



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**STATISTICKÉ VYHODNOCOVÁNÍ VÝROBNÍCH  
ROZVRHŮ**

STATISTIC EVALUATION OF MANUFACTURE SCHEDULES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**PAVOL ANDRAŠKO**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MARTIN HRUBÝ, Ph.D.**

BRNO 2017

## Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Andraško Pavol**

Obor: Informační technologie

Téma: **Statistické vyhodnocování výrobních rozvrhů**  
**Statistic Evaluation of Manufacture Schedules**

Kategorie: Modelování a simulace

### Pokyny:

1. Prostudujte metody plánování a rozvrhování průmyslové výroby. Prostudujte dostupné informace o nástrojích pro plánování, řízení a sledování výroby.
2. Navrhněte sadu statistických ukazatelů o kvalitě výrobních rozvrhů.
3. Implementujte program, který z výrobních rozvrhů vypočte statistické ukazatele o kvalitě rozvrhů a prezentuje je uživateli vhodným způsobem.
4. Program testujte na hypotetických i reálných datech výrobního podniku.

### Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

1. První dva body zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Hrubý Martin, Ing., Ph.D., UITS FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2016

Datum odevzdání: 17. května 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta informačních technologií  
Ústav inteligentních systémů  
602 00 Brno, Božetěchova 2

---

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček  
vedoucí ústavu

## Abstrakt

Presadiť sa ako výrobný podnik na dnešnom trhu, ktorý je plný konkurencie a ostať v zisku nie je jednoduché. Hlavnou činnosťou týchto podnikov je výroba a tá je úzko spojená s jej naplánovaním a rozvrhnutím. Kvalitný výrobný rozvrh môže mať veľký dopad na chod podniku. Môže spôsobiť zbytočné náklady, na druhú stranu môže ušetriť zdroje podniku, ktoré je možné použiť v inej oblasti. Cieľom tejto bakalárskej práce je snaha o nájdenie čo najlepšieho výrobného rozvrhu. V práci som navrhol štatistické ukazovatele, pomocou ktorých sa snažím objektívne zhodnotiť kvalitu daného výrobného rozvrhu. Výstupom práce je sada štatistických ukazovateľov kvality výrobných rozvrhov a program (*implementovaný v informačnom systéme MES PHARIS*), ktorý dostane na vstupe informačné dáta o výrobnom rozvrhu, následne vypočíta hodnoty štatistických ukazovateľov a graficky zobrazí vypočítané výsledky.

## Abstract

It is not easy to uphold a manufacturing enterprise in today's market, that is full of competition and yet remain in profit. The main focus of these enterprises is production and that is closely linked to its planning and scheduling. A good production schedule can have a great impact on business. On one hand, it may cause some unnecessary costs, but on the other hand, it can save resources that might be used in another area. The aim of this bachelor thesis is to find the best production schedule. In this thesis I have offered some statistical indicators, using those I seek to objectively evaluate the quality of the production schedule. The outcome of this work is a set of statistical quality indicators of production schedules and program (*implemented in the information system MES PHARIS*), which receives input data of the production, calculates the values of the statistical indicators and then the calculated results are displayed graphically.

## Klíčové slová

výroba, plánovanie výroby, rozvrhovanie výroby, rozvrh výroby, metódy plánovania, metódy rozvrhovania, štatistický ukazovateľ, kvalita rozvrhu

## Keywords

production, production planning, production scheduling, production schedule, planning methods, scheduling methods, statistical indicator, schedule quality

## Citácia

ANDRAŠKO, Pavol. *Štatistické vyhodnocování výrobních rozvrhů*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Hrubý Martin.

# Statistické vyhodnocování výrobních rozvrhů

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Martina Hrubého, Ph.D. Ďalšie informácie mi poskytol pán Bc. Leoš Hons zo spoločnosti UNIS s.r.o., u ktorej prebehla implementácia a testovanie programu. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....  
Pavol Andraško  
11. mája 2017

## Podakovanie

Ďakujem môjmu vedúcemu práce pánovi Ing. Martinovy Hrubému, Ph.D. za rady, smerovanie a vedenie práce, ďakujem pánovi Bc. Leošovi Honsovi za poskytnutú možnosť vypracovať bakalársku prácu v spoločnosti UNIS s.r.o a ďakujem kolegom, ktorí mi poskytli rady pri implementácií programu. Zároveň ďakujem Pánu Bohu za Jeho vedenie pri tejto práci.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Charakteristika priemyselnej výroby</b>	<b>4</b>
2.1	Typy výroby	4
2.1.1	Podľa objemu výroby	5
2.1.2	Podľa spojitosti výrobného procesu	5
2.1.3	Podľa odberu produkcie	5
2.1.4	Podľa väzby medzi materiálom a produktom	6
2.2	Proces plánovania a rozvrhovania výroby	6
<b>3</b>	<b>Metódy plánovania a rozvrhovania výroby</b>	<b>8</b>
3.1	Metóda MRP	9
3.2	Metóda MRP II	10
3.3	Metóda JIT	11
<b>4</b>	<b>Nástroje na plánovanie, riadenie a sledovanie výroby</b>	<b>12</b>
4.1	Informačný systém ERP	12
4.2	Informačný systém MES	13
4.3	Systém APS	14
4.4	Ponuka na českom trhu	15
4.4.1	Nástroj MES PHARIS	16
<b>5</b>	<b>Návrh štatistických ukazovateľov</b>	<b>18</b>
5.1	Výrobný rozvrh	18
5.2	Štatistické ukazovatele	19
5.2.1	Terminológia štatistických ukazovateľov	19
5.2.2	Katégória ukazovateľov typu efektivita výroby	19
5.2.3	Katégória ukazovateľov typu spoľahlivosť rozvrhu	21
5.2.4	Katégória ukazovateľov typu náročnosť rozvrhu	22
5.2.5	Katégória ukazovateľov typu kontinuálnosť výroby	23
5.2.6	Potenciálne ukazovatele na implementáciu	23
<b>6</b>	<b>Návrh a implementácia riešenia</b>	<b>25</b>
6.1	Analýza úlohy	25
6.2	Vstupné dáta	25
6.3	Návrh programu ScheduleAnalyzer	27
6.4	Implementácia	28
6.4.1	Načítanie vstupných dát	28

6.4.2	Výpočet štatistických ukazovateľov . . . . .	28
6.4.3	Zobrazenie výstupu programu ScheduleAnalyzer . . . . .	31
<b>7</b>	<b>Testovanie</b>	<b>35</b>
7.1	Testovací rozvrh č.1 . . . . .	35
7.2	Testovací rozvrh č.2 . . . . .	37
7.3	Testovací rozvrh č.3 . . . . .	38
<b>8</b>	<b>Záver</b>	<b>39</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>40</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Vývoj výroby a poskytovania produktov prešiel zmenami a dnes už výroba nevyzerá tak ako v minulosti. Individuálnu a remeselnícku výrobu na trhu nahrádza priemyselná a pružná výroba.

S dynamickými zmenami na trhu a nárastom nakupovania cez internet prirodzene vzniká a rastie konkurencia. Zákazníci očakávajú čo najvyššiu kvalitu výrobkov, v čo najkratšom čase. Ak podnik chcel uspieť v konkurencii, bolo potrebné začať meniť prístup k plánovaniu a riadeniu hmotných zdrojov podniku vrátane informácií, ktoré môže získať od dodávateľa k podniku, tak aj od podniku k zákazníkovi. Bolo potrebné nájsť spôsob, ako pri výrobe byť čo najefektívnejší, ušetriť čo najviac zdrojov bez straty kvality výrobku a ideálne predať všetko čo sa vyrobilo.

Spolu s vývojom trhu dochádza aj k vývoju informačných technológií a ich postupné zavedenie do oblasti výroby. Podnikové informačné systémy, ktoré pomáhajú plánovať a riadiť výrobu sa stali neoddeliteľnou súčasťou stredných až veľkých podnikov. Podnikové informačné systémy dokážu spravovať celý chod podniku s cieľom uľahčiť dosiahnutie podnikateľských cieľov podniku. Jedným z bodov kde sa efektivita podniku láme je výroba, jej naplánovanie, rozvrhnutie a riadenie. Vytvorenie rozvrhu, ktorý sa skladá z nízkeho počtu výrobných operácií nemusí byť pre skúseného pracovníka ťažké. Pri riešení úlohy, ktorá má niekoľko tisíc výrobných operácií, naplánovanie a rozvrhovanie výroby v krátkom čase je pre človeka nemožné. Informačné systémy sa snažia optimalizovať plánovanie a dôjsť k optimálnemu rozvrhu. Napriek vyspelosti informačných technológií, nájdenie optimálneho rozvrhu nie je jednoduché. Objektívne zhodnotenie výsledného rozvrhu, ktorý bol naplánovaný informačným systémom môže dopomôcť k odhaleniu nedostatkov v plánovaní alebo inej fáze tvorby rozvrhu.

V bakalárskej práci sa snažím zhodnotiť kvalitu vytvorených výrobných rozvrhov na základe dostupných údajov o rozvrhu a údajov z výroby. Cieľom práce je navrhnúť štatistické ukazovatele kvality výrobných rozvrhov, ktoré by poukazovali na nedostatky aj kvality daného výrobného rozvrhu a implementovať program, ktorý dané štatistické ukazovatele vypočíta. V úvode práce je bližšie charakterizovaná priemyselná výroba, metódy plánovania a rozvrhovania priemyselnej výroby a nástroje na plánovanie, riadenie a sledovanie priemyselnej výroby. Výstupom bakalárskej práce je sada štatistických ukazateľov a program (plugin) už do funkčného informačného systému MES PHARIS, ktorý užívateľovi prezentuje vhodným spôsobom vypočítané štatistiky.

## Kapitola 2

# Charakteristika priemyselnej výroby

Ak chceme dosiahnuť čo najefektívnejší spôsob plánovania a rozvrhovania výroby, je potrebné rozlišovať aj to o aký druh výroby sa jedná. Správne určenie druhu výroby môže priniesť pozitívny dopad na kvalitu výroby, efektívnosť, náklady a pod. Výrobu môžeme definovať ako premenu výrobných zdrojov do statkov a služieb, ktoré sa neskôr spotrebúvajú.

Vo všeobecnosti výroba začína dopytom z trhu. Na základe dopytu dochádza v podniku k vytvoreniu požadovaného tovaru. Vstupy prechádzajú procesom transformácie na požadované výstupy. Do tohto procesu sú zapojené aj ľudské zdroje (pracovná sila) a podnikové prostriedky (stroje, nástroje, počítače a pod.).

Samotnú výrobu vo výrobnom podniku členíme [8] na **hlavnú výrobu** (hlavná náplň výroby), **vedľajšiu výrobu** (výroba polotovarov, náhradných dielov) a **doplnkovú výrobu** (využitie odpadu z hlavnej a vedľajšej výroby, využitie voľnej kapacity).

Princíp procesu výroby je zobrazený na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Proces výroby

### 2.1 Typy výroby

K dosiahnutiu optimálneho výrobného rozvrhu dopomáha určenie typu výroby. Môžeme sa stretnúť s unikátnou výrobou napr. skafandru, na druhej strane s hromadnou výrobou napr. zubných kefiek. Z tohto vyplýva, že usporiadanie, štruktúra a riadenie konkrétnej výroby závisí na charaktere výroby, objemu výroby, charaktere dopytu a ďalších faktoroch. Výrobné systémy/procesy bývajú členené podľa nasledujúcich hľadísk.



### 2.1.1 Podľa objemu výroby

Podľa množstva a počtu rôznych druhov výrobku sa výroba rozlišuje [3, 4] na:

**Kusová výroba** produkuje rôzne druhy výrobkov v malých množstvách. Počet druhov výrobkov býva veľký. U kusovej výroby sa priebeh výrobného procesu neustále mení. Dá sa povedať, že riadenie kusovej výroby je v porovnaní s hromadnou a sériovou výrobou komplikovanejšie. Typický príklad kusovej výroby je napr. výroba lietadiel, nábytku, oblečenia.

**Sériová výroba** produkuje jeden či niekoľko podobných výrobkov. Výrobky sa vyrábajú v sériách, kedy po dokončení jedného výrobku sa prechádza na výrobu ďalšieho. Priebeh výrobného procesu sa nemení tak často ako u sériovej výroby. Príkladom tejto výroby je cukrárstvo, či pásová výroba.

**Hromadná výroba** vyrába jeden druh výrobku vo veľkom množstve. Využíva sa na výrobu jednotných/rovnakých výrobkov. Priebeh výrobného procesu sa opakuje. Príkladom tejto výroby je hromadná výroba spotrebných materiálov (napr. žiarovky, perá).

### 2.1.2 Podľa spojitosti výrobného procesu

Výrobný proces z hľadiska spojitosti/kontinuálnosti delíme [5, 7] na diskretnú, procesnú a linkovú výrobu.

**Diskretná (nespojité) výroba** je charakteristická možnosťou flexibilného plánovania materiálu s možnosťou výberu a zmeny vstupu. To znamená, že môže dôjsť k zastaveniu výrobného procesu a zmeny smerovania výroby. Poskytuje podporu výroby na sklad aj na základe okamžitej požiadavky od zákazníka. Príkladom tejto výroby sú montážne operácie a obrábanie jednotlivých dielcov.

**Procesná (spojitá) výroba** je charakteristická nepretržitým sledom jednoduchých výrobných krokov. Teda nedochádza k zastaveniu zariadení počas výroby. Vyznačuje sa vysokým objemom produkcie a ľahším riadením kvality ako pri diskretnej výrobe. Charakteristickým odvetvým tejto výroby je farmaceutický a potravinársky priemysel.

**Linková (prúdová) výroba** je charakteristická hromadnou výrobou. Využíva sa pri výrobe veľkého objemu kusov, ktoré smerujú od jednej operácie k ďalšej. Výrobný proces prebieha v tzv. „výrobných bunkách“. Bunky sú tvorené usporiadaním strojov na malom priestore a jednosmerne definovaným tokom materiálu.

### 2.1.3 Podľa odberu produkcie

Z hľadiska odberu produkcie výrobu rozdeľujeme [1, 5] na:

**Výroba na sklad** je využívaná hlavne podnikmi s nespojitou výrobou. Podnik na základe predpokladu očakávaných zákaziek určí množstvo a termín realizácie výrobku. Výstupný produkt výroby je následne uskladnený na sklad. Týmto spôsobom zákazník nakupuje výrobky, ktoré už sú vyhovotené, uskladnené na sklade a pripravené k odberu.

**Výroba na zakázku** je realizovaná, aby uspokojila konkrétnu požiadavku zákazníka. Jedná sa o výrobu, ktorej termín dodania a množstvo je určené na základe objednávky od zákazníka. V prípade vyhotovenia objednávky na zakázku, môže dôjsť k nákupu ďalších častí produktu, ktoré nemáme dostupné na sklade.

**Montáž na zakázku** je kombinácia výroby na zakázku a výroby na sklad. Pri výrobe je potrebné komunikovať so zákazníkom. Dodávateľ informuje zákazníka o rôznych možnostiach zostavenia výrobku a potvrdzuje zákazníkovi, či je schopný dodať požadovaný tovar. Plánovanie v tomto prípade je zamerané viac na materiál než na kapacity.

**Inžinierske práce na zakázku** nie sú presne špecifikované zákazníkom. Zákazník ma iba predstavu o tom, ako by to malo vyzerieť. Realizáciu a špecifikáciu produktu majú na starosti projektanti, ktorí sa snažia výsledný produkt priblížiť čo najviac predstave zákazníka. V jednotlivých fázach výroby produktu zákazník môže upraviť finálnu podobu.

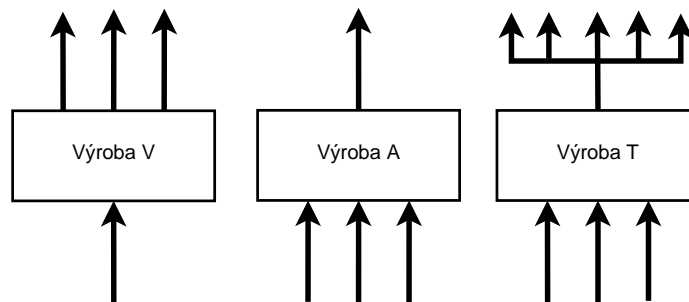
#### 2.1.4 Podľa väzby medzi materiálom a produktom

Výrobu je možné deliť [5] z hľadiska väzby medzi vstupným materiálom a výstupným produktom. Názorne je to zobrazené na obrázku 2.2.

**Výroba typu V** je typ výroby, kde počet výsledného množstva výrobkov je väčší ako počet vstupného materiálu. Pri výrobe je používaný rovnaký technologický postup. Typickým príkladom je textilný priemysel.

**Výroba typu A** je opakom výroby typu V. Na vstupe je vyšší počet vstupného materiálu, ktorý tvorí nižší počet výrobkov. Používajú sa rôzne technologické postupy. Typickým príkladom je letecký priemysel.

**Výroba typu T** má na vstupe obmedzené množstvo vstupných materiálov. Výstupom je viac rôznych druhov výrobkov. Používajú sa rôzne technologické postupy. Príkladom je výroba elektroniky a spotrebného materiálu.



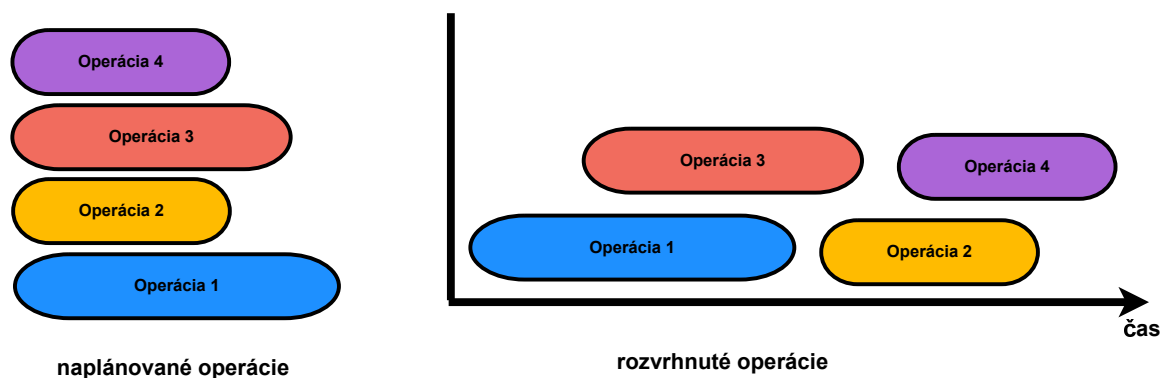
Obr. 2.2: Typy výroby z hľadiska väzby medzi materiálom a produktom

## 2.2 Proces plánovania a rozvrhovania výroby

Cieľom tohto procesu [7] je nájsť optimálne riešenie (cestu) na dosiahnutie naplnenia požiadavok z objednávky. Plánovanie a rozvrhovanie výroby sú dva samostatné procesy, pričom rozvrhovanie výroby nadväzuje na plánovanie. Proces rozvrhovania nie je možné spustiť skôr ako sa výroba naplánuje. Plánovanie pracuje s údajmi nazhromaždenými z celého podniku. Rozvrhovanie sa týka iba výroby.

Plánovanie výroby slúži k stanoveniu potrebných operácií (krokov) a postupu na dosiahnutie cieľa. Zaisťuje dostupnosť personálu, materiálov, strojov, nástrojov a ďalších potrebných zdrojov. Pri planovaní sa hľadajú odpovede na otázku: Aké operácie (kroky) sú potrebné k dosiahnutiu cieľa? Zároveň sa určuje poradie vybraných operácií. Výsledkom plánovania je zoznam výrobných operácií, ktorý stanovuje postupnosť akcií, ktorých aplikácia nás prevedie z nejakého počiatočného stavu do stavu koncového. Určuje sa doba trvania operácie, potrebné výrobné a materiálové zdroje. Plánovanie výroby sa dá zhrnúť do nasledovnej definície: Plánovanie výroby zahrňuje tri jednotlivé činnosti plánovania a to plánovanie výrobného programu (druh a objem výroby), plánovanie kapacít a plánovanie výrobného procesu (technológie a materiály).

Rozvrhovanie má za úlohu rozložiť plán a rozhodnúť o postupe vykonávania operácií. Určí čas začiatku a konca operácie. Pri rozvrhovaní hľadáme odpovede na otázku: Kde a kedy budú prevedené jednotlivé operácie (kroky) plánu. Rozvrhovanie rozmiestní na časovej osi operácie, pričom berie v úvahu kapacitné obmedzenie, ktoré sa nesmie prekročiť. Výsledkom rozvrhovania je výrobný rozvrh, v ktorom je stanovený začiatok a koniec operácií, na akom stroji budú operácie prevedené, aký personál ho bude obsluhovať a pod.



Obr. 2.3: Plánovanie a rozvrhovanie výroby.

Na obrázku 2.3 môžeme graficky vidieť rozdiel medzi naplánovaním operácií a ich samotným rozvrhnutím v stanovenom čase. Ako príklad je úloha v ktorej na dosiahnutie cieľa nám plánovanie stanovilo operácie č.1 až č.4. K dispozícii sú dva stroje, na ktoré je možné tieto operácie rozvrhnúť. Výsledkom rozvrhovania je obrázok 2.3 - rozvrhnuté operácie, kde dané operácie sú rozvrhnuté na konkrétny stroj, majú svoj začiatok a koniec.

### Zhrnutie

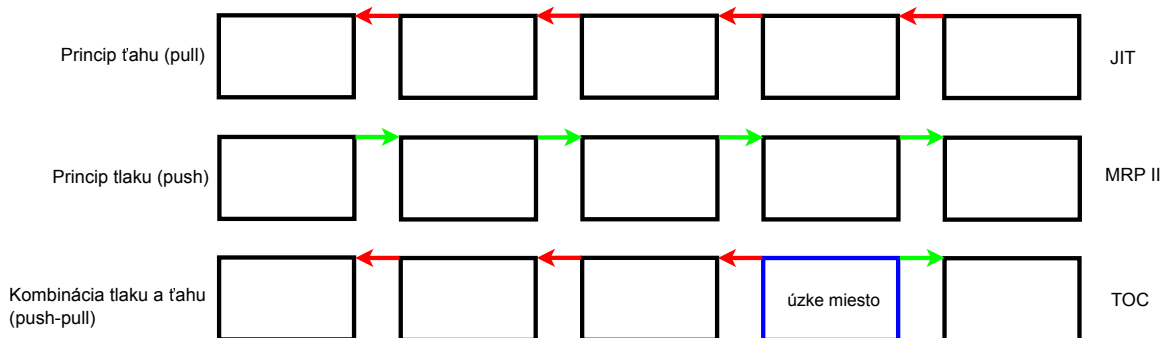
V kapitole č.2 je popísaná charakteristika priemyselnej výroby a jej delenie, vďaka čomu môžeme doceliť lepší výber konkrétnej metódy plánovania a rozvrhovania výroby. Nasledujúca kapitola č.3 je venovaná charakteristike konkrétnych metód plánovania a rozvrhovania výroby, kde bude bližšie popísaná aj metóda MRP, ktorá je implementovaná v informačnom systéme MES PHARIS.

## Kapitola 3

# Metódy plánovania a rozvrhovania výroby

Automatizácia výrobného procesu začala približne v období 60. a 70. rokoch minulého storočia. Približne v rovnakom období sa začali vyvíjať aj prvé MRP (*Material Requirement Planning*) systémy a nezávisle na nich aj číslicovo riadené stroje (NC - Numerical Control). Postupom času sa NC stroje dostali do oblasti veľkosériovej a hromadnej výroby, čo spôsobilo vyššie požiadavky na ich úplne riadenie počítačovou technikou. Postupne sa automatizácia výroby rozvinula a dnes je úplne bežné nasadzovanie plne automatizovaných výrobných strojov a výrobných liniek.[7]

Pri implementácii informačného systému do podniku je dôležité vybrať aj vhodnú metódu plánovania, rozvrhovania a riadenia výroby. Súčasné metódy sa od seba odlišujú [1] základným pohľadom na spôsob naplnenia požiadaviek zákazníka. Hovorí sa tomu logistický tok, ktorý určuje spôsob naplnenia požiadaviek zákazníka v priebehu realizácie. Rozlišujú sa tri prístupy a to princíp ťahu, princíp tlaku a kombinácia oboch predošlých.



Obr. 3.1: Delenie podľa toku. [Zdroj: Basl a Blažíček s.142]

Princíp ťahu (pull system) sa dá povedať, že „ťahá“materiálové požiadavky na komponenty smerom od zákazníka k dodávateľovi, v princípe tlaku (push system) sa vopred stanoví termín objednania materiálu a termín zahájenia jednotlivých operácií tak, aby bol splnený výsledný termín dodania. Pri kombinácii ťahu a tlaku (pull-push systém) je dôležité tzv. „úzke miesto“. Na elimináciu úzkeho miesta sa používa ťažný spôsob. Viac o princípoch tlaku, ťahu a ich kombinácií sa je možné dočítať v [1].

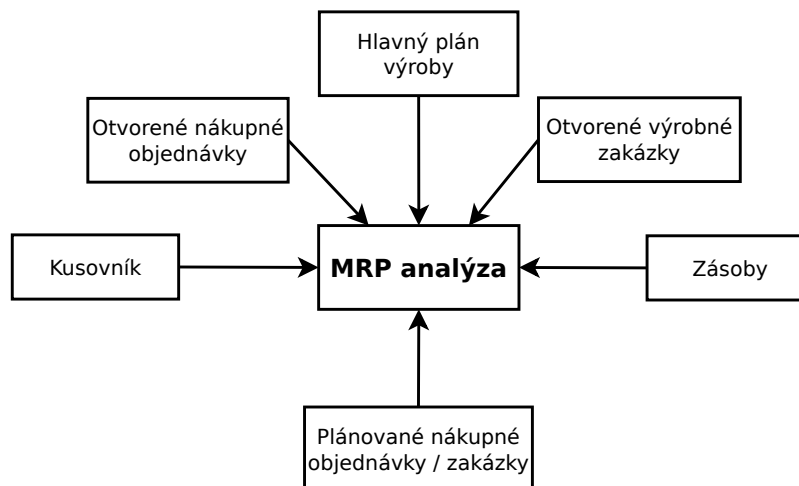
Medzi popredné metódy plánovania a rozvrhovania výroby patria:

- metóda MRP - (*Material Requirement Planning*),
- metóda MRP II - (*Manufacturing Resource Planning*),
- metóda JIT - (*Just-In-Time*),
- metóda Kanban,
- metóda OPT (*Optimized Production Technology*),
- metóda TOC (*Theory of Constraints*).

Na českom trhu sa najčastejšie vyskytujú metódy MRP, MRP II a JIT, ktorých princípy sú bližšie popísané v nasledujúcich častiach kapitoly. O princípoch zvyšných metód je možné sa dočítať a získať viac informácií v zdrojoch, konkrétne o metóde Kanban v [2, 4, 9], o metóde OPT v [1, 2, 4] a o metóde TOC v [1, 6, 7]

### 3.1 Metóda MRP

Metóda MRP [2, 4] (*Material Requirement Planning*) bola vyvinutá začiatkom 60. rokov 20. storočia v USA. Zo začiatku metóda plánovala iba materiálové požiadavky výroby, ktoré boli postavené na kusovníku (plán materialových požiadaviek) produktu, kde sa porovnávala každá položka s jej stavom na sklade. Plánovanie priebehu na základe skutočných potrieb, ktoré sú vyvolané určitým produktom, ktorý zákazník požaduje alebo bol požadovaný ako očakávaná potreba trhu. Metóda má dobré uplatnenie pre kusovú, malosériovú výrobu a výrobu orientovanú na zakázky. MRP dáva odpoveď na tri základné otázky [3]: Čo je potrebné? Koľko je potrebné? a Kedy to potrebujeme?.



Obr. 3.2: Základná štruktúra systému MRP. [Zdroj: Basl a Blažíček s.143]

Aby metóda správne fungovala je potrebné splniť určité požiadavky [1, 3] vstupu. Vstup vyžaduje plán materialových požiadaviek (*kusovník - zoznam všetkých použitých materiálov a surovín, ktoré tvoria konečný výrobok*), informácie o stave zásob, základné údaje o nakupovaných a vyrábaných položkách, hodnotu priebežnej doby nákupu resp. výroby a spôsob

stanovenia veľkosti dávky pre každú položku. Postupným vývojom sa plánovanie MRP mení z plánovania na základe sledovania stavu zásob, na plánovanie na základe dosiahnutia predom stanoveného limitu veľkosti zásob.

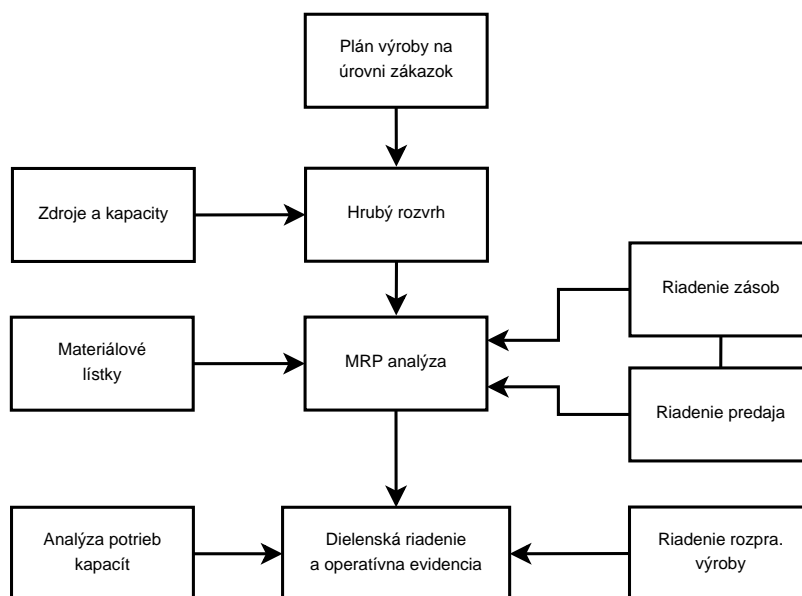
MRP pomáha priblížiť požiadavky na výrobné zdroje [3], skutočnému výrobnému zdroju, ktorý je k dispozícii. Systém najprv spracováva príslušné vstupy a na ich základe poskytuje prehľad o každom pracovisku. Výhodou dnešných MRP je ich flexibilita, ktorá ponúka možnosť vstupovať do tvorby konečného riešenia pomocou vstupných podmienok. Systémy MRP taktiež dokážu spracovať časovo vzdialené požiadavky na zdroje.

Výstupy MRP sa delia [3] na **primárne** (napr. pracovné príkazy, príjemky príkazov, zmeny plánovaných príkazov) a **sekundárne** (umožňujú napr. kontrolu procesu plánovania, kontrolu kvality práce). Výhodou systému MRP je nízka úroveň rozpracovanej výroby a výrobných zásob, dobrá znalosť jednotlivých potrieb materiálu na pracoviskách, možnosť generovať rôzne riešenia hlavného plánu výroby. Medzi jej nevýhody [2] patrí radenie práce s pevnou veľkosťou dávky a výpočet, ktorý je postavený na predpoklade úplnej štruktúry výrobku (kusovníku a technologického postupu) a na neobmedzených kapacitách.

### 3.2 Metóda MRP II

Rozšírením a zdokonalením metódy MRP je metóda MRP II (*Manufacturing Resource Planning*), ktorá vznikla v 70. rokoch 20. storočia v USA. Metóda MRP II je využívaná v podstatnej väčšine ERP (*Enterprise Resource Planning*) systémoch dostupných na českom trhu.

Pre MRP II je veľmi dôležité [4] zabezpečiť kvalitné informácie o riadení výrobných procesov a všetky informácie potrebné pre rozhodovanie. Aj kvôli tomu sa systémy MRP II najčastejšie integrujú s ďalšími firemnými subsystémami tzv. ERP (*Enterprise Resource Planning*). Základom je spoločná databáza, na ktorú sú napojené okrem výroby aj ostatné oblasti ako obchod a marketing, distribúcia, finalizácia a pod. Toto prepojenie patrí medzi výhody tejto metódy.



Obr. 3.3: Štruktúra systému MRP II. [Zdroj: Keržkovský s.67]

MRP II zahrňuje kontrolu plánovania nákupu viazanú na výrobu a predaj. Spotreba [7] materiálov sa určuje na základe požiadaviek z jednotlivých výrobných zákaziek. Podľa spotreby zdrojov k výrobe sa následne stanovujú požiadavky na materiál. Táto metóda je schopná zistiť časovú aj kvalitatívnu väzbu medzi nákupom a predajom. Na vstupe sa zadávajú materialové a kapacitné požiadavky s počiatočným a koncovým termínom výroby. Systém potom rozplánuje výrobu podľa zadaných požiadaviek a to buď od počiatočného termínu dopredu alebo od finálneho termínu dozadu.

Koncept MRP II je výhodný hlavne v oblasti využívania výrobných kapacít. Výhodou [1, 7] tejto metódy je nízka úroveň rozpracovanej výroby a výrobných zásob, dobrá znalosť jednotlivých materiálových potrieb, možnosť generovania rôznych riešení hlavného plánu výroby a sledovanie priebežných časov produkcie. Medzi nevýhody [1] tejto metódy patrí pevná veľkosť výrobných dávok, dĺžka času prechodu medzi pracoviskami, plánovanie do neobmedzených kapacít.

### 3.3 Metóda JIT

Metóda JIT (*Just-In-Time*) bola vytvorená v priebehu 70. rokov 20. storočia a uplatňovaná v Japonsku, v USA a západnej Európe. JIT sa zameriava [3] na výrobu iba nutných položiek v potrebnej kvalite a množstve tak, aby dokončenie výroby bolo v čo najneskôršom možnom čase.

JIT pomáha eliminovať [4] päť druhov strát vo výrobe a to nadproduckiu, čakanie, dopravu, udržiavanie zásob a nekvalitnú výrobu. JIT sa snaží, aby pohyb materiálu počas výroby bol čo najrýchlejší, najúspornejší a v čo najmenších výrobných dávkach. Vyrába sa len to, čo skutočne potrebujeme. Metóda JIT predstavuje princíp tlaku [2] (*pull* systém), pri ktorom sa materiál „tlačí“ do výroby iba v potrebnom množstve.

Charakteristické črty JIT výrobných stratégií predstavujú [4]:

- dôraz na minimalizáciu rozpracovanej výroby,
- skracovanie priebežných dôb výroby,
- pri plánovaní sú určujúce požiadavky nadväzujúcich stupňov, t.j. odberateľa, montáže, atď.,
- redukcia zriaďovacích časov,
- použitie malých výrobných dávok,
- rýchly a jednoduchý tok materiálu medzi pracoviskami,
- jednoduchosť a priehľadnosť systému riadenia,
- dôraz na vysokú kvalitu a elimináciu všetkých porúch výrobného procesu.

Hlavné prínosy [4] metódy JIT spočívajú v redukcii zásob, redukcii rozpracovanej výroby, redukcii výrobných a skladovacích priestorov. Zároveň je možné dosiahnuť kratšie priebežné doby a zriaďovacie časy, vyššie využitie výrobných zdrojov, čo vedie k vyššej produktivite. Zjednodušuje riadenie, znižuje režijné náklady a zvyšuje kvalitu.

#### Zhrnutie

Kapitola č.3 je venovaná popisu princípov troch najčastejšie sa vyskytujúcich metód plánovania a rozvrhovania priemyselnej výroby na českom trhu. Taktiež sú spomenuté ďalšie metódy a zdroje k nim, kde je možné nájsť viac informácií. Nasledujúca kapitola č.4 obsahuje charakteristiku nástrojov/informačných systémov, ktoré využívajú vyššie popísané metódy.

## Kapitola 4

# Nástroje na plánovanie, riadenie a sledovanie výroby

Rýchle tempo vývoja a integrácie informačných technológií neobišlo ani oblasť nástrojov na plánovanie, riadenie a sledovanie výroby. Celosvetovo na je trhu veľké množstvo rôznych nástrojov a informačných systémov, ktoré je možné využívať ako podnikové systémy na plánovania, riadenie a sledovanie výroby. V nasledujúcej kapitole uvediem niekoľko nástrojov a informačných systémov, ktoré sú najviac rozšírené a dostupné aj na českom trhu.

### 4.1 Informačný systém ERP

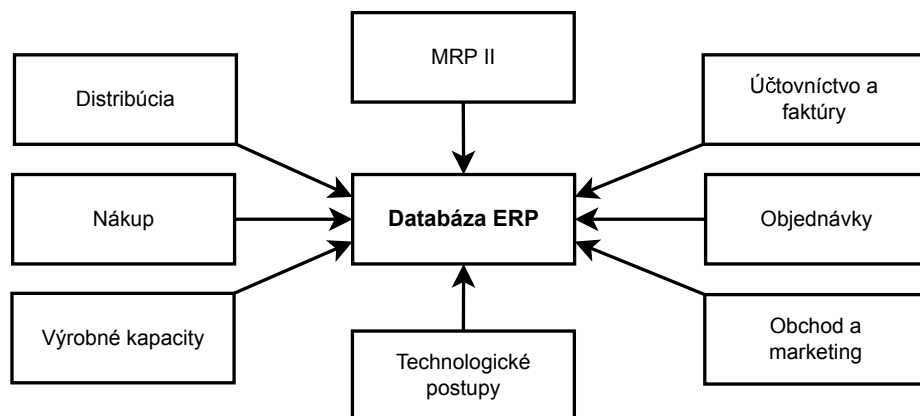
Informačný systém ERP (*Enterprise Resource Planning*) môžeme definovať ako nástroj, ktorý je schopný plánovať a riadiť hlavné podnikové procesy na úrovniach od operatívnej po strategickú. [Basl a Blažíček, 2012] definovali ERP ako: „*ERP systémy predstavujú softvérové nástroje používané k riadeniu podnikových dát. ERP systémy pomáhajú podnikom v oblasti dodávateľského reťazca, príjmu materiálu, skladového hospodárstva, prijímanie objednávok od zákazníkov, plánovanie výroby, expedícia tovaru, účtovníctvo, riadenie ľudských zdrojov a v ďalších podnikových funkciách.*“

Z definície vyplýva, že za ERP systémy môžeme považovať aplikácie, ktoré riadia podnikové dáta a pomáhajú plánovať celý logistický reťazec od nákupu cez sklady po výdaj tovaru, vrátane plánovania vlastnej výroby. Systém ERP umožňuje zdieľať dáta podniku a pristupovať k nim v reálnom čase.

Systémy ERP zahŕňujú [2]:

- plánovanie výroby (dlhodobé, strednodobé, krátkodobé) s možnosťou korekcie plánu,
- riadenie výroby z hľadiska dodržania termínu zákaziek, požiadavkou na materiál a náradie,
- spracovanie nákladov výroby.





Obr. 4.1: Štruktúra ERP [Zdroj: Keřkovský s.68]

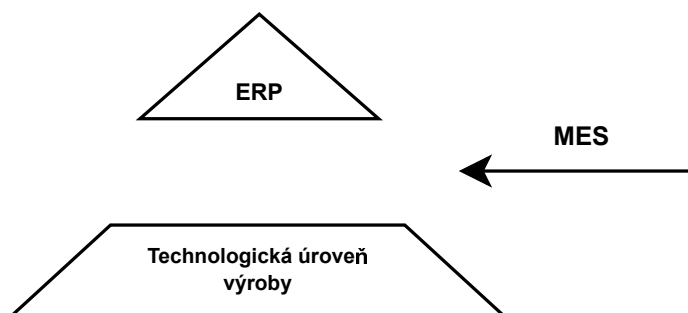
ERP by mal pracovať ako jednotný celok, ktorý dokáže odzrkadľovať dáta podniku, umožňuje rozšírenie o ďalšie funkcionality a integruje dáta naprieč celou spoločnosťou.

## 4.2 Informačný systém MES

MES (*Manufacturing Execution System*) boli vyvinuté na operatívne plánovanie a riadenie výroby. Účelom [10] MES systémov je operatívne poskytovanie informácií potrebných pre riadenie a optimalizáciu výrobného procesu. Taktiež je ich možné využívať vo výrobe v spojení s ERP systémom.

Podľa medzinárodnej asociácie MESA (*Manufacturing Enterprise Solutions Association*) by MES systémy mali podporovať nasledujúce oblasti [1]:

- riadenie a pridelovanie zdrojov,
- operatívne plánovanie a rozvrhovanie výroby
- dispečerské riadenie výroby,
- riadenie dokumentov,
- zber, kompletizácia a archivácia dát,
- riadenie pracovnej sily,
- procesné riadenie,
- riadenie kvality,
- sledovanie produkcie,
- analýza a hodnotenie výkonnosti.



Obr. 4.2: Postavenie MES v podniku.

Na obrázku 4.2 môžeme vidieť postavenie MES informačných systémov v podniku. V podstate predstavujú vrstvu medzi ERP a technologickým procesom, kde je možné nasadiť rôzne číslicovo riadené NC (*Numerical Control*) stroje a zariadenia. Pracujú s aktuálnymi

dátami v reálnom čase [1], čo zabezpečuje možnosť pružnej reakcie na neočakávané stavy vo výrobe.

### Funkcionality MES

Ako bolo vyššie spomenuté, MES systémy môžu obsahovať rôznu funkcionality. To aké funkcionality systém obsahuje záleží na podmienkach, kde sa daný systém implementuje. Implementácia výrobného informačného systému môže priniesť nasledujúce výhody [1, 10]:

1. zníženie výrobného času cyklu,
2. zníženie doby spracovania vstupných dát,
3. zníženie rozpracovanosti,
4. zníženie alebo eliminácia kancelárskej práce,
5. zlepšenie kvality výrobkov,
6. zdokonalenie plánovacieho procesu,
7. zlepšenie zákazníckeho servisu.

## 4.3 Systém APS

Systémy APS (*Advanced Planning and Scheduling*) sú moderné systémy pre plánovanie výroby. Snažia sa maximalizovať efektívnosť využitia výrobných prostriedkov tak, aby dodržali všetky zákaznicke požiadavky/obmedzenia. V systéme sa definujú počiatkové a vstupné parametre a systém APS následne má za úlohu nájsť optimálnu variantu riešenia. Optimalizačné algoritmy pracujú na základe kritériálnych funkcií, kde každá požiadavka je ohodnotená. [1, 2]

Nástroje APS kladú dôraz na [2]:

- **globálnu viditeľnosť a optimalizáciu** - pri plánovaní sú zohľadňované možnosti celého logistického reťazca. Výsledkom je plán, ktorý je optimalizovaný z pohľadu podniku ako celku,
- **simultánne plánovanie všetkých zdrojov** - všetky elementy, ktoré vstupujú do plánovania (materiál, kapacity, a pod.) sú zohľadňované súčasne,
- **priebežne plánovanie** - plány sú v čase postupne upresňované a prípadné zmeny sú premietnuté súčasne vo všetkých horizontoch plánovania,
- **plánovanie založené na úzkych miestach** - snaží sa o čo najlepšie využitie úzkých miest,
- **vysoká rýchlosť plánovania** - moderné algoritmy, využívanie operačnej pamäti pre prácu s dátami,
- **simulácia a tvorba „What-if“ analýz** - schopnosť preplánovať umožňuje vo veľmi krátkom čase tvorbu simulácií a analýz.

APS systémy majú dobré uplatnenie hlavne v podnikoch, ktoré majú typ výroby na sklad, na zákazku alebo výrobu na určitý projekt. Dokážu plánovať na rôznych úrovňach (strategickej, operatívnej a taktickej) s ohľadom na dopravu, dodávku a dopyt. Zavedenie APS systému je celkom nákladná záležitosť [1], no na druhú stranu ich nasadenie je rýchle a k dispozícii okamžite.

#### 4.4 Ponuka na českom trhu

Český trh disponuje širokou ponukou podnikových informačných systémov, no málo ktorý z nich sa špecializuje resp. obsahuje všetky moduly potrebné na plánovanie, rozvrhovanie, riadenie a sledovanie výroby. Väčšinou sa jednotlivé nástroje zameriavajú na určitú časť resp. sú ako doplnok pre už existujúce systémy (napr. ERP, SAP a pod.). Aktuálny prehľad podnikových informačných systémov môžeme vidieť v tabuľke 4.1.

<b>APS</b>	APS - pokročilé plánovanie a riadenie výroby Celkom produktov v kategórií: 37
<b>BPM</b>	BPM - prehľad IT riešenia pre podporu procesného riadenia Celkom produktov v kategórií: 20
<b>IAAS PAAS</b>	Cloud computing - IT infraštruktúra ako služba Celkom produktov v kategórií: 18
<b>SAAS</b>	Cloud computing - software ako služba Celkom produktov v kategórií: 61
<b>CRM</b>	CRM systémy Celkom produktov v kategórií: 48
<b>EAM</b>	EAM systémy a riešenia pre plánovanie a riadenie výroby Celkom produktov v kategórií: 29
<b>ECM</b>	ECM - prehľad IT riešení pre správu dokumentov a obsahu Celkom produktov v kategórií: 35
<b>EKO</b>	Ekonomické systémy pre malé a stredné firmy Celkom produktov v kategórií: 88
<b>ERP</b>	ERP systémy Celkom produktov v kategórií: 88
<b>HRM</b>	HRM IS pre riadenie ľudských zdrojov Celkom produktov v kategórií: 43
<b>RV</b>	IS pre plánovanie a riadenie výroby Celkom produktov v kategórií: 61
<b>ITAM</b>	IS pre správu IT majetku a SW audit Celkom produktov v kategórií: 7
<b>WMS</b>	WMS - systémy pre riadenie skladu Celkom produktov v kategórií: 14
<b>MES</b>	MES systémy Celkom produktov v kategórií: 14

Tabuľka 4.1: Prehľad ponuky podnikových informačných systémov, [Zdroj: *www.systemonline.cz, stav ku 6.4.2017*]

V nasledujúcej časti č. 4.4.1 kapitoly č.4 je z dostupných informácií popísaný nástroj kategórie MES, konkrétne MES PHARIS, ktorý je dostupný na českom trhu. Všeobecná charakteristika MES bola popísaná v kapitole 4.2.

#### 4.4.1 Nástroj MES PHARIS

- Názov produktu: **MES PHARIS** ([www.pharis.cz](http://www.pharis.cz))
- Dodávateľ v ČR: **UNIS, a. s.** ([www.unis.cz](http://www.unis.cz))
- Počet inštalácií: **20 - 30**

MES PHARIS je otvorený modulárny výrobný informačný systém. Pokrýva komplexné spektrum funkcií, ktoré umožňujú optimalizovať výrobné aktivity od zadávania a plánovania výroby, sledovania a detailnej evidencie jej priebehu až po uvoľnenie hotového produktu. MES PHARIS sa snaží prispôbiť požiadavkám zákazníka, čo znamená, že poskytuje širokú možnosť konfigurácie a užívateľských úprav. Systém PHARIS je možné prepojiť s okolnými informačnými systémami (ERP, Ekonomický systém, Systém údržby, LIMS, Plánovací systém, a pod.).

##### Komponenty systému

Systém MES PHARIS sa skladá z nasledujúcich komponentov:

- **aplikačný Framework Phoenix Jet:** jedná sa o sadu knižníc zabezpečujúcich základné funkcionality MES systému,
- **webový server:** webová aplikácia založená na technológiách ASP.NET, AJAX, Adobe Flash a Silverlight. Sprístupňuje väčšinu funkcionalít užívateľovi,
- **event systém:** služba, ktorá zabezpečuje komunikáciu s okolnými systémami,
- **databáza MES PHARIS:** databáza je rozdelená na výrobnú a historizačnú. Výrobná DB slúži pre konfiguráciu systému, správu číselníkov a pod. Historizačná DB slúži pre ukladanie a historizáciu technologických dát z výrobných zariadení,
- **hlavný klient:** rozhranie medzi aplikačnou a obsluhovou vrstvou tvorí klientska vrstva, ktorou je internetový prehliadač,
- **výrobný klient:** slúži pre pracovníkov pohybujúcich sa v samotnej výrobe. Umožňuje sa prihlasovať k operáciám, zobrazenie informácií o operáciách, výmene nástrojov a foriem a pod.,
- **výrobný miniklient:** miniklient je dostupný pre mobilné zariadenia Windows Mobile. Riešenie je postavené na Microsoft .NET Compact Framework.

##### Funkcionality systému

MES PHARIS obsahuje funkcionality pomocou ktorých je možné spravovať prípravu výroby (technologické postupy, číselník materiálu, správa výrobnej dokumentácie, správa preškolenia), výrobné stroje (správa zariadení, správa udalostí, riadiace programy a pod.), plánovanie a rozvrhovanie výroby (objednávky, automatické generovanie výrobných príkazov, detailné plánovanie), výrobnú logistiku (obalové jednotky, dodacie listy), monitoring (vizualizácia výroby, alarmový systém, alarmy a zmeny na stroji a pod.), údržbu, ukazovatele bilanacie (efektívnosť výrobných zariadení, vyhodnotenie kvality a pod.) a administráciu (správa užívateľov, správa systému a pod.).

### **Podporované typy výroby**

Systém MES PHARIS dokáže pracovať s procesnou a diskretnou výrobou. Z hľadiska objemu výroby podporuje kusovú, sériovú a hromadnú výrobu. Z hľadiska odberu produkcie podporuje výrobu na zakázku.

### **Metóda plánovania a rozvrhovania výroby**

Na automatickú tvorbu výrobných príkazov, resp. plánovanie výroby, MES PHARIS používa metódu MRP, ktorá bola bližšie popísaná v časti 3.1. Rozvrhovanie výroby podporuje optimalizáciu na základe úzkých miest, zriaďovaní a voliteľných kritérií.

### **Zhrnutie**

Kapitola č.4 sa venuje charakteristike nástrojov a informačných systémov používaných na plánovanie, rozvrhovanie a riadenie výroby. Zároveň v kapitole sú popísané funkcionality MES PHARIS, s akým typom výroby dokáže pracovať, akú metódu na plánovanie a rozvrhovanie výroby používa a pod. V nasledujúcej kapitole č.5 sa venujem vlastnému návrhu štatistických ukazovateľov kvality výrobných rozvrhov.

## Kapitola 5

# Návrh štatistických ukazovateľov

Výrobný rozvrh môže mať ako pozitívny, tak aj negatívny dopad na chod podniku. Preto nájdenie čo najlepšieho výrobného rozvrhu je jedným z kľúčových faktorov dobrého chodu podniku. Dôjsť k optimálnemu výslednému rozvrhnutiu výroby je skoro nemožné, no pomocou rôznych spôsobov a hodnotení sa môžeme priblížiť aspoň k najlepšiemu sub-optimálnemu riešeniu.

Rôzne metódy a postupy pri plánovaní a rozvrhovaní výroby môžu produkovať viac odlišných rozvrhov. Dokonca pri použití jednej metódy a spôsobu hľadania výsledného rozvrhu môžeme dôjsť k viacerým rôznym rozvrhom ak spustíme výpočet rozvrhu viac krát za sebou. Pri hľadaní najlepšej možnosti rozvrhnutia výroby musíme nájsť také hodnotiace kritéria, ktoré sa snažia objektívne pristupovať k hodnoteniu rozvrhu.

V tejto časti práce sa venujem návrhu konkrétnych štatistických ukazovateľov kvality výrobných rozvrhov.

### 5.1 Výrobný rozvrh

V praxi sa výrobné rozvrhy väčšinou zobrazujú vo forme časovej osi na ktorej sú rozmiestnené jednotlivé naplánované operácie. Na obrázku 5.1 môžeme vidieť zobrazenie výrobného rozvrhu v informačnom systéme MES PHARIS.



Obr. 5.1: Výrobný rozvrh z prostredia MES PHARIS.

Prvá časť rozvrhu na obrázku 5.1 bod č.1 zobrazuje názov zariadení a v zelenom štvrtčeku po ľavici názvu je zobrazenie vyťaženia zariadenia v percentách. Jednotlivé operácie sú znázornené ako farebné bloky, ktoré môžeme vidieť na obrázku 5.1 bod č.2, ktoré majú pevný začiatok a koniec. Jednotlivé farby určujú o aký typ operácie ide.

## 5.2 Štatistické ukazovatele

Jedným z cieľov tejto práce je navrhnúť sadu štatistických ukazovateľov kvality výrobných rozvrhov. Ako som už vyššie spomenul, je dôležité, aby tieto ukazovatele boli objektívne tzn. aby hodnotenie neuprednostňovalo určitý rozvrh, ale zodpovedalo realite. Zároveň je potrebné nájsť také ukazovatele, ktoré majú určitú výpovednú hodnotu pre zákazníka. Ukazovatele by sa mali snažiť pokryť čo najviac rôznych kritérií rozvrhu, no zároveň je potrebné ísť u konkrétneho ukazateľa do hĺbky, aby jeho výsledná hodnota bola cenná pre hodnotenie.

### 5.2.1 Terminológia štatistických ukazovateľov

V rozvrhu je možné rozlišovať dva časové typy a to dátum a doba. Dátum je vyjadrený konkrétnym dátumom vo formáte [dd.mm.rrrr] a doba v [s].

$R$  – množina rozvrhov

$O$  – množina operácií

$V$  – množina výrobných príkazov

$Z$  – množina zdrojov

$deadline(v); v \in V$  – stanovený termín dodania výrobného príkazu

$startTime(r) = \min_{o \in O} [S(o, r)]$  – počiatočný čas rozvrhu

$S(o, r); o \in O$  – start time (počiatočný čas)

$E(o, r); o \in O$  – end time (koncový čas)

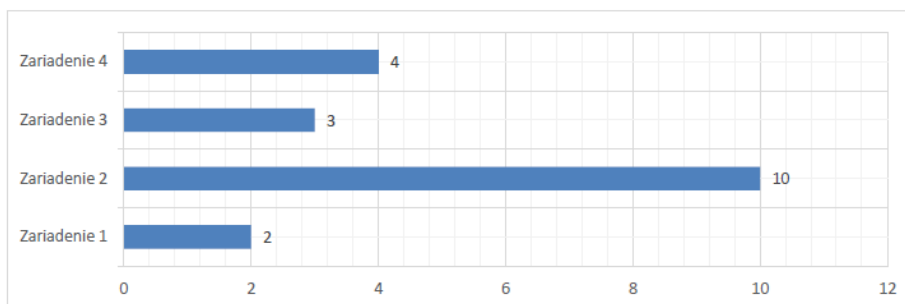
$countProd(v, r)$  – počet blokov výroby nenaväzujúcich na seba

$P_{max}$  – maximálny počet výskytov, nadobúda hodnoty  $0, 1, \dots, |V|$

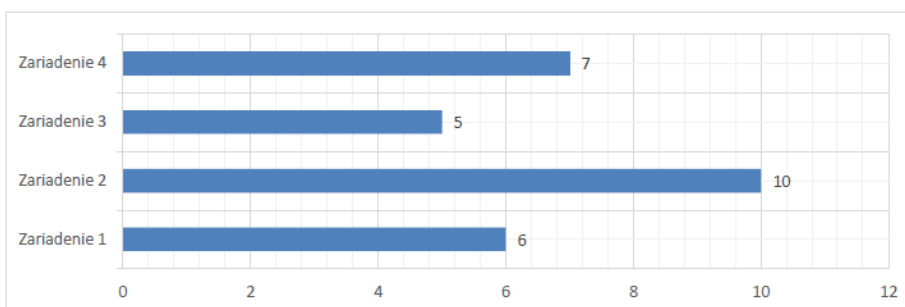
$T_{max}$  – maximálna doba, môže sa blížiť k nekonečnu [s]

### 5.2.2 Kategória ukazovateľov typu efektivita výroby

Samotná doba výroby prezrádza informácie o efektivite výroby v danom výrobnom rozvrhu. Pri posudzovaní doby výroby je potrebné ísť hlbšie a rozobrať jednotlivé aspekty doby výroby. Pre jednoduchšie pochopenie doby výroby bude slúžiť obrázok 5.2, ktorý predstavuje dva jednocuhé rozvrhy, kde sú rozvrhnuté štyri rovnaké operácie na 4 zariadeniach. Z obrázku 5.2 môžeme vidieť, že celková doba výroby rozvrhu **a** a rozvrhu **b** je rovnaká (10h), no napriek tomu oba rozvrhy nie sú totožné a už z pohľadu vieme povedať, že rozvrh **b** strávi samotnou prácou na zariadeniach viac času ako rozvrh **a**.



(a) ukážka



(b) ukážka

Obr. 5.2: Výrobný rozvrh - doba výroby

Ak by program v tomto prípade prehlásil, že oba rozvrhy sú rovnako kvalitné lebo ich doba výroby sa rovná, nebola by to úplne pravda. Práve preto je potrebné dobu výroby kategorizovať a tento ukazovateľ rozdeliť na ďalšie podukazovatele.

– **Celková doba výroby (Makespan) - ukazovateľ  $CDV(r)$**

Celková doba výroby je prvým podukazovateľom tejto kategórie. Udáva nám celkový čas strávený výrobou v rozvrhu. Teda ak sa opäť pozrieme na obrázku 5.2, tak doba výroby v oboch prípadoch je 10h. Celkovú dobu výroby delíme na  $CDV_o$  - celková doba jednej operácie,  $CDV_z$  - celková doba na jednom zariadení a  $CDV_r$  - celková doba rozvrhu.

**Výpočet:**

$$CDV(r) = \max_{o \in O} [E(o, r)] - startTime(r)$$

**Obor hodnôt:**

$$H(CDV(r)) = \langle 0, T_{max} \rangle$$

– **Minimálna doba výroby - ukazovateľ  $MDV(r)$**

Minimálna doba výroby poukazuje na najnižší čas strávený výrobou na jednom zariadení. Na obrázku 5.2 je najnižší čas strávený výrobou na zariadení v ukážke a, zariadenie č.1.



**Výpočet:**

$$MDV(r) = \min_{z \in Z} [CDV_z(r)]$$

**Obor hodnôt:**

$$H(MDV(r)) = \langle 0, T_{max} \rangle$$

– **Priemerná doba výroby - ukazovateľ PDV(r)**

Ak by sme ostali len pri celkovej a minimálnej dobe výroby, tak stále ešte nemáme pokryté všetky možnosti rozvrhnutia výroby. Ak sa vrátíme k obrázku 5.2 a v ukážke **b** by sme dobu výroby na zariadení 1 upravili na hodnotu 1, tak z tohto by vyplývalo, že rozvrh **b** by bol hodnotený s rozvrhom **a** ako rovnaký v ukazovateli CDV a lepší v ukazovateli MDV. No v priemere doba strávená výrobou v rozvrhu **b** je vyššia. V ukážke **a** je priemerná doba 4,75h a v ukážke **b** je 7h.

**Výpočet:**

$$PDV(r) = \frac{\sum_{z \in Z} CDV_z}{|Z|}$$

**Obor hodnôt:**

$$H(PDV(r)) = \langle 0, T_{max} \rangle$$

– **Doba strávená prácou v rozvrhu - ukazovateľ DPvR(r)**

Obrázok 5.2 predstavuje dva rozvrhy ktoré rozvrhovali tú istú úlohu. Teda 4 operácie na 4 zariadenia. Pohľadom vieme určiť, že rozvrh **b** strávi dlhší čas výrobou toho istého výrobku ako rozvrh **a**. V rozvrhu **a** za tú dobu, čo ešte v rozvrhu **b** sa pracuje je možné zahájiť inú výrobu. Doba strávená prácou v rozvrhu **a** je súčet jednotlivých dôb zariadení, teda výsledok je 19. U rozvrhu **b** je to 28.

**Výpočet:**

$$DPvR(r) = \sum_{o \in O} CDV_o(r)$$

**Obor hodnôt:**

$$H(DPvR(r)) = \langle 0, T_{max} \rangle$$

### 5.2.3 Kategória ukazovateľov typu spoľahlivosť rozvrhu

Každý výrobný príkaz pochádza z nejakej objednávky a samotná objednávka má termín dodania. Pre dobré meno spoločnosti a vyhnutie sa prípadných sankcií za nedodržanie termínu dodania je dôležité aby výsledný rozvrh mal rozvrhnuté jednotlivé operácie tak, aby neprekračovali termín dodania objednávky. V praxi sa však stretávame s tým, že už pri zadávaní úlohy na výpočet rozvrhu sa zadávajú výrobné príkazy, ktoré majú termín dodania starší ako je daný deň výpočtu. Aby tento ukazovateľ bol objektívny je potrebné pri výpočte nebrať v úvahu výrobné príkazy, ktoré termín dodania už nikdy nemôžu stihnúť.

Pri porušení termínu dodania je potrebné rozlišovať aj jeho prioritu. Každý výrobný príkaz v sebe nesie informáciu aj o jeho prioritě. Výrobné príkazy s vyššou prioritou by mali byť pri rozvrhovaní uprednostnené. Tým pádom by malo dochádzať k minimalizácii porušenia termínu dodania s vyššou prioritou.

– **Počít prekročéní termínu dodania - ukazovateľ PPTD(*r*)**

Udáva celkový počet výrobných príkazov, ktoré presiahli termín dodania. Vo výslednom zobrazení sa zakazníkovi zobrazí počet výrobných príkazov s ich prioritou.

**Výpočet:**

PPTD (*r*) vyjadruje počet prvkov množiny:

$$\{v \in V \mid E(v, r) > deadline(v)\}$$

**Obor hodnôt:**

$$H(PPTD(r)) = \langle 0, P_{max} \rangle$$

– **Doba prekročénia termínu dodania - ukazovateľ DPTD(*v*,*r*)**

Doba prekročénia termínu dodania predstavuje dobu od určeného termínu dodania pri objednávke do doby kedy výrobný príkaz má naplánovaný koniec.

**Výpočet:**

$$DPTD(v, r) = \begin{cases} 0 & ; \text{ ak } E(v) \leq deadline(v) \\ E(v, r) - deadline(v) & ; \text{ inak} \end{cases}$$

**Obor hodnôt:**

$$H(DPTD(r)) = \langle 0, T_{max} \rangle$$

### 5.2.4 Kategória ukazovateľov typu náročnosť rozvrhu

Výrobný príkaz sa môže skladať z viacerých operácií, kde každá operácia môže mať viac fáz. Jednotlivé fázy sú rôzne časovo, personálne a finančne náročné. Pri určitom druhu operácií je možné niektoré fázy vynechať, čím ušetríme čas aj náklady. Dá sa povedať, že čím nižší počet zriaďovaní (fázy mimo výrobu), tým lepšie pre výrobný podnik.



Obr. 5.3: Fázy operácie

Ukazovatele náročnosti rozvrhu sú nasledovné:

– **Počít konfigurácií - ukazovateľ PK(*r*)**

Fáza konfigurácia definuje doplnkovú dobu prípravy stroja pre plánovanú výrobu. V praxi sa môže jednať napr. o výmenu válca u vstreko-lisov. Ukazovateľ PK(*r*) udáva počet výskytov operácie konfigurácia vo výrobnom rozvrhu.

– **Počít dynamických konfigurácií - ukazovateľ PDK(*r*)** Rozvrh môže obsahovať aj fázu dynamická konfigurácia. Ukazovateľ PDK(*r*) udáva počet výskytov operácie dynamická konfigurácia v rozvrhu.

– **Počít inštalácií (prípravy) - ukazovateľ PI(*r*)**

Fáza inštalácia definuje dĺžku prípravy stroja pre plánovanú výrobu. Ukazovateľ PI(*r*) udáva počet výskytov operácie inštalácia v rozvrhu.

– **Poččet rozjazdov - ukazovateľ PR(r)**

Fáza rozjazd definuje dĺžku prípravy stroja pre plánovanú výrobu. Túto fázu je nutné vykonať na začiatku výroby danej operácie alebo pri dlhšom prerušení výroby. Ukazovateľ PR(r) udáva počet výskytov operácie rozjazd v rozvrhu.

– **Poččet dokončení - ukazovateľ PD(r)**

Fáza dokončenie definuje čas, ktorý je potrebné na finálne práce pre dokončenie danej operácie. Ukazovateľ PD(r) udáva počet výskytov operácie dokončenie v rozvrhu.

### 5.2.5 Kategória ukazovateľov typu kontinuálnosť výroby

– **Kontinuálnosť výroby - KV(r)**

Ak už raz výroba začne, je najlepšie ak nedochádza k jej prerušeniu a opätovnému štartu. Pri takýchto prerušeníach, obzvlášť ak sa jedná o dlhšiu dobu, je opäť potrebné si prejsť ďalšími fázami, ktoré sú potrebné na opätovné spustenie výroby. Tým pádom sa strávy výrobou daného produktu viac času a náklady na výrobu sú vyššie. Tento ukazovateľ spočíta počet prerušení fázy výroba, inak povedané počet roztrhnutí operácie. Aby bol ukazovateľ objektívnejší je potrebné definovať dĺžku prerušenia, ktorá sa smie tolerovať. V rozvrhu môže nastať situácia, kedy dôjde k prerušeniu fázy výroba, kde toto prerušenie má dĺžku napr. 2 min. čo je možné zanedbať. Ukazovateľ má označenie KV(r) a udáva počet roztrhnutí výroby v rámci jedného výrobného príkazu.

**Výpočet:**

$$KV(r) = countProd(v, r)$$

**Obor hodnôt:**

$$H(KV(r)) = \langle 0, P_{max} \rangle$$

### 5.2.6 Potenciálne ukazovatele na implementáciu

Vo výslednom programe budú naimplementované ukazovatele kategórie 1 až 4. Napriek tomu množina štatistických ukazovateľov nad jedným rozvrhom môže byť vyššia. Hodnotenie rozvrhou pomocou ukazovateľov sa môže prispôsobovať konkrétnemu zákazníkovi s konkrétnou stratégiou výroby. V tejto časti popíšem štatistické ukazovatele, o ktoré by sa sada mohla rozšíriť a mohli by mať potenciálne využitie.

– **Spotreba materiálu**

Ide ukazovateľ, ktorý by hodnotil prácu s materiálom v rozvrhu. Aj tento ukazovateľ je možné rozdeliť na ďalšie podukazovatele pre lepšiu prehľadnosť a vyššiu výpovednú hodnotu. Ukazovateľ by sa mohol zaoberať a zobrazovať celkový počet spotrebovaného materiálu, objemu materiálu, ktorý bol spotrebovaný vlastnou výrobou, objem vyrobeného materiálu, spotrebu materiálu zo skladu a spotrebu materiálu v režime nekonečnej dostupnosti.

– **Poččet prechodov medzi „farbami“**

Jednotlivé výrobné operácie môžu mať určitý typ podobnosti. Táto podobnosť sa označuje tzv. „farbou“. Ak sú dve operácie „farebne“ totožné, je možné vynechať medzi nimi niektoré fázy napr. inštaláciu. Ukazovateľ by zobrazoval počet medzier medzi dvoma „farebne“ totožnými operáciami.

## **Zhrnutie**

V kapitole č.5 som sa venoval návrhu štatistických ukazovateľov, ktoré môžu poukazať na kvalitu, či nedostatky výrobného rozvrhu. Návrh obsahuje kategórie ukazovateľov, ktoré obsahujú jednotlivé ukazovatele s ich bližším popisom. V nasledujúcej kapitole č.6 sa venujem popisu návrhu a implementácie programu, ktorý vypočíta navrhnuté štatistické ukazovatele.

## Kapitola 6

# Návrh a implementácia riešenia

Ďalším z cieľov tejto práce je implementovať program, ktorý vypočíta navrhnutú sadu štatistických ukazovateľov kvality výrobného rozvrhu. V tejto kapitole č.6 sa venujem analýze požiadavkov a návrhu riešenia programu. Implementovaný program som nazval **ScheduleAnalyzer**.

### 6.1 Analýza úlohy

Zo zadania bakalárskej práce vyplýva, že program má byť schopný z dostupných dát o rozvrhu:

- vypočítať navrhnuté štatistické ukazovatele kvality rozvrhu,
- výsledky vhodne zobrazíť užívateľovi.

Program má zároveň zvládať jednoduché filtrovanie výsledných dát ako aj zoradenie výsledných hodnôt konkrétneho štatistického ukazovateľa napr. od najvyššej po nanižšiu hodnotu a pod.

Výsledný program je potrebné otestovať na reálných dátach. Testovanie prebehne v informačnom systéme MES PHARIS.

### 6.2 Vstupné dáta

Dáta o výrobnom rozvrhu, resp. dáta, ktoré vstupujú do programu ScheduleAnalyzer, sú uložené v *MS-SQL* databázi vo forme tabuliek. Na výpočet sú potrebné informácie o výrobnom rozvrhu, informácie o konkrétnej výrobnej operácii a informácie o konkrétnom výrobnom príkaze. Celkovo na vstupe sú potrebné dáta z troch databázových tabuliek a to *PlannedTimeWindow* (tabuľka jednotlivých operácií výrobného rozvrhu), *PlanningSession* (tabuľka výrobného rozvrhu) a *ProductionOrder* (tabuľka výrobných príkazov).

Tabuľka *PlanningSession* obsahuje informácie o výrobnom rozvrhu. Z tabuľky bude potrebné dostať stĺpce RecordID a LastComputedDate:

Názov stĺpca	Popis	Datový typ
<b>RecordID</b>	ID rozvrhu	Guid
<b>LastComputedDate</b>	čas posledného spusteného výpočtu rozvrhu, resp. čas zahájenia rozvrhu	DateTime
<b>Name</b>	názov rozvrhu	string

Tabuľka 6.1: Tabuľka PlanningSession.

Tabuľka *PlannedTimeWindow* obsahuje informácie o jednotlivých výrobných operáciach, ktoré tvoria výsledný rozvrh. Z tabuľky budú potrebné stĺpce: OperationID, EquipmentID, TimeWindowStart, TimeWindowEnd, TimeWindowType a ProductionOrderID:

Názov stĺpca	Popis	Datový typ
<b>OperationId</b>	ID operácie	Guid
<b>EquipmentId</b>	ID zariadenia	Guid
<b>TimeWindowStart</b>	počiatočný čas operácie	DateTime
<b>TimeWindowEnd</b>	konvový čas operácie	DateTime
<b>TimeWindowType</b>	typ operácie	int
<b>ProductionOrder</b>	ID výrobného príkazu	Guid

Tabuľka 6.2: Tabuľka PlannedTimeWindows.

Stĺpec *TimeWindowType* môže nadobúdať hodnoty 0-9, kde jednotlivé hodnoty predstavujú:

- **0** - výroba,
- **1** - inštalačná fáza (príprava),
- **2** - rozjazd,
- **3** - celková doba práce operácie,
- **4** - konfigurácia (výmena válca),
- **5** - údržba,
- **6** - dynamická konfigurácia,
- **7** - produkcia materiálu do skladu,
- **8** - dokončenie operácie,
- **9** - kooperácia.

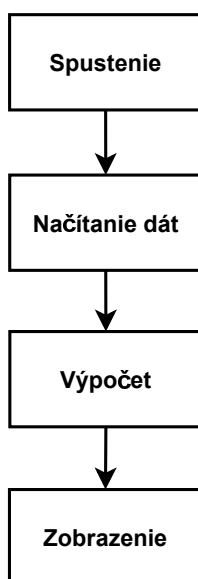
Tabuľka *ProductionOrder* obsahuje informácie o výrobnom príkaze. Z tabuľky budú potrebné stĺpce: *OperationID*, *PlanCompleteDate* a *Priority*:

Názov stĺpca	Popis	Datový typ
<b>OperationId</b>	ID výrobného príkazu	Guid
<b>PlanCompleteDate</b>	plánovaný dátum dokončenia	DateTime
<b>Priority</b>	priorita výrobného príkazu	int

Tabuľka 6.3: Tabuľka ProductionOrder

### 6.3 Návrh programu ScheduleAnalyzer

Výsledný program je kompatibilný s informačným systémom MES PHARIS. MES PHARIS obsahuje webovú aplikáciu, ktorá sprístupňuje väčšinu funkcionality pre užívateľa. Program je plug-in do webovej aplikácie, v časti detailného plánovania. Výsledný program sa skladá z dvoch častí a to frond-end, časť ktorá zobrazuje užívateľovi vypočítané štatistiky, a back-end kde prebieha výpočet hodnôt ukazovateľov. Program je schopný dostať sa k dátam a spracovať vstupné dáta uložené v *MS-SQL* databáze, následne urobiť výpočet zo získaných dát a v koncovej fáze vypočítané výsledky vhodne zobraziť užívateľovi.



Obr. 6.1: Vývojový diagram programu ScheduleAnalyzer.

## 6.4 Implementácia

Back-end výsledného programu ScheduleAnalyzer je tvorený v prostredí *.NET* v jazyku *C#*. Na frond-end sú použité technológie *HTML*, *CSS*, *ASP.NET*.

### 6.4.1 Načítanie vstupných dát

Na začiatku program získa dáta, ktoré sú uložené v databázových tabuľkách, viz. sekciu [6.2](#). Vstupné dáta sú sprístupnené ako kolekcie dát pomocou implementácie *interface* (rozhrania). Celkovo v programe sú tri rozhrania, ktoré majú nasledujúcu štruktúru:

```
public interface IPlanningSession
{
    Guid Id { get; }
    string Name { get; }
    List<IPlanTimeWindow> PlanTimeWindows { get; }
    DateTime StartTime { get; }
}

public interface IPlanTimeWindow
{
    Guid EquipmentId { get; }
    Guid OperationId { get; }
    Guid ProductionOrderId { get; }
    DateTime TimeWindowStart { get; }
    DateTime TimeWindowEnd { get; }
    int TimeWindowTypeInt { get; }
}

public interface IProductionOrder
{
    Guid Id { get; }
    DateTime PlanCompleteDate { get; }
    int Priority { get; }
}
```

Rozhranie *IPlanningSession* sprístupňuje informácie o jednom rozvrhu a zároveň obsahuje list typu *IPlanTimeWindows*, ktorý je naplnený dátami o jednotlivých operáciách patriacich danému rozvrhu. Rozhranie *IPlanTimeWindow* sprístupňuje dáta o konkrétnej výrobnej operácii a rozhranie *IProductionOrderInfo* sprístupňuje informácie o konkrétnom výrobnom príkaze.

### 6.4.2 Výpočet štatistických ukazovateľov

Užívateľ kliknutím na záložku Analýza rozvrhu, viz. na obrázku [6.5](#) časť č.4, vyvolá spustenie programu. Program obsahuje triedy: *CScheduleAnalyzer*, *PlanningSessionResult*, *Analyzer : Dictionary<Guid, PlanningSessionResult>*, *AnalyzeResult*, v ktorých sú implementované jednotlivé metódy.



V informačnom systéme MES PHARIS je možné spustiť výpočet rozvrhu výroby. Dáta posledného vypočítaného rozvrhu výroby následne tvoria vstupné dáta pre program SchedulerAnalyzer. Po spustení program začne spracovávaním vstupných dát, odfiltruje nepotrebné záznamy z jednotlivých tabuliek. Program zavolá hlavnú metódu AnalyzerPlanningSession. Program v cykle prechádza všetky vstupné výrobné rozvrhy a na základe nich vytvára ku každému rozvrhu inštanciu triedy, ktorá uchováva výsledné hodnoty jednotlivých ukazovateľov. Trieda má názov PlanningSessionResult. Časť tejto triedy je možné vidieť nižšie.

```
public class PlanningSessionResult
{
    public Guid ScheduleId //ID rozvrhu
    {
        get; set;
    }

    public string Name //nazov rozvrhu
    {
        get; set;
    }

    public TimeSpan MakeSpan //ukazovateľ CDV(r)
    {
        get; set;
    }

    ...

    public int Finish //ukazovateľ PD
    {
        get; set;
    }
}
```

Každý rozvrh obsahuje informácie o jednotlivých operáciach z ktorých sa skladá. Jednotlivé rozvrhy a ich dáta sa postupne posielajú do jednotlivých metód, ktoré počítajú štatistické ukazovatele. Každá metóda vracia požadovaný výsledok, ktorý sa ukladá do vyššie spomenutej inštancie triedy s výsledkami. Z výsledných hodnôt ukazovateľov sa vytvorí objekt typu DataTable pre prenos výsledných dát do webovej aplikácie. Výsledná dátová štruktúra pre web aplikácia má nasledujúcu podobu:

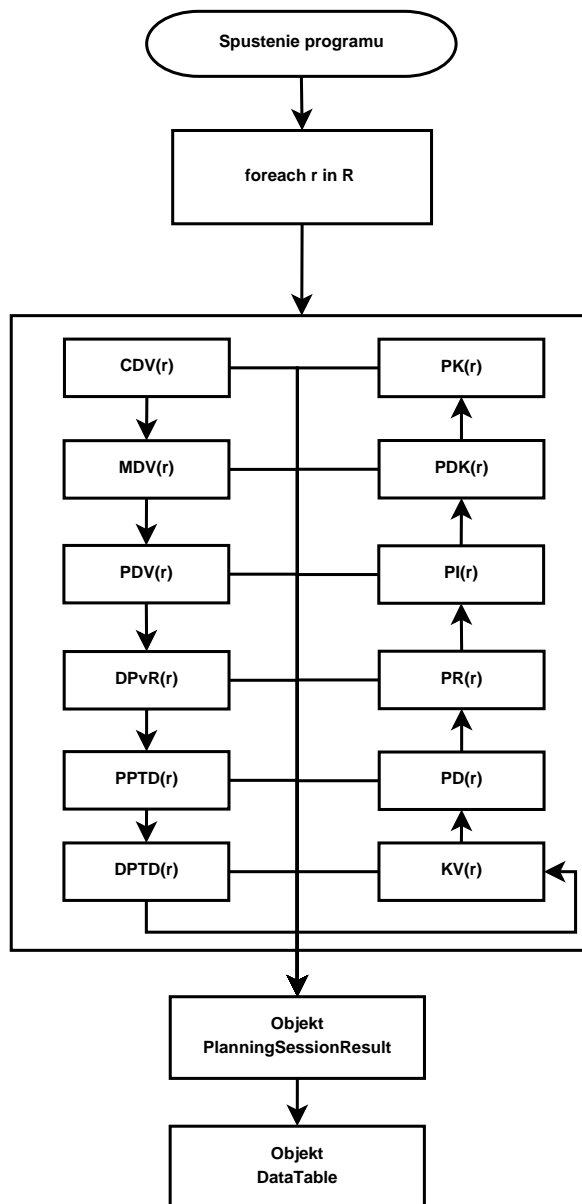
```
public DataTable CreateTableSchema()
{
    DataTable table = new DataTable();
    table.Columns.Add("ScheduleID", typeof(Guid));
    table.Columns.Add("ScheduleName", typeof(string));
    table.Columns.Add("MakeSpan", typeof(TimeSpan));
    ...
    table.Columns.Add("CountFinish", typeof(int));
}
```

```

return table;
}

```

Program prechádza postupne rozvrhy, ktoré dostal na vstupe a počíta štatistické ukazovatele, ktoré boli popísané v kapitole č. 5.2. Na obrázku 6.2 je zobrazený vývojový diagram priebehu výpočtu štatistických ukazovateľov.



Obr. 6.2: Vývojový diagram výpočtu štatistických ukazovateľov.

Metódy, ktoré počítajú jednotlivé ukazovatele sa nachádzajú v triede `Analyzer`. Pseudokód priebehu výpočtu ukazovateľov pre jeden rozvrh:

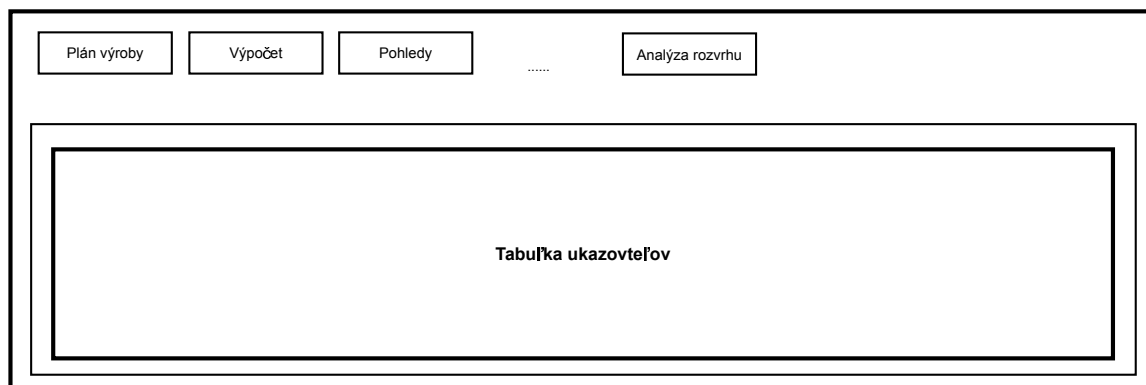
```
vytvor objekt vysledok typu AnalyzeResult;
  pre každý rozvrh r z rozvrhov R {
    vysledok[ID rozvrhu].CDR = CDV(r);
    ...
    vysledok[ID rozvrhu].PD = PD(r);
  }
vrat vysledok;
```

### 6.4.3 Zobrazenie výstupu programu `ScheduleAnalyzer`

Program `ScheduleAnalyzer` je súčasťou modulu **Detailní plánování**. V Detailnom plánovaní je vytvorená nová záložka **Analýza rozvrhu**, v ktorej sa zobrazujú výsledné vypočítané hodnoty ukazovateľov.

#### Návrh zobrazenia - layout

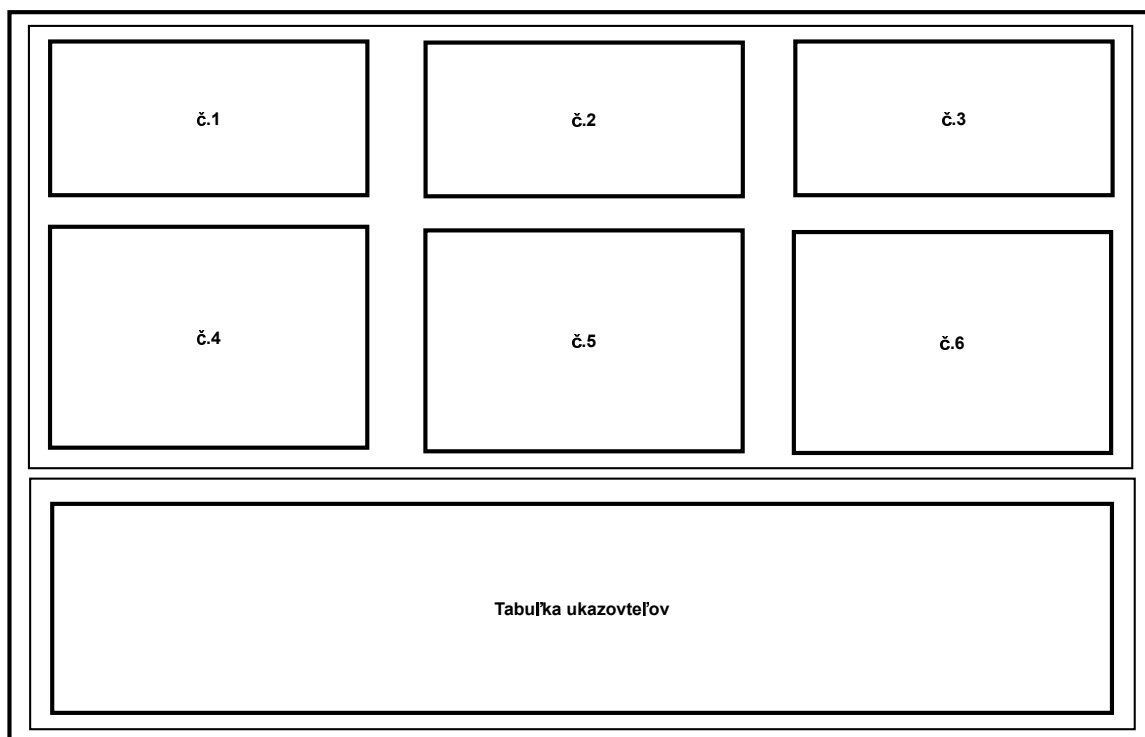
Výsledné zobrazenie sa skladá z dvoch častí a to tabuľky ukazovateľov a detailu zobrazenia výsledných ukazovateľov. Po kliknutí na záložku **Analýza rozvrhu** sa zobrazí prvá časť zobrazenia, ktorú je možné vidieť na obrázku 6.3. Stránka obsahuje jeden `div`, v ktorom sa nachádza tabuľka. Na zobrazenie tabuľky sa využíva trieda `ScreenFormTableWrapper`, kde sa nachádza komponenta `CPharDataGrid`, ktorú využíva informačný systém MES PHARIS na zobrazenie tabuliek. Jednotlivé stĺpce tabuľky a ich vlastnosti sú zadané medzi ohraňenie `<Columns> ... </Columns>`. Celkovo sa tabuľka skladá z deviatich stĺpcov s názvami: **Názov rozvrhu**, **Celková doba rozvrhu**, **Priemerná doba výroby**, **Minimálna doba výroby**, **Doba práce v rozvrhu**, **Počet prekročení termínu dodania**, **Doba prekročenia termínu dodania**, **Celkový počet fáz operácií** a **Počet roztrhnutých výrobných operácií**.



Obr. 6.3: Zobrazenie tabuľky ukazovateľov.

Po kliknutí na jeden záznam tabuľky sa zobrazí detailné zobrazenie ukazovateľov. Detailné zobrazenie slúži k prehľadnejšej a širšej prezentácii vypočítaných ukazovateľov. Je zobrazené nad tabuľkou a jeho rozloženie je možné si pozrieť na obrázku 6.4.

Detail zobrazenia ukazovateľov je rozdelený pomocou `div` na šesť elementov. Na obrázku 6.4 sú označené pod č.1 až č.6.



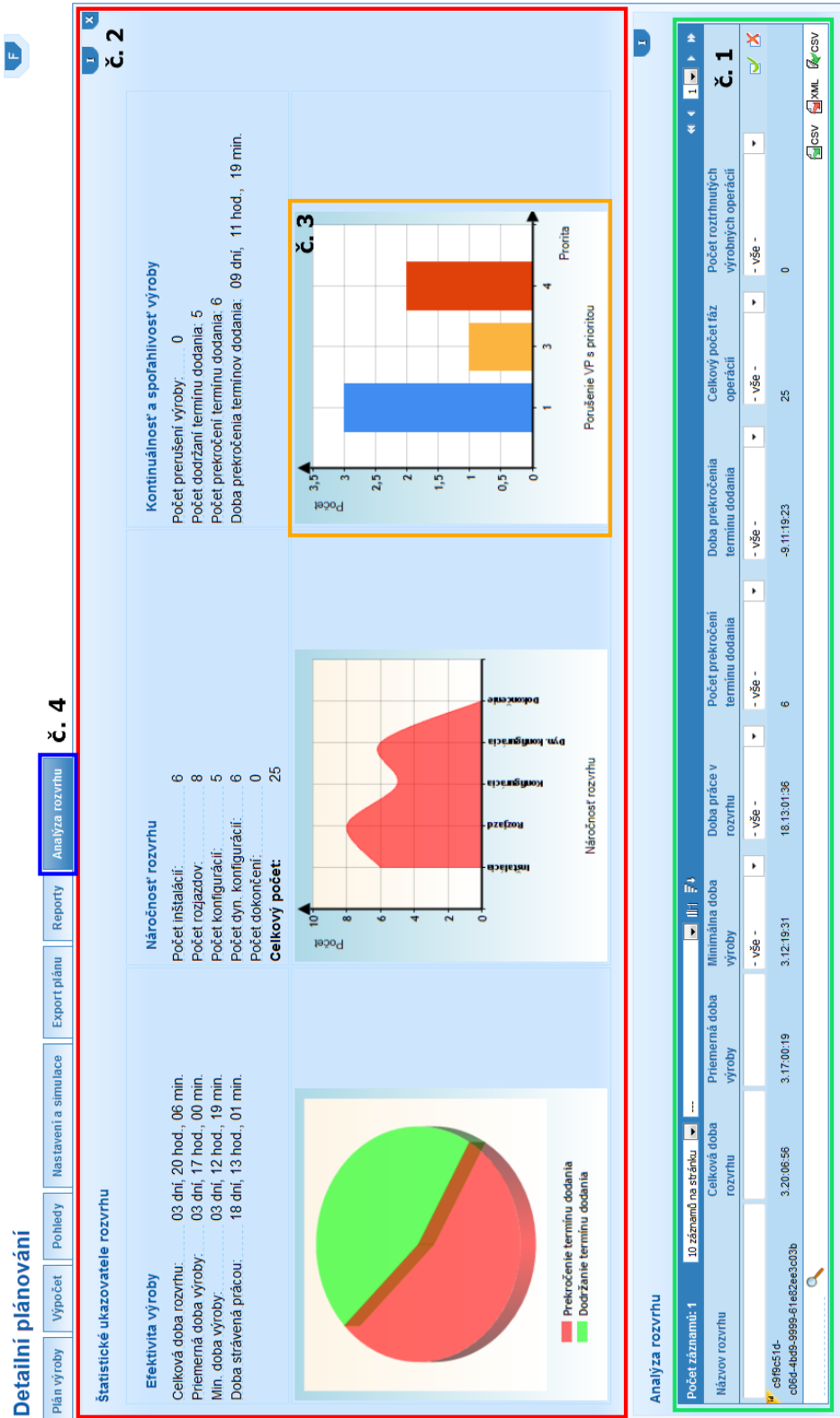
Obr. 6.4: Rozloženie výsledného zobrazenia.

Detail zobrazenia obsahuje dva kontajnery, ktoré sú naštýlované pomocou CSS, konkrétne je použitý štýl `.elementContainer`. Prvý kontajner obsahuje elementy č.1 až č.3., ktoré zobrazujú výsledné hodnoty ukazovateľov v podobe textu. Druhý kontajner obsahuje elementy č.4 až č.6., ktoré zobrazujú výsledné ukazovatele pomocou grafov. CSS štýl `.elementContainer` určuje každému elementu šírku 31%, jeho min. výšku 159px a určuje rozstup medzi jednotlivými elementami. Elementy č.1 a č.3 obsahujú zhodne po štyri prvky typu `Label`. Element č.2 obsahuje šesť prvkov typu `Label`.

Na zobrazenie grafov v elementoch č.3 až č.6 je použitá technológia ASP .NET, konkrétne knižnica na prácu s grafmi `CHART`. Prvý graf v elemente č.4 je typu `Pie`, druhý graf v elemente č.5 je typu `Range` a tretí graf v elemente č.6 je typu `Column`.

Výsledný formát zobrazenia je možné si pozrieť na obrázku 6.5. V spodnej časti obrázka označenej ako č.1 v zelenom rámečkovi môžeme vidieť zobrazenie štatistických ukazovateľov vo forme tabuľky. Po kliknutí na jeden záznam sa zobrazí detailné zobrazenie štatistických ukazovateľov, ktoré je na obrázku označené ako č.2 v červenom rámečkovi.

Užívateľ je schopný z daného zobrazenia vyčítať hodnoty konkrétnych ukazovateľov výroby. Pre rýchlejšiu orientáciu a lepší prehľad v tabuľke je možné jej dáta filtrovať a zoradiť od najväčšej po najmenšiu hodnotu. Pre lepší prehľad o niektorých ukazovateľoch program `ScheduleAnalyzer` zobrazuje výsledné hodnoty aj v podobe vyššie popísaných grafov či diagramov. Napr. u ukazovateľa *počet prekročení termínu dodania* je potrebné uvádzať aj prioritu výrobných príkazov, ktoré porušili termín dodania. Tento ukazovateľ je zobrazený pomocou stĺpcového diagramu, ktorý je možné vidieť na obrázku 6.5 pod označením č.3 v orandžovom rámečkovi.



Obr. 6.5: Výsledné zobrazenie vypočítaných štatistík programom ScheduleAnalyzer.

**Zhrnutie** Kapitola č.6 je venovaná popisu návrhu a implementácie programu ScheduleAnalyzer. V kapitole sú popísané vstupné dáta programu, výpočet štatistických ukazovateľov a návrh zobrazenia. Kapitola obsahuje aj obrázok 6.5, ktorý zobrazuje výsledné zobrazenie vypočítaných štatistických ukazovateľov programom ScheduleAnalyzer. V nasledujúcej kapitole č.6 sú popísané testovacie scenáre vyskúšané na programe ScheduleAnalyzer.

# Kapitola 7

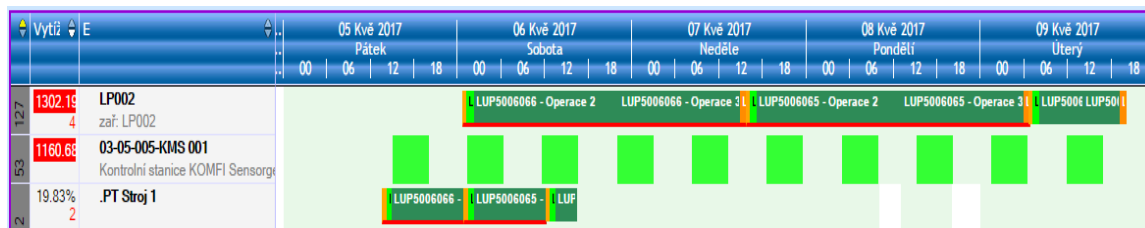
## Testovanie

Ako bolo vyššie spomenuté, program dokáže spracovať dáta o výrobnom rozvrhu a zobrazuje jeho vypočítané štatistiky. Program bol otestovaný na rôznych výrobných rozvrhoch v informačnom systéme MES PHARIS. V tejto časti budú popísané tri rozvrhy z množiny rozvrhov, na ktorom bol program testovaný. Keďže zobrazenie rozvrhu a zobrazenie vypočítaných štatistických ukazovateľov je objemné, bude ako ukážka funkčnosti slúžiť zobrazenie testovacieho rozvrhu č.1. Výstupné dáta programu ScheduleAnalyzer z testovacích rozvrhov č.2 a č.3 budú zobrazené vo forme tabuliek.

Program dostal dáta o troch rozvrhoch, vypočítal hodnoty štatistických ukazovateľov a zobrazil ich vo forme tabuľky. V nasledujúcich častiach kapitoly sú popísané jednotlivé vstupné rozvrhy a ich výsledné hodnoty. V testovacom rozvrhu č.1 bude grafické zobrazenie rozvrhu a vypočítaných štatistických ukazovateľov.

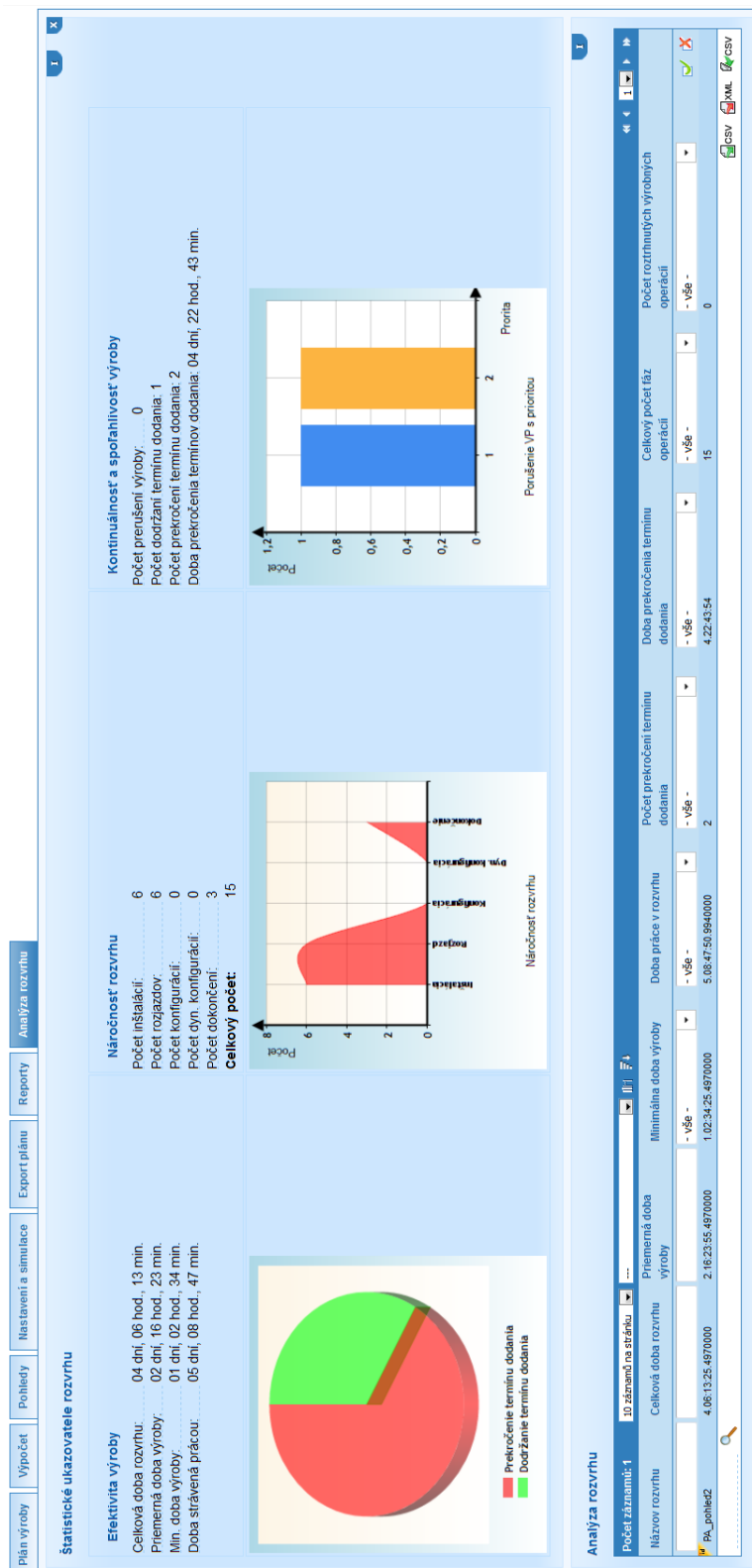
### 7.1 Testovací rozvrh č.1

Rozvrh sa skladá z troch výrobných príkazov, kde každý z nich má tri operácie. U dvoch z troch operácií je zadaný čas rozjazdu a čas inštalácie. U tretej operácie je stanovený čas dokončenia. Dva výrobné príkazy budú mať nastavenú dobu dodania tak, aby naplánovaný rozvrh nemohol stihnúť termín dodania kvôli otestovaniu počítania prekročenia termínu dodania a ich priorit. Výsledný rozvrh z plánovača je možné si pozrieť na obrázku 7.1.



Obr. 7.1: Približený detail na testovací výrobný rozvrh č.1.

Výsledné zobrazenie hodnôt štatistických ukazovateľov rozvrhu je na obrázku 7.2.



Obr. 7.2: Zobrazenie vypočítaných dát testovacieho rozvrhu č.1.



## 7.2 Testovací rozvrh č.2

Druhý testovací rozvrh sa skladá z 20 výrobných príkazov. Výrobné príkazy obsahujú rôzny počet operácií. Termíny dodania výrobných príkazov sú zadané rôzne, od termínu dodania, ktorý nie je možné dodržať, po termíny dodania ktoré sú splniteľné. Detail výrobného rozvrhu je možné si pozrieť na obrázku 7.4.

Vytř E	05 Kvě 2017 Pátek			06 Kvě 2017 Sobota			07 Kvě 2017 Neděle			08 Kvě 2017 Pondělí				
	06	12	18	00	06	12	18	00	06	12	18			
23 3	2400.12	03-02-029-ES 750 ENGEL 3K 750	ání Procesní kc VP004						VP004000 - Vstřikování Proces					
5 3	2400.10	03-02-003 KM160-750CX	ování Meziop.balení Přo LP LP021713 - Vstřikování proces. kontrola Mezioper. balení											
12 6	2400.10	03-02-014-KM 250 KM250-1000C2	kován VP VP004 VP VP004 LP0 LP021672 - Vstřikování Balení VP VP004105 - Vstřikování Balení Procesní kontrola											
13 4	2400.10	03-02-015-KM 300 KM300-1900C2	kování Balení Procesní kontrola						VP004097 - Vstřikování Balení Procesní kontrola			VP LP0 LP021630		
15 10	2400.10	03-02-018-KM 200 KM200-750CX	LP LP VP VP004075 - LP LP0216 LP LP0216 LP LP021661 - Vstřikování Balení Procesní kontrola											
17 7	2400.10	03-02-021-KM 350 KM350-2000CX	kování LP0 LP021443 - Vstřikování Meziop. balení Procesní kontrola						LP					
19 4	2400.10	03-02-023-KM 160 KM160-750CX	VP VP003997 - Vstřikování Mezioperační balení procesní kont LP LP021629 - Vstřikování mezioperační balení proces											
32 4	2400.10	03-03-011-R_PZ 672 SUŠKA TESLA PZ672, č.11, ručn	materiálu LP021727 - Sušení materiálu						LP021726 - Sušení mate					

Obr. 7.3: Priblížený detail na výrobný rozvrh č.2.

Výsledné vypočítané štatistiky sú nasledovné:

Efektivita výroby	
Celková doba rozvrhu:	131 dní, 21 hod., 50min.
Priemerná doba výroby:	30 dní, 07 hod., 06 min.
Min. doba výroby:	01 dní, 20 hod., 46 min.
Doba strávená prácou:	212 dní, 01 hod., 45 min.
Náročnosť rozvrhu	
Počet inštalácií:	31
Počet rozjazdov:	48
Počet konfigurácií:	0
Počet dyn. konfigurácií:	0
Počet dokončení:	15
Celkový počet:	94
Kontinuálnosť a spoľahlivosť výroby	
Počet prerušení výroby:	21
Počet dodržaní termínu dodania:	10
Počet prekročení termínu dodania:	10
Doba prekročenia termínov dodania	38 dní, 13 hod., 29 min.

Tabuľka 7.1: Výsledky vypočítaných štatistík testovacieho rozvrhu č.2.



## Kapitola 8

### Záver

Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť štatistické ukazovatele kvality výrobných rozvrhov a implementovať program, ktorý spočíta nevrhnuté ukazovatele a následne vypočítané hodnoty zobrazí užívateľovi. Vedľajším cieľom bolo naštudovať metódy a nástroje používané v dnešných výrobných podnikoch.

Výsledok práce je sada štatistických ukazovateľov kvality výrobných rozvrhov a funkčný program, ktorý je implementovaný do informačného systému MES PHARIS. Výsledný program dokáže spracovať vstupné dáta o výrobnom rozvrhu, na základe nich vypočítať danú sadu štatistických ukazovateľov rozvrhu a výsledky zobrazí užívateľovi. Na základe vypočítaných ukazovateľov je možné jednoducho zhodnotiť výrobné rozvrhy, obzvlášť rozvrhy s vysokým počtom rôznych operácií, ktoré majú viac fáz, čo by manuálne spočítať bolo veľmi náročné.

Výsledok práce je možné rozšíriť o ďalšie štatistické ukazovatele a implementovať ich. Zároveň je možné rozšíriť program, ktorý tvorí výsledné výrobné rozvrhy tak, aby z jedného zadania vytvoril viac rôznych rozvrhov. Následne by program ScheduleAnalyzer zhodnotil jednotlivé rozvrhy a zobrazil vypočítané štatistiky, čo by mohlo viesť k čo najlepšiemu výberu výrobného rozvrhu.

# Literatúra

- [1] Basl, J.; Blažíček, R.: *Podnikové informační systémy*. Brno: Grada, třetí vydání, 2012, ISBN 978-80-247-4307-3-X.
- [2] Jurová, M.: *Výrobní procesy řízené logistikou*. Brno: BizBooks, 2013, ISBN 978-80-265-0059-9-X.
- [3] Kavan, M.: *Výrobní a provozní management*. Praha: Grada, 2002, ISBN 80-247-0199-5-X.
- [4] Keřkovský, M.: *Moderní přístupy k řízení výroby*. Praha: C.H. Beck, druhé vydání, 2009, ISBN 9978-80-7400-119-2-X.
- [5] Loffelmann, J.: *Plánování podle typů výroby*. [Online; navštíveno 25.01.2017].  
URL <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/planovani-podle-typu-vyroby.htm>
- [6] Loffelmann, J.: *Trendy v plánování a řízení výroby II. díl*. [Online; navštíveno 15.03.2017].  
URL <https://www.systemonline.cz/clanky/trendy-v-planovani-a-rizeni-vyroby-ii-dil.htm>
- [7] Sodomka, P.; Klčová, H.: *Informační systémy v podnikové praxi*. Brno: Computer Press, druhé vydání, 2010, ISBN 978-80-251-2878-7-X.
- [8] Synek, M.; Kislíngerová, E.: *Podniková ekonomika*. Praha: C.H. Beck, páté vydání, 2010, ISBN 978-80-7400-336-3-X.
- [9] Tomek, G.; Vávrová, V.: *Řízení výroby*. Praha: Grada, druhé vydání, 2000, ISBN 80-7169-955-1-X.
- [10] Štrublíková, I.: *MES Systémy ve strojírenství – část 1*. [Online; navštíveno 26.03.2017].  
URL <http://www.mescentrum.cz/clanky/mes-mom/131-mes-systemy-ve-strojirenstvi-cast-1>