat ki kell hagyni a modelltől, helyettük az e_{pt} változókkal kell futtatni az optimalizálás két fázisát.

Egy másik lehetséges fejlesztési irány, hogy megpróbáljuk a gépeket minél egyenletesebben leterhelni. Ehhez a következő módosításokat kell tenni. Vezessünk be z_t nemnegatív változókat, amelyek az adott időszak maximális kihasználtságát reprezentálják. Vezessünk be egy új korlát, amely ezt biztosítja.

$$\sum_p U_{spt} \cdot x_{spt} / C_{st} \leq z_t \quad \forall s, t \quad (6)$$

Az optimalizálás második fázisában a célfüggvényt módosítsuk úgy, hogy a z_t változók összegét minimalizáljuk: $\min \sum_t z_t$.

Nem utolsó sorban pedig fontos fejlesztési irány a keverőgépek és a gyártósorok termelési tervének összehangolása. Ehhez szükség van még további input adatokra, amelyekből kiderül, hogy az egyes késztermékek milyen anyagokból állnak elő.