

# ***Analýza rozvrhování pracovníků a výrobní mix***

*Konference Witness  
květen 2009*

*Jan Vavruška*



*TU v Liberci - Katedra výrobních systémů  
[www.kvs.tul.cz](http://www.kvs.tul.cz)  
[jan.vavruska.tul.cz](mailto:jan.vavruska.tul.cz), tel.: 48 535 3358*

# Anotace

Na Katedře výrobních systémů se řadu let využívá počítačová simulace pro řešení celé řady problémů od analýzy materiálových toků až po řízení výroby. Tato presentace se zaměřuje na možnosti využití počítačové simulace v oblasti rozvrhování pracovníků při výrobním mixu. Problematika bude stručně presentována na konkrétním příkladu firmy zabývající se repasí skleníkových svítidel. V krátkosti budou představeny důvody pro využití počítačové simulace a modely různých strategií rozvrhování pracovníků. Diskutována bude i oblast využití optimalizačního modulu Optimizer.

## ***Cíle projektu***

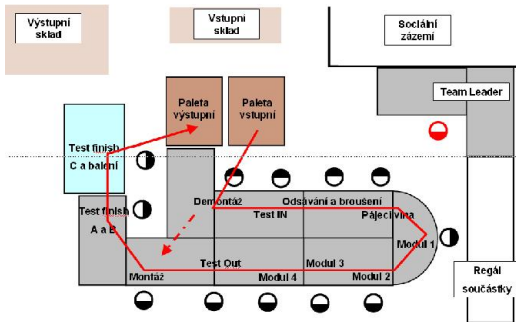
- Analyzovat vhodnost rozvržení pracovníků při zachování struktury operací
- Provéřit vliv výrobního mixu na pokles produktivity

### **Výrobní úsek**

Repase skleníkových svítidel Gavity v několika variantách provedení



# Layout

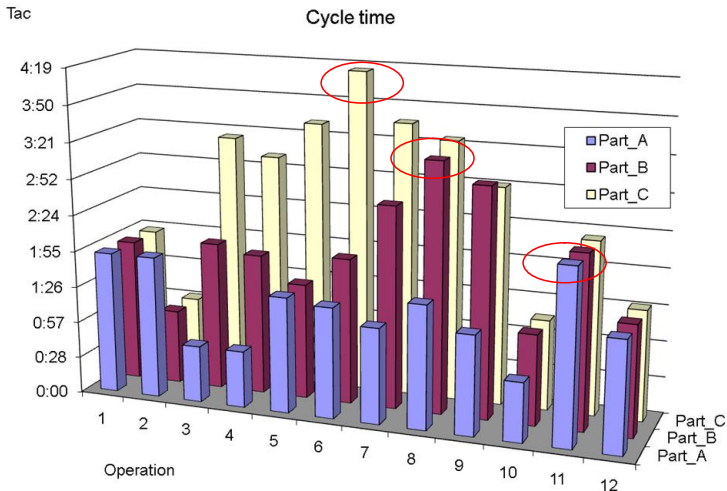


- Požadavek na One piece flow
- Limity technologie, FMEA, dílčí toky

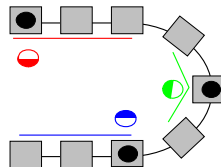
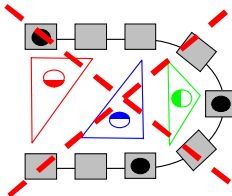
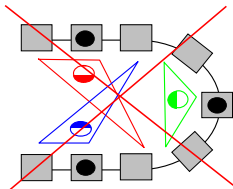
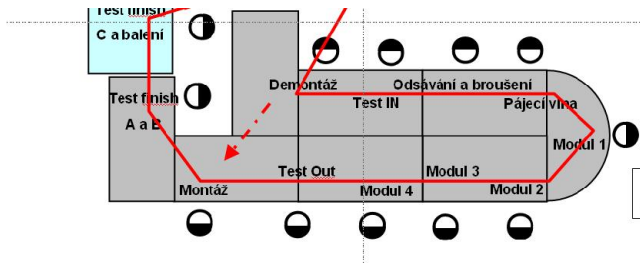
# ***Tabulka časů operací - Gavity***

| <b>Operace</b>                  | <b>OP.č.</b> | <b>M</b>     | <b>R1</b>    | <b>R2</b>    |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Demontáž                        | 1            | 1:53         | 1:53         | 1:53         |
| Test In                         | 2            | 0:59         | 0:59         | 0:59         |
| Odsávání                        | 3a           | 0:45         | 1:58         | 3:16         |
| Broušení                        | 3b           | 0:45         | 1:52         | 3:03         |
| Pájecí vlna                     | 4            | 1:32         | 1:32         | 3:32         |
| Modul 1                         | 5            | 1:28         | 1:56         | 4:15         |
| Modul 2                         | 6            | 1:16         | 2:41         | 3:37         |
| Modul 3                         | 7            | 1:38         | 3:18         | 3:26         |
| Modul 4                         | 8            | 1:19         | 3:02         | 2:53         |
| Test Out1                       | 9            | 0:47         | 1:12         | 1:12         |
| Montáž                          | 10           | 2:18         | 2:18         | 2:18         |
| Test Out2                       | 11           | 1:28         | 1:28         | 1:28         |
| Balení                          | 12           | 1:50         | 1:50         | 1:50         |
| <b>Teoretická průběžná doba</b> |              | <b>17:58</b> | <b>24:59</b> | <b>32:42</b> |

# Časy operací Gavity



# Zjednodušení - vnější layout



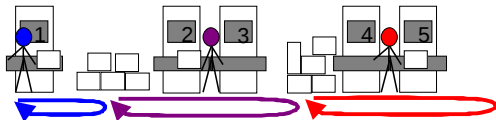
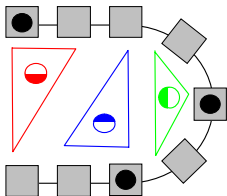
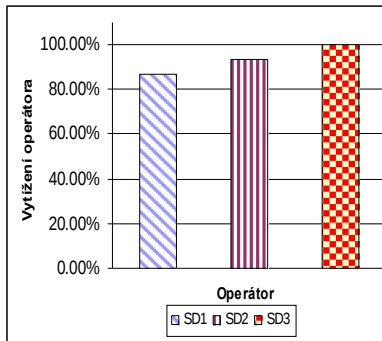
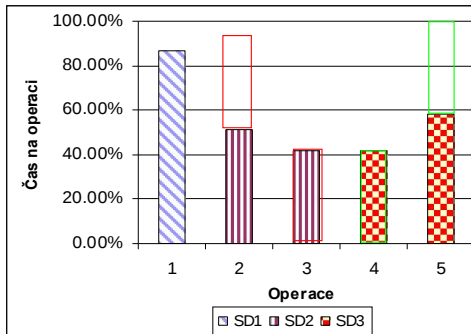
## ***Analytický přístup***

umožňuje navrhnout rozvržení pracovníků dle počtu operátorů samostatně pro každý typ výrobku

## ***Witness Optimizer***

„rychlý“ návrh rozvržení pracovníků dle počtu operátorů pro jednotlivé varianty a také pro různé výrobní mixy

# Yamazumi Board



## Rozmístění pracovníků alternativy - varianta A

[illegible]

# Witness Optimizer

## Rozmístění pracovníků alternativy – výrobní MIX

pro výrobní mix 85/10/5

| time 1000 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | nship |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|
| LB1       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 48    |
| LB2       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 101   |
| LB3       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3  | 3  | 3  | 149   |
| LB4       | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4  | 4  | 4  | 202   |
| LB5       | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4  | 5  | 5  | 231   |
| LB6       | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5  | 5  | 6  | 258   |
| LB7       | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6  | 6  | 7  | 281   |
| LB8       | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6  | 7  | 8  | 311   |
| LB9       | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7  | 8  | 9  | 336   |
| LB10      | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8  | 9  | 10 | 363   |
| LB11      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 9  | 10 | 11 | 369   |
| LB12      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 366   |

pro výrobní mix 60/30/20

| time 1000 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | nship |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|
| LB1       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 54    |
| LB2       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 80    |
| LB3       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3  | 3  | 3  | 117   |
| LB4       | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3  | 4  | 4  | 162   |
| LB5       | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4  | 4  | 4  | 162   |
| LB6       | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5  | 6  | 6  | 212   |
| LB7       | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6  | 7  | 7  | 241   |
| LB8       | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7  | 8  | 8  | 266   |
| LB9       | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 9  | 263   |
| LB10      | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 9  | 10 | 278   |
| LB11      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 | 11 | 279   |
| LB12      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 279   |

Pokles produktivity pro 12 pracovníků o cca 23,5%

## ***Alternativní strategie rozvrhování pracovníků***

- Samostatná pracoviště
- One piece flow - Caravans
- Bucket brigades

## ***Stabilizace mixu***

- Samostatné procesy
- Dávková výroba
- Výroba v sekvencích

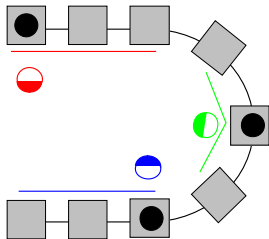
# ***Alternativní Strategie rozvrhování práce***

- *Tok jednoho kusu - karavana*

***One piece flow – Caravans***

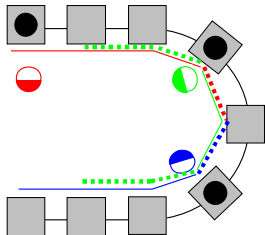
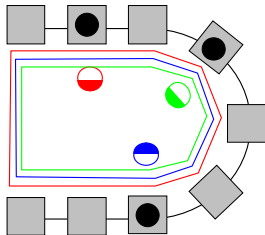
- *Hašení požáru*

***Buckets Brigades***



**Line balancing**

**One piece flow  
- Caravans**

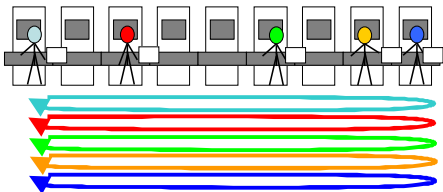
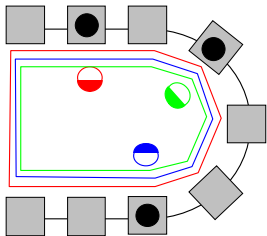


**Buckets Brigades**

# One piece flow - Caravans Tok jednoho kusu - karavana

Každý pracovník musí zvládnout celý proces

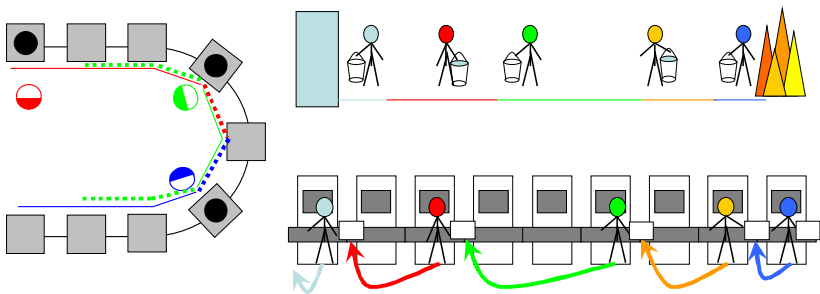
Základní předpoklad - stejný výkon všech členů  
výrobního týmu = stejná zapracovanost operátorů



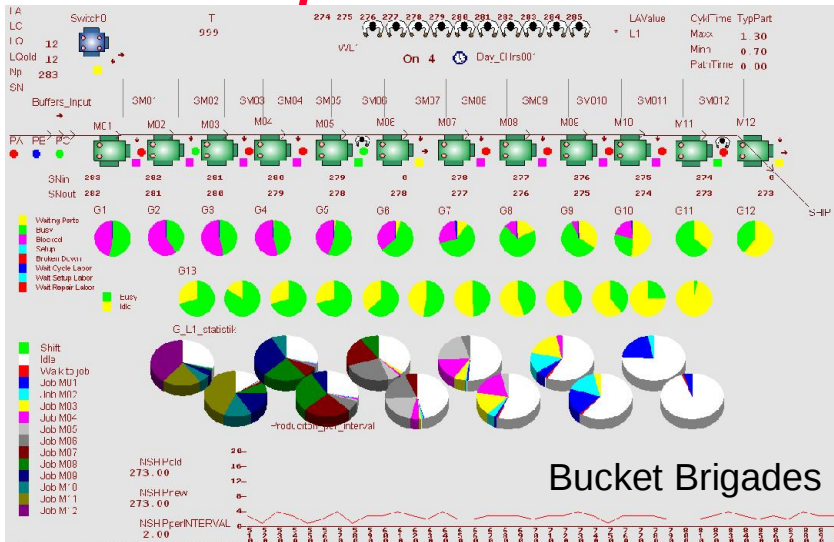
# Bucket Brigades *Hašení požáru*

Hašení požáru – dynamické dělení výrobních úkonu ve výrobním procesu

Základní předpoklad – vzestupná zapracovanost operátorů



# Model v prostředí Witness



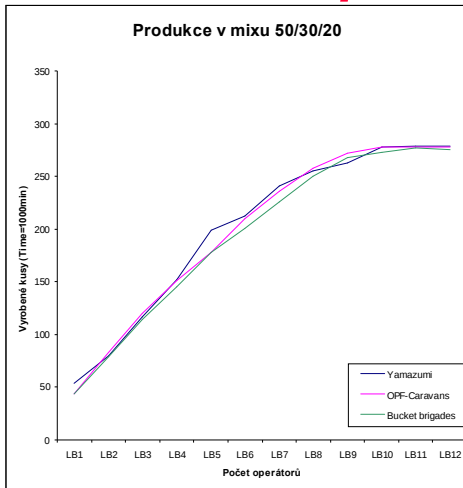
# 1. experiment – lidský faktor

1. krok základní model (bez stochastiky)
2. krok faktor ruční práce (stochastika cyklových časů - TRIANGLE distribution ( $0.8 \cdot CT, CT, 1.2 \cdot CT$ ))
3. krok faktor skill operátora (zpracovanost operátora)

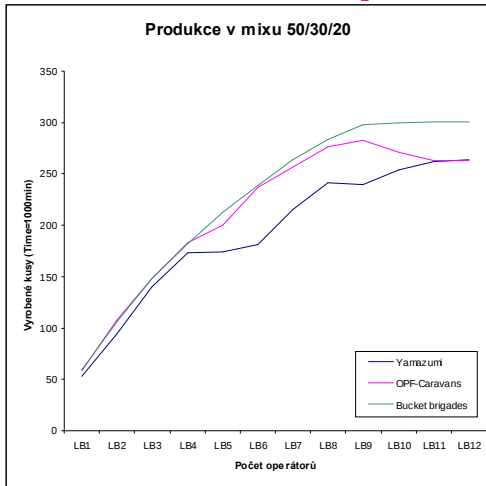
| Labor | Number of operations |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 1     | 130%                 | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% |
| 2     | 130%                 | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% | 130% |
| 3     | 115%                 | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% |
| 4     | 115%                 | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% | 115% |
| 5     | 100%                 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 6     | 100%                 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 7     | 85%                  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  |
| 8     | 85%                  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  | 85%  |
| 9     | 70%                  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  |
| 10    | 70%                  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  | 70%  |

Matice zpracovanosti operátorů

# Srovnání strategií bez zohlednění zapracovanosti operátora



# Srovnání strategií se zohledněním zapracovanosti operátora



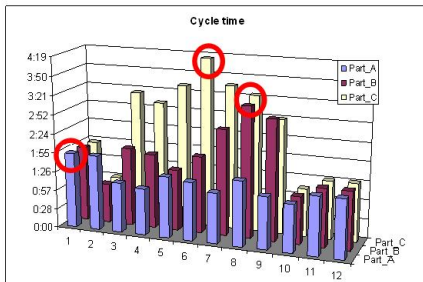
## **2. experiment - výrobní MIX**

1. zjištění základní hodnoty Make span pro velké výrobní dávky A 250ks, B 150ks, C 100ks
2. Make span pro JIS dle pořadí zákazníka (Procentuální rozdělení A50%,B30%,C20%)
3. Make span pro krátké sekvence podle typů výrobku A 25ks, B 15 ks, C 10 ks .....

Make span = je čas pro dokončení všech zakázek  
(celkem 500ks ve složení A50%,B30%,C20 %)

# Výsledek 2. experimentu

| Operation | Part_A | Part_B | Part_C |
|-----------|--------|--------|--------|
| 1         | 1:53   | 1:53   | 1:53   |
| 2         | 1:52   | 0:59   | 0:59   |
| 3         | 1:15   | 1:58   | 3:16   |
| 4         | 1:10   | 1:52   | 3:03   |
| 5         | 1:32   | 1:32   | 3:32   |
| 6         | 1:28   | 1:56   | 4:15   |
| 7         | 1:16   | 2:41   | 3:37   |
| 8         | 1:38   | 3:18   | 3:26   |
| 9         | 1:19   | 3:02   | 2:53   |
| 10        | 1:12   | 1:12   | 1:12   |
| 11        | 1:18   | 1:18   | 1:18   |
| 12        | 1:28   | 1:28   | 1:28   |



Make span pro 500ks (250A, 150B, 100C)

Strategie OPF-Caravans s 10 operátory

|                                  |         |        |
|----------------------------------|---------|--------|
| Procentuální MIX 50%,30%,20%     | 2075min | 120,2% |
| Dlouhá výrobní dávka 250/150/100 | 1727min | 100,0% |
| Krátké sekvence 25/15/10         | 1730min | 100,1% |

# ***Shrnutí výsledků uvedených experimentů***

- Při požadavku na OPF se s ohledem na svoji stabilitu vzhledem k různé výkonnosti pracovníků se jako vhodné jeví využití strategie BB.
- Rovněž se ukazuje, že v tomto případě již malé sekvence mohou výrazně navýšit produktivitu oproti výrobě striktně dle zákaznických požadavků.

## ***Tradiční přístup k řešení***



Relativně jednoduché a rychlé řešení



Při výrobním mixu a tzv. putujícím úzkém místě může být:

- příliš zjednodušující
- obtížné stanovení min. velikosti a optimální sekvence výrobních dávek

Zpravidla se nepřihlíží k různé zapracovanosti pracovníků

# ***Simulační přístup k řešení***



Lze přihlédnout k dynamice a stochastičnosti procesu, např.:

- kolísání výkonu pracovníků během dne
- různá zapracovanost pracovníků

Je možné prověřit vliv putujícího úzkého místa při výrobním mixu, experimentovat s různou velikostí sekvence, ověřit chování procesu při různém počtu pracovníků, apod.



Náročné na tvorbu modelu

Časová náročnost experimentování

# ***Děkuji za pozornost***

Vavruška J.

jan.vavruska@tul.cz

*Jan Vavruška, Mikel Ordorica  
František Manlig, František Koblasa  
TU v Liberci - Katedra výrobních systémů  
www.kvs.tul.cz  
jan.vavruska.tul.cz, tel.: 48 535 3358*

## ***Další informace***

VAVRUŠKA, J.: Analysis of an appropriate strategy for scheduling a team-work by computer simulation / Analýza vhodné strategie rozvrhování rýmové práce pomocí počítačové simulace. ACC Journal. Vědecká pojednání/Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XIV, 2008. ISSN 1801-1128

VAVRUŠKA, J.: Workers scheduling Strategie modeling. In: 3. ročník mezinárodní konference „Výrobní systémy dnes a zítra 2008“. Sborník anotací příspěvků, Liberec 27. - 28. 11. 2008. Liberec: TU v Liberci - KVS, 2008. ISBN 978-80-7372-416-0

VAVRUŠKA, J.: Analyze of Assembly Line with „Moving“ Constrained Localities. In: Recenzovaný sborník abstraktů z Mezinárodní Baťovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2009. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2009. ISBN 978-80-7318-811-5

VAVRUŠKA, J. MANLIG, F. KOBLASA, F.: One piece flow – Caravans, deeper recognition. In: International doctoral seminar, Smolenica květen 2009, v tisku