

# Plánování a rozvrhování výroby (vybrané kapitoly)

František Manlig  
František Koblasa



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Název projektu:** Vytváření a posilování partnerství mezi univerzitami a praxí

**Zkrácený název projektu:** UNIPRANET

**Číslo projektu:** CZ.1.07/2.4.00/17.0054

**Operační program:** OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

**Prioritní osa:** 7.2 - Terciární vzdělávání, výzkum a vývoj

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Katedra výrobních systémů a automatizace**

## **PLÁNOVÁNÍ A ROZVRHOVÁNÍ VÝROBY (vybrané kapitoly)**

František Manlig  
František Koblasa

**Liberec 2015**

---

Recenze: doc. Ing. Pavel Kopeček, CSc.

© František Manlig  
František Koblasa

Druhé vydání, 2015

ISBN 978-80-7494-204-4

## Předmluva

Předkládané skriptum v krátkosti seznamuje s problematikou plánování a rozvrhování výroby. Po krátkém úvodu do problematiky je pozornost věnována obecně plánování a řízení výroby. V další části jsou popsány základní přístupy k optimalizaci pořadí výrobních zakázek. V závěru je provedeno shrnutí. V příloze je prezentován postup tvorby výrobního rozvrhu pomocí vybraných metod rozvrhování výroby.

Texty vznikly v rámci projektu OP VK „**Vytváření a posilování partnerství mezi univerzitami a praxí**“ (UNIPRANET), registrační číslo projektu: **CZ.1.07/2.4.00/17.0054**.

Závěrem bychom chtěli poděkovat všem, kteří radou či duchovní podporou napomohli ke vzniku těchto studijních textů.

Květen 2015

Autoři



<b>1.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY – OD MRP PO SCM .....</b>	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>VYBRANÉ PŘÍSTUPY K OPTIMALIZACI POŘADÍ VÝROBNÍCH ZAKÁZEK...19</b>	
<b>3.1.</b>	<b>Konstruktivní algoritmy .....</b>	<b>26</b>
3.1.1.	Prioritní pravidla.....	27
3.1.2.	Plovoucí úzké místo.....	30
<b>3.2.</b>	<b>Algoritmy založené na lokálním prohledávání .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.</b>	<b>Meta-heuristické (Evoluční) algoritmy.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.</b>	<b>Metody založené na umělé inteligenci .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5.</b>	<b>Využití počítačové simulace .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>45</b>





## Seznam zkratek

APS	Advanced Planning Scheduling (Systémy pokročilého plánování)
BDE	Betriebsdatenerfassung (Sběr provozních dat)
BOMP	Bill of Material Processing (Zpracování kusovníků)
CA	Constructive Algorithm (Konstruktivní algoritmy)
CIE	Computer Integrated Enterprises (Počítačem integrovaný podnik)
CIM	Computer Integrated Manufacturing (Počítačem integrovaná výroba)
CONWIP	Constant Work In Process (Konstantní rozpracovanost)
CRP	Customer relationship planning (Řízení vztahů se zákazníky)
DCM	Demand Chain Management (Řízení zákaznických požadavků)
DERP	Dynamic ERP (Dynamické ERP)
EA	Evolution Algorithm (Evoluční algoritmy)
EDI	Electronic Data Interchange (Elektronická výměna dat)

ERP	Enterprise resources planning (Plánování podnikových zdrojů)
FCFS	First Come First Served (První dostupný je prvním zpracovaným)
FIFO	First In First Out (První dostupný je prvním zpracovaným)
JSSP	Job Shop Scheduling problem (Sekvenční problém)
LWKR	Least Work Remaining (Nejméně práce zbývá)
MES	Manufacturing Execution System (Manažerský systém řízení výroby, Dílenské řízení výroby)
MRP	Material Requirements Planning (Plánování požadavků na materiál)
MRP II	Manufacturing Resource Planning (Plánování výrobních zdrojů)
MWKR	Most Work Remaining (Nejvíce práce zbývá)
OSSP	Open Shop Scheduling problem (Otevřený rozvrhovací problém)
RS	Random Select (Náhodný výběr)
SCM	Supply Chain Management (Řízení dodavatelského řetězce)

SPT	Shortest Processing Time (Nejkratší procesní čas)
TOC	Theory of Constrains (Teorie omezení)
Cmax	maximální doba dokončení všech zakázek
$\alpha$	základní trajektorie zakázky přes stroje,
$\beta$	charakteristika zpracování a dalších omezení
$\gamma$	optimalizační kritérium



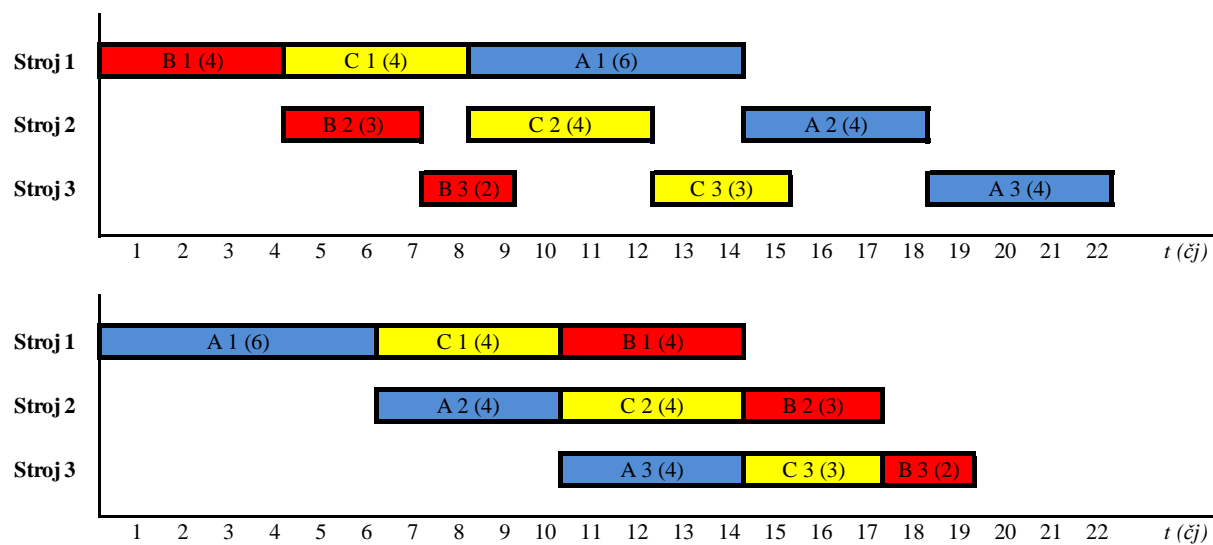
## 1. Úvod

V dnešním tzv. „turbulentním“ prostředí se už podniky nemohou vyrovnat konkurenci bez důsledné restrukturalizace a neustálého zlepšování podnikových procesů. Řada firem proto svoje úsilí zaměřuje zejména na zeštíhlování svých procesů zaváděním metod štíhlé výroby. Ani toto však již nestačí a je třeba hledat rezervy i v dalších oblastech podniku.

Pozornost se tak obrací i na plánování a rozvrhování výrobních zakázek. Zejména v oblasti operativního a dílenského plánování výroby je značný potenciál pro zlepšování.

To dokumentuje i příklad na obrázku č. 1. Zde jsou zobrazeny Ganttovy diagramy dvou rozvrhů s odlišným pořadím výroby dílců (A, B, C). Pořadí operace na dílci je uvedena za jménem dílce a časové náročnosti jsou uvedeny v závorce (např. druhá operace dílce C s časovou náročností 4 časové jednotky – C 2 (4)).

Jak je z obrázku vidět, různá sekvence zakázek zadaná do výroby má značný vliv na vytížení kapacit i na průběžné doby výroby.



Obr. 1: Optimalizace pořadí výroby dílců

## 2. Plánování a řízení výroby – od MRP po SCM

Úkolem plánování výroby je na základě objednávek zákazníka naplánovat materiál (rozpad kusovníku, zjišťování potřeb, porovnání skladových zásob, objednání materiálu a nakupovaných položek) a naplánovat výrobní/montážní zakázky (kapacitní a lhůtové plánování – lhůtový rozvrh výroby).

Řízení výroby navazuje na plánování výroby a zajišťuje provedení plánu výroby (řízení zakázek) včetně kontroly (monitorizace) jednotlivých zakázek, viz obr. 2.

První systémy pro podporu plánování a řízení výroby se objevily na trhu již v 50. letech našeho století. Do dnešního dne prošly prudkým vývojem od jednoduchého počítačového zpracování kusovníků až po komplexní systémy pro podporu plánování a řízení celopodnikových zdrojů i komplexních dodavatelských řetězců (viz obr. 3).

Názvosloví v této oblasti je značně rozmanité a nejednotné. Kromě ERP se používají i další názvy a zkratky:

PPS - Produkčně plánovací systém

LIS - Logistický informační systém

PPS - Produktionsplanung und -steuerung

PPC - Production Planning and Control

ASŘ - Automatizované systémy řízení výroby/podniku

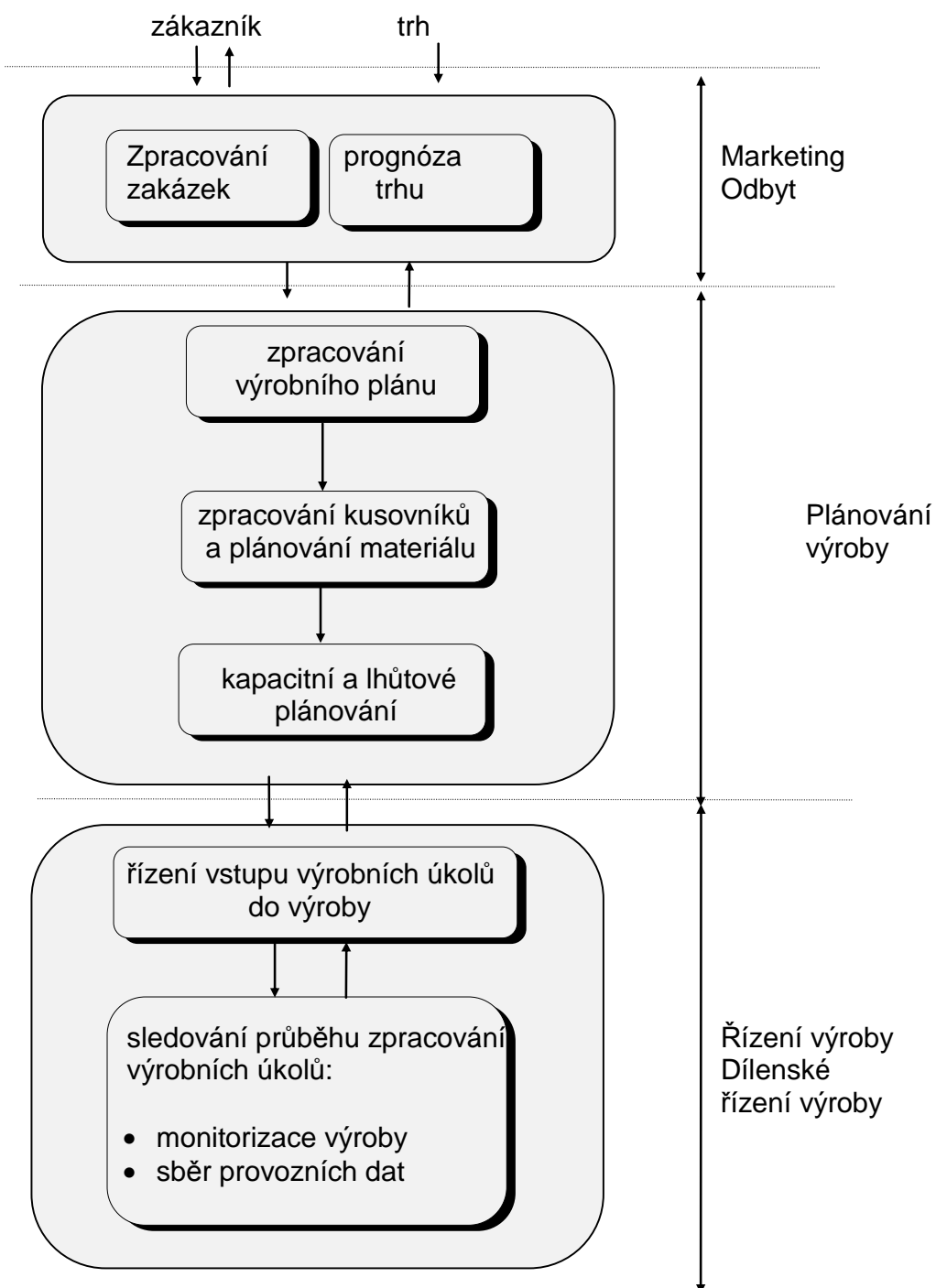
Informační systémy řízení výroby/podniku apod.

Současné podnikové informační systémy (ERP – Enterprise Resources Planning) se vyznačují převážně svojí komplexností a zahrnují ve větší či menší míře všechny plánovací a řídicí funkce v jednom programovém balíku. Jejich přínos spočívá právě v jejich celistvosti, tzn. všechny používané funkce jsou snadno dosažitelné. Výměna dat či jejich prosté sdílení jsou obvykle bezproblémové.

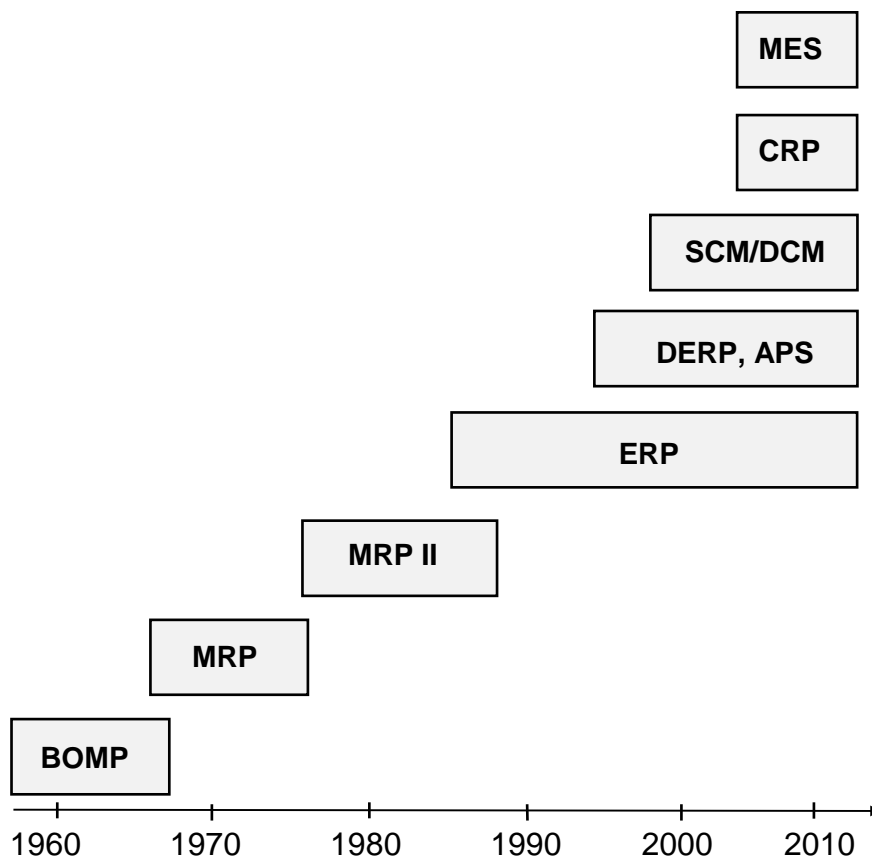
Většina ERP systémů však stále vychází z principu MRP II (Manufacturing Resource Planning). Přestože některé systémy podporují i další metody (např. Kanban popř. CONWIP - Constant Work In Process, teorii omezení TOC/OPT či simulační metody), patří mezi hlavní nevýhody ERP zejména plánování do neomezených kapacit a **nízká reakceschopnost** na aktuální situaci v dílně.

Mezi další vývojové etapy lze zařadit systémy/moduly APS (tzv. pokročilého plánování výroby) a systémy operativního plánování, které se snaží odstranit nevýhody MRP a MRP II (zejména plánování do neomezených kapacit a sekvenční plánování, viz např. Gregor 2000), i snahu o zlepšení reakceschopnosti na požadavky trhu (DCM – Demand Chain) a propojení hodnototvorného řetězce od dodavatele až po zákazníka (SCM - Supply Chain Management).





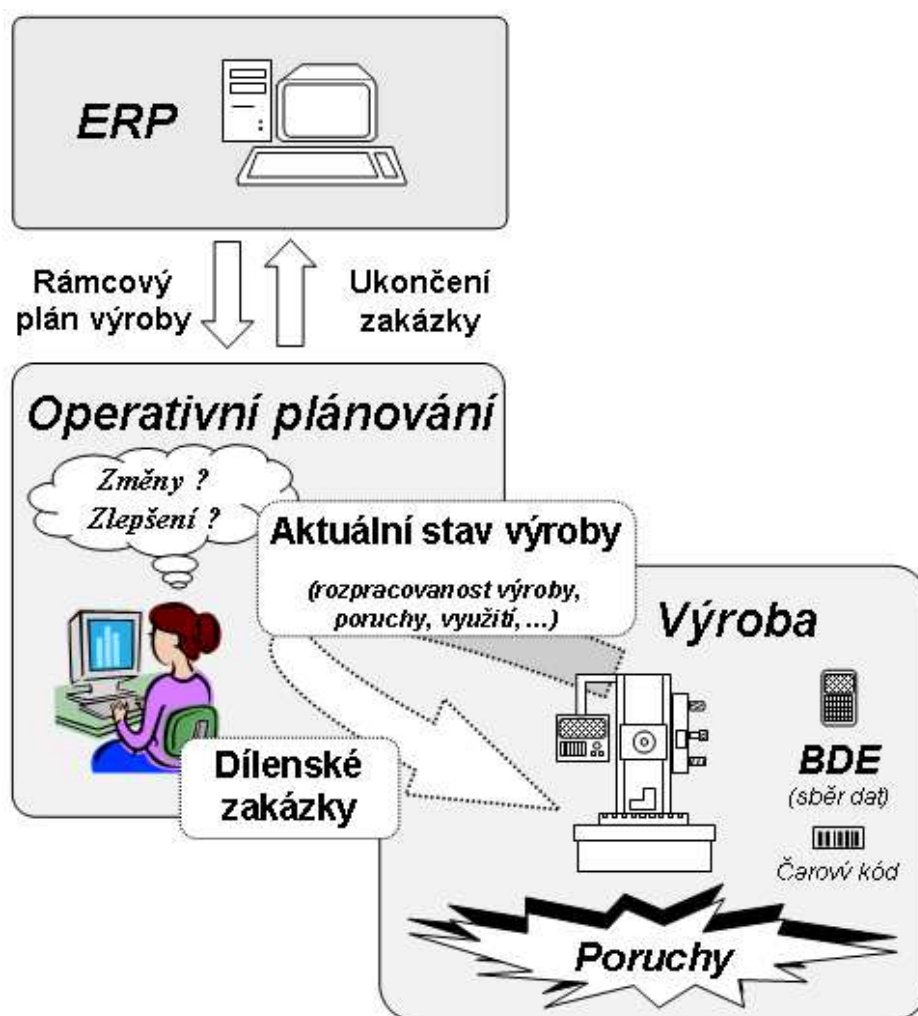
Obr. 2: Základní funkce systému pro podporu plánování a řízení výroby



BOMP	Bill of Material Processing	(zpracování kusovníků)
MRP	Material Requirements Planning	(plánování požadavků na materiál)
MRP II	Manufacturing Resource Planning	(plánování výrobních zdrojů)
ERP	Enterprise Resource Planning	(plánování celopodnikových zdrojů)
DERP	Dynamic ERP	(dynamické ERP)
APS	Advanced Planning Scheduling	(systémy pokročilého plánování)
SCM	Supply Chain Management	(řízení dodavatelského řetězce)
DCM	Demand Chain Management	(řízení zákaznických požadavků)
MES	Manufacturing Executive Systems	(systémy dílenského řízení výroby)

Obr. 3: Vývoj systémů ERP - schematicky

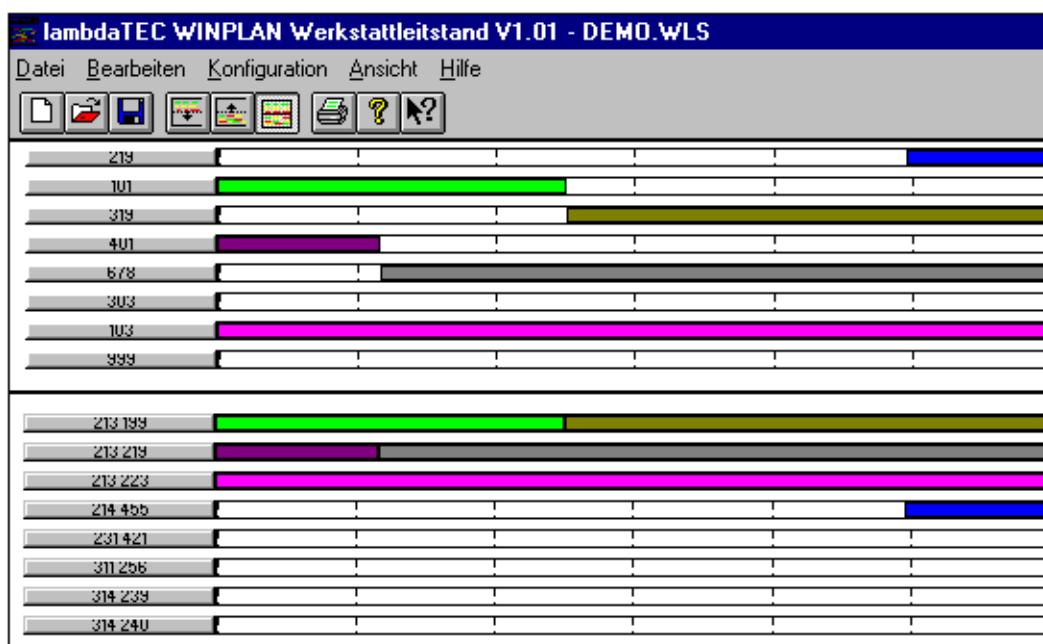
Systemy tzv. **operativního dílenského plánování** a řízení výroby přebírají rámcové výrobní zakázky od systémů ERP/APS a umožňují jejich rozplánování na jednotlivé kapacitní jednotky podle **aktuální situace** v dílně. Rovněž zajišťují zpětnou vazbu na ERP (viz obr. 4).



Obr. 4. ERP a podpora operativního plánování výroby

V této oblasti můžeme vysledovat následující vývojové tendence:

- velké systémy ERP, obsahující vlastní modul „Díleňské řízení“ (mnohdy však pouze na bázi elektronické plánovací tabule),
- systémy APS – systémy pokročilého plánování a rozvrhování výroby podporující moderní plánovací metody, např. TOC, aj.,
- systémy MES – systémy díleňského řízení výroby, které obsahují modul krátkodobého operativního plánování výroby,
- menší systémy, které podporují rozhodování mistra pomocí grafických plánovacích tabulí ve formě Ganttova diagramu (viz obr. 5). Toto řešení umožňuje grafický přehled o aktuálním stavu zakázek v dílně. Přeplánování zakázek se provádí většinou ručně pomocí „myši“.



Obr. 5. Příklad elektronické plánovací tabule - Winplan fy lambda TEC

### 3. Vybrané přístupy k optimalizaci pořadí výrobních zakázek

Teorie rozvrhování výroby v současné době čítá nezměrné množství publikací optimalizačních problémů (Brucker 2007 a Pinedo 2008). Řada z nich se zaměřuje na klasické teoretické problémy, jiné na jejich modifikace na konkrétní problémy. V rozvrhování výroby se pak nejčastěji mluví o  $m$  strojích  $M_j(j=1,\dots,m)$ , které musí zpracovat  $n$  zakázek  $J_i(i=1,\dots,n)$ . Rozvržením zakázek se rozumí alokace zakázky na jeden či více strojů v jednom či více intervalech. Jestliže zakázka  $J$  vyžaduje pro rozvržení více operací  $O_k(k=1,\dots,o)$ , pak  $O_k(i,j)$  zpravidla odkazuje na rozvrhovací krok či operaci zakázky  $j$  na stroji  $i$ . Procesní čas  $p_{ij}$  spolu s termínem zahájení operace  $e_{ij}$  určuje dobu dokončení  $f_{ij}$ .

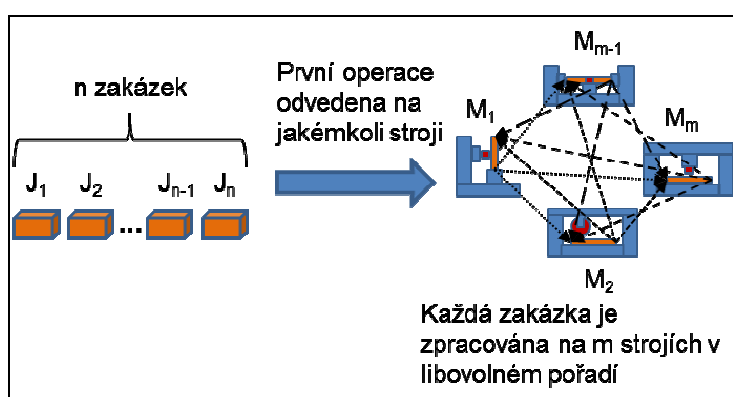
Pro popsání modelů se zavádí následující notace ve formě  $\alpha|\beta|\gamma|$ , kde:

- $\alpha$  označuje základní trajektorii zakázky přes stroje,
- $\beta$  určuje charakteristiky zpracování a dalších omezení a
- $\gamma$  specifikuje optimalizační kritérium.

Proměnná  $\alpha$  určující druh modelu nabývá hodnot (Pinedo 2008):

- Otevřený problém (z angl. open shop)  $\alpha=O$

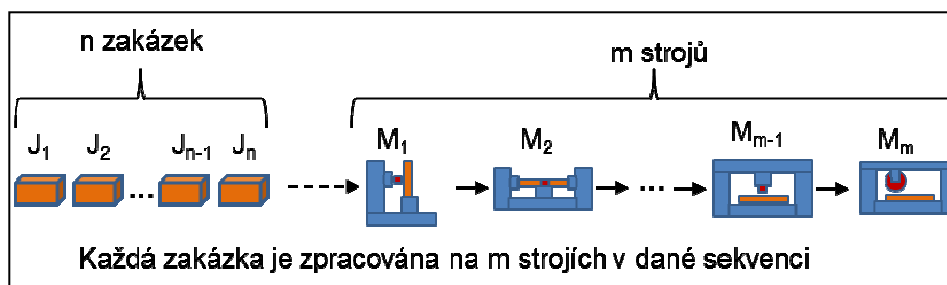
Otevřený problém (OSSP) je speciálním případem rozvrhovacího problému, ve kterém pořadí operací na zakázce není předem určeno (obr. 6).



Obr. 6: Diagram obecného otevřeného problému (OSSP)

- Proudový problém (z angl. flow shop)  $\alpha=F$

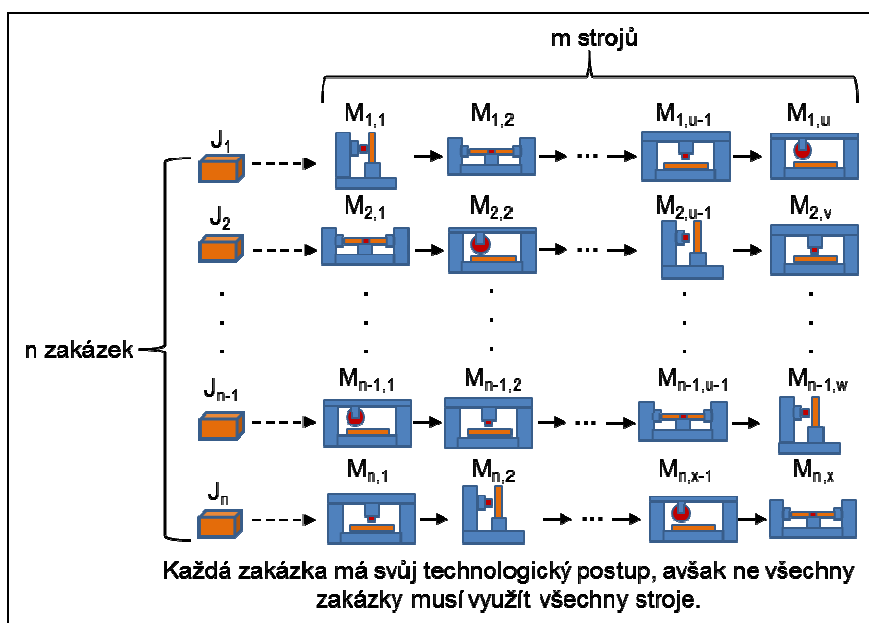
Proudový problém (FSSP) je takovým rozvrhovacím problémem, kde pořadí operací na různých zakázkách je stejné (obr. 7).



Obr. 7: Model proudového rozvrhovacího problému (FSSP)

- Sekvenční problém (volně z angl. job shop)  $\alpha=J$

Sekvenční problém JSSP je takový problém, kde každá zakázka má jinou trajektorii výrobním systémem (jiný technologický postup obr 8).



Obr. 8: Model sekvenčního rozvrhovacího problému (JSSP)

- Smíšený problém (z angl. Mixed shop scheduling problem)  $\alpha=X$
- Více komponentní rozvrhovací problém  
(z angl. Multi-component scheduling problem).  $\alpha=MC$

Za proměnnou modelu ( $\alpha$ ) se dle počtu strojů zpravidla uvádí počty strojů daného modelu (např. v případě že  $m=2$  tak O2). U klasických problémů se hovoří zejména o tzv. čtvercových problémech kde  $m=n$ .

V případech, kdy se jedná o modifikace problémů např. flexibilní, je notace před základním modelem (např. flexibilní proudový problém  $\alpha=FF$ ).

Rozvrhovací problémy bývají v některých případech kombinovány s problémy rozvrhování pracovníků (např. roboticky ovládaný proudový problém  $\alpha=F2,R1$  jsou dvě pracoviště ovládané jedním robotem).

Podobným způsobem lze pomocí parametrů  $\beta$  a  $\gamma$  definovat omezení modelu a optimalizační kritérium, např.: (viz Pinedo 2008)

- Jestliže následující operace musí začít bezprostředně po ukončení předcházejících  
 $\beta = \text{|nowait|}$
- Maximální čas dokončení všech zakázek (makespan)  
 $\gamma = C_{\max}$

V další části bude pozornost zaměřena na řešení JSSP modelů.

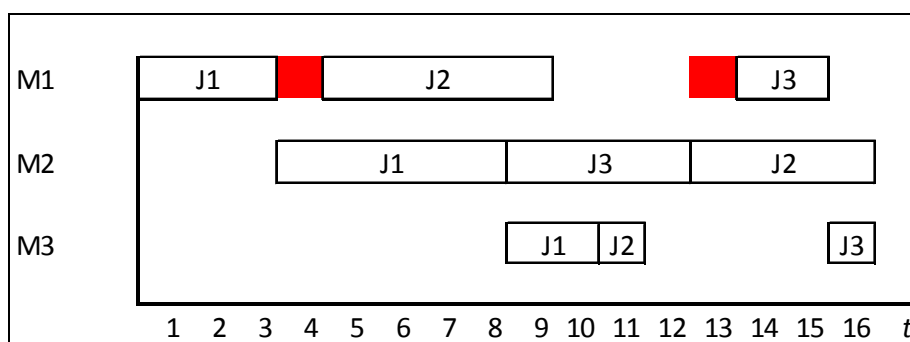
Při tvorbě rozvrhů je nutné vybrat si typ rozvrhu. Množinu všech možných rozvrhů lze rozdělit na „neaktivní“, semi-aktivní, aktivní rozvrhy a rozvrhy bez zpoždění (Pinedo 2008). Rozdíly mezi těmito druhy rozvrhů lze popsat na následujícím příkladu (tab. 1). Model tvoří tři zakázky (J1-J3), jež jsou zpracovávány na třech strojích dle technologického postupu (např. zakázka J1 nejdříve zpracovávána na stroji 1 s časovou náročností 3 časové jednotky).



Tab. 1: Model sekvenčního problému

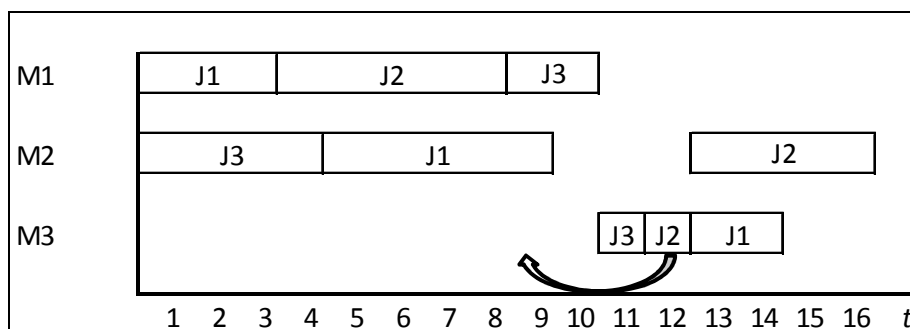
Zakázka	Technologický postup - stroj (procesní čas)		
J1	1 (3)	2 (5)	3 (2)
J2	1 (5)	3 (1)	2 (4)
J3	2 (4)	1 (2)	3 (1)

Za neaktivní rozvrhy lze považovat ty, u kterých lze pouhým posunem operace bez změny sekvence dosáhnout nižšího  $C_{max}$  (obr. 9).



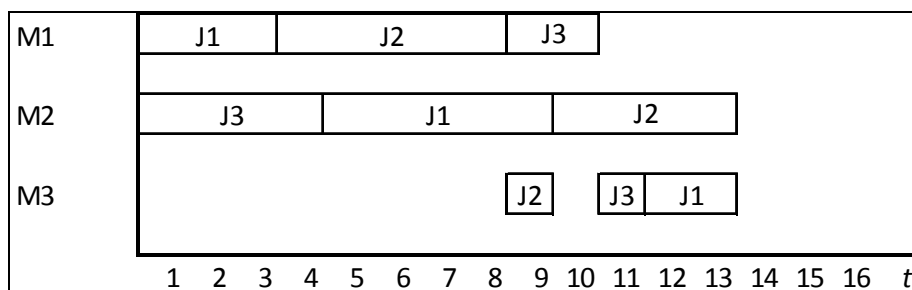
Obr. 9: „Neaktivní“ rozvrh

Semi - aktivní rozvrh je takový rozvrh, kde není možné zaplánovat operaci dříve, aniž by se změnilo pořadí, ve kterém vstupují zakázky na stroj (obr. 10). Lze také říci, že je to takový rozvrh, kdy je operace rozvržena na nejbližší možný čas.



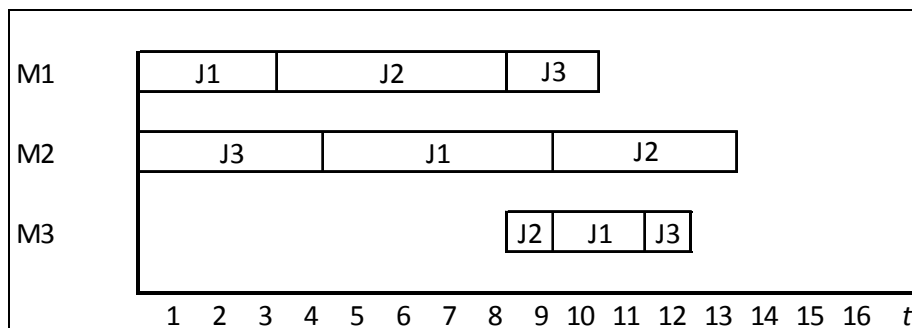
Obr. 10: Semi-aktivní rozvrh

Aktivní rozvrh (obr. 11) je pak rozvrh, kde není možné vytvořit jiný rozvrh změnou sledu alespoň jedné operace na stroji tak, aby byla odvedena dříve, aniž by došlo k opoždění operace jiné (Baker 1974). Tento typ rozvrhu se nejčastěji používá ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že optimální rozvrh je vždy rozvrhem aktivním (Baker 1974). Druhým důvodem je velikost okolí aktivních rozvrhů, které bývá znatelně menší než u semi-aktivních (obr. 13).



Obr. 11: Aktivní rozvrh

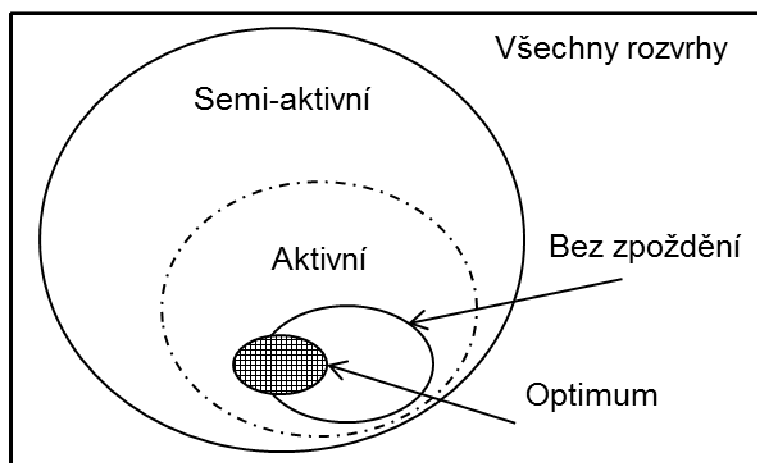
Posledním zmiňovaným rozvrhem je rozvrh bez zpoždění (ND - z anglického Non delay schedule), který je podmnožinou rozvrhů aktivních. V takovém plánu není stroj bez práce (přiřazené operace), pokud je jakákoliv operace v daný čas pro tento stroj dostupná (obr. 12).



Obr. 12: Rozvrh bez zpoždění

V případě tohoto modelu, ačkoli se jedná o malý model, je celková množina všech rozvrhů  $n=3!^3=216$ .

Na obr. 13 je schematické porovnání jednotlivých množin rozvrhů.

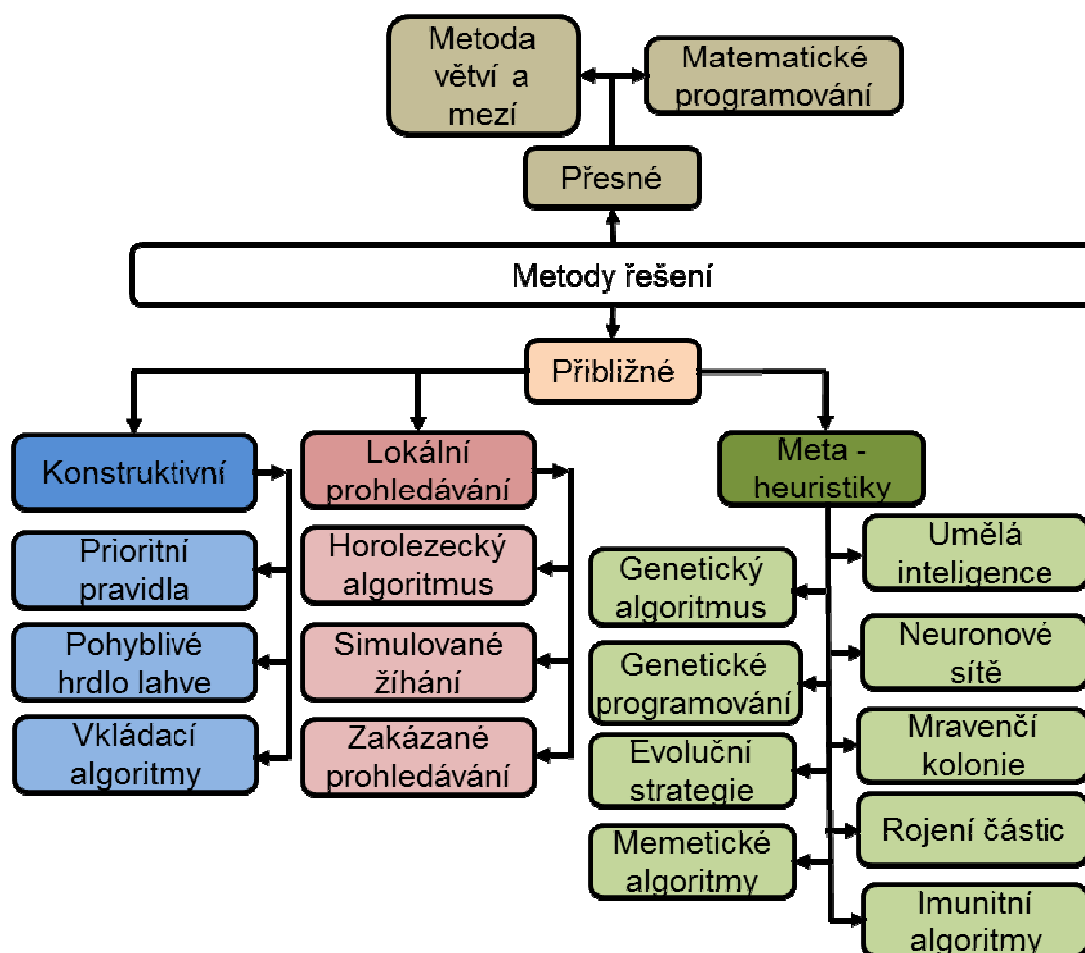


Obr. 13: Mapa rozvrhů

Přestože se problematikou rozvrhování operací zabývá odborná literatura již od počátku minulého století (Wilson 2003), žádný z výzkumů a aplikací nenalezl způsob, jak rychle nalézt optimální řešení, a to nejen teoretických modelů, ale ani praktických aplikací (vyjma problémů řešitelných v polynomiálním čase - jejich výskyt v praxi je však málo pravděpodobný).

Metody poskytující řešení JSSP problémů lze rozdělit na základní dva směry (obr. 14). Jsou to takzvané metody přesné (někdy také nazývané optimalizační), které nacházejí přesné řešení např. enumerativním způsobem. To však má za následek dlouhý výpočetní čas. Aproximační (neboli přibližné metody) způsob je druhým směrem, který se již dlouhou dobu rozvíjí vzhledem k jeho větší aplikovatelnosti v

praxi. Jejich aplikovatelnost je dána tím, že přestože nezaručují nalezení optimálního řešení, poskytují řešení v reálném čase.



Obr. 14: Metody pro tvorbu a optimalizaci dílenských rozvrhů

### 3.1. Konstruktivní algoritmy

Konstruktivní algoritmy se používají jako první z metod pro řešení rozvrhovacích problémů. Konstruktivní algoritmy jsou zpravidla jednoduché, zřetelné a tudíž se dají jednoduše vysvětlit i pracovníkům na dílně. Jsou nejčastěji používané pro řešení těchto problémů v praxi.

CA začínají s prázdným řešením (plánem) a použitím metod, jako jsou prioritní pravidla (Panwalkar&Isklander 1977), rozvrhování dle úzkého místa (Adams et al 1988) či dle zakázky s největší sumou procesních časů (Werner&Winkler 1995). Řeší rozvrhovací problémy respektujíc omezení (technologický postup, materiálové požadavky, požadavky na seřazení stroje) v konečném počtu kroků.

Pro potřeby tohoto textu jsou popsány dva způsoby tvorby rozvrhu a to pomocí prioritních pravidel a plovoucího úzkého místa (shifting bottleneck).

#### 3.1.1. Prioritní pravidla

Rozvrhování podle prioritních pravidel je založeno nejčastěji na generování rozvrhů pomocí algoritmu Gifflera a Thompsona (aktivní rozvrh, Giffler&Thompson 1960) a jeho modifikace pro rozvrh bez zpoždění. V těchto algoritmech se rozvrhují jedna operace po druhé na základě výběru právě dostupných operací. Právě dostupnou operací lze nazvat takovou, která je nerozvrhnutá a je jako první v technologickém postupu. V případech reálných rozvrhů je pak potřeba brát v potaz další omezení, jako je čas uvolnění materiálu do výroby, směnnost, připravenost pracovníka aj. Z takto dostupných operací se vybírá stroj, který obsahuje operaci, u které se předpokládá nejdřívější čas dokončení (či začátku pro rozvrh bez zpoždění). Na tomto stroji je pak nutné rozhodnout, jaké z dostupných operací dát přednost.

Toto rozhodnutí lze stanovit na základě prioritních pravidel vyplývajících z:

- obecných požadavků na výrobu,
- vlastností daného rozvrhu – technologického postupu.

V praktických aplikacích se často vyskytují prioritní pravidla dle požadavků na výrobu. Informační systémy ERP/APS často umožňují ruční přiřazování priorit dané zakázce, kde se stanovuje priorita na základě těchto informací:

- požadovaný termín odvedení zakázky zákazníkovi,
- termín přijetí zakázky,
- penále z nedodržení termínů,
- druh zakázky (shromážděné či neshromážděné díly).

V případě shromážděných dílů pak plánovací systémy dynamicky zvyšují prioritu dle vzdálenosti k objednací či kritické hladině a předpokládané spotřebě.

Přes to, že takovýto způsob nejčastěji odpovídá požadavkům podniku, není příliš vhodný pro dílenské řízení výroby. V případě, že je nutné vyrábět na jednom stroji dvě zakázky, které mají např. stejný datum dodání zákazníkovi a tudíž stejnou prioritu, priorita neurčí pořadí zpracování na takovém stroji.

Stále častěji se tak používají prioritní pravidla vycházející z vlastností daného rozvrhu resp. technologického postupu. Výzkum v této oblasti je rozsáhlý a již v 70 letech minulého století jich bylo známo více než sto (Panwalkar&Isklander 1977).

Mezi nejznámější pravidla patří (viz příklad příloha č.1):

- SPT (Shortest Processing Time) – zakázka s nejkratším procesním časem
- MWKR (Most Work Remaining) – zakázka, na které zbývá nejvíce práce
- LWKR (Least Work Remaining) – zakázka, na které zbývá nejméně práce
- FCFS (First Come First Served) známější pod názvem First-In First-Out (FIFO) – zakázka s nejdřívějším časem příchodu na pracoviště
- RS – (Random Select) - náhodný výběr zakázky

Výhodou tohoto způsobu rozvrhování je rychlé a jednoduché generování rozvrhů. Nevýhodou pak skutečnost, že nelze zaručit nalezení optimálního řešení a možnost, že lze v případě, kdy se vygenerují rozvrhy pomocí různých prioritních pravidel, dosáhnout stejného řešení. Nejvhodnější nasazení této metody je v případě, kdy je vyžadováno řešení v krátkém čase nebo pro generování počátečních řešení pro prohledávací heuristické metody.

### 3.1.2. Plovoucí úzké místo

Hrdlo lahve je termín, který označuje nejužší místo v systému resp. stroj, který svou produkcí definuje maximální čas dokončení všech zakázek. Hlavním principem této metody je přerozvrhování výrobních zakázek právě na úzkém místě, které se po vyřešení problému přesouvá na jiný výrobní zdroj. Tak jako konstruktivní algoritmus Gifflera a Thompsona je tento algoritmus iterativní s tím rozdílem, že nerozvrhuje zakázky jednu po jedné, ale tvoří fixovaný rozvrh pro samostatné stroje a to následujícím způsobem (Adams et al 1988 a Dermikol et al 1997):

- Iniciace - nalezení předpokládaného úzkého místa součtem všech procesních časů zakázek na jednotlivých strojích. Výběr sekvence zakázek na tomto zdroji a rozvrhnutí ostatních strojů odpovídajícím způsobem včetně nalezení maximální doby dokončení všech zakázek  $C_{max}$ .

- Nalezení kritické cesty a maximálního zpoždění - postupně pro každý stroj je vyřešen speciální rozvrhovací problém pro jeden stroj (berou se v úvahu zpoždění vlivem rozvržení zakázek na ostatních strojích) s termíny dostupnosti  $r_j$ , dokončení  $d_j$  a kritériem minimalizace maximálního zpoždění  $L_{max}$ .

- Výběr stroje s největším maximálním zpožděním  $L_{max}$ , nalezení jeho optimálního rozvrhu (dle zpoždění) a podřízení rozvrhů ostatních strojů. Tento krok obsahuje přepočítání zpoždění  $L_{max}$  a maximálního data dokončení všech zakázek  $C_{max}$ . Tento krok lze opakovat, dokud nejsou všechny stroje rozvrženy, resp. na všech strojích je nulové zpoždění vzhledem k termínu dokončení.



Nevýhodou tohoto principu je, že se snaží o minimalizaci zpoždění vytvořeného počátečního řešení s ohledem na celkový čas dokončení. Ačkoli je tento způsob považován za lepší způsob generování rozvrhů než je tomu u prioritních pravidel (Dermikol et al. 1997), nezaručuje, že nalezne optimální řešení. Často je tento princip používán v kombinaci s genetickými algoritmy (Driessel et al. 2010 a Gao 2007 et al.).

### 3.2. Algoritmy založené na lokálním prohledávání

Metoda lokálního prohledávání patří mezi nejstarší metody založené na prohledávání oblasti řešení (Vaesesens 1994 et al.). Patří mezi nejjednodušší a nejuniverzálnější metody. Pomocí definované oblasti řešení, účelové funkce a mechanismu generování sousedních řešení se snaží dosáhnout globálního extrému.

Postup optimalizace je pak následující:

- 1) Vygenerování počátečního řešení pomocí konstruktivního algoritmu (nejčastěji pomocí pravidla RS).
- 2) Vygenerování sousedních řešení a výpočet účelové funkce.
- 3) Výběr nejlepšího řešení dle účelové funkce.
- 4) Stanovení tohoto řešení jako počátečního a návrat na krok č. 2, dokud není splněna podmínka ukončení algoritmu.

Ukončení tohoto algoritmu obvykle závisí na počtu nadefinovaných iterací či na ukončující podmínce uvíznutí v lokálním extrému.

Nevýhodou této metody je časté uvíznutí v lokálním extrému, což je způsobeno počátečním řešením. Tento problém se obvykle řeší pomocí:

- Zvětšení množiny sousedů.
- Opakování metody pro různá náhodně vygenerovaná počáteční řešení.
- Připuštění přijetí řešení s horší hodnotou účelové funkce.

Přes to, že se jedná o metodu často končící v lokálním extrému, mnohé principy, zvláště v oblasti generování sousedství, se využívají v pokročilých optimalizačních metodách (Brucker 2007 a Pinedo 2008).

Mezi nejznámější patří následující algoritmy a jejich „mutace“ (viz příklad příloha 2):

- Horolezecký algoritmus,
- Metoda simulovaného žíhání,
- Metoda zakázaného prohledávání.

### **3.3. Meta-heuristické (Evoluční) algoritmy**

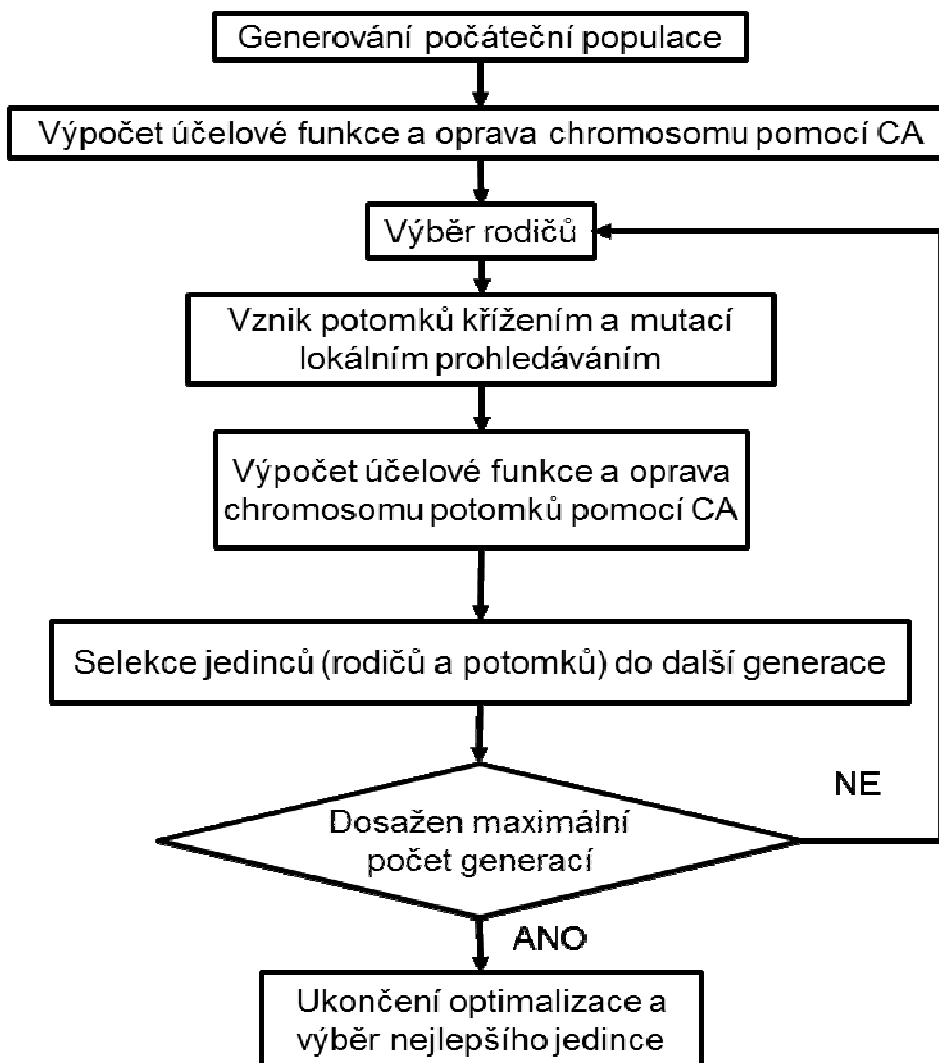
Evoluční algoritmy (EA) jsou meta-heuristické optimalizační algoritmy založené na optimalizaci populace (množiny řešení) pomocí principům známých z biologie jako jsou mutace, křížení, přirozený výběr a přežití nejsilnějších jedinců za účelem nalezení nejlepších jedinců skrze generace (iterace).

Evoluční algoritmy vycházejí z biologických principů a principu cílené optimalizace tj. zlepšování určitého znaku jedinců – účelové funkce. Prohledávaný prostor evolučních algoritmů  $G$  je abstrakce množiny všech možných DNA řetězců v přírodě a jejich znaky  $g \in G$  (v rozvrhování pořadí operace) hrají roli přírodního genotypu. Populace jedinců  $x$  (řešení problému) se vyvíjí (prohledává prostor  $X$ ) pomocí mutace a křížení předem definovaným směrem daným nutnou silou pro přežití (účelová funkce).

Ukázka fungování evolučního algoritmu s reprezentací pomocí náhodného klíče a kontrolou klonů je uvedena na následujícím obr. 15.

Do kategorie evolučních algoritmů můžeme zařadit:

- Genetické algoritmy,
- Genetické programování,
- Evoluční strategie,
- Memetické a hybridní algoritmy.



Obr. 15: Příklad Evolučního algoritmu

### 3.4. Metody založené na umělé inteligenci

Prvky umělé inteligence jsou aplikovány s ohledem na pozorování chování organizovaných systémů v přírodě.

Jako příklad uvádíme:

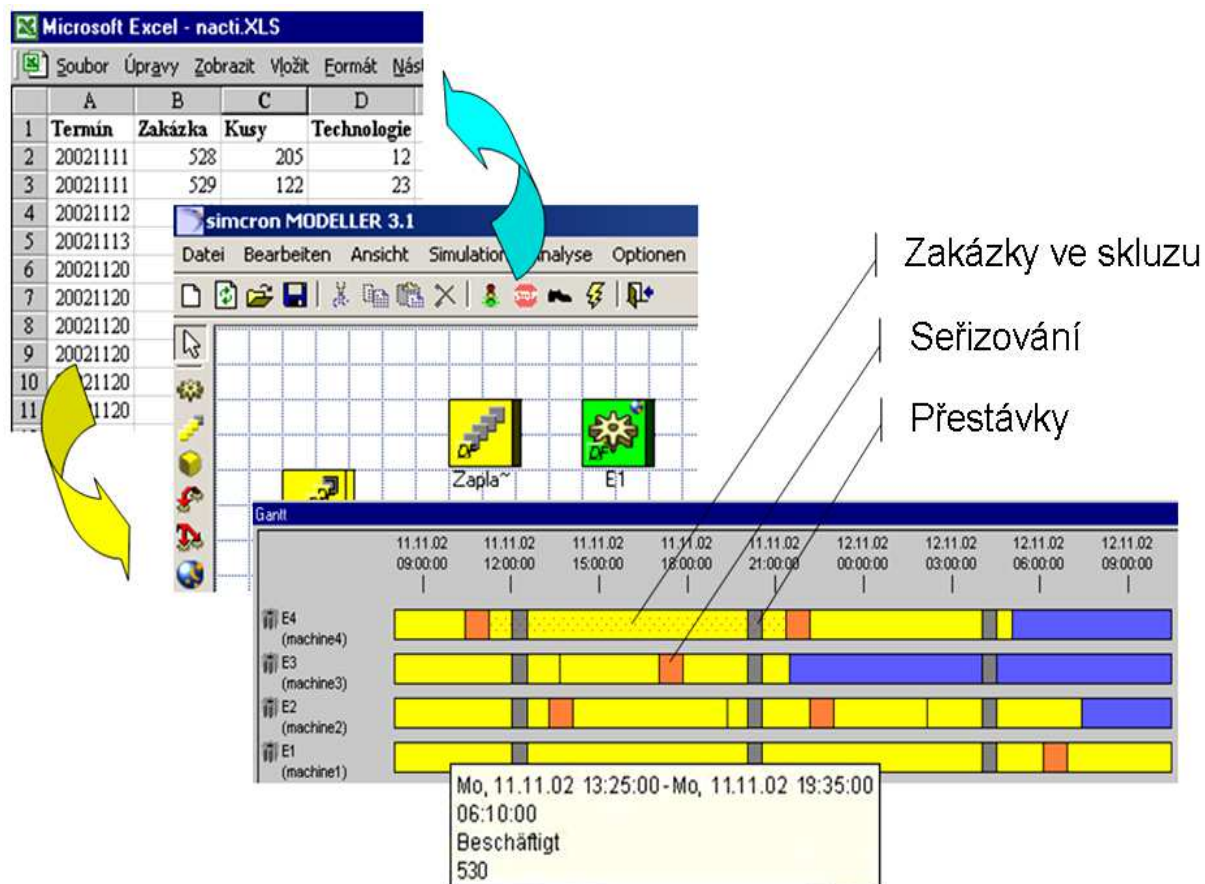
- imunitní algoritmy,
- algoritmy rojení částic,
- mravenčí kolonie.

### 3.5. Využití počítačové simulace

Simulační systémy je možné integrovat přímo do ERP systému a propojit ho s jeho databází. Využívají se však i samostatně, např. se systémem Excel, kde se mohou provádět i veškeré změny týkající se struktury a pořadí zakázek.

Princip řešení nastiňuje následující obrázek 16.

V simulačním systému je vytvořen simulační model zkoumaného výrobního systému, na kterém se „přehrávají“ jednotlivé „scénáře výroby“. Vstupní data (např. seznam jednotlivých zakázek) se načítají ze systému Excel. Výsledky jednotlivých scénářů (simulačních běhů) se následně analyzují.



Obr. 16. Příklad využití počítačové simulace při rozvrhování výroby

Analýzou výsledků simulace lze kromě vlastního rozvrhu výroby (tj. CO – KDY – KDE) získat mnoho užitečných informací o chování zkoumaného procesu, např.:

- informace o úzkých místech a kolizních stavech či využití jednotlivých zdrojů,
- detailní přehled o zakázkách (tj. zda jsou ve skluzu, čekání ve frontě na zpracování, aj.),
- termín seřizování, apod.

Z těchto výsledků je možné navrhnout změny stávajícího rozvrhu výroby a odstranit případné kolize.

Pro usnadnění tvorby rozvrhu se často používají integrované optimalizační moduly, které využívají zejména heuristické algoritmy.





## 4 Závěr

Po letech, kdy se kladl zvýšený důraz zejména na zavádění tzv. štíhlé výroby, se pozornost obrací i na další oblasti podniku. Do popředí zájmu se tak opět dostává i plánování a rozvrhování výroby.

O plánování výroby se říká, že tvoří páteř podniku. O jeho důležitosti hovoří zejména to, že propojuje celou řadu podnikových oblastí, od přijetí zakázky, nákupu vstupů, přes vlastní výrobu až po expedici.

V oblasti rozvrhování dílenských zakázek navíc platí jednoduché pravidlo – základní optimalizace je možné provádět již „pouhou“ změnou pořadí zakázek.

Nalezení optima však není zcela jednoduché. Vzhledem ke složitosti zmiňovaného problému (často se jedná o tzv. NP, tj. nepolynomiální problémy) zde proto nacházejí značné uplatnění heuristické optimalizační metody.

Závěrem lze konstatovat, že efektivita podniku výrazně závisí od kvality systému plánování a rozvrhování výroby.

Vzhledem k výše popsanému bylo cílem publikace poskytnout čtenářům základní přehled o optimalizačních přístupech v oblasti rozvrhovacích problémů, tj. při optimalizaci pořadí výrobních zakázek.



## Seznam literatury

Abeln, O. (1990). Die CA...- Techniken in der industriellen Praxis. Handbuch der computergestützten Ingenieur-Methoden. Carl Hanser Verlag, München - Wien.

Adams, J, Balas, E, Zawack, D. (1988). The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling, *Management Science*, v.34 n.3, p.391-401.

Baker, K. R. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling* John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0471045557.

Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms*. 5th edition. [s.l.] : Springer. 383 s. ISBN 978-3540695158, 354069515X.

Dermikol, E, Mehta, S., Uzsoy, R, A. (1997). Computational Study of Shifting Bottleneck Procedures for Shop Scheduling Problems, *Journal of Heuristics*, v.3 n.2, pp.111-137.

Driessel, R, et al. (2010). A parallel shifting bottleneck heuristic for scheduling complex job shops: Architecture and performance assessment. In *Automation Science and Engineering (CASE)*, 2010. Toronto. pp. 81 - 86. ISBN 978-1-4244-5447-1 [online] ([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5584066&tag=1#Index Terms](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5584066&tag=1#Index Terms)).

Gao, J., Gen, M., Sun, L., Zhao, X. (2007). A hybrid of genetic algorithm and bottleneck shifting for multiobjective flexible job shop scheduling problems, *Computers& Industrial Engineering*, Volume 53, Issue 1, pp. 149-162, ISSN 0360-8352, 10.1016/j.cie.2007.04.010.

Giffler, B., Thompson, G. (1960): Algorithms for Solving Production Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*, vol. 8, pp. 487-503.

Gregor, M., Mičieta, B., Košturiak, J., Bubeník, P., Růžička, J. (2000). *Dynamické plánovanie a riadenie výroby*. Žilinská univerzita v Žilíně.

Hackstein, R. (1989). *Produktionsplanung und -steuerung*. VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf.

Koblasa, F. (2013). Uplatnění heuristických optimalizačních metod v oblasti rozvrhování strojírenské výroby středních a malých podniků. TU v Liberci – KVS, Liberec (dizertační práce).

- Košturiak, J., Gregor, M. (1993). Podnik v roce 2001 - revoluce v podnikové kultuře. GRADA, Praha.
- Manlig, F. (1997). Počítačová podpora dílenského řízení výroby. In: Moderní způsoby řízení výroby. Seminář TU v Liberci, KVS-KPE, Liberec 04.06.1997, Sborník referátů, s. 16-22.
- Manlig, F., Pelantová, V. (1998). Moderní přístupy k dílenskému řízení. Strojírenská technologie, 3 (1998), č. 2, s. 17-21.
- Manlig, F. (2015). Výrobní systémy I – Počítačem podporovaná výroba. TU v Liberci – KVS, Liberec (skriptum – v přípravě pro r. 2015).
- Panwalkar S. S., Isklander, W. (1977). A survey of scheduling rules. Operations Research, Vol. 25, No.1, pp. 45-60.
- Pelantová, V. (2004). Stále neznámý holón a další struktury a přístupy. Strojírenská technologie 2004, č. 1, s. 11-15.
- Pinedo M. L. (2008). Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems, Third Edition, Springer.
- Vaesesens, R. J., Aarts, M., Lenstra, J. K. (1994). Job Shop Scheduling by Local Search. INFORMS JOURNAL ON COMPUTING. pp. 302-317.
- Warnecke, H.-J. (1991). Innovative Produktionsstruktur. In: Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart FTK 1991. Springer Verlag, Berlin u. a., s. 13-19.
- Werner, F., Winkler, A. (1995). Insertion techniques for the heuristic solution of the job shop problem, Discrete Applied Mathematics, Volume 58, Issue 2, 24, pp. 191-211, ISSN 0166-218X, 10.1016/0166-218X(93)E0127-K.
- Wilson, J. M. (2003). Gantt charts: A centenary appreciation, European Journal of Operational Research, Volume 149, Issue 2, 1 September 2003, pp. 430-437, ISSN 0377-2217, 10.1016/S0377-2217(02)00769-5. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221702007695>).

# PŘÍLOHA



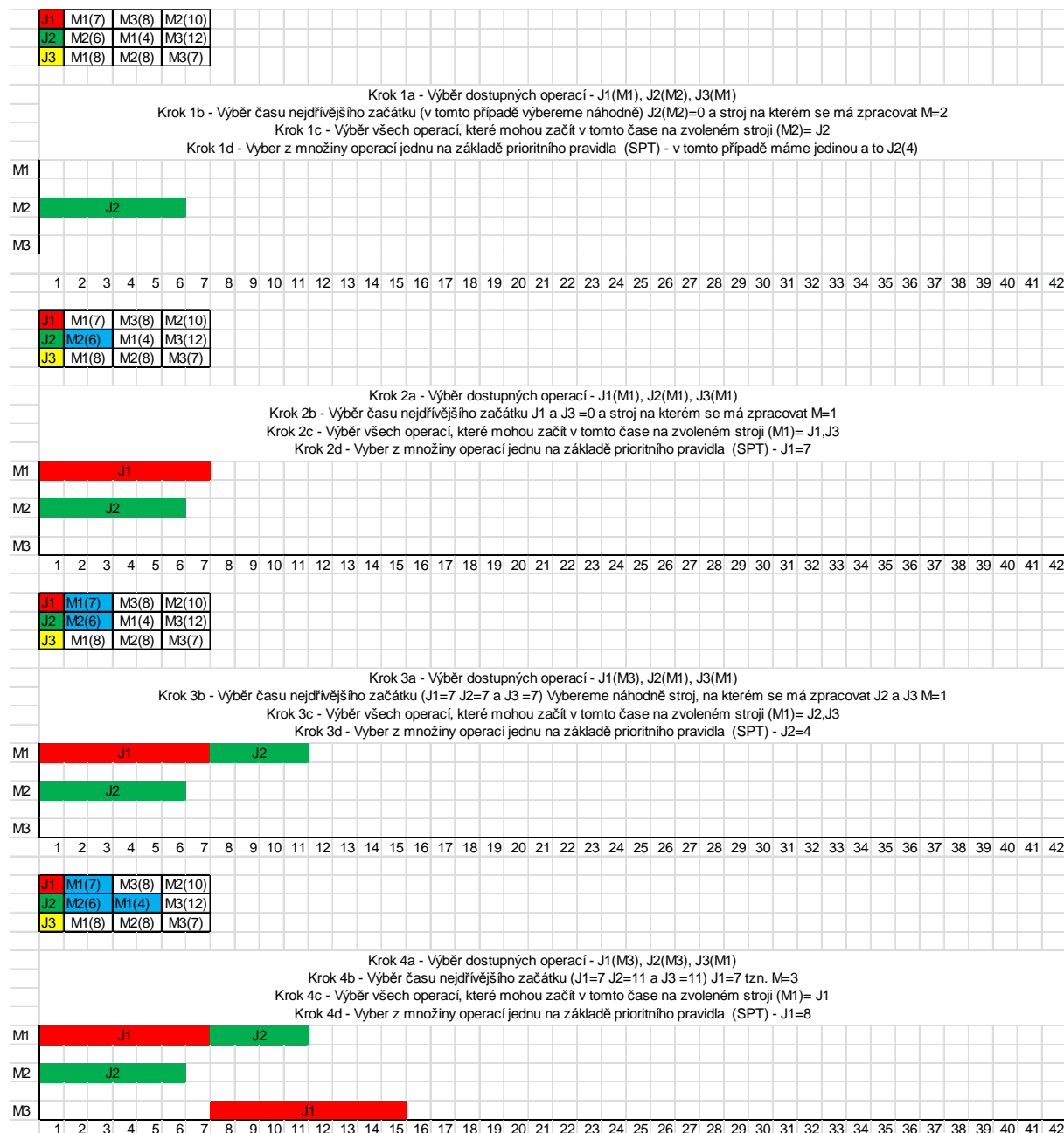
## Seznam příloh

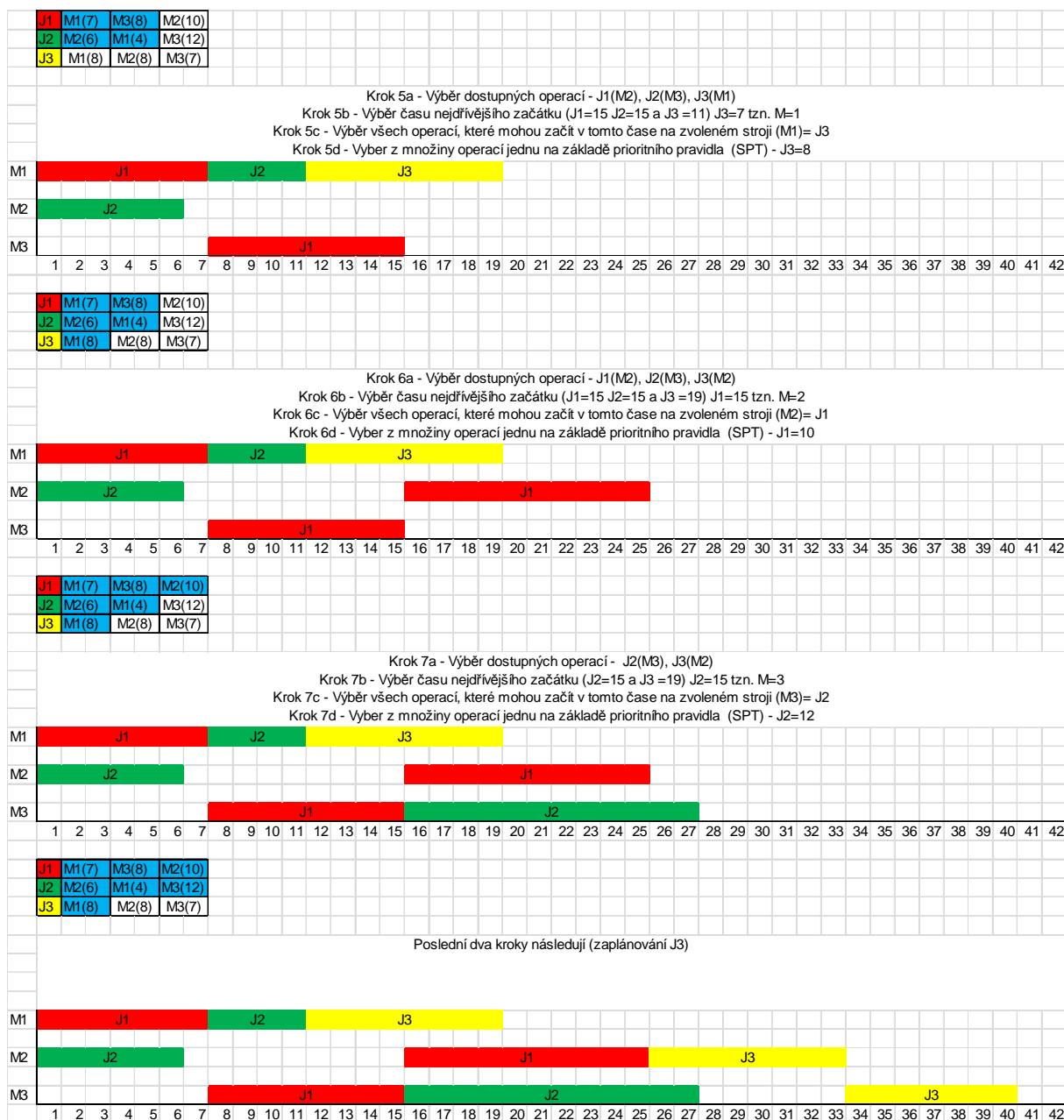
P1	Příklad využití generování rozvrhu bez zpoždění pomocí Konstruktivního algoritmu s využitím prioritního pravidla SPT .....	47
P2	Příklad využití Lokálního prohledávání .....	49



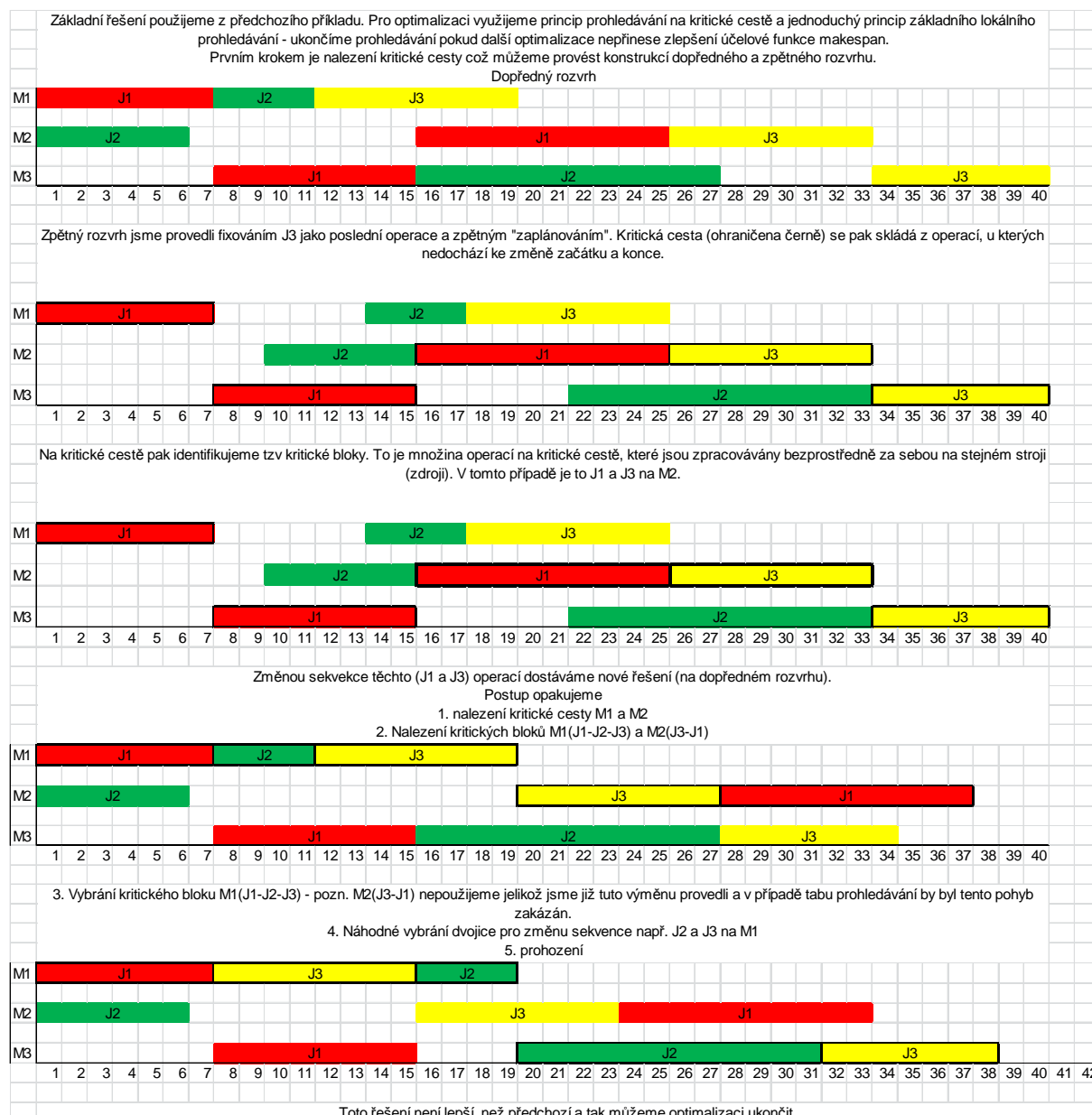


## Příloha P1. Příklad využití generování rozvrhu bez zpoždění pomocí Konstruktivního algoritmu s využitím prioritního pravidla SPT





## Příloha P2. Příklad využití Lokálního prohledávání





Název	Plánování a rozvrhování výroby (vybrané kapitoly)
Autor	František Manlig František Koblasa
Vydavatel	Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1
Určeno pro	Širokou odbornou veřejnost
Schváleno	Rektorátem TUL dne 11. 5. 2015, č. j. RE 26/15
Počet stran	52
Vydání	2., 1. vydání v r. 2014
Rok vydání	2015
Číslo publikace	55-026-15

---

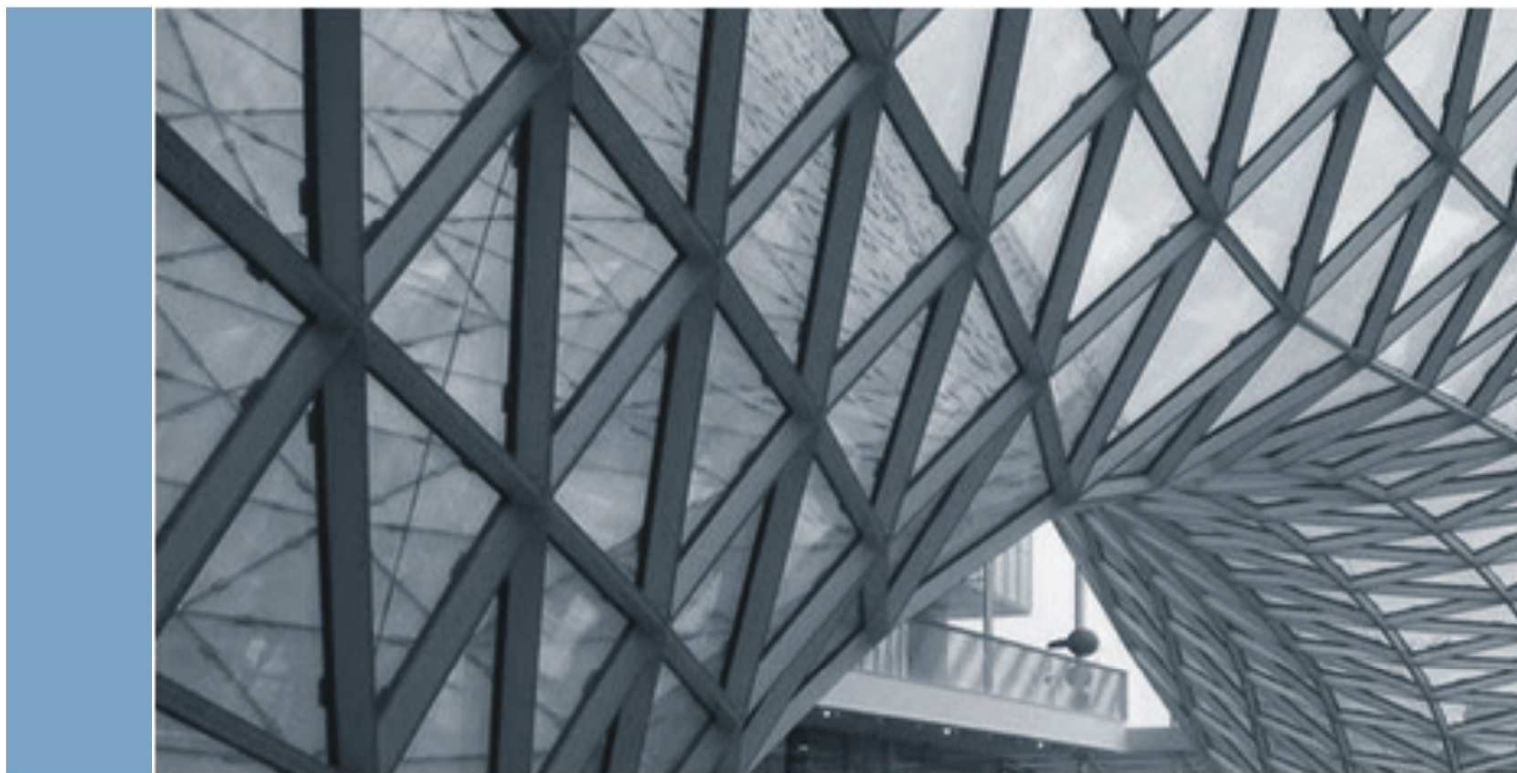
Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-7494-204-4





Publikace byla zpracována v rámci projektu "Vytváření a posilování partnerství mezi univerzitami a praxí" číslo CZ.1.07/2.4.00/17.0054.



**Plánování a rozvrhování výroby (vybrané kapitoly)**

Technická univerzita v Liberci

Květen 2015



9 788074 942044