

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Zavádění statistických nástrojů do procesů v oblasti
elektrotechnického průmyslu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Antonín RADOUCH**
Osobní číslo: **E12B0146P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Zavádění statistických nástrojů do procesů v oblasti elektrotechnického průmyslu**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Teoreticky popište metodiku SPC a další vhodné statistické metodiky
2. Vhodnými nástroji porovnejte metodiku SPC s jinými statistickými metodikami
3. Navrhněte systém zavádění a kontroly stability procesů s využitím popsaných statistických nástrojů

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Hůlová M.: Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti, 2011
2. Blecharz P.: Základy moderního řízení kvality, 2011
3. Kupka K.: Statistické řízení jakosti, 1997
4. Basl J. a kol.: Modelování a optimalizace podnikových procesů, 2002
5. Elektronické zdroje

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Šimota

Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na popis statistických metod a jednoduchých statistických nástrojů pro řízení kvality. Je zde teoreticky popsána metoda statistické regulace procesů společně s jednoduchými nástroji pro řízení kvality, statistická přejímka a metoda navrhování experimentů. V další části jsou tyto jednotlivé metody vyhodnoceny a porovnány mezi sebou. V závěru práce je navržen systém pro zavedení a kontrolu stability procesů pomocí statistických nástrojů pro řízení kvality.

Klíčová slova

Statistická regulace procesů, statistická přejímka, navrhování experimentů, vymezené příčiny, proces, stabilizace, způsobilost, histogram, regulační diagram, Paretův diagram, kvalita

Abstract

This thesis deals with the description of statistical methods and simple statistical tools for quality control. The method of statistical process control is theoretically described along with simple tools for quality control, statistical inspection and method of designing experiments. The individual methods are evaluated and compared with each other in the next section. In the end of this thesis, the system for implementation and stability control process is designed using of statistical tools for quality control.

Key words

Statistical process control, statistical inspection, Design of Experiments, special causes, process, stability, capability, histogram, control chart, Pareto chart, quality

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 3.6.2015

Antonín Radouch

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Šimotovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 STATISTICKÉ METODY	10
1.1 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU (SPC).....	10
1.1.1 Variabilita systému	11
1.1.2 Etapy statistické regulace	13
1.1.3 Regulační diagram.....	14
1.1.4 Druhy regulace	17
1.2 ZÁKLADNÍ NÁSTROJE MANAGMENTU KVALITY	18
1.2.1 Kontrolní formuláře a záznamníky.....	19
1.2.2 Vývojový diagram	20
1.2.3 Histogram	21
1.2.4 Paretova analýza	23
1.2.5 Diagram příčin a následků	25
1.2.6 Bodový diagram.....	25
1.3 STATISTICKÁ PŘEJÍMKA.....	27
1.3.1 Co je statistická přejímka?.....	27
1.3.2 Základní pojmy.....	29
1.3.3 Operativní charakteristika	30
1.3.4 Základní druhy statistických přejímek a jejich volba.....	31
1.3.5 Statistická přejímka srovnáváním	32
1.3.6 Statistická přejímka měřením.....	33
1.4 PLÁNOVÁNÍ EXPERIMENTU (DOE).....	34
1.4.1 Základní pojmy a definice.....	35
1.4.2 Experimentální procedura	36
2 POROVNÁNÍ SPC S OSTATNÍMI METODAMI.....	37
2.1 VÝHODY A NEVÝHODY SPC	37
2.1.1 Výhody	37
2.1.2 Nevýhody.....	37
2.2 PŘEDNOSTI STATISTICKÉ PŘEJÍMKY	39
2.3 PŘEDNOSTI METODY DOE.....	39
2.4 CELKOVÉ POROVNÁNÍ ZMÍNĚNÝCH METOD	40
3 NÁVRH SYSTÉMU ZAVÁDĚNÍ A KONTROLY STABILITY PROCESŮ.....	41
3.1 FÁZE I - PLÁNOVÁNÍ	42
3.1.1 Identifikace potřeb zákazníků.....	42
3.1.2 Výběr místa analýzy procesu.....	42
3.1.3 Sběr informací o procesu	42
3.2 FÁZE II – ZKOUMÁNÍ STABILITY A ZPŮSOBILOSTI PROCESU.....	42
3.2.1 Určení priorit	42
3.2.2 Analýza hlavního problému	43
3.2.3 Sběr dat.....	44
3.2.4 Sestavení a výběr vhodného regulačního diagramu.....	46
3.2.5 Vyhodnocení regulačního diagramu	50
3.2.6 Způsobilost procesu	52
3.3 FÁZE III – MONITOROVÁNÍ A ZLEPŠOVÁNÍ PROCESU	54
ZÁVĚR	55
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	57

Seznam symbolů a zkratek

A_c	Acceptance Number (Přejímací číslo)
AQL	Acceptable Quality Level (Přípustná mez kvality)
CL	Central Line (Střední přímka)
C_p	Index of capability (Index způsobilosti)
C_{pk}	Index of capability (Index způsobilosti)
DOE	Design of Experiments (Navrhování experimentů)
LCL	Lower Control Limit (Dolní regulační mez)
LQ	Limiting Quality (Mezní kvalita)
N	Range of Dosage (Rozsah dávky)
n	Range of Choice (Rozsah výběru)
R_e	Rejectance Number (Počet neshodných jednotek ve výběru)
SPC	Statistical Process Control (Statistická regulace procesu)
UCL	Upper Control Limit (Horní regulační mez)

Úvod

V dnešní době je cílem každé firmy uspět na trhu s velkou konkurencí. Proto je velmi důležité, aby výrobní procesy ve firmě byly co nejvíce efektivními, zlepšovaly se a na jejich výstupu byly kvalitní výrobky. Slovo kvalita je v tomto smyslu velmi důležitá a má celou řadu definic. Zjednodušeně však popisuje dobré vlastnosti výrobku nebo služeb, které zákazník vyžaduje. Jelikož jsou z jeho strany kladeny čím dál tím větší požadavky na kvalitu, je nutné, aby firmy své výrobní procesy neustále zlepšovaly. Pokud tohoto faktu nedokáže firma docílit, s největší pravděpodobností nemá šanci uspět na dnešním trhu. Z tohoto důvodu se v moderním řízení výroby zavádějí takzvané systémy řízení kvality, které neznamenaají pouhou kontrolu výrobků, ale také odstraňování a předvídání nedostatků v procesu a jeho celkové zlepšování.

V první části této práce jsou teoreticky popsány vybrané statistické metody, které se používají v řízení kvality výrobního procesu. Největší pozornost je věnována statistické regulaci procesu. Zde je písemně a graficky popsána způsobilost procesu, etapy regulace, druhy regulace a také v krátkosti vysvětlen regulační diagram. Dále je pak tato část zaměřena na jednoduché statistické nástroje pro řízení kvality, statistickou přejímku a u nás ne až tak moc používanou metodu DOE (Design of Experiments), neboli navrhování experimentů.

Druhá kapitola je věnována výhodám a nevýhodám, které sebou jednotlivé metody popsané v první části přinášejí.

Třetí část je věnována vhodné implementaci statistických nástrojů do procesu výroby. Celá implementace je rozdělena do tří fází, kde první fáze se zabývá plánováním před samotným zavedením statistických nástrojů. Největší pozornost je však věnována druhé fázi, která se zabývá použitím statistických nástrojů, převážně tedy regulačním diagramům. Funkce regulačního diagramu je názorně ukázána na procesu osazování desek plošných spojů. Jsou zde také zobrazeny a popsány situace, které v regulačním diagramu mohou nastat. Přesněji se jedná o regulační diagram \bar{X} , R , pro průměr a rozpětí, který je jedním z nejpoužívanějších vůbec.

1 Statistické metody

Jako první, kdo využil statistiky pro řízení procesů, byl americký fyzik statistik Walter A. Shewart, který je považován za otce statistického řízení kvality. Největší rozmach statistických metod nastal během druhé světové války, kde byl kladen velký důraz na kvalitu vojenské techniky. Dalším, kdo velkou měrou ovlivnil dnešní chápání statistického řízení, byl Edward Deming, který za druhé světové války spolupracoval s již zmíněným W. A. Shewartem. Po válce se však situace ve Spojených státech změnila. Vzrostla poptávka, tím pádem produktivita podniků a na kvalitu se tolik nedbalo, protože Američané byli přesvědčeni, že produktivita a kvalita nejdou dohromady. Jiného názoru byli však v Japonsku, kam odcestoval také v roce 1950 E. Deming, aby zde rozvíjel své myšlenky, které dále upravil a vylepšil Japonský inovátor Kaoru Ishikawa. Až velké Japonské úspěchy v 80. letech obraceli pozornost celého světa k zlepšování kvality.

V dnešní době jsou statistické metody silným nástrojem pro firmy, které chtějí obstát na trhu s velkou konkurencí. Podle [1] sebou však zavádění statistických metod přináší svá úskalí, v podobě špatného pochopení, zavedení nesprávným způsobem a firmy od nich raději odstupují, aniž by přišly na všechny jejich výhody a silné stránky.

Tato kapitola se bude zabírat především statistickou regulací procesu, dále pak statistickou přejímkou, navrhováním experimentů a také objasní sedm jednoduchých nástrojů managementu kvality. Statistických metod může být však více, jako například testování hypotéz, analýza časových řad, regresní a korelační analýza a jiné.

1.1 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU (SPC)

Obvyklým způsobem zajišťování kvality výrobku je kontrola jakosti na výstupu procesu a následné vytřídění nevyhovujících jednotek. Tento způsob je však velmi neekonomický a neefektivní, jelikož zdroje na vytvoření požadovaného produktu již byly vynaloženy, a pokud se jedná o nevyhovující produkt, byly vynaloženy zbytečně. Moderní přístupy pro zajišťování kvality jsou však založeny na předcházení zbytečného vynakládání zdrojů.[2]

Jedním z těchto moderních přístupů je metoda Statistické Regulace Procesu (Statistical Process Control). Už tento překlad může být matoucí, protože pojmy kontrola a regulace jsou si velice podobné. Kontrola neboli detekce, je pouze zjišťování vadných jednotek. Regulace, jinými slovy také prevence, znamená, že se nečeká, až se na výstupu procesu objeví vadná

jednotka, ale snahou je zachytit zhoršování důležitých znaků procesu včas. Tyto znaky je potřeba rozpoznat, odstranit a zařídit, aby dále v procesu nepůsobily. Snahou SPC je tedy snížit počet neshodných jednotek na minimum (pojmy vada a vadný výrobek jsou v dnešní době nahrazovány již zmíněnými slovy neshodná jednotka nebo neshoda).

SPC je tedy efektivní nástroj pro řízení kvality. Efektivní nejen protože celý proces kontroluje, ale také dokáže proces ovlivňovat. Včasným zásahem do procesu je možné předejít změnám v chování procesu a udržovat ho na požadované stabilní úrovni nebo celý proces zdokonalit. Aby bylo možné dosáhnout stabilního procesu, je třeba použít důslednou analýzu chování procesu k odhalení nedostatků a jejich příčin.

Metoda může být uplatňována pro jakýkoliv proces, z ekonomického hlediska jsou to především procesy sériového charakteru nebo také pro procesy, které jsou z určitého hlediska významné. Přínosem SPC je jednoznačně zlepšování celkového procesu výroby snižováním ztrát a uspokojení potřeb zákazníků. [2], [3], [4]

1.1.1 Variabilita systému

Na každý proces působí určité zdroje kolísání, které mohou měnit parametry jednotek na výstupu. Tyto vlivy mohou být velké nebo zanedbatelné, ale vždy budou na proces nějakým způsobem působit. Toto je samozřejmě nežádoucí a snahou je tyto zdroje eliminovat na minimum. Aby bylo možné této eliminace dosáhnout, musí se proces analyzovat a najít zdroje kolísání. Poté bude možné vytvořit pro celý proces prostředí, ve kterém bude variabilita systému stabilní, jinými slovy bude se držet v přirozených mezích. Rozdíl ve variabilitě dvou procesů můžeme vidět na *Obr. 1.1* a je velmi důležitý. Pan Deming, významný autor v oblasti statistického řízení řekl: „Klíč k jakosti je v pochopení variability“. Abychom tedy proces udrželi v přirozených mezích, je nejprve nutné rozlišit, zda se jedná o náhodné nebo zvláštní příčiny kolísání. [2], [3], [5], [6]

Náhodné příčiny

Jedná se o velké množství zdrojů příčin, jež působí na proces trvale. Každá příčina je velmi malá a jednotlivě mají na proces velmi malý účinek. Jsou-li v procesu zahrnuty jen tyto náhodné příčiny, dochází k normálnímu kolísání procesu, odborně řečeno se jedná o „statisticky zvládnutý stav procesu“. Pokud jsou tyto příčiny neměnné, mají předvídatelný průběh a proces je predikovatelný. [2], [3], [5]

Zvláštní příčiny

Neboli vymezitelné příčiny, jsou příčiny, které se objevují v procesu náhodně, nejsou predikovatelné. Pokud nejsou tyto příčiny včas odhaleny a eliminovány, mohou ovlivňovat výstup procesu. Tyto příčiny způsobují kolísání a proces se stává statisticky nestabilním v čase. [2], [3], [5], [7]

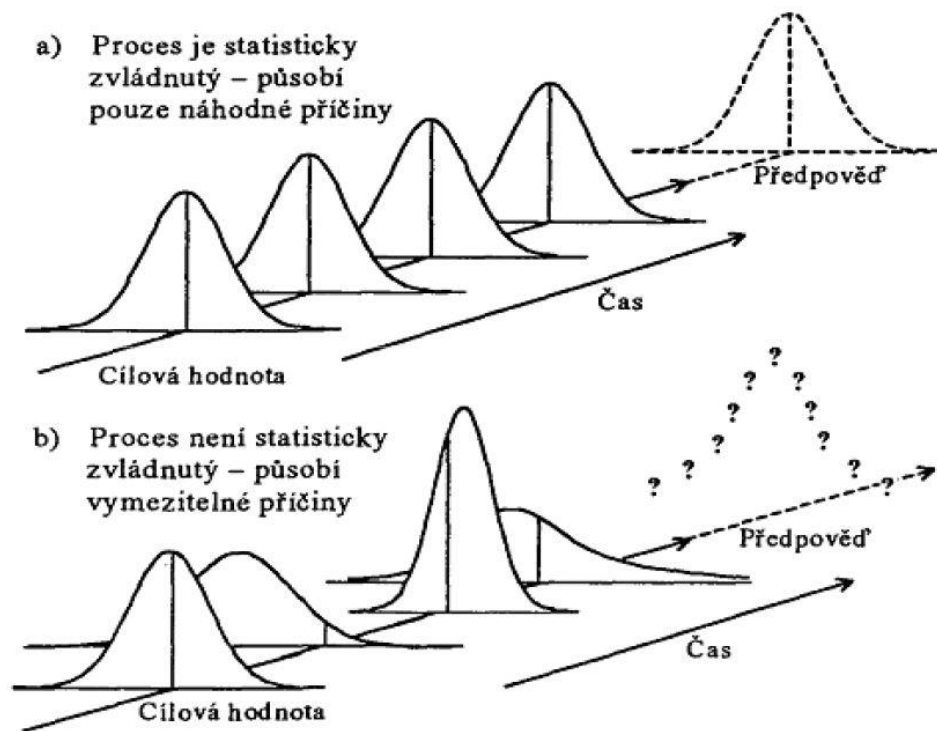
Za zdroje zvláštních příčin jsou obecně považovány tzv. 6M faktory:

1. Man - člověk (obsluha)
2. Material - materiál
3. Method - metoda
4. Measuring - měření
5. Machine - stroj
6. Milieu - prostředí

Odchytky způsobené zvláštními příčinami mohou být dvojího druhu:

- **Škodlivé** – Cílem je tyto odchytky včas rozpoznat, eliminovat a zamezit dalšímu objevování v procesu.
- **Prospěšné** – Postup u těchto odchylek je téměř stejný jako u škodlivých s rozdílem, že tyto odchytky jsou v procesu prospěšné a snahou je tyto odchytky pevně zabudovat do procesu.

Pokud je cílem zdokonalování procesu, je nutné jeho stálé monitorování, nalezení zvláštních příčin a jejich eliminace. Potom bude chování a variabilita jeho výstupů predikovatelná, proces bude možné stále zlepšovat (jeho chování bude stabilnější) a bude tedy možné plnit očekávání zákazníka. [2], [3], [6]



Obr. 1.1 Působení náhodných a vymezitelných (zvláštních) příčin na proces (převzato: [8]).

1.1.2 Etapy statistické regulace

Jak již bylo uvedeno výše, cílem SPC je neustálé zlepšování procesu. K dosažení požadovaného zlepšení, je třeba použít třístupňový cyklus neustálého zlepšování, jinými slovy etapy statistické regulace. Někteří autoři, jako např. Tošenovský a Noskievičová [2] uvádějí čtyři etapy. Hůlová a Jarošová [3] uvádějí etapy tři, základ je ale vždy stejný. Podle [3], [5] to jsou tyto:

1. Analýza procesu

Aby mohl být proces neustále zlepšován, je důležité mu porozumět do hloubky a rozhodnout, zda je či není schopen regulace. Na začátku jde tedy o diagnózu procesu, ve druhé části etapy jde o nalezení zvláštních příčin, které působí na regulovanou veličinu. Aby bylo možné dosáhnout zlepšování procesu, je nutné znát odpovědi na tyto otázky:

- Jak má proces pracovat?
- Co špatného může nastat?
- Jak proces funguje?

Základními nástroji pro analýzu procesu jsou *histogram* a *Paretův diagram*. Hlavním nástrojem statistické regulace je *regulační diagram* [3], [5]. Všechny tyto nástroje budou hlouběji vysvětleny v dalších kapitolách.

2. Regulace procesu – udržovací etapa

Protože procesy jsou dynamické, to znamená, že se v čase mění, je nutné tyto procesy udržovat ve stabilním stavu. I zde je vhodné použít statistické nástroje pro sledování změn procesu, jako je například *regulační diagram*. Regulační diagramy budou však v této etapě přesnější a citlivější (například přejímací regulační diagramy, diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi, regulační diagramy používající kumulovaná data, atd.). Toto sledování je velmi důležité, protože i ve stabilním procesu může dojít k určité změně, kdy se například náhodná příčina změny na příčinu zvláštní. [3], [5]

3. Zlepšování procesu

V předchozích etapách bylo cílem dosáhnout stabilního procesu a udržení procesu v určitých mezích. Někteří zákazníci však vyžadují, aby proces nekolísal ani v těchto určitých mezích. Proto se používají další vylepšené regulační diagramy nebo také jiné statistické metody, jako je například metoda DOE ([kapitola 1.4](#)). Zlepšování procesu je spojeno se záměrným zasahováním a tvořením změn v procesu a následným měřením těchto změn. Toto má za cíl poznávat proces více do hloubky a eliminovat co nejvíce jeho kolísání, tím pádem zlepšování jakosti jednotek na výstupu. [3], [5]

1.1.3 Regulační diagram

Regulační diagram (anglicky control chart) je hlavním nástrojem statistické regulace, který byl poprvé zaveden v roce 1926 W.A.Shewhardem. Je to grafické vyjádření chování procesu, které ukazuje, zda se proces pohybuje ve vyžadovaných mezích nebo zda dochází k určitým odchýlkám, které nejsou vyžadovány. Noskievičová [4] popsala regulační diagram takto: „ Je to grafická pomůcka umožňující oddělit náhodné (obecné) příčiny variability procesu od příčin identifikovatelných (zvláštních), které vlastně pomáhá oddělit“. Diagram stability je regulačnímu podobný, regulační má však obrovskou výhodu. Oproti diagramu stability můžeme u regulačního rozpoznat, kdy se proces vymkl kontrole a je do něho potřeba zasáhnout. Podle Kupky [5] mohou být měřené veličiny například: „ pevnost, koncentrace,

rozměr, elektrický odpor nebo diskrétní veličiny jako podíl zmetků na 1000 výrobků nebo počet povrchových vad na laku“. Hlavními ukazateli v regulačním diagramu jsou tři základní čáry: *střední přímka*, *horní regulační mez* a *dolní regulační mez*. [2], [3], [4], [6]

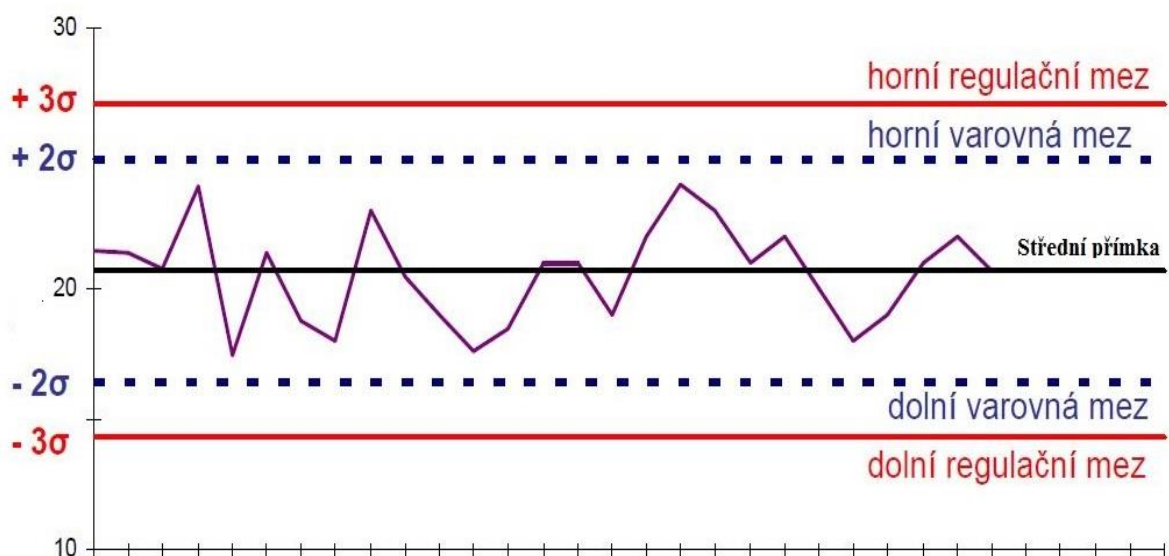
- **Střední přímka – CL (Central Line)**

Podle Tošenovského a Noskvičové [2] může být tato referenční hodnota definována více způsoby:

- a) Jako nominální hodnota (např. hodnota daná technickým předpisem).
- b) Jako hodnota založená na minulé zkušenosti s daným výrobním procesem.
- c) Jako odhad z hodnot regulované veličiny získaných v podmínkách statisticky zvládnutého stavu procesu.

- **Horní a dolní regulační mez – UCL (Upper Control Limit), LCL (Lower Control Limit)**

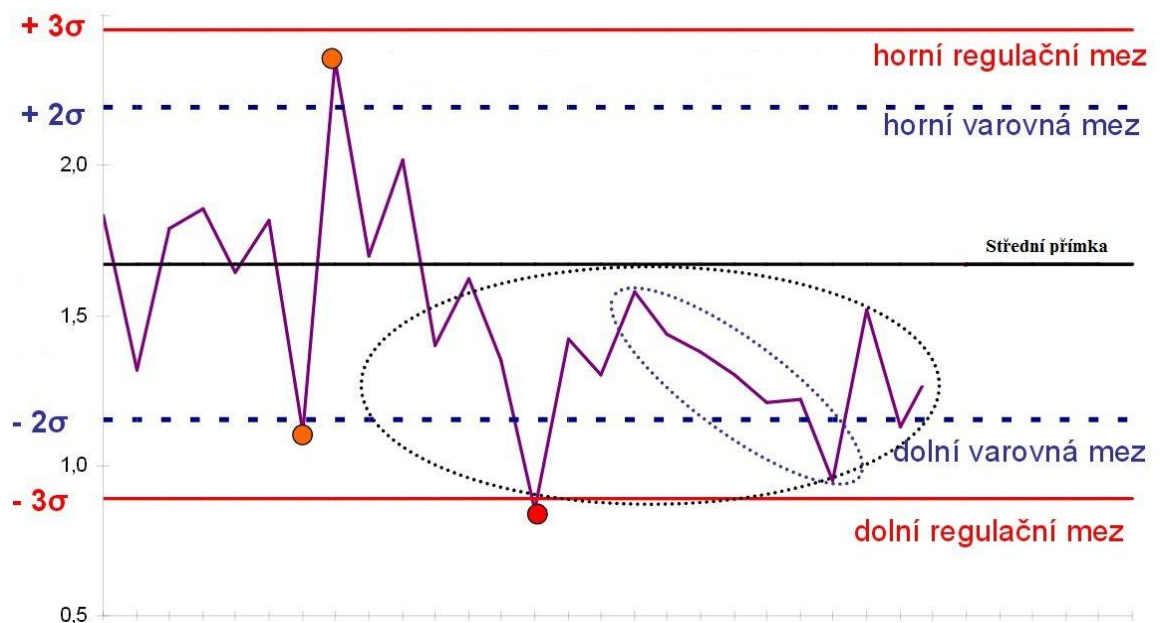
Tyto dvě meze jsou velmi důležité při rozhodování, zda se jedná o náhodné nebo vymežitelné příčiny. Pokud se vybraná charakteristika veličiny procesu pohybuje v pásmu mezi těmito mezemi, někdy nazývané také *akční meze*, na proces působí pouze náhodné příčiny. V některých případech se můžou v regulačním diagramu vyskytovat další meze, které se nazývají *výstražné meze* a pásmo těchto mezí je vždy užší než pásmo akčních mezí. [2]



Obr. 1.2 Příklad jednoduchého regulačního diagramu – proces v mezích (převzato: [9]).

Jsou-li však akční meze překročeny, je nutné přistoupit k určitým krokům, jak uvádí [3]:

- a) Zkontrolují se všechny jednotky, které byly vyprodukované od minulé kontroly.
- b) Nalezení příčiny odklonu charakteristiky mimo pásmo akčních mezí - K nalezení příčiny se používá tzv. *Išikawův diagram* (Obr. 1.9), který slouží k odhalení zdrojů vymezitelných příčin (*Išikawův diagram* je dále vysvětlen v kapitole 1.2.5). Analýzu do potřebné hloubky provádí pracovní tým. V některých případech se používá takzvaný *brainstorming* nebo *bodový diagram* (*bodový diagram* je vysvětlen v kapitole 1.2.6).
- c) Odstranění zdrojů příčin – Po odstranění je nutné provést kontrolu, zda se jednalo opravdu o zdroj, který byl eliminován. Zde je vhodné použít histogram nebo opět regulační diagram.
- d) Opatření proti opakovatelnosti působení zdroje příčin – Zde je pásmo akčních mezí přizpůsobováno pozitivním změnám v procesu až do té doby, kdy bude možné prohlásit, že proces neobsahuje vymezitelné příčiny a tím pádem bude možné vytvořit nové, platné regulační meze. Podle Hůlové a Jarošové [3] je vhodné používat v etapě analýzy *Shewhartovy regulační diagramy*, které jsou definovány normou ČSN ISO 8258 *Shewhartovy regulační diagramy*.



Obr. 1.3 Příklad regulačního diagramu – proces přesahuje regulační meze (převzato: [9]).

Druhy regulačních diagramů

V dnešní době je opravdu nepřeberné množství regulačních diagramů. Nejzákladnější typy regulačních diagramů pro regulaci srovnáváním a regulaci měřením jsou definovány normou ČSN ISO 8258:1994 Shewhartovy regulační diagramy [10]. Další regulační diagramy jsou používány podle hlediska využití, které může být například počet regulačních mezí, charakter regulované veličiny stupeň opakovatelnosti procesu, použité testové kritérium atd. [2], [11]

Obecný postup při sestavování regulačního diagramu podle [6] a [8]:

1. Volba regulované veličiny.
2. Zvolí se část procesu, která odpovídá naší představě nebo zkušenosti a připraví se procesní data zvolené části.
3. Pomocí těchto dat se vytvoří příslušný statistický model odhadem střední hodnoty a směrodatnou odchylkou.
4. Ze střední hodnoty a směrodatné odchylky se sestrojí vlastní regulační diagram se střední přímkou CL (Central Line), horní regulační mez UCL (Upper Control Limit) a dolní regulační mez LCL (Lower Control Limit). Na ose x se vynášejí pořadová čísla podskupin (například při výrobě se každou hodinu vybere 10 výrobků, za den bude tedy 24 podskupin). Na osu y se vynášejí hodnoty sledovaného znaku kvality nebo parametru procesu.
5. Do nově vzniklého diagramu se zapisují získaná data z procesu a hledá se výskyt zvláštních případů, které jsou důvodem změny chování procesu.
6. Výskyt těchto zvláštních případů se eviduje a hledá se příčina, která je způsobila neboli zvláštní příčina.

1.1.4 Druhy regulace

V praxi existují dva hlavní druhy regulace. Je to regulace měřením a regulace srovnáváním. Regulace měřením se používá tam, kde se pracuje s regulovanou veličinou, která má kvantitativní charakter, což je například délka, hmotnost, tloušťka atd. U regulace srovnáváním se používá vždy jeden diagram a jeho použití se uplatňuje tam, kde jsou regulované veličiny neshody nebo neshodné jednotky, neboli mají kvalitativní charakter.

Nespornou výhodou této regulace je možnost sledování více znaků najednou, a oproti regulaci měření i její jednoduchost a rychlost. [5]

Avšak jak již bylo dříve řečeno, regulace je především metodou prevence. Z tohoto důvodu je samozřejmě výhodnější použití regulace měření. Hlavní výhodou regulace měření je včasná signalizace zhoršující se kvality a menší rozsah výběru. Regulace měření má také však své nevýhody, jako například časová náročnost, náročnost na měřicí přístroje a nutnost dostatečné kvalifikace obsluhy. [3]

1.2 ZÁKLADNÍ NÁSTROJE MANAGMENTU KVALITY

V roce 1950 pozvala japonská unie vědců a inženýrů velmi známého amerického odborníka ve statistických metodách, pana W. Edwarda Deminga do Japonska, aby zde trénoval stovky japonských inženýrů, manažerů a akademických pracovníků v oblasti statistických regulací procesů. Deming při svých přednáškách zdůrazňoval „základní nástroje kvality“ jako hlavní nástroje pro používání ve statistických regulacích kontroly. Jedním z japonských odborníků byl také Kaoru Ishikawa, který v té době pracoval jako profesor na Univerzitě v Tokyu. Nechal se inspirovat Demingem a formuloval „*Sedm základních nástrojů managementu kvality*“. Ishikawa věřil, že 90% problémů ve firmách mohlo být vylepšeno použitím již zmiňovaných *Sedmy základních nástrojů managementu kvality*. Základní výhodou nástrojů, až na regulační diagramy je jejich jednoduchost. Sedm základních nástrojů managementu jakosti podle [4], [12], [13] tvoří:

- **Kontrolní formuláře (tabulky) a záznamníky**
- **Histogram**
- **Vývojový diagram**
- **Paretův diagram**
- **Ishikawův diagram**
- **Bodový diagram**
- **Regulační diagram**

V dnešní době se tyto nástroje používají v amerických i japonských firmách a díky normám ISO řady 9000 je možné nalézt použití těchto nástrojů i v evropských firmách. Tyto

jednoduché nástroje slouží ke zpracování údajů, odhalování příčin ovlivňující odchylky, pro prevenci v procesech a pro celkové zlepšování jakosti. [4]

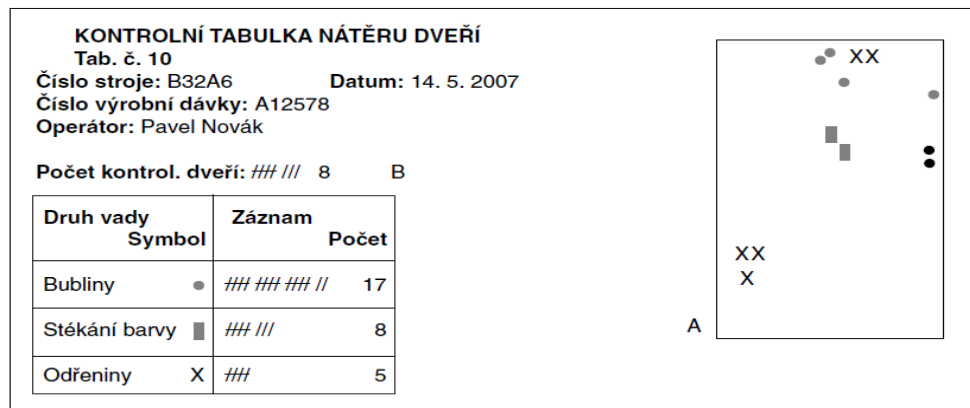
1.2.1 Kontrolní formuláře a záznamníky

Měli by být jednoduché, strukturované a spolehlivé. Připravený formulář slouží ke sběru a analýze dat o procesu spolehlivým a organizovaným způsobem. Je to obecný nástroj, který je přizpůsoben pro různé účely. Používají se především pro záznamy jednoduchého čítání různých položek, jako jsou například defekty, umístění vad, příčin poruch atd. Také mohou být používány pro zobrazení určitého místa jako je například výskyt defektu. Aby však sběr dat probíhal bez problémů a chyb, je třeba dodržet základní pravidla, která uvádějí [4], [12], [13]:

- a) Uplatnění principu stratifikace – Jedná se o rozdělení skupin dat podle zvolených hledisek. Cílem je zjištění původu každé položky dat. Pod pojmem položka si lze představit pracovníka, vadu, místo vzniku vady, druh materiálu atd.
- b) Princip jednoduchosti a standardizace – Je nutné vytvořit systém, který bude jednoduchý a srozumitelný pro pracovníka, který se díky tomuto opatření nedopustí chyb při zápisu. Formulář obsahuje zdroj dat, časové informace sběru dat, jméno pracovníka a jakým způsobem byli data zjišťována.

Jak uvádí Nenadál [12], kontrolní formuláře (tabulky) se dělí podle způsobu použití :

- Kontrolní tabulka výskytu vad
- Kontrolní tabulka lokalizace vad (*Obr. 1.4*)
- Kontrolní tabulka rozdělení znaku kvality nebo parametru procesu



Obr. 1.4 Kontrolní tabulka lokalizace vad (převzato z: [12]).

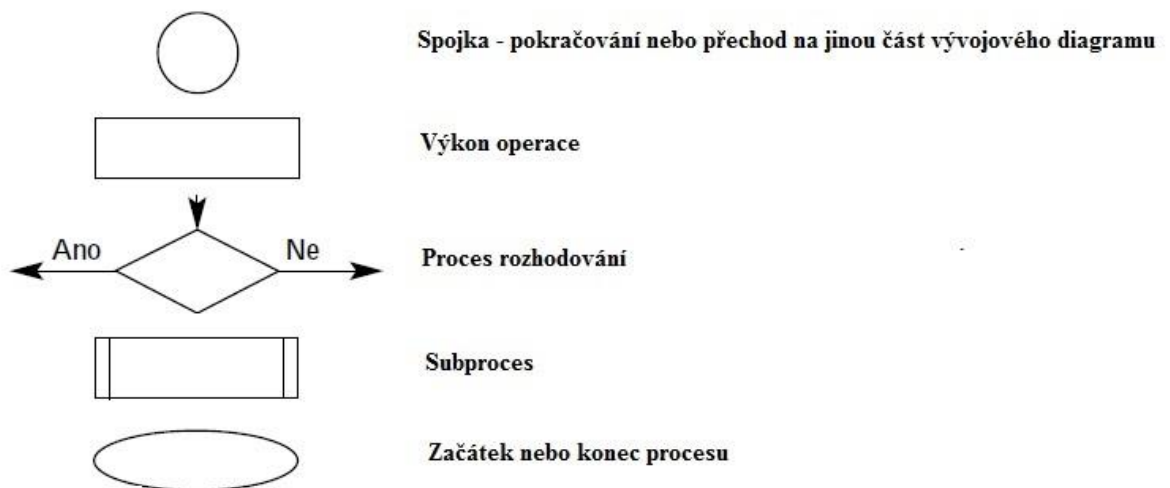
1.2.2 Vývojový diagram

Vývojový diagram se využívá pro grafické znázornění procesů. Grafické znázornění slouží k lepšímu pochopení mezi všemi souvislostmi v procesu a k nalezení problémů v procesu. Vývojový diagram je orientovaný graf, má svůj jeden začátek a jeden konec. Popisovaný proces je v grafu definován operačními bloky. Používá se při prokazování jakosti zákazníkům nebo při popisování procesu novému pracovníkovi. Je taky užitečný při porovnávání skutečného a ideálního procesu nebo také při odhalování nedostatků v procesu. [4], [12], [13]

Nenadál [12] uvádí, že se vývojové diagramy dělí na 3 základní typy:

- Lineární vývojový diagram
- Vývojový diagram vstup/výstup
- Integrovaný vývojový diagram

Pro sestavení vývojových diagramů existují určitá pravidla, která uvádí [12], jako například sestavování diagramu v týmu, volba vhodných otázek, jednoduchost a přehlednost, snaha rozložení jednoho vývojového diagramu na jednu stránku, používání jednotné symboliky (Obr. 1.5) a zobrazení orientace v rámci procesu.



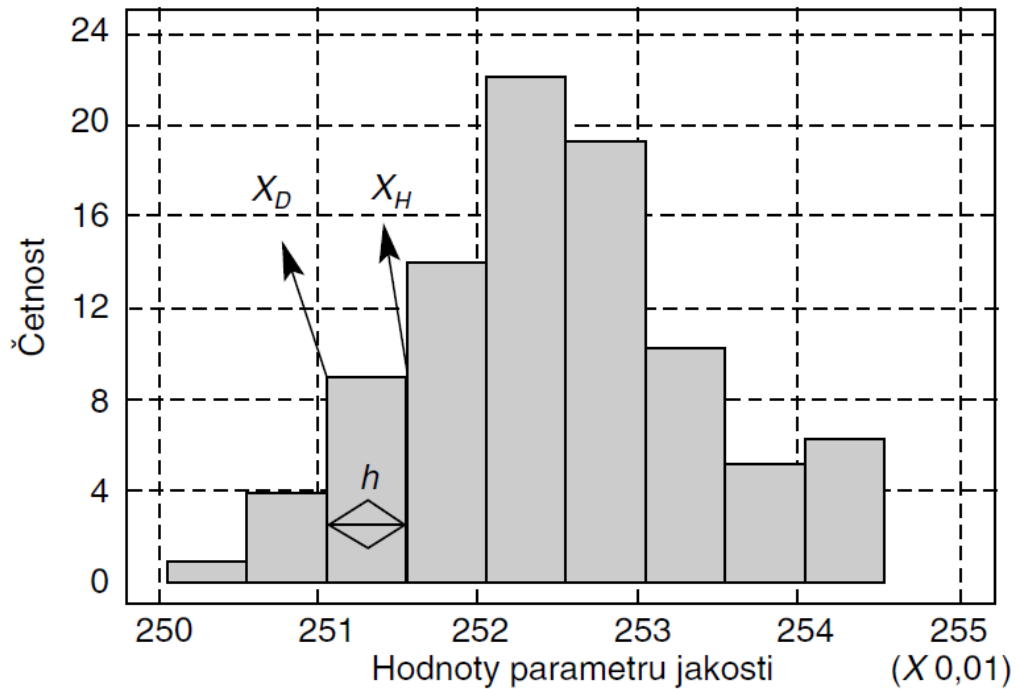
Obr. 1.5 Symbolika vývojového diagramu (zdroj: [12]).

Postup při sestavování vývojového diagramu podle [12]:

1. Identifikace procesu.
2. Sestavení týmu.
3. Schválení symbolů.
4. Zakreslení symbolu pro začátek procesu.
5. Identifikovat první činnost.
6. Identifikovat další činnosti a místa, kde probíhají rozhodování.
7. Zakreslení symbolu pro konec při poslední činnosti.
8. Jednoznačně identifikovat vývojový diagram.

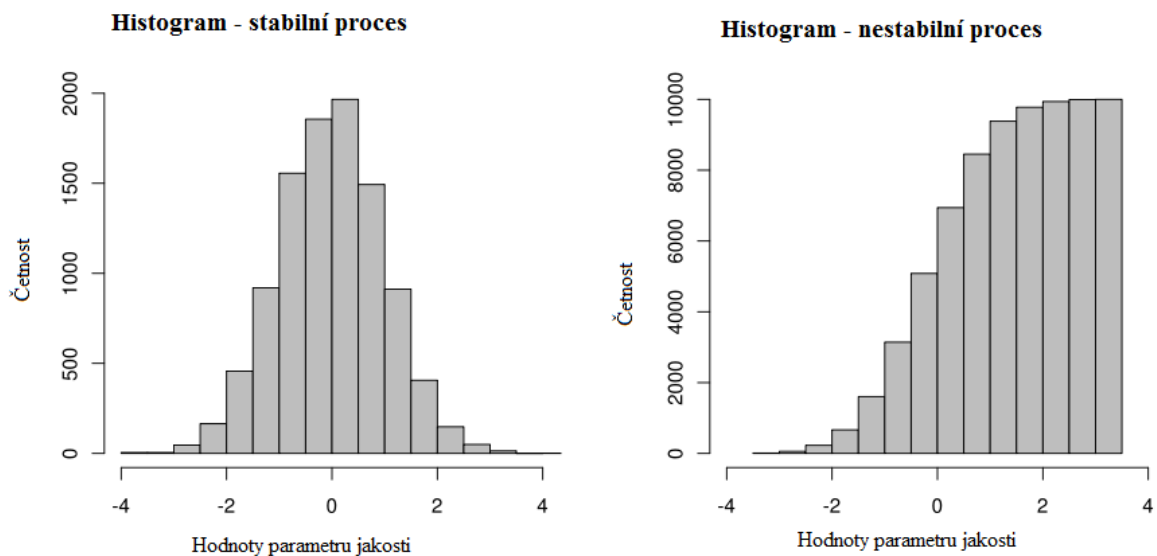
1.2.3 Histogram

Histogram je sloupcový graf četností neboli diagram rozdělení četností sledovaného znaku. Histogram informuje o charakteru proměnlivosti procesu a podává také informaci o jeho přesnosti a jeho poloze střední hodnoty. Šířka sloupců bývá většinou stejná. Na svislé ose je vynesena četnost, na vodorovné ose jsou vyneseny naměřené hodnoty. Data jsou rozdělována do intervalů, které jsou definovány dolní a horní hranicí x_D a x_H . Vhodný počet intervalů se pohybuje přibližně v rozmezí 8 až 12 intervalů (ukázka jednoduchého histogramu je zobrazena na Obr. 1.6). [3], [12], [13], [14]



Obr. 1.6 Histogram (převzato z: [12]).

Z tvaru histogramu lze určit, jaké události v procesu nastaly a zda se jedná o proces stabilní nebo nestabilní. Je-li histogram pravidelný a svým tvarem připomíná zvoneček, můžeme předpokládat, že je proces stabilní (předpokládáme, že proces není ovlivňován zvláštními příčiny nestability). Pokud má však histogram asymetrický průběh, bude se s největší pravděpodobností jednat o proces nestabilní, viz Obr. 1.7. [12]



Obr. 1.7 Histogram - stabilní a nestabilní proces (převzato z: [15]).

Tabulka 1.1 Určení počtu sloupců (zdroj: [3])

Rozsah výběru	Počet intervalů
$n < 50$	5 – 7
500 – 100	6- 10
101 – 150	7 – 12
$n > 150$	10 - 12

Složitost sestavování histogramu, či celý histogram se odvíjí od složitosti procesu. Proto existuje více druhů histogramů, které mají odlišné tvary. Tvary mohou být například dvouvrcholové, ploché, hřebenovité atd. Histogram je velice přehledný a vcelku jednoduchý, proto je v praxi jeden z nejpoužívanějších statistických nástrojů. [3], [12], [13], [14]

1.2.4 Paretova analýza

Paretova analýza vychází z pravidla, které poprvé použil italský ekonom Vilfredo Pareto. Sledoval v ekonomii rozdělení bohatství mezi lidmi a určil pravidlo 80/20, které dříve znamenalo, že 80% majetku je ve vlastnictví pouze 20% lidí. V té době ještě netušil, že jeho pravidlo bude používáno v současnosti v managementu kvality. V dnešní době se pod Paretovým pravidlem rozumí, že 80% problémů způsobuje 20% příčin. Toto pravidlo zobecnil americký odborník J. M. Juran. Malé procento příčin nazval „životně důležitou menšinou“. Tyto příčiny je nutno zkoumat do hloubky, minimalizovat je, či úplně odstranit. Zbýlých 80% problémů pojmenoval Juran „užitečnou většinou“. Základním nástrojem Paretovy analýzy je Paretův diagram. Paretův diagram je sloupcový graf. Sloupce jsou seřazeny od nejvyššího k nejnižšímu. Cílem analýzy je tedy oddělit důležité příčiny od méně důležitých, aby bylo zřejmé, kam se bude ubírat největší úsilí pro zlepšování procesu. [12], [13], [14]

Postup při sestavování Paretovy analýzy podle [12]:

1. Volba faktorů.
2. Volba hlediska analýzy.
3. Sběr a záznam dat.
4. Sestrojení Paretova diagramu.
5. Volba kritéria pro stanovení životně důležité menšiny faktorů a jejich stanovení.
6. Analýza faktorů stanovených jako životně důležitá menšina.

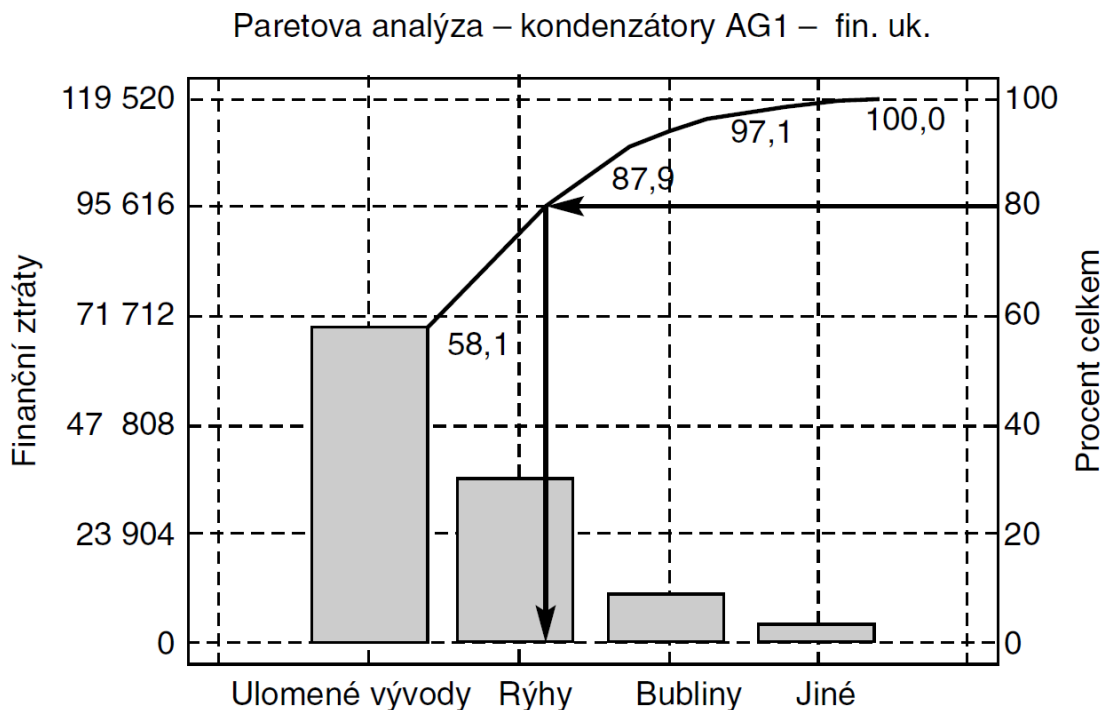
Faktory mohou být například vysoký výskyt vad, velký počet reklamací atd. Data se

zaznamenávají do předem připravených záznamníků v určitém časovém období.

Postup při konstrukci Paretova diagramu [12]:

1. Sledování četnosti výskytů všech položek (vady na výrobku).
2. Faktory se seřadí sestupně podle četnosti výskytu.
3. Výpočet kumulované četnosti výskytu.
4. Tyto proměnné se vynesou do grafu.
5. Je vynesena Lorenzova křivka, jejíž vrcholy představují kumulované součty.
6. Určí se životně důležité faktory.

Při určování životně důležitých faktorů existuje více postupů. První závisí na místě bodu zlomu na Lorenzově křivce. Všechny faktory nalevo od bodu zlomu jsou životně důležité. Další způsob spočívá v určení 20-30% faktorů na vodorovné ose, které budou považovány za životně důležité. Další postup může být početní. Celkový počet výskytu všech vad podělíme počtem typů vad a vyjde průměrný počet vad na jednu položku. Toto číslo se následně porovnává s četností výskytu dané položky. Bude-li četnost výskytu dané položky větší než průměr, jedná se o životně důležitou položku. Na Obr. 1.8 je zobrazen Paretův diagram, který byl sestaven k příkladu, který řešil Nenadál [12].

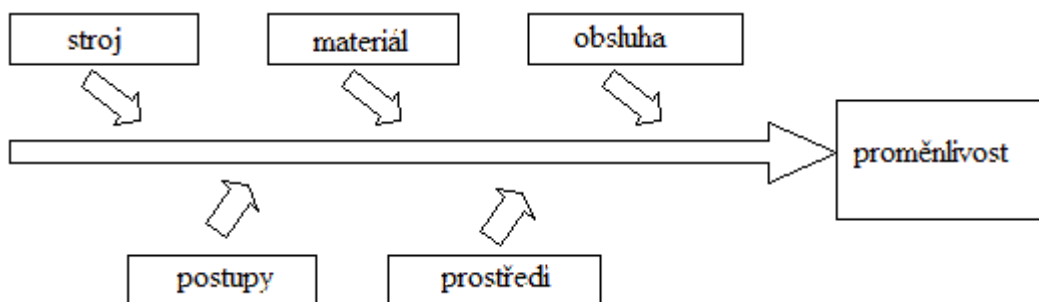


Obr. 1.8 Příklad Paretova diagramu v praxi (převzato z: [12]).

1.2.5 Diagram příčin a následků

Nebo také *Ishikawův diagram* (podle tvůrce), *diagram rybí kosti* (angl. *fishbone diagram*) je grafický nástroj, který zobrazuje příčiny daného následku. Používá se pro shromažďování informací o procesech a jejich výkonnosti za účelem zdokonalování procesů. Tento nástroj vytvořil pan Ishikawa a je předurčen pro týmovou práci. Je jednoduchý, snadno pochopitelný a je ho možné použít všude při řešení všech potenciálních problémů. Diagram příčin a následků je možné použít pro analýzu variability existujícího procesu nebo k definování potenciálních faktorů, které by mohli být přínosem.

Postup sestavení diagramu je možné rozdělit na dvě části: příprava brainstormingu a samotné provedení brainstormingu. Skupina, která má ideálně 5-8 členů se nejprve dohodne na problému. Na tabuli se zakreslí základní kostra, zvolí se moderátor, definuje se problém nebo očekávaný přínos. Poté se definují hlavní příčiny. Nejčastěji to jsou lidé, materiál, prostředí, stroj, metody. Následně moderátor vyzývá každého člena skupiny k tabuli a každý sdělí svůj nápad v několika kolech. Všechny nápady se zapisují do Ishikawova diagramu, který se následně vyhodnotí. Příklad diagramu příčin a následků je znázorněn na *Obr. 1.9*. [12], [13], [14]



Obr. 1.9 Ishikawův diagram (zdroj: [3]).

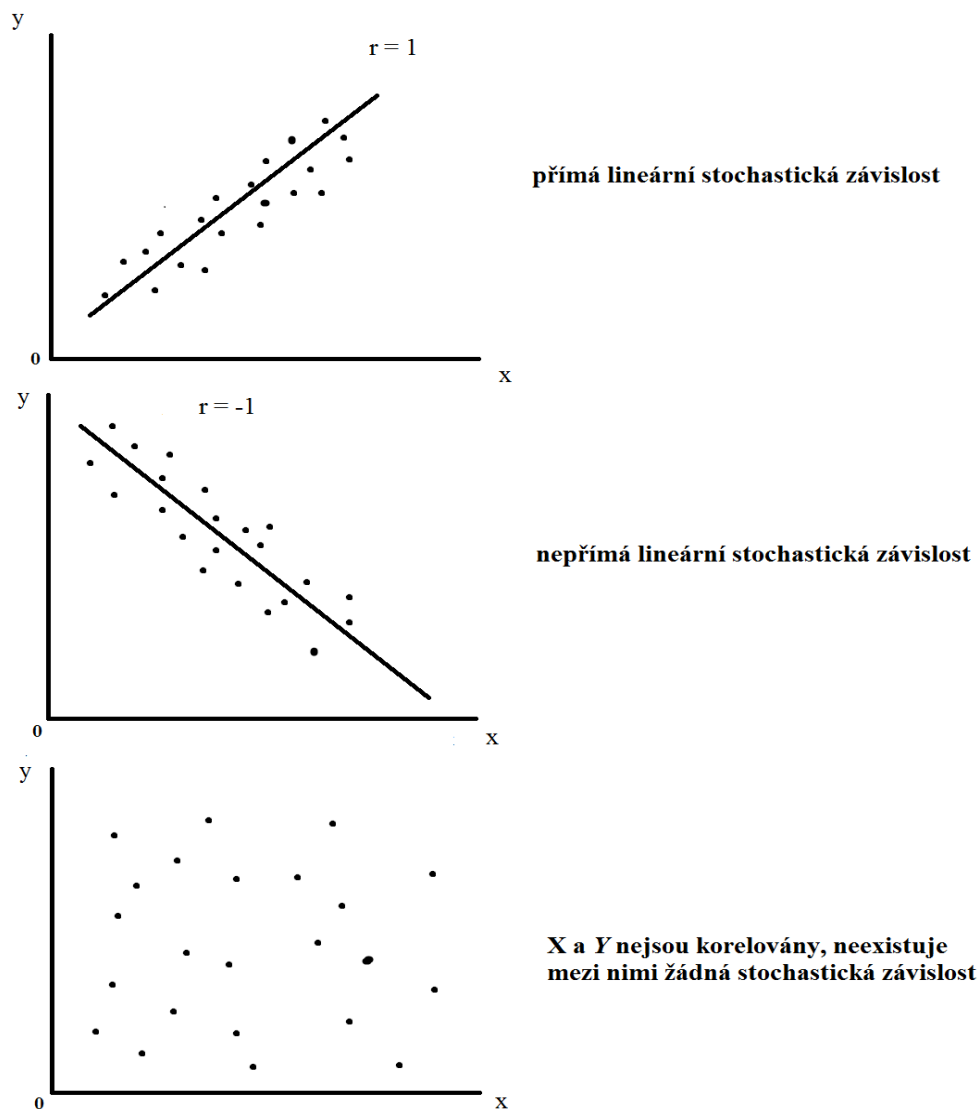
1.2.6 Bodový diagram

Při zdokonalování jakosti mohou nastat situace, která nám z určitých důvodů nedovoluje regulovat proces dle vybraného znaku kvality. Důvody mohou být finanční, časové nebo mohou být regulační zásahy přímo nerealizovatelné. Z toho důvodu je dobré zjistit jiný znak jakosti, který s původně požadovaným znakem koreluje, neboli mezi nimi existuje stochastická závislost. Stochastická závislost, zjednodušeně řečeno, je vztah mezi závisle proměnnou Y a nezávisle proměnnou X, jež jsou ovlivňovány náhodou. Z tohoto důvodu je

nutné najít vhodnou regresní funkci, díky které se rychle a levně stanoví hodnoty požadovaného parametru jakosti. Jako příklad uvádí Noskiewičová [4], že na základě znalostí chemického složení materiálu můžeme dostatečně přesně předvídat hodnoty meze pevnosti u trubek. V tomto případě bude chemické složení představovat nezávisle proměnnou X a hodnoty meze pevnosti závisle proměnnou Y . [4], [11], [12]

Postup při konstrukci bodového diagramu podle [12]:

1. Zvolí se proměnná X a závislá proměnná Y .
2. Provede se měření minimálně 30 dvojic hodnot závislé a nezávislé proměnné a zaznamenají se do tabulky.
3. Z naměřených hodnot se sestrojí bodový diagram. Dvojice hodnot (X_i, Y_j) je znázorněna v souřadnicové soustavě (X, Y) .
4. Provede se analýza bodového diagramu.



Obr. 1.10 Příklady bodových diagramů. (zdroj: [12])

1.3 STATISTICKÁ PŘEJÍMKA

1.3.1 Co je statistická přejímka?

Hlavním cílem statistické přejímky je rozhodnutí, zda daná dávka surovin, materiálů, polotovarů či výrobků splňuje požadovanou kvalitu. Rozhodnutí o přijetí či nepřijetí není výsledkem kontroly celé dávky, ale analýzy několika kusů či vzorků, které jsou náhodně odebrány z dané dávky. Tento postup je mnohem hospodárnější než kontrolovat všechny jednotky na výstupu. Výhodou statistické přejímky je, že pracovníci, kteří se zabývají kontrolou, jsou pečlivější a tedy i přesnější při kontrole pouze určité dávky než při kontrole všech jednotek na výstupu. Další výhodou, ta ekonomická, spočívá při kontrolách, které

vyžadují poškození či úplnou destrukci jednotek. Statistická přejímka má však i své riziko. To je dáno tím, že neznáme kvalitu celé dávky, ale jen určitých vzorků.

Rozhodnutí, zda celá dávka splňuje požadavky na kvalitu, je dáno předem danými předpisy neboli *přejímacím plánem*. Statistická přejímka neslouží k zlepšování kvality. Kvalita je již dána v produktu samotném. Statistická přejímka informuje pouze o stupni kvality dávky nebo procesu. [2], [3], [4], [16]

Hlavní důvody používání statistické přejímky podle [2], [3]:

- a) Hlavním důvodem je hospodárnost. Kontroléři nemusejí kontrolovat celou dávku, ale jen několik produktů. Mohou se tedy zaměřit na produkt velice do hloubky.
- b) Kontrola celé dávky kus po kusu je velmi únavná, tudíž není kontrola na 100% účinná.
- c) Destruktivní kontrola, kontrola sypkých materiálů, past, plynů nebo kapalin nelze aplikovat na celou sadu.

Statistická přejímka je založena na testování statistických hypotéz. Jako každé testování hypotéz se ani tato neobejde bez chyb. Podle [2], [3] existují dva druhy chyb:

- **Chyba I. druhu**

Chyba nastává, pokud není přijata dávka, která má však určitou úroveň kvality a přijatá by být měla. Pravděpodobnost této chyby se značí písmenem α nazývá se **riziko dodavatele**. V normách ČSN ISO je úroveň kvality nazývána *přípustnou mezí kvality – AQL*.

- **Chyba II. Druhu**

Je to opak první zmiňované, kdy dojde k přijetí dávky, která má nepřijatelnou úroveň kvality. Pravděpodobnost této chyby se značí písmenem β a nazývá se **riziko odběratele**. V normách ČSN ISO je úroveň kvality nazývána *mezní jakostí – LQ*.

Jak již bylo zmíněno, důvodem těchto chyb je neznalost úrovně celé dávky. Známe úroveň kvality jen vybraných kusů. Tyto chyby jsou však měřitelné a můžeme je ovlivnit. Přejímací plány udávají informaci o rozsahu výběru a přejímacím kritériu, neboli přejímací a

zamítací čísla. Cílem je navrhnout systém, který zaručuje, že úrovně jakosti stejné nebo větší než AQL budou přijímány s pravděpodobností větší než $100(1 - \alpha) \%$ nebo větší a dávky s kvalitou horší nebo rovnou hodnotě LQ nemají být přijímány s větší pravděpodobností než $100 \beta\%$. [2], [3]

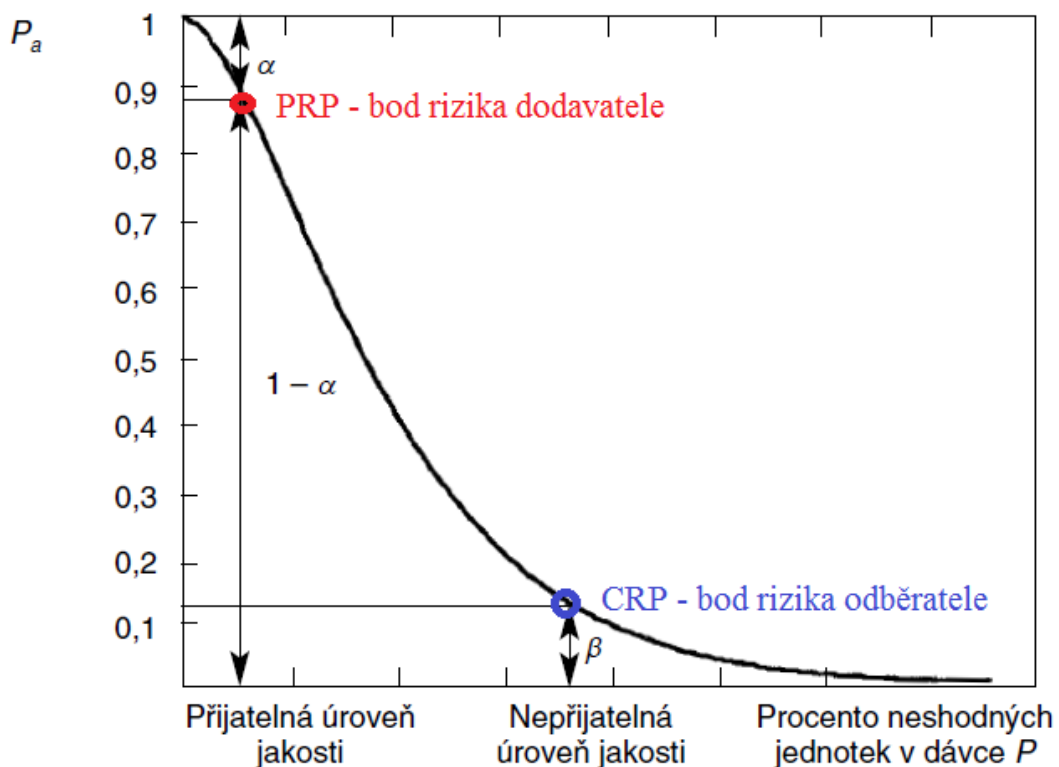
1.3.2 Základní pojmy

Některé zdroje se v tomto ohledu liší, některé uvádějí základních pojmů méně, některé více. Liší se také v pojmenování. Tento seznam základních pojmů je sestaven podle [2], [12], [17], [18]:

- *Statistická přejímka* – výběrová kontrola, při které se určuje, zda přijmout či odmítnout dávku na základě vyhodnocení způsobilosti výběru, odebraného z dávky.
- *Přejímací plán* – jednoznačné pravidlo pro zamítnutí či přijetí kontrolované dávky.
- *Dávka* – stanovené množství výrobků nebo materiálu, sdružené dohromady.
- *Rozsah dávky N* – počet jednotek v dávce.
- *Výběr* – určitý počet jednotek odebraných z dávky, podává informaci o celé dávce.
- *Rozsah výběru n* – počet jednotek, které byly náhodně vybrány z dávky.
- *Přejímací číslo A_c (Acceptance Number)* - maximální přípustný počet neshodných jednotek ve výběru.
- *Zamítací číslo R_e (Rejectance Number)* – počet neshodných jednotek ve výběru, který je nevyhovující.
- **Riziko dodavatele α** – pravděpodobnost, že dodavateli budou zamítnuty dávky s vyhovující úrovní kvality.
- *AQL (Acceptable Quality Level)* – přípustná mez kvality je dohodnutá přijatelná mez kvality a je vyjádřena jako podíl neshodných jednotek v dávce, který je pro odběratele přijatelný.
- p_A – přípustný podíl neshodných jednotek v dávce.
- **Riziko odběratele β** – pravděpodobnost s jakou přijme odběratel dávky s nepřijatelnou úrovní kvality.
- *LQ (Limiting Quality)* – je mezní kvalita izolované dávky spojená s nízkou pravděpodobností přijetí ($< 10\%$).
- p_R – nepřípustný podíl neshodných jednotek v dávce.

1.3.3 Operativní charakteristika

Operativní charakteristika je křivka zobrazující závislost pravděpodobnosti a udává, že podle určitého přijímacího plánu bude splněno přijímací kritérium. Operativní charakteristika tedy pro každý přijímací plán vyjadřuje účinnost při určitém procentu neshodných jednotek v dávce. Na Obr. 1.11 je znázorněna operativní charakteristika, na které jsou vyznačeny parametry α , β a body rizika dodavatele a odběratele. Na ose y je uvedena pravděpodobnost dávky s podílem neshodných P_a a osa x udává podíl neshodných v dávce P_a .



Obr. 1.11 Operativní charakteristika (zdroj: [3]).

Operativní charakteristika, která je dána AQL a LQ zaručuje odběrateli 95%-ní pravděpodobnost převzetí vyhovující dávky a 90%-ní pravděpodobnost zamítnutí nepřijatelné dávky dodavateli. [3], [7], [12]

1.3.4 Základní druhy statistických přejímek a jejich volba

V první řadě je důležité si uvědomit, jaký bude mít charakter kontrolovaná veličina. Hůlová a Jarošová [3] uvádějí tyto příklady: „napětí na svorkách baterie, tloušťka papíru, obsah alkoholu v procentech“. Jak je vidět, jedná se o měřitelné spojité hodnoty, v tomto případě bude tedy použita *prejímka měřením*. Pokud se však jedná o počty něčeho například nevyhovujících výrobků, jedná se o *prejímku srovnáváním*.

- **Přejímka srovnáváním**
- **Přejímka měřením**

Dalším parametrem pro rozhodování druhu přejímky je počet výběrů. Nejjednodušší je *prejímka jedním výběrem*, kde za předpokladu jednoho výběru o rozsahu n , rozhodujeme o přijetí či nepřijetí. Dalším druhem je *prejímka dvojím výběrem*. U první zmiňované se počítá jen s velmi kvalitní dodávkou nebo s velmi nekvalitní dodávkou. Pokud se však nachází počet neshod mezi velmi kvalitní dodávkou a velmi nekvalitní dodávkou, provede se další výběr. Toto je princip přejímky dvojím výběrem. Zde je také důležité zmínit *prejímku několikerým výběrem*, která pracuje na stejném principu jako přejímka dvojím rozhodováním a však s větším počtem výběrů. Dalším druhem může být *prejímka s postupným výběrem* neboli sekvenční přejímka. V tomto případě může být dávka přijata, zamítnuta nebo bude kontrolován další kus. Pokud je dávka přijata nebo zamítnuta, přejímka se ukončí. Tento druh přejímky je složitý na přípravu, protože přejímací plány nejsou v tomto případě pevně dány a je třeba je vytvořit. Podle [3], [4] je dělení podle počtu tedy následující:

- **Přejímka s jedním výběrem**
- **Přejímka s dvojím a několikerým výběrem**
- **Přejímka s postupným výběrem (sekvenční)**

Dalším hlediskem pro rozdělení přejímek je způsob, jakým se nakládá se zamítnutou dodávkou. Zde mohou nastat dvě situace. V prvním případě je zamítnutá dávka vrácena odběrateli a mluví se tedy o *bezopravné* (nerektifikační) přejímce. V druhém případě se jedná o přejímku *opravnou* (rektifikační). Zde se dávka nevrací, ale vytřídí se z ní neshodné jednotky a nahradí se těmi shodnými. Jak uvádí [3], [4] je dělení podle zamítnuté dávky následující:

- **Přejímka bezopravná (nerektifikační)**
- **Přejímka opravná (rektifikační)**

1.3.5 Statistická přejímka srovnáváním

Statistická přejímka srovnáváním se používá tam, kde má kontrolovaný znak podobu diskrétní náhodné veličiny vyjádřené v binární formě. Požadavek tedy může být splněn nebo nesplněn. Nejdůležitějším parametrem pro přejímku srovnáváním je podle Hůlové a Jarošové [2] přípustná mez kvality (AQL) a je třeba tomuto faktu věnovat kvalifikované rozhodování ze strany odběratele i dodavatele.

Dohodnutá přípustná mez kvality je pro dodavatele vodítkem pro vytváření určité úrovně kvality. Čím vyšší bude dohodnutá AQL, tím více bude přijato dávek o stejné úrovni kvality. Odběratel zase vyžaduje co nejnižší AQL, protože nízká AQL nebude ohrožovat jeho zájmy. Snižování AQL má však za následek zvětšování rozsahu kontrolované dávky. Určení hodnoty AQL jsou různá. Může se určit ze zkušeností z dřívějších kontrol, experimentálně, podle uživatelských požadavků, celkových nákladů nebo může být pevně dána. Hodnota AQL musí být určena předem, při kontrole není určení této hodnoty již možné. [3], [12], [18]

Oproti přejímce měřením je statistická přejímka srovnáváním jednodušší a snadněji realizovatelná z důvodu používání jednodušších zkušebních metod s nižšími nároky na zkušební personál. [18]

S přejímacími postupy se váží určitá rizika, která ohrožují jak dodavatele, tak odběratele. Proto pro statistickou přejímku srovnáváním existuje řada norem ISO 2859, které uvádí Hulová a Jarošová [3]:

- **ISO 2859–1–Přejímací plány AQL pro kontrolu každé dávky v sérii**

Používá se tam, kde je nepřerušovaný tok dodávek od jednoho dodavatele. Předchozí úrovně kvality jsou kontrolovány a pravidla pro přejímku mohou být buď zpřísněna nebo zmírněna.

- **ISO 2859 – 2 – Přejímací plány LQ pro kontrolu izolovaných dávek**

Přejímací plány se používají tam, kde se nejedná o sériovou výrobu a nedochází tedy k pravidelnému toku dodávek od dodavatele. Z tohoto důvodu jsou informace z předchozí dodávky minimální. Mezní jakost LQ tedy umožňuje zvýšenou ochranu odběratele.

- **ISO 2859 – 3 – Občasná přejímka**

Z finančního hlediska je tato norma výhodná pro dodavatele, protože umožňuje vynechání některých dávek. Aby se však nezvyšovalo riziko pro odběratele, je dodavatel nucen splnit určité požadavky:

- a) Série dávek musí být spojitá, ne izolovaná.
- b) Dodavatel musí mít fungující systém regulace kvality.
- c) Po určitou dobu jsou dodávky kontrolovány přejímacími plány AQL a výsledky musí odpovídat požadavkům této normy.

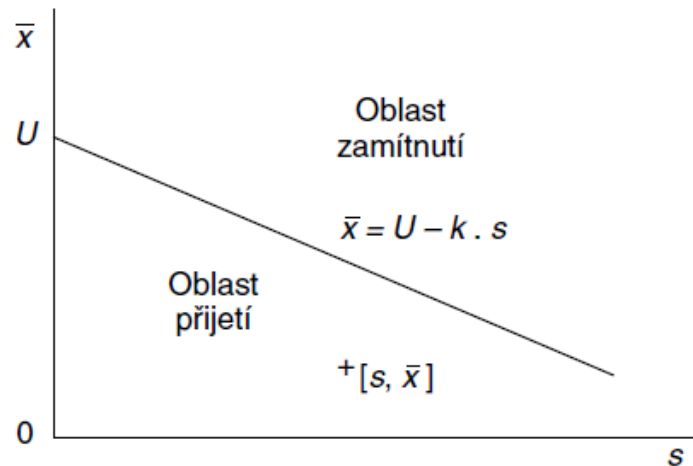
1.3.6 Statistická přejímka měřením

Tato přejímka je jednoznačně ekonomičtější v porovnání s přejímkou srovnáváním z důvodu velikosti rozsahu výběru, který je menší skoro o dvě třetiny než u přejímky srovnáváním. Měření samotné je však velmi nákladné a složité a je nutné zde splnit podmínky, které jsou dány normou ČSN ISO 3951. U této přejímky je určena střední hodnota μ a rozptyl σ^2 za předpokladu, že znak jakosti v dávce bude mít normální rozdělení, jinak by také mohlo dojít k zamítnutí celé dávky bez jediné neshodné jednotky.

Princip spočívá ve výběru vhodného přejímacího plánu, jako je to u statistické přejímky srovnáváním. Využívá se zde dvojice čísel (n, k) , kde n je rozsah náhodného výběru a k je přejímací číslo. Při řešení je možné použít jak grafický tak i numerický postup. [3], [12]

Příklad postupu znázornil Nenadál [12] takto:

1. Nalezení vhodného přejímacího plánu.
2. Provedení výběru o rozsahu n .
3. Výpočet hodnot výběrových charakteristik x a s .
4. Sestrojení grafu, kde na ose x jsou vyneseny hodnoty výběrové směrodatné odchylky s a na ose y hodnoty výběrového průměru x . Přímka $\bar{x} = U - k * s$ vytváří hranici mezi oblastí přijetí dávky a zamítnutí dávky.
5. Zakreslení bodu o souřadnicích $[s, \bar{x}]$ do grafu.
6. Rozhodnutí o dávce:
 - a) Leží-li bod $[s, \bar{x}]$ nad přímkou $\bar{x} = U - k * s$, je dávka zamítnuta.
 - b) Leží-li bod $[s, \bar{x}]$ na přímce $\bar{x} = U - k * s$ nebo pod ní, dávka je přijata.



Obr. 1.12 Grafické řešení statistické přejímky s-metodou při předpisu horní mezní hodnoty (převzato z: [12]).

1.4 NAVRHOVÁNÍ EXPERIMENTŮ (DOE)

DOE je nástroj pro zlepšování kvality. Za zakladatele metody plánování experimentů (Design of Experiments) je považován Angličan R.A.Fisher, který tuto metodu vyvinul na začátku dvacátých let 20. století. Dalším, kdo studoval a rozšiřoval metodou DOE, byl Dr. Taguchi. Jeho hlavním cílem bylo zjednodušit a standardizovat techniku DOE. Jeho technika byla úspěšně aplikována v organizacích po celém Japonsku a v 80. letech byla aplikována i v USA. Aby bylo možné tuto techniku pochopit, je nutné porozumět Taguchiho filosofii. Taguchiho filosofii vystihuje ve stručnosti definice, která zní takto: „Jakost je množství ztrát, které výrobek způsobí společnosti poté, co je dán do užívání“. Výhody DOE jsou například: snadnější a rychlejší dosažení požadovaných parametrů jakosti, snížení variability, odolnější výrobek vůči vnějším vlivům nebo snížení nákladu při stále stejné nebo zlepšující se kvalitě. Jak již bylo řečeno, DOE je nejpoužívanější v USA a Japonsku, někteří dokonce tvrdí, že DOE je hlavním důvodem, proč má Japonsko vysokou převahu nad ostatními státy v oblasti kvality. V České republice není tato metoda tolik používána z několika důvodů. Metoda je složitější než ostatní metody, je nedostatek česky psaných publikací a není podrobně vyučována na vysokých školách. [19]

Metodu DOE popisuje Blecharz [19] takto: „DOE je experimentální strategie, při které najednou studujeme účinky několika faktorů, prostřednictvím jejich testování na různých úrovních“. Důležité je pochopit slovo experimentování. Experimentování znamená testování různých kombinací hodnot faktorů a nalezení nejlepších pracovních postupů a přitom získat

důležité informace o procesu. Testování všech variant je však velice náročné, a proto je výhodné používat právě metodu DOE, která zkoumá pouze určité rozmezí všech možných kombinací. Jakost v souvislosti s experimenty může být hodnocena pomocí vhodné měřitelné veličiny nebo pomocí počtu neshod na jednotku. [3], [19]

1.4.1 Základní pojmy a definice

Aby bylo možné zlepšit jakost, musíme nejdříve vědět, co na ní působí. Proto nalezneme vymezené vlivy, určíme, které jsou skutečné a nejpodstatnější. Tohoto lze dosáhnout například pomocí Ishikawova diagramu (viz kapitola 1.2.5). Jako důležité pojmy uvádí [3] a [19] *charakteristiku jakosti, faktor, odezvu a úroveň faktoru*.

- *Charakteristika jakosti (Y)* je veličina, pomocí které definujeme určité vlastnosti produktu.
- *Faktor (A, B, C, D...)* je nezávislá proměnná, která mění cíleně hodnoty veličin a ovlivňuje tedy charakteristiku jakosti.

Faktory se dále dělí podle způsobu definování:

- a) Faktory spojité – Pro danou úroveň se nastaví libovolná hodnota.
- b) Faktory diskrétní – Pro danou úroveň se nastaví přesně definovaná hodnota.

Faktory lze také rozdělit podle způsobu zacházení:

- a) Regulovatelný faktor – Je uvažován, že ovlivňuje charakteristiku jakosti a je začleněna do experimentu.
 - b) Šumový faktor – Tento faktor není možné udržet na požadované úrovni, je nežádoucí a negativně ovlivňuje funkce produktu.
- *Experimentální chyba* vzniká při působení vlivů, které není možné kontrolovat nebo nám nejsou vůbec známi. Aby se co nejvíce tato chyba minimalizovala, je nutné znáhodňovat pořadí jednotlivých zkoušek. (podrobný příklad uvádí Hůlová a Jarošová [3] str. 54.)
 - *Odezva* je sledovaná a odpovídající změna veličin.

- *Úrovně faktorů* jsou hodnoty faktorů nastavované při experimentu.

1.4.2 Experimentální procedura

Experimentální proceduru uvádí [19] takto:

1. *Plán experimentu*

Pracovní tým provede analýzu problému. To znamená, že určí cíl experimentu, charakteristiku jakosti, vymezí faktory, které by mohli ovlivňovat odezvu, počet úrovní a čas, který bude potřebný k provedení experimentu. Velmi důležité je zde použití brainstormingu.

2. *Návrh experimentu*

Určí se, které faktory budou do experimentu zahrnuty. Zde se počítá i s nekontrolovatelnými změnami jiných veličin, které způsobují experimentální chybu. Dále se určí počet úrovní a typ experimentu. Experiment může být jednoduchý nebo složitější, kde je používáno složitějších postupů. (např. interakce, smíšené úrovně, opakované experimenty)

3. *Provedení experimentu*

Podle provedeného plánu se provádí experiment v aktuálních výrobních podmínkách nebo laboratořích a výsledky se zapisují do předem připravených formulářů.

4. *Analýza experimentu*

Vhodnými metodami se rozhodne, které faktory mají statistický vliv na experiment.

Analýza spočívá ve 3 základních krocích:

- a) Stanovení optimálních podmínek.
- b) Procentuální podíl faktorů.
- c) Odhad charakteristiky jakosti při optimálních podmínkách.

5. *Ověřovací testy*

Ověřuje se, zda jsou výsledky analýzy správné.

Cílem experimentu je zjistit působení faktorů na odezvu. Velkým problémem je v tomto případě experimentální chyba, která způsobuje kolísání výsledků odezvy. Tuto chybu lze však minimalizovat pomocí různých procedur, jako je například replikace, která slouží k odhadu velikosti experimentální chyby, uspořádání do bloků, což má za následek zmenšení

experimentální chyby nebo znáhodnění, jež zabraňuje působení náhodných veličin na experiment. [3], [19]

2 Porovnání SPC s ostatními metodami

Jaké okolnosti sebou implementace SPC přináší? Jaké jsou její výhody a nevýhody? Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, SPC je efektivní nástroj pro zlepšování kvality. Jeho nespornou výhodou je schopnost předcházet změnám v procesu a celý proces zlepšovat. Každá výhoda sebou však přináší i své nevýhody. Výčet výhod a nevýhod je podrobněji popsán v následující kapitole.

2.1 VÝHODY A NEVÝHODY SPC

2.1.1 Výhody

Jednou z nejsilnějších stránek metody SPC je bezpochyby prevence, neboli přecházení chybovosti včasným zasahováním do procesu výroby. Porozumění procesu, jeho neustálé zlepšování, konkurenceschopnost atd. To vše spolu úzce souvisí a jak uvádí [5] přínosy ze zavedení SPC mohou být velmi důležité, závisí však na celkové filozofii podniku a jeho efektivním využívání regulačních diagramů. Další výhodou může být také zavádění SPC do servisního procesu, nikoli jen do výrobního. Příklad zavedení SPC do servisního procesu uvádí např. Šimota [20] ve svém článku. Výhod je daleko více, záleží však na podniku jak se vypořádá s problémy, které se váží s metodou statistické regulace procesu. Tato problematika je dále vysvětlena v nadcházející části.

2.1.2 Nevýhody

Za hlavní nevýhody, které spolu opět úzce souvisí lze považovat čas, zaměstnance a finanční náročnost. Jak již bylo řečeno, SPC klade důraz na včasnou detekci a prevenci problémů. To sebou však přináší velkou časovou náročnost, protože proces musí být podrobně sledován. Zaměstnancům je tedy přidána nová odpovědnost. Musejí sledovat a zapisovat hodnoty z procesu. S tím souvisí další nevýhoda, a to jsou samotní zaměstnanci. Ty lze rozdělit do dvou skupin. Ti, kteří data měří a ti, kteří data zpracovávají. Přehlednou tabulku uvádí Halfarová a Hutýra [1]:

Tabulka 2.1 Lidský faktor (zdroj: [1]).

LIDSKÝ FAKTOR	<i>Lidé měřící data</i>	Nedůsledný a špatný odečet z měřidla
		Měření s nedostatečnou přesností
		Nedodržení časového harmonogramu
		Nečitelný záznam
		Nevyplnění záznamu vůbec a následné vyplnění záznamu smyšlenými hodnotami
	<i>Lidé zpracovávající data</i>	Nesprávné použití statistických metod
		Nesprávná interpretace

Další nevýhodou, hlavně pro malé firmy je finanční náročnost. Finanční náklady, které musejí být vynaloženy při implementaci SPC, jako například nákup techniky, softwaru a školení jsou povinností. Při správném použití se však firmě tyto náklady vrátí zpět. Po implementaci to však se všemi výdaji nekončí. Zaměstnanci se školí průběžně, software se musí časem aktualizovat a to stojí nemalé peníze, jak uvádí [1].

Tabulka 2.2 Finanční faktor (zdroj: [1]).

FINANCE	Nákup techniky - počítače, monitory
	Školení zaměstnanců - odborná školení či intenzivní kurzy pro zaměstnance týkající se statistických metod
	Software - zakoupení vhodného software na statistické vyhodnocování dat

Tabulka 2.3 Výhody a nevýhody SPC

Výhody a nevýhody metody SPC	
Výhody	Nevýhody
Prevence zmetkovitosti	Časová náročnost
Porozumění procesu	Nové požadavky na zaměstnance
Neustálé zlepšování procesu	Nové odpovědnosti zaměstnanců
Konkurenceschopnost	Náklady spojené s implementací SPC
Zlepšení produktivity	Kvalita měření
Snížení nákladů	
Zvýšení spolehlivosti	
Zvýšení kvality-spokojený zákazník	

2.2 PŘEDNOSTI STATISTICKÉ PŘEJÍMKY

Hlavní přednosti statistické přejímky před jinými metodami kontroly kvality udává norma ČSN 01 0254 [21] a dále je popisuje [22] ve své práci. Na základě výsledků výběrové kontroly umožňuje objektivní posouzení, zda přejímaný soubor vyhovuje požadavkům na kvalitu. Díky předem definovaným požadavkům na kvalitu přejímaného souboru zaručuje nejehospodárnější rozsah výběru. Další výhoda spočívá v účinnosti kontroly, která je známa dopředu, což má za příčinu ochranu zájmů odběratele nebo dodavatele. Dále pak udává dodavateli přehled o jakosti výrobků, reklamacích atd.

2.3 PŘEDNOSTI METODY DOE

Velká výhoda DOE spočívá v úspornosti. Důkazem jsou tisíce firem, hlavně tedy na území Japonska a USA, které řešily složité problémy s kvalitou svých produktů. Další výhody uvádí např. Novohradský [23] ve své práci. Potvrzuje zde tvrzení, že navrhování experimentů je velmi ekonomické a redukuje náklady při jejich navrhování. Jako další velkou výhodu uvádí zjišťování vlivů jednotlivých faktorů, které působí na výsledek. Z toho pak lze získat informaci, zda není možné zlepšením jednoho faktoru zhoršit druhý a naopak. Popisuje také, že metoda není vhodná pro experimentování s faktory plynule se měnícími a jako hrozbu uvádí neefektivní použití brainstormingu.

2.4 CELKOVÉ POROVNÁNÍ ZMÍNĚNÝCH METOD

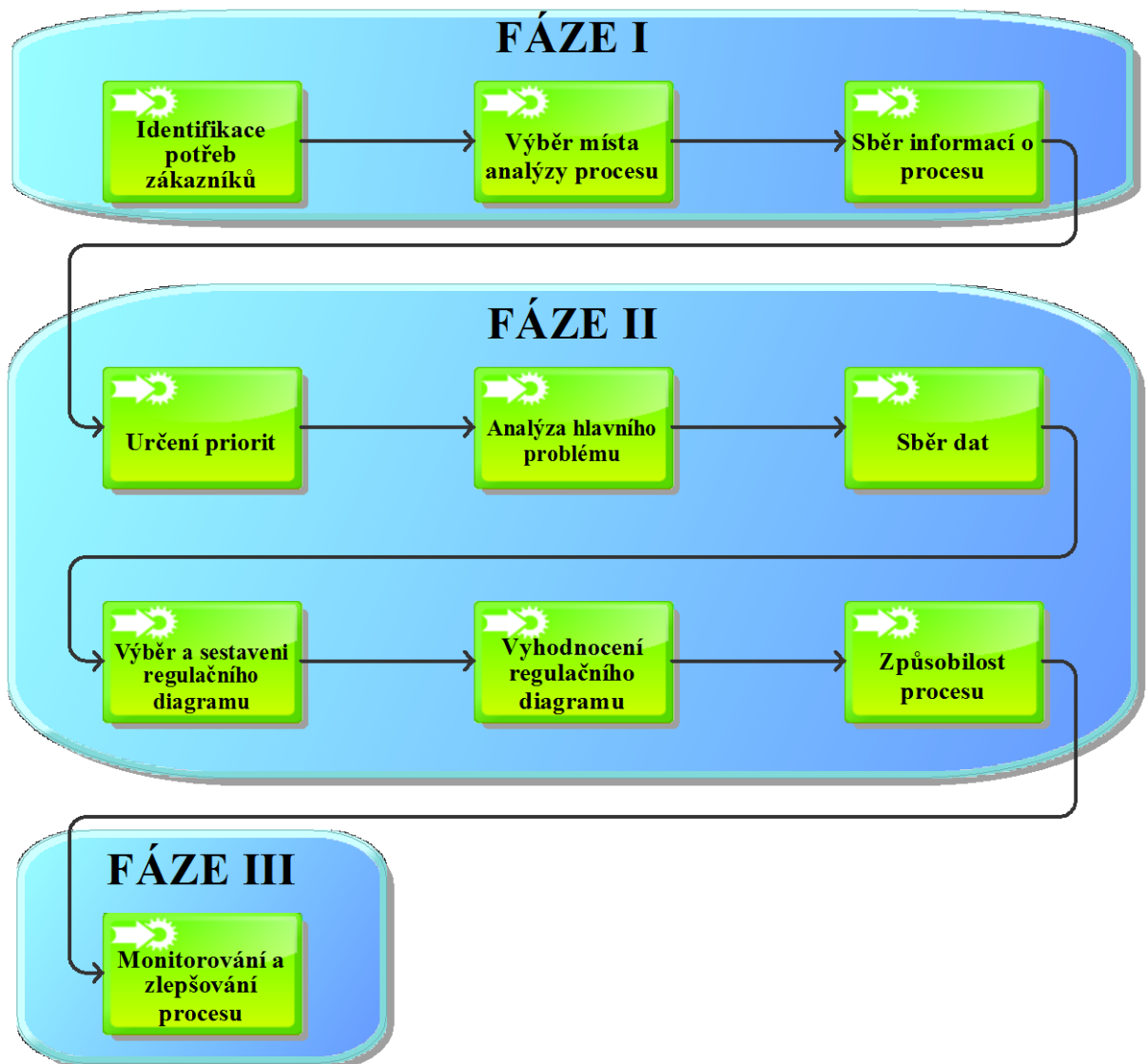
Každá z metod má samozřejmě své silné a slabé stránky a je jen na určité firmě, jakou vybranou metodu použije. Důležité však je, aby byla co nejefektivněji použita.

Tabulka 2.4 Srovnání SPC s ostatními metodami

	SPC	Statistická přejímka	DOE
Silné stránky	Prevence zmetkovitosti	Objektivní posouzení	Jednoduchost
	Neustálé zlepšování procesu	Předem dané požadavky na kvalitu	Nízké náklady
	Porozumění procesu		Pochopení procesu
	Zlepšení produktivity	Hospodárný rozsah výběru	Zlepšení chování procesu
	Zvýšení spolehlivosti	Účinnost kontroly je dána	Zlepšování kvality
	Snížení nákladů	Ochrana zájmů odběratele nebo dodavatele	Možnost práce v týmu
	Zvýšení kvality		
	Konkurenceschopnost	Úprava stupně přísnosti a rozsah kontroly	
	Spokojenost zákazníků		
		Informace o jakosti pro dodavatele	
Slabé stránky	Časová náročnost	Časová náročnost	Nedůvěra a skepse v DOE
	Velké náklady spojené s implementací a provozem	Požadavky na výběr vzorků	Nedostatek školení, informací a softwaru na území EU
		Velikost výběrových souborů	
	Nové odpovědnosti zaměstnanců	Vlastní chyba nelze odstranit	Nemožnost použití na nestabilní proces
		Náročnost při přejímce měření	
	Požadavky na zaměstnance	Riziko zamítnutí celé dávky díky chybě	Nemožnost experimentování s postupně měnícími se faktory
	Volba softwaru		
	Kvalita měření		Nemožnost použití při chybném návrhu procesu

3 Návrh systému zavádění a kontroly stability procesů

Cílem této kapitoly je návrh systému, neboli postupu zavádění a kontroly stability procesů za použití metody SPC a jednoduchých statistických nástrojů pro zlepšování kvality v podniku. Návrh systému zavádění a kontroly se může samozřejmě měnit s druhem procesu, tento systém je navržen univerzálně, pro komplexní implementaci SPC do procesu výroby a lepší pochopení celého zavádění. Navržený systém je zobrazen na vývojovém diagramu (Obr. 3.1) a je rozdělen do tří fází. Fáze plánování, fáze zkoumání stability a způsobilosti a fáze monitorování a diagnostiky procesu. Největší pozornost v tomto návrhu je věnována druhé fázi. Zde je důležité věnovat velkou pozornost správnému sběru dat, vhodnému výběru regulačního diagramu a stabilitě procesu.



Obr. 3.1 Návrh systému zavádění a kontroly stability procesů

3.1 FÁZE I - PLÁNOVÁNÍ

3.1.1 Identifikace potřeb zákazníků

V dnešní době je velmi důležité, aby firma, která chce uspět na trhu s obrovskou konkurencí, získávala nové zákazníky a vyhovovala jejich požadavkům. V opačném případě dojde o nezájem ze strany zákazníků o produkty dané firmy a ta nemá šanci na dnešním trhu uspět [24]. Proto není implementace SPC do procesu požadavkem samotného managementu podniku, ale také požadavkem zákazníka, od kterého se kvalita výrobků nebo služeb razantně odvíjí.

3.1.2 Výběr místa analýzy procesu

Zde se jedná o nalezení určitého procesu, do kterého se budou implementovat statistické nástroje pro zlepšování kvality [25]. Tento postup blízce souvisí s požadavky zákazníků ([kapitola 3.1.1](#)), protože k nalezení požadovaného procesu je nutné znát jejich potřeby a požadavky na úroveň kvality výrobku a služeb, neboli znaky jakosti. Tyto informace lze získat jednoduchými průzkumy nebo kladením otázek směrem k zákazníkům, které se týkají jejich zkušeností s výrobky nebo službami, které jsou v podstatě výstupy požadovaného procesu.

3.1.3 Sběr informací o procesu

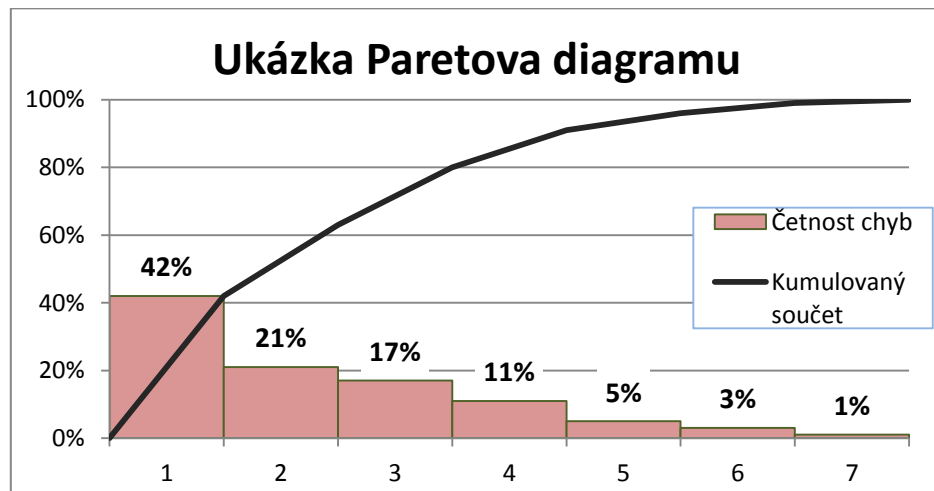
Informace o výrobním procesu slouží k lepšímu poznání tohoto procesu a nelezání jeho problémů. Tyto informace budou dále používány při implementaci jednoduchých statistických nástrojů.

3.2 FÁZE II – ZKOUMÁNÍ STABILITY A ZPŮSOBILOSTI PROCESU

3.2.1 Určení priorit

V tomto kroku jsou známé problémy daného procesu, které se dále zkoumají. Z těchto problémů jsou vybrány, ty které mají na proces největší vliv, neboli mají největší prioritu. Jak je známo, velké procento problémů je způsobeno malým procentem příčin [26]. Pokud je tedy cílem podniku maximalizovat efektivitu, je v tomto případě vhodné použití Paretova diagramu. Tento digram umožňuje grafické znázornění hlavních problémů, které se v procesu vyskytují. V tomto kroku je také vhodné použití Lorenzovi křivky. Tato křivka je znázorněna

v Paretově diagramu a sestaví se z kumulativních součtů jednotlivých dat. Tvorba tohoto diagramu i s Lorenzovou křivkou je velice jednoduchá a lze sestavit například v MS Excel (Obr. 3.2). Paretoův diagram je velice užitečný statistický nástroj, ne vždy je však největší problém v tomto diagramu ten nejdůležitější.



Obr. 3.2 Paretoův diagram

Tabulka 3.1 Příklad hodnot pro Paretoův diagram

Pořadí chyb	Četnost chyb	Kumulovaný součet
1	42%	42%
2	21%	63%
3	17%	80%
4	11%	91%
5	5%	96%
6	3%	99%
7	1%	100%

3.2.2 Analýza hlavního problému

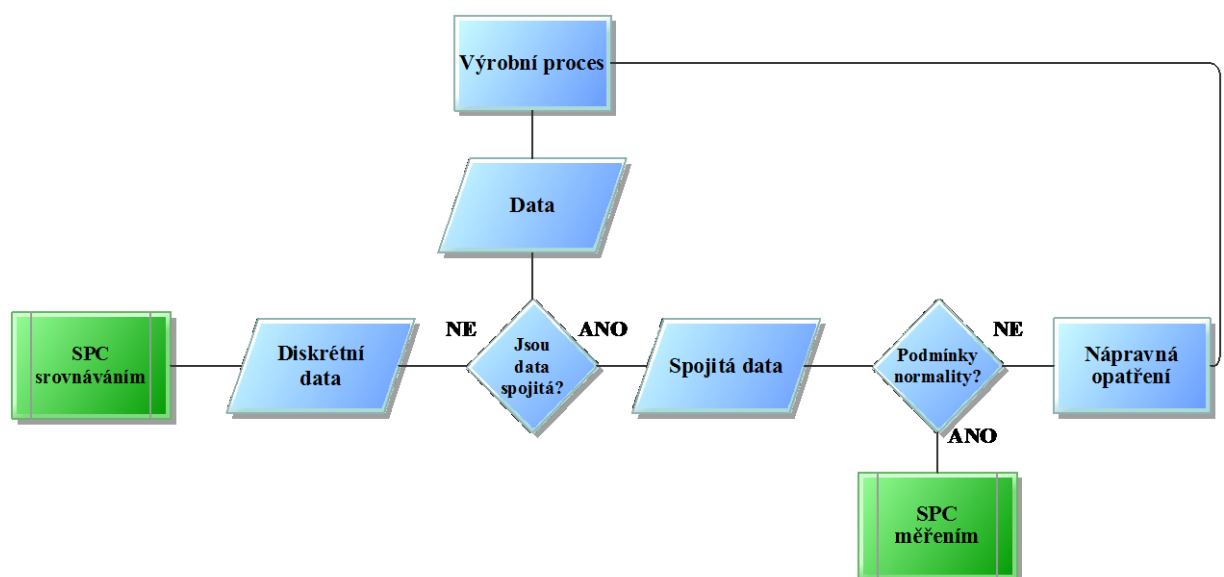
Po určení hlavního problému je dalším krokem jeho analýza a nelezni příčin, které tento problém způsobují [26]. V tomto případě je vhodné použít diagram příčin a následků (diagram rybí kosti). K sestavení tohoto diagramu je vhodné použít další metodu zvanou brainstorming (obě tyto metody jsou podrobněji popsány v kapitole 1.2.5) Pro tvorbu tohoto diagramu je možné použít některé softwary, jako je například Minitab. Ekonomičtější, většinou i efektivnější je však použití pouhé tabule nebo papíru a psacích potřeb. V týmu pro brainstorming by měli být zaměstnanci s různými specializacemi pro maximální využití této metody.

3.2.2.1 Vývojový diagram

K analýze hlavního problému je také možné použít vývojového diagramu. Tento postup může odhalit příčiny problému, které nebyly odhaleny při použití diagramu příčin a následků. Kontrola kvality je kontinuální a příčiny, které na proces působí, se neustále mění. Proto je možné, že bude diagram příčin a následků po vytvoření vývojového diagramu pozměněn. Tento diagram tedy dokáže nalézt nová fakta ohledně procesu [26]. Tvorba těchto diagramů je časově nenáročná, jednoduchá a především ekonomická. Na internetu lze nalézt freeware verze programů, jako je například ARIS Express, který je používán také pro tvorbu vývojových diagramů v této práci.

3.2.3 Sběr dat

Jedním z nejdůležitějších kroků v tomto systému je sběr dat. Kvalitní sběr dat určuje celkovou efektivnost použití SPC [26]. Sběr dat je však pro podnik velmi ekonomicky náročný, jelikož ke sběru dat je zapotřebí speciálních měřicích přístrojů, vyškolené pracovníky, software a drahou výpočetní techniku. Podle Michálka a Krále [27] je důležité před sběrem dat rozhodnout, která data budou získávána, jak budou měřeny, kdo bude sběr dat provádět, jak často, kam budou data zapisována nebo ukládána, jak velké množství dat bude zapotřebí, k čemu budou data zapotřebí atd. Důležité je zde také měření na dostatečný počet desetinných míst a také dostatečné zaškolení pracovníků, kteří měří pomocí speciálních měřicích přístrojů, která jsou spojena s počítači a určitým softwarem.



Obr. 3.3 Závislost na druhu dat (zdroj: [27])

3.2.3.1 Kontrolní formuláře a tabulky

Ke sběru dat je vhodné použití přehledných a jednoduchých formulářů k tomu určených. Jednoduché a přehledné by měly být hlavně pro pracovníky, kteří provádějí měření určitého procesu. Tímto se minimalizují chyby a zvětšuje se kvalita dat. V dnešní době je pro sběr dat vhodnější používání elektronických zařízení, jako například čteček nebo tabletů, které umožňují ukládání relativně nekonečného množství dat na jednom místě. Další nespornou výhodou je úspora času a omezení chyb. Tím se zaručí kvalita dat a zlepšení pohledu na celý proces.

3.2.3.2 Histogram

Po dostatečném sběru dat je možné z hodnot, které jsou zobrazeny kontrolních tabulkách, sestavit histogram. Ten zobrazuje rozložení četností výskytu různých měření. Důležitý je tvar histogramu, který může podhalit, zda je proces stabilní. Histogram se používá také k testování normality. Pokud není splněna normalita dat, jsou následné regulační s největší pravděpodobností k ničemu. K testu normality se používají spíše jiné metody, ale histogram může sloužit jako první indicie. Nelze se na něj však spoléhat stoprocentně. Pro sestavení se nejdříve určí rozpětí hodnot R , což je rozdíl mezi největší a nejmenší naměřenou hodnotou.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (3.1)$$

Další krok spočívá ve výběru počtu sloupců. Počet sloupců je dán počtem hodnot v tabulce a je zobrazen v *Tabulce 1.1* ([kapitola 1.2.3](#)). Jako další se před sestavením histogramu vypočítá šířka intervalu:

$$\text{šířka intervalu} = \frac{x_{max} - x_{min}}{\text{počet intervalů}} \quad (3.2)$$

Histogram lze opět jednoduše sestavit v programu MS Excel, avšak pokud se podnik rozhodl investovat do speciálního softwaru, což je v dnešní době takřka nutností, sestavení histogramu je v softwarech samozřejmostí.

3.2.4 Sestavení a výběr vhodného regulačního diagramu

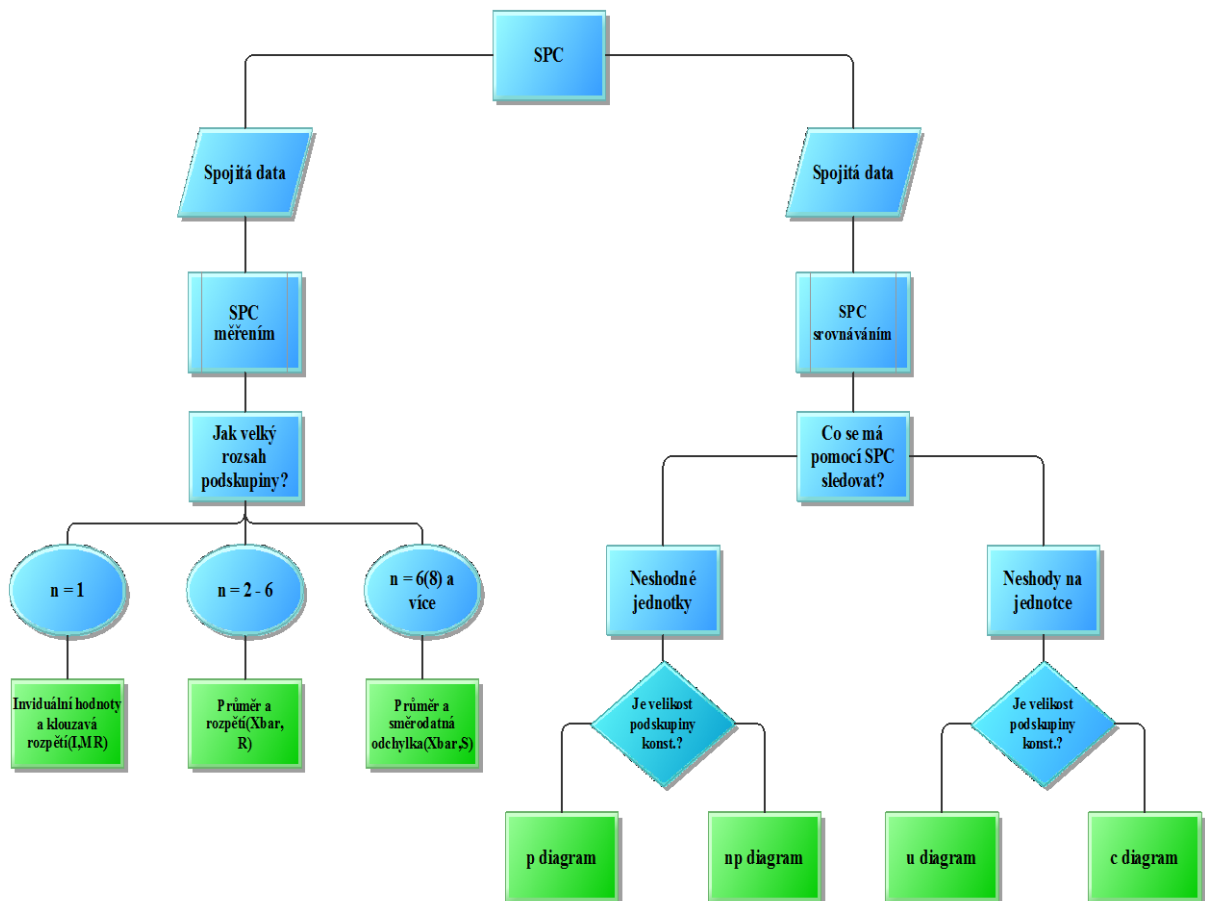
Prvním krokem bude rozhodnutí, zda se jedná o data kvantitativní nebo kvalitativní. Kvantitativní data, neboli diskrétní (například rozhodnutí vyhovuje/nehovuje) se použijí pro regulační diagramy srovnáváním. Pokud se bude jednat o data kvalitativní, neboli spojitá, budou použity s největší pravděpodobností regulační diagramy při kontrole měřením [5]. Vývojový diagram pro volbu diagramu je zobrazen na *Obr. 3.4*. Podle [5] je v případě možnosti vždy lepší upřednostňovat kvantitativní data, která obsahují více užitečných informací než kvalitativní. Nejpoužívanějším regulačním diagramem je diagram pro průměr \bar{X} a rozpětí R . Diagramů je samozřejmě mnohem více a jsou používány podle druhu procesu.

Po sběru dat je zapotřebí stanovit, zda bude probíhat 100% kontrola nebo zda se budou používat podskupiny. Podskupina je vzorek dat z celkového množství dat. Pokud probíhá například výroba v elektrotechnickém průmyslu, kde se za jednu směnu vyrobí tisícovky rezistorů, tak by 100% kontrola sledovaného znaku nebyla ekonomická a s největší pravděpodobností ani realizovatelná. Podskupiny musí být přesně definovány [5]:

- 1) Rozsah podskupiny – V průmyslu, takže i v tom elektrotechnickém, by měli být rozsahy podskupin malé. Je to hlavně z důvodu ekonomického a časového. A však čím větší rozsah podskupiny tím bude regulační diagram přesnější.
- 2) Počet podskupin – Z procesu je nutné odebrat tak velké množství podskupin, aby se odhalila většina možných zdrojů zvláštních příčin. Doporučená hodnota je 25 a více podskupin.
- 3) Frekvence odběru podskupin – Podskupiny musejí být odebírány v čase tak často, aby byla možnost změny. Mohou být odebírány například každých 30 minut, 5 krát za směnu nebo jednou denně. Opět zde jde hlavně o finanční a časovou náročnost a také o konkrétní proces a sledovaný znak.

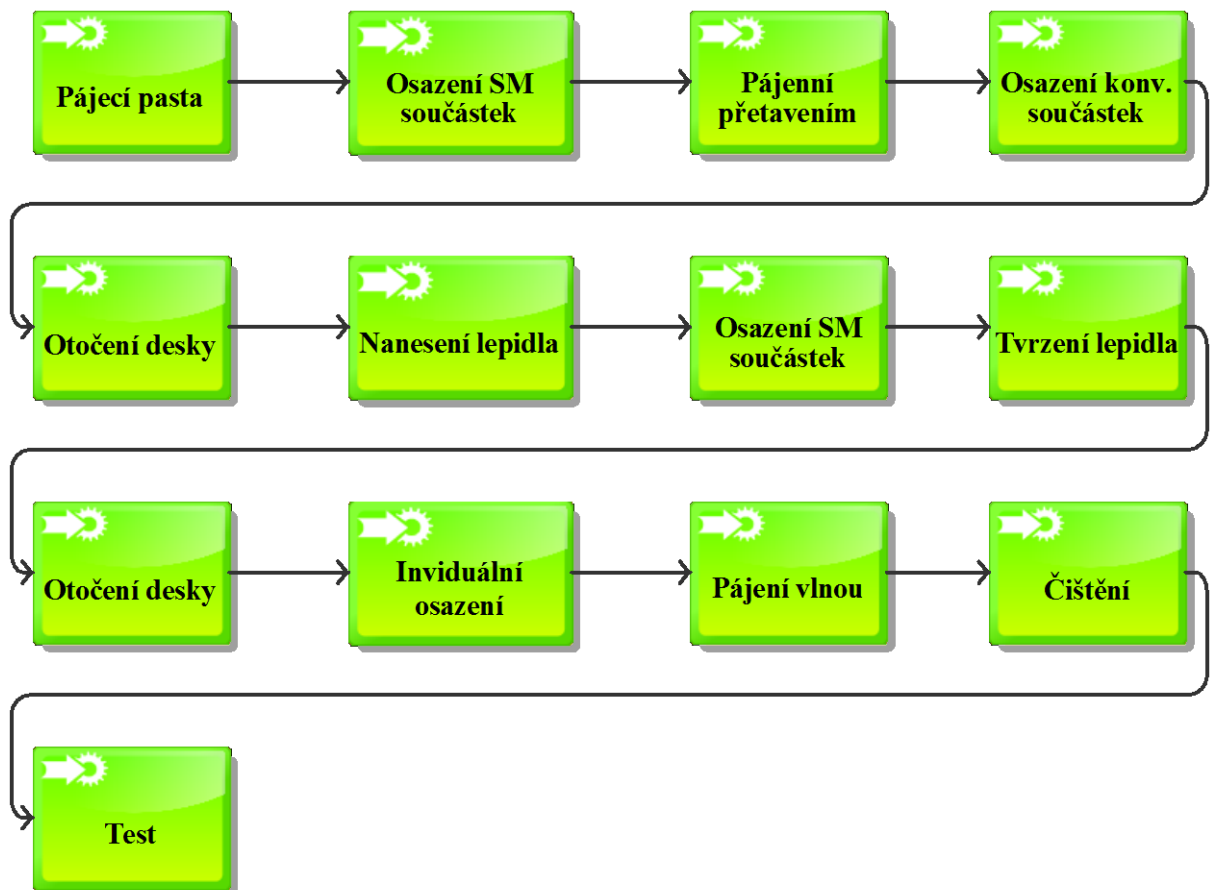
Pro každou podskupinu se dále musí vypočítat jejich výběrová charakteristika, jako je například výběrový průměr, medián, směrodatná odchylka atd. Výpočet probíhá podle vzorců, které jsou specifické podle použitého regulačního diagramu. Tyto hodnoty se poté zakreslí do regulačního diagramu. Jako další krok je tedy zapotřebí stanovit centrální přímkou a regulační meze (kapitola 1.1.3). Výpočet těchto údajů není složitý a vzorce pro výpočty se liší použitým

regulačním diagramem a jsou uváděny ve většině literatur zabývajících se regulačními diagramy (např. [5] str. 79), proto zde nebudou dále rozváděny. Důležité je tedy vybrat vhodný regulační diagram. Vývojový diagram pro výběr vhodného regulačního diagramu je na Obr. 3.4. Druhů regulačních diagramů existuje samozřejmě více, toto je jen základní rozdělení.



Obr. 3.4 Výběr vhodného regulačního diagramu (zdroj: [27]).

Pro lepší představu, jak regulační diagram vytvořit a poté analyzovat, je v této kapitole sestaven jednoduchý regulační diagram. Data jsou použita z akademické práce Ondřeje Lenka [28], který se zabýval podobnou problematikou. Zaváděl některé statistické nástroje jako například histogram do procesu výroby plošných spojů. Jedná se o proces osazování desek plošných spojů a jako znak jakosti zde byla sledována tloušťka pájky. Celý proces osazování desek plošných spojů je na Obr.3.5. Data, která naměřil, jsou uvedena v tabulce 3.3.



Obr. 3.5 Proces pájení plošných spojů (zdroj: [28]).

Jako první se určí rozsah podskupiny, v našem případě je rozsah n roven 4. Také je velmi důležité, aby výběry tvořili logickou podskupinu, to znamená, že při výběru nedošlo k podstatné změně v procesu. Jako první se sestaví regulační diagram pro variační rozpětí. Variační rozpětí R je rozdíl největší a nejmenší hodnoty. Sestaví se další tabulka (Tabulka 3.4) pro průměr \bar{X} , jednotlivé podskupiny se zprůměrují a zapíší pod odpovídající číslo podskupiny. Další krok je samotné zapsání hodnot do regulačního diagramu pro aritmetický průměr.

$n = 4$

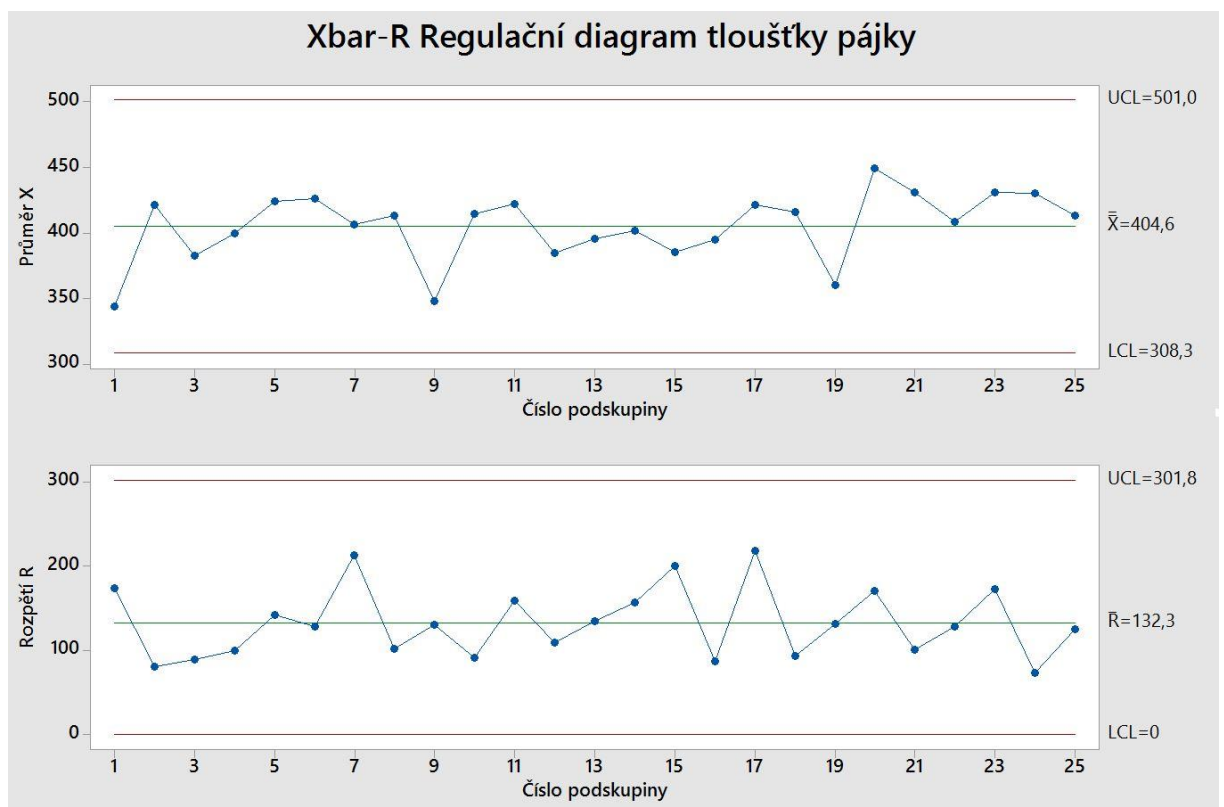
Tabulka 3.2 Naměřené hodnoty (převzato z: [28]).

Naměřené hodnoty tloušťky pájky[μm]									
386	308	253	427	378	458	395	453	393	426
337	373	442	412	400	343	407	463	341	483
496	416	422	368	469	482	405	269	466	364
386	436	303	375	422	292	396	470	413	379
458	345	380	504	375	435	402	326	322	456
378	424	442	349	328	485	258	405	458	419
431	344	398	404	540	322	428	395	403	413
377	470	271	381	402	387	473	396	549	378
431	376	438	477	351	479	382	420	353	522
349	498	399	429	472	417	336	461	422	432

Tabulka 3.3 Zprůměrované podskupiny (část)

Číslo podskupiny	1	2	3	4
\bar{X}	343,5	421

Regulační diagramy v této kapitole jsou sestaveny pomocí softwaru Minitab 17. Na Obr. 3.6 je regulační diagram \bar{X}, R , který je jeden z nejpoužívanějších vůbec.



Obr. 3.6 Regulační diagram tloušťky pájky

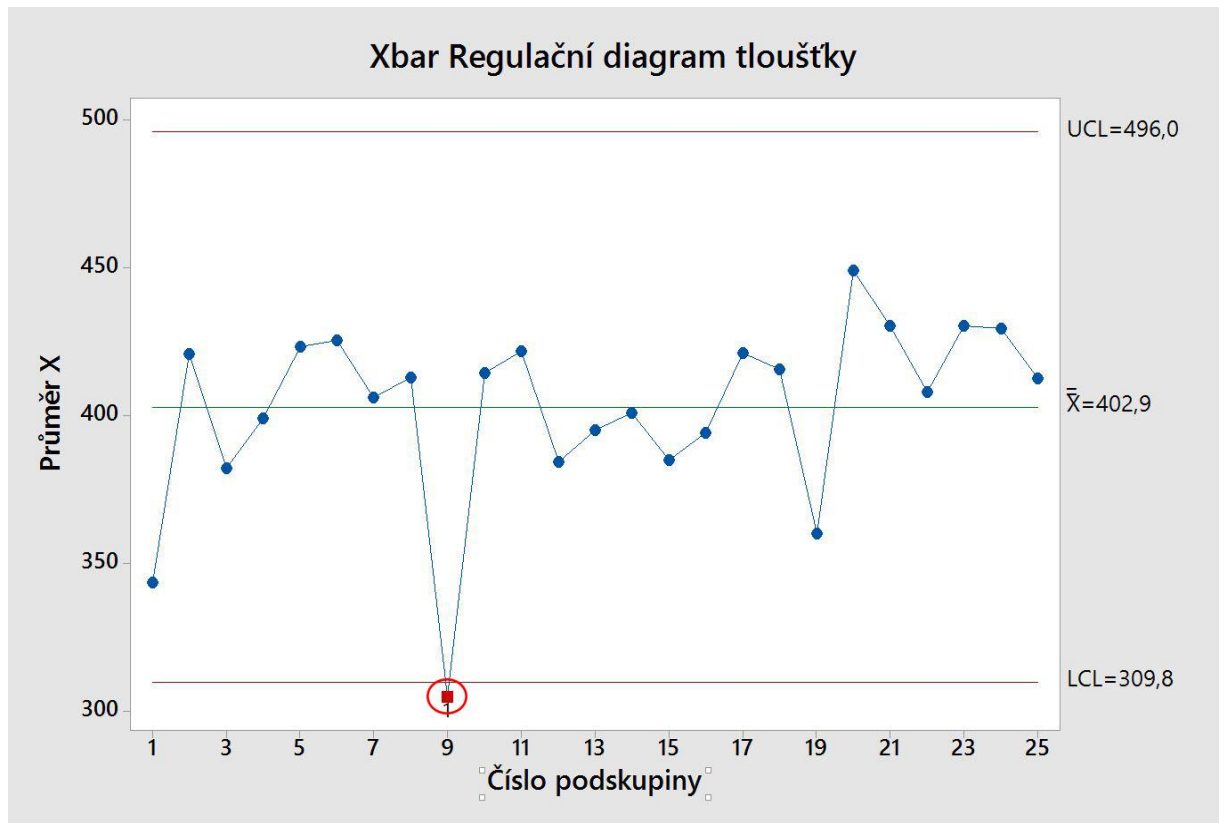
3.2.5 Vyhodnocení regulačního diagramu

3.2.5.1 Body mimo regulační meze

Po vytvoření regulačního diagramu proběhne jeho vyhodnocení. Pro diagram \bar{X}, R , který je na *Obr. 3.6*, se jako první posuzuje diagram pro variační rozpětí [3]. Hledají se body, které se nalézají mimo regulační meze. V případě, který je na *Obr. 3.5*, se body nenalézají mimo regulační meze a lze říci, že na proces nepůsobí vymezené příčiny. Pokud je v diagramu rozpětí R vše v pořádku, pokračuje se vytvořením regulačního diagramu pro aritmetický průměr. Vyhodnocení tohoto diagramu je stejné jako v předchozím případě. Pokud se některé body nalézají na vnější straně regulačních mezí, provede se analýza procesu a hledají se zdroje vymezených příčin, které se musejí minimalizovat nebo odstranit. Podle [5] mohou být zdrojem vymezených příčin některé z těchto jevů:

- Regulační mez nebo bod byly špatně vypočteny nebo zakresleny.
- Změna způsobu měření (např. změna měřidla).
- Systém měření postrádá dostatečnou rozlišovací schopnost.
- Kolísání od jednoho kusu k druhému se zvětšili (zhoršili).

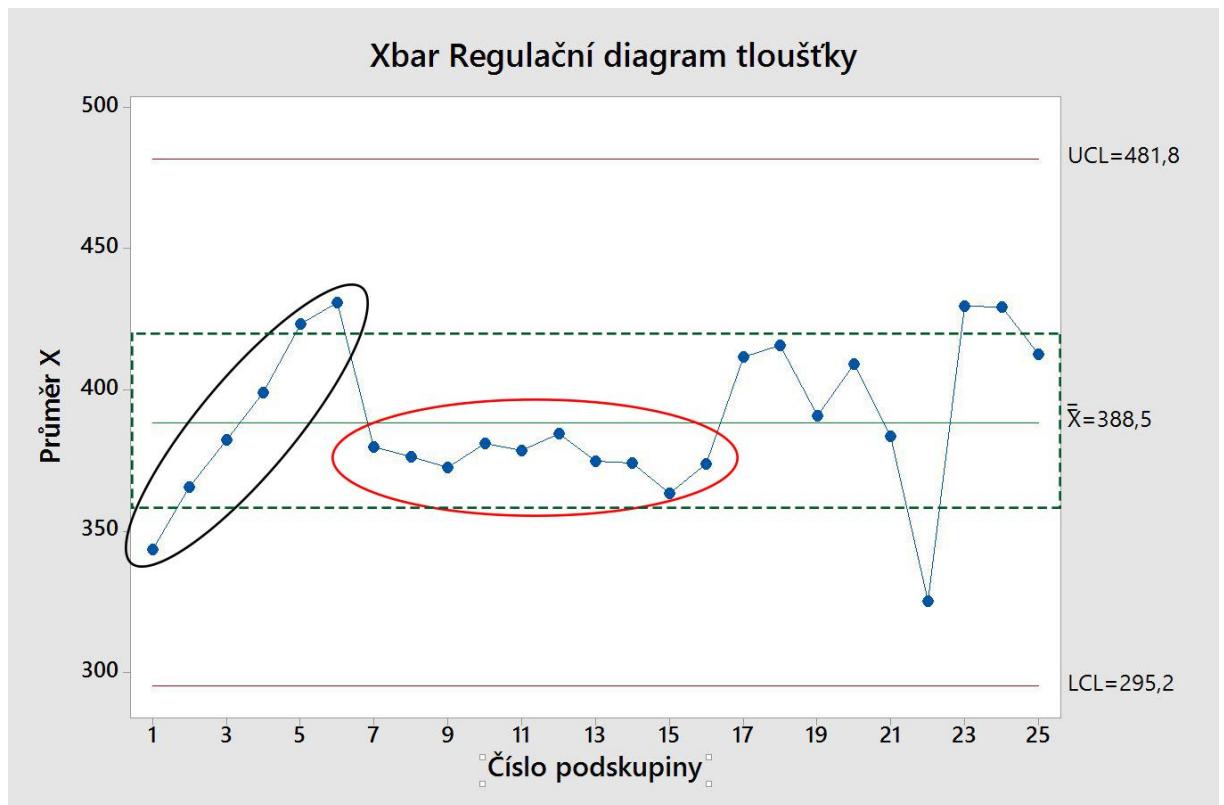
0



Obr. 3.7 Bod mimo regulační mez

3.2.5.2 Náhodná uskupení uvnitř regulačních mezí

Jsou-li všechny body uvnitř regulačních mezí, nemusí to vždy znamenat, že na proces nepůsobí zvláštní příčiny. Uvnitř se mohou vyskytovat různá uskupení, neboli trendy, která jsou varovným signálem, že na proces působí vymezitelné příčiny. Některá uskupení vznikají působením příčin, která mohou mít na proces kladný vliv a je snaha tyto příčiny do procesu záměrně implementovat. Přínos těchto uskupení se liší s použitým regulačním diagramem a jsou popisovány v různých literaturách (např. [5]). Na Obr. 3.8 Je regulační diagram pro průměr \bar{X} , na kterém jsou znázorněna náhodná uskupení a následně popsány možné vymezitelné příčiny jak uvádí [2].



Obr. 3.8 Náhodná uskupení v regulačním diagramu pro průměr \bar{X}

- Šest bodů za sebou stoupá nebo klesá – Možnou vymezitelnou příčinou zde může být opotřebení nástroje.
- Devět bodů za sebou leží nad CL nebo pod CL – Vymezitelnou příčinou může být v tomto případě změna měřidel, způsob měření nebo změna prvků v procesu.
- Patnáct bodů v řadě za sebou leží ve vnitřní třetině pásma (zelená čárkovaná oblast na Obr. 3.8) – Zde mohou být vymezitelnými příčinami nesprávně vypočtené meze, nesprávně zakreslené body, nesprávně kalibrované měřidlo, podskupiny obsahují výrobky ze dvou či více strojů nebo také zlepšení procesu.

3.2.6 Způsobilost procesu

Způsobilost je velmi důležitým kritériem pro zlepšování kvality. Je to schopnost procesu pracovat s určitou přesností a je to hlavní ukazatel pro zákazníka, protože ho informuje o tom, s jakou přesností může počítat do budoucna. Způsobilost procesu lze určit jen tehdy, je-li proces statisticky stabilní. Přesnost lze v tomto případě určit jako inherentní variabilitu 6σ .

Inherentní variabilita znamená, že kolísání procesu je způsobené pouze náhodnými veličinami a podle [3] ji je možné odhadnout různými způsoby:

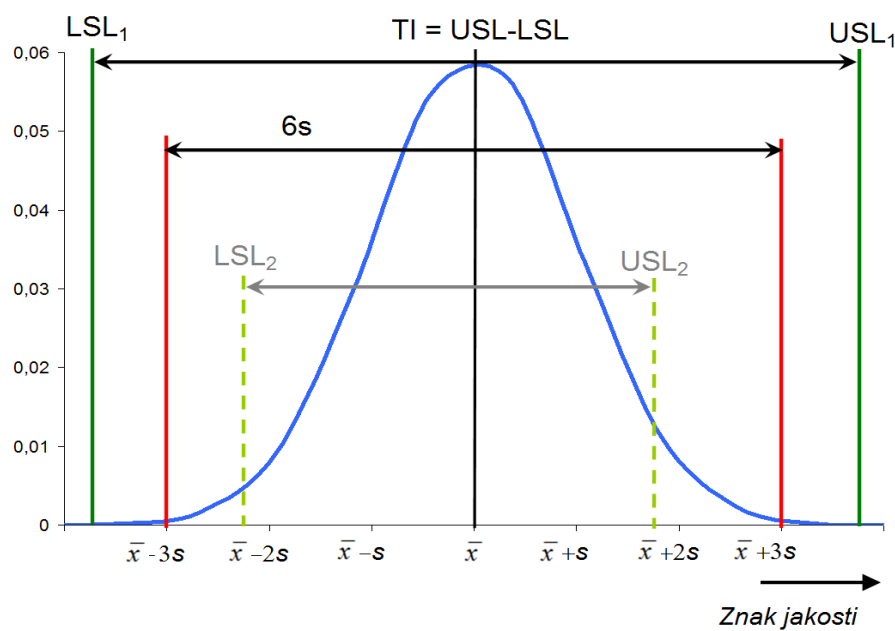
- Z výběrových variačních rozpětí.
- Z výběrových směrodatných odchylek.
- Ze vztahu, který je používán v českých standardech a u kterého není třeba používat tabulek:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}} \quad (3.3)$$

Pro konkrétní proces můžeme rozmezí kolísání spočítat dosazením do vzorce [3]:

$$UL_x, LL_x = \bar{X} \pm 3\hat{\sigma}\bar{X} \quad (3.4)$$

Výpočet se poté znázorní graficky jako úsečka a znázorní se také úsečka požadavků (Gaussova křivka):



Obr. 3.9 Charakteristika pro zjištění C_p , Gaussova křivka (převzato: [29]).

3.2.6.1 Indexy způsobilosti procesu

Postupy výpočtů indexů způsobilosti jsou znázorněny a sestaveny podle [29]:

- Index způsobilosti C_p - Je to míra schopnosti procesu udržet sledovaný znak uvnitř

tolerančních mezí, ale nezohledňuje rozmístění hodnot uvnitř těchto mezí.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3.5)$$

- b) Index způsobilosti C_{pk} - Na rozdíl od indexu C_p tento zohledňuje i polohu sledovaného znaku kvality vůči tolerančním mezím, tj. $USL - \bar{X}$; $\bar{X} - LSL$. Stanovení indexu C_{pk} se nejdříve určí z dílčích vzorců.

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}; CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (3.6)$$

A výsledný vzorec má poté podobu:

$$Cpk = \text{Min}\{CPU; CPL\} \quad (3.7)$$

Pokud se hodnoty CPU a CPL liší, je to znamením, že aktuální poloha procesu neleží ve středu mezi USL a LSL. Porovnáním indexů C_p a C_{pk} vznikne třetí index, který informuje o vycentrování procesu. Pokud nejsou hodnoty těchto dvou indexů stejné, znamená to, že skutečný střed procesu je posunut. [3], [29], [30]

3.3 FÁZE III – MONITOROVÁNÍ A ZLEPŠOVÁNÍ PROCESU

Cílem této fáze je udržování procesu na požadované hodnotě, neboli ve stabilním stavu. Proces se s časem mění a příčiny, které na proces zpočátku neměly vliv, se mohly zvětšit a stát se vymezitelnými. Proto je neustálé monitorování procesu velmi důležité. V této fázi jsou používány složitější a citlivější regulační diagramy, protože proces je již regulovaný. Již regulovaný proces je třeba stále zlepšovat, protože nároky na kvalitu výstupu se ze strany zákazníků neustále zvětšují. Z důvodu zlepšování se záměrně mění vlastnosti procesu, které však mohou ohrozit stabilitu celého procesu. [3]

Závěr

Cílem této práce bylo popsat některé statistické metody a nástroje, které slouží k zlepšování kvality. V dnešní době je pro firmy, které chtějí uspět na trhu s obrovskou konkurencí, použití statistických metod takřka nutností. Největší pozornost v této práci byla přikládána statistické regulaci procesu. Nespornou výhodou SPC je predikce současného a budoucího chodu procesu a tím tedy prevence před chybovostí v procesu. Během studování této problematiky jsem došel k závěru, že pokud se jedná o malý podnik, který se rozhodne pro zavedení statistické regulace procesu a nedisponuje potřebnými financemi, bude to pro něho z finančního hlediska opravdu těžké. Vkládání peněz do nového softwaru, vzdělávání zaměstnanců nebo dokonce přestavba linky v podniku je pro menší podnik opravdu těžkým rozhodnutím. Avšak, ať už se jedná o malý či velký podnik, pokud jsou statistické nástroje pro statistickou regulaci procesu vhodně používány, jejich ziskovost je nesporná. Podnik zmenší procento neshodných jednotek na výstupu procesu, zmenší své náklady, zvětší zisky, uspokojí své zákazníky požadovanou kvalitou, získá nové a tím pádem má velkou šanci uspět na trhu s velkou konkurencí.

Co se týče statistické přejímky, v dnešní době není pouhá kontrola ve výrobním podniku, ať už na vstupu nebo výstupu procesu vhodnou metodou pro zlepšování kvality. Avšak statistická přejímka může mít svá uplatnění např. v nevýrobních podnicích, které obchodují nebo také v kombinaci s SPC při mezioperační kontrole.

V poslední části této práce byl vytvořen komplexní návrh systému zavádění a kontroly výrobního procesu. Jedná se o jakousi ideální představu, která vznikla po sběru informací z různých literatur a příkladů z praxe. Největší pozornost v této byla věnována zkoumání stabilizace procesu, a však plánování a monitorování procesu je neméně důležité. Bez znalostí požadavků ze strany zákazníků by byla celá implementace do procesu výroby zbytečná. Proto není možné přeskokovat určité části systému zavádění. Jedná se kontinuální systém, kde je vše na sobě závislé.

V této části byl také zobrazen proces osazování desek plošných spojů. Z dat získaných z tohoto procesu, jednalo se o tloušťku pájky, byl pomocí programu Minitab 17 sestaven regulační diagram pro průměr a rozpětí. Žádná hodnota se v tomto případě nevyskytovala mimo regulační meze, proto byl tento proces považován za statisticky zvládnutelný, neboli

stabilní. Úpravou dat byly sestaveny další regulační diagramy pro zobrazení hodnot mimo regulační meze a pro zobrazení náhodných uskupení uvnitř regulačního diagramu. Jednotlivé možnosti uskupení byly znázorněny a byly u nich popsány možné zvláštní příčiny.

V dnešní době si jde jen těžko představit řízení a zlepšování kvality v určitém podniku bez používání statistických metod.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HALFAROVÁ, Petra a Milan HUTYRA. *Problematika zavádění statistických metod* [online]. 2013, : 7 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.statspol.cz/cs/wp-content/uploads/2013/05/request2006/sbornik/halfarova.pdf>
- [2] TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000, 362 s. ISBN 80-722-5040-X
- [3] HŮLOVÁ, Marie a Eva JAROŠOVÁ. *Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti*. 4. vyd. Praha: Oeconomica, 2011, 119 s. ISBN 978-80-245-1748-3.
- [4] NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody v řízení jakosti*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 1996. ISBN 80-7078-318-4
- [5] *Statistická regulace procesů (SPC): příručka*. 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, xii, 216 s. ISBN 80-02-01810-9.
- [6] KUPKA, Karel. *Statistické řízení jakosti: interaktivní analýza a interpretace dat pro řízení jakosti a ekonomiku*. Pardubice: TriloByte, c1997, 191 s. ISBN 80-238-18x.
- [7] LEGÁT, Václav. *Statistické řízení procesů* [online]. Praha: Technická fakulta ČZU [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: https://tf.czu.cz/~legat/Vyuka/Systemy_rizeni_jakosti/Cviceni/KS_Cviceni/3%20SPC/Vyklad.ppt
- [8] SLAICHOVÁ, Eva. *Statistické řízení jakosti: regulace procesu měřením a srovnáváním* [online]. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, 2.11.2013 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: http://multiedu.tul.cz/~eva.slaichova/multiedu/Rizeni_jakosti/Statisticka_regulace_procesu.pdf
- [9] KOCOUREK, Vladimír. *Kvalita v laboratorní a kontrolní praxi: Statistické nástroje pro řízení kvality, SPC* [online]. Praha: VŠCHT, 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: http://web.vscht.cz/~kocourev/files/QA_SPC-print.pdf
- [10] ČSN ISO 8258:1994 Shewhartovy regulační diagramy (01 0271)
- [11] HORÁLEK, Vratislav. NÁRODNÍ INFORMAČNÍ STŘEDISKO PRO PODPORU JAKOSTI. *Jednoduché nástroje řízení jakosti I* [online]. Praha, 2004 [cit. 16.2.2015]. ISBN 80-02-01689-0. Dostupné z: http://www.businessinfo.cz/files/archiv/dokumenty/061019_nastroje-rizeni-jakosti-1.pdf
- [12] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.

- [13] TAGUE, Nancy R. *The quality toolbox*. 2nd ed. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality Press, 2005, xxvi, 558 p. ISBN 0873896394.
- [14] BLECHARZ, Pavel. *Základy moderního řízení kvality*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2011, 122 s. ISBN 978-80-86929-75-0.
- [15] Histogram. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Histogram>
- [16] HORÁLEK, Vratislav. *Česká společnost pro jakost: Statistické přejímky* [online]. 5.5.2014[cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticka_metody/sborniky/09-Statisticke_prejimky_2013_OP.pdf
- [17] ALEŠ, Zdeněk, Václav LEGÁT a Tomáš HLADÍK. Systémy řízení jakosti: Statistická přejímka. In: [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: https://tf.czu.cz/~legat/Vyuka/Systemy_rizeni_jakosti/Cviceni/10%20St%20prejimka/Vyklad.ppt
- [18] VANĚK, Pavel. *Metody statistické přejímky srovnáváním* [online]. Pardubice: Výroční konference SCOV, 8.10.2008 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.scov.cz/statistika.pdf>
- [19] BLECHARZ, Pavel. *Základy metody DOE: (Taguchiho přístup)*. Vyd. 1. Ostrava: Repronis, 2005, 112, [11] s. ISBN 80-7329-106-1.
- [20] ŠIMOTA, Jan. *Zavádění metody SPC do servisních procesů*. Západočeská univerzita v Plzni, 2013.
- [21] ČSN 01 0254, 1976. *Statistická přejímka srovnáváním*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1974. 110 s.
- [22] VYŠKOVSKÝ, Jaroslav. *STATISTICKÁ PŘEJÍMKA*. Brno, 2010. Diplomová práce.
- [23] NOVOHRADSKÝ, Jan. *Porovnání vybraných statistických metod pro hodnocení jakosti*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce.
- [24] DOSTÁL, Petr a M. ČERNÝ. *ZAVÁDĚNÍ SPC VE VÝROBNÍM PROCESU* [online]. 2009 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: https://mnet.mendelu.cz/mendelnet08agro/files/articles/tech_dostal.pdf
- [25] KOCHMANNOVÁ, Eva. *NÁSTROJE ŘÍZENÍ KVALITY* [online]. 2011, 2012(II) [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/xmlui/bitstream/handle/11025/680/r6c1c3.pdf?sequence=1>
- [26] HART, Marilyn K. a Robert F. HART. *Introduction to STATISTICAL PROCESS CONTROL TECHNIQUES* [online]. Corvallis, Oregon 97330: Statit Software, 2007 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: http://www.statit.com/services/SPCOverview_mfg.pdf

- [27] MICHÁLEK, Jiří a Jan KRÁL. *Statistické řízení procesů se SW podporou* [online]. 2009 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://library.utia.cas.cz/separaty/2009/SI/michalek-statistical%20process%20control%20with%20sw%20support.pdf>
- [28] LENK, Ondřej. *Použití statistických metod pro řízení procesů*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ.
- [29] LEGÁT, Václav a Zdeněk ALEŠ. *Analýza způsobilosti procesů a výrobních zařízení* [online]. Praha: Technická fakulta ČZU [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: https://tf.czu.cz/~legat/Vyuka/Systemy_rizeni_jakosti/Cviceni/09%20Zpusobilost/Vyklad.ppt
- [30] ENGINEERING STATISTICS HANDBOOK: What is Process Capability?. [online]. 9.9.2014 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section1/pmc16.htm>