

## Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3: Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

NPO\_TUL\_MSMT-16598/2022



# Podnikové informační systémy

## APS – Rozvrhování výroby

Ing. František Koblasa, Ph.D.

- Funkce APS
- Plánování vs Rozvrhování
- Přínosy, Rizika a data
- OPT – První z APS
- Nejznámější APS systémy
- Základní rozvrhovací modely
- Druhy rozvrhů
- Algoritmy a pravidla
- Optimalizace

# APS - Pokročilé plánování a rozvrhování výroby

APS je pokročilý systém, který využívá sofistikované algoritmy a data v reálném čase k optimalizaci procesů plánování a rozvrhování.



Zdroj: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/advanced-planning-scheduling/64111>

# APS - Pokročilé plánování a rozvrhování výroby

Integruje různé faktory, jako je poptávka, kapacita, omezení a zdroje, aby vytvořil efektivní výrobní plány.

APS umožňuje podnikům dosáhnout vyšší produktivity, zkrácení dodacích lhůt a vyšší spokojenosti zákazníků.

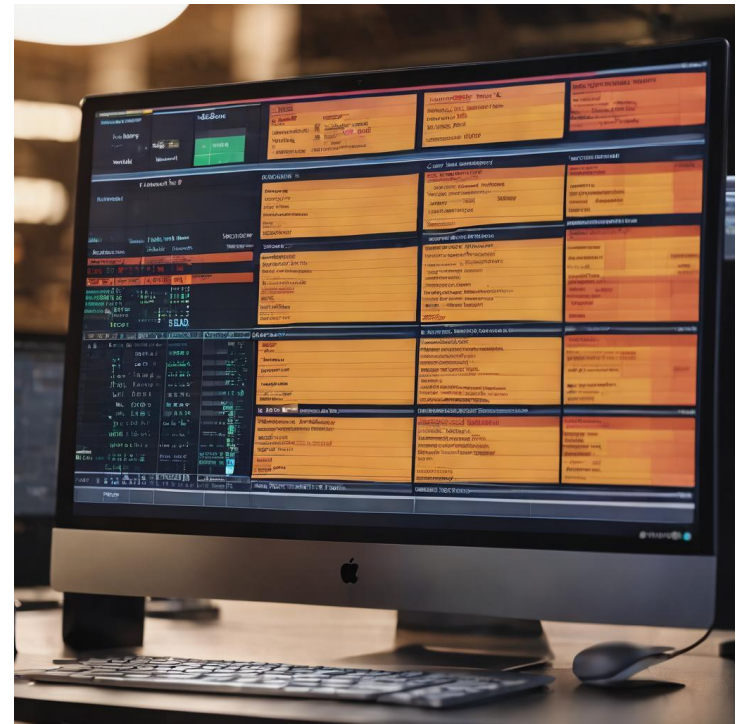


Zdroj: <https://gencraft.com/>

Pokud jsou správně implementovány ve vhodných výrobních systémech...

# APS - Pokročilé plánování a rozvrhování výroby

- Nadstavba ERP
- Není definováno na jakou oblast se musí zaměřit
  - Výroba
  - Logistika
  - Dodavatelský řetězec
- Často se jedná o kombinaci.
- Rozvrhování do omezených kapacit?
- Přesnější plánování nebo rozvrhování?



Zdroj: <https://gencraft.com/generate>

# Plánování a rozvrhování výroby

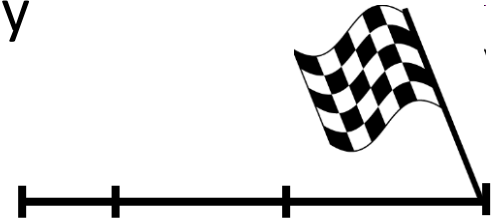
## Jaký je rozdíl mezi plánováním a rozvrhováním ?

Plánování

CO ?

JAK?

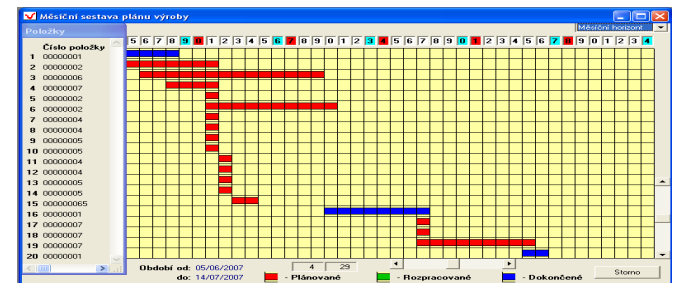
Materiál, nástroje, strojní zařízení, personál, lhůty



Rozvrhování

KDE ? (na jakém „zdroji“)

KDY ? (začátek a konec operace)



Zdroj: KOBLASA, František.  
 Rozvrhování výroby - Výrobní  
 systémy II.  
 CZ.1.07/2.2.00/15.0089

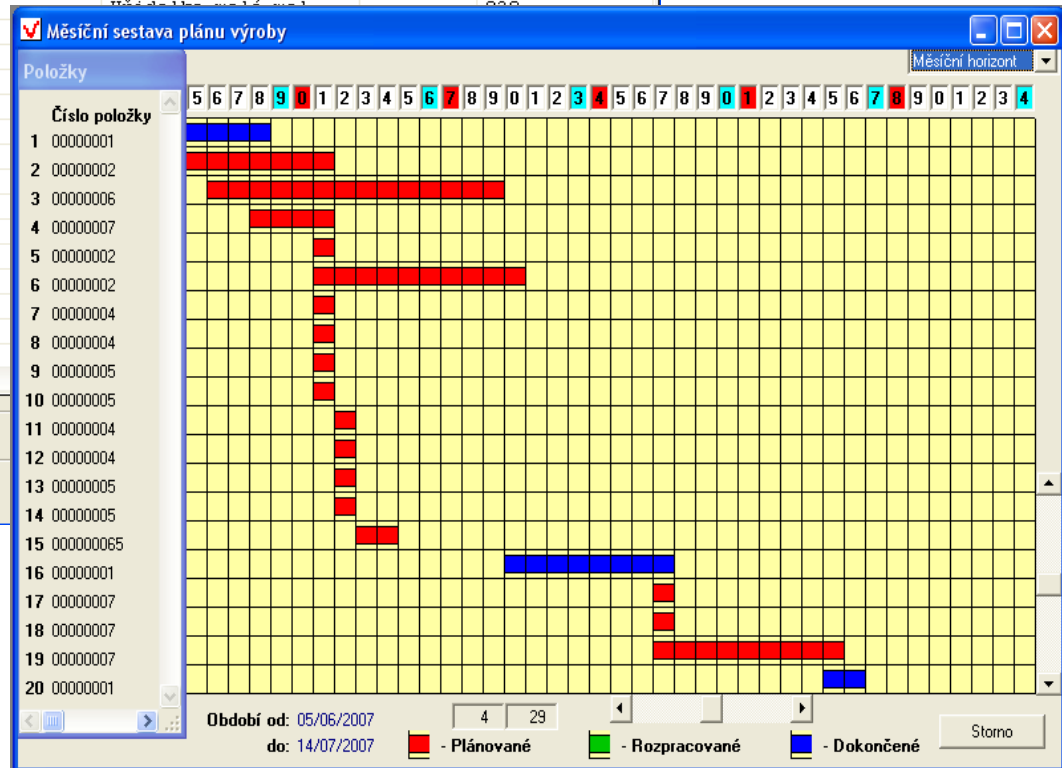
# Plánování a rozvrhování

Plán výroby dílen - simulace výroby

Číslo položky	Číslo VP	Číslo dávky	Středisko	Pracoviště	Název položky	Číslo VU	Číslo operace
00000004	KVS070008	1	KVS	2	Hřidelka velká ma...	...	020
00000005	KVS070008	1	KVS	2	Hřidelka malá mal...	...	020
00000004	KVS070008	1	KVS	2	Hřidelka velká ma...	...	025
00000005	KVS070008	1	KVS	2	Hřidelka malá mal...	...	025
00000004	KVS070008	1	KVS	2	Hřidelka velká ma...	...	030
00000005	KVS070008	1	KVS	2	Hřidelka malá mal...	...	030
00000002	KVS070008	1	KVS	3	Hřidelka malá mal...	...	020
00000001	KVS070008	1	KVS	3	Hřidelka malá mal...	...	025
00000007	KVS070008	1	KVS	3	Hřidelka malá mal...	...	030
00000007	KVS070008	1	KVS	3	Hřidelka malá mal...	...	020
00000007	KVS070008	1	KVS	3	Hřidelka malá mal...	...	025
00000002	KVS070008	1	KVS	3	Hřidelka malá mal...	...	030
00000001	KVS070008	1	KVS	4	Hřidelka malá mal...	...	020
00000001	KVS070008	1	KVS	4	Hřidelka malá mal...	...	025
00000007	KVS070008	1	KVS	4	Hřidelka malá mal...	...	030
00000004	KVS070008	1	KVS	4	Hřidelka malá mal...	...	020
00000005	KVS070008	1	KVS	4	Hřidelka malá mal...	...	025
000000065	KVS070008	1	KVS	5	Hřidelka malá mal...	...	030

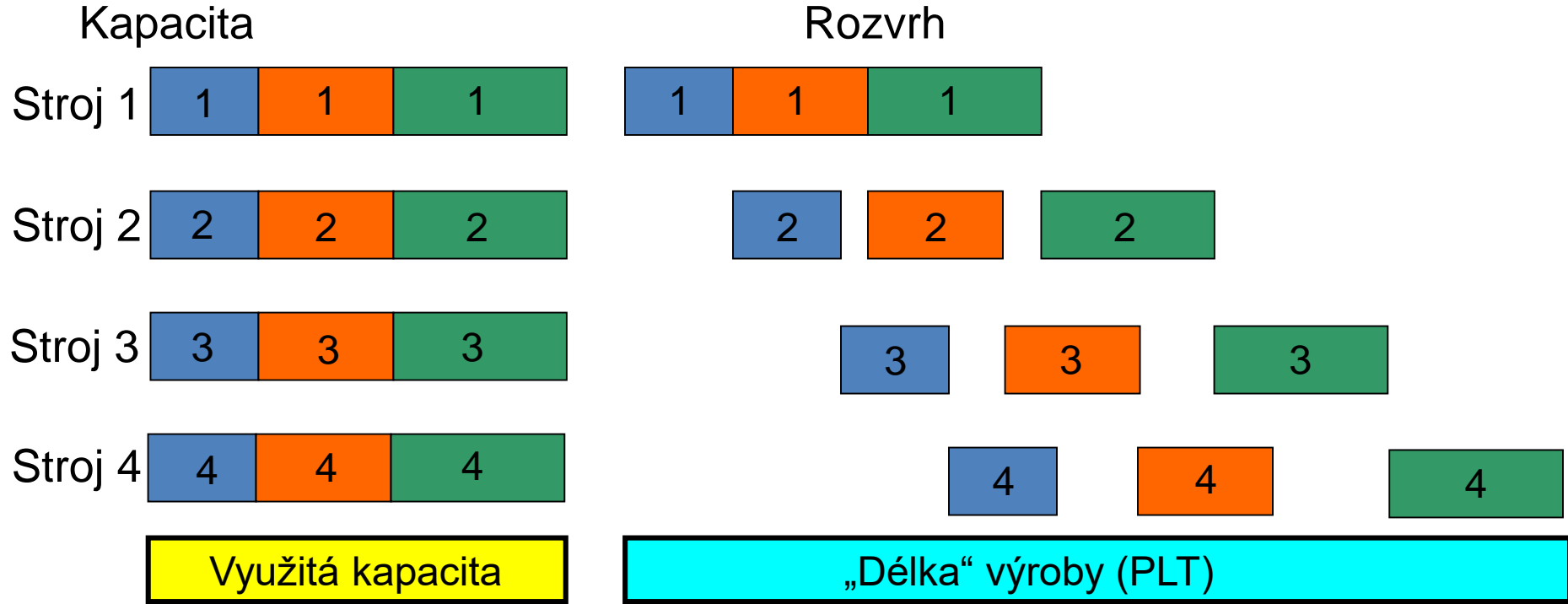
Plán

by ARSIGA



Rozvrh

# Kapacitní bilance VS Rozvrh



## Porovnání



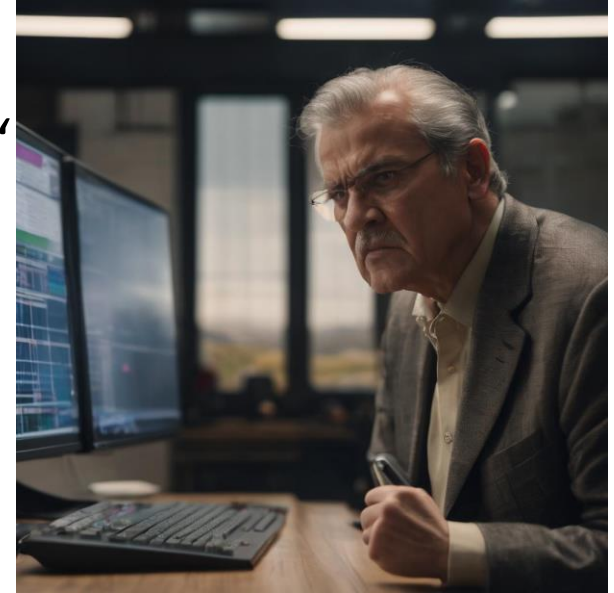


# APS - Rizika

- Integrace se současným ERP
- Nekompatibilita se „zavedenými procesy“
- Nevhodný typ výrobního systému (nestabilní procesy, bez zpětné vazby)



Zdroj: <https://gencraft.com/generate>



Zdroj: <https://gencraft.com/generate>

- Neexistující / Nerelevantní / nepřesná data.
- Neexistující zpětná vazba z výroby.
- Odpor zaměstnanců ke změnám

- Výroba
  - Správné kusovníky
  - Technologické postupy
  - Časový odhad aktivit
    - Kusový čas
    - Seřizovací čas
    - Mezioperační prodlevy
  - Personál
  - Stroje
    - Technologie
    - OEE
    - Poruchy a údržba

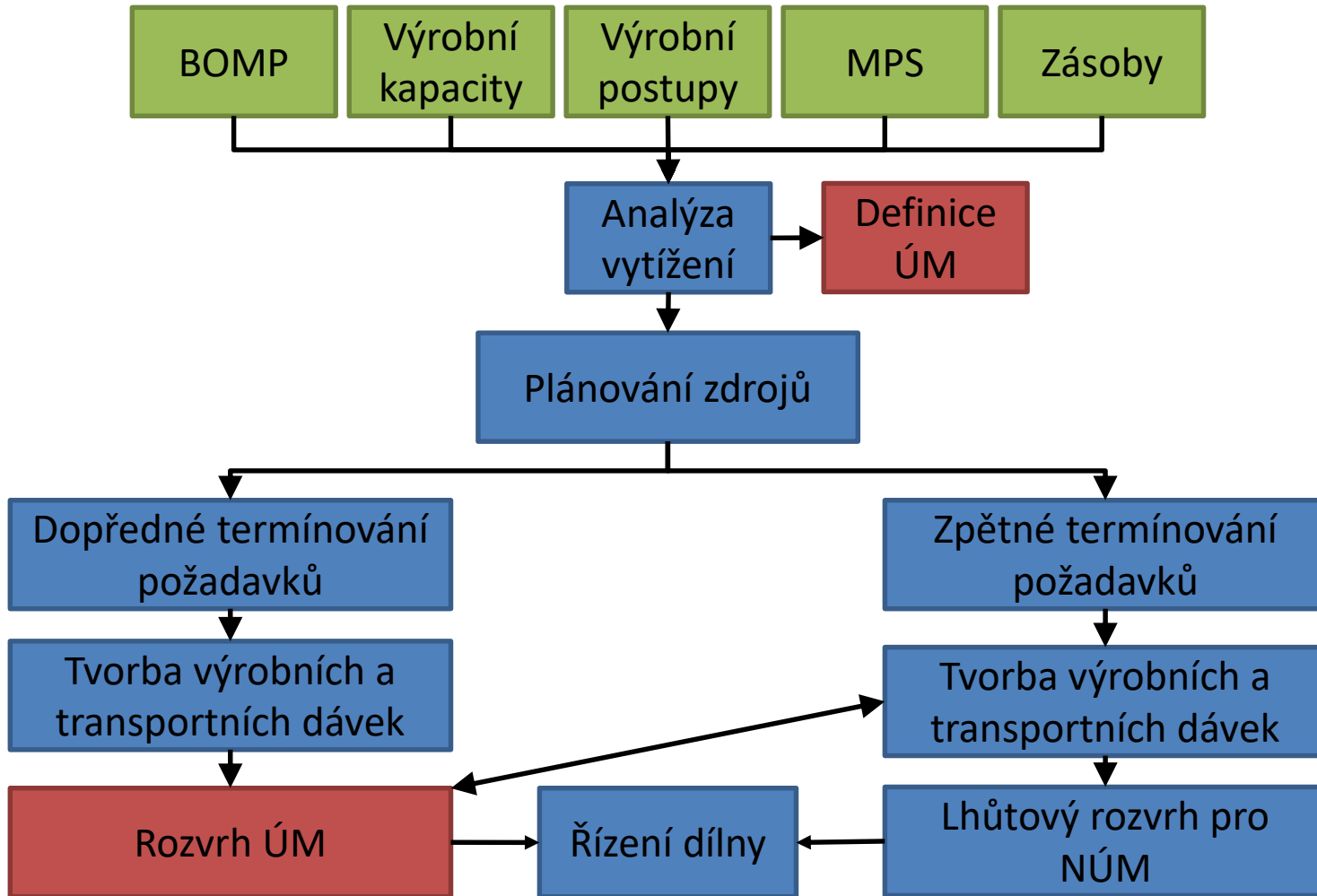


Zdroj: <https://gencraft.com/generate>

# APS – Advanced planning and scheduling

- Jeden z prvních APS – OPT – 1979 – Creative output inc
- Optimised production technology – rozvrhování úzkých míst
- Eliahu Goldratt
- Nevytěžuj zdroje, zvětšuj průtok.
- Principy známé, implementace neznámá.
- Odpor k používání při neznámosti principů funkce.
- M&M Mars Company – žaloba a nutnost odkrýt princip.
- 1988 kupuje i2 Technologies (Indie), IBM 2011

# APS – OPT



# APS – Advanced planning and scheduling

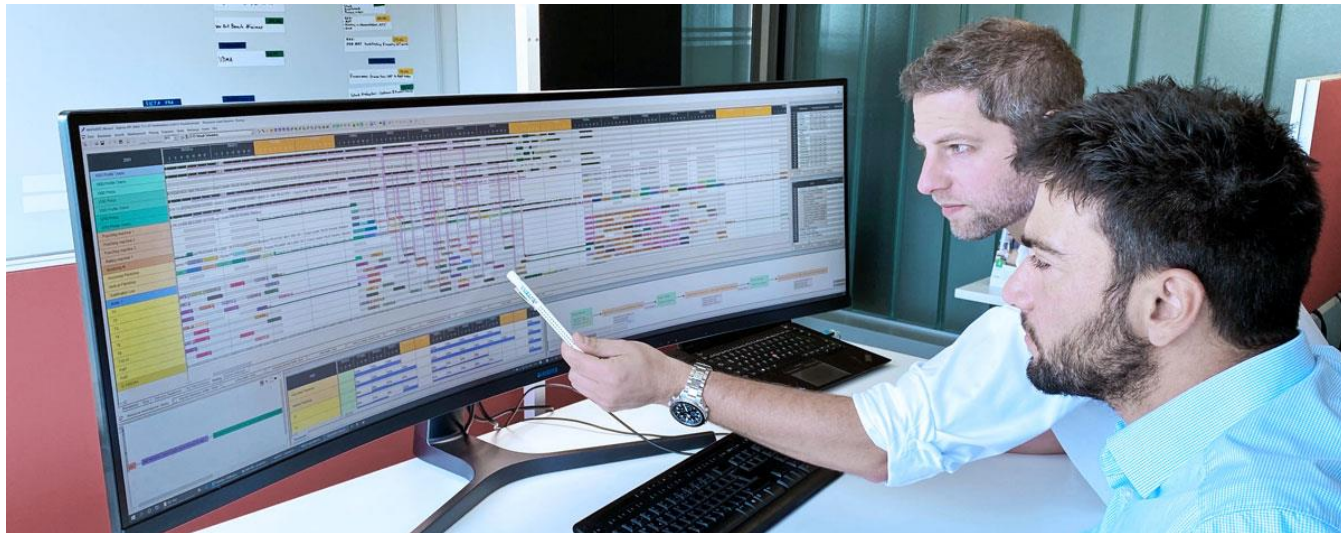
## OPT

- BUILDNET – vytvoření grafu následnosti činností
- SERVE – vytvoření lhůtového plánu a spočítání kapacitních vytížení
- SPLIT – Rozdělení na kritická (S více než 100% vytížením) a nekritická místa
- OPT – rozvrh pro kritická místa dopředným rozvrhem
- Nekritická místa **před** ÚM jsou plánována zpětně (Lhůtový plán uvolnění materiálu na první místo v TP)
- Nekritická místa **za** ÚM jsou plánována dopředně

# APS – Advance planning and scheduling

## ASPROVA

- Kapacitní plánování do omezených kapacit
- Rozvrhování materiálových potřeb v čase
- Rozvrhování zásob JIT
- Rozvrhování zakázek
- Středně dobé a dlouhodobé plánování předpovědi.



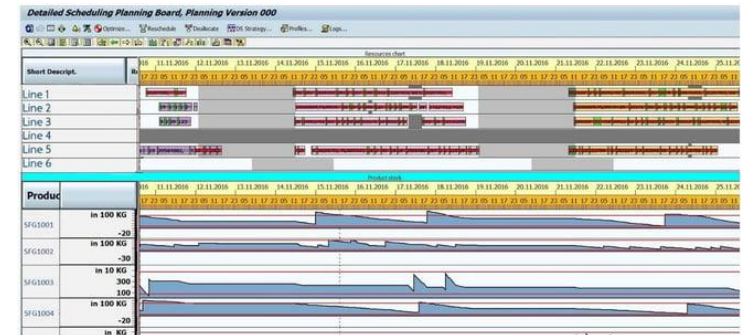
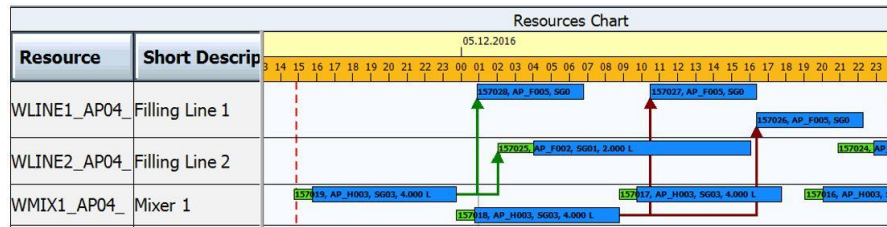


# APS – Advance planning and scheduling

## SAP APO

- Do roku 2016 neproběhla plná implementace (nejvíce 3-4 moduly)
- Pokročilé předpovídání poptávky
- Pokročilé plánování distribuční sítě
- Globální plánování dostupnosti dílů
- Detailní plánování procesů

Zdroj: <https://blog.olivehorse.com/sap-apo-semi-finished-goods-scheduling>

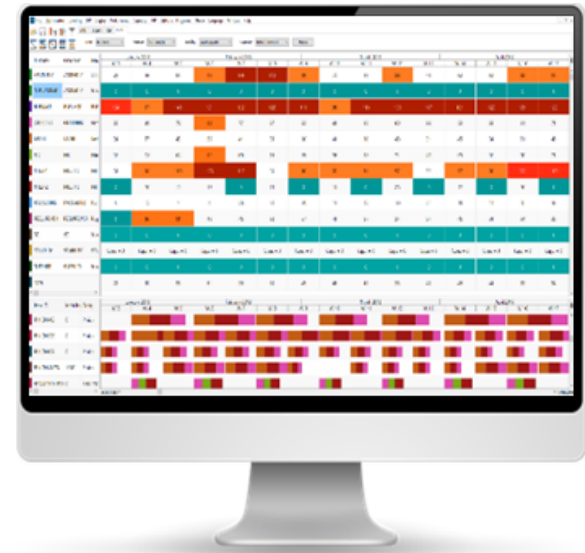


- Plánování náhradních dílů, pokročilé řízení skladů, pokročilé rozvrhování dopravy a logistiky aj.

# APS – Advance planning and scheduling

## DELMIA Ortems

- Manufacturing Planner
  - Plánování kapacit a vytížení linek
  - Vyhledávání úzkých míst
  - Alternativní plány a zdroje
  - “What if” testování
- Synchronized Requirements Planner
  - Optimalizované MRP
- Detailed Scheduling
  - Optimalizace seřizovacích časů a výrobních dávek
  - Alokování pracovních sil a rozhodování o přesčasech



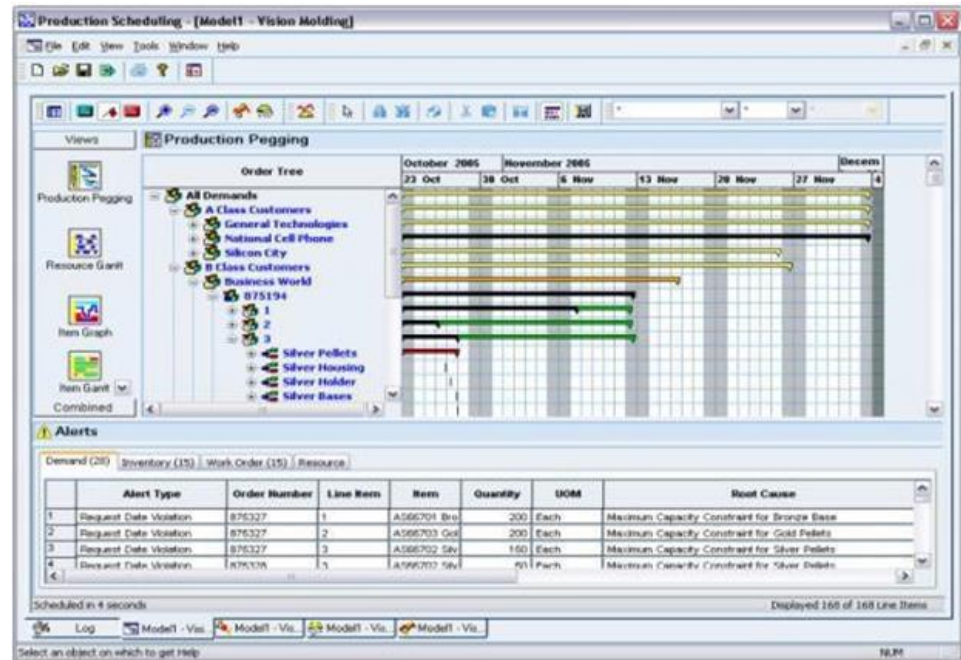
Zdroj: <https://www.technodat.cz/reseni-a-sluzby/3d-plm/delmia-ortems>



# APS – Advance planning and scheduling

## Oracle Production Scheduling

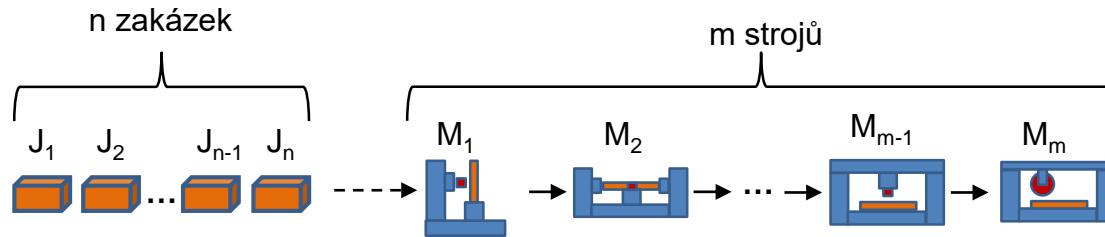
- Identifikace bottlenecků
- Vícekriteriální rozvrhování
- Omezení
  - Stroje
  - Pracovníci
  - Materiál
  - Formy
- Rozvrhování výroby i údržby.



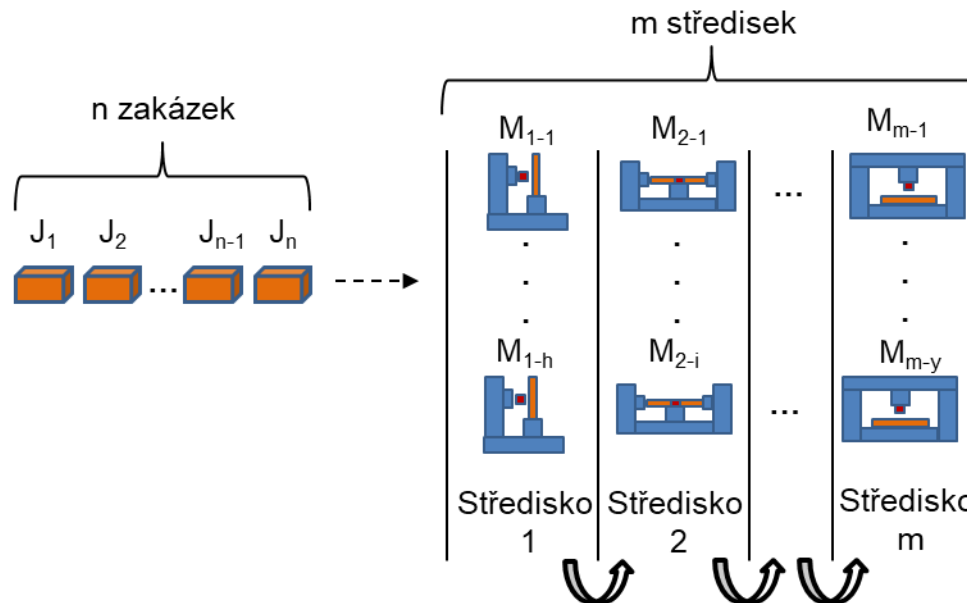
Zdroj: <https://www.yash.com/blog/oracle-production-scheduling/>

# Rozvrhovací modely – Flow shop

- Linka – předmětně uspořádaná výroba



Každá zakázka je zpracována na m strojích v dané sekvenci



# Rozvrhovací modely – Flow shop



Zdroj: [https://www.ey.com/en\\_gl/advanced-manufacturing/how-digital-twins-give-automotive-companies-a-real-world-advantage](https://www.ey.com/en_gl/advanced-manufacturing/how-digital-twins-give-automotive-companies-a-real-world-advantage)



dreamstime.com

ID 147428225 © Mulderphoto

Zdroj: <https://www.wsj.com/articles/the-robots-are-coming-for-garment-workers-thats-good-for-the-u-s-bad-for-poor-countries-1518797631>



Zdroj: <https://www.wsj.com/articles/the-robots-are-coming-for-garment-workers-thats-good-for-the-u-s-bad-for-poor-countries-1518797631>

Automotive, textil,  
potravinářství  
elektronika

frantisek.koblasa@tul.cz

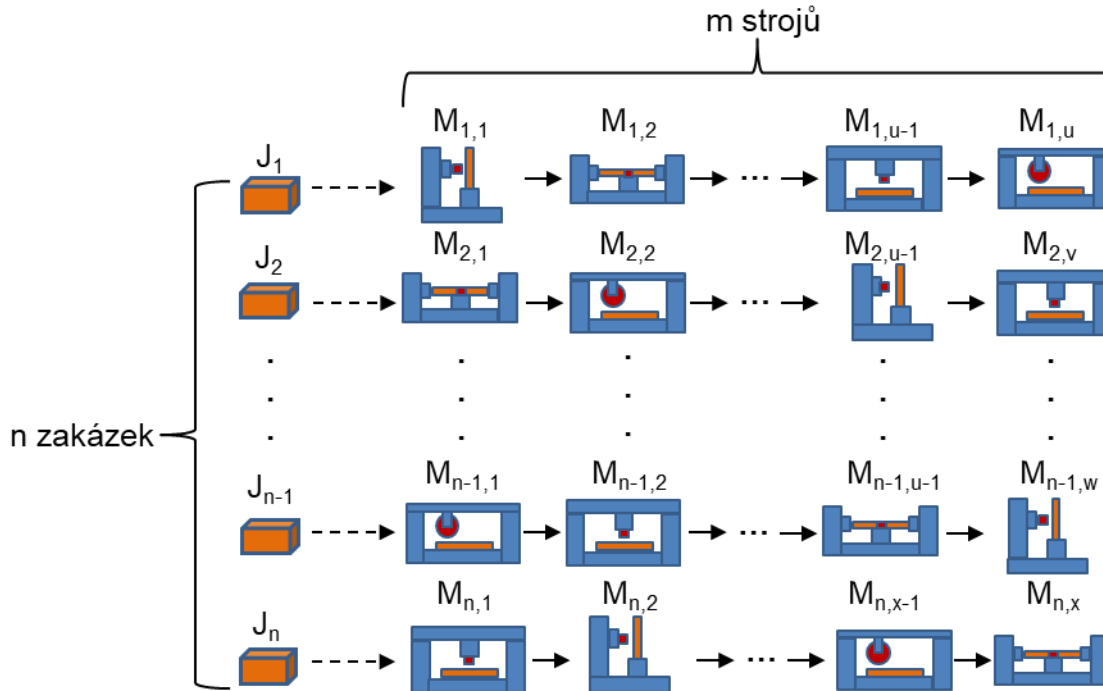


Zdroj: <https://medium.com/@ecruiser/how-far-has-chinas-electronics-industry-come-part-1-c3ff7523cf4>



# Rozvrhovací modely – Job Shop

- Zakázková výroba – Technologické uspořádání



Každá zakázka má svůj technologický postup, avšak ne všechny zakázky musí využít všechny stroje.

# Rozvrhovací modely – Job Shop

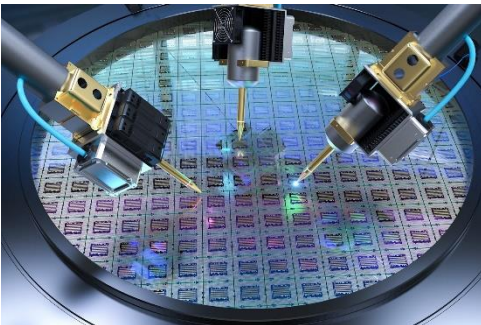


Zdroj: <https://images.app.goo.gl/ometBrEzLSf6RCdT9>



Zdroj: <https://i.pinimg.com/564x/a7/a6/00/a7a6007e1bcf33b74dd47143316246f4.jpg>

- Zakázková výroba – obráběcí stroje, nábytek
- Komplexní výroba – substrátový disk (wafer)



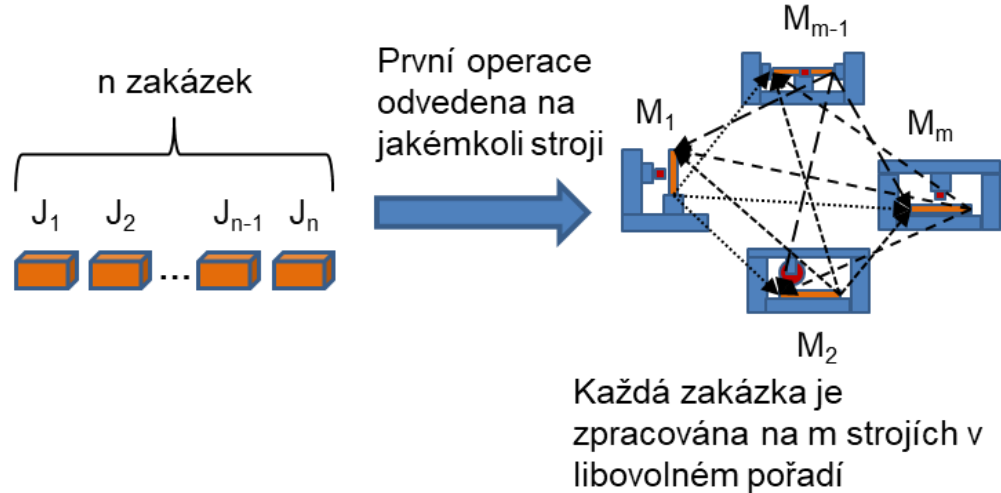
Zdroj:  
[https://miro.medium.com/v2/resize:fit:1400/0\\*jTZgysNncRh8ItDs](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:1400/0*jTZgysNncRh8ItDs)



Zdroj: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR9YaamguF1CJleLIR5q4\\_mgo1t7UxFGmFmFm&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR9YaamguF1CJleLIR5q4_mgo1t7UxFGmFmFm&usqp=CAU)

# Rozvrhovací modely – Open Shop

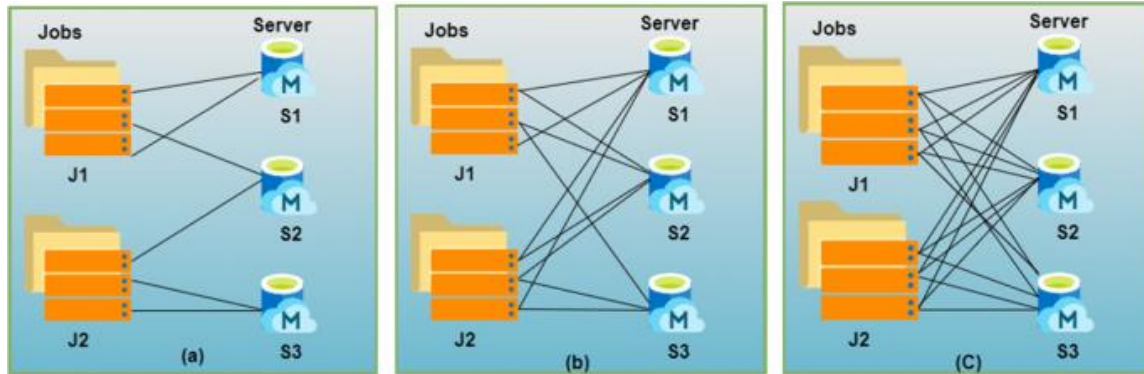
- Servis – otevřený problém



# Rozvrhovací modely – Open Shop



lisování plastů (+FJSSP)



Zdroj: KUPPUSAMY, P., N. Marline Joys KUMARI, Wael Y. ALGHAMDI, Hashem ALYAMI, Rajakumar RAMALINGAM, Abdul Rehman JAVED and Mamoon RASHID. Job scheduling problem in fog-cloud-based environment using reinforced social spider optimization. *Journal of Cloud Computing* [online]. 2022, (1), 99. ISSN 2192-113X. Available at: doi:[10.1186/s13677-022-00380-9](https://doi.org/10.1186/s13677-022-00380-9)

cloud computing,

Školní rozvrhy

frantisek.koblasa@tul.cz

rozvrhy ve zdravotnictví,



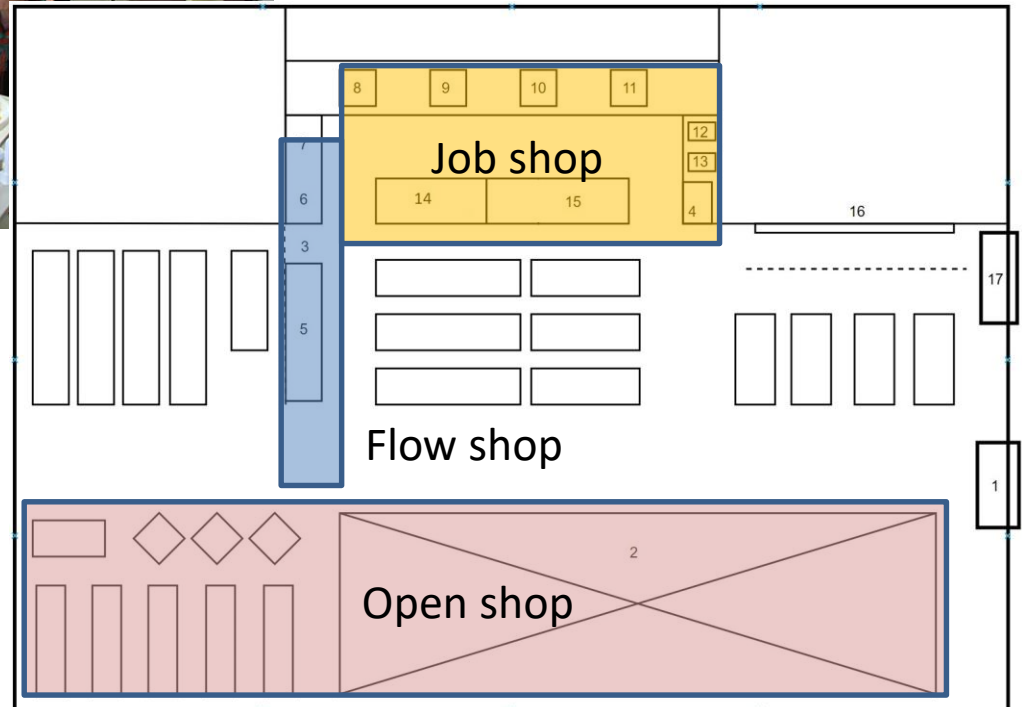
Zdroj: [https://www.youtube.com/watch?v=m\\_2auBYrIjC&ab\\_channel=Schedu](https://www.youtube.com/watch?v=m_2auBYrIjC&ab_channel=Schedu)

	07:00 07:45	07:50 08:35	08:40 09:35	10:25 11:25	11:30 12:15	12:20 13:15	13:20 14:05	14:10 15:05	15:10 15:55	16:10 16:55	17:00 17:45	18:00 18:45	18:50 19:35
Po			KSA/OA*M E-E112 G	KSA/OA*M E-E112 G	KSA/DIP*M E-E111 G	KSA/DIP*M E-E111 G	KSA/DIP*M E-E111 G	KSA/DIP*M E-E111 G					
Út			KSA/OA*M E-E112 G	KSA/OA*M E-E112 G	KSA/P12*M E-E412 G	KSA/P12*M E-E412 G							
Čt			KST/PR2*M E-E211 G	KST/PR2*M E-E211 G	KST/PR2*M E-E211 G	KST/PR2*M E-E211 G							

Zdroj: autor - IS STAG



# Rozvrhovací modely – Menza Husova

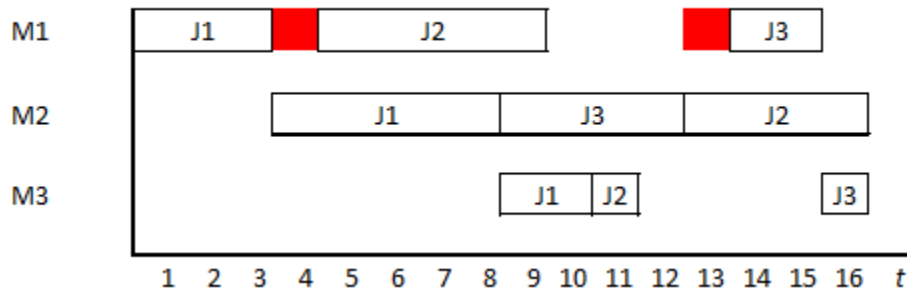
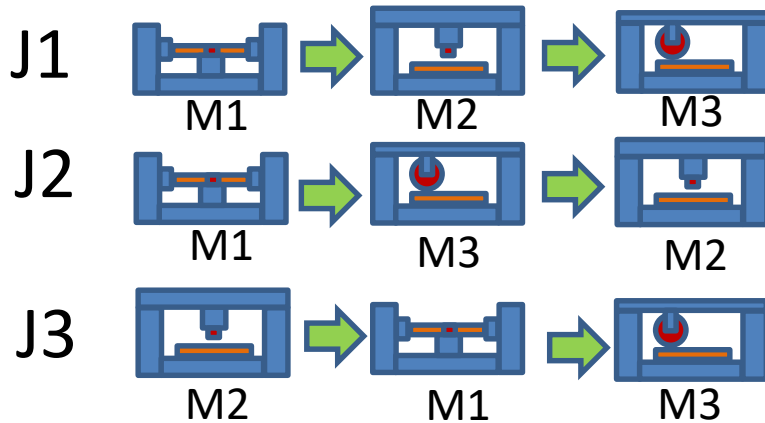


Zdroj: <https://tuni.tul.cz/getFile/id:85425>



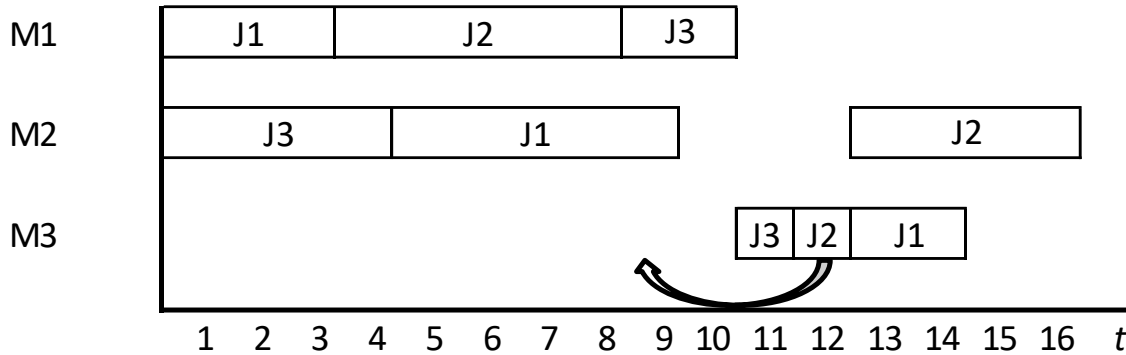
# Druhy rozvrhů

Zakázka	Technologický postup - stroj (procesní čas)		
J1	1 (3)	2 (5)	3 (2)
J2	1 (5)	3 (1)	2 (4)
J3	2 (4)	1 (2)	3 (1)

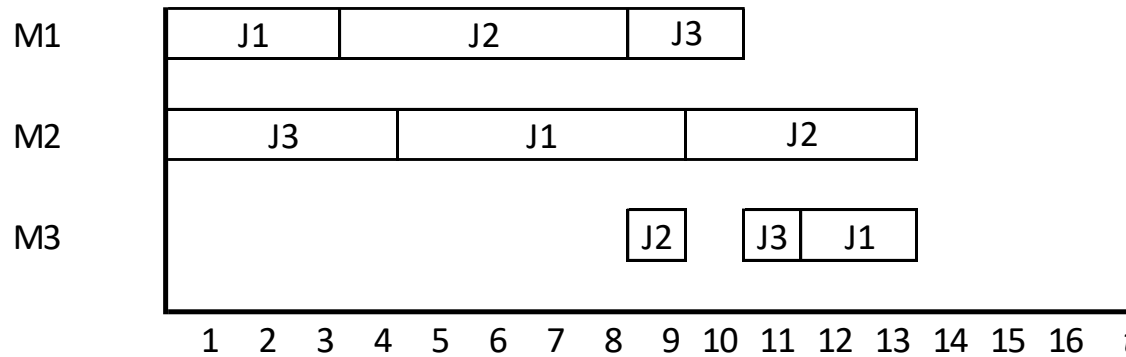


„Neaktivní“ – lze  
 uspíšit operaci bez  
 změny sekvence

# Druhy rozvrhů

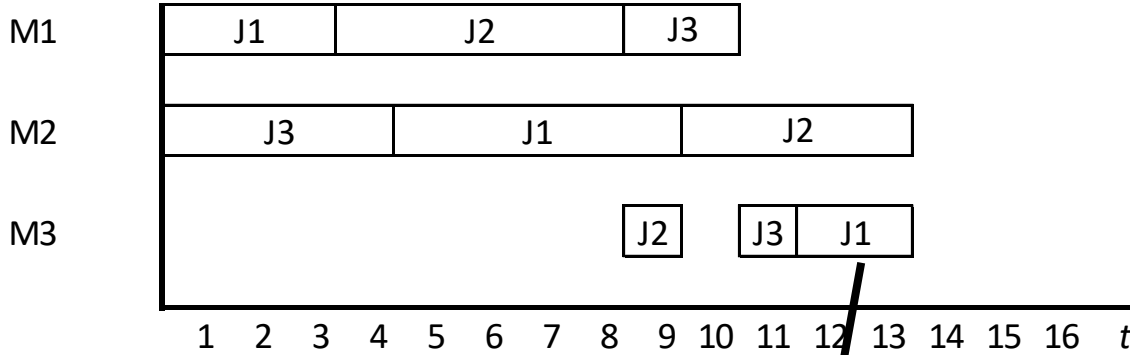


„Semi -aktivní“ – lze uspíšit změnou sekvence

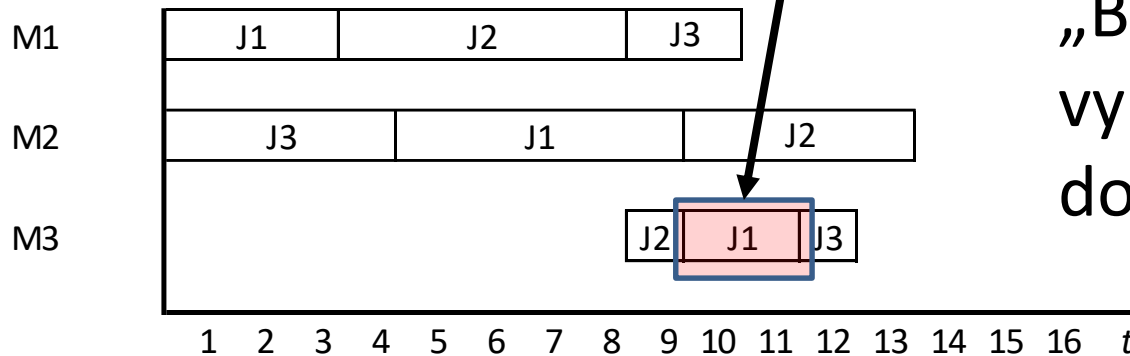


„Aktivní“ – lze uspíšit operaci změnou sekvence pouze za cenu zpoždění jiné operace

# Druhy rozvrhů



„Aktivní“ – lze uspíšit operaci změnou sekvence pouze za cenu zpoždění jiné operace



„Bez zpoždění“ – vyrábíme vždy když je dostupná operace

## Aktivní (A) Giffler a Thomson (1965)

- V praxi málo používaný
  - Množina aktivních rozvrhů obsahuje ten „Optimální“.
1. Vyber všechny operace, které lze v tomto okamžiku rozvrhovat v závislosti na omezení (např předchozí operace dokončena)
  2. Vyber stroj  $M^*$  na kterém je operace s nejkratším časem dokončení ( $e_c$ ).
  3. Vyber všechny operace na  $M^*$  startovním časem  $s_x < e_c$
  4. Z nich vyber operaci, která je nejvhodnější...

# Aktivní rozvrh

Dostupná v tomto okamžiku

5

Dostupná za hodinu

2

Následující na stroji 2

4

Stroj 1

8

Čas dokončení

Stroj 2

16

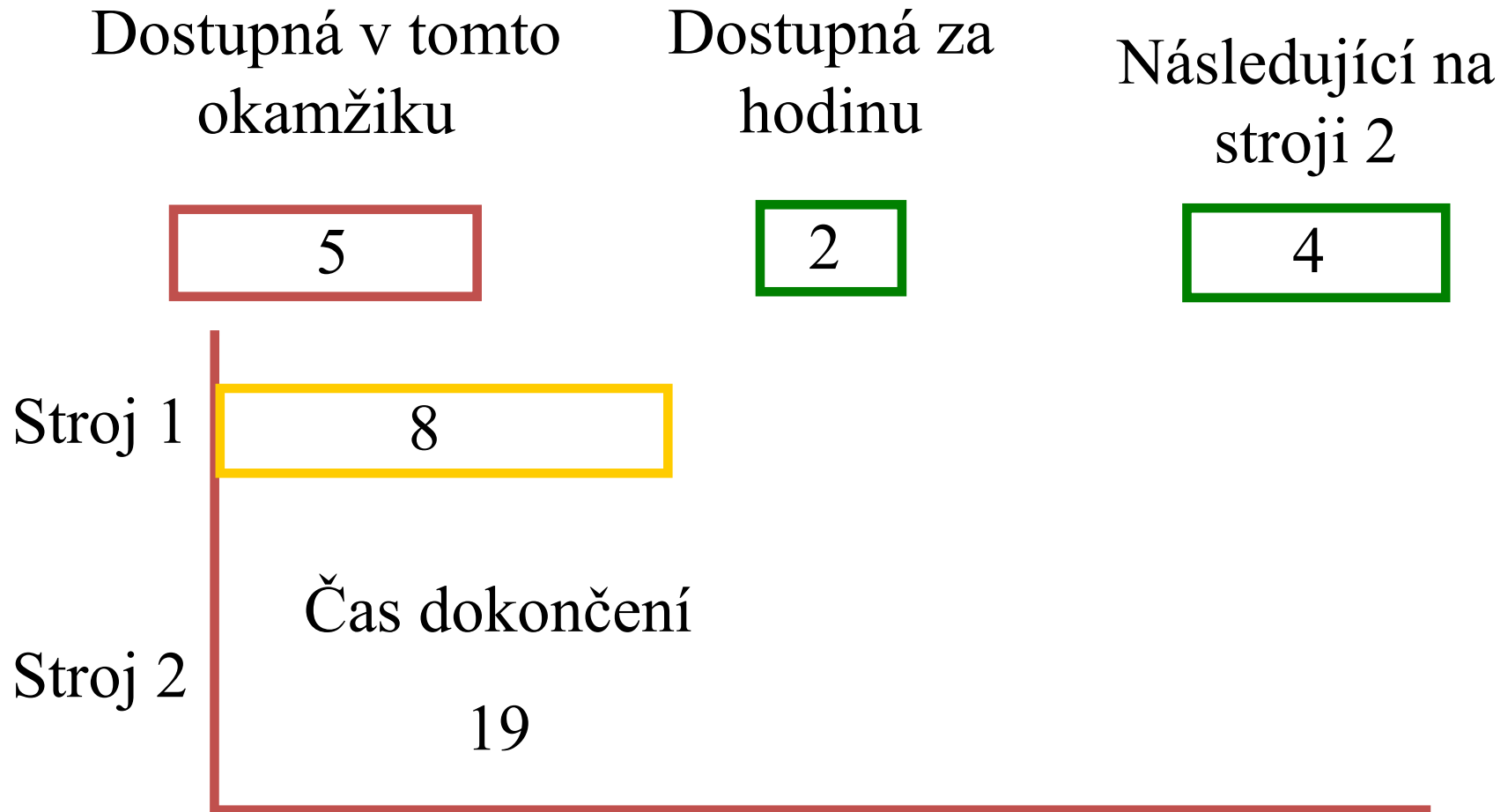
Čekání = plýtvání

*t*

## Rozvrhy bez zpoždění (Non delay – ND)

- V praxi nejpoužívanější
  - Používá např. i simulace
1. Vyber všechny operace, které lze v tomto okamžiku rozvrhovat v závislosti na omezení
  2. Vyber stroj  $M^*$  na kterém je operace s nejkratším čase začátku ( $s_c$ ).
  3. Vyber všechny operace na  $M^*$  startovním časem  $s_x = s_c$
  4. Z nich vyber operaci, která je nejvhodnější...

# Rozvrh bez zpoždění



# Prioritní pravidla

- Podle priority termínu odvedení, zákazníka, penálí atd.
- Podle vlastností zakázek (tech. postupu, rozvrhu atd.)
- Panvalkar a Isklander jich popsali více než sto (1977)
- SPT (shorter processing time) neboli nejkratší procesní čas - používá se při strategii odvést nejkratší operace jako první).
- MWKR (most work remaining) neboli nejvíce práce zbývá – v případech kdy se chceme postupně zpracovávat na co největší spektrum výrobků najednou.
- LWKR (least work remaining) neboli nejméně práce zbývá - v případech kdy chceme zakázky (úlohy) co nejdříve odvést z úzkého místa pro ostatní úlohy.
- FCFS (first come first served) resp. First-in first-out (FIFO) pro plynulejší průtok výrobním systémem je nejčastěji používán při řízení linek
- Random (náhodné)



# Flow shop

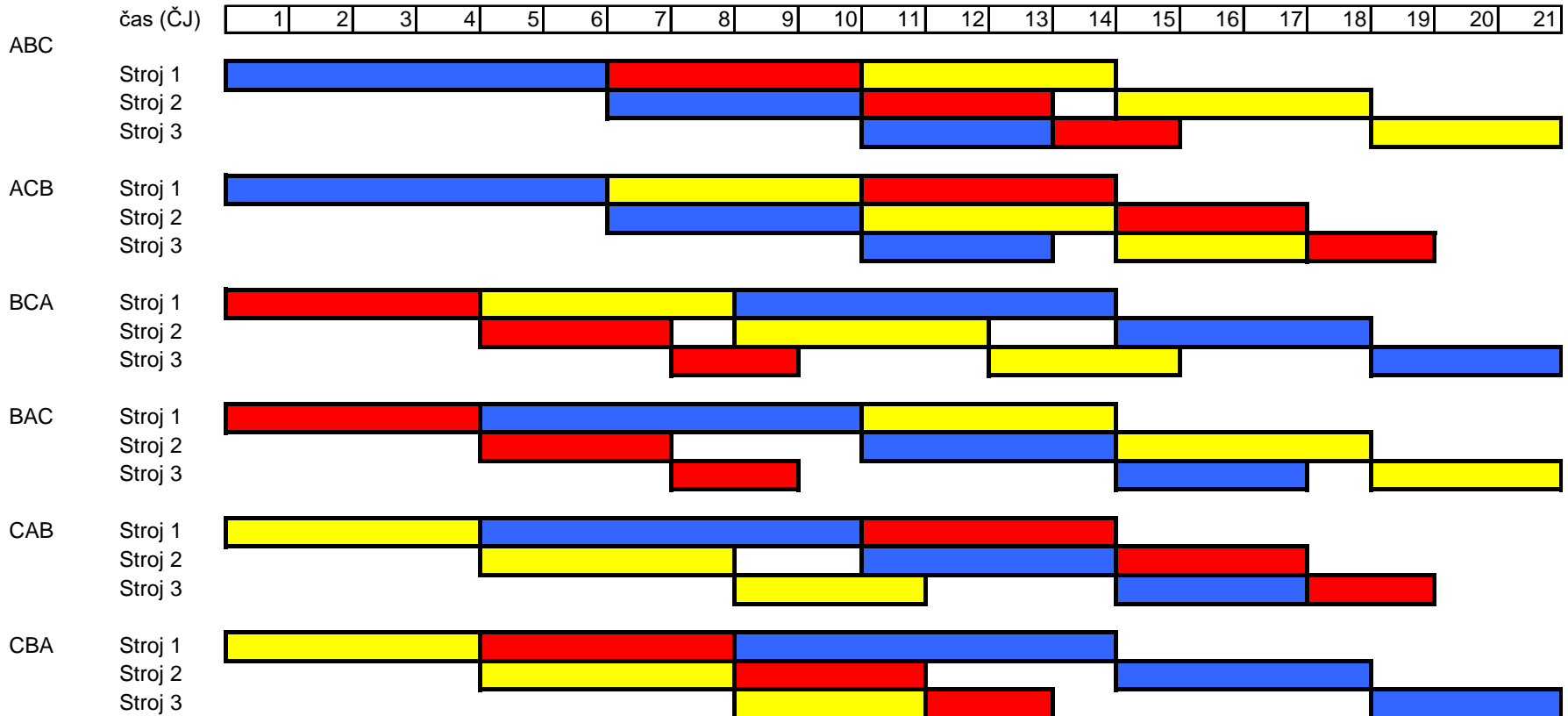
Zakázka	Routing - procesní čas		
	M1	M2	M3
A	6	4	3
B	4	3	2
C	4	4	3



Jaký bude pohled na

- Lhůtový plán (MRP I)
- Kapacitní plán (MRP II)
- Rozvrh (APS)

# Stavový prostor = 3!



Optimální sekvence pořadí zakázek je na vstupu  
 A-C-B, C-A-B s časem dokončení 19

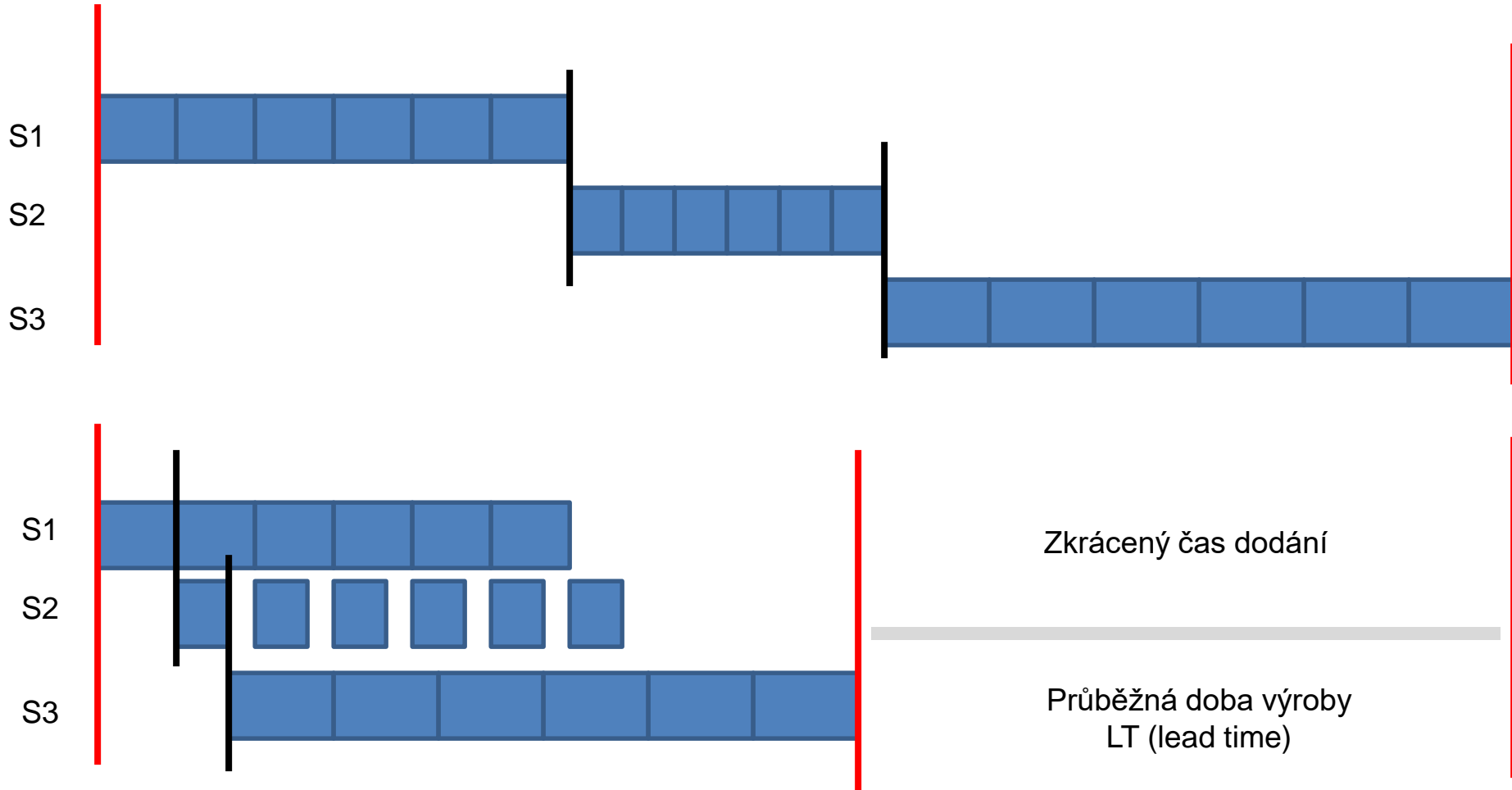
# Optimalizace rozvrhu

- Volba velikosti výrobní, transportní dávky
- Změna pořadí operací
- Kritéria
  - nejkratší čas dokončení,
  - nejkratší termín doručení zákazníkovi,
  - nejmenší odchylka od termínu doručení.
  - Aj.

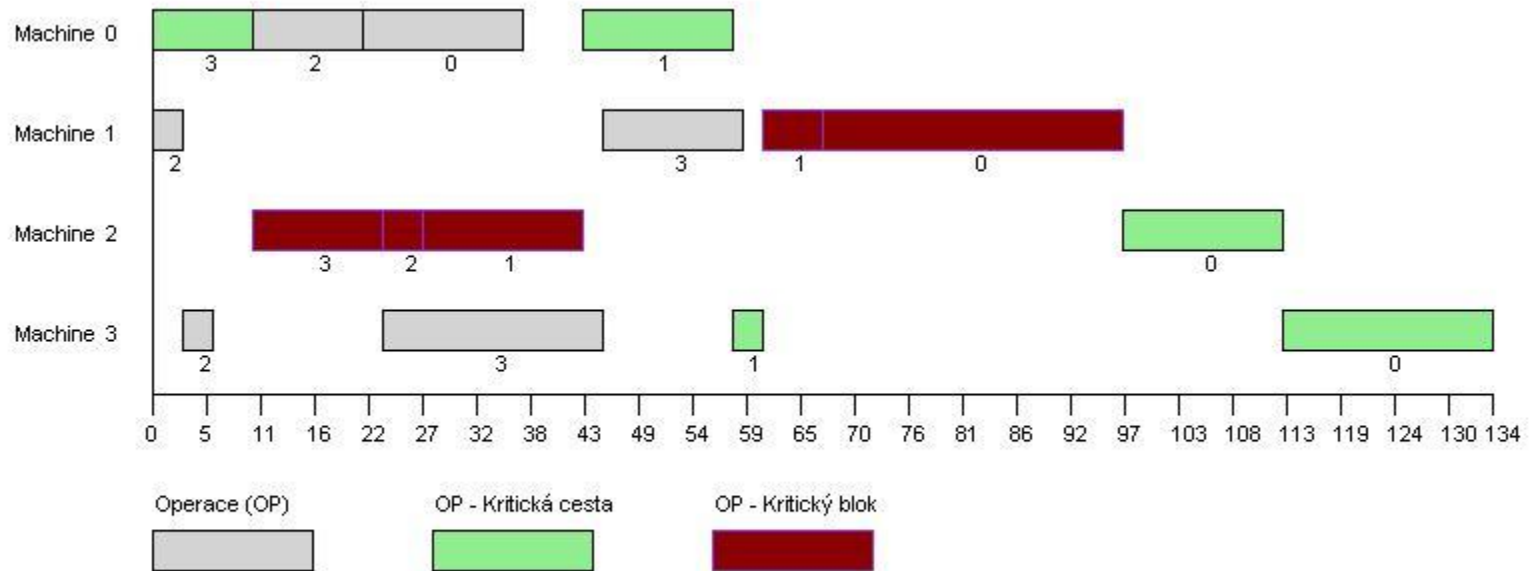
## Optimalizační algoritmy

- Minimalizace CP (kritické cesty - Bloku)
- Lokální prohledávání
- Genetické algoritmy

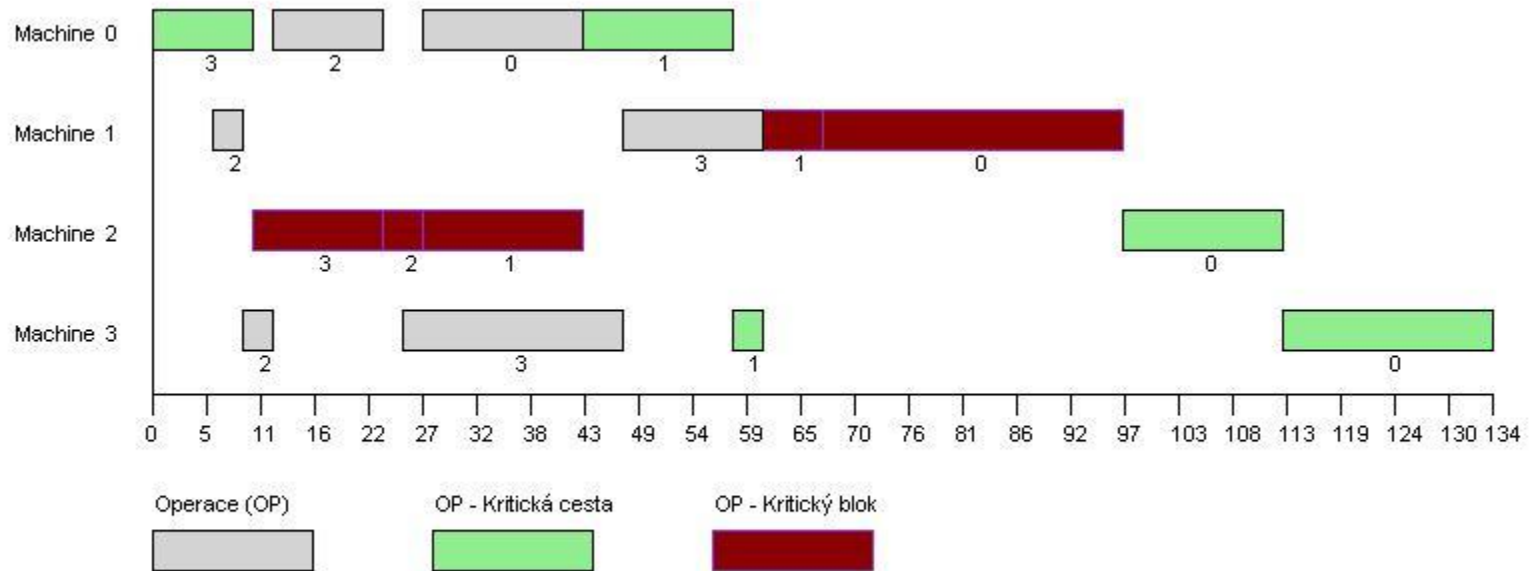
# Výrobní vs. Transportní dávka



# Dopředný rozvrh

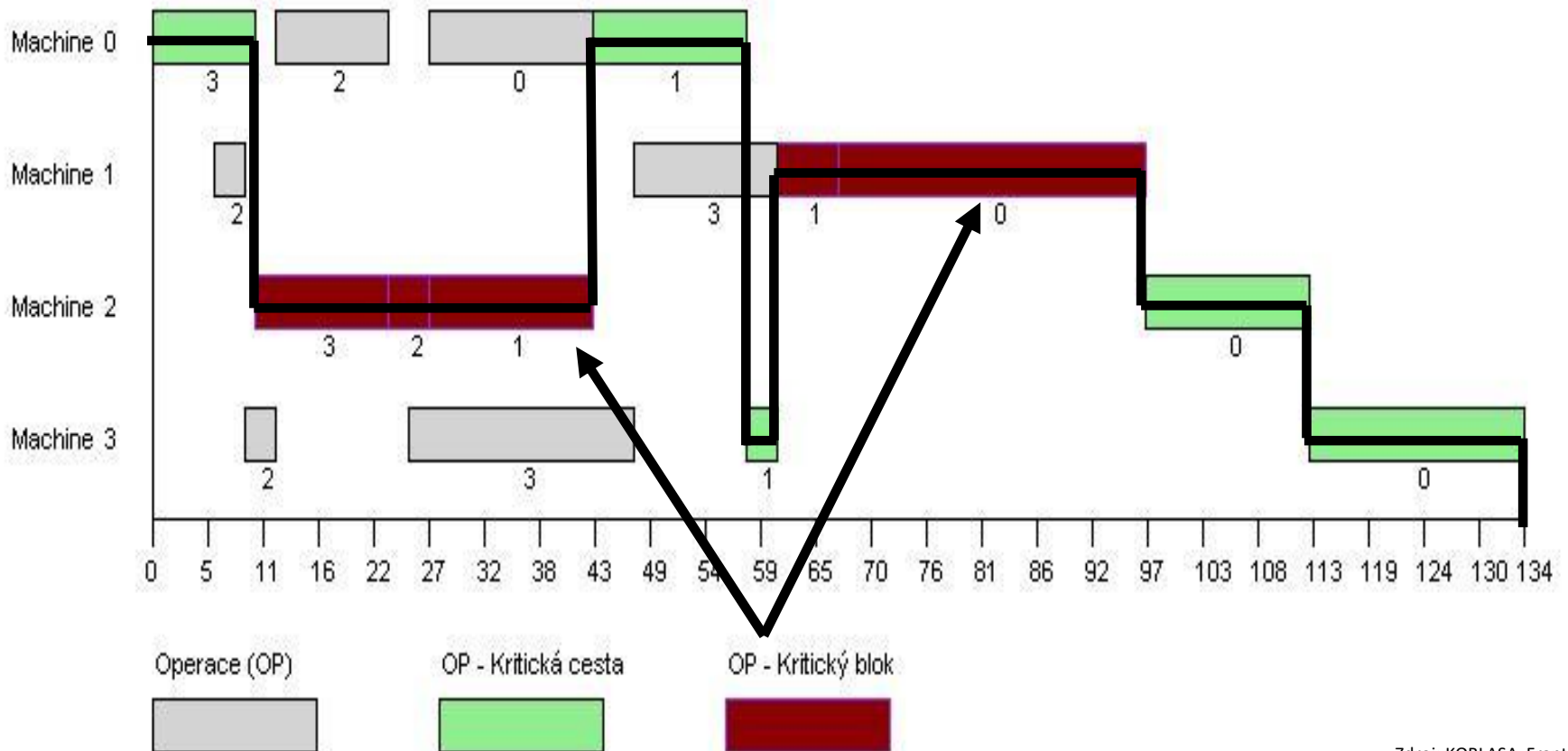


# Zpětný rozvrh

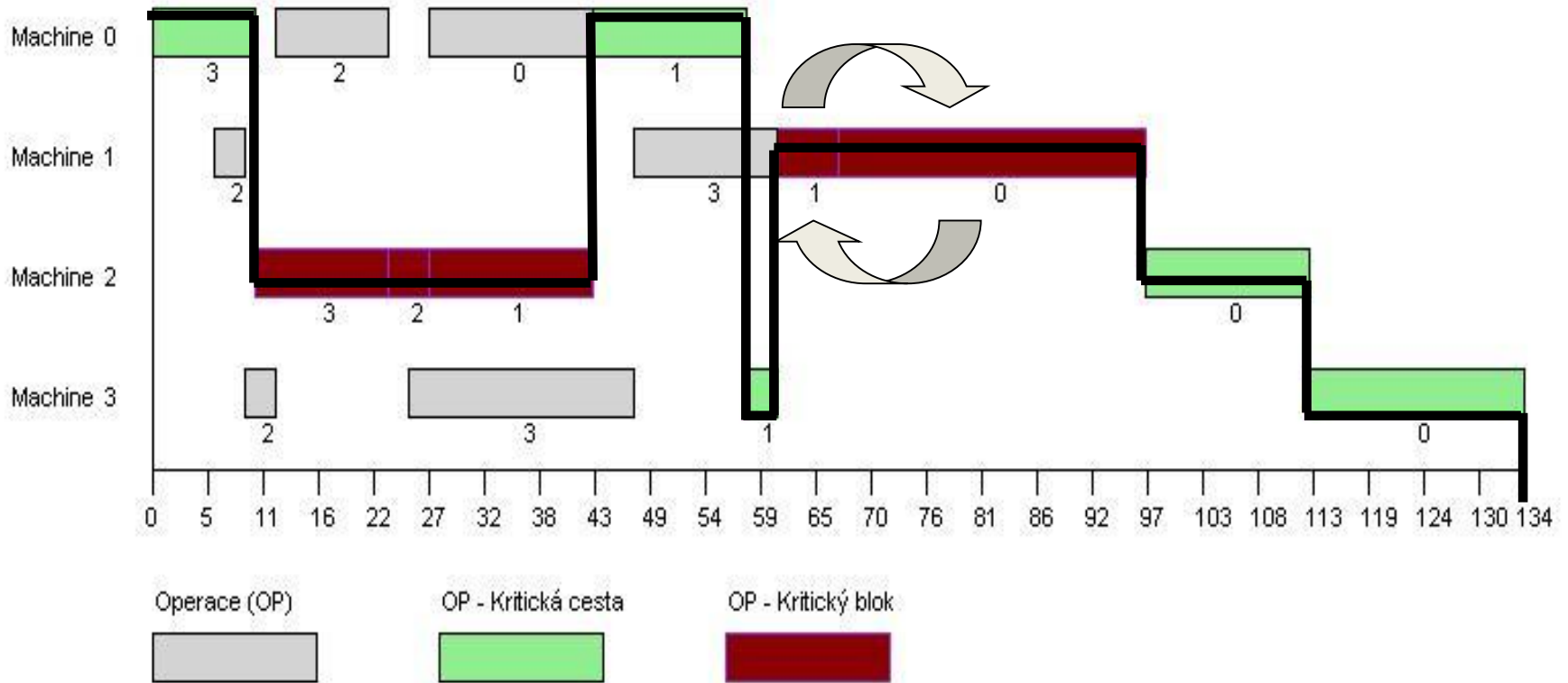


# Optimalizace rozvrhu – kritický blok

- Kritický blok je množina operací na kritické cestě, na jenom zdroji, jdoucí bezprostředně za sebou



# Optimalizace rozvrhu – Nowicky a Smutnický





# Úkoly

- Vyberte jeden den.
- Vygenerujte frontu operací.
- Vytvořte rozvrh pro jeden den.