

UNIVERZITA PARDUBICE  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Agent sledování jakosti výroby  
Pavel Pokorný

Bakalářská práce  
2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Pokorný**  
Osobní číslo: **I09237**  
Studijní program: **B2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Agent sledování jakosti výroby**  
Zadávající katedra: **Katedra informačních technologií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce bude vytvoření aplikace pro sledování jakosti procesů k zajištění požadovaných znaků jakosti výrobku a ověření jejich způsobilosti.

Statistická regulace procesu spočívá ve statistickém vyhodnocení výstupu procesu pomocí vhodných výběrových charakteristik zvoleného znaku jakosti za účelem udržení požadované úrovně tohoto procesu.

Program Agent bude umožňovat komplexní analýzu sledovaných znaků jakosti.

Součástí programu bude vykreslování regulačních diagramů, výpočty indexů způsobilosti, výpočet odhadu počtu podílu zmetků ppm (part per Million), výpočet robustnosti výrobního procesu.

Implementovány budou oboustranné i jednostranné indexy způsobilosti a také Taguchiho index způsobilosti.

Pokud bude sledováno více znaků jakosti budou použity vícerozměrné indexy způsobilosti a Hotellingova statistika.

Dále je možné kvalitu výroby měřit pomocí ztrátové funkce. Ta je konstruována tak, že nevyžaduje předpoklad normality a ztráty za nekvalitu měří finančně.

Součástí programu bude i tento alternativní přístup podle Genichi Taguchiho umožňující měřit celkové náklady na jakost.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**\*Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y.: Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley. New Jersey. 2005**

**\*Tošenovský, J. - Noskiewičová, D.: Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava. Montanex. 2000.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Jaroslav Marek, Ph.D.**

Katedra matematiky a fyziky

Datum zadání bakalářské práce:

**21. prosince 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce:

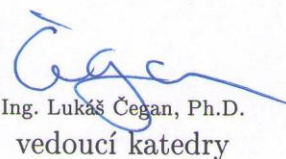
**10. května 2013**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Lukáš Čegan, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. března 2013

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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 o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 6. 5. 2013

Pavel Pokorný

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Mgr. Jaroslavu Markovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, ochotu a věnovaný čas.

## **Anotace**

Cílem této práce je vytvoření aplikace pro sledování jakosti procesů. Tento program umožňuje komplexní analýzu procesů. Na základě statistických a grafických metod tyto procesy zefektivňuje a to především pomocí zvýšení jakosti výrobků a zároveň snížením nákladů na jejich výrobu.

## **Klíčová slova**

analýza způsobilosti, indexy způsobilosti, jakost, náklady na jakost, ztrátová funkce, Java

## **Title**

Agent monitoring quality of production

## **Annotation**

The aim of this work is to create an application for monitoring quality processes. This program provides a comprehensive analysis of processes. Based on statistical and graphical methods these processes render more effective with increasing product quality while reducing the cost of their production.

## **Keywords**

analysis of the eligibility, capability index, quality, quality engineering, quality cost, loss function

# Obsah

<b>Seznam zkratek</b> .....	<b>8</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>9</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Vymezení pojmů</b> .....	<b>11</b>
1.1 Jakost .....	11
1.2 Důležitost jakosti ve výrobě .....	11
1.2.1 Jakost jako prvek zajišťující trvalý ekonomický růst .....	12
1.2.2 Ochrana před ztrátou trhů .....	13
1.2.3 Úspora energií a materiálů.....	13
<b>2 Analýza způsobilosti</b> .....	<b>14</b>
2.1 Cíle hodnocení způsobilosti.....	14
2.2 Indexy způsobilosti.....	14
2.2.1 Index $C_p$ .....	15
2.2.2 Index $C_{pk}$ .....	15
2.2.3 Index $C_{pm}$ .....	16
2.3 Odhad podílů zmetků .....	16
2.4 Robustnost procesu.....	17
2.5 Grafické nástroje zlepšování kvality .....	17
2.5.1 Histogram .....	18
2.5.2 Graf distribuční funkce, testy šikmosti a špičatosti.....	19
2.5.3 Regulační diagram.....	20
<b>3 Ztrátová funkce</b> .....	<b>21</b>
3.1 Rozdílné typy tolerance .....	22
3.1.1 Typ N-tolerance (nominal) .....	22
3.1.2 Typ S-tolerance (smaller) .....	23
3.1.3 Typ L-tolerance (larger) .....	23
3.2 Celkové náklady na jakost.....	24
3.2.1 Kontrola všech výrobků .....	24
3.2.2 Kontrola po n výrobcích .....	25
<b>4 Numerické studie</b> .....	<b>26</b>

4.1	Třídění vajec .....	26
4.1.1	Druh chovu .....	26
4.1.2	Původ a registrační číslo.....	27
4.1.3	Výpočet způsobilosti .....	27
4.1.4	Odhad podílu nevyhovujících výrobků .....	29
4.1.5	Výpočet ztráty při kontrole výrobků .....	29
<b>5</b>	<b>Použité technologie aplikace .....</b>	<b>32</b>
5.1	Java .....	32
5.2	NetBeans IDE .....	33
5.3	JFreeChart.....	33
<b>6</b>	<b>Grafické rozhraní programu .....</b>	<b>35</b>
6.1	Hlavní navigace .....	35
6.2	Zadání nových dat .....	36
6.2.1	Vstupní data .....	37
6.2.2	Náklady na jakost .....	37
6.3	Zobrazení a možnosti grafů .....	37
6.3.1	Histogram/Distribuční funkce .....	38
6.3.2	Ztrátová funkce.....	39
6.3.3	Regulační diagram.....	40
6.4	Vypočítané hodnoty.....	41
6.5	Náklady na jakost .....	41
<b>7</b>	<b>Vnitřní struktura programu.....</b>	<b>43</b>
7.1	Balíček tříd Panely .....	43
7.1.1	MainFrame.java .....	43
7.1.2	PanelData.java .....	43
7.1.3	PanelHistogram.java.....	43
7.1.4	PanelNakladyNaJakost.java .....	43
7.1.5	PanelRegulGraf.java.....	43
7.1.6	PanelVypocitaneHodnoty.java .....	44
7.2	Tridy .....	44
7.2.1	Data.java .....	44
7.2.2	Funkce.java.....	44
7.2.3	KresliGraf.java .....	44



<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>46</b>
<b>Příloha 1 – Index <math>C_p</math> a <math>C_{pm}</math>.....</b>	<b>47</b>
<b>Příloha 2 – CD.....</b>	<b>48</b>

## Seznam zkratek

API	Application Programming Interface, rozhraní pro programování aplikací
CD	Compakt disk
C	Capability index, index způsobilosti
ČSN	Česká technická norma
IDE	Integrated Development Enviroment
ISO	International Organization for Standardisation
JVM	Java virtual machine
JPEG	Joint Photographic Expert Group
L	Loss function, ztrátová funkce
LCL	Lower control line, spodní kontrolní mez
NC	Non Comform Produkt, přípustné procento zmetků
PPM	Part per Million
PDF	Portable Document Format
PNG	Portable Network Graphics
R	Robustness, robustnost
T	Target value, cílová hodnota
UCL	Upper control line, horní kontrolní mez

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Analýza účinků systému managementu jakosti .....	12
Obrázek 2 – Sedm základních nástrojů zlepšování kvality .....	18
Obrázek 3 – Graf ztrátové funkce.....	21
Obrázek 4 – Graf nesymetrické N-tolerance .....	23
Obrázek 5 – Graf S-tolerance .....	23
Obrázek 6 – Graf L-tolerance .....	24
Obrázek 7 – Regulační diagram .....	28
Obrázek 8 – Ztrátová funkce váhy vajec velikosti L.....	29
Obrázek 9 – Graf závislosti nákladů na délce kontroly.....	31
Obrázek 10 – Dialogové okno pro načtení dat .....	35
Obrázek 11 – Okno nastavení vstupních dat .....	36
Obrázek 12 – Regulační diagram s vyskakovací nabídkou.....	38
Obrázek 13 – Okno zobrazení histogramu s distribuční funkcí .....	39
Obrázek 14 – Okno ztrátové funkce .....	40
Obrázek 15 – Okno regulačního diagramu.....	41
Obrázek 16 – Okno nákladů na jakost.....	42

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tabulka podílů zmetků PPM pro vybrané hodnoty Cp.....	17
Tabulka 2 – Hmotnostní skupiny vajec .....	26
Tabulka 3 – Druh chovu .....	27

## Úvod

V současné době, kdy jsou stále patrné následky a projevy ekonomické krize, se každá firma snaží prosadit v silně konkurenčním prostředí. Tento jev stál za zvýšením důležitosti jakosti jako zásadního parametru pro snižování nákladů a zároveň současného zachování kvality nabízených výrobků. Statistika má k dispozici nástroje, kterými lze nejen sledovat jakost výrobků, ale umožňují i zvýšit efektivitu výroby a ověřit její způsobilost.

Autor se ve své práci věnuje těmto nástrojům analýzy způsobilosti, a to nejen statistickým, jako jsou například indexy způsobilosti, ale také hodnocení způsobilosti pomocí grafických nástrojů zlepšování kvality. Pro popis těchto nástrojů se předpokládá základní znalost statistiky v rozsahu bakalářského studia. Dále autor shrnuje odlišné principy hodnocení jakosti, a to prostřednictvím ztrátové funkce, jež navrhuje počítat ztrátu i u těch výrobků, které sice splňují kritéria zadaná toleranční mezí, ale zcela se neshodují s cílovou hodnotou.

Pro důkladné pochopení těchto nástrojů zlepšování jakosti jsou v kapitole Numerické studie všechny tyto nástroje zpracovány do příkladů. Z těchto příkladů jsou dostatečně patrné postupy a výpočty příslušných hodnot.

Autor dále navrhne program, který aplikuje tyto statistické a grafické metody. Tento program bude napsán ve vývojovém prostředí NetBeans IDE s využitím programovacího jazyku Java. Tato aplikace by měla uživateli umožnit:

- načítání a ukládání souboru dat,
- nastavení a optimalizaci kontroly jakosti,
- výpočet a optimalizaci nákladů spojených s jakostí,
- výpočet a vyhodnocení znaků jakosti výrobku,
- vykreslení grafů sledující jakost produktů.

Tento program by měl disponovat přehledným a dostatečně intuitivním ovládáním.

Následně je program důkladně popsán. V kapitole Grafické rozhraní aplikace se uživatel podrobně seznámí s grafickým uživatelským rozhraním a především pak s funkcemi, jež aplikace nabízí. V práci jsou také stručně popsány třídy a metody, které program využívá.

Na závěr práce bude zhodnoceno, do jaké míry se podařilo splnit určené cíle.

# 1 Vymezení pojmů

## 1.1 Jakost

V českém jazyce je pojem jakost synonymem ke slovu kvalita. Tato slova se většinou pojí k produktům, k tomu, co producent nabízí odběratelům. Jakostí je v tomto případě „vlastnost nebo souhrn vlastností, které produktu dávají schopnost splnit potřebu zákazníka, splnit jeho požadavky“. Zdroj (3). Označení jakost lze ale také aplikovat na vnitřní a vnější procesy daného producenta. Takto široce vnímaný pojem není lehké jednoznačně definovat, proto existuje mnoho přístupů k vnímání jakosti.

Významným průkopníkem v definici řízení jakosti byl Joseph M. Juran. Ve své knize „Quality Control Handbook“ aplikoval Paretovo pravidlo<sup>1</sup> a tím zvýšil produktivitu podniku při zvyšování kvality. Označil jakost jako „způsobilost k užití“.

Jiný přístup aplikoval Philip B. Crosby, americký podnikatel, jehož dílo „Absolutes of leadership“ ovlivnilo zejména řízení jakosti. V této práci navrhl koncepci „Zero defects“. Podle této myšlenky mají všechny vady určitou příčinu, která musí být odhalena a odstraněna. Ve výrobě se tedy nesmí objevit žádné defekty. Crosby působil mimo jiné i při vývoji raket Pershing. Jakost definuje jako „soulad s požadavky“.

Armand V. Feigenbaum, americký expert na kontrolu jakosti, působil jako prezident Americké společnosti pro kvalitu. Vymyslel koncept TQM (Total Quality Management), který publikoval ve své knize Total Quality Control. Formuloval jakost jako „to, co za ni považuje zákazník.“

Dalším z osobností, které měly zásadní vliv při utváření pohledu na hodnocení jakosti, je japonský inženýr a statistik Genichi Taguchi. Vyvinul ztrátovou funkci, která významnou měrou změnila pohled na kontrolu kvality. Podle jeho definice představuje každý výrobek, který se odchyluje od cílové hodnoty, finanční ztrátu. Prohlásil, že „jakost je minimum ztrát, které výrobek od okamžiku své expedice společností způsobí“.

V současné době se používá definice podle normy ČSN EN ISO 9000:2001, která zní: „Jakost je stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků.“ Zdroj (3). Inherentní znak znamená vnitřní znak objektu.

## 1.2 Důležitost jakosti ve výrobě

Ve světové ekonomice došlo v posledních několika letech k významným změnám. Tyto změny byly vyvolány ekonomickou recesí, jež měla za následek převahu nabídky nad poptávkou. Tím vznikl v řadě odvětví přebytek výroby. Spolu s dostupnějšími a rychle se šířícími informacemi se proto jakost stala zásadním parametrem, který se firmy snaží mít co nejlepší. Její důležitost se projevuje jako:

- prvek zajišťující trvalý ekonomický růst,

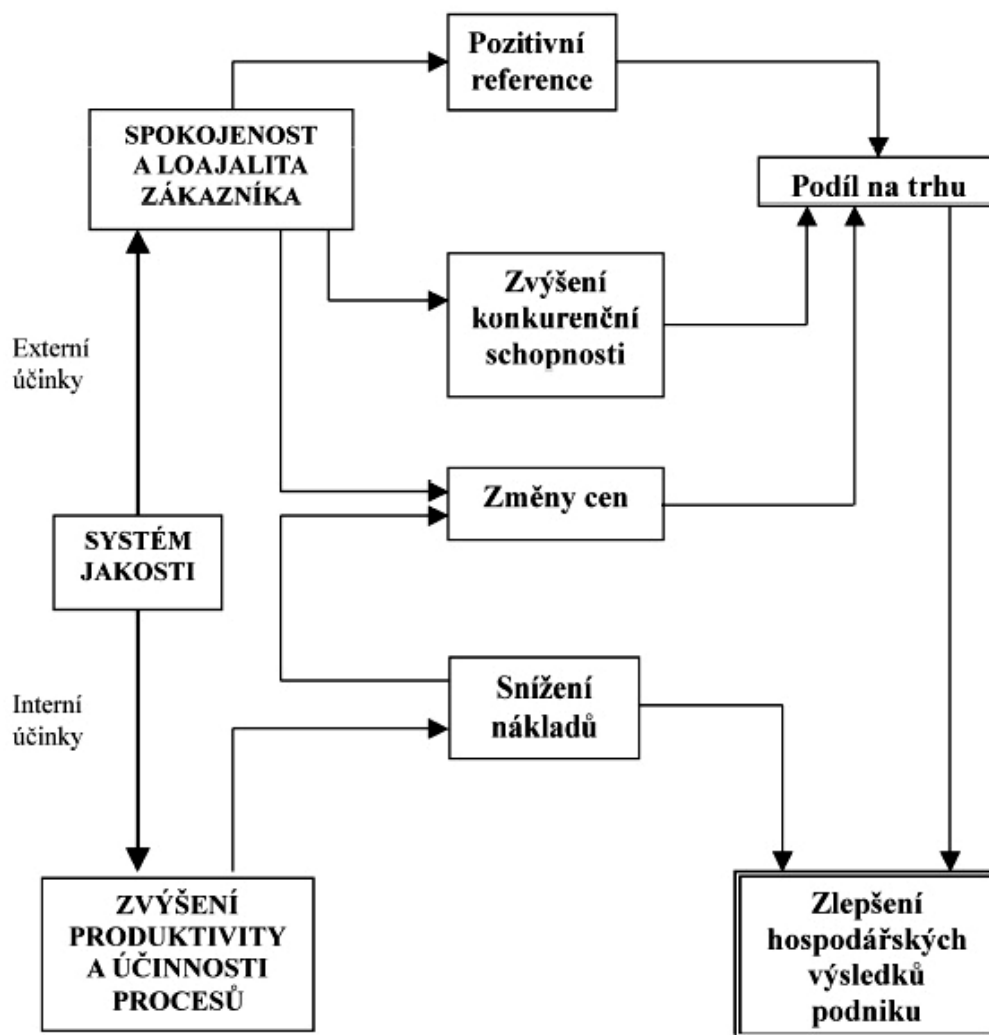
---

<sup>1</sup> formuloval jej Vilfredo Pareto a zjistil, že 80 % nejzávažnějších vad způsobí 20 % příčin

- ochrana před ztrátou trhů,
- úspora energií a materiálů.

### 1.2.1 Jakost jako prvek zajišťující trvalý ekonomický růst

Zvyšováním systému jakosti lze zlepšit hospodářské výsledky podniku, a to jak v okolí, tak přímo uvnitř dané firmy. Ke zvýšení ekonomické bilance dochází rychleji při vnitřních účincích na podnik, než prostřednictvím vnějších podmínek. Tento jev vzniká tím, že se snižuje počet nejakostních výrobků a zároveň se zvyšuje efektivita výroby, čímž se zvýší produktivita a sníží se náklady – viz obrázek 1.



Obrázek 1 – Analýza účinků systému managementu jakosti

*Zdroj: Hutyra, 2007, str. 11*

Jak je z obrázku patrné, v externích účincích na podnik má největší vliv zvyšování spokojenosti a loajality zákazníka. Zvýšený zájem zákazníků podpořený jejich dobrými referencemi má za následek pozvolný nárůst podílu na trhu. Tento dlouhodobý efekt má za

následek trvalou záruku postupného zvyšování zisku, čemuž napomáhá i fakt, že za vyšší jakost je zákazník ochoten i více zaplatit.

### **1.2.2 Ochrana před ztrátou trhů**

„Výzkumy realizované v minulých letech uvnitř zemí Evropské unie ukázaly, že 66 % všech příčin ztrát trhů padá na vrub nízké jakosti výrobků a služeb.“ Zdroj (2). Z těchto výzkumů jednoznačně vyplývá, jak důležité je udržení jakosti, nebo ještě lépe její zvyšování. Vysokou jakostí produktů lze nejenom předcházet ztrátě odběratelů, ale naopak i zvyšovat svůj podíl na trhu.

### **1.2.3 Úspora energií a materiálů**

Při nízké jakosti výroby může docházet k častým poruchám. Ty mají posléze řadu negativních vlivů na celou produkci. Prvotním negativem je vytváření nákladů na opravu zařízení či strojů. Při nečinnosti výroby z důvodu oprav se vytvářejí další ekonomické a časové ztráty. Tento problém pak musí daný producent řešit zvýšenou investicí do výrobního procesu, aby výpadek produkce nahradil. Vysoká jakost výroby tyto vlivy nepřipouští a díky tomu produktivně zhodnocuje kapitál.

V rámci vývoje nových procesů či výrobků mohou probíhat různé změny v produkci. Tyto události pak mají také vliv na jakost výrobků, která se tím může změnit. Poté je velmi důležité, aby byla zajištěna plánovaná jakost. Za tímto účelem je nutné sledovat výstup produkce a kontrolovat parametry, na jejichž základě lze rozhodnout, zda daný výrobek splňuje zadaná kritéria.

## 2 Analýza způsobilosti

S touto analýzou se setkáváme především při plánování a řízení jakosti produktů, které jsou výsledkem výrobního procesu. Takový proces je způsobilý, jestliže bude trvale dosahovat předem stanovené jakosti. Pro hodnocení této způsobilosti se užívá bezrozměrný číselný ukazatel, na nějž jsou kladeny požadavky tak, aby byl dostatečně srozumitelný a měl dobrou vypovídající hodnotou. Pro zajištění univerzálnosti jeho použití je přirozeným požadavkem jednoduchost výpočtu. Toto hledisko se ale jeví jako velmi obtížně realizovatelné, a to přestože se v této oblasti nachází poměrně mnoho ukazatelů. Každý z nich je však použitelný jen při splnění určitých předem definovaných předpokladů. Tyto předpoklady lze dělit na obecné a specifické. Specifické předpoklady se mění u každého ukazatele způsobilosti a jsou uvedeny u jednotlivých ukazatelů. Obecné předpoklady hodnocení způsobilosti musí být splněny při výpočtu všech ukazatelů způsobilosti. Tyto předpoklady lze formulovat do těchto bodů:

- stabilizovaný proces,
- měření neobsahují odlehlá pozorování,
- tolerance mezi je správně nastavena.

Stabilizovaný proces je takový, který má všechny hodnoty sledovaného ukazatele kvality uvnitř regulačních mezí. Při splnění těchto podmínek lze konstatovat, že vybraný ukazatel způsobilosti je spolehlivě použitelný.

### 2.1 Cíle hodnocení způsobilosti

Analýza způsobilosti se hodnotí především vypočítáním některého z indexů způsobilosti. Jejím cílem je sledování schopnosti procesu udržet cílovou hodnotu jakosti a míru variability kolem cílové hodnoty.

Pro celkové důkladné hodnocení způsobilosti je důležité provést:

- test předpokladů kvůli vhodnosti použití námi vybraných ukazatelů,
- vlastní výpočet ukazatelů,
- testování jejich významnosti a využití.

Obecně je také vhodné doplnit výše uvedené kroky grafickým znázorněním.

### 2.2 Indexy způsobilosti

Při posuzování způsobilosti procesů se používá třída ukazatelů, které jsou označovány jako indexy způsobilosti (capability index). Třídou je označujeme kvůli existenci více typů indexů způsobilosti, navzájem se lišících způsobem výpočtu, podmínkami použitelnosti a vlastnostmi. Jednotlivé indexy mají však stejný princip konstrukce. Vždy je zde poměr předepsané přesnosti a reálně dosažené přesnosti ve výrobě. Předepsaná přesnost je určena:

- horní toleranční mezí (UCL),



- dolní toleranční mezí (LCL),
- cílovou hodnotou (T).

Princip je založen na předepsané toleranci mezí a zvolené cílové hodnoty v poměru skutečně dosahované přesnosti. Tato přesnost je získána z vyjádření rozptylu. Při souboru dat obsahující normální rozdělení  $N(\mu, \sigma^2)$ , leží v intervalu  $(\mu \pm 3\sigma)$  99,73 % hodnot. Tuto způsobilost lze vyjádřit vzorcem:

$$\text{způsobilost} = \frac{\text{velikost intervalu ve kterém by měly ležet všechny hodnoty}}{\text{velikost intervalu ve kterém opravdu leží všechny hodnoty}}$$

### 2.2.1 Index $C_p$

V hodnocení způsobilosti ve výrobním procesu je nejznámějším a nejstarším indexem  $C_p$ . V procesu sleduje zajišťování sledovaného znaku jakosti a jeho polohy uvnitř tolerančních mezí. Je to poměr nastaveného a reálného rozmezí hodnot znaku jakosti a je vyjádřen jako:

$$C_p = \frac{UCL - LCL}{6\sigma}$$

Převrácením těchto hodnot vypočítáme, na kolik procent je využit toleranční interval. Většinou není  $\sigma$  v základním souboru zjistitelná, používá se místo ní výběrová směrodatná odchylka  $s$ . Nahrazením směrodatné odchylky hodnotou  $s$  získáme odhad  $\hat{C}_p$ .

Je důležité upozornit, že tímto indexem lze hodnotit pouze soubor dat, který pochází z normálního rozdělení. Pokud soubor takového rozdělení nemá, nelze hodnotit způsobilost procesu. U souboru hodnot je proto nutné spolehlivě potvrdit normální rozdělení, například pomocí testů založených na výběrové šikmosti a špičatosti. Úskalí tohoto indexu představuje také to, že jeho hodnota neodráží vztah cílové a průměrné hodnoty, tzn. jak je proces centrován.

Pro lepší pochopení hodnocení indexu viz příloha 1.

Při  $C_p = 1$  tento index způsobilosti znamená, že při normálním rozdělení znaku jakosti je  $\mu$  ve středu tolerančních mezí a je pro to 99,73 % výrobků jakostních. Podle normy ČSN ISO 8258 je ovšem tato hodnota definována jako stěží způsobilá. Analogicky k předchozímu je proces nezpůsobilý, jestliže hodnota  $C_p < 1$ . Pro způsobilost procesu se považuje  $C_p > 1$ , v praxi je nutno ještě větší procento jakostních výrobků a požaduje se minimální hodnota  $C_p = 1,33$ .

### 2.2.2 Index $C_{pk}$

Kvůli požadavkům na větší obecnost při hodnocení způsobilosti procesu vznikl index  $C_{pk}$ . Charakteristiky tohoto indexu umožňují zohledňovat variabilitu sledovaného znaku jakosti a jeho polohu v nastaveném tolerančním intervalu. Při zvyšujícím se rozdílu  $T$  a  $\mu$  se index  $C_{pk}$  zhoršuje. Pro způsobilost procesu se minimální hodnota indexu  $C_{pk}$  technologickým rozvojem neustále zvyšuje. V minulosti (80. léta 20. stol.) byl proces způsobilý v případě

$C_{pk} \geq 1$ , v současné době vznikl požadavek na minimální hodnotu  $C_{pk} \geq 1,33$ . Pro toto hodnocení jsou předepsané různé výpočty v závislosti na omezení intervalu. Pro výpočet při neomezeném horním intervalu (absence UCL) se použije:

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LCL}{3\sigma}.$$

Při neomezeném spodním intervalu platí:

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{UCL - \mu}{3\sigma}.$$

Při oboustranně omezeném intervalu se využijí oba předchozí vzorce a to ve výpočtu:

$$C_{pk} = \min\{C_{pL}, C_{pU}\}.$$

Pro srovnání s indexem  $C_p$  viz příloha 1.

### 2.2.3 Index $C_{pm}$

Porovnáváním střední hodnoty kolem cílové hodnoty a získáme index  $C_{pm}$ . Tento index zohledňuje nejen variabilitu hodnot ve sledovaném znaku jakosti, ale i míru udržení cílové hodnoty. Jeho výpočet je dán vzorcem:

$$C_{pm} = \frac{\min(UCL - T, T - LCL)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}.$$

Při neomezeném spodním intervalu:

$$C_{pm} = \frac{UCL - T}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}.$$

Při neomezeném horním intervalu:

$$C_{pm} = \frac{T - LCL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}.$$

Je důležité upozornit, že uvedené vzorce lze použít, pouze pokud se cílová hodnota neshoduje s toleranční mezí.

## 2.3 Odhad podílů zmetků

Tento ukazatel vyjadřuje podíl nevyhovujících výrobků na jeden milion kusů. Označuje se jako PPM (Part per Million). Tento ukazatel má přímou souvislost mezi indexem způsobilosti. Nastavením minimální požadované hodnoty indexu způsobilosti lze stanovit i maximální přípustné procento zmetků označované jako NC (tzv. non conform product), který se vypočítá:

- pro symetrickou toleranci:

$$NC = 2\Phi(-3C_p),$$

- pro nesymetrickou toleranci:

$$NC = \Phi(-3C_{pL}) + \Phi(-3C_{pU}),$$

kde  $\Phi(x)$  je distribuční funkce standardizovaného normálního rozdělení  $N(0,1)$ . Tabulka č.1 uvádí hodnoty PPM pro některé hodnoty indexu  $C_p$ :

**Tabulka 1 – Tabulka podílů zmetků PPM pro vybrané hodnoty  $C_p$**

$C_p$	0.8	1.0	1.2	1.33	1.4
<b>PPM</b>	16400	2700	320	66	20

*Zdroj: Tošenovský, J.; Noskiewičová D.; 2000; str. 286*

## 2.4 Robustnost procesu

U procesu není důležitá pouze schopnost dosahovat cílovou hodnotu. Neméně významná je také vlastnost dostatečné rezervy na chvostech Gaussovy křivky a krajními body tolerance. Tato vlastnost se projeví zejména při jakémkoliv zhoršení výrobního procesu. Při dostatečné rezervě nepovede tento výrobní proces, k produkci výrobků nesplňující zadaná kritéria.

Uvedená vlastnost robustnosti procesu je odchylka průměru od cílové hodnoty, která nezvyší podíl výrobků, které nesplňují zadané kritéria jakosti. Míru robustnosti procesu lze popsat následujícím vzorcem:

$$R = 3(C_{pk} - 1),$$

kde je  $R$  vzdálenost, o jejíž by se musel posunout průměr  $\mu$  od cílové hodnoty  $T$  a proces se tak stal nezpůsobilý. Vyjádření této vzdálenosti je v násobcích  $\sigma$ . V předchozí kapitole jsme si uvedli nedostatečnou hodnotu  $C_p=1$ , pro kterou platí robustnost rovné 0. To povede při sebemenším zhoršení procesu k výrobě nezpůsobilých výrobků. Naproti tomu při indexu způsobilosti  $C_p=1,33$  se rovná robustnost:

$$R = 3(1,33 - 1) = 1,$$

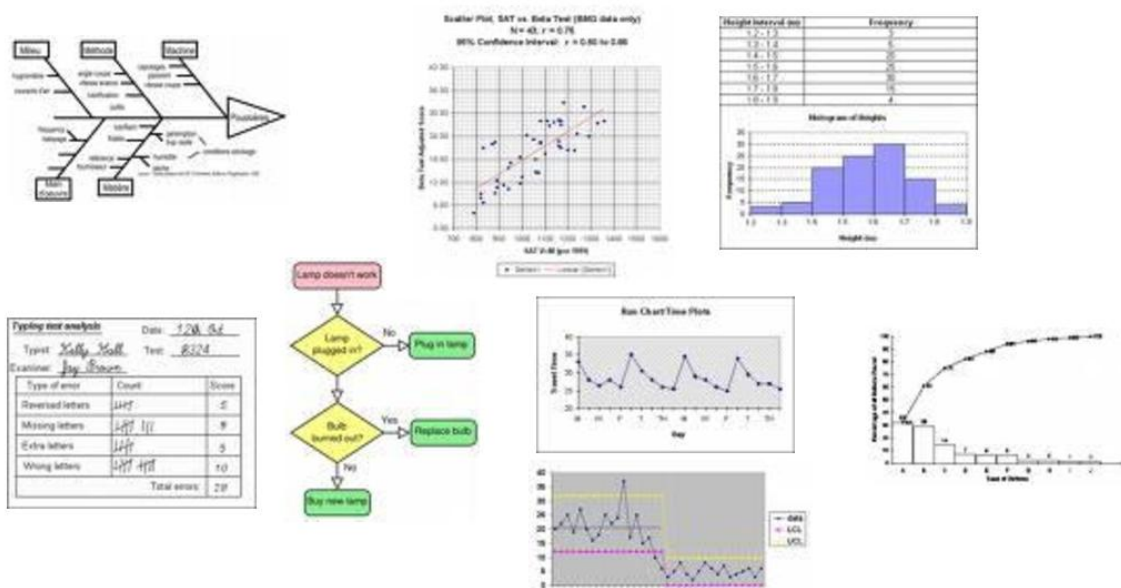
což znamená dostatečnou rezervu při případném zhoršení procesu.

## 2.5 Grafické nástroje zlepšování kvality

Způsobilost se může také hodnotit pomocí tzv. sedmi základních nástrojů kvality. Tento soubor byl zformulován K. Ishikawou a E. Demingem a díky své dostatečné jednoduchosti a názornosti je označován jako „základní“. Mezi tyto nástroje patří:

- histogram,
- regulační diagram,
- diagram příčin a následků (tzv. diagram rybí kosti),
- vývojový diagram,
- korelační diagram,
- Paretova analýza,
- kontrolní tabulka.

Tyto nástroje ukazuje obrázek 2:



Obrázek 2 – Sedm základních nástrojů zlepšování kvality

Zdroj: [www.docstoc.com](http://www.docstoc.com)

Většina z těchto nástrojů jsou kvantitativní metody přispívající k lepšímu zvládnutí řízení procesu. Zejména histogram a regulační diagram přispívají k dobrému monitorování a diagnostice dat v procesu, což zlepšuje efektivitu fungování v celém systému. K vytváření diagramu rybí kosti by mohly být využívány programy na tvorbu myšlenkových map.

### 2.5.1 Histogram

Grafickým ztvárněním dat v histogramu je sloupcový graf četností jednotlivých hodnot. Počet sloupců je roven počtu tříd, kde každý sloupec reprezentuje jeden třídní interval. U histogramu je hlavní vypovídající schopností podávání informací o působení určitých příčin v průběhu zkoumaného procesu, ze kterého byl výběr dat získán.

### 2.5.2 Graf distribuční funkce, testy šikmosti a špičatosti

Doplněním grafu distribuční funkce do histogramu získáme komplexnější pohled na zobrazená data. Graf distribuční funkce zobrazuje u každé hodnoty jeho určitou pravděpodobnost výskytu v souboru dat.

Pro správnou vypovídající hodnotu grafu distribuční funkce normálního rozdělení je nutné testovat normalitu u zdrojových dat. Normalitu lze u souboru dat potvrdit, či vyvrátit více metodami, v této práci se zaměříme na testu založeném na šikmosti a špičatosti.

V testu šikmosti a špičatosti se využívá faktu, že šikmost a špičatost je u normálního rozdělení rovna nule. Pokud hodnota testovacího kritéria přesáhne kritickou hodnotu na zvolené hladině významnosti, pak zamítneme nulovou hypotézu o normalitě rozdělení. Kritickou hodnotu určujeme z tabulek kvantilů standardizovaného normálního rozdělení, jehož distribuční funkci označujeme  $\Phi$ .

Koeficient šikmosti lze provést podle tohoto výpočtu:

$$S_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \right)^3}$$

Výpočet koeficientu špičatosti provedeme následujícím vzorcem:

$$E_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right)^2} - 3.$$

Dále je nutné vypočítat koeficienty:

$$DS_k = \frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)},$$
$$DS_k = \frac{24n \cdot (n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}.$$

Při testu šikmosti potvrdíme hypotézu o normalitě, jestliže:

$$\frac{|S_k|}{\sqrt{DS_k}} < \Phi^{-1} \left( \frac{2-\alpha}{2} \right).$$

Test špičatosti potvrdí nulovou hypotézu o normalitě dat, je-li:

$$\frac{|E_k - EE_k|}{\sqrt{DE_k}} < \Phi^{-1} \left( \frac{2-\alpha}{2} \right).$$

### 2.5.3 Regulační diagram

Základním cílem analýzy regulačního diagramu je ověření stability výrobního procesu a zjištění jestli se nachází daný proces ve statisticky zvládnutém stavu (tzn. je ovlivňován pouze náhodnými vlivy). Neplní-li proces zadané požadavky, jsou nutné identifikace negativních příčin a následné návrhy k opáření, které povedou k dostatečně trvalé a účinné nápravě. Tyto negativní příčiny lze na regulačním diagramu pozorovat významným kolísáním hodnot, či jejich nepřiměřeně velkým výskytem u jedné z regulačních mezí, případně nesourodým výskytem. Při hlubší analýze procesu je důležitý typ kolísání hodnot. Tyto typy se kategorizují jako:

- náhodný,
- cyklický,
- trendový,
- vzájemně korelovaný.

O těchto metodách pojednává mezinárodní norma ČSN ISO 11648-1:2004.

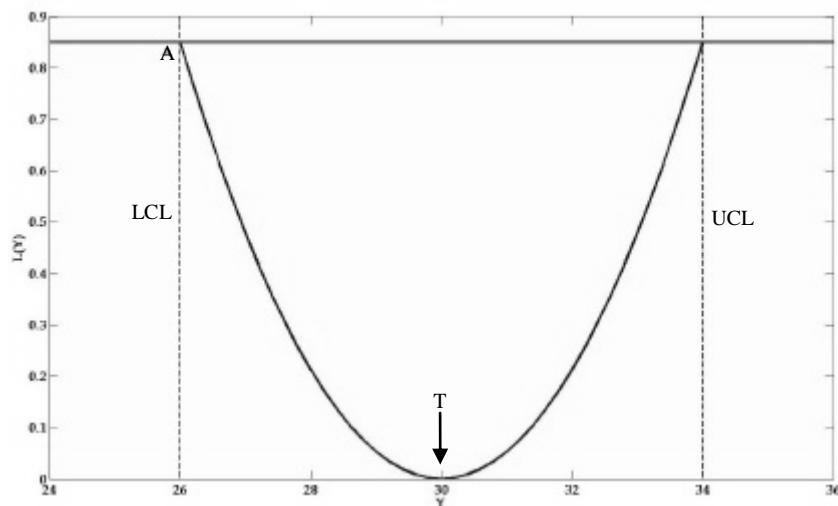
### 3 Ztrátová funkce

K hodnocení způsobilosti můžeme přistupovat i z jiného hlediska, než je hodnocení indexy způsobilosti. Ztrátová funkce nabízí jinou možnost hodnocení procesů, přičemž tím přináší některé výhody. Autorem je japonský inženýr Genichi Taguchi. Tato metoda nevyžaduje normální rozdělení u souboru testovaných dat a finanční ztrátu za nekvalitu vyjadřuje přímo.

Pro správné použití ztrátové funkce je potřeba splnit následující předpoklady.

- Každý výrobek musí mít určitou charakteristiku, podle které lze posuzovat jeho jakost.
- U této charakteristiky lze stanovit cílovou hodnotu.
- Nekvalitní výrobek se projeví odchylkou od T.
- Odchylka od T znamená finanční ztrátu.

Právě poslední předpoklad poukazuje na to, že i ty výrobky, které jsou v mezích tolerance, nemají stejnou jakost. Tato myšlenka předpokládá finanční ztrátu u výrobku, u něhož je sledovaná charakteristika oproti cílové rozdílná. Jestliže je jakost produktu horší, lze očekávat zvýšené náklady na jeho případné opravy, reklamace, apod. Vyšší než požadovaná jakost znamená také ztrátu, poněvadž daný výrobek by bylo možné prodávat za vyšší cenu odpovídající zvýšené kvalitě.



Obrázek 3 – Graf ztrátové funkce

*Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno Tošenovský, J.; Noskiewičová D.; 2000; str. 134*

V tomto grafu znamená A maximální ztrátu, která znamená překročení hranice. T je cílová hodnota.  $L(Y)$  finanční ztráta.

Jak je z obr. 2 patrné, jestliže  $Y$  překročí meze, má již konstantní hodnotu rovnající se A, pro hodnoty mimo interval, tzn.  $Y \leq LCL \cup Y \geq UCL$  proto platí:

$$L(Y) = A.$$

Pro hodnoty v tolerančních mezích je udávána definiční rovnice:

$$L(Y) = k(Y - T)^2,$$

$$k = \frac{A}{d^2},$$

kde  $d$  je odchylka hodnocené charakteristiky od cílové hodnoty  $T$ .

Více než ztráta konkrétního výrobku je pro nás zajímavější průměrná ztráta, která se značí  $E(L)$ . Její výpočet je odvozen od střední hodnoty  $L(Y)$  a je dán:

$$E(L) = E(k(Y - T)^2) = ks^2 + k(\bar{Y} - T)^2.$$

Ztrátová funkce má mnoho jiných aplikací než jako využití pro průměrnou ztrátu. Lze také například zjistit všechny ztráty, které souvisejí s kontrolou a zajišťování jakosti.

### 3.1 Rozdílné typy tolerance

Jednotlivé typy ztrátových funkcí se liší tím, jak jsou definovány toleranční meze a kde leží cílová hodnota  $T$ . Pro lepší ilustraci si u jednotlivých typů uvedeme graf.

#### 3.1.1 Typ N-tolerance (nominal)

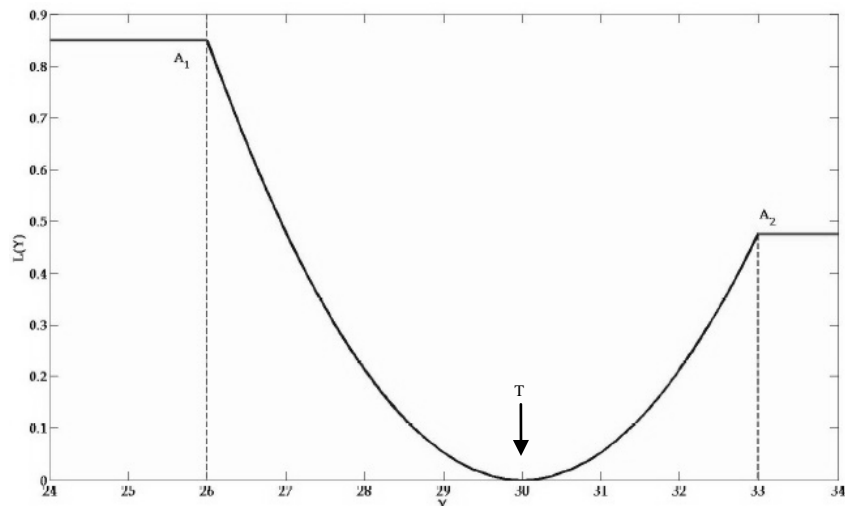
Cílem u tohoto typu ztrátové funkce je dosažení cílové hodnoty, při tolerančním intervalu  $T \pm d$ , viz obr. 2. V obrázku jsou tyto meze označeny LCL a UCL pro které platí:

$$LCL = T - d,$$

$$UCL = T + d.$$

Tato tolerance však nemusí být symetrická, viz obr. 3. V tomto případě znamená nedodržení spodního intervalu jinou ztrátu, než při nedodržení vrchního intervalu. Např. jestliže je délka vyráběné trubky větší, je možné ji zkrátit a nemusí se proto vyřadit.



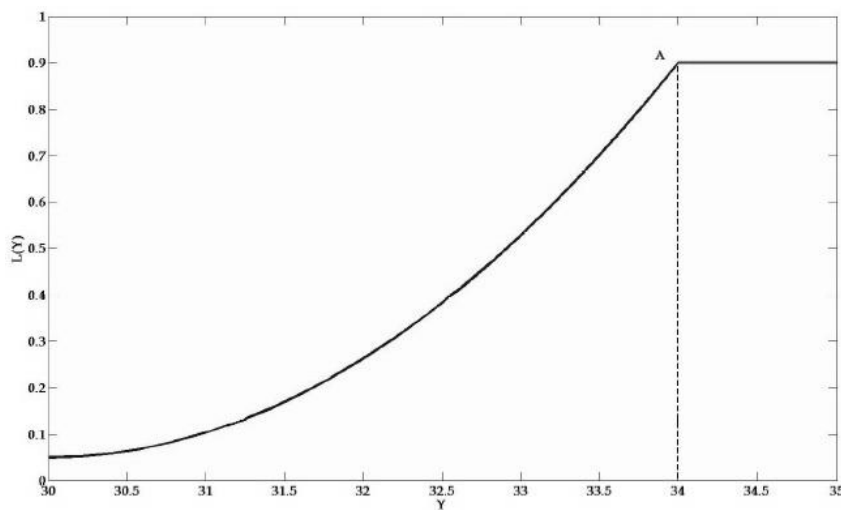


Obrázek 4 – Graf nesymetrické N-tolerance

Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno Tošenovský, J.; Noskiewičová D.; 2000; str. 134

### 3.1.2 Typ S-tolerance (smaller)

U této ztrátové funkce není žádný spodní interval, čím více se hodnota blíží k T, tím pro nás tvoří menší ztrátu. Příkladem může být nečistota ovzduší.

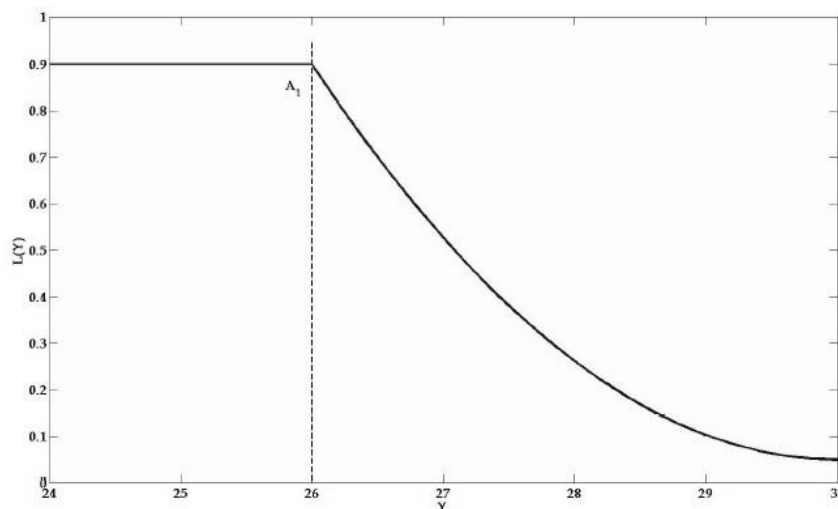


Obrázek 5 – Graf S-tolerance

Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno Tošenovský, J.; Noskiewičová D.; 2000; str. 135

### 3.1.3 Typ L-tolerance (larger)

Tato tolerance je opakem předchozí a nemá tedy stanovenou horní mez. Ideální hodnota je rovna  $\infty$  a proto platí čím vyšší hodnota tím je pro nás výhodnější, viz obr. 6



Obrázek 6 – Graf L-tolerance

Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno Tošenovský, J.; Noskiewičová D.; 2000; str. 135

## 3.2 Celkové náklady na jakost

Ztrátová funkce nabízí více možností aplikace, nejenom vyjádření finanční ztráty za nekvalitu v rámci tolerančních mezí, ale také ke komplexnímu vyčíslení nákladů na celkovou jakost. Do těchto celkových nákladů se zahrnují všechny ztráty, které vzniknou v souvislosti se zajišťováním jakosti, jako je např. cena za opravy, náklady na kontrolu, ztráty za zmetky, nepřesnosti v měření, aj. Celkové náklady lze vyčíslit různými přístupy, dále uvedené metody jsou navrženy G. Taguchim.

### 3.2.1 Kontrola všech výrobků

U kontroly, která se provádí u všech výrobků, lze celkové náklady na jakost vyjádřit vztahem:

$$L = \frac{Q}{R} + \frac{A}{d^2} + s_0^2,$$

kde:

- $Q$  jsou roční náklady na 100% kontrolu,
- $R$  je roční produkce v kusech,
- $d$  je funkční tolerance,
- $A$  je ztráta při překročení tolerance  $d$ ,
- $s_0^2$  závisí na způsobu, kterým se odebírají kontrolní vzorky a pro nejjednodušší případ, kdy máme výsledky měření  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , lze vypočítat vzorcem:

$$s_0^2 = \frac{1}{n} [(y_2 - y_1)^2 + (y_3 - y_2)^2 + \dots + (y_n - y_{n-1})^2].$$

Přesnost výrobků se posuzuje porovnáním sousedních výroků. Hodnota  $s_0^2$  zahrnuje nepřesnost výroby  $s_v^2$  a nepřesnost měření  $s_m^2$ , kde je vztah:

$$s_m^2 = \frac{1}{n(k-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^k (y_{ij} - y_{i,j-1})^2.$$

Skutečná nepřesnost výroby lze pak vyjádřit vztahem:

$$s_v^2 = s_0^2 - s_m^2.$$

### 3.2.2 Kontrola po n výrobcích

Jestliže se neprovádí kontrola u každého výrobku, pak se určí celkové náklady podle vzorce:

$$L = \frac{B}{n} + \frac{C}{u} + \frac{A}{d^2} + \frac{D^2}{3} + \frac{AD^2}{d^2 u} \left( \frac{n+1}{2} + z \right) + \frac{A}{d^2} s_m^2,$$

kde:

- $A$  je ztráta při překročení tolerance  $d$ ,
- $B$  je cena kontroly jednoho výrobku,
- $C$  je cena opravy stroje,
- $n$  je kontrolní interval,
- $u$  je průměrný počet výrobků mezi poruchami,
- $d$  je funkční tolerance,
- $D$  je výrobní tolerance,
- $z$  je počet výrobků zhotovených během kontroly.

## 4 Numerické studie

Pro lepší ilustraci uvedených vzorců a postupů si uvedeme motivační příklady, které nám poskytnou větší náhled na problematiku zpracování jakosti.

### 4.1 Třídění vajec

Základní třídění vajec je podle hmotnosti, protože často větší vejce má menší žloutek (kde je nejvíce živin) a je lehčí, navíc měření vajec není tak jednoduché jako jeho prosté vážení. Třídít a balit vejce směřují jen třídírny, které jsou schválené příslušným orgánem dané země (v ČR je to Státní veterinární správa). Třídírna má přidělené své registrační číslo, které se uvádí i na obalech výrobků. Každé vejce je v třídírně váženo a podle toho kritéria je následně rozděleno do hmotnostní skupiny a baleno do obalů (6, 10, 15, nebo 30 ks v obalu).

V jednotlivých váhových skupinách nesmí být více než 10 % vajec vykazujících váhu nejbližší nižší váhové skupině a nejvýše 5 % vajec s vadami vzhledu a s větší vzduchovou bublinou. Nejčastější jsou vejce velikosti M a L.

Tabulka 2 – Hmotnostní skupiny vajec

Kategorie	Označení	Váha
„XL“	velmi velká	nad 73g
„L“	velká	od 63g do 73g
„M“	střední	od 53g do 63g
„S“	malá	méně než 53g

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Vejce se kromě hmotnosti a velikosti dále různí svou barvou. Barva je závislá především na druhu nosnic. Průměrná váha je 58g. Váhový poměr mezi žloutkem, bílkem a skořápkou se liší a závisí na velikosti vejce, plemenu slepice a na době snůšky.

Na každém vajíčku je uveden druh chovu, původ a registrační číslo výrobního závodu a haly např.:

0 – CZ – 1234.

#### 4.1.1 Druh chovu

V ekologickém chovu jsou nosnice ve výběhu (výběh min. 2,5m<sup>2</sup> na slepici), kde mají možnost snášet vejce do hnízda. Ve výběhu by mělo být též bidýlko a podestýlka. Slepice krmí kvalitním krmivem z ekologického zemědělství (bez umělých hnojiv a pesticidů).

Chov ve volném výběhu je podobný jako ekologický chov s rozdílem v krmění nosnic, kde se nemusí kur krmit krmivem z ekologického zemědělství.

Chov na podestýlce je neklecový chov slepic v hale. Slepice mají možnost snášet vejce do hnízda. Maximálně je povoleno 12 slepic na 1 m<sup>2</sup>.

V jedné velké kleci je umístěno více slepic. Klece jsou umístěny nad sebou ve více patrech. Vajíčka propadávají klecí do dopravníku k dalšímu zpracování, není zde žádný kontakt vajíčka s trusem a tím je tento chov nejvíce hygienický. Na každou nosnici připadá prostor min. 600 cm<sup>2</sup>.

**Tabulka 3 – Druh chovu**

Kategorie	Označení
0	Ekologický chov
1	Chov ve volném výběhu
2	Chov na podestýlce
3	Klecový chov

*Zdroj: Vlastní zpracování*

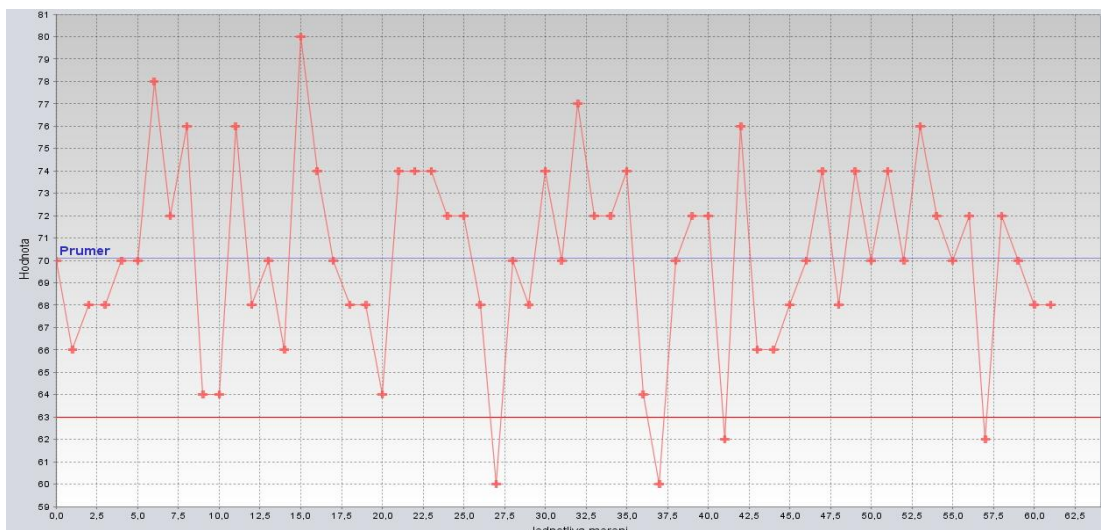
#### **4.1.2 Původ a registrační číslo**

Původ je značka země, ve které byla schválena provozovna a které bylo přiděleno registrační číslo, původ vajec nemusí být z téhož státu. Registrační číslo je čtyřmístné číslo označující producenta vajec.

#### **4.1.3 Výpočet způsobilosti**

Mějme 60 vajec kategorie „L“, které jsme zvážili a zjišťujeme, jestli odpovídají požadované způsobilosti. Je stanovena pouze spodní mez LCL = 63, protože čím je vejce těžší, tím je pro spotřebitele lepší.

Pro ilustraci si uvedeme regulační diagram, ve kterém jsou zakresleny všechny naměřené hodnoty.



**Obrázek 7 – Regulační diagram**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

$$C_{pL} = \frac{\mu - LCL}{3\sigma} = \frac{70 - 63}{3 \cdot 4,2124} = 0,55,$$

$$C_{pk} = C_{pL} = 0,55.$$

U vypočítaných indexů vidíme malou způsobilost procesu. Nyní si vypočítáme průměrnou ztrátu, kde 1 vajíčko typu L stojí 3,50 Kč a vajíčko typu M 2,90 Kč, jestliže je deklarované vajíčko typu L a váhově odpovídá M vznikne nám ztráta 0,60 Kč.

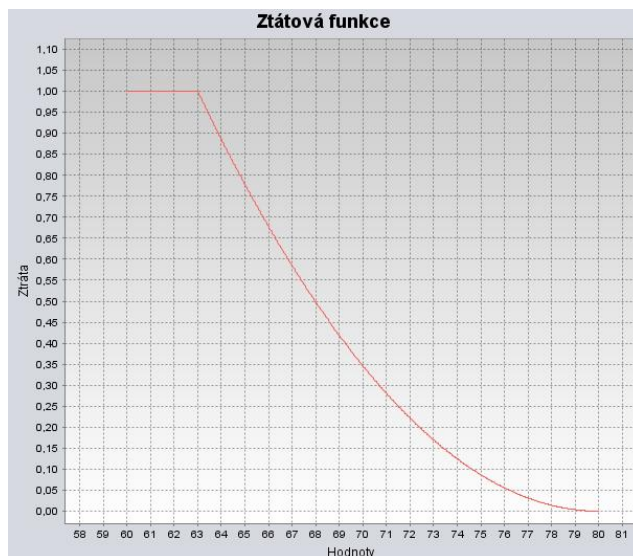
Nejprve je potřeba vypočítat:

$$k = \frac{A}{d^2} = \frac{0,6}{(80 - 63)^2} = 0,002,$$

$$E(L) = E(k(Y - T)^2) = ks^2 + k(\bar{Y} - T)^2 = 0,002 \cdot 4,2124^2 + 0,002(70 - 80)^2 = 0,21.$$

Pro spotřebitele je průměrná ztráta 0,21 Kč na 1 vajíčko.

Jednotková ztrátová funkce by vypadala následovně:



Obrázek 8 – Ztrátová funkce váhy vajec velikosti L

Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.1.4 Odhad podílu nevyhovujících výrobků

Z vypočítaných indexů způsobilosti lze jednoduše vypočítat podíl nevyhovujících výrobků.

$$NC = 2\Phi(-3 \cdot 0,55) = 0,204.$$

Lze odvodit 20,4 % pravděpodobnost výskytu nevyhovujícího vajíčka, tj. PPM = 204000.

#### 4.1.5 Výpočet ztráty při kontrole výrobků

V tomto motivačním příkladu se v supermarketu váží balení mouky. Vždy se váží po 12 ks balení z každé palety. Jedno vážení trvá 5 minut (tzn. 0,12 hodiny). Náklady na hodinovou mzdu kontrolního pracovníka činí 80 Kč. Cena 1 mouky je 15 Kč. Při zjištění nevyhovující váhy se zváží všechny balení na paletě a všech 12 balení je vráceno dodavateli. Na 1 paletě je 300 ks mouky. Balení jsou označena za nevyhovující, pokud váží méně o 2 % z deklarované váhy (výrobní tolerance) a podle zákona je nevyhovující při 3 % úbytku váhy (funkční tolerance). Každý týden je nutné takto zkontrolovat 21 palet mouky. Nízká váha balení mouky se průměrně objevuje na každé 7 paletě.

Jednotlivé údaje lze převést na parametry:

- ztráta  $A = 15 \cdot 12 = 180$  Kč,
- cena kontroly  $B = 0,12 \cdot 80 = 9,6$  Kč,
- dodatečné náklady na zvážení celé palety  $C = 24 \cdot 9,6 = 230,40$  Kč,
- výrobní tolerance  $D = 2$  %,
- funkční tolerance  $d = 3$  %,
- kontrolní interval  $n = 300$ ,
- průměrný počet zvážených balíků (po 12 ks mouky) mezi opravami  $u = 7 \cdot 300 = 2100$ .

Nejprve vypočítáme nynější náklady na zvážení 1 palety:

$$L = \frac{B}{n} + \frac{C}{u} + \frac{A}{d^2} + \frac{D^2}{3} + \frac{AD^2}{d^2u} \left( \frac{n+1}{2} \right) + \frac{D^2}{u},$$

$$L = \frac{9,6}{300} + \frac{230,4}{2100} + \frac{180}{3^2} + \frac{2^2}{3} + \frac{180 \cdot 2^2}{3^2 \cdot 2100} \left( \frac{300+1}{2} \right) + \frac{2^2}{2100} = 27,21.$$

Poté vypočítáme optimální kontrolní interval  $n_1$ . Ten znamená po kolika ks výrobků je optimální provedení kontroly.

$$n_1 = \sqrt{\frac{2u \cdot B \cdot d}{A \cdot D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2100 \cdot 9,6 \cdot 3}{180 \cdot 2}} = 22,4 \approx 22.$$

Musíme ještě spočítat optimální výrobní toleranci  $D_1$ .

$$D_1 = \sqrt[4]{\frac{3C \cdot D^2 \cdot d^2}{A \cdot u}} = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 230,4 \cdot 2^2 \cdot 3^2}{180 \cdot 2100}} = 0,5.$$

Po zjištění optimálních hodnot můžeme vypočítat průměrný počet zkontrolovaných ks balení mezi zjištěnými nevyhovujícími hmotnostmi  $u_1$  po optimalizaci.

$$u_1 = u \frac{D_1^2}{D^2} = 2100 \frac{0,5^2}{2^2} \approx 131.$$

Nyní již můžeme zjistit náklady na jakost, při zoptimalizovaných parametrech.

$$L_1 = \frac{9,6}{22} + \frac{230,4}{131} + \frac{180}{3^2} + \frac{0,5^2}{3} + \frac{180 \cdot 0,5^2}{3^2 \cdot 131} \left( \frac{22+1}{2} \right) + \frac{0,5^2}{38} = 22,72.$$

Výsledná úspora nákladů na vážení 1 palety po optimalizaci bude představovat:

$$L - L_1 = 27,21 - 22,72 = 4,49,$$

za 1 rok těchto vážení znamená úspora:

$$4,49 \cdot 52 \cdot 21 = 4903 \text{ Kč.}$$

Pro ilustraci závislostí nákladů na počtu kontrol lze vykreslit následující graf:





**Obrázek 9 – Graf závislosti nákladů na délce kontroly**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

## 5 Použité technologie aplikace

### 5.1 Java

Objektově orientovaný programovací jazyk Java vyvinula firma Sun Microsystem. V současnosti je jedním ze světově nejvíce používaných programovacích jazyků a podle mnohých i nejpobulárnější. Java je na platformě nezávislá, tzn. je přenosná mezi různými systémy, a proto ji používají programy běžící v čipových kartách, mobilních telefonech, nebo i v rozsáhlých distribuovaných systémech. Java vychází z jazyka C++, se kterým má blízkou syntaxi. Oproti C++ je však použití Javy snazší, neobsahuje totiž některé konstrukce, které v programování C++ způsobovali největší obtíže. Od roku 2007 Sun Microsystem uvolnil zdrojové kódy a je vyvíjena jako open source. Oproti svému předchůdci přidává Java ještě další užitečné vlastnosti, které lze shrnout jako:

- jednoduchost,
- objektová orientovanost,
- distribuovaný,
- interpretovaný,
- robustnost,
- správa paměti pomocí Garbage collectoru,
- bezpečnost,
- nezávislost na architektuře,
- přenositelnost,
- výkonnost,
- dynamičnost,
- podporuje více vláken.

Java používá osm základních primitivních typů a všechny ostatní jsou objektové. Pomocí Javy lze využívat různé úrovně síťového spojení včetně práce se vzdálenými soubory a vytváření aplikací typu klient-server. V tomto síťovém prostředí má Java vlastnosti, které chrání počítač před nebezpečnými operacemi a napadením škodlivými kódy, díky těmto implementovaným bezpečnostním mechanismům je proto velmi bezpečná. Paměť Java automaticky přiděluje a uvolňuje pomocí Garbage collectoru. Ten vyhledává již nepoužívané části paměti a uvolňuje ji pro další využití.

Vytvořená aplikace může být spuštěna na libovolném systému, využívající různý operační systém, nebo architekturu. Na daný systém je potřeba pouze nainstalovat správný virtuální stroj Javy (JVM). Kompilací aplikace se nevytváří skutečně strojový kód, ale pouze tzv. bajtkód (mezikód), ten se až posléze přeloží pomocí virtuálního stroje Javy na strojový kód spustitelný na daném systému. Tento překlad se provádí v režimu „just-in-time“ a provádí se pouze u kódu, který je opravdu zapotřebí a tím Java přispívá k výkonnosti.

Pomocí Javy lze také zpracovávat vícevláknové aplikace. Tyto vlákna jsou synchronizována pomocí monitorů.

Mezi hlavní nevýhody Javy patří především pomalejší start programů, které jsou v ní napsány. Tato vlastnost je dána nutností program před svým spuštěním nejprve přeložit. Další nevýhoda spojená s využíváním Javy plyne z větší paměťové náročnosti při běhu zejména jednodušších programů. Tento problém je způsobený potřebou mít v paměti celé běhové prostředí.

## 5.2 NetBeans IDE

Zakladatelem projektu NetBeans je firma Sun Microsystems. Tento projekt vznikl v roce 2000. NetBeans je úspěšný Open Source projekt, v jehož rámci roste stále větší komunita vývojářů, a má již přes 100 partnerů po celém světě. Prostředí NetBeans může nabídnout rozsáhlou volně dostupnou dokumentaci<sup>2</sup>, díky které si již získal rozsáhlou uživatelskou základnu.

Pomocí nástroje NetBeans IDE mohou programátoři psát, ladit, překládat a distribuovat aplikace. Toto prostředí je vyvíjeno v jazyce Java, umožňuje ale psát aplikace v jakémkoliv jiném programovacím jazyce, jako je např. C/C++, PHP, JavaScript a jiné. Rozšířit možnosti vývojového prostředí lze též přidáváním velkého množství modulů, díky nimž je možné pohodlně vytvářet weby či aplikace vyvíjené pro mobilní platformu.

Vývojové prostředí NetBeans IDE je vyvíjeno a šířeno pro bezplatné používání v nekomerčním i komerčním prostředí pod licenci Open Source. Jsou také dostupné zdrojové kódy, které spadají do licence Common Development and Distribution License (CDDL) v1.0 a GNU General Public License (GPL) v2<sup>3</sup>.

## 5.3 JFreeChart

Za tímto projektem stojí David Gilbert, který jej v roce 2000 založil. Do dnešních dnů se vytvořila početná komunita vývojářů, která se stále rozrůstá a JFreeChart spolu se svým zakladatelem D. Gilbertem spravuje. Tato knihovna pro jazyk Java dosáhla již více než 450 tisíc stažení a stala se tak nejpoužívanějším grafickým přídatným modulem. Zdroj (8).

Grafická knihovna JFreeChart je celá napsaná v jazyce Java. Vývojářům ve svých aplikacích usnadňuje zobrazovat grafy v profesionálním zpracování. Mezi rozsáhlé funkce této knihovny patří:

- dobře zdokumentované a konzistentní API, podporující širokou škálu typů grafů,
- flexibilní a snadno rozšiřitelný design, který lze zaměřit jak na aplikace typu klient, tak i na aplikace určené pro server,
- podpora pro rozličné typy výstupů, jako jsou např. obrazové soubory (PNG a JPEG) a vektorové grafické formáty (PDF).

---

<sup>2</sup> lze nalézt na webových stránkách: <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/index.html?overview-summary.html>

<sup>3</sup> více podrobností o licenci lze nalézt na: <https://netbeans.org/cddl-gplv2.html>

JFreeChart je distribuován jako Open Source v licenci GNU Lesser General Public Licence (LGPL), což mu nabízí komerční i nekomerční využití.

## 6 Grafické rozhraní programu

Na základě údajů, které zadá uživatel, program nabízí výpočty indexů způsobilosti, nákladů na jakost a dále nabízí vykreslení grafů histogramu, regulační diagram, ztrátovou funkci a také graf závislostí nákladů na velikosti kontrolního intervalu.

### 6.1 Hlavní navigace

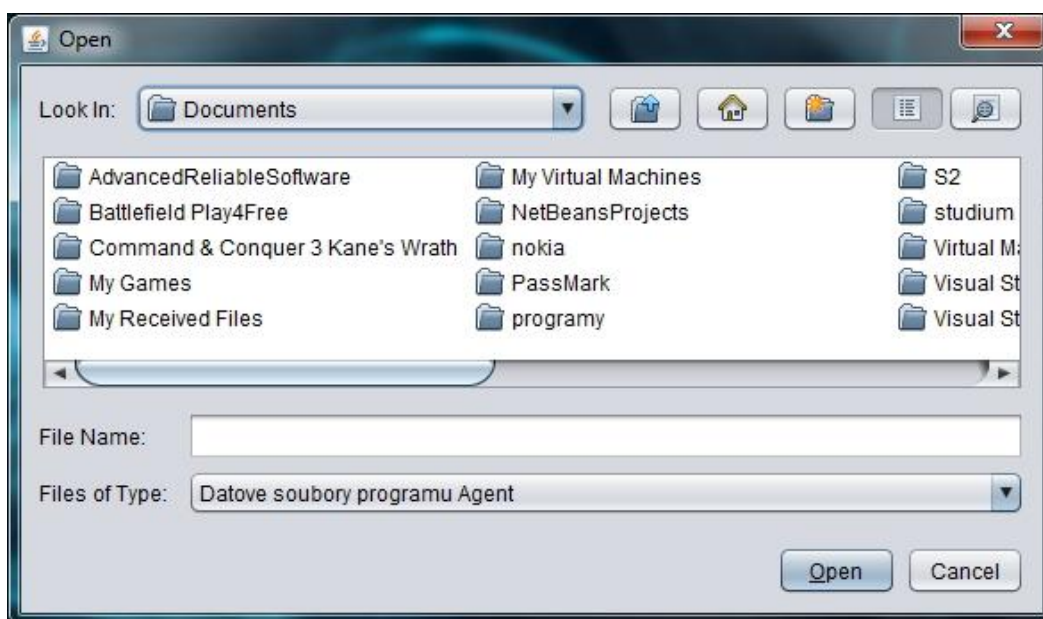
Všechny funkce aplikace jsou jednoduše dostupné z hlavní lišty navigace, která obsahuje tyto jednotlivé položky:

- Soubor,
- Zobrazit,
- Data.

Z jiných programů dobře známá položka Soubor umožňuje celkovou práci s programem, jako uložení, nebo načtení všech dat. Přesněji obsahuje tyto možnosti:

- Nový,
- Uložit do...,
- Načti z...,
- Konec.

Při ukládání dat se objeví dialogové okno uložení, ve kterém lze pohodlně navolit cestu a název ukládaného souboru. Analogicky při načítání dat se objeví dialogové okno načtení dat, kde lze navíc navolit filtr dat pro textové soubory, nebo soubory aplikace.



Obrázek 10 – Dialogové okno pro načtení dat

*Zdroj: Vlastní zpracování*

V kategorii Zobrazit se nachází odkazy pro vykreslení jednotlivých grafů:

- Histogram/Distr. fce,
- Ztrátová funkce,
- Regulační diagram.

Poslední kategorie v hlavní nabídce nazvaná Data obsahuje položky odkazující na vkládání, úpravu a zobrazení všech textových dat. Jednotlivé odkazy obsahují tyto kategorie:

- Nastav vstupní data,
- Vypiš parametry vstupních dat,
- Vypiš náklady na jakost,
- Ulož parametry vstupních dat,
- Ulož náklady na jakost.

## 6.2 Zadání nových dat

Při spuštění aplikace se jako první okno zobrazí zadání nových dat, v tomto okně aplikace se zadávají všechny potřebné vstupní data. V okně se nachází 2 záložky, kterými lze přepínat. Tyto záložky jsou nazvané jako Vstupní data a Náklady na jakost.

Soubor Zobrazit Data

**Nastavení vstupních dat**

Vstupní data    Náklady na jakost

**Data**

Název hodnot:

Hodnota:     Vlož hodnotu

Odeber poslední

**Regulační meze**

Cílová hodnota:

Horní mez (UCL):

Spodní mez (LCL):     Nastav

**Náklady při překročení mezí**

Překročení horní meze:

Překročení spodní meze:     Nastav

**Soubor veličin**

Přidat veličinu    Data    Vymaž vybranou veličinu

Upravit vybranou veličinu

Soubor dat

Obrázek 11 – Okno nastavení vstupních dat

Zdroj: Vlastní zpracování

### 6.2.1 Vstupní data

V první záložce se nachází textové pole pro zadání základních charakteristik dat, jako rozsah mezí, či název dat, včetně možnosti vložení jednotlivých hodnot. Tyto textové pole jsou pro větší přehlednost členěny do oddílů:

- Data,
- Regulační meze,
- Náklady při překročení mezí,
- Soubor dat,
- Soubor veličin.

Pro práci s vícerozměrnými hodnotami slouží právě poslední oddíl, který se nachází ve spodní části okna a umožňuje přidat další veličiny, případně upravovat již vložené veličiny.

### 6.2.2 Náklady na jakost

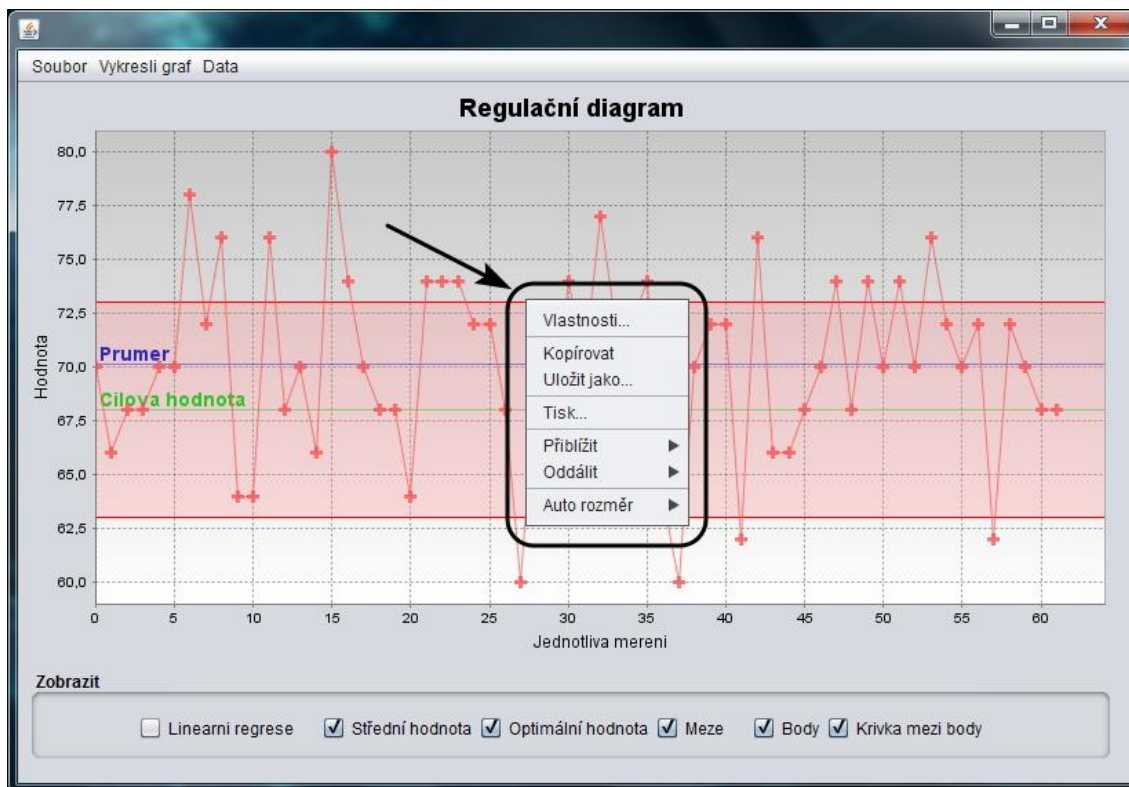
V této záložce je důležitý zejména oddíl nazvaný Typ kontroly výrobků, ve kterém se nastavuje druhy kontroly, tzn. po kolika výrobcích je kontrola prováděna. Na výběr jsou možnosti:

- Kontrola po N výrobcích,
- Kontrola všech výrobků.

Podle typu nastavené kontroly se poté vypíše příslušné textové pole, do kterých se vypisují podrobnější údaje o kontrole výrobků.

## 6.3 Zobrazení a možnosti grafů

Vložené data lze reprezentovat v přehledných grafech. Tyto grafy jsou vykreslovány pomocí grafické knihovny JFreeChart a nabízejí množství funkcionalit. Ke všem níže uvedeným grafům lze přistoupit přes položku Vykresli graf, jež je umístěna přímo na hlavní liště. Grafy lze pomocí vyskakovací nabídky dále upravovat. Vyskakovací nabídku lze zobrazit zmáčknutím pravého tlačítka myši nad výkresem, viz obrázek 12:



Obrázek 12 – Regulační diagram s vyskakovací nabídkou

Zdroj: Vlastní zpracování

Vyskakovací nabídka nabízí možnosti.

- Vlastnosti... (zde lze upravit popisky a nadpis grafu).
- Kopírovat (zkopíruje daný graf do schránky).
- Uložit jako... (graf uloží do složky podle výběru jako obrázek PNG).
- Tisk... (vytiskne graf).
- Přiblížit, Oddálit a Auto rozměr (změní zobrazované měřítko grafu).

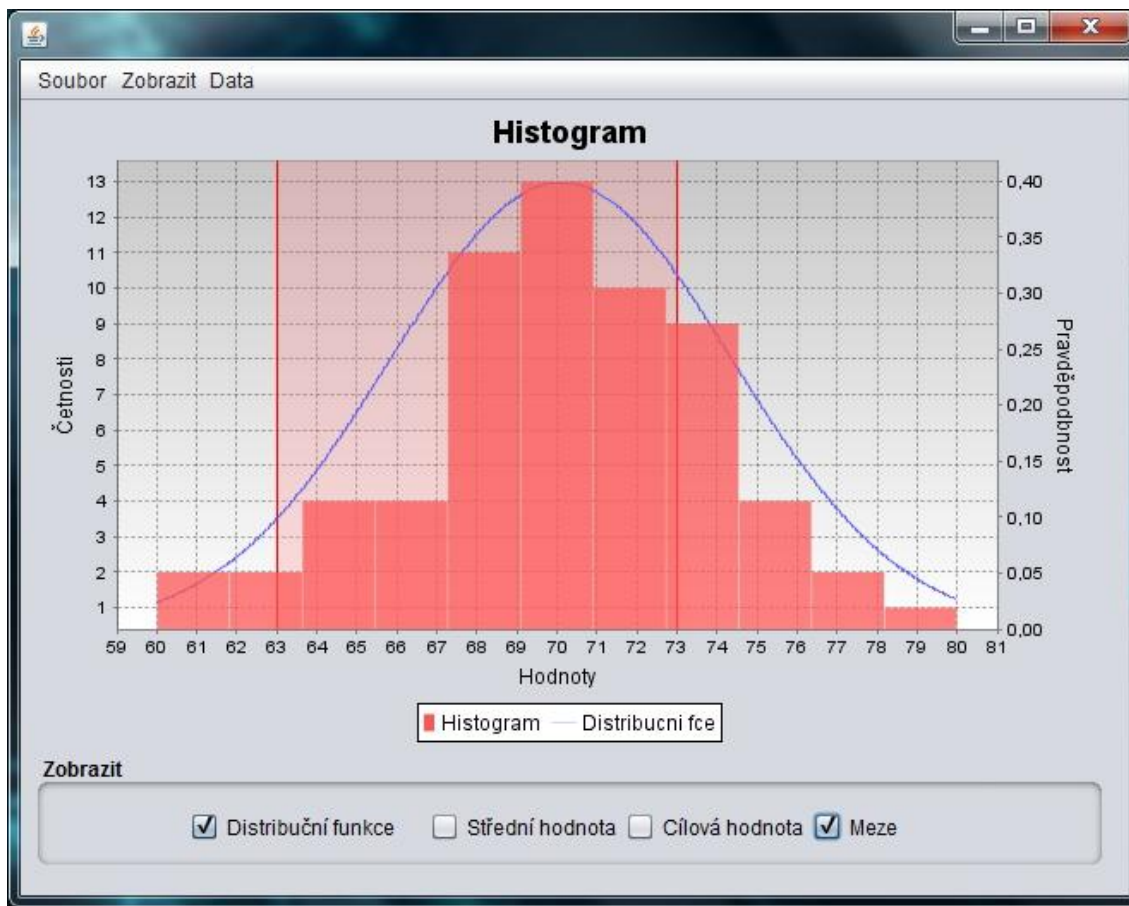
Další možnosti nabízí také srolování kolečka myši nad vykresleným grafem, čímž se provede oddálení, případně přiblížení zobrazeného grafu.

### 6.3.1 Histogram/Distribuční funkce

Aplikace umí vykreslit histogram, ten se nachází v horní části okna. Ve spodní části panelu histogramu se nachází ovládací menu Zobrazit, kde lze zaškrtnutím příslušných políček doplnit graf o zobrazení:

- distribuční funkce,
- střední hodnoty,
- cílové hodnoty,
- meze.





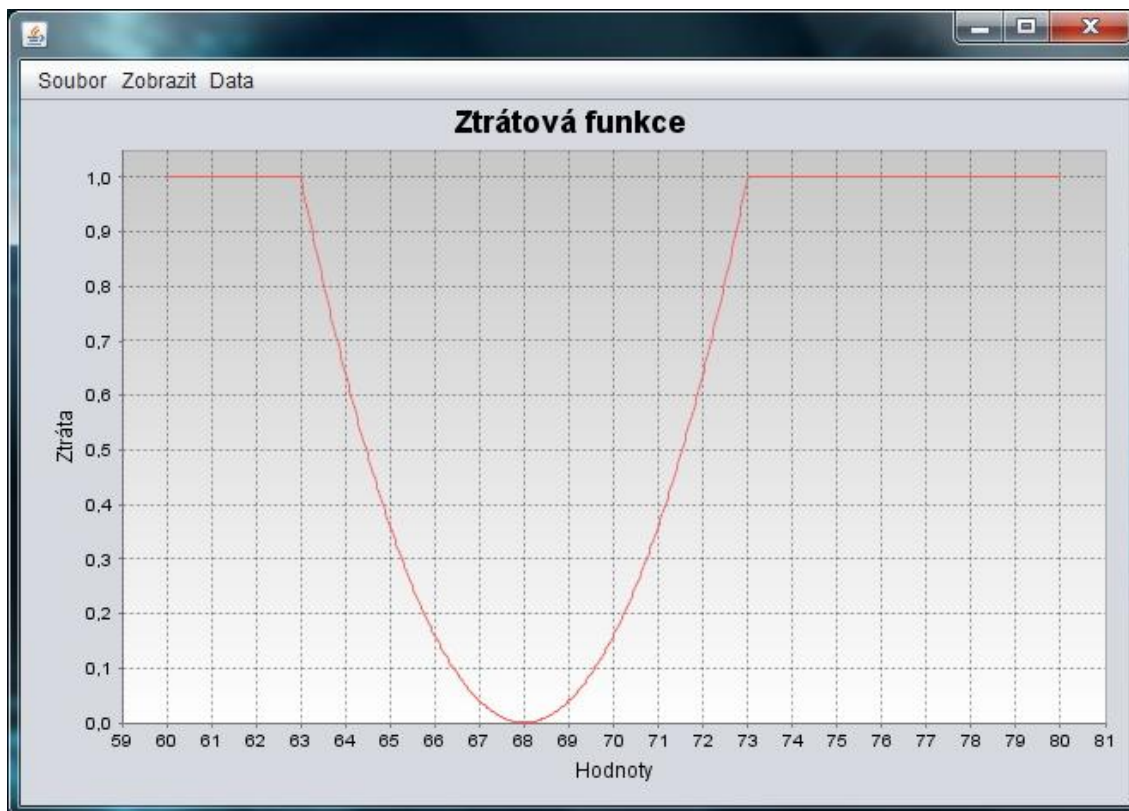
Obrázek 13 – Okno zobrazení histogramu s distribuční funkcí

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Distribuční funkce se zobrazuje na základě normálního rozdělení dat. Program testuje pomocí testů špičatosti a šikmosti normalitu souboru dat. V případě zamítnutí normality souboru dat program místo grafu distribuční funkce vypíše textové upozornění.

### 6.3.2 Ztrátová funkce

Pomocí vzorců a postupů, popsaných v kapitole 3, aplikace vypočítá a zobrazí příslušný graf ztrátové funkce.



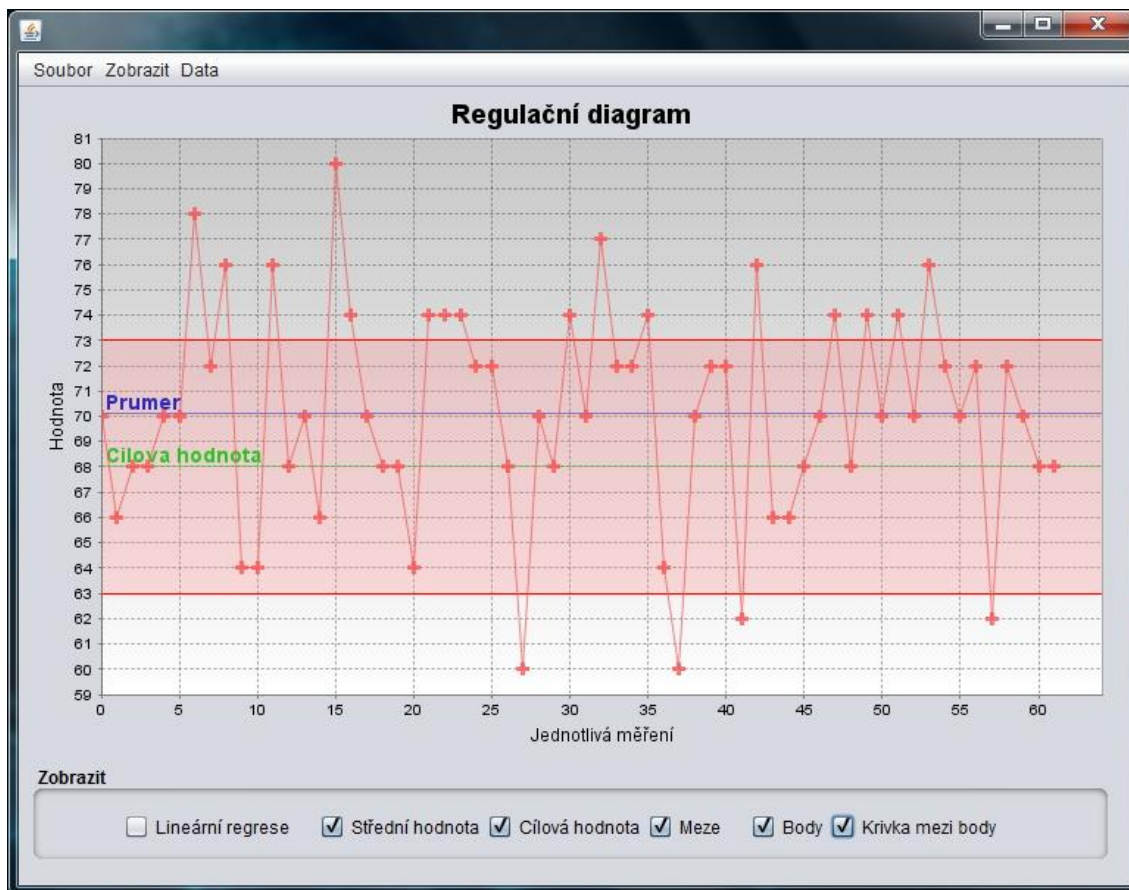
Obrázek 14 – Okno ztrátové funkce

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 6.3.3 Regulační diagram

Pro analýzu způsobilosti procesu grafickými metodami program vykresluje příslušný regulační diagram. Ve spodní části okna se nachází menu zobrazení, kde je možné do grafu zobrazit tyto položky:

- lineární regrese,
- střední hodnota,
- cílová hodnota,
- meze,
- body,
- křivka mezi jednotlivými body.



Obrázek 15 – Okno regulačního diagramu

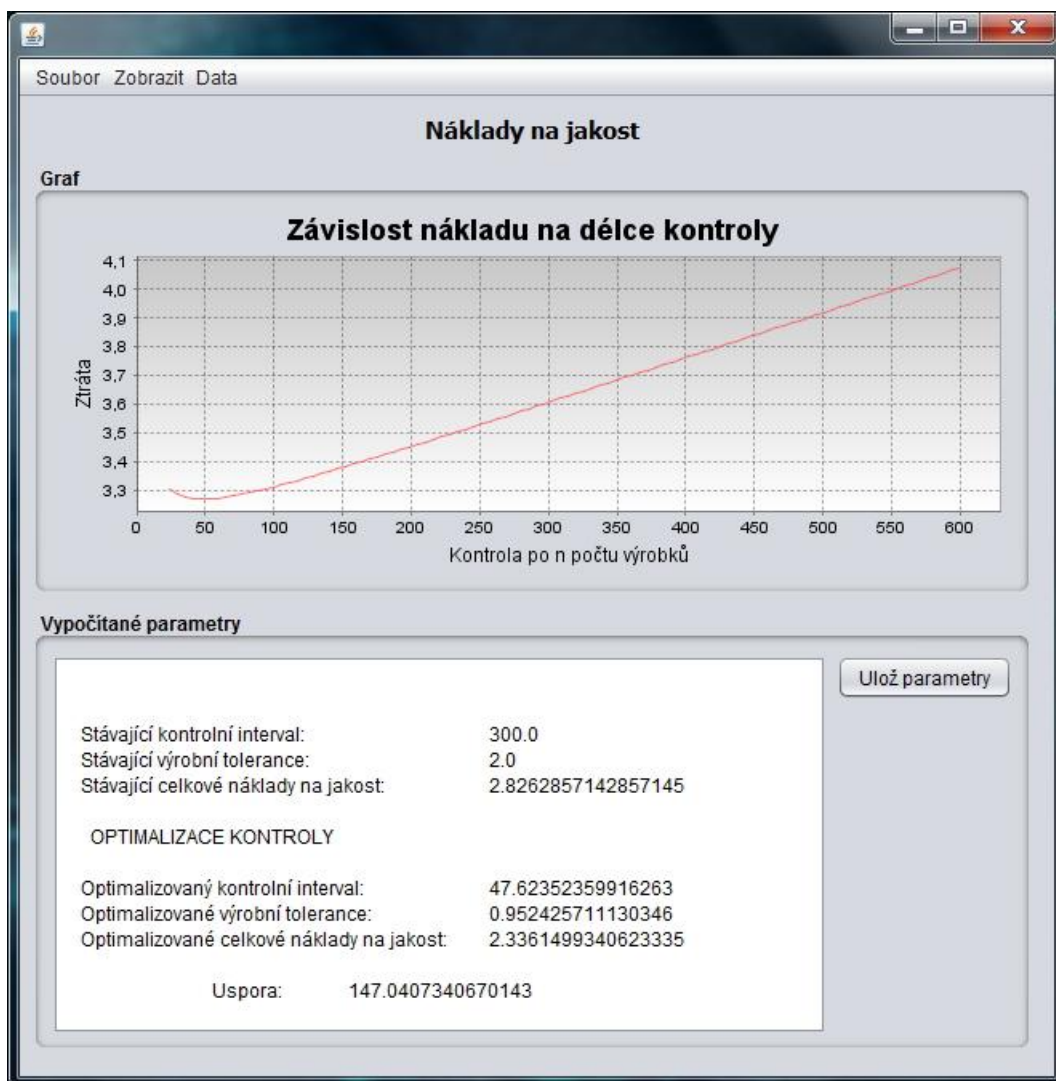
*Zdroj: Vlastní zpracování*

## 6.4 Vypočítané hodnoty

V tomto okně jsou přehledně a postupně vypsány všechny vypočítané indexy, dále odhad podílů zmetků PPM a další informačně důležité údaje o vložených datech. Všechny tyto údaje lze uložit do textového výstupu, jako textový soubor.

## 6.5 Náklady na jakost

V tomto okně jsou umístěny dva oddíly, kde v horním oddílu je vykreslen graf závislosti nákladů na délce kontroly a ve spodním oddílu se nacházejí vypočítané pramanky pro kontrolní intervaly, včetně navržené optimalizace kontroly a vypočítanou úsporou. Všechny tyto údaje lze pomocí tlačítka Ulož parametry uložit do textového souboru.



Obrázek 16 – Okno nákladů na jakost

Zdroj: Vlastní zpracování

## 7 Vnitřní struktura programu

Tato část se zabývá vysvětlením části zdrojového kódu aplikace, především strukturou balíčků a tříd. Program obsahuje 2 balíčky tříd:

- Panely,
- Tridy.

Tyto balíčky a jejich třídy jsou blíže popsány v následujících podkapitolách.

### 7.1 Balíček tříd Panely

Zde jsou zahrnuty třídy, jejichž většina je odvozena od třídy JPanel. Výjimkou je zde třída MainFrame, která je odvozená o od třídy JFrame a obsahuje hlavní okno aplikace. V tomto balíčku jsou umístěny třídy, které jsou zodpovědné za vykreslení grafického rozhraní.

#### 7.1.1 MainFrame.java

Jak je již výše uvedeno jedná se o jedinou třídu, která je odvozena od třídy JFrame. Do této třídy se vykreslují všechny ostatní. Tato třída obsahuje metody, které se spouštějí z hlavní lišty okna programu, slouží pro volání instancí ostatních tříd, které se poté zobrazí do tohoto okna.

#### 7.1.2 PanelData.java

Tato třída odvozená od třídy JPanel, vykresluje okno pro zadání vstupních dat. Její metody pomocí formulářů získávají data a ukládají je do referenčního datového typu, který je definován ve třídě Data.

#### 7.1.3 PanelHistogram.java

Instancí této třídy se vyvolá panel, na který se zobrazí histogram a jeho ovládací menu. Graf využívá výpočtů metod z třídy Funkce a metod z instance třídy KresliGraf. Uživatelské rozhraní je popsáno v předchozí kapitole 6.3.1

#### 7.1.4 PanelNakladyNaJakost.java

V tomto panelu se především vypisují hodnoty, vypočítané ve třídě Funkce, sloužící pro optimalizaci délky kontrol. Také se pomocí instance třídy KresliGraf vykresluje graf závislosti nákladů na délce kontroly. Tyto výsledky se mohou pomocí metody saveAsTxt uložit do textového souboru.

#### 7.1.5 PanelRegulGraf.java

Tento panel slouží pro vykreslení Regulačního grafu, popis grafického rozhraní lze nalézt v kapitole 6.3.3. Graf se vykresluje na základě třídy KresliGraf, kde jsou mimojiné také využity knihovny JFreeChart a dat vložených do instance třídy Data.

### **7.1.6 PanelVypocitaneHodnoty.java**

Metody v tomto panelu jsou určeny pro vypsání uživatelem zadaných a pomocí třídy Funkce vypočítaných dat. Tato třída také obsahuje metodu určenou pro uložení výstupu do textového souboru.

## **7.2 Tridy**

V tomto balíčku jsou obsaženy třídy, které program neobohacují o grafické rozhraní. Tyto třídy slouží pro zpracování a uchování uživatelem zadaných dat, případně slouží pro vykreslování komponent grafů.

### **7.2.1 Data.java**

Tato třída slouží pro základní definici datového typu, který využívá program. Tato třída má spoustu atributů, které zastupují veškeré informace vložené uživatelem do programu. Metody této třídy slouží pro zpřístupnění atributů.

### **7.2.2 Funkce.java**

V této třídě jsou umístěny veřejné metody, pomocí nichž se vypočítávají všechny důležité hodnoty a indexy. Využívá informací obsažených ve třídě Data.

### **7.2.3 KresliGraf.java**

Tato třída využívá jako atributy instance tříd Data a Funkce a pomocí grafických knihoven JFreeChart umožňuje vykreslovat fragmenty grafů. Je využívána v třídách z balíčku tříd Panely, přičemž pomocí této metody se vykresluje většina grafů.

## Závěr

Ve své práci se autor zabýval statistickými i grafickými nástroji analýzy způsobilosti, včetně Taguchiho ztrátové funkce. Tyto nástroje byly následně využity v aplikaci, čímž byly splněny všechny cíle vytyčené v úvodu.

Aplikace umožňuje zadávat sledované znaky jakosti, na jejichž základě poté sleduje jakost výrobků a ověřuje jejich způsobilost. Dále byly implementovány nejen oboustranné ale i jednostranné indexy způsobilosti. Program také na základě ztrátové funkce měří kvalitu výroby z finančního hlediska a umožňuje tak stanovit celkové náklady na jakost. Použité nástroje umožňují komplexní analýzu sledovaných znaků jakosti.

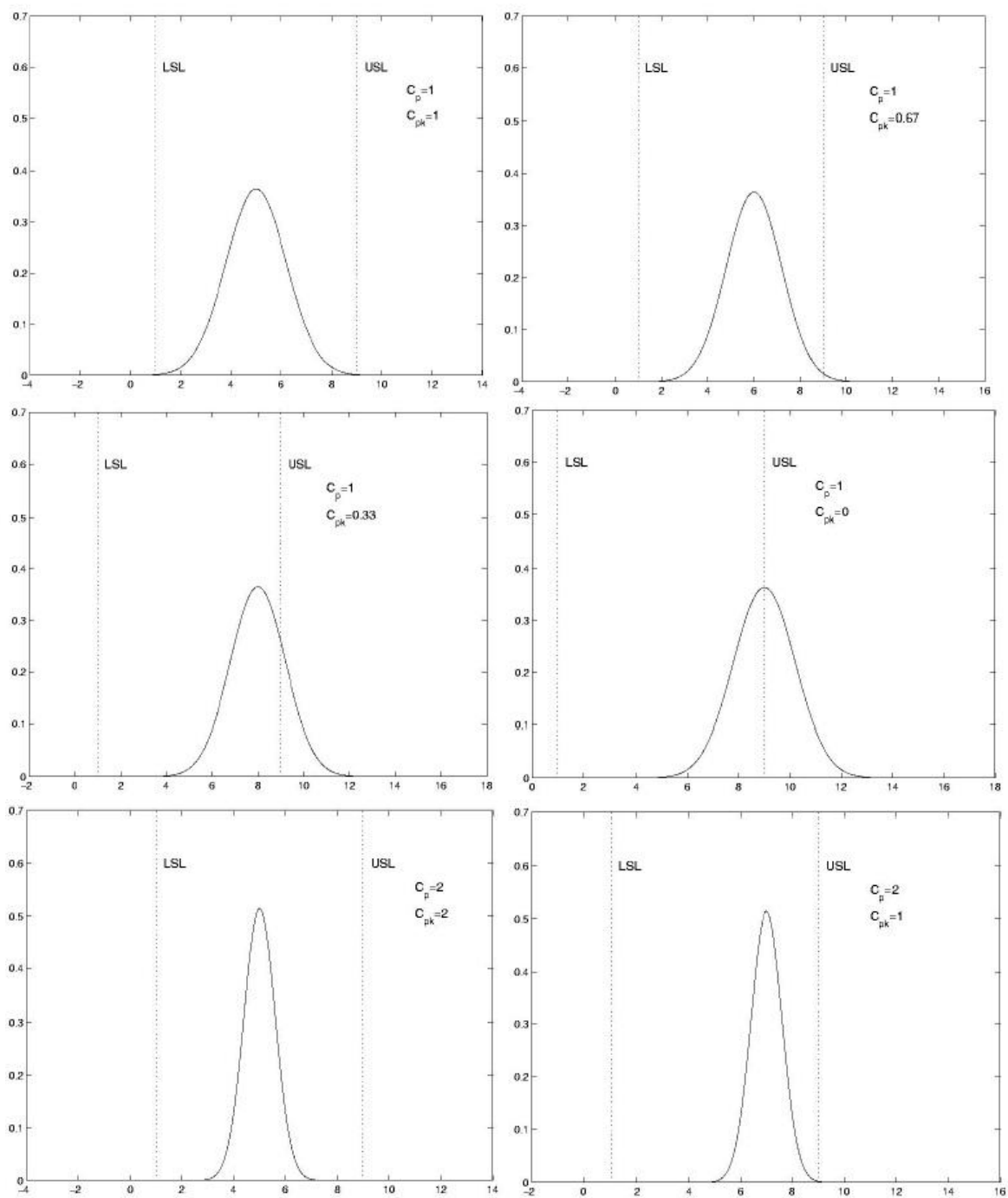
Problematika analýzy způsobilosti je velmi obsáhlé téma, o čemž svědčí mimo jiné Taguchiho dílo *Quality Engineering Handbook*, které čítá přes 1600 stránek. Nabízí se proto rozšíření aplikace, v němž by byla zpracována statistická přejímka, testování hypotéz či rozšíření o více grafických nástrojů zlepšování jakosti. Tato rozšíření by vedla k vyšší vypovídající hodnotě analýzy způsobilosti, čímž by se nejen zpřesnily výsledky, ale i zvětšil rozsah sledovaných faktorů.

## Literatura

1. HORÁLEK, Vratislav. *Jednoduché nástroje řízení jakosti I.: výstup z projektu podpory jakosti č. 5/16/2004*. Vyd. 1. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004. Průvodce řízením jakosti. ISBN 80-020-1689-0.
2. HUTYRA, Milan a kol. *Management jakosti*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1484-1.
3. JANEČEK, Zdeněk. *Jakost – potřeba moderního člověka*. Vyd. 1. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004. ISBN 80-02-01687-4.
4. MOC, Lubomír. *Řízení jakosti a spolehlivost*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001.
5. TOŠENOVSKÝ, Josef. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-722-5040-X.
6. NetBeans. ORACLE CORPORATION AND/OR ITS AFFILIATES [Online]. © 2013. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <https://netbeans.org/>.
7. The 7 Quality Tools. DOCSTOC®. *.docstoc* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.docstoc.com/docs/114805831/The-7-Quality-Tools>.
8. Welcome To JFreeChart! *JFreeChart*. [Online] David Gilbert, © 2005-2012. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.jfree.org/jfreechart/>.



## Příloha 1 – Index $C_p$ a $C_{pk}$



Zdroj: vlastní, inspirováno Tošenovský, J.; Noskiewičová D.; 2000

## **Příloha 2 – CD**

Příložené CD obsahuje:

- textovou část práce ve formátu PDF,
- zdrojové kódy programu,
- spustitelný soubor aplikace.