



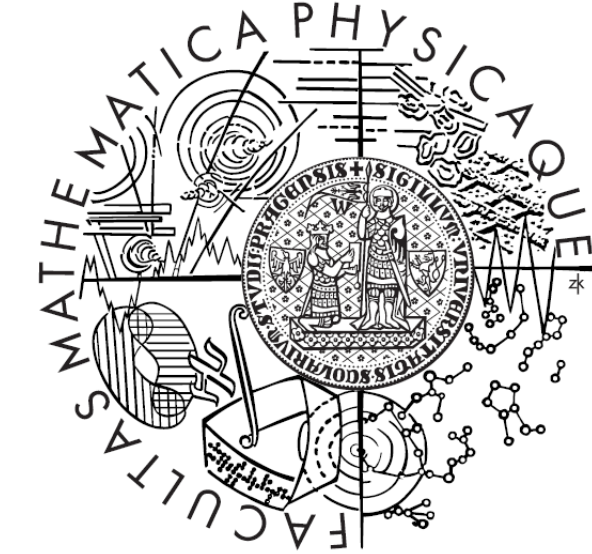
Metodika komplexního návrhu regulačního diagramu

ROBUST 9.9. - 14.9.2012

Ing. Jan Král

ISQ PRAHA s.r.o.

kral.jan@isq.cz



Abstrakt

Tato práce řeší problematiku komplexního přístupu k návrhu regulačního diagramu a podrobněji se zabývá etapou návrhu teoreticky správného efektivního a v reálné praxi implementovatelného typu regulačního diagramu prostřednictvím nové vyvinuté metodiky včetně navržených metodických schémat.

Práce se z důvodu rozsahu předmětné problematiky zabývá úžeji problematikou analýzy systému měření a ekonomicko-statistickými aspekty v návrzích regulačního diagramu. Pro tyto oblasti byly zpracovány výpočtové šablony pro MS Excel na podporu analýzy systému měření MSA a vedení regulačních diagramů s rozšířenými mezemi, které jsou přílohou této práce a další SW.

Motivace

Téma práce bylo navrženo a řešeno jako reakce na konkrétní aktuální požadavky strojírenských podniků, které byly identifikovány řešitelem.

Nejdůležitější je zmiňována potřeba metodické podpory při praktickém zavádění metod statistického řízení procesu, která by byla srozumitelná a překlenula kvalifikační bariéry.

Od vlastního návrhu je požadováno, aby byl účinný - tj. pracoval s předem zvolenou hodnotou falešného signálu, který představuje chybu prvního druhu a byl optimalizován z ekonomického hlediska při zachování účinnosti zaváděné metody.

Cíle práce

Tato práce si klade za cíl především vytvořit ucelenou systematickou a komplexní metodiku poskytující návod pro výběr vhodného regulačního diagramu, nalezení optimálních parametrů jak z hlediska statistických vlastností, tak i z hlediska minimalizace nákladů. To vše s ohledem na konkrétní podmínky s využitím soudobých moderních přístupů a znalostí z oblasti aplikované statistiky spolu s praktickými zkušenostmi z řady průmyslových provozů.

Nově formulovaná metodika pro komplexní návrh regulačního diagramu poskytnou cílovému uživateli návod řešící v jednotlivých krocích etapy implementace SPC.

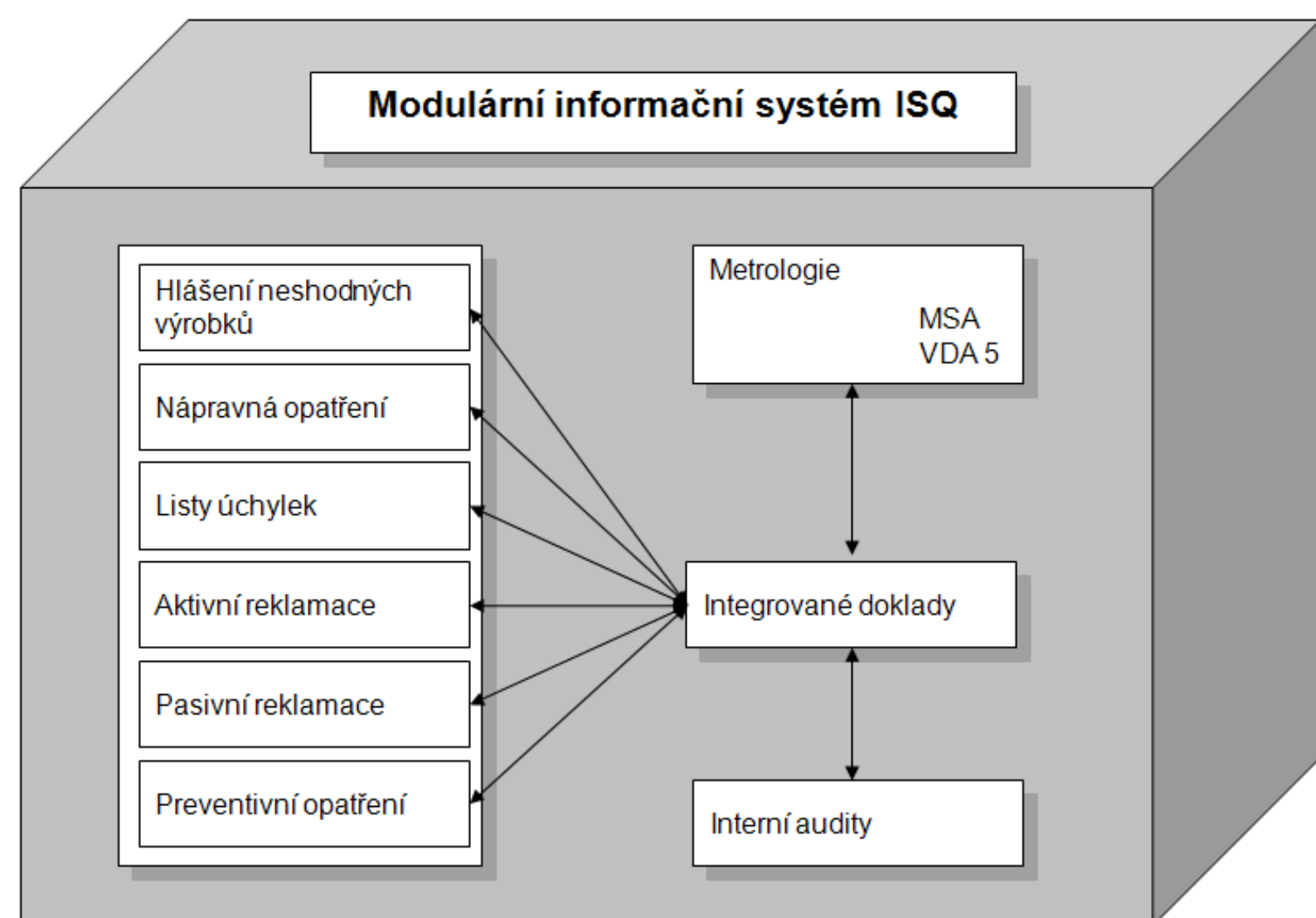
Nedílnou součástí je i ověření předpokladů pro užití konkrétních metod. Tato etapa je v praxi běžně opomíjena, což vede ke zkrácení výsledku, demotivaci pracovníků reagujících na základě planého signálu o změně nastavení procesu a ekonomické ztrátě. Zmíněná ztráta vyplývá z vícepráce na procesu, který v statisticky nezvládnutém stavu produkuje vyšší podíl neshodných jednotek.

Pokud zvolíme metodu SPC s využitím navrhované metodiky, bude návrh regulačního diagramu teoreticky správný, s optimalizovanými náklady na provádění statistické regulace a s problémově zaměřenou SW podporou.

Postup řešení

Pro dosažení stanovených cílů práce byly zvoleny následující postupné kroky rozdělené do dílčích etap.

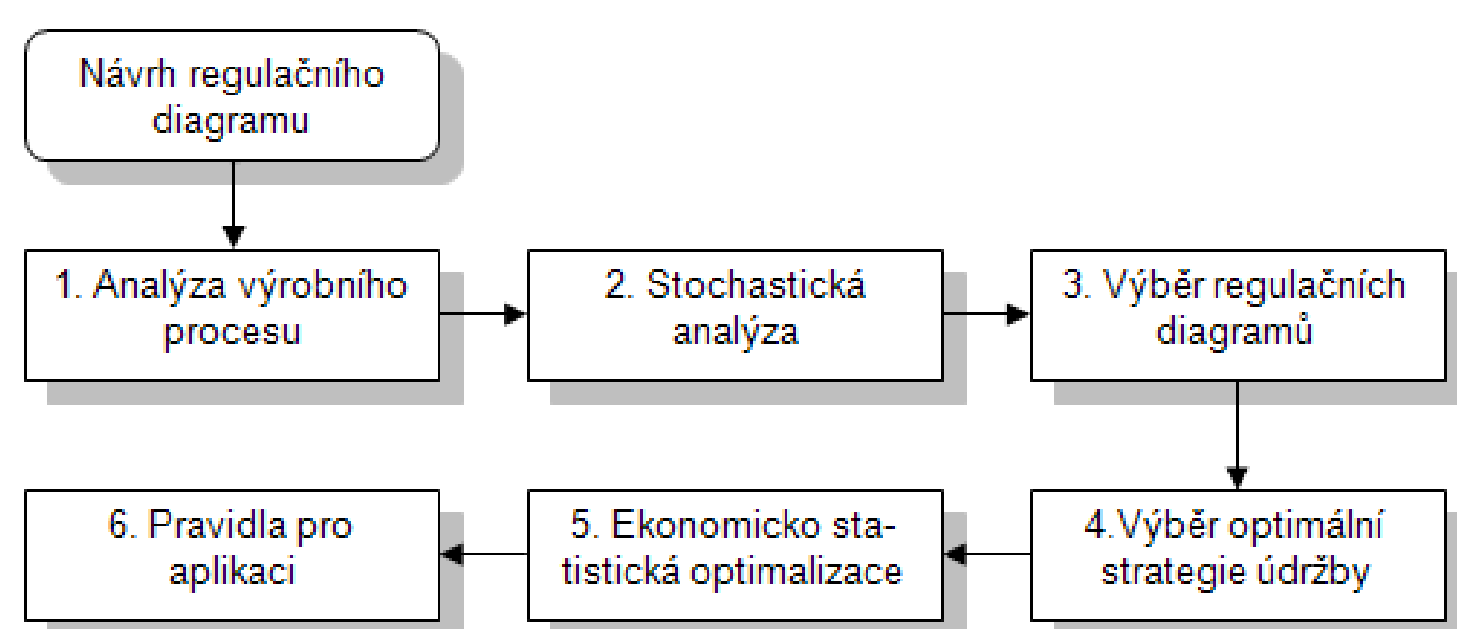
- Literární rešerše a kritické zhodnocení stávajících postupů.
- Formulace komplexní metodiky návrhu regulačního diagramu.
- Návrh metodických schémat, na jejichž základě je možné zvolit vhodnou metodu SPC. Takto zvolená metoda bude následně optimalizována v etapě ekonomicko-statistické optimalizace, která bývá v praxi často opomíjena.
- Formulace standardních podmínek pro užití konkrétní metody statistické regulace (předpoklady pro užití) včetně doporučených postupů pro implementaci.
- Formulace doporučených postupů pro překlenutí situace, kdy některé předpoklady pro užití konkrétní metody nejsou striktně dodrženy, s doporučenými postupy pro implementaci.
- Využití IT techniky pro řešení návrhu, realizace, vyhodnocení a zlepšování výrobních, řídicích a pomocných procesů. V této oblasti je možné implementovat některý z na trhu nabízených osvědčených SW produktů. Tato nabídka je rozšířena o autorem nově navrhované přístupy k řešení těchto problematik s využitím autorských maker a výpočtových šablon pro nejrozšířenější kancelářský SW - MS Excel.
- Přřazení ekonomických parametrů řešení, tj. jejich kvantifikaci. K tomuto cíli může sloužit SW podpora pro vyhodnocování vadných výrobků vnitřních a vnějších, včetně vhodné podpory metrologie pro ověřování a průkaznost metrik. Výše uvedená problematika je řešena v projektu ISQ SYSTÉM, kde jsem spoluautorem analýzy i SW. Struktura tohoto IS je naznačena na následujícím obrázku č.1. Vlastní IS však není hlavním předmětem řešení této práce, je však dokladem komplexnosti přístupu k řešenému zadání.



Obr. č.1: Struktura SW ISQ SYSTÉM

Popis navržené metodiky

Nově navržená metodika komplexního návrhu regulačního diagramu spočívá v postupné důsledné aplikaci šesti kroků při návrhu SPC, které jsou zobrazeny na následujícím obrázku č. 2, s důrazem na předběžnou analýzu výrobního procesu a na statisticko-ekonomickou optimalizaci zvoleného detekčního algoritmu. Zvláštní důraz je kladen na zajištění technologicko-organizačních předpokladů pro úspěšnou aplikaci ve výrobě.



Obr. č.2: Postup při návrhu RD

Budou-li tyto kroky dodrženy, bude zajištěno, že sledovaná veličina je vhodně zvolena a popisuje charakteristiku mající hlavní vliv na požadovanou vlastnost produktu.

Pro tuto veličinu je dále nezbytné navrhout vhodný systém měření. Tím bude zajištěno, že získaná data z procesu budou dostatečně přesná (počet platných desetinných míst u kvantitativního znaku kvality) a chyba měření nebude významně ovlivňovat variabilitu sledovaného procesu.

Na základě takto získaných dat je možné stanovit teoreticky správný stochastický model, vyčíslit jeho pravděpodobnostní charakteristiky, které dále využíváme k řízení procesu a provést výběr optimálního typu regulačního diagramu.

Za optimální návrh regulačního diagramu považujeme takový, který je teoreticky správný (generuje pouze očekávané procento falešných signálů) a ekonomicky únosný (přiměřená frekvence inspekci s dostatečnou technicky nebo ekonomicky zdůvodnitelnou velikostí vzorku-podskupiny).

Nedílnou součástí péče o proces je také údržba, která má synergetický efekt na stabilitu procesu. Zde je podstatné stanovit přiměřenou míru preventivních a plánovaných opatření tak, aby byl proces ochráněn před důsledky fatálních poruch s přihlednutím k ekonomickým hlediskům (náklady na nekvalitu, náklady na údržbu, potenciální ztráta dobrého jména).

Pro úspěšnost produkce je důležitá i úroveň nákladů a technická úroveň, která je podmíněna konstrukcí, technologií, systémem měření, použitými materiály, prostředím, lidským činitelem atd.

V těsné návaznosti na statistické řízení a využívání poznatků z analýz výrobního procesu je proces minimalizace ztrát z nekvality. K tomuto cíli je proto nezbytné využívat současných moderních systémů údržby TQM (Total Quality Maintenance), které jsou provozně propracované a dostupné včetně SW podpory. Cílem těchto systémů je prioritně zabezpečit spolehlivost strojů a zařízení, což je deklarováno jako schopnost plnit trvale stanovené požadavky.

Výsledky

Základním přínosem této práce je navržená a ověřená komplexní metodika využívající soudobých vědeckých přístupů k statistickému řízení procesu, která umožňuje jejich efektivní implementaci v průmyslové praxi. Takováto komplexní metodika v současné době není v našich výrobních podnicích k dispozici, což často vede k opomíjení důležitých zásad při aplikaci regulačních diagramů a v důsledku toho zapříčiňuje nedosažení potřebné efektivity, spolu s nedůvěrou v účinnost těchto metod.

Vedlejší přínosy

Vpracování SW podpory

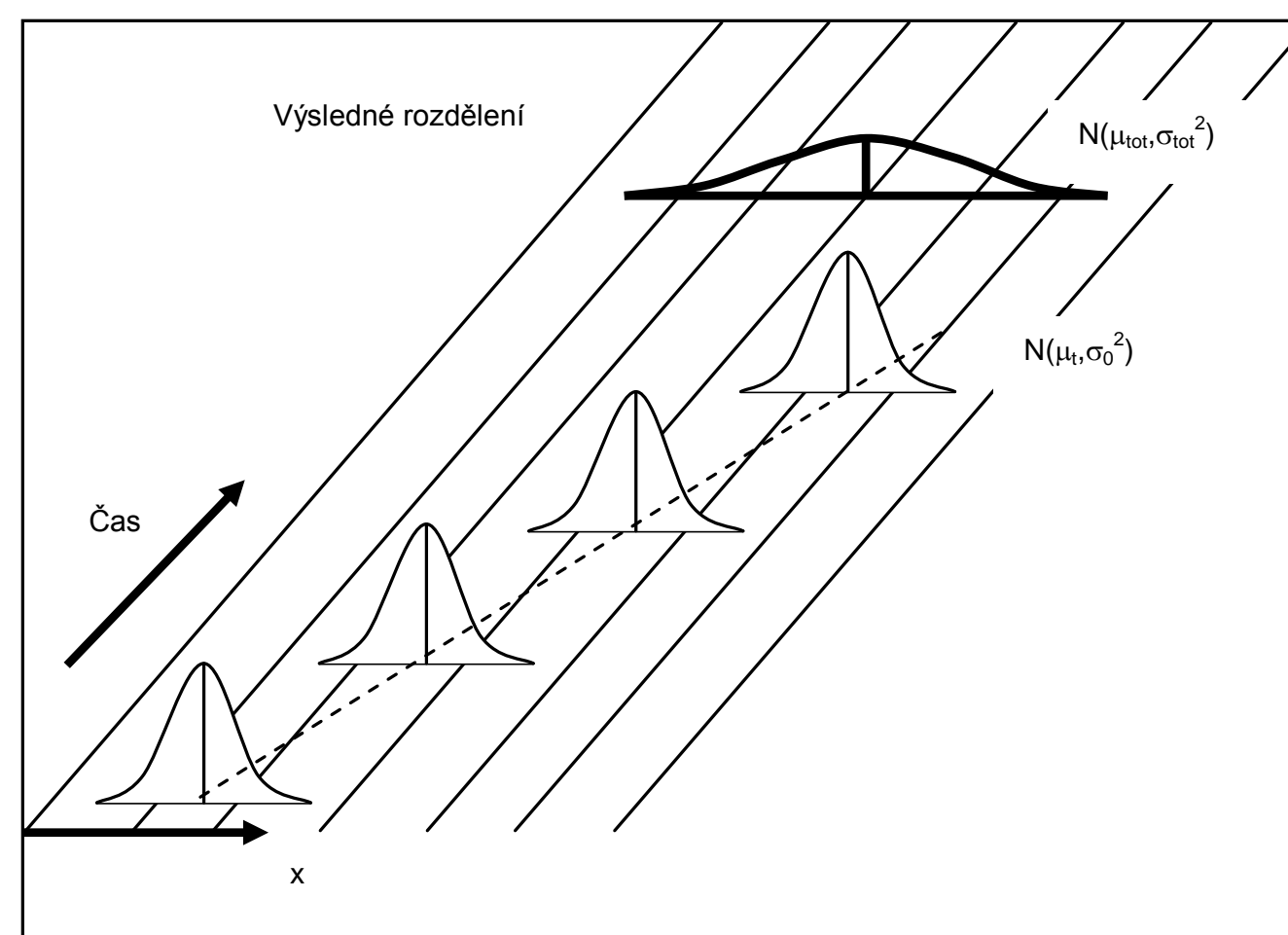
Součástí práce jsou autorsky řešené výpočtové šablony pro MS Excel určené na podporu implementace konkrétních metod, využívaných při návrhu a realizaci statistické regulace. Jedná se zejména o výpočtové šablony, které mají univerzální využití a umožňují výpočet a zakreslení regulačních diagramů pro přizpůsobení i technické regulační meze. Taktéž lze provést volbu a zakreslení požadovaného typu rozšířených regulačních mezí.

$\bar{x} - s$	Výběrový průměr – výběrová směrodatná odchylka
$\bar{x} - R$	Výběrový průměr – výběrová rozpětí
$I - MR$	Individuální hodnoty – klouzavá rozpětí
$Me - R$	Medián – výběrová rozpětí
p	Podíl neshodných jednotek
u	Počet neshod na jednotce
c	Počet neshod
np	Počet neshodných jednotek

Tabulka č.1: Typy zpracovaných regulačních diagramů

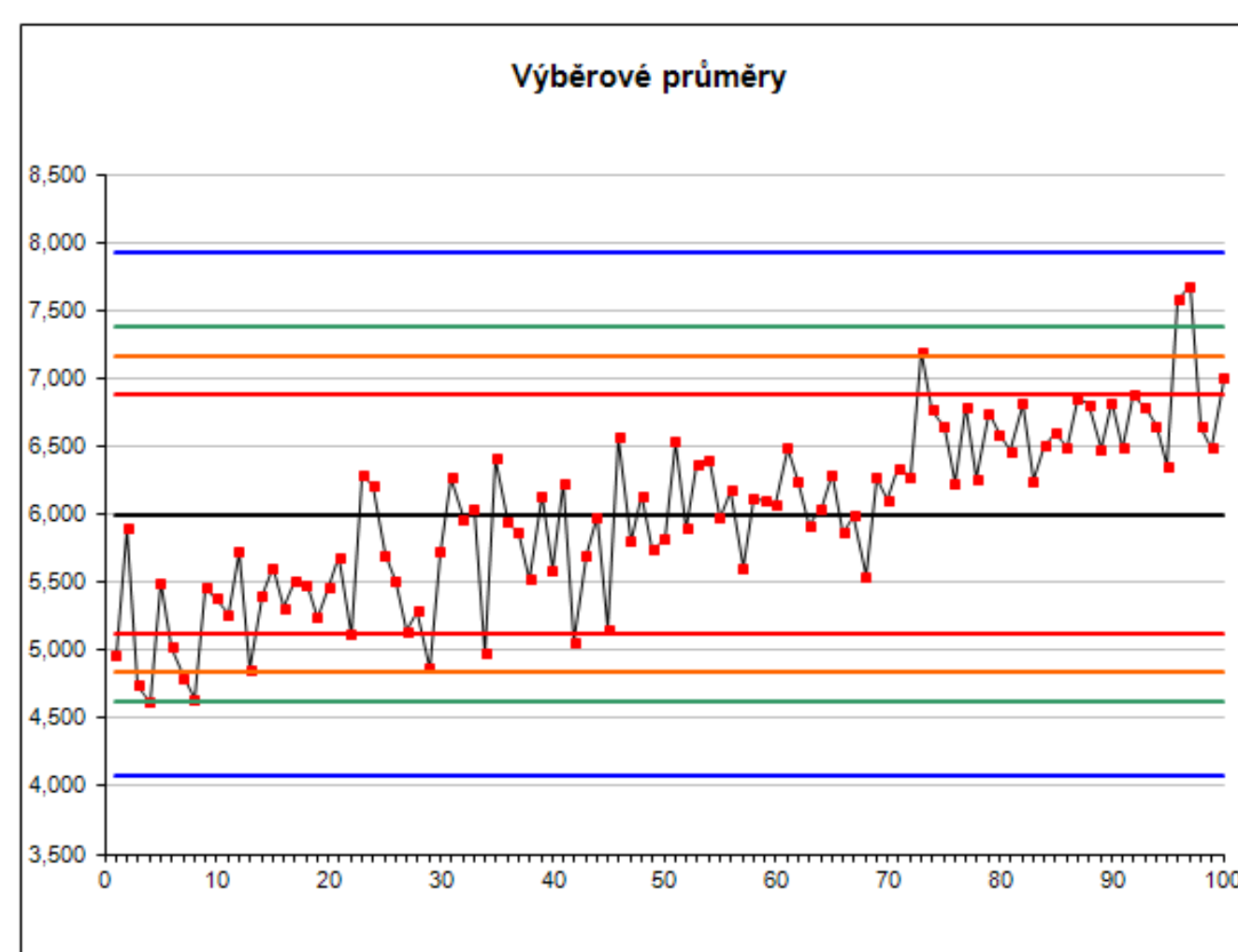
Vpracování algoritmů pro statistickou optimalizaci

Přínosem k rozvoji teorie oboru jsou také nově navržené a řešené postupy statistické optimalizace vedoucí k teoreticky správnému a účinnému návrhu rozšířených regulačních mezí v případě, že monitorovaný proces je statisticky zvládnut v „širším slova smyslu“, kdy se připouští určitá, procesu vlastní a neodstranitelná variabilita střední hodnoty a případně i směrodatné odchylky. Tato situace je demonstrována na obrázku č.3.



Obr. č.3: Proces se střední hodnotou měnící se v čase s inherentním trendem

Na obrázku č. 4 je zobrazen regulační diagram pro výběrové průměry se zakreslenými regulačními mezemi. Od středové čáry to jsou postupně meze Shewartovy; rozšířené σ_{TOP} ; rozšířené Δ ; rozšířené $\sigma_{\bar{x}}$.



Obr. č.4: Regulační diagram pro výběrové průměry

Navrhovaný postup pro případ zamítnutí hypotézy o normalitě znaku kvality

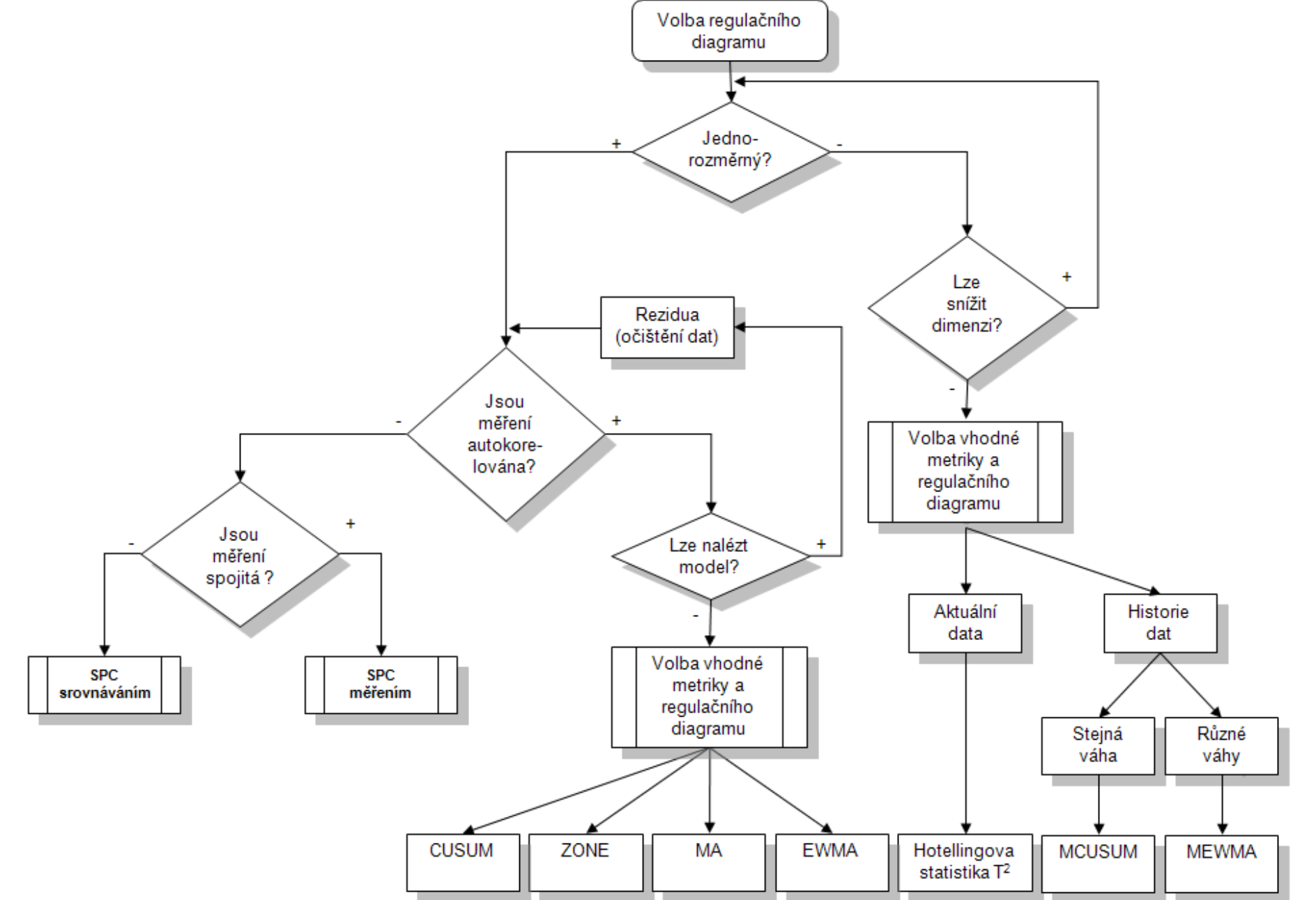
V předložené disertační práci je navržen postup, kterým lze zachovat přiměřeně velkou, ekonomickou (realizovatelnou) logickou podskupinu s využitím následujících teoreticky správných přístupů:

- identifikovat typ rozdělení a pracovat s kvantily identifikovaného rozdělení;
- provést Box-Coxovu či Johnsonovu transformaci nenormálně rozdělených dat na normální a vyhodnotit požadované kvantily;
- pomocí zpětné transformace stanovit odpovídající kvantily v původně rozdělených datech a využít jich pro stanovení regulačních mezí s riziky 0,00135 a 0,99865, odpovídajících rizikům falešného poplachu, se kterými pracují Shewartovy regulační diagramy;
- V krajním případě, když není možné aplikovat výše uvedené postupy, je přípustné odhadnout příslušné percentily z většího množství napozorovaných dat, případně s využitím metody „Bootstrap“.

Poznámka: Uvedené metody jsou seřazeny sestupně dle vhodnosti implementace.

Vpracování metodických schémat pro návrh regulačního diagramu

Cílem těchto schémat je poskytnout pracovníkům z praxe ověřené a teoreticky podložené postupy, vedoucí ke korektní implementaci statistických nástrojů pro řízení a sledování znaků kvality výrobku či procesu, tj. aby se grafické a numerické výsledky statistické analýzy skutečně vztahovaly k reálné situaci, která panuje ve výrobním procesu. Na obr. č.5 uvádím ukázkou metodického schématu.



Obr. č.5: Schéma pro volbu regulačního diagramu

Diskuse výsledků

V průběhu posledních let jsem spolupracoval na řešení aktuálních výrobních problémů ve středně velkých strojírenských podnicích, kde byla dána možnost ověřování v disertační práci uváděných postupů. Jedná se především o podniky GCE Chotěboř, s.r.o. a Constellium Extrusions Děčín s.r.o. Tyto postupy byly rovněž ověřovány v průběhu řešení grantu 1M06047 - Centrum pro jakost a spolehlivost výroby vybraného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v letech 2006-2011. Na základě výše uvedených faktů a prezentovaných výsledků lze prohlásit, že všechny stanovené cíle byly splněny.

Seznam nejvýznamnějších publikovaných prací autora vztahujících se k tématu:

- [1] HORÁLEK,V.-KŘEPELA,J.-KRÁL,J.: Základní statistické výpočty s podporou Microsoft Excel, Praha, ČSJ 2001, ISBN 80-02-01427-8, 176 s.
- [2] KRÁL,J.-KŘEPELA,J.: Aktuální poznatky podnikové praxi v zajišťování a zabezpečování stability měření, měřidel, strojů a procesů. In: Sborník semináře Soudobé trendy v řízení jakosti - V. Zlenice, ISQ PRAHA, s.r.o. 2002, s. 104-124.
- [3] KRÁL,O.-KRÁL,J.-KŘEPELA,J.: Význam a implementace SIX SIGMA v podnikovém prostředí. In: Sborník semináře Soudobé trendy v řízení jakosti - XI. Zlenice, ISQ PRAHA, s.r.o. 2003, s. 86-105.
- [4] KRÁL,J.-POLÁK,M.-MÁLEK,J.: Metody FMEA a DOE v praxi. In: Sborník semináře Soudobé trendy v řízení jakosti - XVI. Zlenice, ISQ PRAHA, s.r.o. 2005, s. 19-40.
- [5] FABIAN F., HORÁLEK V., KŘEPELA J., MICHÁLEK J., CHMELÍK V., CHODOUNSKÝ J., KRÁL J.: Statistické metody řízení jakosti, Praha, ČSJ, 2007, ISBN 978-80-02-01897-1, 390 s.
- [6] KRÁL,J.-KŘEPELA,J.: SW podpory při řešení projektů s aplikací statistických metod. In: Sborník příspěvků konference REQUEST '06, Praha, Centrum pro jakost a spolehlivost výroby, ČVUT, 2007, ISBN 978-80-01-037009-6, s. 197-206.
- [7] KRÁL,O.- KRÁL,J.: Význam systémového přístupu k projektu a zásady projektového řízení. In: Sborník příspěvků konference REQUEST '06, Praha, Centrum pro jakost a spolehlivost výroby, ČVUT, 2007, ISBN 978-80-01-037009-6, s. 207-216.
- [8] KRÁL, J.: Metrologie jako základ způsobilosti systémů jakosti. In: REQUEST '08 : sborník konference : Brno, 25.6.-28.6.2008. Brno : VUT Brno/CQR, 2008. s. 107-112. ISBN 978-80-214-3774-6.
- [9] KRÁL, J.: Modified Shewart's control charts implementation. In: Current trends in statistics in V6 region: proceedings of student's conference, Prague, 5.9.-6.9.2008. Praha: Czech Statistical Society, 2009. s. 72-85. ISBN 978-80-904330-0-7.
- [10] KRÁL,O., - KRÁL,J.: SW podpora při řešení projektů s aplikací statistických metod. In: Integrovaný systém řízení – příručka s trvalou aktualizací. Praha: Verlag Dashoefer 2008. ISBN 80-86897-02-8.
- [11] FABIAN F., HORÁLEK V., KŘEPELA J., MICHÁLEK J., KRÁL J.: Využití podpory Microsoft Excel při aplikaci základních statistických metod. Praha, ČSJ, 2009, ISBN 978-80-02-02102-5.
- [12] KŘEPELA J., KRÁL J, MICHÁLEK J.: Analýza výrobního procesu; Základy práce s MS Excel. Praha, ČSJ, 2010. 210s. ISBN 978-80-02-02200-8.
- [13] KRÁL, J.: Implementace SPC při ověřování stability výrobního procesu v strojírenském podniku. In: Informační Bulletin České statistické společnosti, ročník 22, číslo 2. Brno: ČSS, 2011, s. 108-123, ISSN 1210-8022.
- [14] KRÁL, J., MICHÁLEK, J., KŘEPELA, J.: Shewarts Control Charts of Sample Means for Nonnormal Distribution of Quality Variables (Shewartovy RD výběrových průměrů v případě nenormálního rozdělení znaku jakosti) In: 5th Annual International Travelling Conference for Young Researchers and PhD. Students ERIN 2011 : Proceedings : 13th - 16th April 2011. Prešov :Harmony Apeiron Non-profit Association, 2011. s. 285-294. ISBN: 978-80-89347-04-9.