

Rozvrhovanie procesov mixmodelovej montážnej linky použitím simulácie - efektívny nástroj štíhlej výroby v automobilovom priemysle.

Ing. Marek Kňazík

Volkswagen Slovakia, a.s

&

Prof. Ing. Milan Gregor PhD.

Slovenské Centrum Produktivity

1. Úvod

Problémy v automobilovom priemysle sa stávajú jednými z najkomplexnejších nielen svojim obsahom, ale aj dopadom na ekonomiku štátu. Automobilové trhy sú na celom svete nasýtené a tu vyvstáva otázka, ako dať zákazníkovi to isté za menej peňazí, alebo viac za rovnakú cenu. Odpoveďou je komplexné prehodnotenie stratégie automobilového výrobcu, hľadanie reálnych rezerv a optimalizácia procesov od vývoja produktu cez výrobu až po zvyšovanie kvality služieb zákazníkom.

Dodávateľska sieť spoločne s výhodnou geografickou polohou a priaznivým ekonomickým prostredím sa stali najdôležitejšími faktormi v rozhodovacom procese vedenia firiem PSA – Peugeot, Citroen a firmy Hyundai. Na Slovensku tak budú vybudované dve nové automobilky. Už v súčasnosti patrí Slovensku desiatu priečku vo svete, v počte vyrobených automobilov na 1 obyvateľa. Výstavbou novej fabriky v Trnave a v Žiline a ďalším nárastom produkcie vo Volkswagene Slovakia sa plánuje po roku 2006 na Slovensku celková produkcia osobných trištvrte milióna osobných automobilov. Vstup nových hráčov v oblasti automobilovej výroby na náš trh podnieti ešte viac rozvoj subdodávateľskej siete. Očakáva sa výstavba nových kapacít pre výrobu komponentov. Automobilový priemysel tak bude stabilizujúcim prvkom nášho národného hospodárstva a riešenie kľúčových problémov tohoto segmentu otvára úplne nové možnosti implementácie najnovších technológií a prístupov.

Vďaka spoločnosti Volkswagen Slovakia a následnému rozvoju lokálnej subdodávateľskej siete sa automobilový priemysel v poslednom desaťročí na Slovensku stal motorom rastu konkurencieschopnosti. Pre nadnárodný automobilový koncern akým je Volkswagen, PSA či Hyundai je povinnosťou klásť si vysoké nároky na analýzu a optimalizáciu výrobných a logistických procesov. Preto rozvrhovanie procesov montážnych liniek a optimalizačné postupy rozvrhovania produkcie do linky sa stávajú pre montáž automobilu jedným z kľúčových prostriedkov úspechu na ceste k zavedeniu štíhlej výroby.

2. Čo je rozvrhovanie výrobných operácií ?

Rozvrhovanie výrobných operácií sa zaoberá problémom vyvažovania požiadaviek na výrobu a disponibilných výrobných kapacít. Udržovanie rovnováhy medzi požiadavkami na výrobu a dostupnými výrobnými kapacitami je každodennou úlohou riadiacich pracovníkov, ktorí rozhodujú o dynamickom pridelovaní výrobných objednávok, efektívnom využití zdrojov a splnení dodacích termínov. [4]

Naplánovanie existujúcich a nových výrobných úloh pri danom stave rozpracovanosti, tak aby boli splnené všetky požiadavky zákazníka a firma bola zisková,

sa často označuje aj ako finálne kapacitné plánovanie (Final Capacity Planning) u nás známe viac pod názvom rozvrhovanie výrobných operácií (rozvrh výroby, výrobný rozvrh, rozvrh výrobných úloh).

2.1 Čo je úlohou rozvrhovania výroby ?

Úlohou rozvrhovacieho modulu je vyriešiť dva problémy:

- **Priradenie operácií (Line balancing)** – priradiť operácie, ktoré je potrebné vykonať na jednotlivých výrobkoch daným výrobným zariadeniam (vytvoriť fronty úloh pred pracoviskami). Toto je takzvaný **problém priradenia**, alebo aj u nás známejšie **zadávanie do výroby**. Jeho cieľom je navrhnúť *profil vyťaženia* kapacitných jednotiek. Priradenie by malo byť realizované tak, aby sa dosiahlo rovnomerné vyťaženie jednotlivých pracovísk linky (vyváženie linky), aj preto sa v angličtine často tento krok označuje ako **loading**. Pri priradovaní sa získava len hrubý rozvrh, využívajú sa priemerné časy čakania a transportu.
- **Určenie sekvencie spracovania (Sequence scheduling)** – určiť, v akom poradí budú jednotlivé výrobné úlohy spracovávané vo výrobnom systéme tak, aby priebežná doba bola minimálna, využitie zariadení maximálne s ohľadom na aktuálne množstvo skladovaných dielov. Toto je takzvaný **problém sekvencie spracovania (sequencing)**. V tomto kroku sa už realizuje presný krátkodobý plán (rozvrh), s uvažovaním všetkých interakcií.

3. Priradovanie.

V prvom kroku rozvrhovania sa v danom plánovacom horizonte kumulujú pre uvedené plánovacie periódy všetky kapacitné požiadavky na jednotlivé pracoviská. Takto sa získa *hrubá* predstava, aké kapacitné vyťaženie budú mať v jednotlivých periódach daného plánovacieho horizontu jednotlivé pracoviská. Priradenie tak dáva možnosť určiť, ktoré pracoviská sú málo vyťažené a ktoré sú naopak preťažené – *vyvažovanie linky (line balancing)*. Pri priradovaní sa využívajú časy procesov získané z pracovných štúdií.

Problém vyvažovania linky je analogický problému priradovania a využitia prostriedkov pri sieťovej analýze a často sa pre jeho riešenie využívajú obdobné postupy. Vyvažovanie liniek zostáva veľmi aktuálne aj v súčasnej dobe, dobe nasadzovania automatizovaných výrobných systémov.

Pri vyvažovaní liniek sa vyskytujú dva základné typy problémov, ktoré je potrebné riešiť:

1. rozčlenenie úloh medzi zdroje (pracovníkov, stroje...) tak, aby tieto boli rovnomerne vyťažené a ich počet bol minimalizovaný pri dodržaní požadovanej rýchlosti výroby. Počet a poradie technologických operácií i operačné časy sú dané výrobným postupom. Takt linky určuje kumulatívna úloha výrobného plánu (alebo je daný zákazníkom). Úlohou je určiť taký počet pracovísk, ktorý zaistí minimálne časové straty na linke.
2. Alebo naopak, známy je počet zdrojov (napríklad montážnych pracovníkov) i počet, poradie a dĺžka trvania technologických operácií. Úlohou je priradiť

výrobné operácie tak, aby rýchlosť výroby bola maximalizovaná (minimalizácia času montážneho cyklu) alebo ináč povedané určiť takt výroby.

Okrem týchto základných úloh existujú i takzvané kombinované problémy, pri ktorých je daný výrobný postup (počet, poradie a trvanie operácií) a úlohou je určiť taký takt linky a počet pracovísk, aby celková doba prestojov na jednotlivých pracoviskách linky bola minimálna.

4. Vyvažovanie montážnej linky automobilu (MALBP).

Hromadná výroba viedla k rozvoju montážnych liniek, ktoré vyrábajú montované výrobky na určených miestach pri dosiahnutí vysokej účinnosti. Vysoká účinnosť, znemožňujúca flexibilitu (rýchlo vyrobiť a doručiť výrobky podľa poradia) iniciovala potrebu prepočítania a modelovania variantnosti rozdielov vznikajúcich na montážnych linkách. Takéto prepočty pomáhajú realizovať vyvažovanie montážnych liniek tak, že linka môže poskytovať požadovanú variantnosť na určenom mieste. Problémy vyvažovania montážnej linky sa týkajú pridelenia úloh pre montáž produktu medzi pracoviskami. Sú postavené na prioritných vzťahoch úloh a schopnosti pracovísk maximalizovať buď výrobné množstvo, alebo minimalizovať počet pracovísk. [3]

Montážne linky ponúkajú širokovariantnú paletu procesov a sú preto predurčené k testovaniu rozvrhov procesov. Pre lepšie pochopenie problematiky rozvrhovania montážnych liniek uvádzame ako názornú ukážku všeobecný príklad vyvažovania procesov montážnej linky výroby automobilov s podporou počítačovej simulácie. Tento názorný model bol vyvinutý v simulačnom systéme firmy LANNER GROUP® – WITNESS®. Tento simulačný systém svojimi užívateľskými vlastnosťami prináša do problematiky, akou je vyvažovanie procesov výroby automobilov, transparentný pohľad aj pre laikov.

4.1 Prípadová štúdia vyvažovania montážnej linky výroby automobilu pomocou simulácie.

Montážna linka je reprezentovaná zjednodušeným modelom pozostávajúcim z jedného montážneho tímu s 9 pracoviskami, 20 operáciami a tromi druhmi výbav automobilu. Pomocou jednoduchého algoritmu sme vyvažovali montážne procesy za účelom zníženia počtu pracovísk a zvýšenia vyťaženia pracovísk. Simulačný model bol vytvorený v simulačnom prostredí WITNESS®. [1] [5].

Druh auta	Pracovisko	Čas procesu	Názov procesu
1 1 1	1	2.00	káblovanie predné pravé dvere
1 0 1	1	1.00	káblovanie predné ľavé dvere
0 1 1	2	3.00	káblovanie zadné pravé a ľavé dvere
1 1 1	2	4.00	manipulácia kokpitu
1 0 0	2	5.00	káblovanie aut.ot.predných zrkadiel
1 1 1	3	2.00	montáž dverových obkladov predné dvere
0 1 1	3	1.00	káblovanie mech.ot.predných zrkadiel
1 0 1	4	2.00	montáž dverových obkladov zadné dvere
1 1 1	4	3.00	montáž prednej pravej a ľavej sedačky
1 1 1	4	3.00	montáž zadnej pravej a ľavej sedačky
1 1 0	5	4.00	montáž bočných prahov
1 1 1	6	2.00	káblovanie a obkladanie zadnej kapoty
1 0 1	6	2.00	montáž strešného okna
1 1 1	7	4.00	montáž podvozku
0 1 1	7	5.00	dodatočná montáž 4motion
1 1 1	7	2.00	montáž kolies
1 0 1	8	1.00	montáž antény na rádio
1 1 0	8	2.00	montáž rádia
1 1 1	9	1.00	vkladanie kobercov

Obr. 1 Matica s názvom VYVAZENIE*

* - časy procesov a ich následnosti sú pre názornú ukážku prípadovej štúdie zovšeobecnené.

Úlohou výrobného manažéra je odpovedať na otázku: *Aký počet pracovníkov na zmenu potrebujeme mať na montážnej linke pri takte 11 minút (41 vozidiel / smenu) na výrobu troch druhov výbav vozidiel, keď výrobný program požaduje pomer výbav 6:7:8 ?*

Matica VYVAZENIE obsahuje v sebe 5 premenných. Prvé tri stĺpce reprezentujú výskyt operácií (dielcov) pre tri druhy výbav automobilu. (1 – výskyt, 0 – nevyskytuje sa). Štvrtý stĺpec udáva číslo pracoviska, na ktorom sa operácie budú vykonávať. Piaty stĺpec charakterizuje normovanú časovú spotrebu pre výkon operácie. Pre zhrnutie máme v tíme 20 operácií, 9 pracovísk a 3 druhy výbav vozidla. Algoritmus v úvodnej fáze načíta maticu VYVAZENIE do pracovnej matice s názvom CYKLUS_PRACOVISKA (3,9), v ktorej riadok je typ výbavy a stĺpec číslo pracoviska. Vid' obrázok č. 2.

Typ výbavy	Císlo pracoviska								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3.00	9.00	2.00	8.00	4.00	4.00	6.00	3.00	1.00
2	2.00	7.00	3.00	6.00	4.00	2.00	11.00	2.00	4.00
3	3.00	7.00	3.00	8.00	6.00	4.00	11.00	1.00	4.00

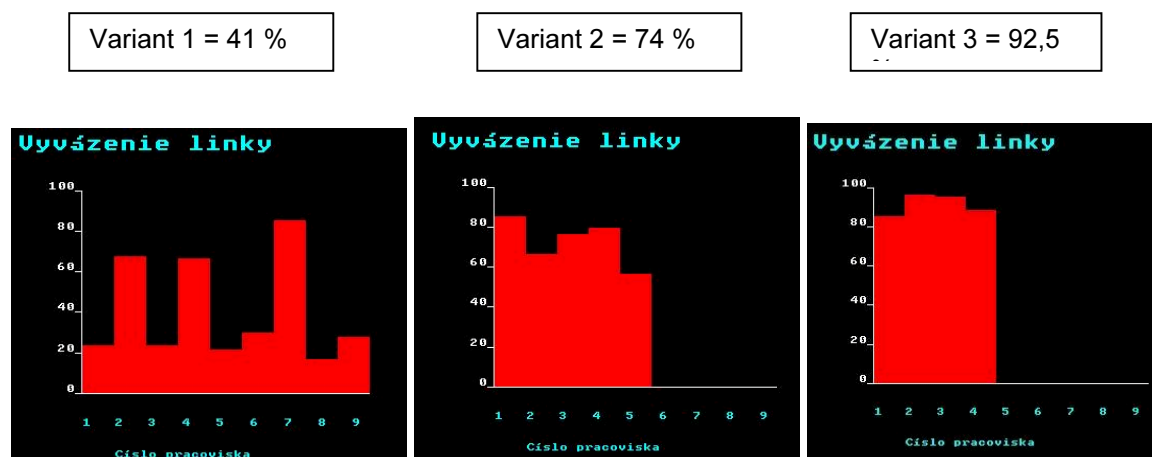
Obr. 2 CYKLUS_PRACOVISKA - matica operačných časov

V druhom kroku simulačný systém načíta výrobný program z pevného sekvenčného rozvrhu s názvom ROZVRH. Prvý stĺpec je druh výbavy vozidla, druhý je množstvo po sebe idúcich rovnakých druhov výbav.

1	20
2	15
3	25
1	10
2	20
3	15

Obr. 3 ROZVRH výrobného programu.

Po realizácii simulácie v trvaní 5000 minút sme získali z horeuvedených vstupných hodnôt výsledky, ktoré znázorňuje variant 1 na obrázku č.4. Ako je vidieť na obrázku, percentuálne vyťaženie pracovníkov na montážnej linke je 24, 68, 24, 66, 22, 30, 90, 18 a 28 %. Celkové vyťaženie montážneho tímu je 41 %, čo predstavuje veľmi nízku hodnotu.



Obr. 4 Grafická interpretácia vyťaženia pracovísk jednotlivých variantov

Pri simulačnom experimentovaní je možné vstupné hodnoty (faktory) simulačného modelu meniť, pričom zmeny vstupov prinášajú zmenu vyťaženia montážnych pracovísk. Po optimalizácii priradenia pracovných operácií vznikla matica vstupných údajov, kde namiesto pôvodných 9 pracovísk je obsadených 5 pracovísk, pričom celková hodnota spotreby časov úvodného zadania sa zachováva. Vstupujúca sekvencia do simulačného modelu (výrobný program) sa od pôvodného zadania nemení. Výsledkom po prvej optimalizácii priradenia pracovných operácií montážnemu tímu je oproti pôvodnému vyťaženiu 41 % nové vyťaženie 74 %, so súčasou úsporou 4 pracovísk.

Experimentálnym vyhodnocovaním možných variantov pri dodržaní sekvencie výrobného programu sme získali po ďalšej optimalizačnej fáze priradenia úsporu ďalšieho pracoviska, pričom vyťaženosť montážneho tímu vzrástla na 92,5 % (viď obrázok č. 4 - variant 3). Pri aplikácii statických algoritmov pre vyváženú linku, optimalizácia končí. Pri využití dynamickej simulácie existuje možnosť pokračovať v ďalšej optimalizácii a to optimalizáciou rozvrhu vstupujúcej sekvencie vozidiel do linky. Simulácia nám umožňuje hľadať ďalšie riešenia pri dodržaní taktu na pracovisku (prácnosť operácií na pracovisku < takt) tým, že dokáže sekvenčne riadiť vstup vozidiel do montážneho systému. V konečnom dôsledku sa tak dokážeme bližšie priblížiť k 100 %-nému využitiu pracoviska. Ak by sme v zlepšovaní pokračovali, bez obmedzenia, dosiahli by sme úsporu ďalšieho pracoviska, no na druhej strane by celkové vyťaženie montážnej linky prekročilo 100 %.

Záver

Rozvrhovanie výrobných operácií a produkcie pomocou simulácie výrobných systémov je vo svete vo všetkých priemyselných odvetviach (letecký, automobilový, strojársky, farmaceutický, chemický, potravinársky atď.) čoraz intenzívnejšie používaným nástrojom optimalizácie. Simulácia umožňuje rýchlo a ľahko porozumieť procesom a ako nástroj rozvrhovania procesov je výhodná v prípadoch keď hľadáme odpovede na otázky, čo sa stane ak ? - „What if“ – prediktívneho plánovania a alternatívneho rozhodovania sa. Simulácia poskytuje obrovský potenciál na hľadanie rezerv u procesov, ktoré sú popísané statickými metódami merania práce. Tieto metódy nezohľadňujú interakcie okolitých

sériových a paralelných procesov, čím môže v realite v danom časovom okamihu dochádzať k permanentným nežiaducim kolíziám. Prax vyžaduje rýchle nástroje, ktoré poskytujú kvalitné výsledky. Takéto riešenia sú v súčasnosti realizované v spoločnosti Volkswagen Slovakia, a.s.

Literatúra

- [1] Humusoft CZ – materiály firmy: <http://www.humusoft.cz/>
- [2] Witness Model: Vyvažovania montážnych procesov – všeobecný model Linka_1.mod : Line Balancing at the Car Company X, 2003. – Lanner Group
- [3] MONDEN, Y.: „Toyota Production System: New Sequence Scheduling Method for Smoothing, 3 Edition, 1998.
- [4] GREGOR, M. - MIČIETA, B. - KOŠTURIÁK, J. - BUBENÍK, P. - RÚŽIČKA, J.: Dynamické plánovanie a riadenie výroby, Žilinská Univerzita, Žilina, 2000.
- [5] Lanner UK – materiály firmy: <http://www.lanner.com/>

Ing. Marek Kňazík,
Volkswagen Slovakia, a.s.
J. Jonáša 1, 843 02 Bratislava
tel.: +421-2 6964 2440, fax.: +421-2 6964 2519, e-mail: marek.knazik@volkswagen.sk

Prof. Ing. Milan Gregor PhD.
Žilinská Univerzita v Žiline
Slovenské Centrum Produktivity
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
tel.: +421-41 5132 747, fax.: +421-41 5131502, email: gregor@slcp.sk