

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**APLIKACE MODERNÍCH LOGISTICKÝCH SYSTÉMŮ  
V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU**

Autor: Ing. David Tilkeridis  
Školitel: doc. Ing. Petr Průša, Ph.D.

Disertační práce  
2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na náhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15.září 2013

Ing. David Tilkeridis

Poděkování:

Děkuji doc. Ing.Petru Průšovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky a usilovnou dlouhodobou podporu při vedení disertační práce.

V Pardubicích dne 15.září 2013

Ing. David Tilkeridis

## **ANOTACE**

Dizertační práce je zaměřena na vytvoření efektivního logistického systému v opakované výrobě a jeho verifikaci v praktickém prostředí výrobního podniku automotive. Systém optimalizuje velikost výrobních dávek produktového mixu, velikost interního balení, eliminuje plýtvání a prostřednictvím rozložení přestaveb výrobních linek minimalizuje nutné zdroje. Pro řízení a regulaci logistického systému je navržena systémová integrace a zavedení manažerského informačního systému a managementu znalostí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vnitropodniková logistika, ERP, výrobní dávka, LKPI, standardizace, 5S, vizualizace, PDCA

## **TITLE**

Application of modern logistics systems in automotive

## **ANNOTATION**

The doctoral dissertation is aimed on creation of an efficient logistics system in repetitive manufacturing and its verification in practical environment of a manufacturing factory in automotive. The system optimizes production lot sizes of a product mix, the size of internal packaging, eliminates wasting and throughout production lines changeover scheduling, minimizes the necessary resources. For the purpose logistics system control and regulation, system integration together with an implementation of management information system and knowledge management is proposed.

## **KEYWORDS**

Internal logistics, ERP, production lot, LKPI, standardization, 5S, visualization, PDCA

## OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>                            | <b>11</b> |
| 1.1 Základní pojmy a kategorie.....  | 11        |
| 1.1.1 Systém .....   | 11        |
| 1.1.2 Výrobní logistika.....   | 11        |
| 1.1.3 Výrobní systémy .....  | 13        |
| 1.1.4 Push systém a pull systém.....   | 14        |
| 1.1.5 Podnikové aplikace pro plánování a řízení výroby .....                 | 15        |
| 1.1.6 Modely skladových zásob .....  | 18        |
| 1.1.7 Produktivita práce .....   | 21        |
| 1.2 Logistické ukazatele (LKPI) .....  | 21        |
| <b>2. CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE A STANOVENÍ HYPOTÉZ.....</b>                      | <b>22</b> |
| 2.1 Stanovení hypotéz .....  | 22        |
| <b>3. ZVOLENÉ METODY ŘEŠENÍ .....</b>  | <b>23</b> |
| 3.1 Empiricko-intuitivní přístup.....  | 23        |
| 3.2 Algoritmický přístup .....   | 23        |
| 3.3 Heuristický přístup .....  | 23        |
| 3.4 Zvolené metody.....  | 23        |
| 3.4.1 Paretův diagram (Paretova analýza).....                                | 24        |
| 3.4.2 Ishikawův diagram .....  | 25        |
| 3.4.3 Metoda vícekriteriálního rozhodování .....                             | 26        |
| 3.4.4 Shewhartův (Demingův cyklus).....                                      | 27        |
| 3.4.5 Metody statistické .....   | 27        |
| 3.4.6 Metoda Nelineární optimalizace .....                                   | 32        |
| 3.4.7 Metoda Critical Chain .....  | 34        |
| <b>4. ANALÝZA VÝCHOZÍHO STAVU A DEFINICE PROBLÉMU.....</b>                   | <b>36</b> |
| 4.1 Výchozí stav .....   | 36        |
| 4.2 Logistické ukazatele (LKPI) .....  | 36        |
| 4.3 Paretova analýza.....  | 39        |
| 4.4 Ishikawův diagram .....  | 40        |
| 4.5 Definice problému a jeho příčin.....                                     | 42        |
| 4.5.1 Nedostatek výrobků .....   | 42        |
| 4.5.2 Přetížení lidských zdrojů.....   | 42        |
| 4.5.3 Nedostupná manipulační technika .....                                  | 42        |
| <b>5. NÁVRH LOGISTICKÉHO SYSTÉMU .....</b>                                   | <b>43</b> |
| 5.1 optimální výrobní dávka .....  | 43        |
| 5.1.1 Grafické znázornění Nákladové funkce a hledání optimální výrobní dávky | 46        |
| 5.2 Výpočet velikosti výrobní dávky .....                                    | 47        |
| 5.2.1 Řešitel našel řešení.....  | 48        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 5.2.2     | Řešitel konverguje ke stávajícímu řešení .....                          | 48        |
| 5.2.3     | Řešitel nemůže zlepšit stávající řešení .....                           | 48        |
| 5.3       | Přetížení lidských zdrojů .....   | 51        |
| 5.3.1     | Nedostupná manipulační technika .....                                   | 55        |
| 5.4       | Stabilita a spolehlivost logistického systému .....                     | 55        |
| 5.4.1     | Standardizace .....   | 55        |
| 5.4.2     | 5S .....  | 56        |
| 5.4.3     | Vizualizace .....   | 56        |
| 5.4.4     | Andon .....   | 57        |
| 5.5       | Řízení, kontrola a evoluce logistického systému .....                   | 57        |
| 5.5.1     | Systémová integrace .....   | 57        |
| 5.5.2     | Přínosy systémové integrace .....                                       | 58        |
| 5.5.3     | Zavedení manažerského varovného informačního systému .....              | 58        |
| 5.5.4     | Management znalostí .....   | 58        |
| 5.5.5     | Data warehousing .....  | 59        |
| 5.5.6     | Data mining .....   | 60        |
| 5.6       | Logistický systém .....   | 61        |
| <b>6.</b> | <b>VERIFIKACE LOGISTICKÉHO SYSTÉMU .....</b>                            | <b>63</b> |
| 6.1       | Logistické ukazatele (LKPI) .....                                       | 63        |
| 6.1.1     | Produktivita práce vnitropodnikové logistiky (LKPI 1) .....             | 63        |
| 6.1.2     | Výrobky v požadovaném množství a čase (LKPI 2) .....                    | 66        |
| 6.2       | Ověření hypotéz .....   | 72        |
| 6.2.1     | Hypotéza 1 .....  | 72        |
| 6.2.2     | Hypotéza 2 .....  | 74        |
| <b>7.</b> | <b>TEORETICKÉ A PRAKTICKÉ PŘÍNOSY NAVRŽENÉ METODIKY A SYSTÉMU .....</b> | <b>76</b> |
|           | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>79</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>                                  | <b>80</b> |
|           | <b>SEZNAM VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST .....</b>                          | <b>82</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>  | <b>84</b> |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| TABULKA 1: POROVNÁNÍ MRPII A JIT .....  | 16 |
| TABULKA 2: LKPI PRO LOGISTICKÝ SYSTÉM.....  | 36 |
| TABULKA 3: OPTIMALIZACE OBALOVÝCH JEDNOTEK METODOU POROVNÁVÁNÍ .....                      | 53 |
| TABULKA 4: DATOVÉ SKLADY VERSUS SKLADY PROVOZNÍCH DAT .....                               | 59 |
| TABULKA 5: LKPI PRO LOGISTICKÝ SYSTÉM.....  | 63 |
| TABULKA 6: LKPI 1 DVOUVÝBĚROVÝ F-TEST PRO ROZPTYL .....                                   | 64 |
| TABULKA 7: LKPI 1 DVOUVÝBĚROVÝ T-TEST S NEROVNOSTÍ ROZPTYLŮ.....                          | 65 |
| TABULKA 8: MATICE VÝROBNÍCH DÁVEK PRODUKTŮ – POROVNÁNÍ NÁKLADŮ .....                      | 73 |
| TABULKA 9: POČET LOGISTICKÝCH MANIPULACÍ ZA 1 TÝDEN. ....                                 | 74 |
| TABULKA 10: POČET PŘESTAVEB NA 1 LINKU ZA 1 TÝDEN A POČET LOGISTICKÝCH<br>MANIPULACÍ..... | 75 |

## SEZNAM ILUSTRACÍ

|  |    |
|--|----|
| OBRÁZEK 1: LOGISTICKÝ ŘETĚZEC.....   | 13 |
| OBRÁZEK 2: KONCEPCE PLÁNOVÁNÍ V ERP .....  | 18 |
| OBRÁZEK 3: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMÁLNÍ VELIKOSTI DÁVKY .....                   | 19 |
| OBRÁZEK 4: PARETŮV DIAGRAM.....  | 25 |
| OBRÁZEK 5: DIAGRAM PŘÍČIN A NÁSLEDKŮ.....  | 26 |
| OBRÁZEK 6: KORELAČNÍ DIAGRAM .....   | 29 |
| OBRÁZEK 7: PRODUKTIVITA V LOGISTICE .....  | 37 |
| OBRÁZEK 8: VYNUCENÉ PŘESTAVBY VÝROBNÍCH LINEK (NORMOVÁNO NA MILIÓŇ KS)<br>.....  | 38 |
| OBRÁZEK 9: NEDODÁNÍ ZÁKAZNÍKOVI (NORMOVÁNO NA MILIÓŇ KS).....                    | 39 |
| OBRÁZEK 10: PARETOVA ANALÝZA LOGISTICKÝCH PROBLÉMŮ .....                         | 40 |
| OBRÁZEK 11: ISHIKAWŮV DIAGRAM - ANALÝZA PROBLÉMŮ VÝROBNÍCH FAKTORŮ ...           | 41 |
| OBRÁZEK 12: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NÁKLADOVÉ FUNKCE Z .....                         | 47 |
| OBRÁZEK 13: VÝPOČET VELIKOSTI VÝROBNÍ DÁVKY (ZESTRUČNĚNÝ VÝTAH) .....            | 49 |
| OBRÁZEK 14: VÝPOČET OPTIMÁLNÍ VÝROBNÍ DÁVKY .....                                | 50 |
| OBRÁZEK 15: PŘÍKLAD VÝROBNÍ ŠABLONY .....  | 51 |
| OBRÁZEK 16: CELKOVÝ EFEKT ŘEŠENÍ VYTÍŽENÍ LIDSKÝCH ZDROJŮ .....                  | 54 |
| OBRÁZEK 17: VÝROBNÍ ŠABLONA S NEPŘEKRÝVAJÍCÍMI SE PŘESTAVBAMI .....              | 55 |
| OBRÁZEK 18: ARCHITEKTURA DATOVÉHO SKLADU .....                                   | 60 |
| OBRÁZEK 19: SCHÉMA LOGISTICKÉHO SYSTÉMU .....                                    | 62 |
| OBRÁZEK 20: PRODUKTIVITA PRÁCE VNITROPODNIKOVÉ LOGISTIKY (LKPI 1).....           | 64 |
| OBRÁZEK 21: VYNUCENÉ PŘESTAVBY VÝROBNÍCH LINEK (NORMOVÁNO NA MILIÓŇ KS)<br>..... | 67 |
| OBRÁZEK 22: ZASTAVENÍ VÝROBNÍCH LINEK (NORMOVÁNO NA MILIÓŇ KS).....              | 69 |
| OBRÁZEK 23: NEDODÁNÍ ZÁKAZNÍKOVI (NORMOVÁNO NA MILIÓŇ KS).....                   | 71 |



## SEZNAM ZKRATEK

|        |  |
|--------|--|
| BI     | Business Intelligence  |
| CIO    | Chief Information Officer  |
| CPM    | Critical Path Method (metoda kritické cesty)                               |
| DM     | Data Mining  |
| DSS    | Decision Support System  |
| DW     | Data Warehouse   |
| EIS    | Enterprise Information System  |
| ERP    | Enterprise Resource Planning   |
| ICT    | Information Communication Technology ((Informační komunikační Technologie) |
| IQ     | Institutional Intelligence, Institutional IQ, Cooperate IQ                 |
| IS     | Information System (Informační Systém)                                     |
| IT     | Information Technology (Informační Technologie)                            |
| LKPI   | Logistics Key Performance Indicators                                       |
| MIS    | Management Information System  |
| MRP    | Manufacturing Resource Planning  |
| ODS    | Operational Data Store   |
| PERT   | Program Evaluation and Review Technique                                    |
| PROMPT | Prediscasts Overview of Market & Technology                                |
| SCM    | Supply Chain Management  |
| TCO    | Total Cost of Ownership  |

# ÚVOD

Výrobní logistika nabývá stále většího významu a tvoří velkou část konkurenční výhody. Úkolem výrobní logistiky je plánovat a optimalizovat velikost výrobních dávek a toky výrobků za maximálního využití dostupných zdrojů a minimalizace souvisejících nákladů. Velikost výrobní dávky v systému tahu v kombinaci s časově vyváženými výrobními objemy společně s efektivní interní logistikou jsou oblasti, které ve stávající praxi často fungují na bázi intuice či jednoduchých výpočtů abstrahujících od velkého množství důležitých faktorů, nebo jsou částečně zastoupeny v současných ERP systémech.

Odborná literatura se těmito kategoriemi zabývá separátně a předkládá několik modelů. V odborné literatuře však není dostatečná vazba mezi těmito kategoriemi, která by vedla ke generalizovanému systému interní logistiky.

Nezbytným vstupem pro plnění pracovních úkolů a pro komunikaci napříč firemní hierarchií jsou informace. Systémy řízení informací by měly zabezpečit rychlou dostupnost potřebných informací v optimálním množství a kvalitě. To umožní podnikům zrychlit a zpřehlednit i vlastní fyzický tok materiálu a výrobků.

Klíčovou rolí pro řízení informací a správu podnikových činností a procesů hrají takzvané systémy ERP (Enterprise Resource Planning). Jedná se o moderní systémy, jejichž aplikací lze sdílet společná data v rámci celého podniku, zpracovávat je a zpřístupňovat informace pro podporu plánování, kontroly a rozhodování v reálném čase. Pro efektivní uplatnění ERP systému je důležité vytvoření vazby na principy a systémy znalostního managementu.

První část disertační práce je zaměřena na analýzu současného stavu dané problematiky v ČR a zahraničí. V druhé části je definován cíl disertační práce včetně stanovení hypotézy. Následuje přehled metod zvolených k analýze a řešení stanoveného cíle. Ve čtvrté části je definován a popsán logistický systém vnitropodnikové logistiky. V poslední části disertační práce je logistický systém verifikován.

## 1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V odborné literatuře jsou prvotním zdrojem informací ke studované problematice převážně zahraniční odborné publikace, jejichž poznatky do značné míry česká odborná literatura přebírá. Česká i zahraniční odborná literatura nabízí velmi dobrou úroveň odborných poznatků v oblasti kategorizace zásob z hlediska jejich druhů a účelu. Nabízí rovněž výpočetní modely výrobních dávek avšak v obecně generalizované podobě, která popisuje základní typ modelu pro deterministický i pravděpodobnostní model zásob (dle charakteru poptávky) včetně možnosti jejich řešení metodami operačního výzkumu.

### 1.1 ZÁKLADNÍ POJMY A KATEGORIE

Níže jsou uvedeny základní pojmy a kategorie, které slouží k popsání současného stavu v oblasti řešené problematiky.

#### 1.1.1 Systém

Existují tři základní definice systému. První je behavioristická definice, druhou je stavová definice, třetí definice kompoziční. Behavioristická definice nazývá systémem každý objekt, který vstupnímu procesu určitého typu přiřazuje výstupní proces téhož nebo jiného typu. Toto přiřazení (transformace) popisující reakci výstupů na vstupy se nazývá chování systému. Specifickou kategorií systémů jsou systémy bez vstupů, takovéto systémy jsou nazývány generátory.

Odborná literatura definuje následující základní vlastnosti systému:

- Determinovanost a náhodnost systému
- Systémy s cílovým chováním
- Systémy s řízením
- Spolehlivost systému
- Stabilita systému.

#### 1.1.2 Výrobní logistika

Základním úkolem výrobní logistiky je tvorba výrobní struktury podniku založené na účelném systému hmotných toků (výrobní plánování podniku).

Obecným úkolem je vytvoření podmínek pro zajištění technicky bezporuchového, hospodárného průběhu výrobního procesu při současném zabezpečení příznivých pracovních podmínek. Jeho předmětem může rovněž být rozvojové plánování výrobních pracovišť, jakož i plánování obnovy, přestavby a rozvoje již existujících provozů [1 s.102].

Z obecného vymezení úkolů podnikového výrobního plánování lze stanovit všeobecně platné hlavní cíle:

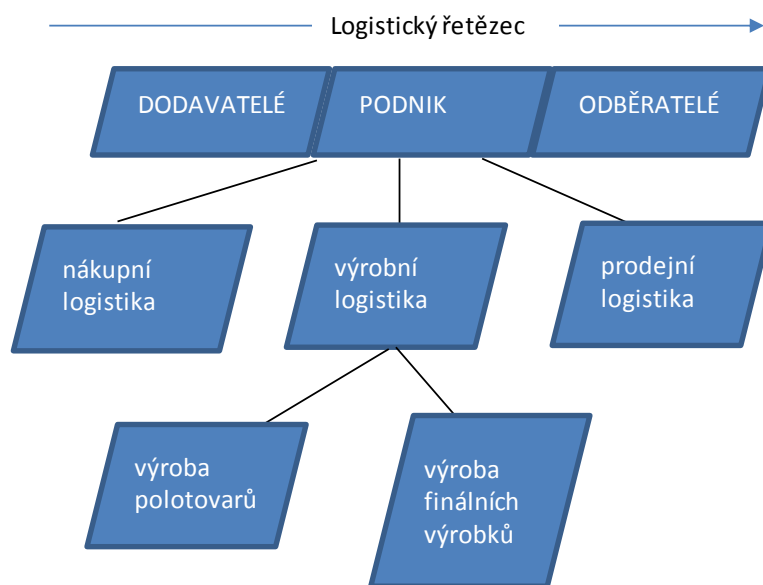
- plánování předvýrobního skladování materiálů a polotovarů
- manipulaci s materiálem v různých stupních fáze výroby
- mezioperační a operační dopravu
- mezioperační skladování
- manipulaci při montáži celků
- manipulaci s hotovými výrobky
- pracovní podmínky příznivé pro pracovní sílu

Logistická koordinace a synchronizace průtoku materiálu a informací napříč podnikem, je nesnadnou záležitostí, neboť obsahuje určité dílčí cíle, které sledují jednotlivé útvary a tyto cíle jsou často velmi rozmanité a leckdy až protichůdné.

Podle [2] je potřeba si uvědomit:

- pro nákup jsou výhodné velké dávky nakupované od stálých, osvědčených dodavatelů, neboť tak lze dosáhnout výhodné nákupní podmínky i nákladové vztahy,
- výroba potřebuje pracovat ve velkých výrobních dávkách a s malým počtem variant výrobků a pokud možno s co nejmenšími změnami ve výrobním planu tak, aby byly pokud možno rovnoměrně vytíženy kapacity výrobních zařízení,
- prodej naopak vyžaduje co největší pružnost výroby, maximální rychlost reakce na změny poptávky, rychlé zpracování zakázek, výrobu velkého počtu variant výrobků a vůbec široký sortiment výrobků, možnost vyrobit takovou dávku, jakou požaduje odběratel.

Rozdílné požadavky nákupu, výroby a prodeje se střetávají např. ve skladovém hospodářství. Pro něj jsou výhodné nízké stavy zásob, jednoduchost sortimentu, plynulost v doplňování zásob i v odběru. Financování preferuje minimalizaci prostředků, jež jsou vázány v zásobách, usiluje o nízké výrobní náklady a o malé ztráty.



**Obrázek 1:** Logistický řetězec [upraveno dle 3]

### 1.1.3 Výrobní systémy

V současnosti jsou známy tři základní typy výrobního procesu (systému). Ve všech případech se jedná o systémy s řízením. Tyto typy jsou ve své podstatě základními filozofiemi, které definují výchozí podmínky a omezení podnikové logistiky. Prvním typem je známý systém tlačené výroby (push-systém), druhým systémem je systém výroby tažené (pull-systém) a třetí typ je kombinací obou předchozích [4].

Systém tlačené výroby je neregulovaným systémem, který produkuje tolik jednotek, kolik dokáže a posílá je do dalšího procesu bez ohledu na to, zda je tento proces potřebuje či nikoliv. Částečně vyplývá systém tlaku z myšlení: vyrobme co nejvíce jednotek, nikdy nevíme, kdy se něco může pokazit. Podniky aplikující systém tlačené výroby se obvykle vyznačují nenavazující rozložením výrobních linek. Často se výrobní linky, které na sobě procesně navazují, nacházejí fyzicky na opačných koncích výrobní haly, což v praxi vytváří potřebu neefektivní manipulace a vzniku zásob, neboť dělníci pracující v takovémto prostředí obvykle ani netuší, jaké jsou požadavky jejich zákazníka (interního nebo externího) z hlediska množství a času jejich dodání.

Naproti tomu systémem tažené výroby má optimalizovaný výrobní tok (jednotlivé procesy na sebe fyzicky navazují ve stanoveném sledu výrobních fází) a je založen na poptávce zákazníka, výroba je zahájena teprve v okamžiku obdržení objednávky od zákazníka v podobě kusové výroby (jednotlivými výrobními fázemi prochází vždy pouze jeden vyráběný kus). M.Imai, přední Japonský odborník současnosti na oblast dílenské výroby charakterizuje ve své knize Genba kaizen push a pull systém následovně [5 kapitola 11]:

### 1.1.4 Push systém a pull systém

Push systém se vyznačuje následujícími specifiky:

1. Výrobní plán je stanoven dle poptávky zákazníka
2. Výrobní plán je pak rozpadnut do jednotlivých výrobních procesů subdodavatelských a dodavatelských úrovní tak, aby jim umožnil sestavit jejich vlastní výrobní plány v souladu s možnostmi a omezeními jejich systému.
3. Výrobní plány jednotlivých procesů jsou poté distribuovány do odpovědných sekcí výrobního závodu.
4. Zodpovědná osoba dané sekce poté určí rozvrh výroby v souladu s výrobním plánem a vydá výrobní příkazy na pracoviště (výrobní linky).
5. Pracoviště (výrobní linka) poté plní výrobní příkaz bez ohledu (nezávisle) na další procesy.
6. Výrobky z daného pracoviště jsou poté vnuceny následujícímu pracovišti.

Pull systém lze popsat následovně:

1. Výrobní plán je stanoven na základě poptávky zákazníka
2. Tento výrobní plán je poskytnut finálnímu výrobnímu pracovišti (nebo lince) pro výrobní instrukce
3. V okamžiku, kdy finální pracoviště zahájí dle daného plánu výrobu jsou vyrobené díly souběžně (okamžitě) spotřebovávány.
4. Vstupní díly finální linky jsou tímto postupně spotřebovávány, takže si finální proces jde zpět proti proudu k předchozímu procesu (pracovišti) „zakoupit“ potřebné díly.
5. Toto předchozí pracoviště si je ihned vědomo, že je nutné ihned doplnit (vyrobiť) přesně takové množství, které bylo „prodáno“

V knize Lean thinking uvádějí autoři James P.Womack a Daniel T.Jones, že přeměna tlačeného výrobního systému na tažený zákaznický zdvojnásobí produktivitu práce napříč systémem (příímí zaměstnanci, řídicí pracovníci, techničtí pracovníci, od surových materiálů po hotové výrobky) za zkrácení průběžných časů o 90% a rovněž snížení zásob o 90% [6 s. 27].

Bez ohledu na to zda je ve výrobě aplikován push nebo pull systém jsou základní logistickou kategorií zásoby. Zásoby zabírají místo, prodlužují dobu výroby, vytváří dopravní a skladovací potřeby, komplikují dodržování FIFO, zvyšují spotřebu lidských zdrojů v případě kvalitativního problému a nutnosti jejich třídění, vážou finanční prostředky. Materiál a hotové a rozpracované výrobky na podlaze výrobní haly nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu. Na druhé straně klesá jejich kvalita a mohou rychle zastarávat, jestliže dojde na trhu ke změnám nebo přijde konkurence s novým produktem. Pro snižování zásob je nutné řídit zásoby. Dr. T. Goldsby a R. Martichenko ve své knize Lean six sigma logistics definují jako hlavní činnost (cíl) logistiky řízení zásob a řízení zásob jako řízení odchylek a detailně specifikují nový koncept „Lean Six sigma logistics“, který definují jako eliminaci plýtvání skrze disciplinované úsilí o

porozumění a snižování odchylek, za zvyšování rychlosti a toku v logistickém řetězci [7 s. 76].

Horáková, H. a Kubát, J. definují ve své knize Řízení zásob zásoby jako základní prvky, které vstupují do výrobního procesu. Jedná se o tu část užitných hodnot, které byly vyrobeny, ale ještě nebyly spotřebovány. Současně definují i systém řízení zásob jako mechanismus, který se snaží nalézt optimální vztah mezi tím, jak zásoba plní své funkce, a tím, jak vysoké náklady podnik vynakládá na jejich pořizování a skladování [8 s. 68].

P. Pernica definuje řízení zásob jako efektivní zacházení a efektivní hospodaření se zásobami, využívání všech rezerv, které v této oblasti existují, a respektování všech činitelů, které mají vliv na účinnost řízení zásob [9].

Z hlediska funkce odborná literatura členění zásoby na:

- Obratová (běžná) zásoba kryje potřebu mezi dvěma dodávkami
- Pojistná zásoba pro případ náhodného výkyvu
- Zásoba pro předzásobení - výrobek spotřebováván zejména v určité sezóně
- Strategická zásoba využita při nepředvídatelných událostech
- Spekulativní zásoba získání určitého profitu
- Technologická zásoba výroby, které je nutno ještě na jistou dobu uskladnit, než je lze dodat spotřebitelům (víno, sýry)

### 1.1.5 Podnikové aplikace pro plánování a řízení výroby

V současnosti se ve výrobních podnicích pro plánování výroby a materiálu používají ERP (Enterprise Resource Planning) aplikace s MRP (Material Resource Planning) nebo APS (Advanced Planning and Scheduling) plánovacím algoritmem. Rozdíl mezi těmito algoritmy je v tom, že MRP ignoruje při výpočtu obsazenost zdrojů (pracovníci, stroje, ...), zatímco APS toto zohledňuje a dokáže tedy vypočítat realisticky čas splnění zákaznického požadavku a optimalizovat čas zahájení a ukončení výroby metodou zpětného plánování (v souladu s filozofií JIT) – tj. činnosti jsou počítány od požadovaného data dodání zpětně. U MRP systému jsou činnosti počítány od daného momentu – což může znamenat, že zakázka je splněna dřív, než je nutné a materiál je objednan a spotřebován dřív než je nutné (filozofie tlačené výroby).

Oba tyto algoritmy nejsou orientovány na minimalizaci nákladů na zásobování, ale na minimalizaci zásob. Současné ERP systémy rovněž neobsahují algoritmus pro stanovení optimální výrobní dávky. Obvykle obsahují pouze vstupní parametry v podobě minimální a maximální výrobní dávky.

Tabulka 1: Porovnání MRPII a JIT [10]

| Charakteristika         | MRP II  | JIT   |
|-------------------------|---|---|
| <b>Zásoby</b>           | žádoucí; ochrana před chybami předpovědí, výpadkem výroby, pozdními dodávkami, větší zásoba znamená bezpečí | nežádoucí; snahou je zásoby nemít   |
| <b>velikost dávky</b>   | optimalizace fixních nákladů a nákladů na přepravu  | malá dávka; vyrábí se jen to, co bude okamžitě odebráno                     |
| <b>fixní náklady</b>    | nejsou tak důležité, protože jsou rozpuštěny ve velkém objemu výstupu                                       | neustálí tlak na jejich minimalizaci, protože se vyrábí v malých dávkách    |
| <b>dodavatel</b>        | "druhá strana", více vzájemně si konkurujících dodavatelů   | partner, součást týmu   |
| <b>Kvalita</b>          | zaměřeno na stanovenou toleranci  | neustálé řízení jakosti, protože zhoršená jakost může ochromit celou výrobu |
| <b>průběžná doba</b>    | nákupčí a obchodní agenti působí na prodlužování doby   | krátká - rychlost odezvy na požadavek odběratele je klíčová                 |
| <b>pracovníci</b>       | direktivní hierarchická struktura řízení  | kolektivní řízení na základě konsensu                                       |
| <b>nástroje</b>         | hlavní plán výroby (MPS), kusovníky (BOM), stav zásob na skladě   | hlavní plán výroby (MPS), kanban  |
| <b>přístup ke změně</b> | pasivní - konzervuje výchozí stav   | aktivní - motivuje k neustálému zdokonalování, vyloučení plýtvání a zásob   |
| <b>zaměření</b>         | plánování a řízení  | odstranění plýtvání, neustálé zdokonalování                                 |
| <b>požadovaná data</b>  | detaillní a přesná  | nižší požadavky, preferuje vizuální ověření                                 |
| <b>provozování</b>      | s využitím IS/IT  | jednoduché, například kartami kanban (i bez IT)                             |

### *Plánování a rozvrhování*

Cílem plánování v ERP systému je vytvořit takový výrobní rámec, který umožní expedovat zakázky na čas. Je důležité určit, kolik položek je třeba vyrobit a nakoupit, aby byla uspokojena nezávislá poptávka. Tento proces je orientován externě.



Rozvrhování pracuje v rámci definovaného výrobního rámce a rozčlení jej na detailní strukturu. Tento proces je orientován interně. Jeho podstatou je rozčlenění plánu a určení konečného pořadí prací dle jejich priority.

V provádění svých funkcí musí plánování používat časy bufferu, aby dalo rozvrhování prostor pro reakci. Plánování tedy nesmí být příliš striktní v nastavování datumu. Rozvrhování pak přerozvrhne operace.

Obě funkce – plánování i rozvrhování – jsou velmi důležité. Globálně lze o plánování uvažovat jako o synchronizaci – hrubé uspořádání výroby (napříč celým kusovníkem) v časovém horizontu. Rozvrhování poté nejen přeuspořádává práci, ale optimalizuje ji a kapacity vrací zpět pro plánování.

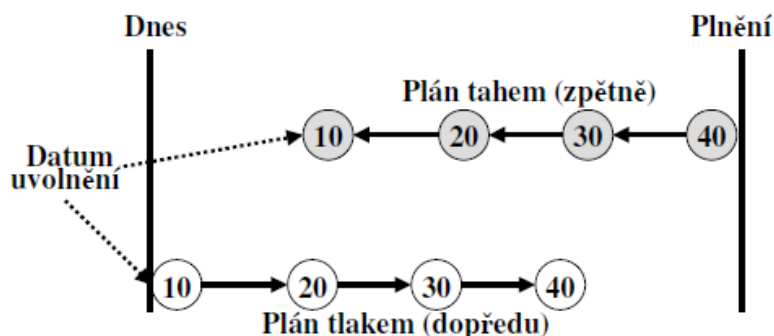
Plánování sestává ze dvou částí:

1. Učinit slib zákazníkovi
2. Dodržet slib daný zákazníkovi

Klíčem dodržení slibu je slibovat pouze to, co lze dodržet. V podnikatelském prostředí to znamená, že obchodník slibuje na základě reálného výrobního plánu. Plánování vytváří reálné plány zakázku po zakázce. To znamená, že obchodník může zákazníkovi během minuty říct, kdy společnost reálně splní zakázky na základě aktuálního plánu (rozvrhu) a priorit zakázek. Tento typ pokročilého plánování umožní:

- Slíbit nyní a dodat včas
- Porozumět účinkům priorit, zakázek a změn kapacit
- Minimalizovat NV a zásoby:

Z koncepčního hlediska nabízejí současné ERP systémy plánování tahem i plánování tlakem. Plánování tahem plánuje zakázku zpětně od data plnění, zatímco plánování tlakem plánuje dopředu od dnešního data. Následující diagram zobrazuje obojí.



Obrázek 2: Koncepte plánování v ERP [10]

Finálním důsledkem plánování zakázky po zakázce v reálném čase při zvažení dostupnosti všech relevantních omezení (materiál, kapacita a čas) je synchronizace výroby dle poptávky. Namísto snahy udržovat maximální výrobní dávky pracují obvykle současné ERP systémy s cílem uskutečnit sliby.

Znamená to, že ERP systémy implicitně vycházejí z plnění termínu dodání (slíbení nejkratšího možného termínu) bez ohledu na ekonomickou efektivitu takto kalkulované výrobní dávky.

### 1.1.6 Modely skladových zásob

Podle typu poptávky zboží rozděluje odborná literatura matematické modely skladových zásob následovně:

- a) deterministické – je známa velikost poptávky zboží
  1. statické . . . velikost poptávky je konstantní, nemění se
  2. dynamické . . . velikost poptávky je v různých obdobích rovna různým konstantám
  
- b) pravděpodobnostní – poptávka přesně není známa, pouze hustota (nebo pravděpodobnostní funkce), která vyjadřuje jistou pravděpodobnou hodnotu poptávky
  1. stacionární . . . hustota (nebo pravděpodobnostní funkce) poptávky se nemění v čase
  2. nestacionární . . . hustota (nebo pravděpodobnostní funkce) s časem mění svůj tvar

Faktorem mající významný vliv na vnitropodnikové náklady je velikost výrobní dávky. Pro deterministický statický model se používají modely ekonomických velikostí dávek (EOQ). Ty se dodržují během výrobních programů a stanovených plánovacích horizontů (čtvrtletí, pololetí, rok). Pro výpočet optimální výrobní nebo objednávací dávky nejčastěji používá Campův vzorec, který vyvinul v roce 1922 Camp (podle některých názorů vyvinul tento vzorec již o několik let dříve Wilson). Podle Campa je optimální dávkou (EOQ = Economic Order Quantity) takové množství, při kterém jsou minimální

celkové náklady  $C_{tot}$  na zásoby, tvořené náklady na držení zásob  $C_v$  a objednáacími náklady  $C_b$  [12 s. 17].

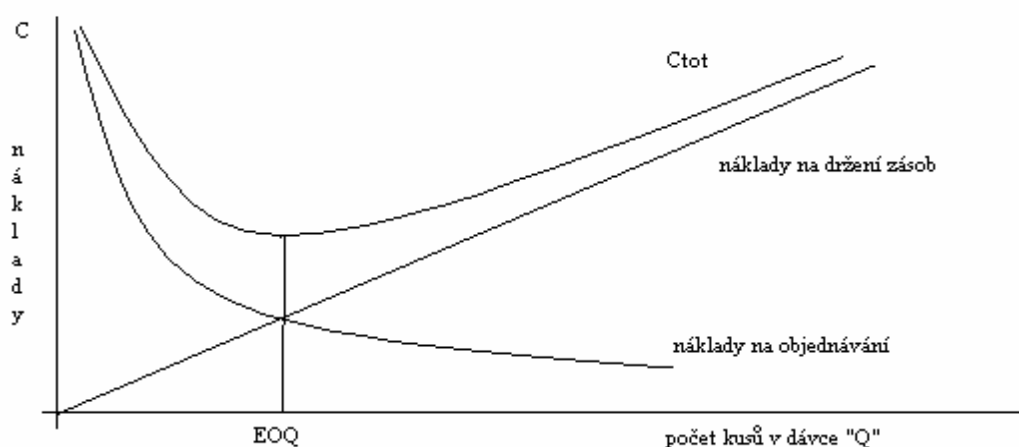
Campův vzorec

$$Q_o = \frac{\sqrt{2 \cdot J \cdot R}}{S} \quad (1)$$

kde:

$Q_o$ .....optimální výrobní dávka  
 $J$ .....jednorázové náklady na doplnění zásoby  
 $R$ .....jednotky množství určitého dílu  
 $S$ .....náklady na skladování

Vztah mezi počtem kusů v dávce a náklady na zásoby je graficky znázorněn na obrázku níže.



Obrázek 3: Grafické znázornění optimální velikosti dávky [7]

**Campův vzorec platí za následujících okrajových podmínek:**

- vyrábí se do zásoby a odtud se dodává,
- zásoba se doplňuje nárazově množstvím rovným velikosti (optimální) dávky,
- odběr ze zásoby má více či méně pravidelný průběh
- v uvažovaných nákladových činitelích nedochází ke skokům, jimiž by byly překročeny některé mezní hodnoty
- určení velikosti dávky pro jednu položku není závislé na velikosti dávek jiných položek.

Tyto podmínky silně omezují použití Campova vzorce v jeho základní podobě. Proto byla v průběhu let vyvinuta řada variant tohoto vzorce.

### Nevýhody Campova vzorce

- optimalizace dávky pouze podle nákladů
- náklady jsou vázány pouze na zboží
- nezohledňuje kapacity:
  - skladového prostoru
  - financí
  - přepravy a manipulace
  - personálu
- odběr zásob nebývá pravidelný
- obtížné zjišťování údajů o nákladech

V posledních letech význam Campova vzorce poněkud klesá. Velké dávky, i když jsou z pohledu nákladů optimální, totiž značně omezují pružnost podniku, tj. jeho schopnost rychle reagovat na potřeby trhu, což je v rozporu velikost dávky rovné jedné, což je i jednou ze základních koncepcí Toyota production systému

U **deterministických modelů s proměnnou poptávkou** platí, že se poptávka v jednotlivých dílčích obdobích (měsících, čtvrtletích) mění předem známým způsobem (podle plánu apod.). Modely vytvořené pro tyto případy se výrazně liší od deterministických modelů se statickou poptávkou. K nalezení optimálního řešení, které je dáno posloupností různých výrobních dávek, se používá postup dynamického programování, vyvinutého R.C. Bellmanem [13]. Touto kategorií modelů jsou zobrazovány situace, se kterými se při plánování výroby můžeme setkat poměrně často.

Dalším příkladem dynamického modelu výrobní nebo objednávací dávky (poptávka se s časem mění) je model Wagner-Whitin [14] vyvinutý v roce 1958. Tento model je však použitelný pouze pro jednoúrovňovou výrobu bez uvažování kapacitních omezení.

Jiným příkladem popisovaným v odborné literatuře je dopředná heuristická metoda Silver-Meal [15], která však pro účely řešené tematiky není vhodná.

Specifickým modelem zásob je **Průběžný model** (The part period) jehož principem je vybalancování správného poměru mezi seřizovacími náklady a náklady držení většího množství položek ve výrobní dávce (pro kterou seřizují výrobní zařízení). Termín *průběžný díl* (Part period) vypovídá o držení výrobních položek během několika plánovacích intervalů (period).

$$\text{Ekonomický průběžný díl} = \frac{\text{náklady seřízení}}{\text{jednotkové náklady držení během periody}} \quad (2)$$

Velikost výrobních dávek vzniká na principu kumulování poptávky v určitém počtu period jejich řízení. Hledáme konzistentní množství vzhledem k EPP.

Tento model zásob nabízí jiný přístup než modely ekonomických výrobních dávek, tím, že se zaměřuje stanovení výrobní dávky optimalizací poměru nákladů seřízení (přestavění) a jednotkových nákladů na držení zásob, ale jedná se pouze o ukazatel, není algoritmem ani účelovou funkcí, ve které lze najít optimum.

### 1.1.7 Produktivita práce

Technická norma ISO TS 16949 definuje produktivitu jako míru použití zdrojů v podobě výsledků, tj. jak bylo realizovaných výsledků dosaženo, kolik Kč bylo vynaloženo na 1 Kč zisku, počet výrobků na zaměstnance apod. Produktivita se zvýší, dosáhne-li se s nižšími vstupy stejných výstupů nebo vyšších výstupů se stejnými vstupy. Za vstupy se považují především lidské zdroje, energie a materiály. Za výstupy se považují produkty, služby, výnosy a přidaná hodnota. Roste-li produktivita, klesají náklady. Produktivitu práce lze výrazně zvýšit za pomoci eliminace 3M (Muda, Mura a Muri). Muda je veškeré plýtvání, za mura se považují všechny nepravidelnosti a muri označuje veškerou namáhavou práci. Taichi Ohno, duchovní otec štíhlé výroby, popisuje sedm základních kategorií muda, na jejichž eliminaci je nutné se zaměřit [16 s. 80-82]:

- Muda nadvýroby
- Muda čekání
- Muda přepravy
- Muda zpracování
- Muda nepotřebných zásob
- Muda nepotřebného nebo nevhodného pohybu
- Muda oprav a zmetků

## 1.2 LOGISTICKÉ UKAZATELE (LKPI)

Pro sledování a vyhodnocování efektivity a kvality logistiky se používají logistické ukazatele (LKPI). Principem LKPI je definice hodnotících kritérií ve standardizované podobě umožňující měření a porovnávání hodnot v čase a jsou tedy prostředkem neustálého zlepšování prostřednictvím benchmarkingu nebo sebereflexe.

Implementace LKPI umožňuje dosažení logistických cílů, kterými jsou zpravidla níže uvedené:

1. Zlepšení dodavatelsko-odběratelských vztahů
2. Zpřesnění dodávek z hlediska včasnosti a identifikace
3. Zefektivnění logistických činností

## 2. CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE A STANOVENÍ HYPOTÉZ

Z analýzy současného stavu studované problematiky vyplývá, že jak v praxi, tak v odborné literatuře není jasně popsán **jednotný systém výrobní logistiky**. Odborná literatura se zabývá řešením dílčích problémů spíše samostatně a například u modelu výrobních dávek nabízí pouze obecná řešení s malým množstvím parametrů a faktorů a bez snadného nástroje k jejich řešení, což modely vzdaluje od praktického užití. Rovněž současné podnikové informační systémy (ERP) neoptimalizují důležitý faktor jako je velikost výrobní dávky.

Cílem disertační práce je předložit ucelený prakticky podložený systém výrobní logistiky podporovaný moderními logistickými technologiemi ve výrobním závodě automobilového průmyslu. Systém vyjde z nevhodnější vzájemné interakce vstupních faktorů a omezujících podmínek. S ohledem na typ poptávky v automotive bude logistický systém vycházet z předpokladu dynamického deterministického modelu zásob.

Systém bude z kapacitního hlediska ověřovat vyrobitelnost požadovaného množství a především prostřednictvím optimalizace výrobních dávek optimalizovat velikost zásob za maximální efektivity používaných zdrojů.

Součástí logistického systému bude na základě vypočtených optimálních výrobních dávek hledat optimální logistické jednotky a manipulační frekvence.

Dále bude logistický systém zaměřen na odstranění všech aktivit, které nepřidávají hodnotu a na vytvoření zštíhleného výrobního systému, dostatečně robustního i flexibilního, který bude rychle reagovat na výkyvy zákaznických požadavků.

Výsledkem disertační práce bude integrovaný systém interní logistiky zaměřený současně na kapacitní ověřování vyrobitelnosti požadovaného množství, na optimalizaci výrobních dávek přes minimalizační nákladovou funkci, na optimalizaci logistických jednotek, manipulačních frekvencí a toků a na minimalizaci potřebných zdrojů (pracovníci, stroje, prostor).

### 2.1 STANOVENÍ HYPOTÉZ

Pro vyhodnocení dosažení cílů jsou navrženy následující hypotézy:

- 1) Aplikací matematického modelu pro stanovení optimální výrobní dávky lze prokazatelně snížit vnitropodnikové náklady
- 2) Existuje závislost mezi velikostí výrobní dávky a potřebným počtem zdrojů logistické manipulace (počet zaměstnanců, manipulační technika...)

### 3. ZVOLENÉ METODY ŘEŠENÍ

Odborná literatura popisuje tři základní přístupy hledání řešení problému:

- Empiricko-intuitivní
- Algoritmický
- Heuristický

#### 3.1 EMPIRICKO-INTUITIVNÍ PŘÍSTUP

- založený na zkušenostech, intuici a logickém úsudku řešitele,
- subjektivní,
- neformalizovaný,
- nekontrolovatelný.

#### 3.2 ALGORITMICKÝ PŘÍSTUP

- založený na exaktních (matematických) metodách,
- formalizovaný postup, modelové řešení problémů,
- algoritmizace vede vždy ke stejnému výsledku,
- některé problémy jsou obtížně matematicky vyjádřitelné, náročné na znalost metod a na čas.

#### 3.3 HEURISTICKÝ PŘÍSTUP

- hledání postupů a metod pro řešení nových a neznámých problémů,
- propojení intuitivních a exaktních metod,
- základem je algoritmický přístup a práce s variantami řešení, návraty zpět k formulaci úlohy, vkládání dalších kroků a operací.

K řešení problémů stanovených v disertační práci bude aplikován heuristický a okrajově empiricko-intuitivní přístup.

Navrhnutý logistický systém vznikne na základě souboru analýz potenciálních rizik v logistických aktivitách a logistickém toku využitím následujících metod v kombinaci s aplikací vlastních zlepšovacích návrhů (kaizen) ve výrobní společnosti automotive.

#### 3.4 ZVOLENÉ METODY

- Paretova analýza
- Ishikawův diagram pro řízení a zlepšování 5M
- Metoda vícekriteriálního rozhodování

- Shewhartův (Demingův cyklus)
- Metody statistické
- Metoda critical chain

### 3.4.1 Paretův diagram (Paretova analýza)

Paretova analýza je diagnostický nástroj, sloužící pro rychle a snadné určení rozhodujících kategorií. Je to nástroj, který využívá absolutní a relativní kumulativní četnost výskytů jevů pro určení těch nejdůležitějších. Vychází z empirického principu, že zpravidla několik málo faktorů představuje většinu četnosti jejich výskytu v celku.

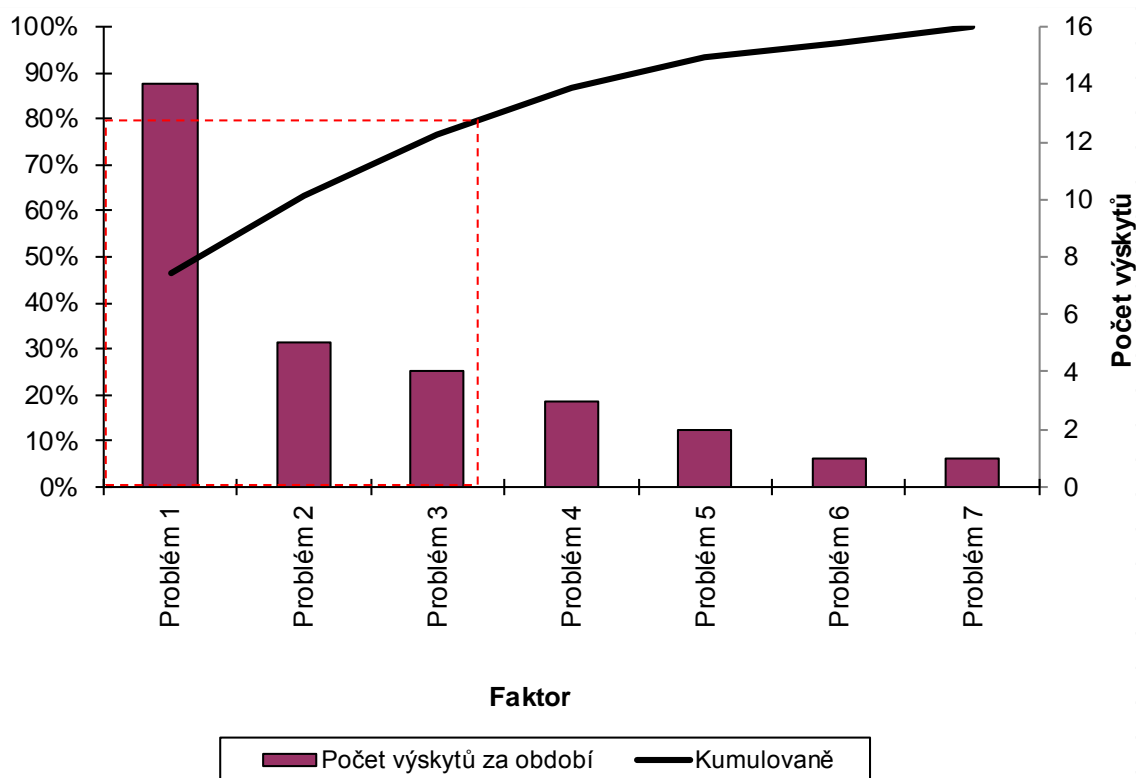
Tato teorie je známa i pod názvem **pravidlo 80 ku 20**, podle kterého poměrně hodně (přibližně 80 %) výskytů z celku je zpravidla způsobených dost malým množstvím (pouze 20 %) faktorů. Pro vizualizaci tohoto principu se používá Paretův diagram, kde jsou jednotlivé kategorie vyjádřeny ve tvaru sloupců v klesajícím pořadí.

Výška sloupců odpovídá výskytu (absolutní četnosti) jednotlivých kategorií. Jejich proporcionalita je vyjádřena tzv. Lorenzovou křivkou, která kumulativně znázorňuje procento zkoumaných problémů.

Je efektivní zabývat se nejzávažnějšími kategoriemi (problémy).

Tyto kategorie se nachází vlevo od průsečíku vertikální čáry a horizontální čáry protínající kritickou hodnotu 80% vedené v průsečíku Lorenzovy křivky.





Obrázek 4: Paretův diagram [upraveno dle 16]

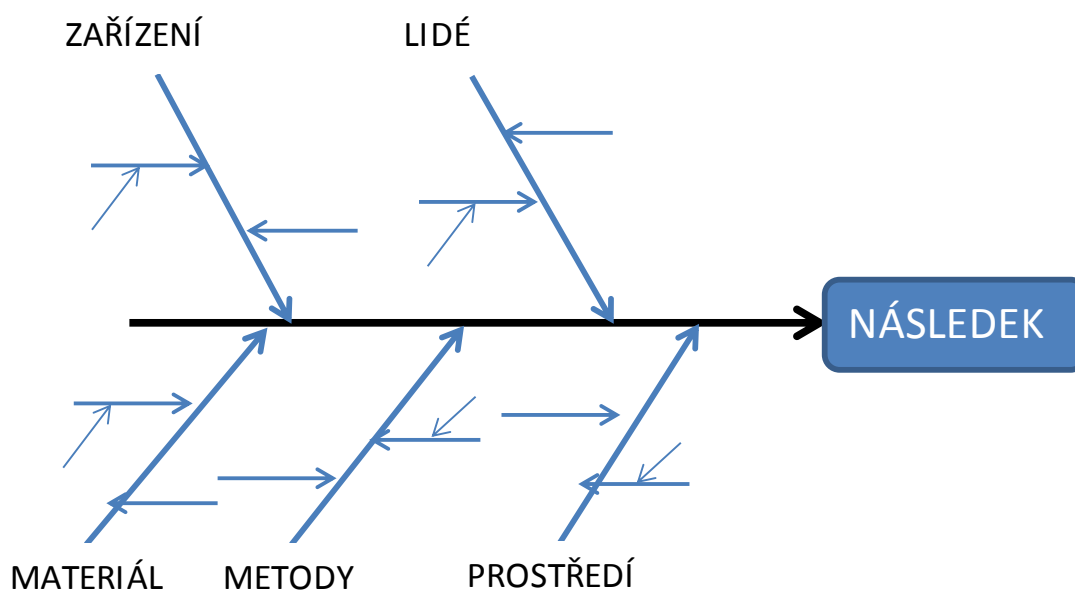
### 3.4.2 Ishikawův diagram

Ishikawův diagram, nebo též diagram příčin a následků, či fishbone diagram, je grafické zobrazení možných příčin (faktorů) a jejich vlivů na následek. Jde o stromovou identifikační strukturu, připomínající svým tvarem rybí kost. Případné ohodnocení hrán určuje prioritu.

Diagramy příčin a následků se nejčastěji konstruují pomocí brainstormingu zaměřeného na sběr a generování možných příčin problému, určení nejpravděpodobnějších možností a ověření možných příčin jejich vzniku.

Konstrukce Ishikawova diagramu zpravidla začíná od hlavy ryby = pojmenováním problému. Faktory, které problém ovlivňují se postupně zobrazují v diagramu. Identifikují se hlavní skupiny příčin, které určují celkovou strukturu diagramu. Postupně a detailně se analyzují hlavní podskupiny s cílem určit všechny příčiny a jejich podpříčiny až do postačující hloubky zkoumání. Zaznamenají se v diagramu pomocí stromové struktury podle následností vlivů.

I když ve skutečnosti možná problém výrazně ovlivňuje jen několik příčin, je žádoucí, aby se jich v diagramu objevilo co nejvíc.



Obrázek 5: Diagram příčin a následků [upraveno dle 16]

Vyznačíme pořadí příčin podle odhadu závažnosti. V takto určeném pořadí potom přistupujeme k jejich ověřování. Správnost určení jednotlivých příčin se provádí pomocí statistického rozboru. V případě, že není znám původ určené rozhodující příčiny, je potřebné vykonat detailnější analýzu příčiny rozpracováním příčin a následků do dalšího diagramu, kde do pozice následku přejde analyzovaná příčina.

### 3.4.3 Metoda vícekriteriálního rozhodování

V úlohách vícekriteriálního hodnocení variant má množina rozhodovacích variant  $A$ , konečný počet prvku  $N$ . Po stanovení hodnoticích kritérií a metody získání kvantitativních údajů o hodnotách těchto kritérií pro jednotlivé rozhodovací varianty, lze úlohu vícekriteriálního rozhodování charakterizovat tzv. **kriteriální maticí**. V této matici sloupce odpovídají kritériím a řádky hodnoceným variantám. Označíme-li prvky kriteriální matice  $y_{ij}$ ,

kde  $i = 1, 2, \dots, p$  a  $j = 1, 2, \dots, k$ , můžeme kriteriální matici zapsat ve tvaru:

$$\begin{array}{c}
 \\
 a_1 \\
 a_2 \\
 \vdots \\
 a_p
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 f_1 & f_2 & \dots & f_k \\
 y_{11}, & y_{12}, & \dots, & y_{1k} \\
 y_{21}, & y_{22}, & \dots, & y_{2k} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 y_{p1}, & y_{p2}, & \dots, & y_{pk}
 \end{bmatrix}$$

Pokud není výslovně uvedeno jinak, tak se předpokládá, že všechna kritéria jsou stanovena jako *maximalizační*. Tím se rozumí, že varianta je tím lepší, čím je hodnota kritéria větší.

#### **Stanovení vah kritérií:**

Pro stanovení vah kritérií existuje celá řada různých metod; nejjednodušší z nich jsou metody přímé, při kterých se zcela subjektivně určují nenormované váhy jednotlivých kritérií v apriorně dohodnuté bodové stupnici. K těmto metodám patří například metoda bodová, Metfesselova alokace, metoda klasifikace kritérií do tříd a další. Do druhé skupiny patří metody nepřímé, z nichž nejčastěji se používá metoda párového srovnání, kam lze zařadit například metodu Fullerova trojúhelníku nebo složitější Saatyho metodu.

Obecný postup vícekritériálního hodnocení variant zahrnuje na zvolené rozlišovací úrovni šest relativně samostatných kroků:

1. vytvoření účelově orientované množiny kritérií hodnocení,
2. stanovení vah kritérií hodnocení,
3. stanovení vzorových hodnot vah kritérií (etalonu),
4. hodnocení dosažených výsledků (důsledků užitku, ale i případných škod nebo ztrát) variant; jde o dílčí hodnocení variant a jejich syntézu v celkové vyhodnocení,
5. posouzení rizika spojeného s případnou realizací variant,
6. určení preferenčního pořadí variant a výběr nejlepší varianty.

#### **3.4.4 Shewhartův (Demingův cyklus)**

Shewhartův nebo též Demingův cyklus je pojmenovaný dle svých autorů. V praxi se jedná o velmi užitečný a používaný nástroj známý jako cyklus PDCA. PDCA je důležitým nástrojem pro zlepšovací a nápravné aktivity ve všech oblastech činností. Jedná se o uzavřený cyklus, kdy prvním krokem je naplánování cílů (Plan) v souladu s očekávaným výstupem. Druhým krokem je provedení, realizace (Do) nezbytných činností pro dosažení plánu (cíle). Následuje třetí krok spočívající ve sběru dat pro verifikaci dosažení plánovaných výsledků (cíle). Pokud je zjištěn výrazný rozdíl mezi plánovanými výsledky (cílem) a skutečnými výsledky je nezbytné realizovat čtvrtý krok spočívající v nápravném opatření (Act) vedoucím ke konečnému dosažení plánovaného cíle. Pokud tyto čtyři kroky nevedou k cíli je nezbytné provést další iteraci (opakování) celého cyklu a takto postupovat až do úplného dosažení plánovaného cíle.

#### **3.4.5 Metody statistické**

Statistické metody jsou nezbytným nástrojem objektivního popsání výchozího i konečného stavu řešené problematiky a jejich vzájemného porovnání.

### Korelační diagram

Párový korelační diagram zobrazuje vzájemnou souvislost dvou proměnných  $X, Y$  (dvou vlastností naměřených současně na všech statistických jednotkách zkoumaného souboru). Pomáhá najít souvislost (korelaci) mezi dvěma znaky stejného souboru. Při analýze je potřebné určit, zda se jedná o lineární (pozitivní, negativní), nelineární nebo o žádnou korelaci.

V případě lineární korelace vytvářejí body v korelačním diagramu seskupení dobře aproximovatelné přímkou). V takovém případě má význam vypočítat tzv. koeficient korelace  $R_{xy}$ , číselně vyjadřující těsnost lineárního vztahu proměnných  $X$  a  $Y$ .

$$R_{XY} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{\sqrt{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2\right] \cdot \left[n \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2\right]}} \quad (3)$$

kde  $R_{XY}$  je koeficient korelace,

$X_i$  a  $Y_i$  jsou jednotlivé  $i$ -té hodnoty parametrů  $X, Y$ ,

$\bar{X}, \bar{Y}$  jsou aritmetické průměry parametrů  $X, Y$ ,

$n$  je rozsah dvojrozměrného souboru (počet párů parametrů  $X, Y$ )

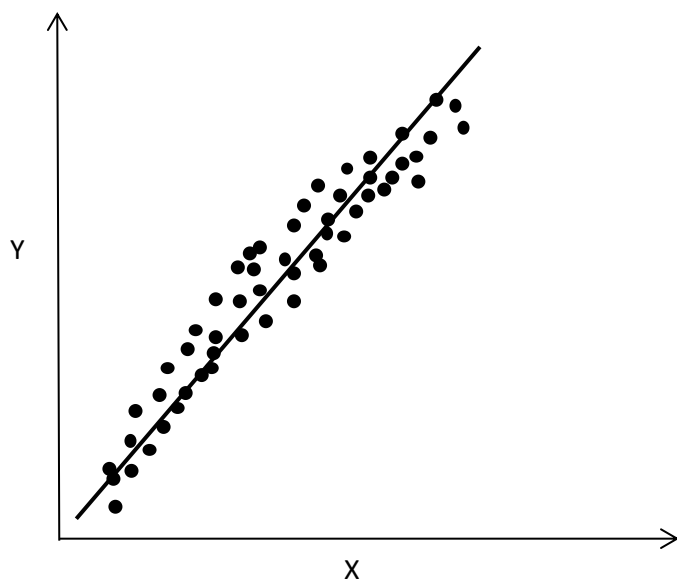
Často se setkáváme s jednodušším vyjádřením Pearsonova korelačního koeficientu:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}, \quad (4)$$

kde  $s_x$  je směrodatná odchylka proměnné  $X$ ,  $s_y$  směrodatná odchylka proměnné  $Y$  a  $s_{xy}$  takzvaná kovariance proměnných  $X$  a  $Y$

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5)$$

Koeficient korelace nabývá hodnoty z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$ . Čím je jeho absolutní hodnota větší, tím je lineární závislost těsnější. Při záporných hodnotách jde o nepřímou a při kladných přímou závislost.



Obrázek 6: Korelační diagram [upraveno dle 16]

U koeficientu korelace je rozhodující takzvaný stupeň vzájemné vazby sledovaných proměnných X, Y.

Stupeň vzájemné vazby je:

- mírný, když  $0,3 \leq |R_{XY}| < 0,5$
- význačný, když  $0,5 \leq |R_{XY}| < 0,7$
- vysoký, když  $0,7 \leq |R_{XY}| < 0,9$
- velmi těsný, když  $0,9 \leq |R_{XY}|$ .

Pokud nás zajímá pouze síla lineární závislosti, používáme místo korelačního koeficientu  $r$  spíše jeho druhou mocninu  $r^2$ , které se říká **koeficient determinace**. (V literatuře a v počítačových výstupech se také často značí  $R^2$ ). Koeficient determinace je i měrou vhodnosti modelu. Udává tu část variability Y, kterou lze pomocí modelu vysvětlit. Jinými slovy, pouze variability Y nelze vysvětlit variabilitou X.

Do korelačního diagramu se obvykle zaznamenává tzv. regresní přímka. Jde o přímku, která optimálně charakterizuje (aproximuje) seskupení bodů korelačního diagramu.

V případě, že máme k dispozici jen výběrový soubor určujeme tzv. výběrovou regresní přímku.

Nejlépeším odhadem skutečné regresní přímky je přímka tvaru:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x \quad (6)$$

kde:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - n \cdot \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}, \quad b_0 = \bar{Y} - b_1 \cdot \bar{X} \quad (7)$$

$b_0, b_1$  jsou výběrové koeficienty regrese

$\bar{X}, \bar{Y}$  jsou aritmetické průměry parametrů  $X, Y$

Tato přímka se nazývá přímkou odhadu resp. empirickou regresní přímkou.

### Metody statistického porovnávání dvou výběrů

Pro odpověď na otázku, zda se dva datové soubory pozorovaných hodnot prokazatelně shodují nebo liší, slouží takzvané dvouvýběrové testy. Existuje celá řada dvouvýběrových testů, lišících se výchozími požadavky na podobu, rozsah, či strukturu porovnávaných dat. Nulovou hypotézou je v případě parametrických testů shoda středních hodnot dvou nezávislých náhodných výběrů, případně shoda rozptylů. Neparametrické testy testují vlastnosti rozdělení, např. typ rozdělení, shodu dvou a více rozdělení nebo symetrii rozdělení.

Mezi základní neparametrické testy shody patří Kolmogorov-Smirnovův test a t - test pro párové porovnávání.

Mezi základní parametrické testy shody patří Chí kvadrát test a T-test, jejich společným předpokladem je, že data mají normální rozdělení pravděpodobnosti.

#### *Chí kvadrát test*

Chí kvadrát test vyžaduje provedení intervalového rozdělení četností, podmínkou je, že žádný interval nesmí být s nulovou četností a maximálně 20% intervalů s četností menší než 5.

Testovací kritérium:

$$\chi = \sum_{i=1}^n \frac{(A_i - E_i)^2}{E_i} \quad (8)$$

kde:  $A_i$  = pozorovaná četnost a  $E_i$  = očekávaná četnost.

Pokud je hodnota testovacího kritéria vyšší, než příslušná kritická hodnota rozdělení chí-kvadrát pro  $v = (r - 1)$  stupňů volnosti (kde  $r =$  počet intervalů), hypotézu o shodě dvou rozdělení zamítáme (na příslušné hladině významnosti).

### *Dvouvýběrový t-test*

Dvouvýběrový t-test je metodou matematické statistiky umožňující ověřit hypotézu, zda dvě normální rozdělení s neznámým rozptylem, z nichž pocházejí dva nezávislé náhodné výběry mají stejné střední hodnoty.

Pro výběry se shodným rozptylem má testovací kritérium tvar:

$$T = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (9)$$

Pro výběry s neshodným rozptylem má testovací kritérium tvar:

$$T = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}} \quad (10)$$

Kde

$\bar{x}_1$  je výběrový průměr prvního náhodného výběru

$\bar{x}_2$  je výběrový průměr druhého náhodného výběru

$s_1$  je výběrový rozptyl náhodného výběru 1

$s_2$  je výběrový rozptyl náhodného výběru 2

$n_1 - 1$  je počet stupňů volnosti náhodného výběru 1

$n_2 - 1$  je počet stupňů volnosti náhodného výběru 2

Potom veličina **T** má za platnosti hypotézy, že se rozdíl středních hodnot rovná  $\delta$ , T rozdělení o  $n_1 + n_2 - 2$  stupních volnosti. Hypotéza se zamítá v případě, že veličina T překročí kritickou hodnotu T rozdělení o uvedeném počtu stupňů volnosti.

**F-test shodnosti rozptylů dvou výběrů**

Pro volbu správného testovacího kritéria t-testu pro shodnost středních hodnot je nutné stanovit, zda mají příslušné výběrové soubory  $n_1$  a  $n_2$  stejný nebo různý rozptyl. F-test je statistický test, kde má náhodná veličina podle nulové hypotézy F-rozdělení (Fisher-Snedecorovo), tedy rozdělení, které má mít podíl dvou náhodných veličin s distribucí chí-kvadrát (takové rozdělení má například výběrový rozptyl).

**Nulová hypotéza:**

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

**Alternativní hypotéza:**

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

**Testovací kritérium:**

$$F = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_2^2} = \frac{n_1 \cdot (n_2 - 1) \cdot S_1^2}{n_2 \cdot (n_1 - 1) \cdot S_2^2} \quad (11)$$

Hypotéza se zamítá v případě, že veličina F překročí kritickou hodnotu F rozdělení o uvedeném počtu stupňů volnosti.

V praxi je výhodné pro výpočet T-testu i F-testu využít statistický software nebo lze použít i dostupný Microsoft Excel. V Excelu se pro výpočet hodnot distribuční funkce používá funkce TDIST. Oproti zvyklostem Excel nepočítá přímo hodnotu distribuční funkce, ale počítá  $P(X > x)$ , tedy výraz  $1 - F(x)$ .

**3.4.6 Metoda Nelineární optimalizace**

Metoda nelineární optimalizace slouží k hledání optimálního řešení složitějších problémů, tj. problémů, která nelze matematicky vyjádřit soustavou lineárních funkcí a je nezbytné je popsat soustavou funkcí nelineárních. Formálně lze nelineární model popsat následovně:

Optimalizuj  $f(x)$

Dle podmínek:

$$g_i(x) \leq 0, \quad (12)$$

$$h_j(x) = 0 \quad (13)$$



Kde  $x$  je optimalizační proměnná,  $f$  je účelová nebo nákladová funkce,  $g_i (i=1, \dots, m)$  jsou omezující funkce nerovností,  $h_j (j=1, \dots, l)$  jsou omezující funkce rovností. Počty omezujících nerovností a rovností jsou indexovány  $m$ , respektive  $l$ .

Aby mohlo být řešení nelineární úlohy považováno za optimální, musí být první řadě splněny takzvané Karush-Kuhn-Tucker (KKT) nezbytné podmínky optimality a zároveň splněny i některé podmínky rovnoměrnosti (regularity).

### Nezbytné podmínky optimality

Předpokládejme, že účelová funkce  $f$ , omezující funkce  $g_i$  a  $h_j$  jsou spojitě diferencovatelné v bodě  $x^*$ . Pokud je  $x^*$  lokálním optimumm splňujícím některá omezení rovnoměrnosti, pak existují konstanty  $\mu_i (i=1, \dots, m)$  a  $\lambda_j (j=1, \dots, l)$ , nazývané KKT multiplikátory takové, že:

Pro maximalizační problém  $f(x)$ :

$$\nabla f(x^*) = \sum_{i=1}^m \mu_i \nabla g_i(x^*) + \sum_{j=1}^l \lambda_j \nabla h_j(x^*) \quad (14)$$

Pro minimalizační problém  $f(x)$ :

$$\nabla f(x^*) + \sum_{i=1}^m \mu_i \nabla g_i(x^*) + \sum_{j=1}^l \lambda_j \nabla h_j(x^*) = 0 \quad (15)$$

Podmínky přípustnosti

$$g_i(x^*) \leq 0, \forall i = 1, \dots, m$$

$$h_j(x^*) = 0, \forall j = 1, \dots, l$$

Duální podmínky přípustnosti

$$\mu_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, m$$

Komplementární stagnace

$$\mu_i \cdot g_i(x^*) = 0, \forall i = 1, \dots, m$$

V partikulárním případě, kdy  $m=0$  a pokud např. nejsou žádná omezení rovností se KKT podmínky mění v Lagrangeovy podmínky, a multiplikátory KKT se nazývají Lagrangeovými multiplikátory.

Pokud jsou některé podmínkové funkce nediferencovatelné, existují subdiferenciální verze KKT podmínek.

### 3.4.7 Metoda Critical Chain

Pro implementaci vlastního logistického systému je vhodné z důvodu zkrácení času implementace a úspory nákladů použít metodu Critical Chain.

Metoda Critical Chain představuje zcela nový přístup k řízení projektů. Tato metoda vznikla v polovině devadesátých let a vychází z metody TOC (Theory Of Constraints – teorie omezení). Omezením se zde rozumí posloupnost závislých činností při limitovaných zdrojích bránící dřívějšímu skončení projektu. Tato posloupnost činností se nazývá Critical Chain (kritický řetězec). Metoda Critical Chain je založena na principech metod CPM (Critical Path Method – metoda kritické cesty) a PERT (Program Evaluation and Review Technique). Praxe ukazuje, že většina omezení v organizacích není hmotného charakteru. To znamená, že problém většinou nespočívá v nedostatku kapacit, ale je spojen s podnikovou kulturou. V systému PERT se předpokládá, že doba trvání jednotlivých činností je spojitá náhodná proměnná s BETA rozdělením pravděpodobností. Praktické odhady délek trvání činností v sobě zahrnují ochranu před náhodnými jevy a v projektech se stanovují obvykle s cca 85 % jistotou, což znamená, že odhad je delší než střední hodnota trvání dané činnosti. S rostoucí důležitostí výsledku činnosti v praxi dochází k dalšímu prodlužování dob trvání jednotlivých činností (vznikají rezervy), což vede k prodlužování celkové doby trvání projektu. V praxi se může doba trvání jednotlivých činností posunout až 50 % za nejčastěji dosahované termíny. Takto vytvořené rezervy jsou často zdrojem tzv. studentského syndromu, který říká, že přes veškeré časové rezervy se stejně začíná až v nejzazším možném termínu. Tento termín je v systému PERT označován jako nejpozději nutný začátek činnosti. Tím je princip časových rezerv zneužit a projekt tak ztrácí ochranu proti náhodným jevům a může docházet k jeho zpožděním. Z těchto důvodů přichází metoda Critical Chain s novým systémem časových rezerv. V metodě Critical Chain se doby trvání činností (jejich odhady) pohybují na úrovni nejčastěji dosahovaných hodnot. Metoda operuje se třemi typy rezerv.

1. project buffer
2. feeding buffer
3. připravenost zdroje

Všechny lokální rezervy projektu jsou soustředěny do jedné společné rezervy pro celý projekt (project buffer). V souladu s teorií TOC je nutné maximální využití omezení a podřízení systému danému omezení. Zároveň je nutné zajistit, aby ostatní činnosti neprodužovaly projekt nevhodným nakládáním se svými časovými rezervami. Z tohoto důvodu je nutné chránit tyto vedlejší větve projektového plánu samostatnou

jednotnou rezervou (feeding buffer). V neposlední řadě je nezbytné zabezpečit tzv. připravenost zdroje, tato rezerva je důležitá pro činnosti v kritickém řetězci. Její úlohou je zaručit jejich maximální využití a zamezit čekáním a prostojům.

## 4. ANALÝZA VÝCHOZÍHO STAVU A DEFINICE PROBLÉMU

### 4.1 VÝCHOZÍ STAV

Kvalita a efektivita jednotlivých procesů vnitropodnikové logistiky je dlouhodobě sledována prostřednictvím klíčových ukazatelů, takzvaných LKPI. Sledovaným obdobím byl leden 2008 až prosinec 2010. V praxi zaznamenané hodnoty za toto období jsou považovány za tzv. výchozí stav.

### 4.2 LOGISTICKÉ UKAZATELE (LKPI)

Následující základní LKPI byly stanoveny jako klíčové a budou sloužit jako hodnotící báze pro porovnání výchozího a konečného stavu.

Tabulka 2: LKPI pro logistický systém<sup>1</sup>

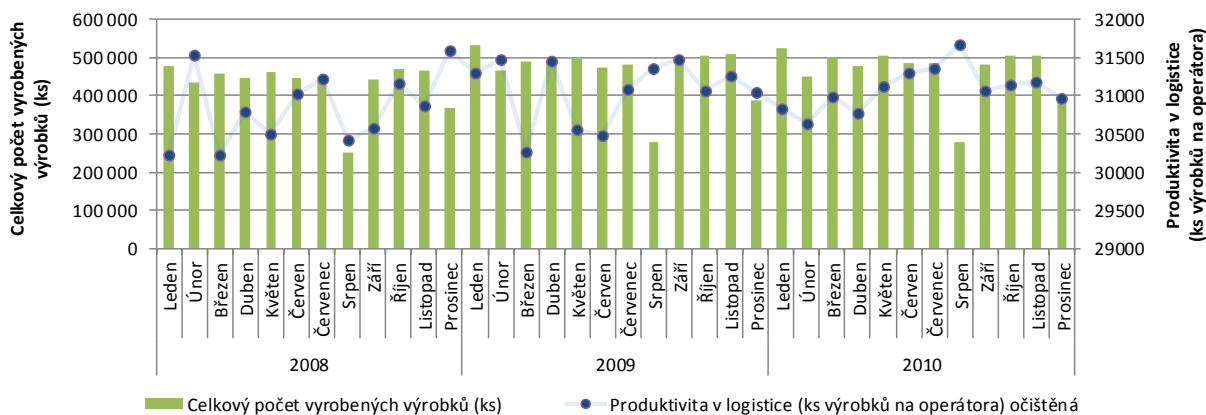
|        |  |
|--------|--|
| LKPI 1 | Produktivita práce vnitropodnikové logistiky |
| LKPI 2 | Výrobky v požadovaném množství a čase        |

#### Produktivita práce vnitropodnikové logistiky (LKPI 1)

Produktivita práce vnitropodnikové logistiky je měřena poměrem množství vyrobených výrobků za sledované období a počtu přímých zaměstnanců v logistice ve sledovaném období, normováno počtem pracovních dní. Výchozí stav ukazatel LKPI 1 ukazoval stagnující stav, což je neuspokojivé v prostředí neustálého zlepšování potřebného k absorbování propadů trhu.

---

<sup>1</sup> Autor

Obrázek 7: Produktivita v logistice<sup>2</sup>

Vzhledem k tomu, že řada prvních diferencí (absolutních přírůstků) kolísá okolo nuly, lze považovat i trend produktivity práce za sledované období za konstantní.

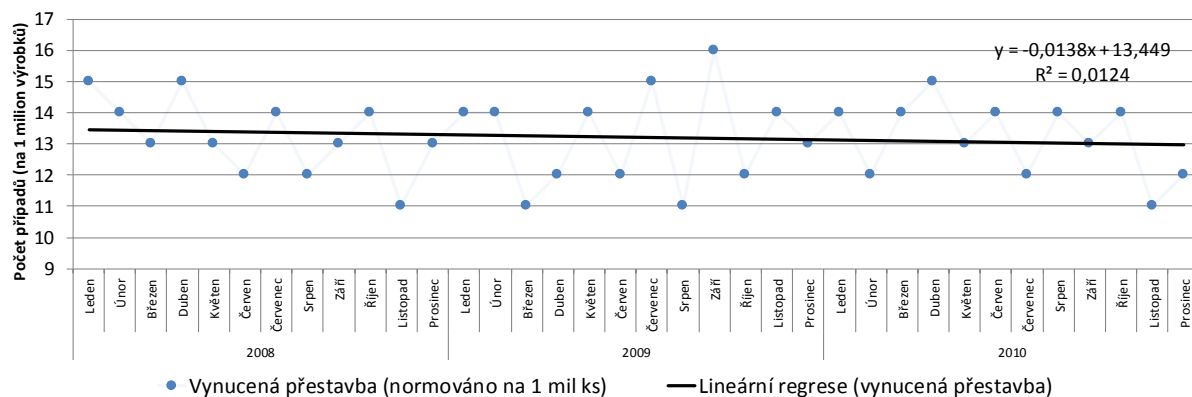
### Výrobky v požadovaném množství a čase (LKPI 2)

Přesnost dodávek na výrobní linky prostřednictvím interní (vnitropodnikové) logistiky je ovlivněna dvěma faktory. Prvním faktorem je existence těchto výrobků v požadovaném množství a čase a druhým faktorem je včasné dodání požadovaných produktů (polotovary) na výrobní linky nebo hotových výrobků na sklad hotových výrobků. Kritériem je navedení správného (požadovaného) výrobku na výrobní linku v požadovaném (potřebném) množství a čase.

Nedostatek výrobků v požadovaném čase může dle svého charakteru způsobit problémy od nutnosti náhlé vynucené přestavby výrobní linky přes zastavení výrobní linky až v krajním případě po nedodání hotových výrobků v požadovaném množství a čase zákazníkovi.

Prvním nejméně závažným možným stavem systému je vynucení přestavby z důvodu absence požadovaného výrobku (ve fázi rozpracovanosti) v požadovaném čase, ale současně existuje jiný výrobek (rozpracovaný) kterým lze vytižit postihnutou výrobní linku a linka se tudíž zcela nezastaví.

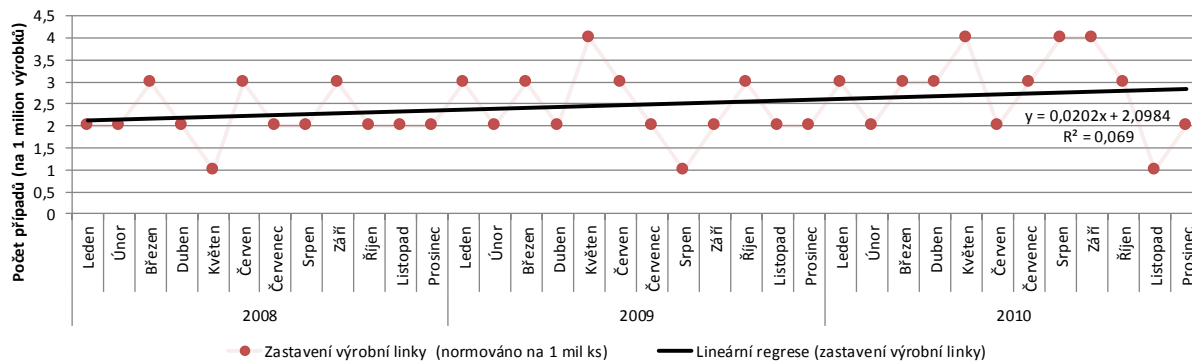
<sup>2</sup> Autor



Obrázek 8: Vynucené přestavby výrobních linek (normováno na milion ks)<sup>3</sup>

Dle směrnice regresní přímky lze trend vynucených přestaveb výrobních linek ve výchozím stavu považovat za konstantní či mírně klesající, tj. zlepšování není statisticky průkazné.

Druhým, závažnějším možným stavem systému je zastavení výrobní linky z důvodu absence požadovaného výrobku (ve fázi rozpracovanosti) v požadovaném čase, kdy současně neexistuje jiný výrobek (rozpracovaný) kterým lze vytížit postihnutou výrobní linku a linka se tudíž zcela zastaví.



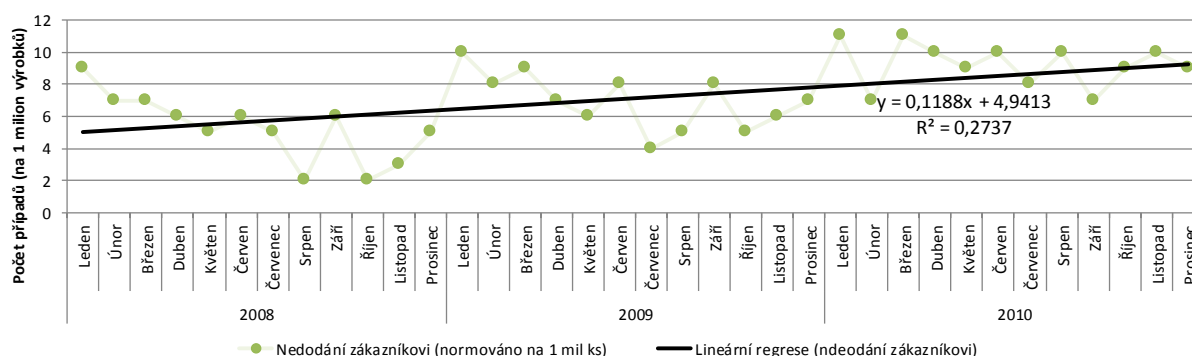
Obrázek 1: Zastavení výrobních linek (normováno na milion ks)<sup>4</sup>

Dle směrnice regresní přímky lze trend zastavení výrobních linek ve výchozím stavu považovat za konstantní či mírně rostoucí, zhoršování není statisticky průkazné.

<sup>3</sup> Autor

<sup>4</sup> Autor

Třetím, nejzávažnějším možným stavem systému je nedodávání finálního výrobku v požadovaném množství a čase zákazníkovi. Předpokládá se, že absence požadovaného finálního výrobku nelze substituovat jiným finálním výrobkem.



Obrázek 9: Nedodání zákazníkovi (normováno na milion ks)<sup>5</sup>

Dle směrnice regresních přímek lze trend zastavení výrobních linek a trend nedodání zákazníkovi považovat za konstantní či mírně rostoucí, tj. zhoršující se.

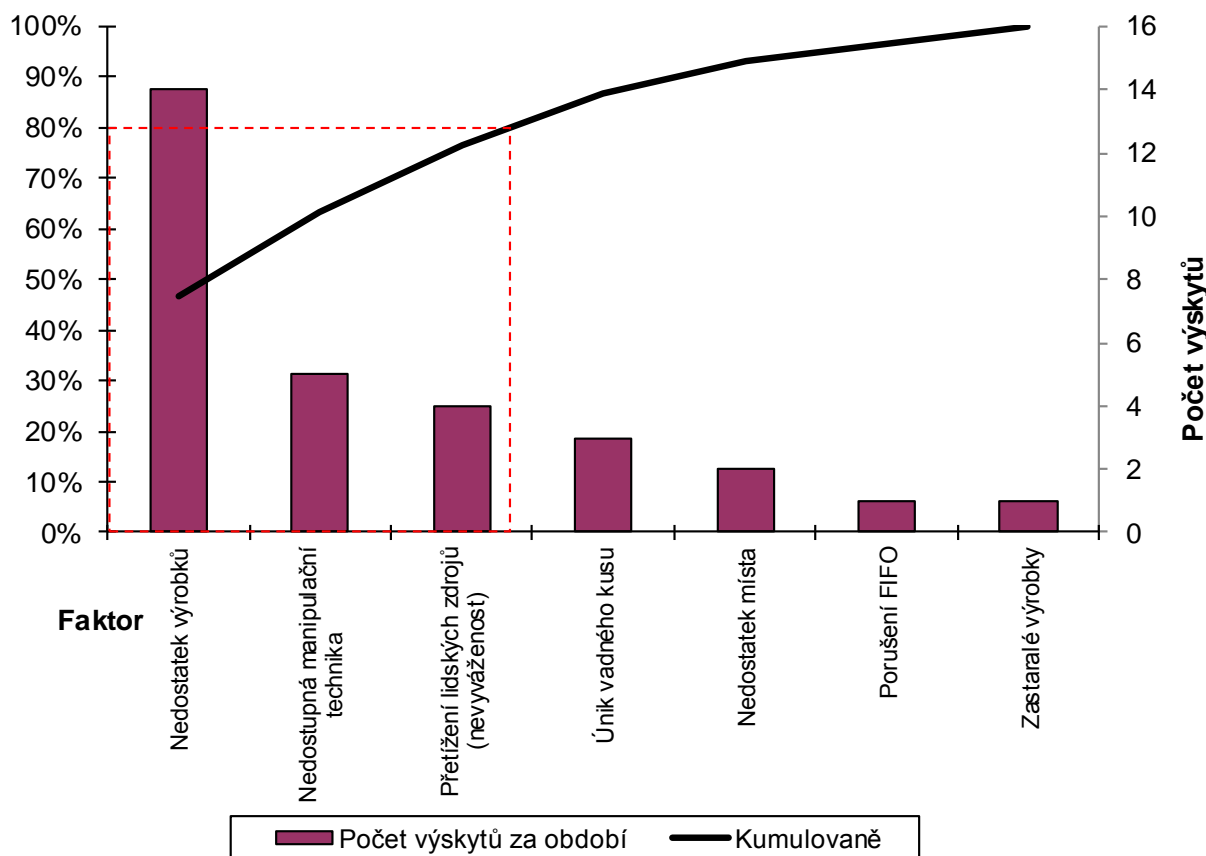
Pro vyřešení problémů LKPI bylo nezbytné identifikovat faktory ovlivňující klíčové ukazatele v logistice. První metodou jejich identifikace byla Paretova analýza

### 4.3 PARETOVA ANALÝZA

K určení rozhodujících kategorií logistických problémů byla aplikována Paretova analýza. Paretovou analýzou bylo zjištěno, že 80% příčin vnitropodnikových logistických problémů reprezentují 3 klíčové faktory:

1. Nedostatek výrobků
2. Nedostupná manipulační technika
3. Přetížení lidských zdrojů

<sup>5</sup> Autor

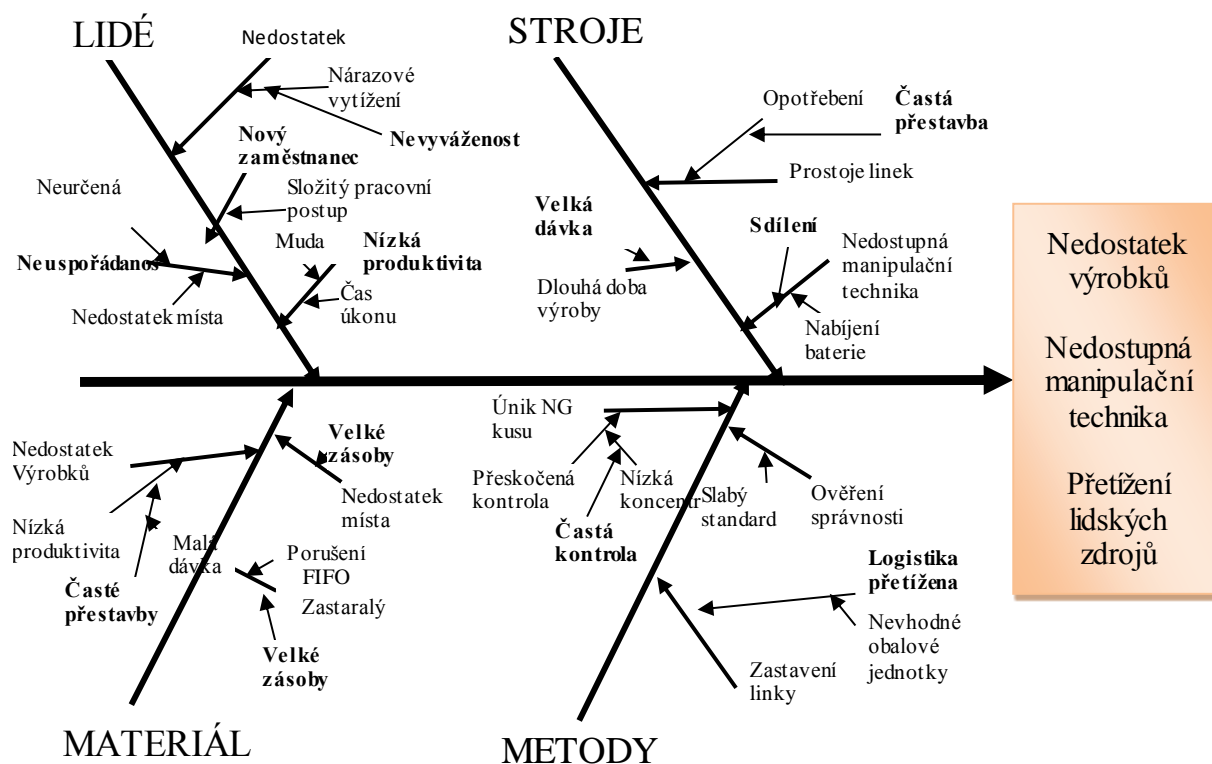
Obrázek 10: Paretova analýza logistických problémů<sup>6</sup>

#### 4.4 ISHIKAWŮV DIAGRAM

Pro nalezení prvotních příčin (prapříčin) 3 hlavních problémů (klíčových faktorů) obsažených v Paretově diagramu je použit Ishikawův diagram (viz obrázek Analýza problémů výrobních faktorů). Jednotlivé větve (problémy a rizika) jsou v práci detailně analyzovány a napomáhají nalezení a popsání vhodného logistického systému ve výrobní společnosti automotive. Ve svém Průvodci řízení kvality pan Kaoru Ishikawa vybízí rovněž k vypracování řídicího diagramu, ve kterém jsou vynášeny sledované hodnoty, stanovena mezní kritéria a vizualizovaný abnormality (hodnoty za hranicemi kritérii), na které je nutné reagovat.

<sup>6</sup> Autor





Obrázek 11: Ishikawův diagram - Analýza problémů výrobních faktorů <sup>7</sup>

Jakýkoli potenciální nebo vznikuvší problém byl vyšetřován z hlediska původní příčiny metodou 5 krát proč, aby bylo zajištěno vyhledání kořenových příčin problémů.

Použitím Ishikawova diagramu byla provedena dekompozice faktorů ovlivňujících efektivitu/nákladovost vnitropodnikové logistiky.

Za hlavní faktory lze považovat:

1. Nedostatek výrobků – důvod nízká produktivita – důvod **časté přestavby** – **důvod krátká výrobní dávka**
2. Zastaralý materiál – důvod velké zásoby – důvod **douhá výrobní dávka**
3. Únik vadného kusu (dávky) – důvod přeskočená kontrola – důvod nízká koncentrace – důvod častá kontrola – **důvod častá přestavba**
4. **Nedostupná manipulační technika** – **důvod častá přestavba, přestavby ve stejném čase**
5. **Zastavení výrobní linky** – přetížení logistiky - nadbytečné/neefektivní úkony, nevhodné balení

<sup>7</sup> Autor

## 4.5 DEFINICE PROBLÉMU A JEHO PŘÍČIN

### 4.5.1 Nedostatek výrobků

Nedostatek výrobků ve správném čase a požadovaném množství pro zákazníka nebo následující proces byl primárně způsoben nevhodnou výrobní šablonou, která byla zaměřena pouze na minimalizaci celkových zásob a neuvažovala dopad na efektivitu/kvalitu/spolehlivost výroby. Výrobní dávka tudíž byla nevhodná s ohledem na efektivitu, kvalitu a spolehlivost výroby.

Tato výrobní šablona rovněž postrádala detailní vazby na plánování výrobních i nevýrobních zdrojů. V případě výrobních zdrojů docházelo z důvodu častých přestaveb k přetěžování seřizovačů a pracovníků kontroly kvality, což vedlo k problémům s kvalitou vlastních výrobků. Zároveň docházelo k nadměrnému opotřebování přípravků a výrobních nástrojů z důvodu jejich časté výměny, změny teplot a dalších objektivních příčin. Řešením problému s nedostatkem výrobků a aspektů popsaných výše spočívalo v nalezení optimální výrobní dávky zohledňující faktor kvality, efektivity i spolehlivosti. Optimální výrobní dávkou se rozumí takové množství jednoho druhu výrobku na jedné výrobní lince v jedné výrobní sérii, které je ekonomicky (nákladově) nejvýhodnější.

### 4.5.2 Přetížení lidských zdrojů

Další hlavní logistický problém byl spojen s nedostatkem času v rámci pravidelných logistických interních závodových tras způsobující opakované prostoje výrobních linek. Jedná se o přetížení lidských zdrojů v logistice. Při zkoumání tohoto dílčího problému jsem došel k závěru, že je nutné optimalizovat stávající obalové jednotky a eliminovat nadbytečné a neefektivní úkony.

### 4.5.3 Nedostupná manipulační technika

Nedostupnost manipulační techniky byla jevem s častým výskytem. Hlavní příčinou tohoto nežádoucího stavu bylo velké množství logistických manipulací v souvislosti s častými přestavbami a současný výskyt více přestaveb ve stejném čase. Řešení tohoto problému spočívalo v rovnoměrném rozdělení přestaveb více linek v čase, aby byla minimalizována přestavba dvou nebo více linek ve stejném čase.

## 5. NÁVRH LOGISTICKÉHO SYSTÉMU

### 5.1 OPTIMÁLNÍ VÝROBNÍ DÁVKA

Z popisu problému a jeho příčin jednoznačně vyplývá potřeba komplexního systému pro plánování výrobní šablony. Systému, který bude zohledňovat nejen velikost zásob, ale i faktory kvality, spolehlivosti a efektivity a zajistil tak vyrobení požadovaných výrobků ve stanoveném čase a optimálním množství.

Pro optimalizaci výrobních dávek byla navržena a verifikována vlastní nákladová funkce  $Z$ , jejíž proměnnou je velikost výrobní dávky. Hledáme takovou velikost výrobní dávky, kdy nákladová funkce je minimální.

Složky nákladové funkce byly voleny následovně:

- náklady na přestavbu linky,
- náklady obětované produkce při přestavbě,
- náklady na skladování,
- náklady ze zamítnutí skladových dílů
- a oportunitních náklady skladových zásob.

Hledáme minimum nákladové funkce  $Z$  za omezujících podmínek

- Výrobní dávka  $\geq 1$
- Celkový normovaný čas přestaveb na den  $<$  (Celkový čistý výrobní čas na den minus Potřebný čas na vyrobení požadovaného množství na den)

Náklady na přestavbu linky reprezentují všechny náklady spojené se seřízením (přestavbou) linky na výrobu daného výrobku. Obvyklou složkou těchto nákladů jsou náklady na opotřebených nástrojů a přípravků a jejich reprodukci a mzdová sazba zaměstnanců specializovaných na tuto činnost a náklady na ověření kvality prvního kusu po přestavbě (doba měření kusu a režijní náklady na měření).

Náklady obětované produkce při přestavbě linky se rozumí náklady z prostoje linky po dobu její nečinnosti dané dobou přestavby linky. V praxi se obvykle jedná o významnou nákladovou složku, neboť zahrnuje komplexní fixní i variabilní náklady linky po dobu její nečinnosti (= po dobu přestavby).

Náklady na skladování zahrnují všechny náklady spojené s provozováním skladu a s evidencí zásob (budovy, skladovací a manipulační zařízení, výpočetní technika, mzdy, energie, údržba a opravy, pojištění budov a zásob).

Náklady ze zamítnutí skladových dílů jsou určeny finanční ztrátou případu, kdy se až na následujícím procesu zjistí, že celá skladová zásoba nebo její část (obvykle celá

výrobní dávka) je kvalitativně mimo specifikaci a musí být přepracována nebo zlikvidována. Jedná se o případy, kdy selžou standardní mechanismy zabudované kvality či mechanismy periodické kontroly kvalitativních aspektů výrobku.

U oportunitních nákladů (náklady obětované příležitosti) lze při rozhodování s krátkodobým dosahem použít úrokovou míru pro bankovní úvěr. V dlouhodobějším pohledu je však správné vycházet z rentability kapitálu a místo úrokové míry používat normu vnitropodnikového výnosového procenta, stanovenou vedením podniku (kolik by prostředky mohly vynést, kdyby byly podnikem investovány jinak než do zásob).

Matematické vyjádření nákladové funkce Z:

$$Z = \sum_{j=1}^n \left( \left( g_j + h_j \cdot \frac{a_j}{60} \right) \cdot \frac{c_j}{x_j} + \frac{a_j}{60} \cdot \frac{c_j}{x_j} \cdot k_j + \left( e_j + \frac{x_j}{2} \right) \cdot \frac{p_j}{n_j \cdot o_j} \cdot q_j + t_j \right. \\ \left. \cdot \left( \left( e_j + \frac{x_j}{2} \right) \cdot \frac{u_j}{3600} \cdot v_j + \left( e_j + \frac{x_j}{2} \right) \cdot f_j \right) + f_j \cdot w_{2j} \cdot \left( e_j + \frac{x_j}{2} \right) \right)$$

(16)

→ min

Odsouhlasení jednotek:

$$Z = \sum_{j=1}^n \left( \left( K\check{c} + \frac{K\check{c}}{hod} \cdot hod \right) \cdot \frac{ks}{ks} + \frac{hod}{60} \cdot \frac{ks}{ks} \cdot \frac{K\check{c}}{hod} + \left( ks + \frac{ks}{2} \right) \cdot \frac{m^2}{ks \cdot konst} \cdot \frac{K\check{c}}{m^2} \right. \\ \left. + konst \cdot \left( \left( ks + \frac{ks}{2} \right) \cdot \frac{hod}{3600 \cdot ks} \cdot \frac{K\check{c}}{hod} + \left( ks + \frac{ks}{2} \right) \cdot \frac{K\check{c}}{ks} \right) + \frac{K\check{c}}{ks} \right. \\ \left. \cdot konst \cdot \left( ks + \frac{ks}{2} \right) \right) = K\check{c}$$

(17)

Omezující podmínky:

$$x_j \geq 1$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{c_j}{x_j} \leq (1) - \sum_{j=1}^n d_j \quad , \text{ kde } (1) \text{ je celkový čistý výrobní čas na den}$$

Kde:

| <b>Z</b> | <b>CELKOVÉ NÁKLADY [CZK]</b>                  | <b>NÁKLADOVÁ FUNKCE</b>  |
|----------|---|--------------------------|
| <b>X</b> | <b>VÝROBNÍ DÁVKA [KS]</b>                     | <b>PROMĚNNÁ</b>          |
| b        | Čas úzkého hrdla [s] = nejpomalejší operace   | HLAVNÍ PARAMETRY         |
| c        | poptávka denně [kusy]                         |                          |
| d        | potřebný čas na vyrobení [min]                |                          |
| e        | min zásoba [kusy]                             |                          |
| f        | cena výrobku [CZK]                            |                          |
| g        | opotřebení nástrojů [CZK]                     |                          |
| h        | Cena práce za hodinu [CZK]                    |                          |
| i        | <b>Celkové normované náklady na den [CZK]</b> |                          |
| j        | celkový nevýrobní čas [hod]                   | NÁKLADY OBĚTOVANÉ VÝROBY |
| k        | cena nevýrobního času [CZK/hodina]            |                          |
| l        | <b>Celkem [CZK]</b>                           |                          |
| m        | průměrná zásoba v kusech [opt lot/2]          | NÁKLADY NA SKLADOVÁNÍ    |
| n        | kusy /box                                     |                          |
| o        | Stohování [počet vrstev]                      |                          |
| p        | rozměr boxu [m <sup>2</sup> ]                 |                          |
| q        | m <sup>2</sup> cena na den [CZK]              |                          |
| r        | celkem m <sup>2</sup>                         |                          |
| s        | <b>Celkem na den [CZK]</b>                    |                          |
| t        | procento zamítnutí (NG ratio) [%]             |                          |
| u        | čas na třídění 1 výrobku [s]                  |                          |
| v        | Cena za třídění [CZK/hod]                     |                          |
| w        | <b>Celkem [CZK]</b>                           |                          |
| w2       | % oportunitních nákladů                       | OPORTUNITNÍ NÁKLADY      |
| y        | <b>Celkem [CZK]</b>                           |                          |

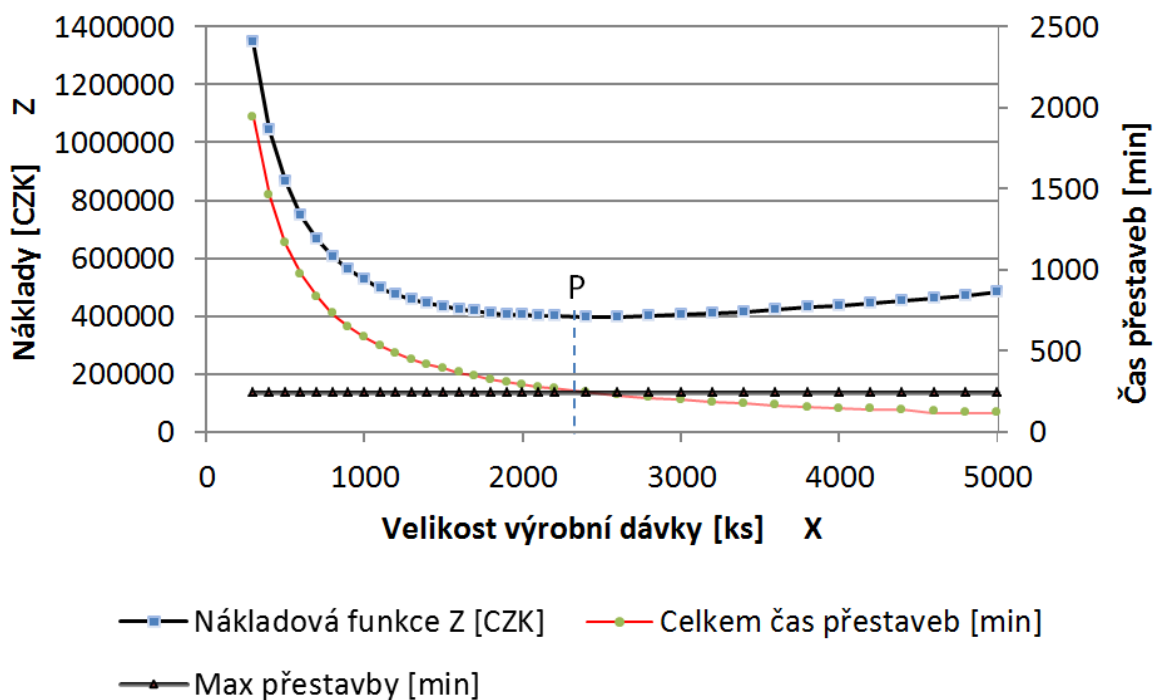
Z výše uvedeného matematického vyjádření funkce je patrné, že se jedná o sestavu nelineárních funkcí. K nalezení optima funkce je nejvhodnější použít metodu nelineárního programování.

### 5.1.1 Grafické znázornění Nákladové funkce a hledání optimální výrobní dávky

Grafické znázornění nákladové funkce  $Z$  je uvedeno na obrázku níže. Nákladová funkce  $Z$  je konvexního tvaru. V grafu je rovněž vynesena omezující funkce (konstanta) maximální celkového možného času na přestavby. Tato hodnota je dána rozdílem mezi dostupnými kapacitami linek a potřebným časem na výrobu požadovaného počtu výrobků. Simulačním modelem byla sestrojena funkce celkového skutečného času přestaveb (rovněž konvexní) na základě několika skutečných hodnot nákladové funkce. Vznikl tak průsečík  $P$ , který zobrazuje nákladové optimum. Průmětem průsečíku  $P$  do osy  $X$  je zobrazena průměrná velikost výrobní dávky.

Toto je pouze zjednodušená interpretace výše uvedené nákladové funkce, neboť ukazuje pouze průměrný výsledek = průměrná velikost výrobní dávky. Zde by se nabízelo hledání jedné společné optimální výrobní dávky derivací funkce  $Z$  a nalezením bodu (velikost výrobní dávky), ve kterém je rovna nule. V případě kladnosti druhé derivace bude jisté, že se jedná o lokální minimum. Toto je ale užitečná hodnota pouze pro případ, kdy parametry výroby (čas úzkého hrdla, denní poptávka,...) každého produktu z produktového mixu jsou shodné.

V praxi však nastává situace, kdy parametry pro výrobu jednotlivých výrobků produktového mixu shodné nejsou a hledá se tedy matice velikostí výrobních dávek pro jednotlivé produkty.



Obrázek 12: Grafické znázornění nákladové funkce Z <sup>8</sup>

## 5.2 VÝPOČET VELIKOSTI VÝROBNÍ DÁVKY

Pro výpočet velikosti výrobní dávky dle matematického modelu byl s ohledem na rozdílnost parametrů výroby jednotlivých produktů vytvořen počítačový model v aplikaci Microsoft Excel. Výpočet této úlohy dynamického programování (hledání optima nelineární úlohy) zde probíhá metodou GRG Nolinear, která je vhodná pro hladké nelineární úlohy.

Metoda na bázi iterací hledá lokální optimum účelové funkce. Vhodnou volbou výchozích parametrů lze vhodně usměrnit (na základě expertních zkušeností) optimalizační proces „nasměrováním“ iteračního cyklu do oblasti účelové funkce s nejlepším očekávaným výsledkem. Expertní usměrnění lze provést vícekrát a získat tak několik lokálních optim, z nichž lze vybrat to nejlepší. V praxi to znamená, že GRG řešitel je spuštěn víckrát a to pokaždé se zcela odlišnou výchozí sadou rozhodujících proměnných

Řešitel může dle charakteru a kvality zpracování modelu dospět ke třem možným závěrům iteračního cyklu.

<sup>8</sup> Zdroj: Autor

1. Řešitel našel řešení
2. Řešitel konverguje ke stávajícímu řešení
3. Řešitel nemůže zlepšit stávající řešení

### 5.2.1 Řešitel našel řešení

Pokud je optimalizace ukončena závěrem „Řešitel našel řešení“, znamená to, že CRG řešitel našel lokální optimum, tj. neexistuje žádná jiná sada hodnot rozhodujících parametrů blízká stávajícím (nalezeným iteračním cyklem), vytvářející lepší hodnotu účelové funkce). Znamená to, že řešitel našel špičku (v případě maximalizačního problému) nebo sedlo (v případě problému minimalizačního), ale zároveň připouští možnost existence vyšších špiček nebo nižších sedel vzdálených daleko od aktuálního řešení. Matematicky tento závěr znamená, že jsou splněny podmínky Karush-Kuhn-Tucker (KKT) lokální optimality nelineární úlohy

### 5.2.2 Řešitel konverguje ke stávajícímu řešení

Pokud řešitel ukončí iterační cyklus před splněním podmínek KKT, dojde k zobrazení zprávy „Řešitel konverguje ke stávajícímu řešení“. Znamená to, že se hodnota účelové funkce během posledních několika iterací mění velmi pomalu. Řešitel GRG se zastaví, pokud absolutní hodnota relativní změny je menší než hodnota konvergence pro několik posledních iterací nastavená v řešiteli. Tento problém může nastat pokud není dobře navržen rozsah modelu.

### 5.2.3 Řešitel nemůže zlepšit stávající řešení

V případě degenerujícího modelu je řešitel ukončen zprávou „Řešitel nemůže zlepšit stávající řešení“, což obvykle znamená zacyklení řešitele. Jednou z možných příčin je opět nevhodný rozsah modelu, další příčinou může být zdvojení některých omezujících podmínek.



| Parametr | OPTIMALIZUJ                |                            |                               |                   |   |                               |                             |   |                    |  |                        | minimální               |        |
|----------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|--|------------------------|-------------------------|--------|
|          | a                          | b                          | c                             | d                 | X                                       |                               |                             |   |                    |  | e                      | Z                       |        |
| Výrobek  | doba<br>přestavby<br>[min] | Čas<br>úzkého<br>hrdla [s] | efektivita<br>výroby<br>(OEE) | poptávka<br>denně | potřebný<br>čas na<br>výrobení<br>(min) | optimální<br>dávk<br>(hodiny) | optimální<br>dávk<br>(kusy) | Výrobní dávk<br>přepočtená na<br>zásoby (dny) | přestavby<br>denně | ztracený čas<br>při přestavbě<br>[min] | min<br>zásoba<br>(dny) | min<br>zásoba<br>(kusy) | CELKEM |
| A        | 60                         | 48                         | 85%                           | 111               | 104,7                                   | 6                             | 1118                        | 10,0  | 0,10               | 6,0                                    | 2,0                    | 222                     | 8993   |
| B        | 60                         | 48                         | 80%                           | 490               | 489,7                                   | 14                            | 2469                        | 5,0   | 0,20               | 11,9                                   | 2,0                    | 979                     | 22730  |
| C        | 60                         | 48                         | 85%                           | 44                | 41,4                                    | 4                             | 796                         | 18,1  | 0,06               | 3,3                                    | 2,0                    | 88                      | 4763   |
| D        | 60                         | 48                         | 85%                           | 71                | 67,2                                    | 5                             | 964                         | 13,5  | 0,07               | 4,4                                    | 2,0                    | 143                     | 5605   |
| E        | 60                         | 48                         | 85%                           | 230               | 216,0                                   | 9                             | 1756                        | 7,7   | 0,13               | 7,8                                    | 2,0                    | 459                     | 12900  |
| F        | 60                         | 48                         | 85%                           | 240               | 225,9                                   | 10                            | 1853                        | 7,7   | 0,13               | 7,8                                    | 2,0                    | 480                     | 12728  |
| G        | 60                         | 53                         | 85%                           | 500               | 519,6                                   | 17                            | 2837                        | 5,7   | 0,18               | 10,6                                   | 2,0                    | 1000                    | 20309  |
| H        | 60                         | 48                         | 77%                           | 650               | 675,3                                   | 23                            | 3173                        | 4,9   | 0,20               | 12,3                                   | 2,0                    | 1300                    | 23794  |
| I        | 60                         | 58                         | 85%                           | 310               | 352,5                                   | 14                            | 2159                        | 7,0   | 0,14               | 8,6                                    | 2,0                    | 620                     | 14663  |
| J        | 60                         | 53                         | 85%                           | 700               | 727,5                                   | 20                            | 3188                        | 4,6   | 0,22               | 13,2                                   | 2,0                    | 1400                    | 24286  |
| K        | 60                         | 55,9                       | 85%                           | 154               | 168,7                                   | 8                             | 1429                        | 9,3   | 0,11               | 6,5                                    | 2,0                    | 308                     | 10671  |
| L        | 60                         | 55,9                       | 85%                           | 677               | 742,1                                   | 19                            | 2938                        | 4,3   | 0,23               | 13,8                                   | 2,0                    | 1354                    | 29894  |
| M        | 60                         | 55,9                       | 85%                           | 24                | 26,7                                    | 3                             | 520                         | 21,3  | 0,05               | 2,8                                    | 2,0                    | 49                      | 3866   |
| N        | 60                         | 55,9                       | 85%                           | 165               | 180,9                                   | 9                             | 1480                        | 9,0   | 0,11               | 6,7                                    | 2,0                    | 330                     | 10515  |
| O        | 60                         | 55,9                       | 84%                           | 760               | 842,9                                   | 22                            | 3174                        | 4,2   | 0,24               | 14,4                                   | 2,0                    | 1520                    | 27396  |
| P        | 60                         | 54                         | 85%                           | 120               | 127,1                                   | 7                             | 1308                        | 10,9  | 0,09               | 5,5                                    | 2,0                    | 240                     | 8331   |
| Q        | 60                         | 11,5                       | 85%                           | 300               | 67,6                                    | 4                             | 2802                        | 9,3   | 0,11               | 6,4                                    | 2,0                    | 600                     | 8520   |
| E        | 60                         | 25                         | 85%                           | 40                | 19,6                                    | 2                             | 926                         | 23,1  | 0,04               | 2,6                                    | 2,0                    | 80                      | 3564   |
| R        | 60                         | 25                         | 85%                           | 260               | 127,5                                   | 6                             | 2306                        | 8,9   | 0,11               | 6,8                                    | 2,0                    | 520                     | 10847  |
| S        | 60                         | 11,5                       | 91%                           | 81                | 17,1                                    | 2                             | 1616                        | 19,9  | 0,05               | 3,0                                    | 2,0                    | 162                     | 3756   |
| T        | 60                         | 25                         | 85%                           | 81                | 39,7                                    | 4                             | 1377                        | 17,0  | 0,06               | 3,5                                    | 2,0                    | 162                     | 4957   |
| U        | 60                         | 11,5                       | 85%                           | 600               | 135,3                                   | 5                             | 4075                        | 6,8   | 0,15               | 8,8                                    | 2,0                    | 1200                    | 14303  |
| V        | 60                         | 25                         | 85%                           | 80                | 39,2                                    | 3                             | 1277                        | 16,0  | 0,06               | 3,8                                    | 2,0                    | 160                     | 5375   |
| W        | 60                         | 25                         | 85%                           | 520               | 254,9                                   | 9                             | 3281                        | 6,3   | 0,16               | 9,5                                    | 2,0                    | 1040                    | 16521  |
| X        | 60                         | 11,5                       | 76%                           | 640               | 161,4                                   | 14                            | 10657                       | 16,7  | 0,06               | 3,6                                    | 2,0                    | 1280                    | 4822   |
| Y        | 60                         | 25                         | 85%                           | 743               | 364,0                                   | 12                            | 4269                        | 5,8   | 0,17               | 10,4                                   | 2,0                    | 1485                    | 18772  |
| Z        | 60                         | 11,5                       | 85%                           | 100               | 22,5                                    | 2                             | 1786                        | 17,9  | 0,06               | 3,4                                    | 2,0                    | 200                     | 4610   |
| AA       | 60                         | 25                         | 85%                           | 831               | 407,3                                   | 15                            | 5280                        | 6,4   | 0,16               | 9,4                                    | 2,0                    | 1662                    | 16471  |
| AB       | 60                         | 25                         | 85%                           | 189               | 92,9                                    | 7                             | 2273                        | 12,0  | 0,08               | 5,0                                    | 2,0                    | 379                     | 6230   |
|          |                            |                            |                               |                   | 7257                                    |                               | 7257,2                      |   | 3,5                | 212                                    |                        |                         | 360194 |

## parametry

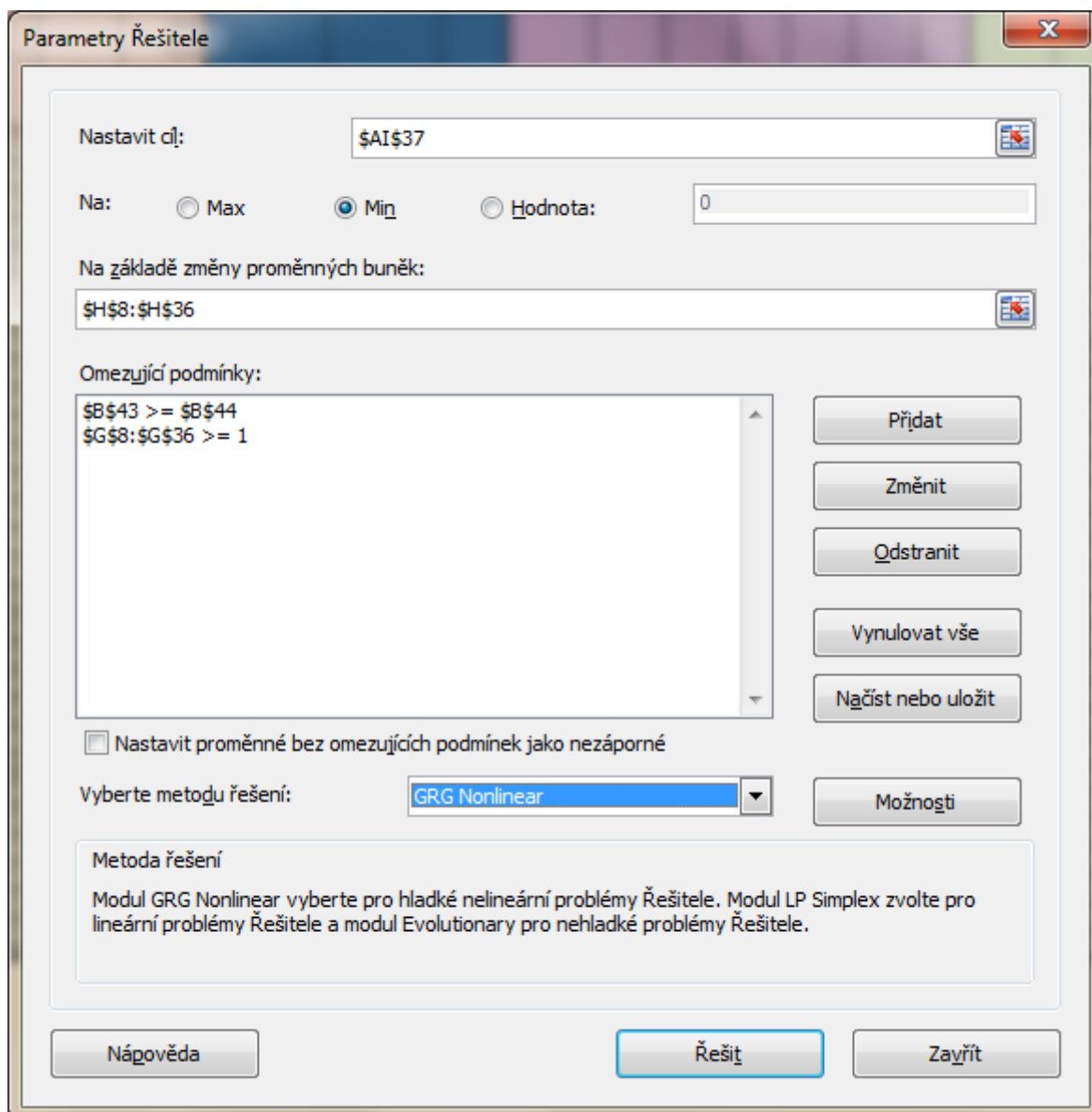
|  |              |         |
|--|--------------|---------|
| (1) čistý výrobní čas/den [min]        | 7500         | minutes |
| (2) potřebný výrobní čas/den [min]     | 7257         | minutes |
| (3) zbývající čas (rezerva)-den [min]  | 243          | minutes |
| (4) čas spotřebovaný přestavbami [min] | 212          | minutes |
| podmínka                               | (3)-(4) >= 0 | minutes |

omezuji podmínka = maximální možný počet přestaveb denně s ohledem na min nutný čistý výrobní čas ke splnění

Obrázek 13: Výpočet velikosti výrobní dávky (zestručněný výtah)<sup>9</sup>

Zvětšená podoba výpočetního modelu optimálních výrobních dávek produktového mixu v Microsoft Excel je uvedena v příloze číslo 1 disertační práce.

<sup>9</sup> Zdroj: Autor



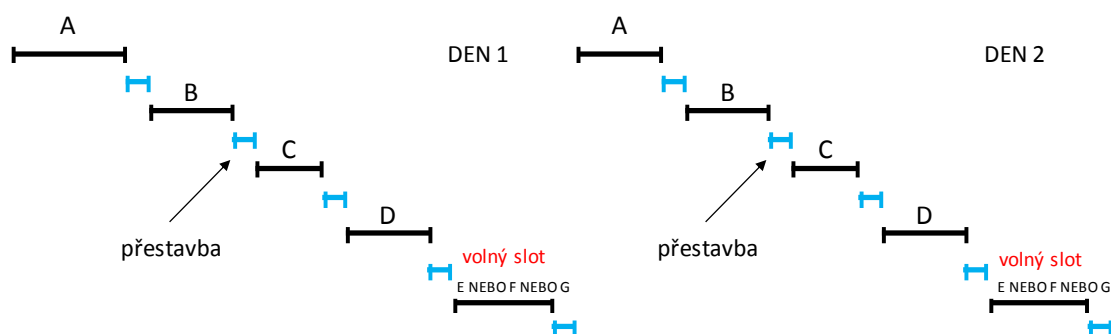
Obrázek 14: Výpočet optimální výrobní dávky<sup>10</sup>

Hledání optima řešitelem proběhlo za následujících podmínek:

- Maximální čas 100 s, Iterace 100, Přesnost 0,000001
- Konvergence 0,0001, Velikost základního souboru 100, Náhodné číslo 0, Derivace dopředu,
- Maximální počet dílčích problémů Neomezeno, Maximální počet celočíselných řešení Neomezeno, Celočíslná tolerance 5%

<sup>10</sup> Autor

Vypočtené velikosti výrobních dávek pro jednotlivé produkty je vhodné rozvrhnout do výrobní šablony a zajistit tak opakovatelný výrobní plán.



Obrázek 15: Příklad výrobní šablony<sup>11</sup>

### 5.3 PŘETÍŽENÍ LIDSKÝCH ZDROJŮ

Řešení problému s přetížením lidských zdrojů popsaném v předchozí kapitole spočívalo v **optimalizaci vnitropodnikových obalových jednotek** z hlediska elementárních činností, které je při každém zásobovacím cyklu nutné vykonat, aby byly výrobní linky naplněny. Při tom je nezbytné zohlednit bezpečnost při manipulaci jednotek a potřebný prostor pro daný typ obalové jednotky. Vstupním faktorem pro optimalizaci vnitropodnikové obalové jednotky je velikost výrobní dávky předcházejícího procesu a velikost výrobní dávky následujícího procesu (v obou případech nefinální procesy), přesněji řečeno minimální hodnota z těchto dvou.

Obalová jednotka musí být zvolena tak, aby hlavní elementární činnosti byly minimální:

1. Manipulace každé jednotlivé logistické jednotky ze zdroje na manipulační transportní jednotku (vnitropodnikový vlak (milkrun), vysokozdvizný vozík,...) a z manipulační jednotky na místo určení – výrobní linku
2. Manipulace s kanbany jednotlivých logistických jednotek (výrobní a transportní kanban)

Omezením pro volbu vhodné manipulační jednotky je rovněž legislativní limit na ruční manipulaci břemene za směnu, který činí 10 tun. Znamená to, že malé obalové jednotky mohou, za předpokladu jejich ruční finální manipulace z transportní jednotky (např. vlak interní logistiky) na spádový regál výrobní linky, narazit na tento legislativní limit.

Faktorem optimalizace těchto dvou elementů je čas a charakter úkonu (ergonomie) potřebný k jejich vykonání. Omezením pro hledání nejlepšího řešení je dostupné místo

<sup>11</sup> Autor

pro logistické jednotky u výrobních linek a na meziskladě a bezpečnost. Bezpečností se rozumí riziko pádu obalové jednotky a tím způsobené potenciální škody na zdraví a na majetku.

K hledání „optimálního“ balení je vhodné použít metodu multikriteriálního hodnocení možných variant řešení. Na rozdíl od hledání optimální velikosti výrobních dávek, kdy hledáme matici výrobních dávek je v logistickém systému hledání nejvhodnějšího balení omezeno na hledání co nejmenšího počtu druhů balení, nejlépe jednoho společného druhu balení s ohledem na celkové náklady na pořízení, správu a kontrolu obalů.

Toto bylo aplikováno na konkrétní případ ve společnosti JTEKT, kdy bylo hledáno nejvhodnější balení mezi procesem tlakového lití hliníkových odlitků pro sestavu řízení a obráběním těchto odlitků.

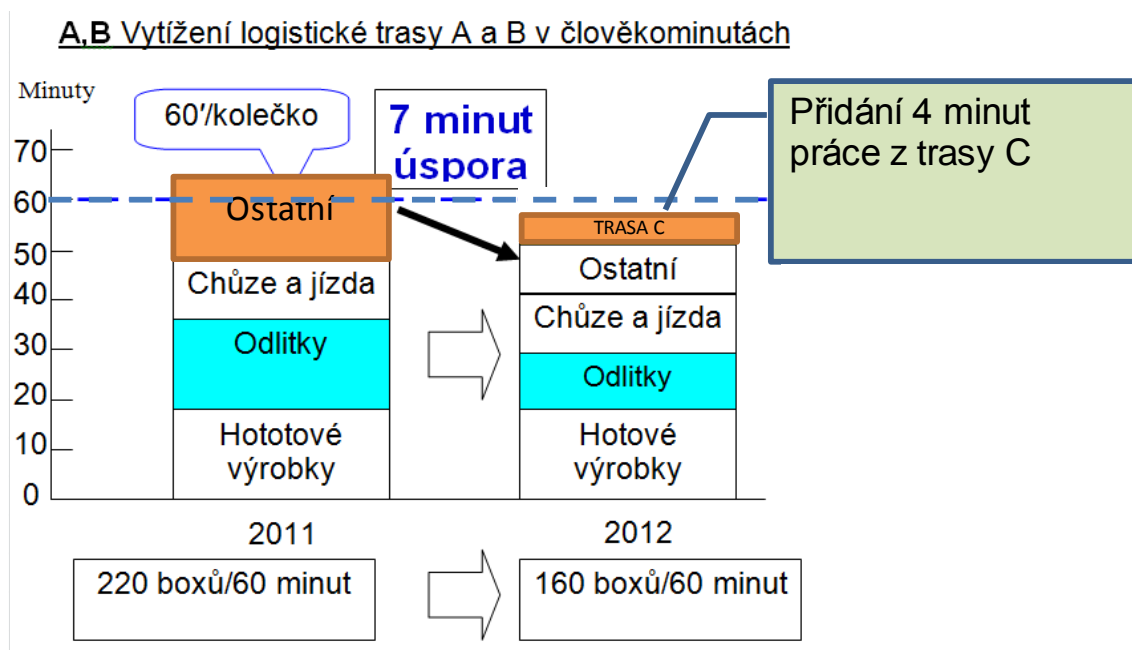
Srovnání proběhlo mezi třemi různými variantami balení s ohledem na výše zmíněný vstupní faktor. Vstupním faktorem byla výrobní dávka 600 kusů za den (min {výrobní dávky pro tlakové lití; výrobní dávky pro obrábění}). Hodnotící škála byla zvolena od 1 do 10, hodnocení kritérií a stanovení vah bylo provedeno expertním odhadem 5 osob společnosti JTEKT a do hodnotící tabulky byly vloženy průměrné hodnoty.

Tabulka 3: Optimalizace obalových jednotek metodou porovnávání<sup>12</sup>

| Kritérium<br>Varianta                      | MANIPULACE                     |                         |               | PROSTOR                                  |           |   |               | BEZPEČNOST   |               | Hodnocení |
|--|--------------------------------|-------------------------|---------------|--|-----------|---|---------------|--|---------------|-----------|
|  | Četnost a náročnost manipulace | Četnost práce s kanbany | váha kritéria | První výrobní operace<br><b>Slévárna</b> | Mezisklad | Následující výrobní operace<br><b>Obrobna</b> | váha kritéria | Riziko pádu jednotky a úrazy nebo škody na majetku | váha kritéria |           |
| <b>VARIANTA 1</b><br>malý box<br>(400x300) | 3                              | 4                       | 0,33          | 7  | 5         | 5   | 0,33          | 9  | 0,33          | 10,89     |
| <b>VARIANTA 2</b><br>velký box<br>1200x800 | 8                              | 7                       | 0,33          | 8  | 9         | 0   | 0,33          | 5  | 0,33          | 12,21     |
| <b>VARIANTA 3</b><br>velký box<br>800x600  | 7                              | 6                       | 0,33          | 9  | 7         | 9   | 0,33          | 7  | 0,33          | 14,85     |

Varianta s nejlepším hodnocením byla varianta skládacího boxu (klece) o rozměrech 800x600x600 mm. Rozhodujícím faktorem pro zamítnutí varianty číslo 1 (malý box) byla četnost a náročnost manipulace (manuální) narážející na legislativní omezení manipulace břemene za směnu. Rozhodujícím faktorem pro zamítnutí varianty číslo 2 (největší jednotka – klec 1200x800x800 mm) byl nedostatek prostoru pro tento velký obal u následující výrobní operace (obrábění).

Změnou obalové jednotky z původní na variantu číslo 3 na základě optimální výrobní dávky v logistickém systému bylo dosaženo časové úspory 7 minut za jeden hodinový cyklus související logistické trasy A a B a umožnilo přesun práce o rozsahu 4 minut z trasy C do tras A,B a zabránění potřeby zavedení trasy D a tím umožnění úspory 3 operátorů (1 operátor na směně) a úspory na nerealizovanou manipulační techniku trasy D. Návratnost investice (změna obalové jednotky) byla vypočtena na 2 roky s ohledem na výše uvedené.



Obrázek 16: Celkový efekt řešení vytížení lidských zdrojů<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Autor



pracovních postupů ve stávajícím stavu je k ničemu, pokud obsahují velkou míru variability a plýtvání. Důkladným rozбором elementů opakovaných pracovních činností lze definovat konzistentní pracovní standard, kterým se bude schopen řídit každý. „Domníváme se, že vrozené schopnosti člověka tvoří asi 10% celkových schopností jedince, zbylých 90% považujeme za talent nabytý v životě pracovní společnosti, prostřednictvím úsilí a opakovaného cviku“ [17]

#### 5.4.2 5S

5S je nástroj řízení dobrého hospodaření pro dosažení většího pořádku, efektivity a disciplíny na pracovišti. Je odvozen z japonských slov seiri, seiton, seiso, seiketsu a shitsuke a lze je převést do češtiny jako separovat, systematizovat, stále čistit, standardizovat a sebedisciplína. V praxi to znamená: plánovat i organizaci pracoviště, na kterém může zůstat jen to, co je skutečně zapotřebí. Ostatní předměty patří do přehledných vyhrazených úložných prostor. Nepotřebné se ukládá ve vzdálenějším skladu, nebo se vůbec rychle likviduje.

Plánovat uspořádání předmětů potřebných tak, aby byly všem rychle a pohodlně dostupné. Všem musí být zřejmé, kde jsou uloženy.

Plánovat čistotu pracovišť znamená vše bezpodmínečně udržovat bez špíny, prachu atd. Pořádek pomáhá hledat abnormality, předchází poruchám a pomáhá udržet hodnotu zařízení.

Plánovat přehlednost znamená bezpečnou funkci předchozím tří požadavků, plus podpora dostupnosti potřebných informací. Nic není třeba hledat, nikdo se nezdržuje, informace jsou prezentovány přehledně na viditelných místech.

Plánovat disciplínu, samozřejmě udržování shora uvedených pravidel, denní kontroly pracovní disciplíny, používání kontrolních dotazníků, stanovování nových úkolů a cílů. Odměňování nejlepších.

#### 5.4.3 Vizualizace

Důležitou pomůckou řízení logistických činností je vizualizace. Aktuální informace o klíčových faktorech na dostupném místě znamená možnost okamžitého zásahu v případě odchýlení se od očekávaných hodnot a zabránění vzniku abnormalit, problémů nebo poruch. Vizualizace rovněž slouží ke zviditelňování problémů. Problémy je nutné na pracovišti zviditelňovat, jestliže abnormality nelze odhalit, proces nelze řídit. Vizualizace musí na pracovišti v první řadě řídit pět M, tj. Man (Lidské zdroje), Methods (metody), Materiál (Materiál), Machine (Stroje) a Measurement (Měření). Stejně důležitá je i vizualizace průběžného plnění plánů, která by měla obsahovat aktuální stav a plánovaný stav a umožnit tak v jakémkoli okamžiku zásah kompetentních osob odpovědných za dosahování plánovaného stavu. Viditelný management je v podstatě prostředkem stabilizace procesu (udržovací funkce), stejně



jako jeho zlepšení (zdokonalovací funkce). Viditelný management je účinným nástrojem pro motivaci lidí v provozu k dosahování cílů vytyčených vedením podniku.

#### 5.4.4 Andon

Andon (japonsky: "lampa") je informační nástroj, který okamžitým, vizuálním, případně i slyšitelným způsobem dá na vědomí týmu, že v oblasti není něco v pořádku (výstražný systém). Může mít různé formy od jednoduché signalizace (červené světýlko, zvonek) až ke komplexním digitálním signalizačním tabulím (aktuální status výroby proti plánovanému výkonu).

### 5.5 ŘÍZENÍ, KONTROLA A EVOLUCE LOGISTICKÉHO SYSTÉMU

Pro správnou funkčnost logistického systému je nutné pro potřeby včasné regulace zajistit rychlou zpětnou vazbu, tj. informace o všech aspektech ovlivňující logistický systém. Za hlavní východiska lze v tomto smyslu považovat:

1. systémovou integraci
2. zavedení manažerského varovného informačního systému a managementu znalostí

#### 5.5.1 Systémová integrace

Cílem systémové integrace je zvýšit efektivitu IS/IT, ICT, maximalizovat využití vlastních datových zdrojů, zlepšit dostupnost služeb a snížit celkové náklady na vlastnictví (TCO – Total Cost of Ownership) a používání ICT systémů. Systémová integrace by měla probíhat ve čtyřech hlavních oblastech:

- centralizace
- fyzická konsolidace
- integrace dat
- integrace aplikací

Prvním krokem systémové integrace je centralizace. Pod tímto pojmem se skrývá zredukování počtu datových center a jejich fyzická centralizace a koncentrace do méně lokací. Druhým krokem je fyzická konsolidace. Jejím cílem je snížení počtu serverů, použití menšího počtu výkonnějších serverů se stejnou systémovou architekturou. Následuje integrace dat, což je softwarová obdoba centralizace. Vhodné je zredukování počtu datových formátů a jejich unifikace. Poslední důležitou fází je integrace aplikací, což znamená odklon od zaběhnutého principu „jedna aplikace – jeden server“. Dnes lze provozovat například e-mailový server, firemní databázi a ERP systém na jednom fyzickém serveru.

### 5.5.2 Přínosy systémové integrace

Realizace systémové integrace přinese vzrůst firemní flexibility. Podnikové informace budou přístupnější, neboť již nebudou rozptýleny v celé organizaci. Zvýší se výkon IS/ICT a zkrátí doba odezvy. Díky softwarové a hardwarové integraci a redukci dojde rovněž ke snížení pravděpodobnosti poruchy a ke zkrácení doby obnovy v případě poruchy. Dalším z řady přínosů je snížení TCO, které tvoří výdaje na pořízení, profesionální služby, servis, IT pracovníky, prostory, energii atd. Většinu výdajů na systémovou integraci totiž tvoří jednorázové pořizovací náklady (náklady na pořízení nových serverů), které představují pouhých 10 % TCO po dobu standardního životního cyklu serveru. Zbývajících 90 % TCO tedy tvoří složky (profesionální služby, servis, IT pracovníky, prostory, energii atd.), které budou systémovou integrací značně omezeny.

### 5.5.3 Zavedení manažerského varovného informačního systému

Manažeři na všech úrovních a vrcholový management především musí mít k dispozici všechny klíčové informace. Velké množství z nich může na požádání získat z ERP systému podniku, z podnikového informačního portálu, z Internetu nebo jako výstup data miningu nad určitou množinou dat a informací (například nad určitým segmentem datového skladu). Velké množství špatných zpráv je možné získat právě z těchto systémů, avšak jejich kritický charakter si vyžaduje, aby napříč podnikem proudily **automaticky** v okamžiku jejich výskytu, nikoli až na požádání. Základem manažerského varovného informačního systému může být podnikový informační systém (ERP), který obsahuje všechny klíčové provozní informace. Manažeři všech úrovní by měli v informačním systému stanovit (nastavit) intervaly běžných hodnot „svých ukazatelů“. Od této chvíle kdykoli, některá (é) hodnota (y) těchto ukazatelů padne (padnou) mimo tyto intervaly přípustných hodnot, podnikový informační systém spustí automaticky varovné hlášení s odpovídající specifikací problému. Mnohem komfortnější, avšak také mnohem dražší řešení nabízí firma SAP v podobě takzvaného Management Cockpit, což je ve své podstatě přenesení pilotní kabiny do kanceláří manažerů. Podobně jako v kokpitu pilota je v manažerském kokpitu zobrazeno velké množství informací, ale pouze kritické hodnoty nacházející se mimo stanovené limity a vyžadující tudíž zásah „pilota“ jsou zvýrazněné.

### 5.5.4 Management znalostí

Manažerská praxe manažerovi přináší neocenitelné zkušenosti. Pro podnik je tedy velmi účelné, aby tyto manažerské zkušenosti a informace „zdokumentoval“, respektive aby sám manažer měl k dispozici informační systém, který jeho činnosti, informace a znalosti zaznamenává. Tento přístup je vysoce efektivní, neboť má podnik v případě odchodu manažera dobré výchozí podmínky pro případné zapracování nového pracovníka na jeho post. Tato výše popsaná procedura je jednou z hlavních náplní managementu znalostí (KM – Knowledge Management). Znalostní management je rovněž jedním z klíčových nástrojů zvyšování firemního IQ. Firemní IQ (Institutional Intelligence, Institutional IQ, Cooperate IQ) je měřítkem schopnosti firmy snadno sdílet informace, a schopnosti zaměstnanců navazovat vzájemně na své myšlenky a práci a učit

se z předchozích zkušeností. Znalostní kapitál je důležitým zdrojem v podniku a je významnou konkurenční výhodou. Cílem znalostního managementu je vznik učícího se systému integrovaného do informačního a logistického systému podniku, monitorující toky dat a informací a následně zlepšující rozhodování a řízení podniku. Základem managementu znalostí jsou datové sklady (DW - Data Warehouse), dolování dat (DM - Data Mining) a nástroje Business intelligence (BI).

Součástí znalostní databáze by měly být i **chyby a problémy vzniklé v minulosti**, přičemž přístup k těmto datům by měl být umožněn liniovému managementu, který bude formou pravidelného školení tyto chyby a problémy upozorňovat na začátku směny příslušné operátory.

Management znalostí nejen, že zajistí kontinuitu logistického systému s ohledem na změnu lidského faktoru, ale umožní i jeho kontinuální vývoj (evoluci).

### 5.5.5 Data warehousing

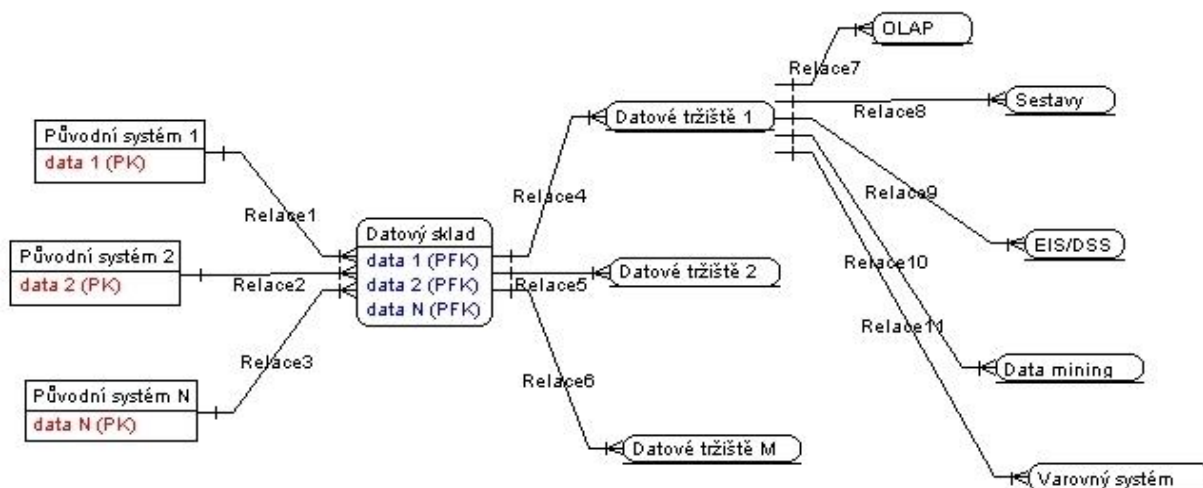
Principem data warehousingu je integrace množství surových dat z původních podnikových systémů, z provozních systémů (ODS – Operational Data Store) a externích datových zdrojů do jednotné databáze, tzv. datového skladu. Ve spolupráci s aplikacemi pro podporu rozhodování typu OLAP (OnLine Analytical Processing) poskytují datové sklady pohledy na historická a současná data v různých dimenzích a na různých úrovních podrobnosti s možností výstupu do přehledných grafických formátů (diagramy, grafy) pro rychlé vyjádření důležitých vztahů mezi daty. Následující tabulka porovnává datové sklady (DW) se sklady provozních dat (ODS).

**Tabulka 4:** Datové sklady versus sklady provozních dat [18]

|             | Datové sklady                                     | Sklady provozních dat                          |
|-------------|---|--|
| Účel        | Podpora strategického rozhodování                 | Provozní sledování, operativní rozhodování     |
| Podrobnosti | Sjednocená předmětně orientovaná data             |  |
| Rozdíly     | Statická data<br>Historická data<br>Souhrnná data | Nestálá data<br>Současná data<br>Podrobná data |

Každý datový sklad musí zohledňovat časovou dimenzi – pro podporu dotazů či sestav vyžadujících porovnání hodnot za předchozí měsíce či roky a rozpoznávání trendů. V rámci datových skladů (jako jejich podmnožiny) mohou vznikat i takzvaná datová tržiště (data marts). Data pro datová tržiště jsou vybírána s cílem vyhovět specifickým požadavkům částí organizace. Vytváření datových skladů je poměrně nákladný proces vyžadující týmovou práci, podporu a pochopení na všech organizačních úrovních podniku. Za hlavní přínosy datových skladů lze považovat zvýšení produktivity analytiků díky dostupnosti kompletních dat a obchodní zlepšení v důsledku analýz dat v datových skladech. Odhaduje se, že při absenci datových skladů

tráví podnikoví analytici až 40 % času hledáním a získáváním dat. Dostupnost integrovaných dat na různých úrovních podrobnosti může rovněž vést ke zploštění organizační struktury. Obecně jsou však přínosy datových skladů na taktické a strategické úrovni obtížně vyčíslitelné a bývají přirovnávány k zisku z čistého předního skla automobilu. Datové sklady jsou ideální základnou pro aplikaci data miningu.



Obrázek 18: Architektura datového skladu<sup>15</sup>

### 5.5.6 Data mining

Analýza dat se proto dnes často neobejde bez využití počítačových nástrojů. Využití softwarových algoritmů k nalezení užitečných schémat ve velkém objemu dat se nazývá data mining. Data mining je interaktivní práce nad agregovanými daty (analyzovanými), která pochází z jednoho nebo více podnikových systémů, umožňující odhalit nestandardní souvislosti naznačující nějaké symptomy chování trhu, organizace, technologických systémů atd. Data miningové systémy mohou být vizuální nebo dotazově orientované. Kvalitní data mining umožňuje:

- předpovídání budoucích trendů a chování (předpovídání poptávky, provozních rizik, apod.)
- nalezení důležitých informací v databázi (identifikace segmentů produkce, nalezení klíčových frází textu, ...)

<sup>15</sup> Autor

- objevování neznámých schémat (identifikace výrobků, při jejichž výrobě dochází k největším logistickým problémům....)
- rozhodování na základě znalostí.

Kvalitní softwarové nástroje pro data mining obsahují široký výběr statistických metod a specializované data miningové nástroje. Mezi implementované statistické metody patří nejčastěji základní popisné statistiky (průměr, rozptyl, kvantily), korelace, kontingenční tabulky, analýza rozptylu, regresní systémy, prokládání rozdělání, neparametrická statistika (statistické testy a postupy), analýza přežívání (úmrtnostní tabulky), časové řady, shluková analýza (tvorba dendrogramů apod.), klasifikační stromy a další. Specializovanými nástroji data miningu jsou například zobecněná shluková analýza, neuronové sítě, obecné klasifikační a regresní stromy. V data miningovém projektu je obvyklé použití více různých metod a to jak statistických tak metod umělé inteligence (neuronové sítě). Pro vyhodnocení výsledků těchto metod je nutná existence nástroje, porovnávajícího výsledky jednotlivých metod a umožňujícího tak výběr té nejlepší.

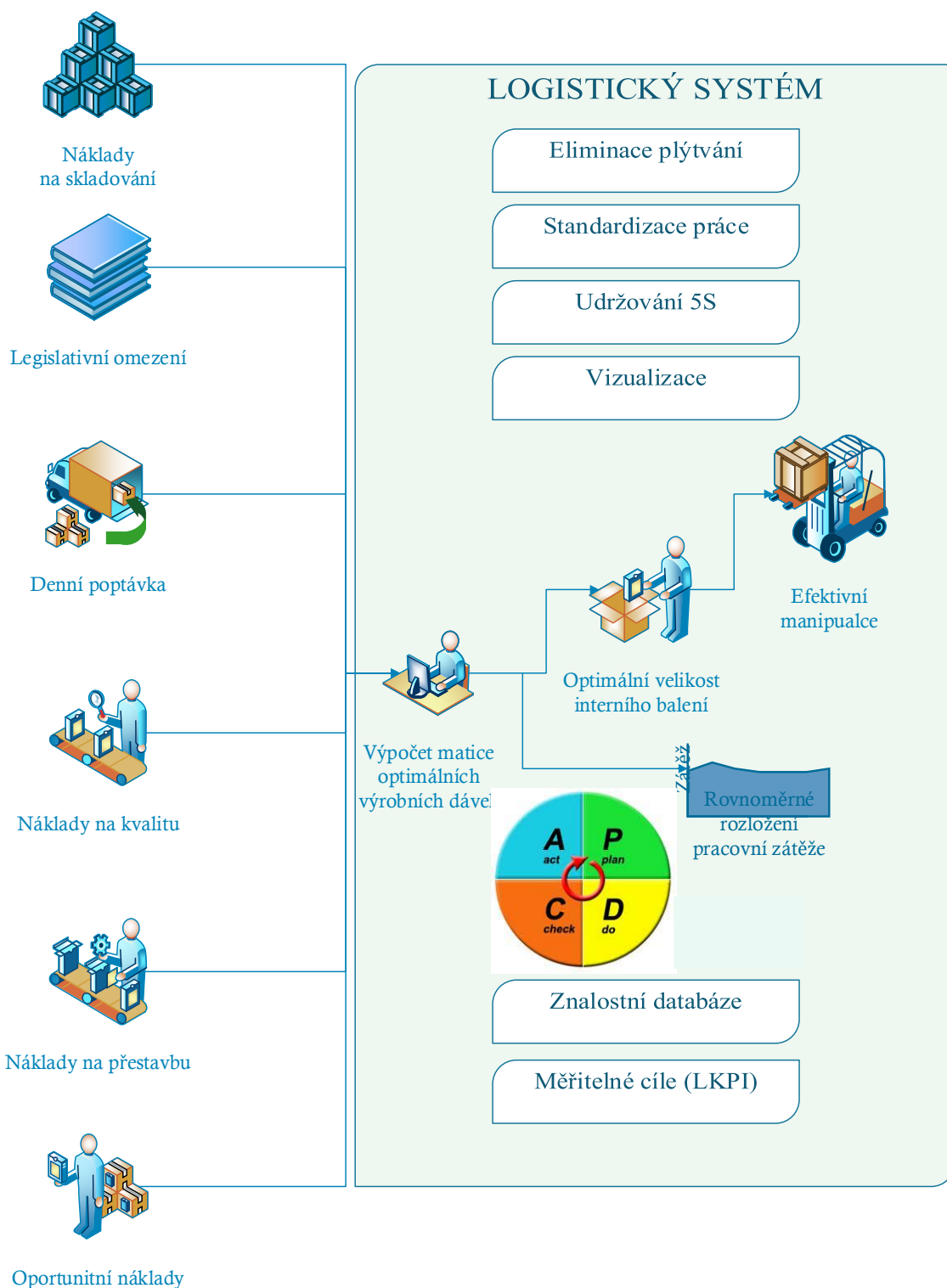
## 5.6 LOGISTICKÝ SYSTÉM

Klíčovou aktivitou pro zachování stability a spolehlivosti logistického systému je rovněž aplikace cyklu PDCA, která zajistí pro případ nežádoucí odchylky od cílového stavu její systematické řešení.

Logistický systém obsahuje následující faktory a atributy:

- Stanovení optimálních výrobních dávek a zásob
- Rovnoměrné rozložení pracovní zátěže v čase (časový harmonogram událostí a činnosti)
- Zvyšování produktivity pomocí eliminace plýtvání
- Standardizace - pevné a srozumitelné pracovní postupy s kontrolními body
- Koncepce 5S a jeho použití v praxi
- Vizualizace
- Integrovaný datový systém a znalostní databáze
- Jasně stanovené cíle a měření jejich dosahování (LKPI)

Syntézou výše uvedených principů a metod lze vytvořit schématický model logistického systému. Klíčovým faktorem regulace systému je velikost výrobní dávky. Navrhnutý logistický systém je z hlediska systémové teorie systémem s cílovým chováním.

Obrázek 19: Schéma logistického systému<sup>16</sup><sup>16</sup> Autor

## 6. VERIFIKACE LOGISTICKÉHO SYSTÉMU

### 6.1 LOGISTICKÉ UKAZATELE (LKPI)

Logistický systém byl ve společnosti JTEKT aplikován od ledna roku 2011. Tři již zmíněné základní LKPI byly podrobeny hodnotící analýze stavu před a stavu po implementaci logistického systému na základě měřených hodnot v období leden 2008 až prosinec 2012:

Tabulka 5: LKPI pro logistický systém<sup>17</sup>

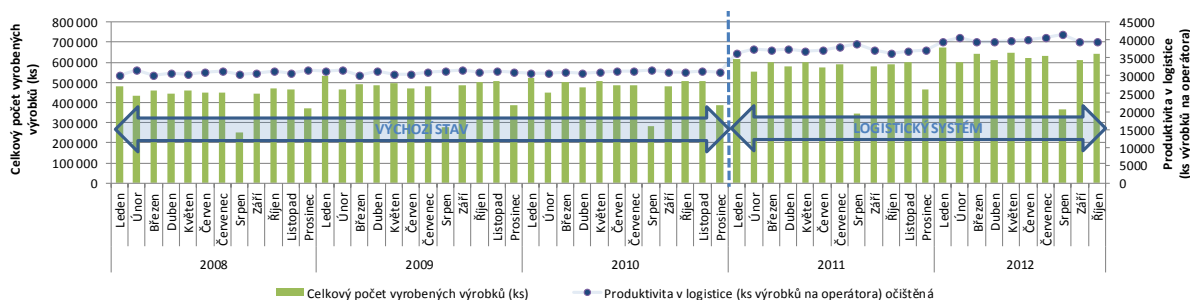
|        |  |
|--------|--|
| LKPI 1 | Produktivita práce vnitropodnikové logistiky |
| LKPI 2 | Výrobky v požadovaném množství a čase        |

#### 6.1.1 Produktivita práce vnitropodnikové logistiky (LKPI 1)

Výchozí stav ukazatel LKPI 1 ukazoval stagnující stav, což je neuspokojivé v prostředí neustálého zlepšování potřebného k absorbování propadů trhu. Rozšíření grafu produktivity o údaje nasbírané od ledna 2011 do prosince 2012 je zobrazeno na následujícím obrázku.

---

<sup>17</sup> Autor



Obrázek 20: Produktivita práce vnitropodnikové logistiky (LKPI 1)<sup>18</sup>

V bodovém grafu Produktivita práce vnitropodnikové logistiky lze pozorovat skokovou změnu (zvýšení produktivity) od ledna 2011.

Statistická významnost této změny je z důvodu rozsahu dat a možnostem dostupné aplikace Microsoft Excel ověřena t-testem shodnosti středních hodnot dvou výběrů (stav před lednem 2011 a stav po lednu 2011). Pro vhodnou volbu T-testu je nejprve testována shodnost rozptylu obou výběrů F-testem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

$H_0$ : Výběrový rozptyl produktivity práce vnitropodnikové logistiky výchozího stavu a stavu v logistickém systému je shodný.

$H_1$ : Výběrový rozptyl produktivity práce vnitropodnikové logistiky výchozího stavu a stavu v logistickém systému není shodný.

Test byl proveden v Excelu v modulu Analýza dat.

Tabulka 6: LKPI 1 Dvouvýběrový F-test pro rozptyl

|              | Soubor 1    | Soubor 2    |
|--------------|-------------|-------------|
| Stř. hodnota | 31000,67399 | 38529,18802 |
| Rozptyl      | 161571,5766 | 2547255,814 |
| Pozorování   | 36          | 22          |
| Rozdíl       | 35          | 21          |
| F            | 0,063429662 |             |
| P(F<=f) (1)  | 3,75899E-12 |             |
| F krit (1)   | 0,535995834 |             |

Soubor 1 představuje stav výchozí, soubor 2 stav v logistickém systému. V prvních třech řádcích tabulky jsou uvedeny základní popisné statistiky. Položka **Rozdíl** udává počet



stupňů volnosti. Dále je uvedena hodnota testového kritéria **F**, dosažená hladina statistické významnosti **P** a kritická hodnota **F krit**.

Výsledek F-testu: **P** představuje pravděpodobnost nulové hypotézy o shodě rozptylů obou souborů (pravděpodobnost chyby  $\alpha$ ). Pokud je **P**-hodnota větší nebo rovna 0,05, znamená to, že rozptyly v obou výběrech jsou shodné. Pokud je **P**-hodnota menší než 0,05, rozptyly v obou výběrech nejsou shodné. V tomto případě **P** =  $3,75 \cdot 10^{-12}$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je podstatně menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné zamítnout nulovou hypotézu.

Nyní je možné přistoupit k T-testu shodnosti dvou výběrových středních hodnot.

$H_0$ : Výběrová střední hodnota produktivity práce vnitropodnikové logistiky výchozího stavu a stavu v logistickém systému je shodná.

$H_1$ : Výběrová střední hodnota produktivity práce vnitropodnikové logistiky výchozího stavu a stavu v logistickém systému není shodná.

Na základě výsledku F-testu je nutné použít kritérium T-testu pro výběry s neshodným rozptylem. Výpočet byl opět proveden v Excelu v modulu Analýza dat.

**Tabulka 7:** LKPI 1 Dvouvýběrový T-test s nerovností rozptylů<sup>19</sup>

|                         | <i>Soubor 1</i> | <i>Soubor 2</i> |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Stř. hodnota            | 31000,67399     | 38529,18802     |
| Rozptyl                 | 161571,5766     | 2547255,814     |
| Pozorování              | 36              | 22              |
| Hyp. rozdíl stř. hodnot | 0               |                 |
| Rozdíl                  | 23              |                 |
| t Stat                  | -21,70831812    |                 |
| P(T<=t) (1)             | 4,02071E-17     |                 |
| t krit (1)              | 1,713871528     |                 |
| P(T<=t) (2)             | 8,04142E-17     |                 |
| t krit (2)              | 2,06865761      |                 |

Soubor 1 představuje stav výchozí, soubor 2 stav v logistickém systému. V prvních třech řádcích tabulky jsou uvedeny základní popisné statistiky. V řádku **Pozorování** je

<sup>18</sup> Autor

<sup>19</sup> Autor

uvedeno, kolik hodnot bylo zařazeno do jednotlivých souborů. V následujícím řádku je spočítán **Společný rozptyl** pro 1. a 2. soubor. **Hyp. rozdíl středních hodnot** je nulový, což je v souladu s naší nulovou hypotézou. Položka „**Rozdíl**“ nám udává počet stupňů volnosti. Dále je uvedena hodnota testového kritéria **t Stat**, dosažená hladina statistické významnosti **P (1)** pro jednostranný test (1) a kritická hodnota **t krit** pro jednostranný test.

Vzhledem k oboustranné formulaci alternativní hypotézy nás zajímá hladina dosažené statistické významnosti pro oboustranný test **P (2)** =  $8,04 \cdot 10^{-14}$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je podstatně menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné zamítnout nulovou hypotézu.

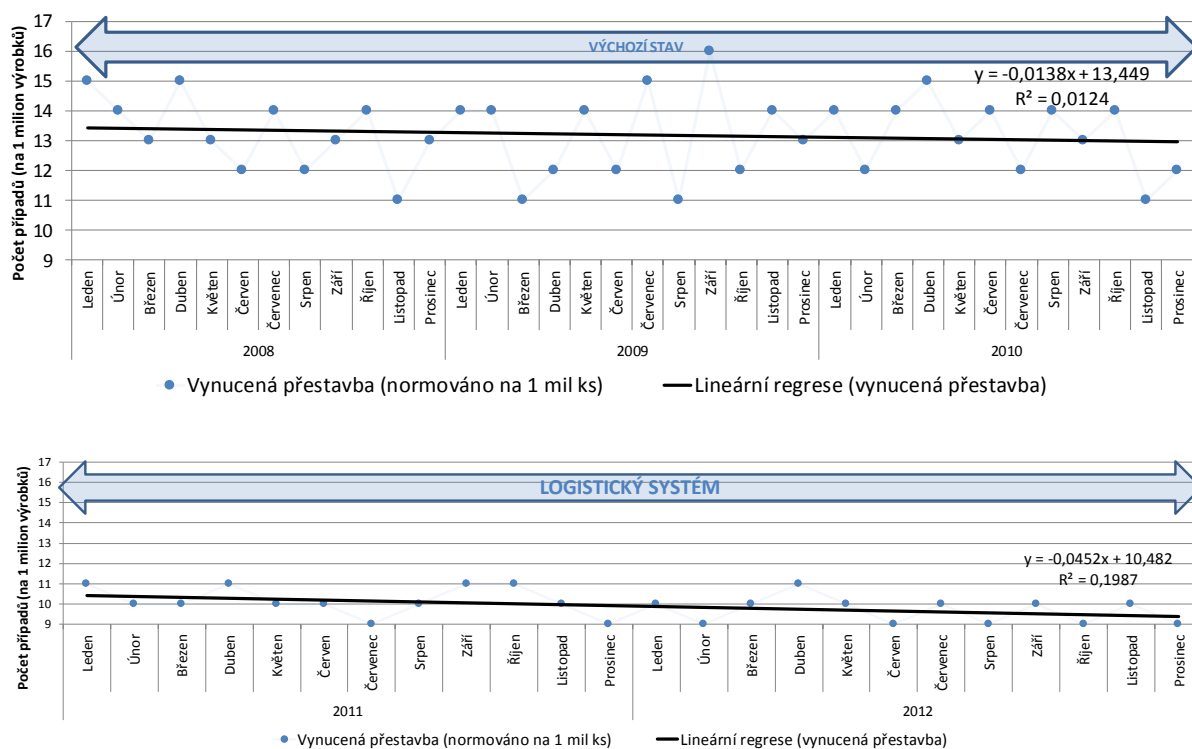
**Závěr testování:** Zamítáme nulovou hypotézu, že výběrová střední hodnota produktivity práce vnitropodnikové logistiky ve výchozím stavu a stavu v logistickém systému je shodná.

Dvouvýběrovým *t*-testem bylo prokázáno, že **hodnoty produktivity práce vnitropodnikové logistiky jsou v logistickém systému statisticky významně větší než ve výchozím stavu**. Průměrná hodnota produktivity ve výchozím stavu je 31000 ks výrobků na normovaný měsíc na operátora. Průměrná hodnota produktivity v logistickém systému je 38529 ks výrobků na normovaný měsíc na operátora,

### 6.1.2 Výrobky v požadovaném množství a čase (LKPI 2)

Nedostatek výrobků v požadovaném čase může dle svého charakteru způsobit problémy od nutnosti náhlé vynucené přestavby výrobní linky, přes zastavení výrobní linky, až v krajním případě po nedodání hotových výrobků v požadovaném množství a čase zákazníkovi.

Prvním nejméně závažným možným stavem systému je vynucení přestavby z důvodu absence požadovaného výrobku.



Obrázek 21: Vynucené přestavby výrobních linek (normováno na milión ks)<sup>20</sup>

Porovnáním směrnice regresní přímky výchozího stavu a stavu v logistickém systému na obrázku lze statisticky předpokládat, že počet vynucených přestaveb v logistickém systému je menší než ve výchozím stavu.

Statistická významnost této změny je opět testována t-testem shodnosti středních hodnot dvou výběrů (stav před lednem 2011 a stav po lednu 2011). Pro vhodnou volbu T-testu byla obdobně jako výše opět nejprve testována shodnost rozptylů obou výběrů F-testem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . V tomto případě byla pravděpodobnost shodnosti obou rozptylů  $P = 0,0035$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné zamítnout nulovou hypotézu o shodnosti rozptylů a provést T-test pro shodnost středních hodnot výchozího stavu a stavu v logistickém systému na základě rozdílnosti jejich rozptylů.

<sup>20</sup> Autor

Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

$H_0$ : Výběrová střední hodnota pro zastavení výrobních linek výchozího stavu a stavu v logistickém systému je shodná.

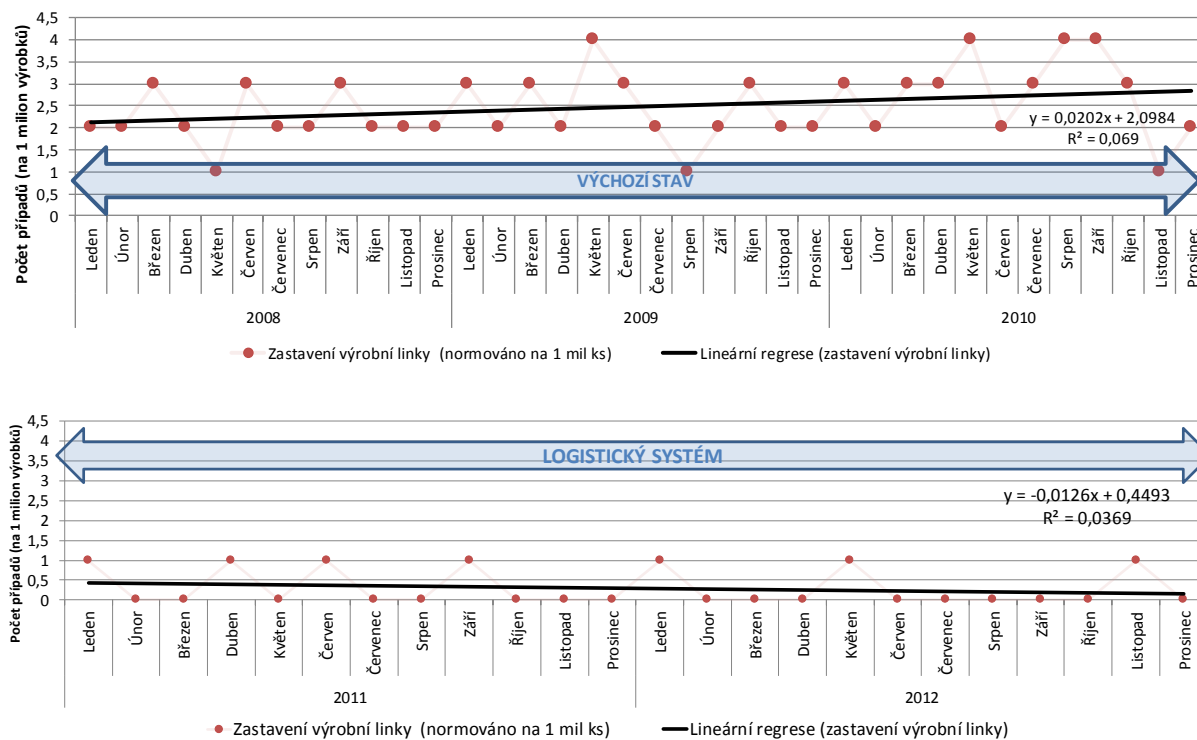
$H_1$ : Výběrová střední hodnota pro zastavení výrobních linek výchozího stavu a stavu v logistickém systému není shodná.

Hladina dosažené statistické významnosti pro oboustranný test  $P(2) = 7,19 \cdot 10^{-19}$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je podstatně menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné zamítnout nulovou hypotézu.

**Závěr testování:** Zamítáme nulovou hypotézu

Dvouvýběrovým  $t$ -testem bylo prokázáno, že **množství vynucených přestaveb v logistickém systému je statisticky významně menší než ve výchozím stavu**. Průměrná hodnota ve výchozím stavu je 13,19 vynucených přestaveb na milion výrobků. Průměrná hodnota v logistickém systému je 9,95 vynucených přestaveb na milion výrobků.

Druhým, závažnějším možným stavem systému je zastavení výrobní linky z důvodu absence požadovaného výrobku (ve fázi rozpracovanosti) v požadovaném čase, kdy současně neexistuje jiný výrobek (rozpracovaný), kterým lze vytížit postihnutou výrobní linku a linka se tudíž zcela zastaví.



Obrázek 22: Zastavení výrobních linek (normováno na milion ks)<sup>21</sup>

Zdroj: Autor

Porovnáním směrnice regresní přímky výchozího stavu a stavu v logistickém systému na obrázku, lze statisticky předpokládat, že počet zastavení výrobní linky v logistickém systému je menší než ve výchozím stavu.

Statistická významnost této změny je opět testována t-testem shodnosti středních hodnot dvou výběrů (stav před lednem 2011 a stav po lednu 2011). Pro vhodnou volbu T-testu byla obdobně jako výše opět nejprve testována shodnost rozptylu obou výběrů F-testem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . V tomto případě byla pravděpodobnost shodnosti obou rozptylů  $P = 0,0028$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné zamítnout nulovou hypotézu o shodnosti rozptylů.

<sup>21</sup> Autor

T-test pro shodnost středních hodnot výchozího stavu a stavu v logistickém systému byl proveden na základě rozdílnosti jejich rozptylů.

Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

$H_0$ : Výběrová střední hodnota pro vynucené přestavby výchozího stavu a stavu v logistickém systému je shodná.

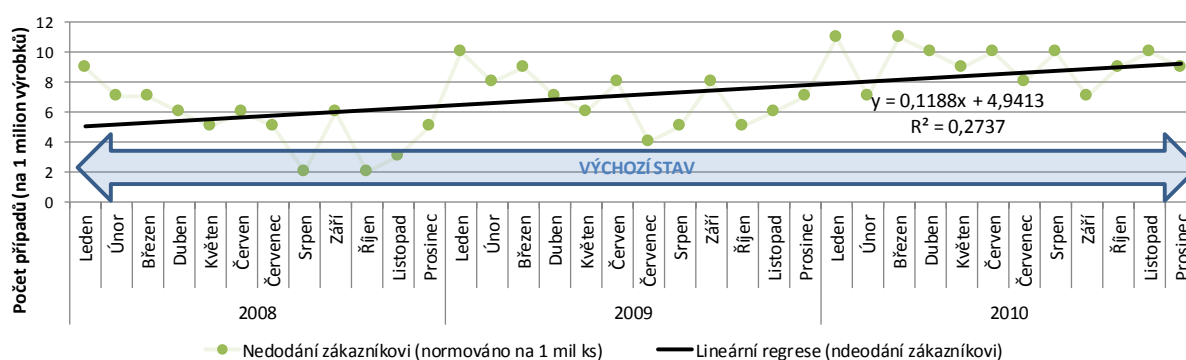
$H_1$ : Výběrová střední hodnota pro vynucené přestavby výchozího stavu a stavu v logistickém systému není shodná.

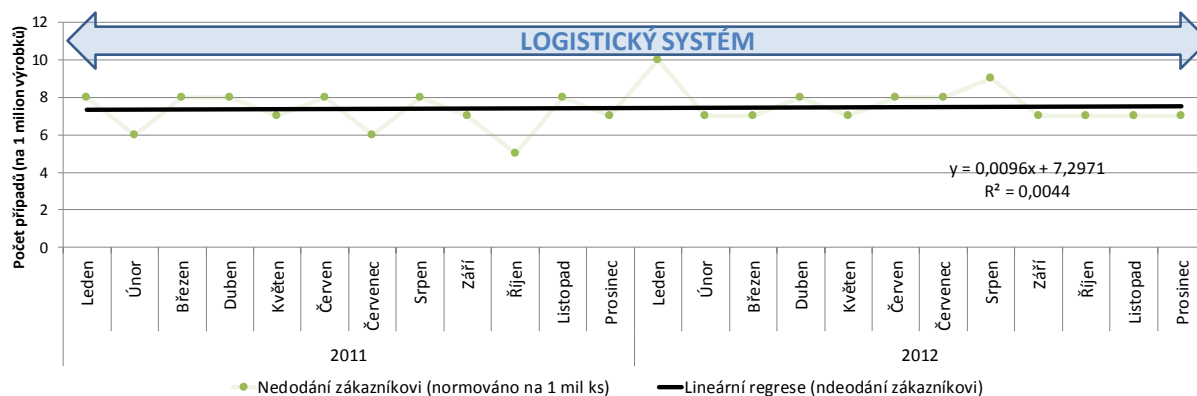
Hladina dosažené statistické významnosti pro oboustranný test  $P(2) = 2,43 \cdot 10^{-17}$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je podstatně menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněně zamítnout nulovou hypotézu.

**Závěr testování:** Zamítáme nulovou hypotézu

Dvouvýběrovým  $t$ -testem bylo prokázáno, že **množství zastavení výrobních linek v logistickém systému je statisticky významně menší než ve výchozím stavu**. Průměrná hodnota ve výchozím stavu je 2,47 zastavení linek na milion výrobků. Průměrná hodnota v logistickém systému je 0,27 zastavení linek na milion výrobků.

Třetím, nejzávažnějším možným stavem systému je nedodávání finálního výrobku v požadovaném množství a čase zákazníkovi. Předpokládá se, že absence požadovaného finálního výrobku nelze substituovat jiným finálním výrobkem.





Obrázek 23: Nedodání zákazníkovi (normováno na milión ks)<sup>22</sup>

Porovnáním směrnice regresní přímky výchozího stavu a stavu v logistickém systému na obrázku, nelze statisticky předpokládat, že počet nedodání zákazníkovi v logistickém systému je menší než ve výchozím stavu.

Statistická významnost rozdílu výchozího stavu a stavu v logistickém systému je opět testována t-testem shodnosti středních hodnot dvou výběrů (stav před lednem 2011 a stav po lednu 2011). Pro vhodnou volbu T-testu byla obdobně jako výše opět nejprve testována shodnost rozptylu obou výběrů F-testem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . V tomto případě byla pravděpodobnost shodnosti obou rozptylů  $P = 0,0001$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je menší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné zamítnout nulovou hypotézu o shodnosti rozptylů.

T-test pro shodnost středních hodnot výchozího stavu a stavu v logistickém systému byl proveden na základě rozdílnosti jejich rozptylů.

Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

$H_0$ : Výběrová střední hodnota pro počet nedodání zákazníkovi ve výchozím stavu a stavu v logistickém systému je shodná.

$H_1$ : Výběrová střední hodnota pro počet nedodání zákazníkovi ve výchozím stavu a stavu v logistickém systému není shodná.

Hladina dosažené statistické významnosti pro oboustranný test  $P(2) = 0,49$ . Je zřejmé, že dosažená hodnota signifikance je podstatně větší než stanovená hladina 0,05, je tedy oprávněné nezamítnout nulovou hypotézu.

<sup>22</sup> Autor

**Závěr testování:** Nezamítáme nulovou hypotézu

Dvouvýběrovým  $t$ -testem bylo prokázáno, že **množství nedodání zákazníkovi v logistickém systému je statisticky shodné s množstvím ve výchozím stavu**. U tohoto kritéria tedy v logistickém systému nedošlo ke zlepšení. Průměrná hodnota ve výchozím stavu je 7,14 zastavení linek na milion výrobků. Průměrná hodnota v logistickém systému je 7,45 zastavení linek na milion výrobků.

## 6.2 OVĚŘENÍ HYPOTÉZ

1.  $H_0$ : Prostřednictvím modelu pro stanovení optimální výrobní dávky lze prokazatelně snížit vnitropodnikové náklady
2.  $H_0$ : Existuje závislost mezi velikostí výrobní dávky a potřebným počtem zdrojů logistické manipulace (počet zaměstnanců, manipulační technika...)

### 6.2.1 Hypotéza 1

Hypotéza „*Prostřednictvím modelu stanovení optimální výrobní dávky lze prokazatelně snížit vnitropodnikové náklady*“ byla ověřena porovnáním nákladové funkce  $Z$  pro velikost výrobních dávek používaných před aplikací logistického systému a nákladové funkce  $Z$  v bodě svého minima, tj. v optimální matici velikostí výrobních dávek jednotlivých produktů do matematického vyjádření nákladové funkce.



Tabulka 8: Matice výrobních dávek produktů – porovnání nákladů <sup>23</sup>

| Výrobek | výrobní<br>dávka výchozí<br>(kusy) | výrobní<br>dávka optimální<br>(kusy) | náklady<br>výchozí celkem<br>[Kč] | náklady<br>optimální<br>celkem [Kč] |
|---------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| A       | 893                                | 1118                                 | 9 179                             | 8 993                               |
| B       | 840                                | 2469                                 | 32 846                            | 22 730                              |
| C       | 893                                | 796                                  | 4 791                             | 4 763                               |
| D       | 893                                | 964                                  | 5 619                             | 5 605                               |
| E       | 893                                | 1756                                 | 15 283                            | 12 900                              |
| F       | 893                                | 1853                                 | 15 503                            | 12 728                              |
| G       | 808                                | 2837                                 | 33 383                            | 20 309                              |
| H       | 809                                | 3173                                 | 41 682                            | 23 794                              |
| I       | 739                                | 2159                                 | 21 635                            | 14 663                              |
| J       | 808                                | 3188                                 | 42 269                            | 24 286                              |
| K       | 766                                | 1429                                 | 12 397                            | 10 671                              |
| L       | 766                                | 2938                                 | 30 188                            | 29 894                              |
| M       | 766                                | 520                                  | 4 132                             | 3 866                               |
| N       | 766                                | 1480                                 | 12 433                            | 10 515                              |
| O       | 757                                | 3174                                 | 49 117                            | 27 396                              |
| P       | 793                                | 1308                                 | 9 215                             | 8 331                               |
| Q       | 3725                               | 2802                                 | 8 818                             | 8 520                               |
| E       | 1714                               | 926                                  | 4 216                             | 3 564                               |
| R       | 1714                               | 2306                                 | 11 233                            | 10 847                              |
| S       | 3988                               | 1616                                 | 5 266                             | 3 756                               |
| T       | 1714                               | 1377                                 | 5 059                             | 4 957                               |
| U       | 3725                               | 4075                                 | 14 345                            | 14 303                              |
| V       | 1714                               | 1277                                 | 5 588                             | 5 375                               |
| W       | 1714                               | 3281                                 | 19 242                            | 16 521                              |
| X       | 3331                               | 10657                                | 8 037                             | 4 822                               |
| Y       | 1714                               | 4269                                 | 24 901                            | 18 772                              |
| Z       | 3725                               | 1786                                 | 5 795                             | 4 610                               |
| AA      | 1714                               | 5280                                 | 25 063                            | 16 471                              |
| AB      | 1714                               | 2273                                 | 6 442                             | 6 230                               |
|         |                                    |                                      | <b>483 679</b>                    | <b>360 194</b>                      |

Srovnáním sumy hodnot nákladové funkce **Z** před aplikací logistického modelu

<sup>23</sup> Autor

a po aplikaci logistického modelu nezamítáme Hypotézu  $H_0$ : Prostřednictvím modelu pro stanovení optimální výrobní dávky lze snížit vnitropodnikové náklady.

Nákladovou úsporu logistického modelu lze tedy na základě výše uvedených dat kvantifikovat. Kvantifikačním nástrojem pro vyčíslení úspory je nákladová funkce. Nákladová funkce s navrženou parametrizací kvantifikuje velikost nákladové úspory navrženého logistického modelu 25%. Parametry nákladové funkce lze měnit dle charakteru výrobního závodu, přičemž její jednotlivé složky lze považovat za univerzálně platné a neměnné. Nákladová funkce je tedy obecně použitelnou funkcí pro prostředí opakované výroby a umožňuje hledání matice optimálních výrobních dávek produktového mixu ve svém definičním oboru. Dle firemního prostředí (hodnota pracovní plochy, nástrojů, zásob a lidské práce) lze měnit parametry nákladové funkce a přizpůsobit jí konkrétnímu výrobnímu prostředí.

Toto tvrzení lze posílit i výsledky dílčích hypotéz LKPI provedených výše. Testované LKPI mají přímý vztah k vnitropodnikovým nákladům i k potřebným zdrojům vnitropodnikové logistiky.

### 6.2.2 Hypotéza 2

Nulová hypotéza „Existuje závislost mezi velikostí výrobní dávky a potřebným počtem zdrojů logistické manipulace (počet zaměstnanců, manipulační technika...)“ byla ověřena analýzou údajů nasbíraných od ledna 2008 až do prosince 2012 o počtu logistických manipulací v závislosti na počtu přestaveb výrobních linek. Existuje totiž vzájemná závislost mezi počtem přestaveb výrobních linek a velikostí výrobní dávky. Tyto dva jevy jsou vůči sobě nepřímo úměrné. Tzn. čím větší je výrobní dávka, tím menší je celkový počet přestaveb za sledované období.

**Tabulka 9:** Počet logistických manipulací za 1 týden.<sup>24</sup>

| Ukazatele pro 1 linku                             | 2008        | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|-------------|------|------|------|------|
| Průměrný počet přestaveb za 1 týden               | 10          | 9    | 9    | 7    | 3    |
| Průměrný počet logistických manipulací za 1 týden | 41          | 34   | 31   | 28   | 20   |
| Index determinace                                 | <b>0,93</b> |      |      |      |      |
| Koeficient korelace                               | <b>0,97</b> |      |      |      |      |

<sup>24</sup> Autor

Tabulka 10: Počet přestaveb na 1 linku za 1 týden a počet logistických manipulací<sup>25</sup>

| Ukazatele pro 1 linku                              | VÝCHOZÍ STAV |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    | LOGISTICKÝ SYSTÉM |    |    |    |      |    |    |    |
|--|--------------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|-------------------|----|----|----|------|----|----|----|
|  | 2008         |    |    |    | 2009 |    |    |    | 2010 |    |    |    | 2011              |    |    |    | 2012 |    |    |    |
|  | Q1           | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 | Q1                | Q2 | Q3 | Q4 | Q1   | Q2 | Q3 | Q4 |
| Prům. počet přestaveb na 1 linku za týden (A)      | 3            | 2  | 3  | 3  | 2    | 4  | 3  | 2  | 3    | 3  | 3  | 3  | 2                 | 1  | 2  | 2  | 1    | 2  | 1  | 1  |
| Prům. počet logistických manipulací za 1 týden (B) | 21           | 17 | 20 | 23 | 17   | 25 | 21 | 18 | 21   | 23 | 20 | 23 | 18                | 13 | 18 | 17 | 11   | 17 | 11 | 13 |
| Index determinace (A;B)                            | 0,90         |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    | 0,96              |    |    |    |      |    |    |    |
| Koeficient korelace (A;B)                          | 0,95         |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    | 0,98              |    |    |    |      |    |    |    |

Hodnota indexu determinace výchozího stavu i stavu v logistickém systému  $R^2$  ( $\Rightarrow$  koeficient korelace  $> 0,9$ ) pro počet přestaveb a počet logistických manipulací za stejné období ukazuje na vysoký stupeň přímé vzájemné vazby mezi počtem přestaveb a počtem logistických manipulací. Existuje tedy silná nepřímá vzájemná vazba mezi velikostí výrobní dávky a počtem logistických manipulací. Nulovou hypotézu tedy nezamítáme. Menší počet logistických manipulací a jejich rozmělnění (vybalancování) vhodnou výrobní šablonou (s nepřekrývajícími se přestavbami ve stejném čase) v logistickém systému vyžaduje menší počet logistických zdrojů (zaměstnanců, manipulační techniky).

Na základě pozorování výše lze empiricky odvodit přibližný vzorec závislosti počtu manipulací na počtu přestaveb:

$$P = 12 \cdot \sqrt{X}$$

Kde

P je počet manipulací,

X je počet přestaveb

---

<sup>25</sup> Autor

## 7. TEORETICKÉ A PRAKTICKÉ PŘÍNOSY NAVRŽENÉ METODIKY A SYSTÉMU

Oblast vnitropodnikové logistiky, která je v disertační práci zpracována je jednou z klíčových oblastí výrobního podniku v podmínkách opakované výroby nejenom v automobilovém průmyslu. Úkolem výrobní logistiky je plánovat a optimalizovat velikost výrobních dávek a toky výrobků za maximálního využití dostupných zdrojů a minimalizace souvisejících nákladů

Výrobní logistika (vnitropodniková logistika) musí v současnosti nabízet současně spolehlivost, stabilitu, flexibilitu. Maximalizace každého jednoho z těchto tří faktorů současně není matematicky možná neboť růst faktoru spolehlivosti a stability bude v praxi nejspíš vykoupen poklesem faktoru flexibility.

Disertační práce se ve své první části zabývá teoretickými poznatky k výše zmíněné problematice. Využívá přitom poznatků české i zahraniční literatury a poznatků nabytých autorem v praxi, ze kterých pro autora vyplývá, že velikost výrobní dávky v systému tahu v kombinaci s časově vyváženými výrobními objemy společně s efektivní interní logistikou jsou oblasti, které ve stávající praxi často fungují na bázi intuice či jednoduchých výpočtů a v odborné literatuře není dostatečná vazba mezi těmito kategoriemi ani vhodný a v praxi snadno použitelný model výpočtu velikosti výrobní dávky. To vedlo autora k potřebě vytvoření generalizovaného systému interní logistiky, jehož úkolem je nalézt ekonomickou rovnováhu mezi spolehlivostí, stabilitou a flexibilitou v bodě nejmenších nákladů (faktor rentability), což je i cílem disertační práce.

Z hlediska analýzy výchozího stavu je klíčovou metodou Paretova analýza a Ishikawův diagram, důraz je kladen rovněž na metodu PDCA pro zajištění nezbytných regulačních a korektivních zásahů do logistického systému. Z hlediska vyhodnocení finálního stavu v aplikovaném logistickém systému je klíčovou metodou statistický F - test shody středních hodnot dvou výběrů a korelační analýza.

V rámci analýzy výchozího stavu interní logistiky ve společnosti JTEKT Automotive byly nejprve definovány klíčové ukazatele vnitropodnikové logistiky, které jsou nezbytným základem pro hodnocení její efektivity a kvality v čase, jmenovitě produktivita práce vnitropodnikové logistiky. Výchozí stav vnitropodnikové logistiky byl popsán sledovanými hodnotami těchto ukazatelů v období od ledna 2008 do prosince 2010. Dále bylo popsáno hledání klíčových problémů vnitropodnikové logistiky. Aplikací Paretovy analýzy byly vymezeny klíčové faktory přispívající k 80% všech problémů interní logistiky, jmenovitě nedostatek výrobků, nedostupná manipulační technika a přetížení lidských zdrojů. Tyto tři klíčové faktory se ukázaly být dle informací autorovi dostupných z jiných závodů opakované výroby obecně klíčové pro mnoho výrobních závodů opakované výroby. Tyto tři hlavní faktory byly následně

podrobeny Ishikawově analýze (Ishikavův diagram), ze které vzešly prapříčiny těchto tří faktorů. Klíčovou prapříčinou nedostatku výrobků se ukázala být velikost výrobní dávky. Klíčovou prapříčinou nedostupnosti manipulační techniky se ukázalo být sdílení ve stejném čase. Klíčovou prapříčinou pro přetížení lidských zdrojů v interní logistice se ukázala být nevhodná velikost obalové jednotky.

Metodě stanovení velikosti optimální výrobní dávky a její matematické formulaci a praktickému výpočtu je v disertační práci věnována největší pozornost. Hledání optimální funkce probíhá v účelové funkci nákladového typu. Znamená to, že veškeré důsledky velikosti výrobní dávky byly kvantifikovány do nákladové podoby a suma těchto dílčí prvků pak vytvoří nákladovou funkci s jednou proměnnou, kterou je velikost výrobní dávky. K této účelové funkci jsou definována praktická omezení (omezující podmínky), zbývající kapacita linky s ohledem na minimální nutný čistý výrobní čas ke splnění plánu. S ohledem na charakter nákladové funkce a mírnou proměnlivost poptávky se jedná o dynamický deterministický model zásob.

Faktor nedostupnosti manipulační techniky je s ohledem na prapříčinu řešen vhodnou distribucí přestaveb výrobních linek tak, aby žádné dvě nebo více přestaveb nenastávaly ve stejném čase. Faktor nedostatku výrobků je s ohledem na prapříčinu řešen optimalizací velikosti interní obalové jednotky metodou vícekritériálního porovnávání variant, přičemž jednotlivá dílčí ohodnocení v rámci každé varianty berou v úvahu minimální hodnotu velikosti výrobní dávky předcházejícího a následujícího procesu.

Pro zajištění konzistence a stability logistického systému byly definovány základní principy, nazvané provozními podmínkami, které je nezbytné zavést a dodržovat pro zajištění konzistentního chování celého systému, jmenovitě jde o tyto podmínky – standardizace, 5S a vizualizace.

Pro řízení a regulaci systému je navrhována systémová integrace a zavedení manažerského informačního systému a managementu znalostí. Regulace systému by měla fungovat vždy na bázi metody PDCA.

Vyhodnocení klíčových logistických indikátorů (LKPI) výchozího stavu a stavu v logistickém systému využitím statistického t-testu pro výběrové střední hodnoty výchozího stavu a stavu v logistickém systému došlo k zamítnutím nulových hypotéz o shodě středních hodnot LKPI výchozího stavu a stavu v logistickém systému. Společně s metodou indexu determinace mohly být potvrzeny obě hlavní hypotézy disertační práce, čímž byl dokázán praktický ekonomický i kvalitativní přínos navrženého logistického systému.

Logistický systém navržený v disertační práci je definován tak, aby byl použitelný v podmínkách jakéhokoli výrobního podniku provozujícím opakovanou výrobu. Jádro logistického systému spočívající ve výpočtu optimální výrobní dávky je důkladně

popsáno matematickou funkcí. Pro snadnou aplikaci navržené metody výpočtu optimální výrobní dávky je vytvořen výpočetní mechanismus v aplikaci MS Excel prostřednictvím řešitelského modulu. Dostupnost a aplikace MS Excel ve spojení s její oblíbeností ve výrobních podnicích dává velkou možnost aplikace této navrhované metody v praxi a vzhledem ke snadné změně parametrů matematického modelu nákladové funkce dle potřeb/nákladových preferencí konkrétního výrobního podniku umožňuje přenést celý logistický systém do libovolného podniku opakované výroby.

Hlavním přínosem pro rozvoj vědní disciplíny v praxi je funkční propojení analytických přístupů vědní teorie s praxí. Vhodným použitím Paretovy analýzy a Ishikawova diagramu lze v praxi spolehlivě identifikovat hlavní problémy vnitropodnikové logistiky a poskytnout tak zpětnou vazbu z praxe vnitropodnikové logistiky do teorie vnitropodnikové logistiky.

Zpětnou vazbou z praxe výrobní logistiky do teorie výrobní logistiky je především absence nástroje pro stanovení a výpočet optimální výrobní dávky v opakované výrobě. Aplikací matematického aparátu a teorie vnitropodnikové ekonomiky byl vytvořen praktický nástroj pro výpočet a řízení výrobních dávek.

## ZÁVĚR

Vytyčené cíle disertační práce byly dle názoru předkladatele naplněny a s ohledem na charakter řešené problematiky a její platnost pro široké spektrum výrobních závodů opakované výroby jsou závěry a principy logistického systému platné nejen pro vlastní společnost JTEKT Automotive, ve které byl systém vyvinut a verifikován, ale lze je implementovat v libovolném závodě opakované výroby. Praktické využití logistického systému posiluje možnost parametrizace logistického systému a zároveň vytvořený výpočetní aparát v aplikaci Microsoft Excel pro optimální velikost výrobní dávky. Pro rychlou a spolehlivou aplikaci navrhovaného logistického systému do praxe je vhodné využít metodu Critical Chain

S ohledem na popsané klíčové problémy vnitropodnikové logistiky je integrovaný systém interní logistiky zaměřený současně na:

1. optimalizaci výrobních dávek přes minimalizační nelineární nákladovou funkci,
2. optimalizaci logistických jednotek, manipulačních frekvencí a toků,
3. minimalizaci potřebných zdrojů (pracovníci, stroje, prostor).

Jednotlivé základní faktory systému vytvořily stabilní základnu pro dosažení optimálního a regulovaného logistického toku na bázi pevně definovaných výrobních dávek, skladové politiky a vyvážených procesů. Dosažené výsledky jsou převedeny do číselných ukazatelů, které prokazují dosažení vysoké kvality a nákladových úspor.

Důležitým přínosem jsou rovněž navržené klíčové ukazatele (LKPI) pro vnitropodnikovou logistiku, jejich sledováním bude možné měřit účinnost logistického systému pro konkrétní prostředí výrobního závodu opakované výroby a umožnit tak kontinuální zlepšování procesů.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLADIMÍR, Lukšů. Logistika 1. Praha : VŠE, Fakulta managementu, 2001. ISBN 80-245-0166-X
- [2] Výrobní Logistika [online]. 1998, [cit. 2010-12-09]..  
Dostupné z <http://www.dubravec.cz/dubravecovi/cl000002.htm#a14>
- [3] TOMEK G. ;VÁVROVÁ V. Řízení výroby. 2. rozšíř. a doplněné vyd. Praha: Grada Publishing a.s.Praha 2000. 408 s. ISBN 80-7169-955-1.
- [4] Imai, M. Kaizen. Brno: Computer press, 2004,, ISBN 80-251-0461-3
- [5] Imai, M. Gemba kaizen. Brno: Computer press, 2005, ISBN 80-251-0850-3
- [6] Womack ,J.P., Jones, D.T. Lean thinking. London: Simon&Schuester, , 2003, ISBN 0-7432-3164-3
- [7] Goldsby, T., Martichenko, R. Lean six sigma, Boca Raton: J.Ross Publishing, 2005, ISBN 1-932159-36-3
- [8] Horáková, H., Kubát, J. Řízení zásob. 3. upravené vyd. Praha: Profess, 1999. ISBN 80-85235-55-2
- [9] Pernica, P. Logistika pro 21. Století. 1. vydání. Praha: RADIX s r.o., 2005. ISBN 80-86031-59-4
- [10] ŠILER, Jiří. Odbornecasopisy [online]. 2001 [cit. 2010-12-09]. Výrobní logistika v systémech aplikačního softwaru.  
Dostupné z <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au040141.pdf>
- [11] Frontstep. Plánování-Syteline 7, školící materiál ERP systému SyteLine7,..Fontstep Inc, 2002.
- [12] Muckstadt, J.,Sapra, A. Principles of inventory management. Springer, New York, 2010, ISBN 978-0-387-24492-1
- [13] Wikipedia [online]. 2013, [cit. 2013-06-09]..  
Dostupné z [http://en.wikipedia.org/wiki/Bellman\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Bellman_equation)
- [14] Wikipedia [online]. 2013, [cit. 2013-06-09]..  
Dostupné z [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_lot-size\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_lot-size_model)
- [15] Wikipedia [online]. 2013, [cit. 2013-06-09]..  
Dostupné z [http://en.wikipedia.org/wiki/Silver%E2%80%93Meal\\_heuristic](http://en.wikipedia.org/wiki/Silver%E2%80%93Meal_heuristic)
- [16] Tkáč, M. Štatistické riadenie kvality, studijní text ke kurzu Six sigma, Košice, 2005
- [17] Liker, J.K, Meier, D.P.: Toyota Talent. New York: MacGraw-Hill, 2007, ISBN 978-0-07-147745-1
- [18] Vojtišek, J. Strategické řízení informačního systému a systémová integrace. Praha: Management press, 1999, ISBN 80-85943-40-9



- [19] Průša, P. Logistický management a jeho nástroje. In Aktuální problémy v dopravě 2007 - Sborník příspěvků. Pardubice : Institut Jana Pernera, o.p.s., 2007, s. 95-98. ISBN 80-86530-38-8.
- [20] Collinson, C., Parcel, G. Knowledge management. Brno: Computer press, 2005, ISBN 80-251-0760-4
- [21] Fabian, F., Kluiber, Z.: Metoda Monte Carlo. Praha: Prospektrum, 1998, ISBN 80-7175-058-1
- [22] Armstrong, S., Mitchel, B. The Essentials HR handbook. Franklin Lakes: The Career press, , 2008, ISBN 978-1-56414-990-9
- [23] Asay.D. Identifying waste on the shopfloor. New York: Productivity press, 2003, ISBN 1-56327-287-3
- [24] Kymal, C. The ISO/TS 16949 Implementation guide. Chico CA: Paton press LLC, 2004, , ISBN 1-932828-01-X
- [25] Fajmon B., Kolářek J. Pravděpodobnost, statistika a operační výzkum, VUT Brno: Fakulta elektroniky a komunikačních technologií, 2005, 80-7231-139-5
- [26] Humphries, M., Hawkins, M., Dy, M. Data warehousing, návrh a implementace. Praha: Computer Press, 2002. ISBN 80-7226-560-1
- [27] Basl, J. Podnikové informační systémy. Praha: Grada Publishing, 2000. ISBN 80-247-0214-2
- [28] Průša, P., Hruška, R., Savage, C. Podnikový informační systém. In Aktuální problémy v dopravě 2007 - Sborník příspěvků. Pardubice : Institut Jana Pernera, o.p.s., 2007, s. 103-107. ISBN 80-86530-38-8.
- [29] Gates, B. Business rychlostí myšlenky. Praha: Management Press, 2000. ISBN 80-85943-97-2
- [30] Palmer, S., Weaver, M. Úloha informací v manažerském rozhodování. Praha: Grada Publishing, 2000, ISBN 80-7169-940-3
- [31] Horáková, H., Kubát, J. Řízení zásob. Logistické pojetí, metody, aplikace, praktické úlohy. 3. upravené vydání, Praha: Profess Consulting s.r.o., 1998. ISBN 80-85235-55-2
- [32] Pernica, P. Logistický management. Praha: RADIX, 1998. ISBN 80-86031-13-6
- [33] Maňas M. a kol.: Matematické metody v ekonomice, kap.6. Praha, SNTL, 192 s. ISBN 80-7079-157-8
- [34] Výrobní Logistika [online]. 1998, [cit. 2010-12-09].. Dostupné z <<http://www.dubravec.cz/dubravcovi/cl000002.htm#a14>>

## SEZNAM VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

- [1] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D. Logistics Continuous Improvement System. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty, 2007, č. 12 (2006), s. 143-149.
- [2] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D. Possibilities of Logistics Policy Improvement. Promet, 2009, roč. 21, č. 21, s. 123-127.
- [3] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D. Inventory Optimization in Repetitive Manufacturing. Machines, Technologies, Materials, 2009, roč. 11-12, č. 11-12, s. 43-45.
- [4] TILKERIDIS, DT. The RFID shows the way to the modern logistics. In Perner's Contact 2004. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2004, s. 765-775. ISBN 80-7194-633-8.
- [5] FREIMANN, F., KAMPF, R., TILKERIDIS, D. Analysis of Approach to Traffic Infrastructure Development. In Železnice jako součást integrovaného dopravního systému. Praha : ČVUT Dopravní fakulta, 2004, s. 24-25. ISBN 80-01-02988-3.
- [6] MELICHAR, V., ŠARADÍN, P., TILKERIDIS, D. Significance and Evaluation of Transportation Role for Regional Development. In Translog 2004. Szczecin : Fundacja na rzecz Uniwersytetu Szczecińskiego, 2004, s. 205-210. ISBN 83-89142-32-5.
- [7] MELICHAR, V., TILKERIDIS, D. Význam a základní aspekty modelování dopravní poptávky. In Manažment v železničnej doprave. Žilina : Žilinská univerzita, 2004, s. 104-111. ISBN 80-8070-297-7.
- [8] MELICHAR, V., TILKERIDIS, D. Přístupy k modelování dopravní poptávky v osobní dopravě. In Faktory trvale udržitelné mobility a přístupnosti k dopravním službám. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2004, s. 114-131. ISBN 80-7194-713-X.
- [9] MELICHAR, V., TILKERIDIS, D. Cenotvorba přístupu k dopravní infrastruktuře z pohledu udržitelné dopravy. In Železnice jako součást integrovaného dopravního systému. Praha : ČVUT Praha, Fakulta dopravní, 2004, s. 101-105. ISBN 80-01-02988-3.
- [10] MELICHAR, V., TILKERIDIS, D. Factors of Transportation Business Development of the Czech Railways, Point Stock Company. Zborník 12. Medzinárodného sympózia ŽEL 2005 ? Železnice na prahu tretieho tisícročia, ?Na ceste k Evropskej železnici ? harmonizácia a IDS?. 2005.
- [11] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D. Practical Aspects of JIT. In Proceeding of the Fourth International Scientific Conference "Challengtes in Transport and Communication". Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006, s. 113-118. ISBN 80-7194-880-2.

- [12] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D., KAMPF, R. Practical Aspects of JIT. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty, 2005, č. 11(2005), s. 101-108.
- [13] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D. Outsourcing of Returnable Packaging. In Outsourcing dopravně-logistických procesů 2006 : sborník příspěvků. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006, s. 83-86. ISBN 80-7194-921-3.
- [14] KUDLÁČKOVÁ, N., CHLAŇ, A., TILKERIDIS, D. Management kvality integrovaných a intermodálních dopravních systémů. In Sborník příspěvků z mezinárodní konference IMEA 2006. Hradec Králové : Gaudeamus, 2006, s. 336-341. ISBN 80-7041-164-3.
- [15] TILKERIDIS, D.: Quality management of integrated and intermodal transport systems. KVALITA 04', str: 209-217. ISBN 80-7194-675-3
- [16] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D.: Systém výrobní logistiky. Aktuální trendy v dopravě a ekonomice 2013, Virtuální konference, Pardubice, 2013, v tisku. ISBN 978-80-86530-90-1

## SEZNAM PŘÍLOH

|  |    |
|--|----|
| PŘÍLOHA 1: OPTIMALIZACE VÝROBNÍ DÁVKY V MICROSOFT EXCEL.....   | 85 |
| PŘÍLOHA 2: ASPEKTY A EFEKT OPTIMALIZACE OBALOVÉ JEDNOTKY ..... | 86 |
| PŘÍLOHA 3: TRASY VNITROPODNIKOVÉ LOGISTIKY .....               | 88 |

# Priloha 1: Optimalizace výrobní dávky v Microsoft Excel

## VÝPOČET OPTIMÁLNÍ VÝROBNÍ DÁVKY

| Parametr       | OPTIMALIZACE |    |     |       |       |       |       |      |      |      | MINIMALIZACE |      |       |       |       |      |      |      |       |      |      |    |    |    |    |    |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |
|----------------|--------------|----|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|----|----|----|----|----|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                | a            | b  | c   | d     | e     | f     | g     | h    | i    | j    | k            | l    | m     | n     | o     | p    | q    | r    | s     | t    | u    | v  | w  | x  | y  | z  |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |
| <b>Výrobek</b> |              |    |     |       |       |       |       |      |      |      |              |      |       |       |       |      |      |      |       |      |      |    |    |    |    |    |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |
| A              | 60           | 48 | 85% | 111   | 104,7 | 6     | 111,6 | 10,0 | 0,14 | 6,0  | 6,0          | 2,0  | 222   | 108   | 29000 | 500  | 2935 | 0,1  | 6700  | 697  | 281  | 30 | 2  | 0  | 20 | 4  | 75    | 0,008 | 10    | 120   | 1098 | 0    | 4216  | 8503  |       |       |
| B              | 60           | 48 | 85% | 489,7 | 14    | 240,9 | 5,0   | 0,20 | 11,9 | 2,0  | 979          | 108  | 30000 | 500   | 6050  | 0,2  | 6700 | 1329 | 221,4 | 50   | 2    | 0  | 20 | 2  | 0  | 20 | 11    | 21,3  | 0,008 | 10    | 120  | 3184 | 0     | 11956 | 22724 |       |
| C              | 60           | 48 | 85% | 44    | 41,4  | 4     | 798   | 18,1 | 0,08 | 3,3  | 2,0          | 88   | 108   | 31000 | 500   | 1741 | 0,1  | 6700 | 378   | 488  | 80   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 2     | 39    | 0,006 | 10   | 120  | 4028  | 0     | 2187  | 4703  |
| D              | 60           | 48 | 85% | 71    | 67,2  | 5     | 964   | 13,5 | 0,07 | 4,4  | 2,0          | 143  | 108   | 25000 | 500   | 1890 | 0,1  | 6700 | 498   | 652  | 50   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 3     | 69    | 0,006 | 10   | 120  | 5388  | 0     | 2823  | 6029  |
| E              | 60           | 48 | 85% | 230   | 216,0 | 9     | 1759  | 7,7  | 0,13 | 7,8  | 2,0          | 459  | 108   | 30000 | 500   | 3985 | 0,1  | 6700 | 978   | 1337 | 50   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 128   | 0,007 | 10   | 120  | 1432  | 0     | 6418  | 12905 |
| F              | 60           | 48 | 85% | 240   | 225,9 | 10    | 1853  | 7,7  | 0,13 | 7,8  | 2,0          | 489  | 108   | 30000 | 500   | 3981 | 0,1  | 6700 | 988   | 1333 | 60   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 113   | 0,007 | 10   | 120  | 1408  | 0     | 6326  | 12729 |
| G              | 60           | 48 | 85% | 240   | 225,9 | 10    | 1853  | 7,7  | 0,13 | 7,8  | 2,0          | 489  | 108   | 30000 | 500   | 3981 | 0,1  | 6700 | 988   | 1333 | 60   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 113   | 0,007 | 10   | 120  | 1408  | 0     | 6326  | 12729 |
| H              | 60           | 48 | 85% | 240   | 225,9 | 10    | 1853  | 7,7  | 0,13 | 7,8  | 2,0          | 489  | 108   | 30000 | 500   | 3981 | 0,1  | 6700 | 988   | 1333 | 60   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 113   | 0,007 | 10   | 120  | 1408  | 0     | 6326  | 12729 |
| I              | 60           | 48 | 85% | 240   | 225,9 | 10    | 1853  | 7,7  | 0,13 | 7,8  | 2,0          | 489  | 108   | 30000 | 500   | 3981 | 0,1  | 6700 | 988   | 1333 | 60   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 113   | 0,007 | 10   | 120  | 1408  | 0     | 6326  | 12729 |
| J              | 60           | 48 | 85% | 240   | 225,9 | 10    | 1853  | 7,7  | 0,13 | 7,8  | 2,0          | 489  | 108   | 30000 | 500   | 3981 | 0,1  | 6700 | 988   | 1333 | 60   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 113   | 0,007 | 10   | 120  | 1408  | 0     | 6326  | 12729 |
| K              | 60           | 48 | 85% | 310   | 282,5 | 14    | 2159  | 7,0  | 0,14 | 8,6  | 2,0          | 626  | 108   | 30000 | 500   | 4490 | 0,1  | 6700 | 1127  | 1513 | 50   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 0     | 129   | 0,008 | 10   | 120  | 1767  | 0     | 7380  | 14426 |
| L              | 60           | 48 | 85% | 700   | 272,5 | 20    | 3199  | 4,6  | 0,22 | 13,2 | 2,0          | 1409 | 108   | 27000 | 500   | 6039 | 0,2  | 6700 | 1471  | 2044 | 200  | 2  | 1  | 20 | 2  | 0  | 20    | 7     | 144   | 0,008 | 10   | 120  | 3609  | 0     | 13024 | 24298 |
| M              | 60           | 48 | 85% | 154   | 168,7 | 8     | 1429  | 9,3  | 0,11 | 6,5  | 2,0          | 308  | 108   | 30000 | 500   | 3502 | 0,1  | 6700 | 727   | 1022 | 80   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 4     | 82    | 0,007 | 10   | 120  | 1152  | 0     | 5214  | 10677 |
| N              | 60           | 48 | 85% | 677   | 762,1 | 19    | 2939  | 4,3  | 0,23 | 13,8 | 2,0          | 1354 | 108   | 30000 | 500   | 7489 | 0,2  | 6700 | 1544  | 2092 | 80   | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 11    | 225   | 0,008 | 10   | 120  | 4544  | 0     | 16001 | 29844 |
| O              | 60           | 48 | 85% | 24    | 26,7  | 3     | 520   | 21,3 | 0,05 | 6,7  | 2,0          | 439  | 108   | 30000 | 500   | 1431 | 0,0  | 6700 | 314   | 399  | 80   | 2  | 0  | 20 | 1  | 20 | 1     | 25    | 0,006 | 10    | 120  | 3354 | 0     | 1781  | 3689  |       |
| P              | 60           | 48 | 85% | 165   | 180,9 | 9     | 1489  | 9,0  | 0,11 | 6,7  | 2,0          | 330  | 108   | 26000 | 500   | 3401 | 0,1  | 6700 | 747   | 1079 | 80   | 2  | 0  | 20 | 4  | 20 | 4     | 86    | 0,007 | 10    | 120  | 1148 | 0     | 5198  | 10515 |       |
| Q              | 60           | 48 | 85% | 759   | 842,9 | 22    | 3174  | 4,2  | 0,24 | 14,4 | 2,0          | 1529 | 108   | 26000 | 500   | 6486 | 0,2  | 6700 | 1695  | 2317 | 112  | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 7     | 133   | 0,009 | 10   | 120  | 4296  | 0     | 14822 | 27739 |
| R              | 60           | 48 | 85% | 300   | 376,6 | 4     | 2802  | 9,3  | 0,11 | 6,4  | 2,0          | 629  | 108   | 24000 | 500   | 2624 | 0,1  | 6700 | 717   | 1031 | 200  | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 2     | 48    | 0,007 | 10   | 120  | 533   | 0     | 4026  | 8533  |
| S              | 60           | 48 | 85% | 198   | 198   | 6     | 1726  | 2,9  | 0,19 | 6,8  | 2,0          | 339  | 108   | 30000 | 500   | 3136 | 0,0  | 6700 | 298   | 374  | 130  | 2  | 0  | 20 | 2  | 0  | 20    | 3     | 24    | 0,008 | 10   | 120  | 538   | 0     | 4026  | 8533  |
| T              | 60           | 48 | 85% | 177   | 177   | 2     | 1616  | 19,9 | 0,06 | 3,9  | 2,0          | 142  | 108   | 26000 | 500   | 1326 | 0,0  | 6700 | 338   | 432  | 500  | 2  | 0  | 20 | 0  | 20 | 0     | 8     | 0,008 | 10    | 120  | 1537 | 0     | 1768  | 3749  |       |
| U              | 60           | 48 | 85% | 81    | 38,7  | 4     | 1377  | 17,0 | 0,08 | 3,5  | 2,0          | 162  | 108   | 30000 | 500   | 1736 | 0,1  | 6700 | 384   | 652  | 200  | 2  | 0  | 20 | 1  | 20 | 1     | 26    | 0,006 | 10    | 120  | 415  | 0     | 2286  | 4627  |       |
| V              | 60           | 48 | 85% | 600   | 635,3 | 5     | 4075  | 6,8  | 0,16 | 8,8  | 2,0          | 1200 | 108   | 26000 | 500   | 4196 | 0,1  | 6700 | 986   | 1339 | 200  | 2  | 0  | 20 | 4  | 20 | 4     | 78    | 0,007 | 10    | 120  | 1758 | 0     | 7286  | 14205 |       |
| W              | 60           | 48 | 85% | 60    | 39,2  | 3     | 1277  | 16,0 | 0,09 | 3,8  | 2,0          | 160  | 108   | 30000 | 500   | 1811 | 0,1  | 6700 | 402   | 508  | 130  | 2  | 0  | 20 | 1  | 20 | 1     | 25    | 0,006 | 10    | 120  | 409  | 0     | 2016  | 5375  |       |
| X              | 60           | 48 | 85% | 520   | 254,9 | 8     | 3241  | 6,3  | 0,16 | 9,5  | 2,0          | 1040 | 108   | 30000 | 500   | 4836 | 0,2  | 6700 | 1085  | 1498 | 130  | 2  | 0  | 20 | 5  | 20 | 5     | 99    | 0,007 | 10    | 120  | 2093 | 0     | 8448  | 16522 |       |
| Y              | 60           | 48 | 85% | 640   | 161,4 | 14    | 1057  | 16,7 | 0,06 | 3,8  | 2,0          | 1290 | 11    | 29000 | 500   | 1772 | 0,1  | 6700 | 405   | 609  | 924  | 2  | 1  | 20 | 4  | 20 | 4     | 86    | 0,006 | 10    | 120  | 449  | 0     | 2181  | 4622  |       |
| Z              | 60           | 48 | 85% | 743   | 364,0 | 12    | 4099  | 5,8  | 0,17 | 10,4 | 2,0          | 1485 | 108   | 30000 | 500   | 5204 | 0,2  | 6700 | 1168  | 1621 | 1090 | 2  | 1  | 20 | 2  | 41 | 0,008 | 10    | 120   | 2488  | 0    | 9772 | 19772 |       |       |       |
| AA             | 60           | 48 | 85% | 100   | 22,5  | 2     | 1798  | 17,9 | 0,08 | 3,4  | 2,0          | 209  | 108   | 28000 | 500   | 1646 | 0,1  | 6700 | 375   | 473  | 130  | 2  | 0  | 20 | 2  | 48 | 0,008 | 10    | 120   | 417   | 0    | 2331 | 4610  |       |       |       |
| AB             | 60           | 48 | 85% | 831   | 467,3 | 9     | 3251  | 9,4  | 0,18 | 9,4  | 2,0          | 1029 | 108   | 30000 | 500   | 4820 | 0,2  | 6700 | 1084  | 1473 | 130  | 2  | 0  | 20 | 8  | 20 | 8     | 100   | 0,007 | 10    | 120  | 2093 | 0     | 8398  | 16571 |       |
| BA             | 60           | 48 | 85% | 108   | 198   | 7     | 1257  | 12,0 | 0,11 | 7,1  | 2,0          | 371  | 108   | 24000 | 500   | 1492 | 0,0  | 6700 | 384   | 488  | 100  | 2  | 0  | 20 | 1  | 20 | 1     | 26    | 0,006 | 10    | 120  | 4538 | 0     | 2286  | 4627  |       |

omezující podmínka = maximální možný počet přestaveb deměs s ohledem na min nutný čistý výrobní čas ke splnění

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| 1) Doba výroby (min)     | 7500 min |
| 2) Doba přepravy (min)   | 7257 min |
| 3) Doba čekání (min)     | 230 min  |
| 4) Doba zpracování (min) | 2,0 min  |
| 5) Doba přepravy (min)   | 13,4 min |

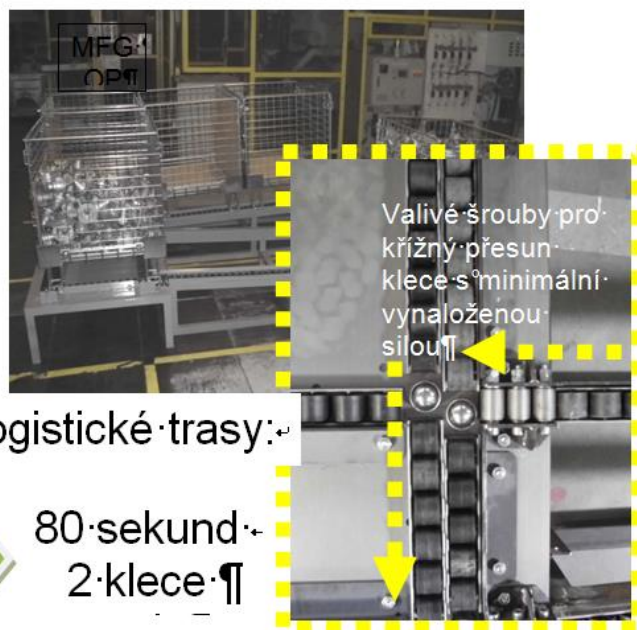
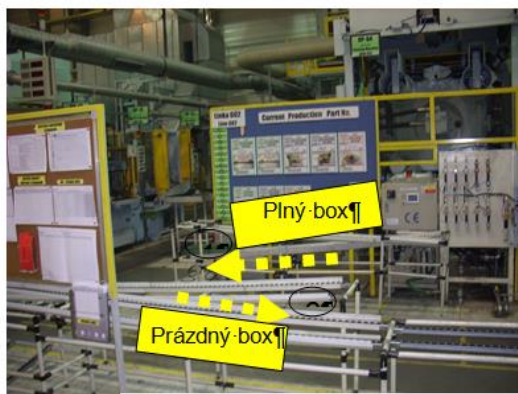
Parametry

## Příloha 2: Aspekty a efekt optimalizace obalové jednotky

Obrázek 2: Čas a úkon během logistické trasy před a po zlepšení

**PŘED ZMĚNOU** Ergonomická výška regálu

**PO ZMĚNĚ** Zachování ergonomie



Čas a úkon během logistické trasy:

120 sekund  
10 beden



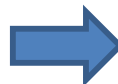
80 sekund  
2 klece

Zdroj: Autor

Obrázek 3: Efektivnější využití prostoru

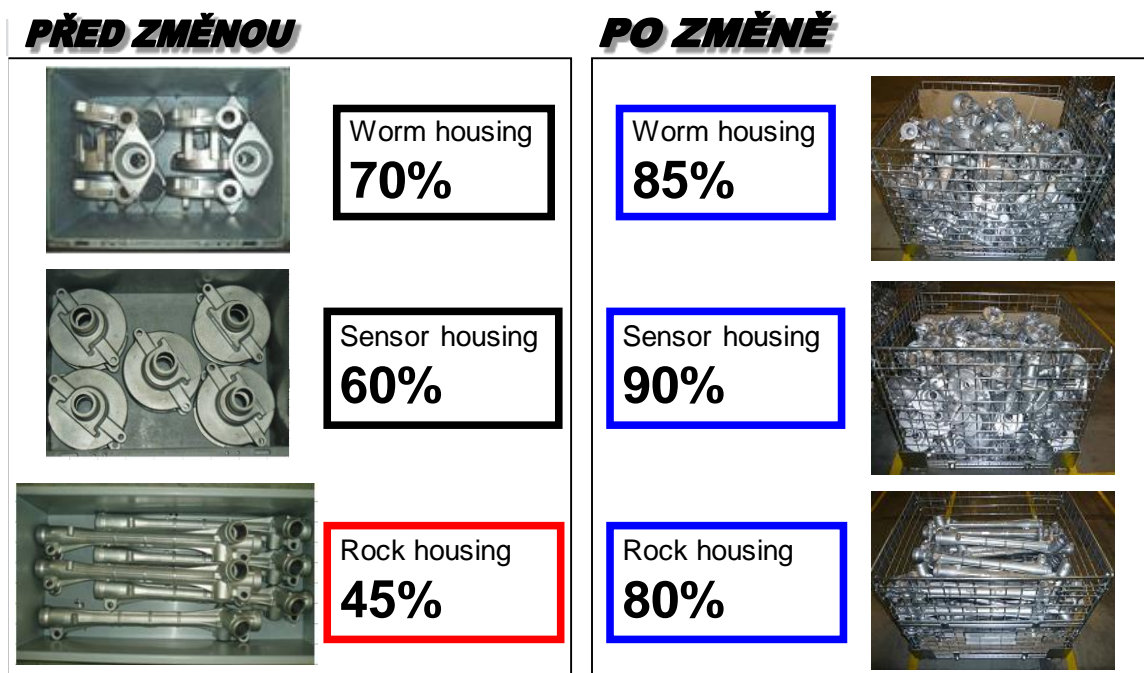


MALE VYUŽITÍ  
PROSTORU



VYUŽITÍ PROSTORU  
ZLEPŠENO O 60%

Zdroj: autor

**Obrázek 4: Zvýšení využití objemu obalové jednotky**

Zdroj Autor





