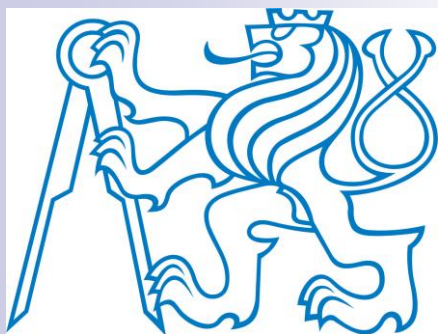




# ROBUST 2012

Němčičky 9.9. - 14.9. 2012

## Metodika komplexního návrhu regulačního diagramu



**Ing. Jan Král**  
ISQ PRAHA s.r.o.  
kral.jan@isq.cz

# Cíl práce

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

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

Nedílnou součástí je taktéž ověření předpokladů pro užití konkrétních metod. Tato etapa je v praxi běžně opomíjena, což vede ke zkreslení výsledku, demotivaci pracovníků reagujících na základě planého signálu o změně nastavení procesu a ekonomické ztrátě.

# Užití MSM je pro firemní systém řízení kvality nezbytné

- Základem efektivního systému řízení je IT v souladu s vhodným softwarovým produktem pro zpracování dat, který zajišťuje potřebné informace.
- Při vhodné skladbě zvolených matematicko statistických metod dochází k synergickému efektu.
- Matematicko statistické metody umožňují řízení na základě objektivních, ekonomicky získaných, trvale aktualizovaných informací.

# Oblasti aplikace statistických metod

- Statistické řízení procesů s důrazem na prevenci, stabilitu kvality procesu na úrovni požadované zákazníkem při dodržení hospodárnosti výroby.
- Vstupní, výrobní a výstupní kontroly jak kusových výrobků, tak hromadných materiálů.
- Laboratoře, vývoj a výzkum, ověřování účinnosti opatření k nápravě, hodnocení dodavatelů, marketingové studie atd.

# Řízení procesů pomocí SPC

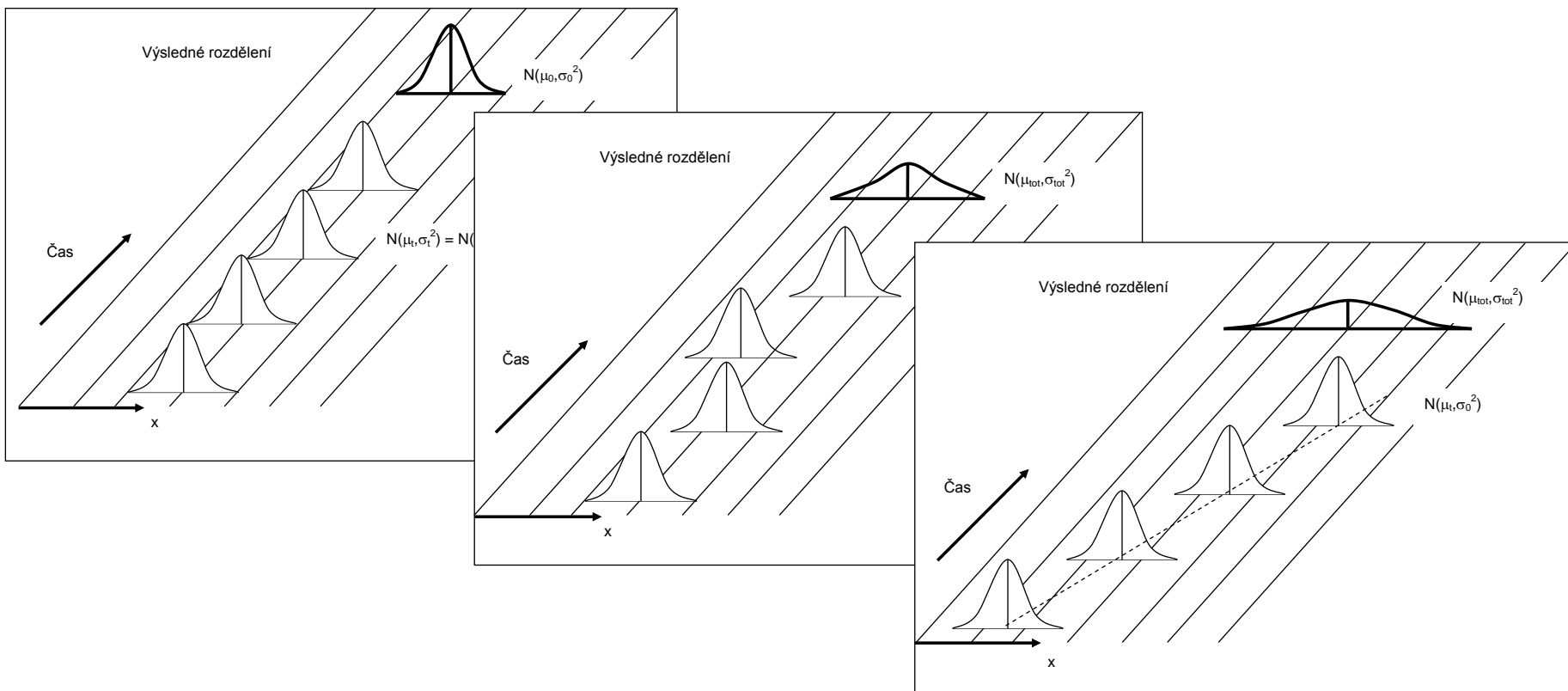
- Cílem systému regulace procesu je učinit ekonomicky fundované rozhodnutí o opatřeních ovlivňujících proces.
- Jedná se o udržování rovnováhy mezi uskutečněnými a neuskutečněnými opatřeními.
- Riziko „zbytečného zásahu“ x riziku „chybějícího zásahu“
- Zlepšování procesu pomocí RD je iterativní proces.
- RD uvádějí v soulad požadavky zákazníka s výrobním procesem, snižují náklady a zvyšují kvalitu.

# Současný stav

- Regulační diagramy jsou velice rozšířeným nástrojem především v oblasti řízení kvality. Jsou velice oblíbené pro svoji jednoduchost a snadnou aplikovatelnost.
- Od třicátých let minulého století, kdy byly poprvé uvedeny W. A. Shewhartem se jejich základní návrh významně nerevidoval. **Došlo však k odklonu od hromadné výroby k výrobě malosériové.**
- Pro snížení variability procesu jsou využívány nejčastěji regulační diagramy Shewhartova typu, pomocí kterých jsou analyzovány a řízeny výrobní procesy.
- V praxi jsou jen sporadicky splněny podmínky, za kterých je možno aplikovat Shewhartovy regulační diagramy v souladu s ČSN ISO 8258:1994 „Shewhartovy regulační diagramy“.

# Běžné typy procesů

- A - Shewhartův proces.
- B - Střední hodnota  $\mu(t)$  se mění v čase.
- C - Střední hodnota  $\mu(t)$  se mění v čase s inherentním trendem.



# Současný stav

- V literatuře se objevuje řada nových RD, které reagují na nové podmínky (odklon od hromadné výroby, počítačové řízení výroby) lépe než Shewhartovy regulační diagramy, avšak jejich použití je v praxi často problematické. Důvodem je nejen relativní složitost těchto sofistikovaných metod, ale především často nevhodné použití konkrétní metody statistické regulace v nevhodných podmínkách. ***Jako jeden z nejdůležitějších aspektů se ukazuje neexistence komplexní metodiky pro návrh a optimalizaci regulačního digramu v konkrétních podmínkách.***

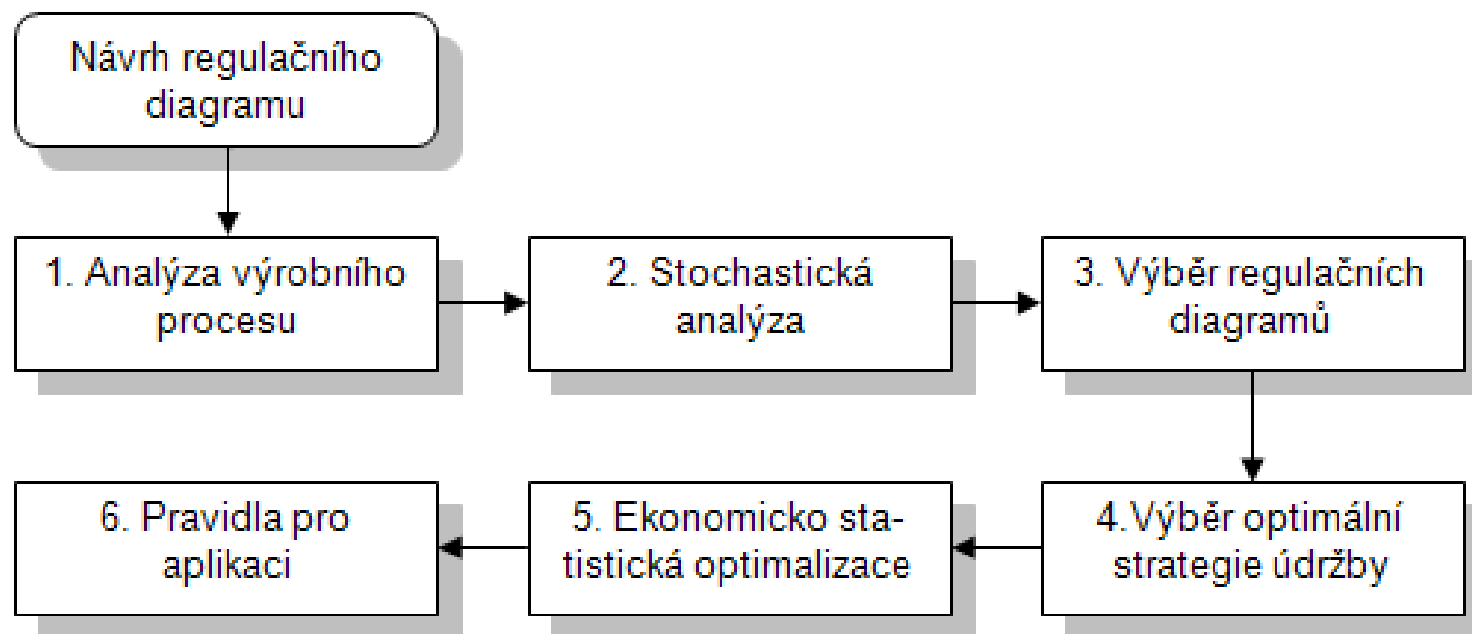


# Popis navržené metodiky

Na základě kritické analýzy dosavadních poznatků a názorů zjištěných při studiu literatury a dále na základě vlastních zkušeností jsem dospěl k závěru, že neexistuje systematická komplexní metodika pro návrh statistického řízení procesu, speciálně pro jeho hlavní nástroj, kterým je regulační diagram. Z tohoto vyplývá konkrétní cíl této práce, kterým je formulace posloupnosti základních kroků při vytváření návrhu regulačního diagramu.

Návrh regulačního diagramu by měl být dle této metodiky realizován v následujících krocích.

# Postup při návrhu RD



# 1. Analýza výrobního procesu

Tato analýza by nám měla odpovědět na následující otázky:

- kterou veličinu/ veličiny budeme sledovat?
- které vlastnosti výrobního procesu tato veličina ovlivňuje a naopak, jak je ovlivňována tímto procesem?
- co přesně znamená z provozního hlediska, že je „proces pod kontrolou“?
- jaká jsou rizika v případě, kdy je proces „mimo kontrolu“?
- může proces pokračovat v průběhu identifikace vymežitelné příčiny (ověřování signálu)? Jaké je riziko?
- může proces pokračovat v průběhu údržbových operací? Jaké je riziko?
- jaké jsou nákladové položky (ztráty) a jejich vyčíslení?

*Teprve po zodpovězení těchto otázek můžeme pokračovat v návrhu.*

## 2. Stochastická analýza

Vzhledem k tomu, že regulační diagram pracuje s „vnořeným“ stochastickým procesem, nelze provést návrh regulačního diagramu bez znalosti, nebo alespoň odhadů všech pravděpodobnostních charakteristik a analýzy závislostí.

Minimálně je třeba odpovědět na tyto otázky:

- jaké je pravděpodobnostní rozdělení sledovaných charakteristik?
- jaké je pravděpodobnostní rozdělení doby do poruchy?
- (auto)korelační analýza sledovaných charakteristik v čase.
- jaké je pravděpodobnostní rozdělení trvání opravy nebo údržby?

### 3. Výběr regulačního diagramu

Nabídka různých variant regulačních diagramů je velmi široká (a přesto se v drtivé většině používají klasické Shewhartovy diagramy pro  $\bar{X}$  a  $R$ ). Pro výběr té nejvhodnější je třeba vzít do úvahy:

- charakter sledované charakteristiky/ charakteristik,
- zda je třeba sledovat jednu či více charakteristik současně,
- závislostní struktura sledovaného (stochastického) procesu,
- požadavek na citlivost regulačního diagramu,
- požadavek na jednoduchost aplikace za daných podmínek.

## 4. Výběr optimální strategie údržby

Dobře načasovaná preventivní údržba může významně snížit náklady na výrobu a zvýšit její kvalitu. Proto je třeba určit optimální intervaly a rozsah plánované údržby.

Pro ekonomicko - statistický návrh regulačního diagramu je třeba stanovit i vhodný typ údržby:

- renovace (replacement) - uvede systém do stavu „jako nový“,
- minimální oprava - uvede systém do stavu jako před poruchou,
- neúplná oprava - mezi renovací a minimální opravou.

## 5. Ekonomicko-statistický návrh

Použití regulačních diagramů závisí na řadě parametrů, jako je například doba mezi inspekcemi, rozsah výběru při inspekčním měření, stanovení reakčních mezí a dalších.

Tyto parametry jsou v současné době určovány převážně expertními odhady, nebo tradičními doporučeními.

Výsledkem této části návrhu regulačního diagramu jsou především parametry:

- výběru (rozsah výběru, délka intervalu mezi výběry v hodinách),
- rozhodovací funkce (regulační meze, skóry).

## 6. Pravidla pro aplikaci

Pravidla pro aplikaci jsou velmi důležitá: sebelepší návrh regulačního diagramu nebude funkční, pokud nebude aplikován správným způsobem. Proto je třeba tato pravidla stanovit už v okamžiku návrhu regulačního diagramu a pokud možno zajistit jejich dodržování. Mezi pravidla pro aplikaci patří především:

- organizační opatření (podpora ze strany vedení, vyčlenění a pravomoci pracovníků),
- podmínky měření (zabezpečení odběru vzorků a jejich změření),
- odpovědnost pracovníků (a jejich kvalifikační předpoklady),
- technické podmínky ( vyhrazený prostor pro odběr vzorků, zastavení provozu při signálu, při údržbě, ... ),
- programové a výpočetní zabezpečení (evidence a vyhodnocení výsledků měření).



# Dosažené 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

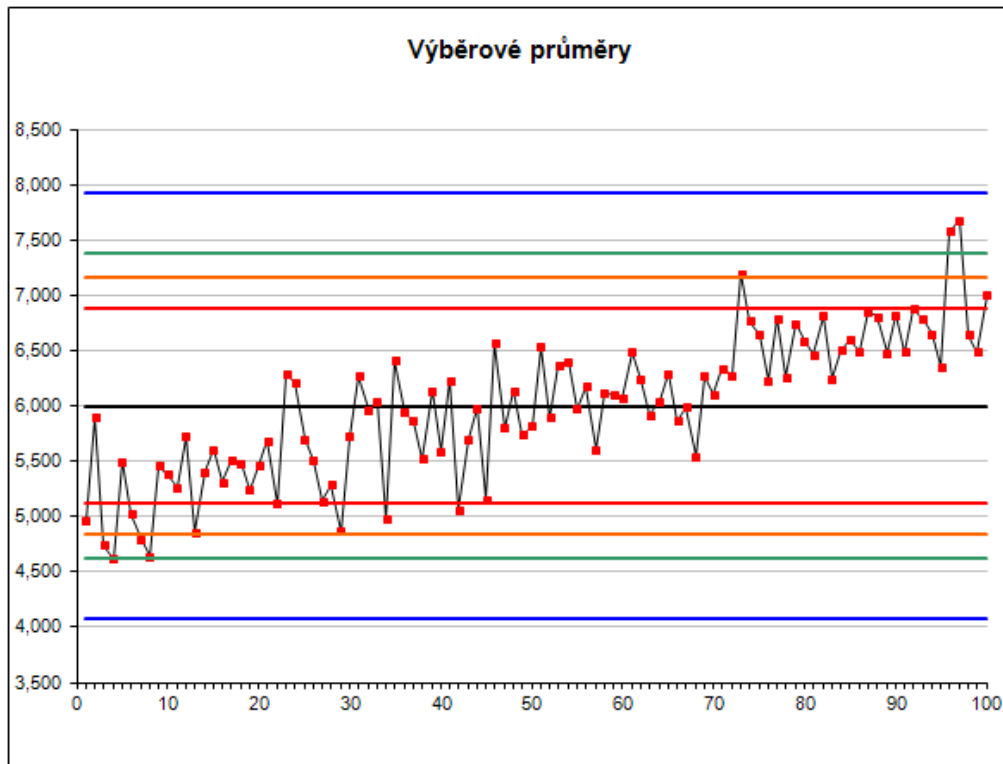
## ■ Vypracování SW podpory

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 přirozené 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

## ■ Vypracování 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.



## ■ Navrhovaný postup pro případ zamítnutí hypotézy o normalitě znaku kvality

V prezentované 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 Shewhartovy 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“.

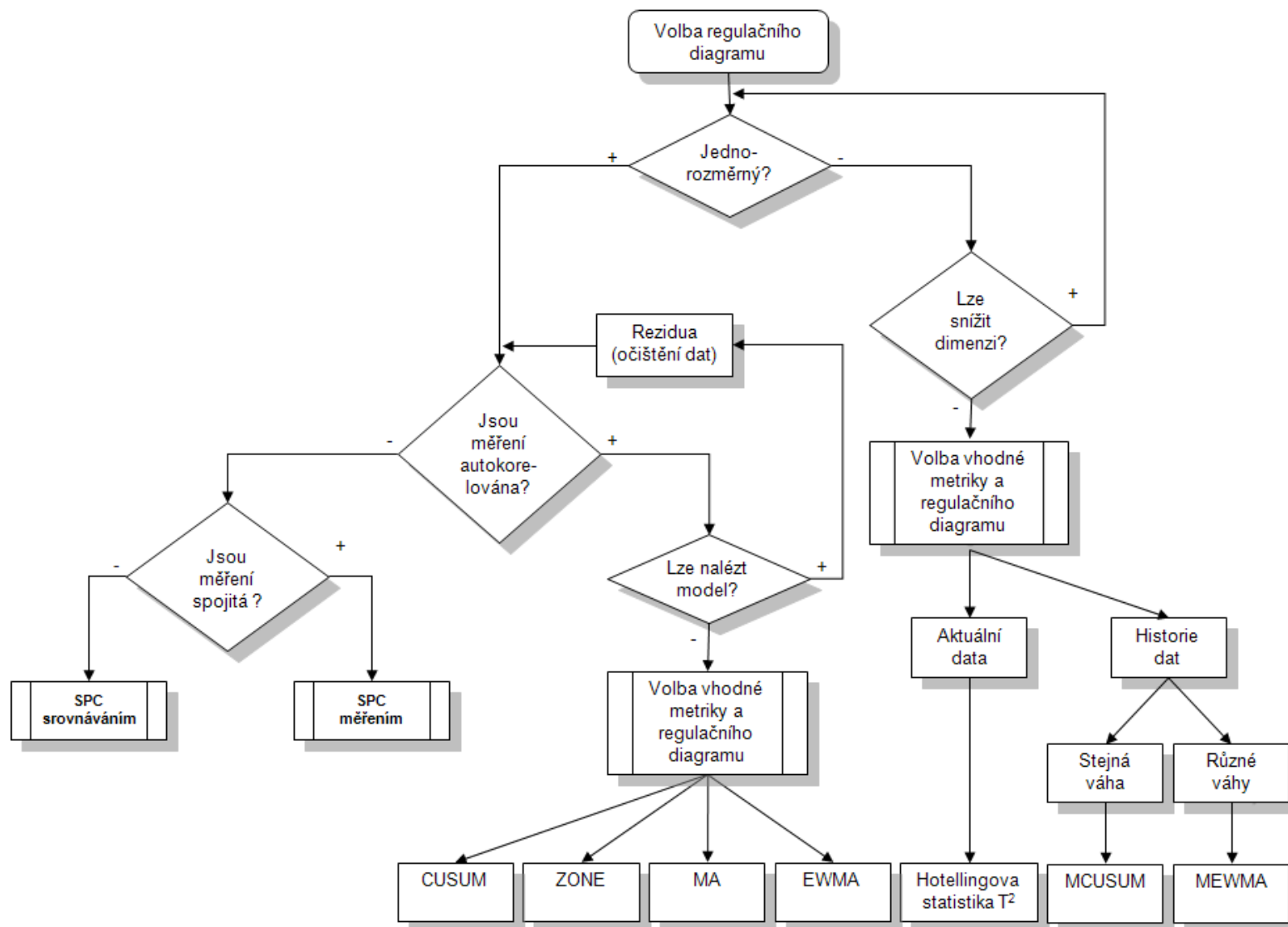


## ■ Vypracování metodických schémat pro návrh regulačního diagramu

Cílem těchto schémat je poskytnout výkonným pracovníkům z praxe ověřené 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 následujícím snímku uvádím ukázkou metodického schématu.

# Ukázka schématu pro volbu regulačního diagramu



# Závěr, dosažené výsledky

V průběhu posledních 15ti let jsem spolupracoval na řešení aktuálních výrobních problémů ve středně velkých strojírenských podnicích, kde byla dána možnost ověřování v této 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 vypsáno Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v letech 2006-2011.

Na základě výše uvedených faktů a prezentovaných výsledků lze prohlásit, že stanovené cíle byly v předložené práci splněny.

# GCE spol. s r.o. Chotěboř

## Hlavní produkt:

Ventily pro medicínální  
i průmyslové plyny



Skupina GCE je přední evropský výrobce zařízení pro použití technických plynů s 12 podniky ve světě. V ČR cca 750 zaměstnanců, obrát 1,7 mld. Kč.





# Pracoviště pro montáž a test ventilů



# Seznam nejvýznamnějších publikovaných prací 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] 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.
- [3] KRÁL, J.: *Modified Shewhart'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.
- [4] 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.
- [5] KŘEPELA J., KRÁL J., MICHÁLEK J.: *Analýza výrobního procesu; Základy práce s MS Excel*. Praha, ČSJ, 2010. 210s. ISBN 978-80-02-02200-8.
- [6] KRÁL, J.: *Implementace SPC při ověřování stability výrobních procesů v strojírenském podniku*. In: Informační Bulletin České statistické společnosti, ročník 22, číslo 2. Brno: ČSS, 2011, s. 108-123, ISSN 1210-8022.
- [7] KRÁL, J., MICHÁLEK, J., KŘEPELA, J.: *Shewarts Control Charts of Sample Means for Nonnormal Distribution of Quality Variables (Shewhartovy 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.

**Děkuji Vám za pozornost**