



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

STATISTICKÁ PODPORA PROCESU ŘÍZENÍ FIRMY

STATISTICAL SUPPORT OF THE COMPANY MANAGEMENT PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Kubíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karla Maradová

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jan Kubíček**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **Ing. Karla Maradová**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Statistická podpora procesu řízení firmy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je analýza současného stavu ve firmě a možné využití SW při zavádění VDA 6.3, který využívá moduly k řízení jakosti. Dále zpracovává údaje z přístrojů, procesu, auditů a data statistický vyhodnocuje. Srovnání s jiným metrologickým softwarem (programem), který se aktuálně ve firmě využívá a provést srovnání.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu u řešené problematiky.

Rešerše relevantních norem.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Zhodnocení současného stavu a aplikace vybraných metod.

Vlastní závěry a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

NENADÁL, Jaroslav. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.

KOŽÍŠEK, Jan. Statistické zabezpečování jakosti. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02304-4.

<https://www.palstat.cz/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá tématem statistické podpory procesu řízení firmy. Jsou popsány metody a nástroje statistického řízení. Dále jsou probrány požadavky na statistické řízení procesu v rámci automotive, a to konkrétně dle požadavku auditové metody VDA 6.3 a standardu IATF 16949. Práce mapuje současný stav statistického řízení ve firmě Sanmina-SCI Czech Republic s.r.o. Zavádí se statistické řízení procesu dle požadavku VDA 6.3 a porovnávají se statistická data za použití současných podpůrných software a programu Palstat. Tato praktická část je zpracovávána při zavádění poskytování služby pro automotive zákazníka.

ABSTRACT

Master's thesis describes statistical process control as a support for company management. Statistical process control methods and tools are introduced. Requirements for automotive industry are stated specifically for IATF 16949 standard and VDA 6.3 process audit method. Thesis presents current state in company Sanmina-SCI Czech Republic s.r.o regarding statistical regulation. Applies statistical process controls into the new process considering automotive requirements. It is all happening together with a new business introduction of automotive customer.

KLÍČOVÁ SLOVA

VDA 6.3, statistické řízení procesu, automotive, regulační diagram, Minitab, Palstat, způsobilost procesu

KEYWORDS

VDA 6.3, statistical process control, automotive, control charts, Minitab, Palstat, process capability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBÍČEK, Jan. *Statistická podpora procesu řízení firmy* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132835>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Karla Maradová

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval paní Ing. Karle Maradové za cenné rady a komentáře při vypracování diplomové práce a také své rodině za vytrvalou podporu při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Karly Maradové a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2021

.....

Kubíček Jan

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU STATISTICKÉHO ŘÍZENÍ PROCESU (SPC, ISO)	19
2.1	Statistické řízení procesu	19
2.2	Systém statistického řízení procesu v organizaci	19
2.3	Význam statistické regulace	20
2.4	Statistické řízení procesů a kvalita.....	22
2.4.1	Sedm základních nástrojů kvality	22
2.4.2	Neustálé zlepšování	23
2.5	Nástroje pro statistickou regulaci procesu	24
2.5.1	Regulační diagramy	24
2.5.2	Ukazatele způsobilosti procesu	31
2.5.3	Diagram Paretovy analýzy.....	34
2.5.4	Diagram příčin a následků.....	35
2.5.5	Histogram	36
2.5.6	Bodový diagram	37
2.5.7	Kontrolní formulář.....	37
2.5.8	Vzorkování a stratifikace.....	38
3	POPIS SOFTWARE PRO STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESU	39
3.1	Minitab.....	39
3.2	Palstat CAQ	39
4	REŠERŠE RELEVANTNÍCH NOREM (IATF 16949, VDA 6.3)	41
4.1	IATF 16949.....	41
4.1.1	Požadavky IATF 16949 na statistické řízení procesů	41
4.2	VDA 6.3 Audit Procesu	42
4.2.1	Požadavky VDA 6.3 na statistické řízení procesů.....	44
5	STATISTICKÝ ZVLÁDNUTÝ PROCES, ROZDÍLY V PŘÍSTUPU DLE ISO 9001 A AUTOMOTIVE	46
5.1	Způsobilost procesu	46
5.2	Způsobilost měřidel	46
6	POPIS FIRMY A AUTOMOTIVE ZÁKAZNÍKU	50
6.1	Sanmina-SCI Czech Republic s.r.o.....	50
6.2	Automotive zákazník	50
6.3	Rozsah automotive služby	50
7	ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VE FIRMĚ	52
7.1	Současný systém kvality	52
7.2	Současné statistické řízení	52
7.3	Současné podpůrné nástroje pro statistické řízení	52
7.4	Stav projektu zavádění automotive zákazníka.....	53
8	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ZAVEDENÍ VDA 6.3, NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ (METODIKA)	54
8.1	Postup implementace VDA 6.3 požadavků	54
8.2	Plnění požadavků VDA 6.3 z hlediska statistického řízení	55
8.3	Návrh nástrojů statistického řízení do procesu	59

8.3.1	Regulační diagram typu p	59
8.3.2	Způsobilost procesu / Binominal Proces Capability	63
8.3.3	PPM.....	65
8.3.4	Paretův diagram.....	65
8.3.5	Způsobilost měřicího systému a procesu - Q_{MS} , Q_{MP}	65
8.3.6	Plán kontroly	72
8.3.7	Vzorkování	72
8.3.8	Posouzení dílu dle ČSN EN ISO 14253-1:2018	74
9	ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU A APLIKACE VYBRANÝCH METOD (APLIKACE ZVOLENÉHO SOFTWARE) PRO STATISTICKÉ ŘÍZENÍ.	77
10	ZÁVĚR.....	79
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	81
12	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	83
12.1	Seznam tabulek.....	83
12.2	Seznam obrázků.....	83
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

1 ÚVOD

Úspěch je záměr všech podnikatelů, kteří dávají vzniknout nesčetnému množství firem z lehce předvídatelných důvodů. Někteří mají pouze charitativní záměry, jiní chtějí udělat něco pro společnost, vyplnit prostor na trhu anebo jednoduše, chtějí být úspěšní, bohatí, být nejlepší, být první, možná i jediní. To jsou pravděpodobně nejčastější příčiny, proč vzniká nesčetné množství firem. Jedno však mají všichni společné, a to je být úspěšný v tom co dělají.

Historie nám několikrát ukázala, že mnohdy stačí jen dobrý nápad, v podstatě mít štěstí a firma se stane velmi úspěšnou. Někteří musí jít tomuto štěstí naproti a využít například svého vzdělání, intuici, vizi a po dlouhých letech bádání, přijít s něčím novým. Ať už se jedná „jen“ o nový produkt anebo technologii, která odstartuje nový trend nebo revoluci.

Situace je o mnoho obtížnější, pokud nemáme ten jedinečný dobrý nápad, nebo nemáme možnost být u zrodu něčeho ryze nového. V takovém případě vstupujeme na zavedený trh a našim úkolem je uspět mezi konkurenčními firmami. O tom, jak je důležité dodávat požadovanou kvalitu za konkurenceschopnou cenu, snižovat interní náklady, neustále se zlepšovat bylo popsáno mnoho, nicméně, v této práci, detailně rozebereme jednu z metod, vhodnou právě k procesu neustálého zlepšování, k zvyšování efektivity a kvality procesu, produktu či služby.

Statistické řízení procesu je metoda, která využívá statistických dat a pomocí statistických nástrojů odhaluje negativní trendy a potencionální problémy v procesech mnohdy dříve, než nastanou. Rozsah nástrojů statistického řízení procesu však přesahuje preventivní ráz. Některé nástroje, patřící do tohoto oboru, se zabývají i analýzou příčin poskytující základ k vyřešení problémů. Využití statistického řízení je možné v širokém spektru odvětví průmyslu. V této práci se zaměříme na její aplikaci v automotive prostředí, protože automotive tento nástroj pro svoji účelnost vyžaduje.

Praktická část diplomové práce bude zaměřena právě na aplikaci statistického řízení procesu v automotive, ve firmě Sanmina-SCI Czech Republic s.r.o, konkrétněji při zavádění nového automotive zákazníka, jehož požadavkem je shoda s požadavky auditové metody VDA 6.3 a standardem IATF 16949:2016.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU STATISTICKÉHO ŘÍZENÍ PROCESU (SPC, ISO)

Základy statistickému řízení procesu položily významné osobnosti Walter A. Shewhart a W. Edwards Deming. Zatímco Walter A. Shewhart přispěl svým působením ve dvacátých letech 20. století, prací v Bell Laboratories v USA. W. Edwards Deming rozvíjel metody statistického řízení procesu v 50. letech stejného století v ještě poválečně utlumeném Japonsku, kde se v té době soustředil na snižování variací v procesu. V té době definovali typy odchylek v procesech a rozdělení příčin odchylek. Aplikováním statistiky a pravděpodobnosti zavedli sledování parametrů procesu v časových diagramech. [1]

Mezinárodní organizace ISO standardizovala problematiku statistického řízení procesu v normě ISO 11462:2002. Další důležitou normou je ISO 7870 která popisují různé druhy regulačních diagramů.

2.1 Statistické řízení procesu

Statistické řízení procesu se nasazuje tam, kde je třeba monitorovat a regulovat určité parametry produktu, nebo procesu. Použití nástrojů statistické regulace pomáhá uživatelům dostat procesy a produkty do statisticky zvládnutého stavu stanovením způsobilosti procesu a regulovat monitorovaný proces včasným zásahem v případě odchýlení se do stavu statisticky nezvládnutého nebo v případě indikace nežádoucího trendu či průběhu. Statisticky způsobilé procesy poskytují organizaci jistotu v hospodárnosti, efektivitě a kvalitě a jsou důkazem zákazníkovi o shodnosti produktu a kvalitě procesu. Zajišťují spokojenost zákazníka. Výstupy ze statistického řízení procesu pomáhají nejen managementu společnosti v rozhodování o změnách. [11]

Norma ISO 11462:2002 1.část poskytuje návod a doporučení k zavedení systému statistického řízení procesu v organizaci, včetně popisu nezbytných prvků systému. ISO 11462:2002 2.část navazuje s přehledem nástrojů vhodných ke statistické regulaci.

2.2 Systém statistického řízení procesu v organizaci

Neodmyslitelnou podmínkou zavádění systému statistického řízení procesu je podpora managementu. Prosazení uvolnění potřebných zdrojů s hladkostí projde v případě, že management bude srozuměn s výhodami a přínosem statistického řízení procesu.

Z výše uvedeného vyplývá, že je nutné rozumět nástrojům statistické regulace v rozsahu odpovídajícím funkci daného zaměstnance.

Je nutné stanovit zodpovědnosti za koordinaci statistické regulace v organizaci, a to nejen ve smyslu jejich aplikace, ale určit i zodpovědnosti a pravomoci pro následné vyhodnocení výstupu a přijmutí relevantních opatření.

Program statistické regulace by měl být v organizaci zdokumentovaný. Organizace musí dokumentovat parametry, které potřebuje monitorovat, jejich cílové hodnoty, meze parametrů procesů nebo produktů a strategii k jejich dosažení.

Měřící a kontrolní systém sbírající potřebná data musí být monitorován a ověřován a dle potřeby regulován, jeli jeho variabilita nepřijatelná.

Zaměstnanci musí být řádně proškoleni, aby rozuměli tomu, jak se data získávají, které parametry se měří, jak se data interpretují, a hlavně kdo je za co v programu statistického řízení zodpovědný. [11]

2.3 Význam statistické regulace

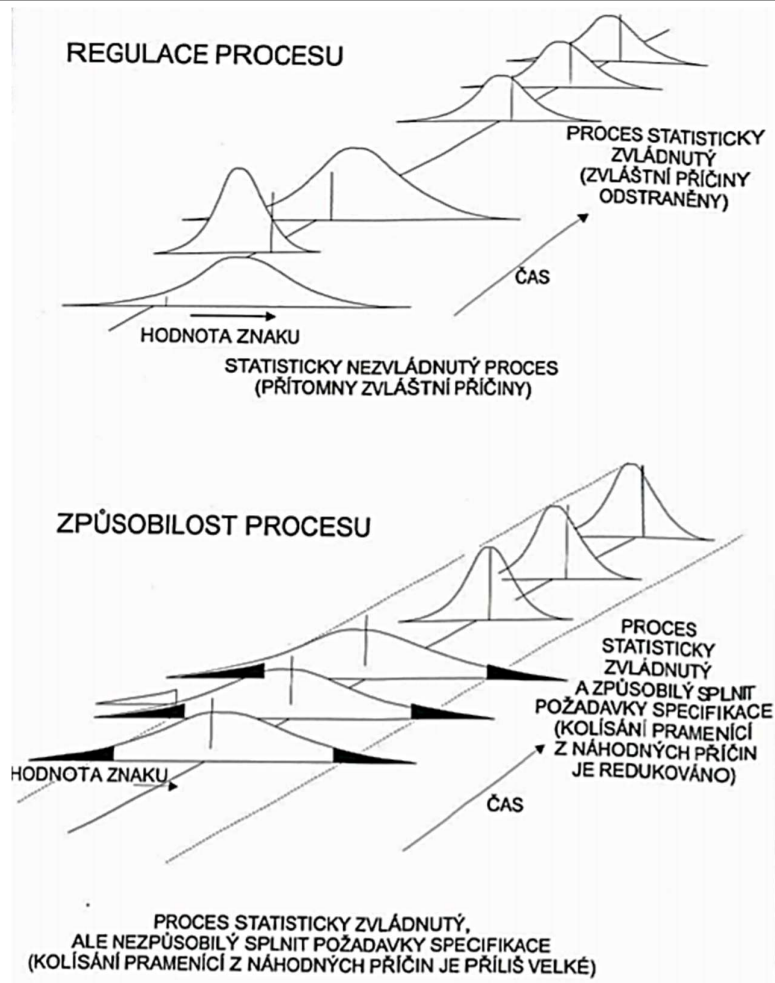
Za předpokladu, že je statistická regulace vhodně nastavena a chápána, poskytuje pohled na stav procesu nebo produktu, jehož parametry jsou sledovány. Zkoumáme především kolísání, které je způsobeno dvěma typy příčin:

- a) náhodné příčiny,
- b) zvláštní příčiny.

Žádná operace v procesu, není provedena pokaždé naprosto identicky. Žádný výrobek sériové výroby, jakéhokoliv rozsahu, není vyroben stejně, jako ten předchozí. Vždy do procesu vstupují určité vlivy, které mění parametry výstupu a nutí hodnoty procesu nebo rozměry produktu kmitat. Změny mohou být tak nepatrné, že se stále pohybují v tolerančních mezích a jsou tolerovány bez potřeby jakékoliv reakce, nebo regulace. V tomto případě jsou příčinou změn náhodné vlivy, které v procesu působí a za určitých podmínek nejsou považovány za nežádoucí. Náhodných vlivů je vždy několik a pramení z různých zdrojů. Níže jsou uvedeny některé příčiny náhodných vlivů, 6M logikou:

- lidský faktor (kvalifikace, zkušenosti, motivace) – *Man*,
- materiál (kvalita, typ, vlastnosti) – *Material*,
- metoda práce (pracovní postup) – *Method*,
- metoda měření (přesnost, opakovatelnost) – *Measuring*,
- zařízení (přesnost, vůle, opotřebení, nastavení) – *Machine*,
- okolní prostředí (teplota, vlhkost, nadmořská výška) – *Milieu* nebo *Mother nature*.

Všechny uvedené vlivy, a mnoho dalších neuvedených, způsobují určitou míru kolísání hodnot. Jak bylo uvedeno, za určitých podmínek je kolísání akceptováno. Jeli ale kolísání příliš velké, parametr výrobku se nemusí „vejít“ do tolerančních mezí a v takovém případě je třeba zásah. Charakteristika zabývající se mírou kolísání vůči tolerančním mezím se nazývá způsobilost procesu. Proces je způsobilý tehdy, jeli kolísání uvnitř tolerančních mezí. Potom je otázkou, jaká je míra způsobilosti. Grafické znázornění je znázorněno na obrázku č.1.



Obr. 1) Kolísání vs způsobilost procesu [2]

Avšak zvláštní příčiny kolísání se projevují skokově anebo i pozvolna. Statistická regulace procesu dokáže rozpoznat obě tyto možnosti analýzou regulačních diagramů o kterých bude pojednáno v následujících kapitolách. Právě indikaci těchto typů příčin kolísání je třeba odhalit a vhodnými prostředky stanovit jejich zdroj, příčinu a nápravu.

Pro oba typy příčin kolísání však existuje řešení. Je praxí dokázáno, že pro odstranění náhodných vlivů je třeba mnohem více prostředků než k odstranění zvláštních příčin. Představme si jen poměr nákladů na pořízení přesnějšího obráběcího stroje nebo změnu okolních podmínek a porovnejme například s jednorázovou opravou parametrů obrábění, nebo výměnou opotřebeného nástroje. Je to vždy o porovnání nákladů a přínosů.

Z výše uvedeného by mělo být patrné, že statistické řízení procesu má za úkol včasné odhalovat blížící se problém, dříve, než bude vyrobeno velké množství zmetků. Statistická regulace procesu je tedy preventivní nástroj, který včasným zásahem do procesu vrací jeho parametry do požadovaného stavu, nebo jej zlepšuje. Některé nástroje statistického řízení napomáhají k lepšímu porozumění dat, jako například histogram, nebo bodový graf a jiné nástroje napomáhají identifikaci příčin, například diagram příčin a následků nebo Paretův diagram.

V případě, že statistická regulace procesu není aplikovaná a není aplikovaná ani jiná alternativa, spoléháme už jen pouze na to, jaká kvalita se objeví na výstupu. To zjistíme výstupní kontrolou. K takové kontrole je třeba dostatečné množství lidí, zařízení, a přesto není zaručeno, že zmetek neprojde k zákazníkovi. Spoléháme na detekci vady a v případě pozitivního nálezu ztrácíme další zdroje přepracováním výrobku a kontrolám skladu zásob. [1], [2], [11],

2.4 Statistické řízení procesů a kvalita

Po představení statistického regulace je vhodné uvést souvislosti s kvalitou a jaký má na ní vliv. Je zřejmé, že systém statistického řízení významně ovlivňuje kvalitu výrobku, nebo poskytované služby.

Dnešní definice kvality dle ČSN EN ISO 9001:2016 zní: „Kvalita je stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik objektu“. Z definice plyne, že kvalita je velmi komplexní vlastnost skládající se z v podstatě nekonečného množství charakteristik, které pramení z požadavků zákazníka, z požadavků předpisů, z požadavků, které jsou obecně očekávány, z požadavků doby, myšleno podléhajícím různým trendům a z očekávání všech zainteresovaných stran. Inherentní charakteristika, nebo znak je právě vlastnost objektu pro něj typická. Objektem je myšlen produkt, výrobek, služba, výstup z procesu.

Existují i starší definice, které stále kvalitu vystihují, ale jejich význam je zaměřen na určitý soubor charakteristik. Nejsou tak souhrnné, jako poslední definice dle ISO 9001.

„Kvalita je shoda s požadavky“ (Crosby).

„Kvalita je způsobilost k užití“ (Juran).

„Kvalita je to, co za ni považuje zákazník“ (Feigenbaum).

Těmto definicím chybí komplexnost. Nejbliž k nové definici je Crosby, avšak chybí zde odkaz na poskytovanou úroveň, stupeň kvality. Juranova definice je velmi praktická, ale může postrádat ekonomickou složku. Feigenbaum ultimátně považuje za kvalitu to co definuje zákazník, bez respektu k požadavkům předpisů a ostatních zainteresovaných stran.

V širších souvislostech je kvalita produktu určována ekonomickými a užitnými složkami. Ekonomické složky jsou náklady a přínosy s vazbou na dodavatele a zákazníka. Užitné složky jsou například funkční, bezpečnostní, spolehlivostní, ergonomické, ekologické a další. Tyhle složky jsou znaky, respektive charakteristiky objektu a dají se ještě členit na podsložky.

Uvedené složky kvality jsou v různých fázích jejich integrace do produktu monitorovatelné a jejich sledování a zlepšování je možné za použití nástrojů statistického řízení kvality. [1], [2], [6], [11]

2.4.1 Sedm základních nástrojů kvality

Dalším důkazem propojení statistického řízení a kvality jsou společné nástroje. Sedm základních nástrojů kvality, které jsou nedílnou součástí managementu kvality a neustálého zlepšování, jsou:

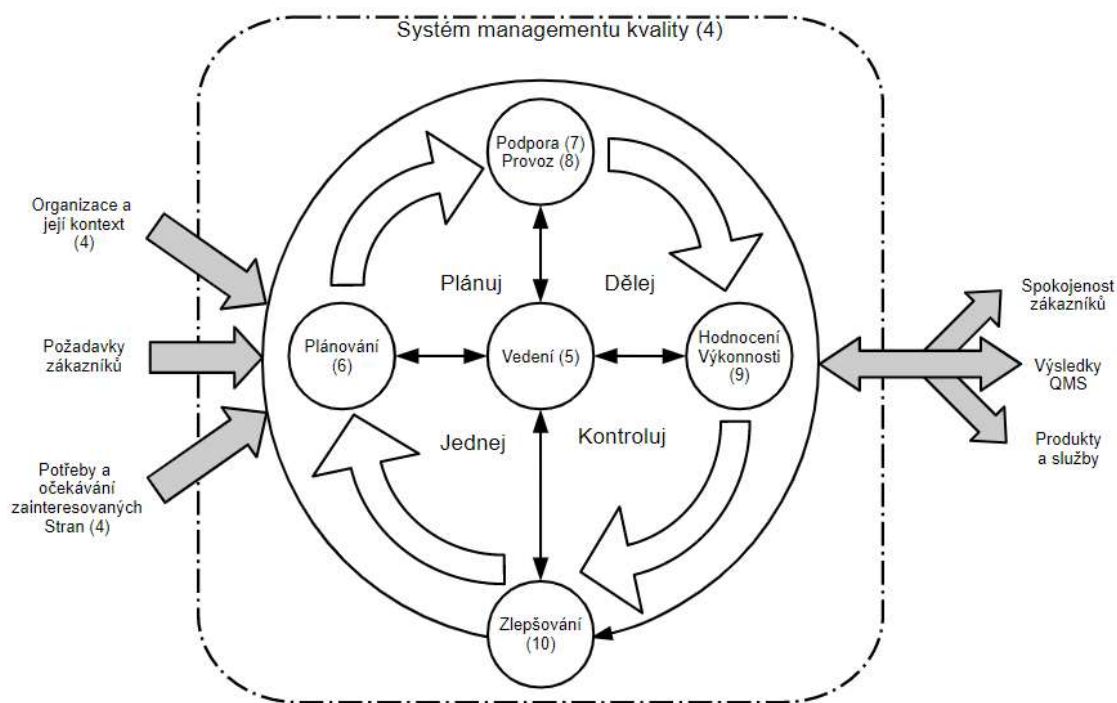
- vývojový diagram,
- diagram příčin a následků,
- formulář pro sběr údajů,
- Paretův diagram,

- histogram,
- bodový diagram a
- regulační diagram.

Sedm základních nástrojů kvality je uvedeno i v normě ISO 11462:2002 2.část, kde jsou uvedeny nástroje pro statistickou regulaci. [7]

2.4.2 Neustálé zlepšování

Diagram na obrázku č.2 zobrazující neustálé zlepšování PDCA cyklu dle ISO 9001:2015. V normě ISO 9001:2015 mohou být nástroje statistického řízení procesu začleněny do kapitol 9.Hodnocení výkonnosti a 10.Zlepšování a v rámci PDCA v kategoriích Kontroluj a Jednej. [18]



Obr. 2) Neustálé zlepšování dle PDCA [18]

2.4.2.1 PDCA cyklus

Plan-Do-Check-Act / Plánuj-Dělej-Kontroluj-Jednej je opakující se cyklus, který se používá k neustálému zlepšování a k neustálému řešení problémů. Je také známý pod názvem Demingův cyklus a na bázi tohoto cyklu bylo „vynalezeno“ mnoho dalších metodických postupů, včetně Six Sigma modelů jako DMAIC. Na struktuře PDCA je sestrojena struktura nejen normy kvality ISO9001 ale i automotive IATF 16949, EMS ISO 14001, AS9000. Význam jednotlivých částí cyklu PDCA jsou:

- Plan – plánování aktivit pro zlepšování
- Do – realizace plánovaných aktivit
- Check – sledování dosažených výsledků, monitorování, hodnocení

- Act – hledání příčiny problémů, hledání možnosti pro zlepšení, nový plán, realizace, standardizace.
[1], [2], [6]

2.5 Nástroje pro statistickou regulaci procesu

Norma ISO 11462:2002 2.část představuje a popisuje doporučené důležité nástroje pro statistickou regulaci procesu. Vymezuje jejich použití a případně odkazuje na specifické směrnice, které poskytují podrobnější návod k jednotlivým nástrojům, nebo jejich skupině. Popisu těchto nástrojů bude v následujících kapitolách vyhrazen významný prostor. Mezi nástroje statistické regulace především patří:

- regulační diagram,
- diagram Paretovy analýzy,
- diagram příčin a následků,
- ukazatelé způsobilosti procesu,
- histogram,
- kontrolní formulář,
- bodový diagram,
- stratifikace,
- vzorkování. [11]

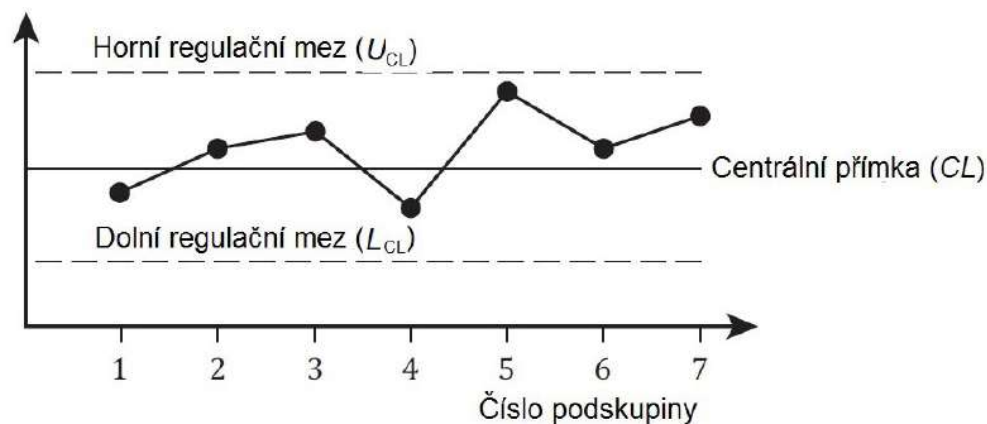
2.5.1 Regulační diagramy

V roce 1924 navrhl Dr. W.Shewhart regulační diagram, který je v dnešní podobě znám pod názvem Shewhartův regulační diagram.

Shewhartův regulační diagram je graf, který se používá ke grafické interpretaci hodnot, které jsou získány buď měřením nebo srovnáváním. Data jsou získávána z podskupin nebo výběrů a jsou v pravidelných intervalech odebírána z procesu. Jsou stanovena pravidla, kterými se vyhodnocuje, zdali je proces statisticky zvládnutý či nikoliv. Do kontextu předešlého textu o prevenci sem regulační diagram zapadá jako preventivní nástroj pro včasnou detekci nežádoucího kolísání a odchýlení.

2.5.1.1 Konstrukce regulačního diagramu

Na obrázku č.3 je jednoduché obecné schéma regulačního diagramu.



Obr. 3) regulační diagram [12]

Regulační diagram obsahuje časovou osu, která znázorňuje časové intervaly sběru dat. Dále obsahuje centrální přímkou (CL), horní regulační mez (U_{cl}) a dolní regulační mez (L_{cl}).

- a) Centrální přímkou je většinou stanovena jako průměrná hodnota sledované charakteristiky. Pro určování, zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu se používá hodnota, která je daná specifikací produktu nebo odečtena z období kdy víme, že proces byl statisticky zvládnutý.
- b) Regulační meze jsou poněkud složitějším případem statistiky při srovnání s centrální přímkou. Nutno zmínit že Dr.A.Shewhart stanovil tyto meze do vzdálenosti třech směrodatných odchylek na každou stranu od centrální přímkou. Tato hodnota byla vybrána z ekonomických důvodů. Tři směrodatné odchylky znamenají fakt, že 99.73 % hodnot se má vejít do regulačních mezí, pokud je proces ve statisticky zvládnutém stavu. Přísnější kritéria by vedly k příliš časté indikaci neexistujících problémů a s tím spojených nákladů na jejich řešení. Volnější kritéria by pochopitelně naopak nemuseli zaručit odchyty indikace zvláštních příčin. [2], [12]

2.5.1.2 Typy regulačních diagramů

Rozlišujeme dva základní typy regulačních diagramů. Regulační diagram pro měřená data a regulační diagram pro srovnávání. Pro obě varianty lze rozlišovat možnosti kdy základní hodnoty jsou stanoveny, nebo nejsou. Základními hodnotami jsou myšleny centrální přímkou, a především regulační meze, tzn. poloha střední hodnoty a velikost kolísání. Stanovení těchto hodnot může být na základě specifikace, nebo odhadu, např. na základě historických dat anebo experimentálně, odstraněním určitých podskupin, které jsou vyhodnoceny jako nepřijatelné. Diagramy bez přednastavených hodnot pracují se statistikou právě zpracovávaných podskupin.

Nevhodný výběr typu regulačního diagramu může znamenat nesprávné vyhodnocení regulačních mezí a vést k zobrazení falešných výsledků. Základní kritérium výběru diagramu je typ zkoumaných dat. Hlavní dělení je tedy výběr diagramu pro měřená data nebo pro data srovnávání, případně můžeme použít jiná označení jako spojitá, nespojitá data či diskrétní nebo atributivní. Měřená data jsou, jak už název napovídá číselné hodnoty z měření. Mají vyšší informační hodnotu a lze je dále statisticky zpracovávat. Neměřená data, data srovnávání, vykazují pouze nějaký status, například vyhovuje/nevyhovuje, ano/ne, případně škálování. Taková data nelze dále statisticky zpracovávat a k dosažení stejné vypovídající hodnoty je třeba širší rozsah zkoumané podskupiny než pro měřená data. To může v praxi znamenat zpoždění mezi indikací problému a následnou akcí. Existuje možnost využít informace z měření pro tvorbu diagramů pro porovnání, a to převést měřenou hodnotu, respektive omezit ji na informaci vyhovuje/nevyhovuje. [6]

Nejpoužívanější regulační diagramy:

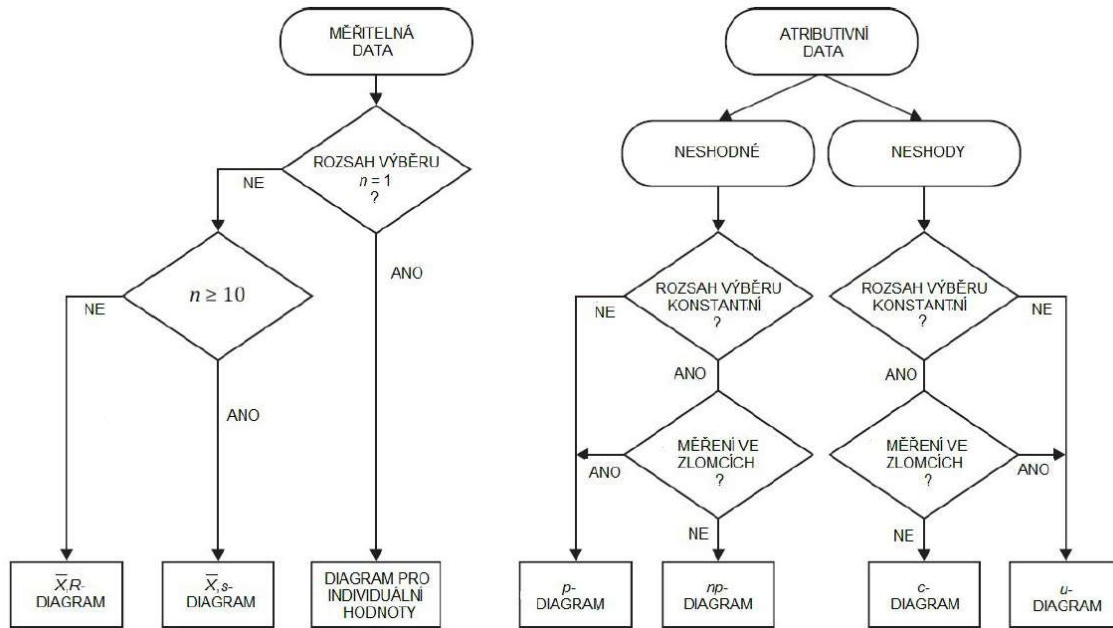
- regulační diagramy pro spojitá data:
 - i) diagram pro průměr (\bar{X}), rozpětí (R) a směrodatnou odchylku (s),
 - ii) diagram pro individuální hodnoty (X) a klouzavá rozpětí (R_m),
 - iii) diagram pro medián (X) a rozpětí (R),
- regulační diagramy pro nespojitá data:
 - i) p-diagram pro podíl jednotek dané klasifikace k počtu jednotek ve výběru,
 - ii) np-diagram pro počet jednotek dané klasifikace k počtu jednotek ve výběru, při konstantním výběru,

iii) c-diagram pro počet výskytů, konstantní šance výskytu,

iv) u-diagram pro počet výskytů na jednotku, proměnlivá šance výskytu. [12]

2.5.1.3 Výběr regulačního diagramu

Při výběru správného regulačního diagramu bereme v potaz několik parametrů. Hlavním z nich jsou výše popisované typy dat. Pro měřená data je dalším krokem rozhodování o velikosti podskupiny a pro atributivní data, zdali uvažujeme počet neshod nebo počet neshodných objektů. Dále, zdali je velikost podskupiny konstantní nebo proměnná a jeli přepočteno na podíl nebo zobrazujeme počty výskytů. Obrázek č.3 znázorňuje rozhodovací postup.



Obr. 4) Typy regulačních diagramů, výběr [12]

2.5.1.4 Regulační diagramy měřením

Regulační diagramy měřením jsou použity tam, kde procesy a jejich výstupy lze charakterizovat kvantitativním znakem. Předpokládáme normální, Gaussovo rozdělení dat, případně rozdělení blízké tomuto rozdělení. Malé odchylky normality jsou tolerovány. Regulační diagramy měřením, konkrétně diagramy pro průměr (\bar{X}) a rozpětí (R), jsou nejčastěji používané. Diagramy měřením jsou neúčinnější a mají větší vypovídající hodnotu než srovnáváním. Regulační diagramy měřením se většinou zobrazují ve dvojici. Jeden graf zobrazuje polohu a druhý rozptýlení. Pro každý typ regulačního diagramu existují odlišnosti ve výpočtech regulačních mezí. [2], [12]

2.5.1.4.1 Diagram pro průměr (\bar{X}), rozpětí (R) a směrodatnou odchylku (s)

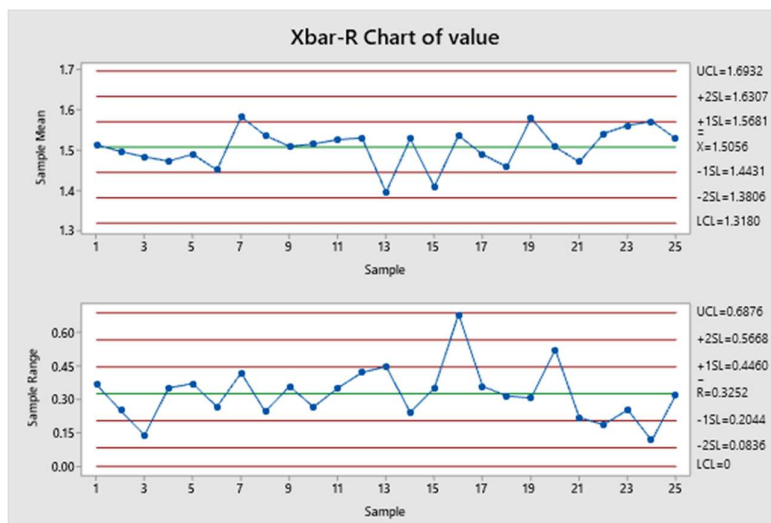
Diagram pro průměr (\bar{X}) a rozpětí (R) se používá pro rozsah podskupin $n \leq 10$. Diagram pro průměr (\bar{X}) a směrodatnou odchylku (s) se používá pro rozsah podskupin $n \geq 10$. V tabulce 1 je přehled výpočtu regulačních mezí a stanovení centrální přímky. V příloze č. 1 jsou konstanty potřebné pro dosazení do vzorců. [2], [12]

Tabulka 1) Vzorce pro výpočet regulačních mezí diagramu pro průměr (\bar{X}), rozpětí (R) [12]

Statistika	Odhadované regulační meze		Předem stanovené regulační meze	
	Centrální přímka	U_{CL} a L_{CL}	Centrální přímka	U_{CL} a L_{CL}
\bar{X}	\bar{X}^{NP4}	$\bar{\bar{X}} \pm A\bar{R}$ nebo $\bar{\bar{X}} \pm A\bar{s}$	μ_0	$\mu_0 \pm A\sigma$
R	\bar{R}	$D_4\bar{R}, D_3\bar{R}$	$d_2\sigma$	$D_2\sigma, D_1\sigma$
s	\bar{s}	$B_4\bar{s}, B_3\bar{s}$	$c_4\sigma$	$B_6\sigma, B_5\sigma$

POZNÁMKA μ_0 a σ jsou předem stanovené základní hodnoty.

Na obrázku č.5 je příklad regulačního diagramu pro průměr a rozpětí



Obr. 5) Diagram pro průměr (\bar{X}), rozpětí (R)

2.5.1.4.2 Diagram pro individuální hodnoty (X) a klouzavá rozpětí (R_m)

Tyto dva diagramy se používají tam, kde je nevhodné sledovat celé podskupiny. Do časové osy se zaznamenávají individuální hodnoty sledovaného parametru a klouzavé rozpětí se udává z rozdílu hodnot mezi aktuální a předchozí hodnotou. Takto se určuje variabilita. Diagramy nejsou tak citlivé jako předchozí popisované diagramy pro průměr a rozptyl či směrodatnou odchylku. Tabulka 2 znázorňuje výpočty regulačních mezí a stanovení centrální přímky: [12]

Tabulka 2) Výpočet regulačních mezí a stanovení centrální přímky pro individuální hodnoty (X) a klouzavá rozpětí (R_m) [12]

Statistika	Odhadované regulační meze		Předem stanovené regulační meze	
	Centrální přímka	U_{CL} a L_{CL}	Centrální přímka	U_{CL} a L_{CL}
Individuální hodnota X	\bar{X}	$\bar{X} \pm 2,660\bar{R}_m$	μ_0	$\mu_0 \pm 3\sigma$
Klouzavé rozpětí R_m	\bar{R}_m	$3,267\bar{R}_m$	$1,128\sigma$	$3,686\sigma$

POZNÁMKA 1 μ_0 a σ jsou předem stanovené základní hodnoty
 POZNÁMKA 2 \bar{R}_m označuje průměr klouzavých rozpětí dvou pozorování.

2.5.1.4.3 Diagram pro medián (X) a rozpětí (R)

V některých případech, jako alternativa pro diagramy průměru se používá regulační diagram pro medián. Jeho použití je vhodné potřebujeme-li omezit vlivy extrémních hodnot v podskupinách. Diagram zobrazuje spolu s jednotlivými hodnotami mediánu i rozpětí a poskytuje tím kompletní obraz. Regulační meze lze vypočítat jako průměr z mediánů podskupin a průměru rozpětí nebo z mediánu mediánů podskupin a mediánu rozpětí. Vztahy pro výpočet regulačních mezí jsou v rovnicích (8.2):

$$U_{CL\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_4\bar{R}$$

$$L_{CL\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_4\bar{R}$$
(2.1)

Centrální přímka se vypočítá jako průměr mediánů podskupin. Hodnoty konstanty A_4 jsou uvedeny v tabulce 3:

Tabulka 3) Hodnoty konstanty A_4 [12]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_4	1,880	1,187	0,796	0,691	0,548	0,508	0,433	0,412	0,362

Vztahy pro výpočet diagramu pro rozpětí jsou stejné jako v případě diagramu pro průměr (\bar{X}) a rozpětí (R) uvedeno v tabulce č.1. [12]

2.5.1.5 Regulační diagramy srovnáváním

Rozdílem regulačních diagramů srovnáváním oproti diagramům pro měření je typ dat, které zpracovávají a zobrazují. Pro srovnávání se používají atributivní data (nespojité). Jejich rozdělení není normální dle Gausse, ale zpravidla buď binomické, nebo Poissonovo. Za určitých podmínek se tato data dají aproximovat a považovat za normální rozdělení.

Diagramy pro měření využívají dvou grafů pro určení polohy a rozpětí. To u diagramu pro srovnávání neplatí. Zde je využit jen jeden graf zobrazující četnost výskytu, nebo podíl. Podíl je použit právě pro podskupiny s nepravidelným rozsahem. Tabulka č.4 zobrazuje vztahy pro výpočty regulačních mezí a stanovení centrálních přímek pro regulační diagramy srovnáváním:

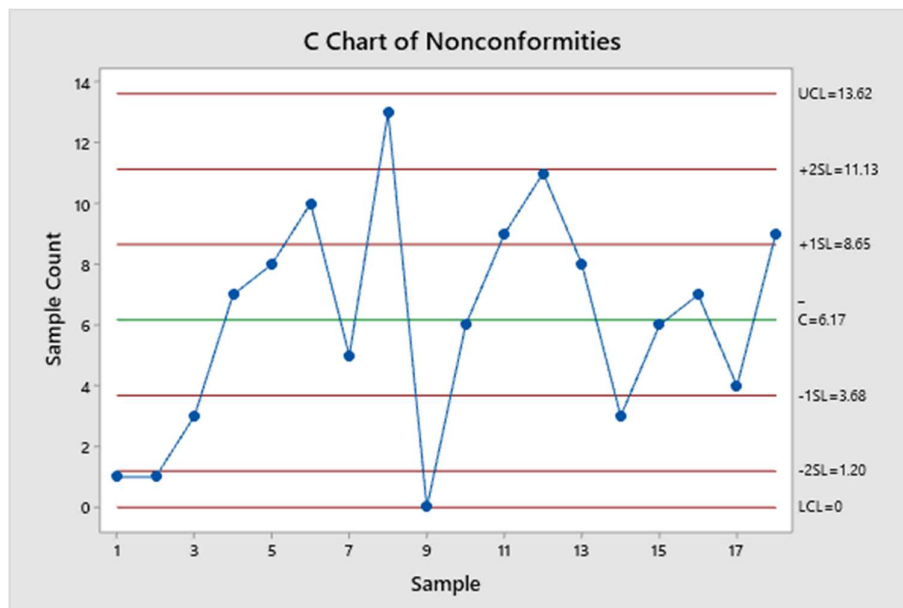
Tabulka 4) Vztahy pro výpočty regulačních mezí a stanovení centrálních přímek pro regulační diagramy srovnáváním [12]

Statistika	Základní hodnoty nejsou stanoveny		Základní hodnoty jsou stanoveny	
	Centrální přímka	3σ - regulační meze	Centrální přímka	3σ - regulační meze
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$	p_0	$p_0 \pm 3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$	u_0	$u \pm 3\sqrt{u/n}$

POZNÁMKA 1 p_0, np_0, c_0 a u_0 jsou stanovené základní hodnoty.
 POZNÁMKA 2 Je-li vypočtená dolní mez záporná, použije se regulační mez 0.

Nutno zdůraznit že v případě diagramů s nepravidelnou velikostí podskupin se regulační meze stanovují pro každou podskupinu zvlášť. Mění-li se velikost podskupiny

v rozsahu 25 % lze z průměrných hodnot stanovit jednu dvojici regulačních mezí pro celý diagram. Příklad diagramu srovnáváním je na obrázku č.6. [12]



Obr. 6) Regulační diagram srovnáváním

2.5.1.6 Postup konstrukce regulačních diagramů

Na samém počátku kapitoly regulačních diagramů jsme zmínili možnosti diagramů, a to ve smyslu jejich parametrů – základních hodnot. Mohou být stanoveny, nebo vypočítány z aktuálně sledovaných podskupin. Pro správnou konstrukci diagramu používáme obě varianty, ale v určité posloupnosti a za určitých pravidel konstrukce diagramů. Následující postup bude platný pro všechny typy diagramů:

- stanovíme parametr, který chceme měřit nebo srovnávat,
- zajistíme systém měření, sběru dat,
- sestrojíme regulační diagram z referenčních dat,
- analýza diagramu a odstranění nevyhovujících podskupin z důvodu vymežitelných příčin,
- přepočítáme parametr diagramu bez bodů s vymežitelnou příčinou.

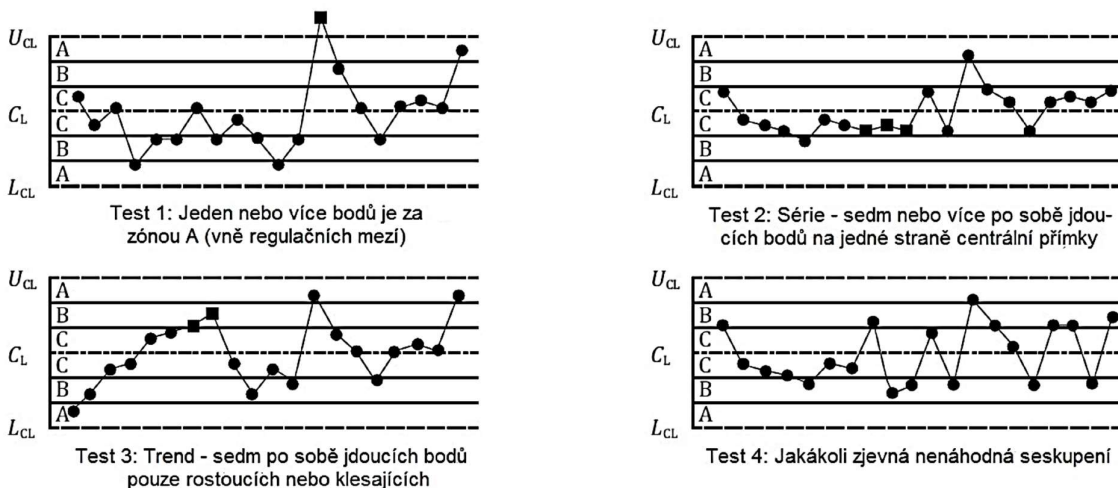
Postup výše by měl zaručit, že v následujícím období použijeme pro interpretaci dat diagram s parametry regulačních mezí a centrální přímkou odpovídající způsobilému procesu.

Musíme si dát pozor na několik pravidel při odstraňování bodů s vymežitelnou příčinou:

- v případě diagramu pro měření zkoumáme nejdříve data pro diagram rozptylu a směrodatné odchylky, až potom diagram pro průměr,
- body, které jsme odstranili z diagramu pro rozptyl a směrodatnou odchylku musíme odstranit i z diagramu pro průměr,
- body, které byly mimo meze, ale nebyla nalezena vymežitelná příčina, zachováme,
- počet bodů, respektive počet zkoumaných podskupin by mělo být nejméně 25,
- pokud odstraníme více jak 1/3 bodů, měli bychom použít další data. [2], [12]

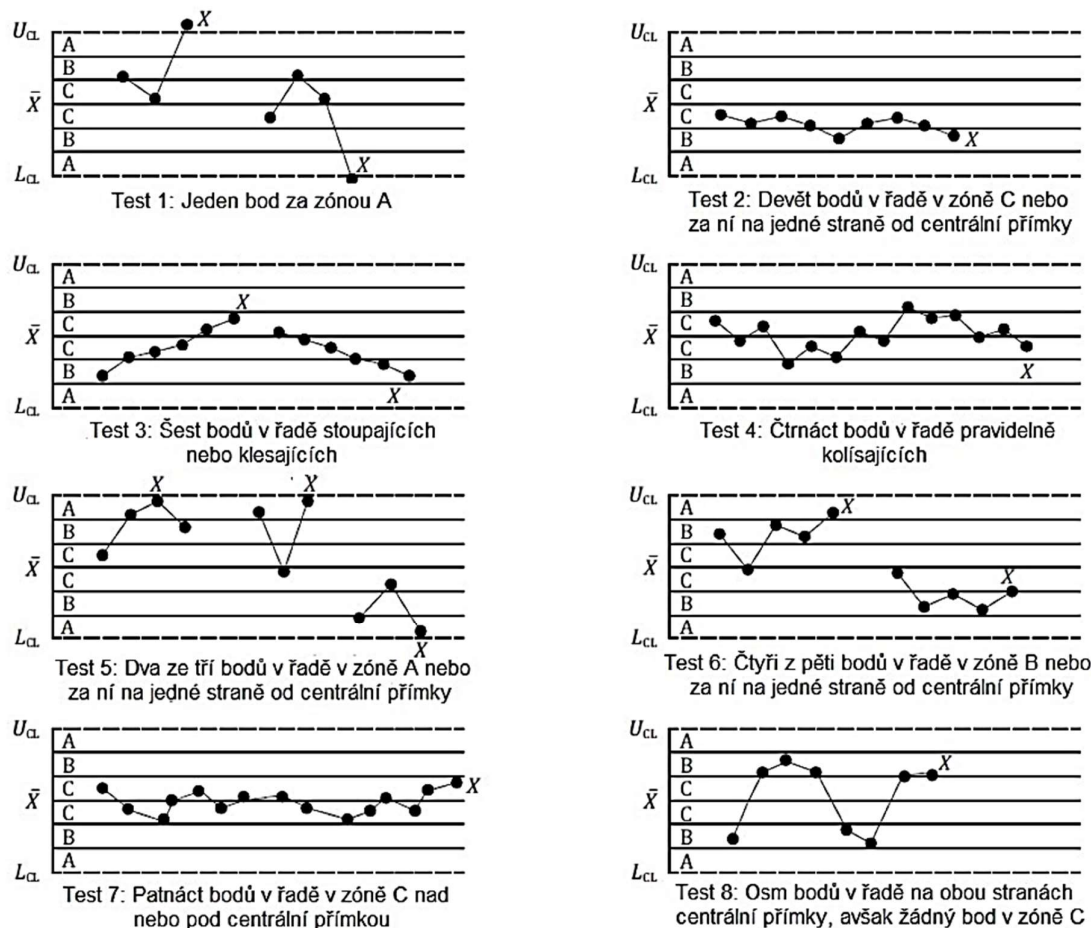
2.5.1.7 Pravidla pro vyhodnocení regulačních diagramů

Regulační diagramy vyhodnocujeme za použití tzv. testů seskupení pro vymežitelné příčiny kolísání. Cílem je najít systematická nebo nenáhodná seskupení, které mohou indikovat změny variability procesu. Pro Shewhartovy diagramy je uvedena základní sada testů, obrázek č.7.



Obr. 7) Příklady testů seskupení vymežitelných příčin [3]

Nicméně, nejsou to jediná existující kritéria. Existují další např. pravidla např. Western Electric, které však také nemusí být jedinou možností, obrázek č.7. Je třeba sledovat jakákoliv podezřelá seskupení. Některá zdánlivě podezřelá seskupení však mohou být charakteristická v určité fázi procesu, a proto jsou akceptovatelná.



Obr. 8) Testy Western Electric [3]

Regulační diagramy jsou pro snazší orientaci rozděleny do oblastí A, B, C. Právě těchto oblastí je využito v testu seskupení Western Electric, kdy v případě přítomnosti bodů v oblasti A je indikováno nebezpečí, přestože body nejsou vně regulačních mezí. [12]

2.5.2 Ukazatelé způsobilosti procesu

Významným ukazatelem schopnosti procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria kvality se nazývá způsobilost procesu. Způsobilost procesu je charakteristika procesu znázorňující, jakou měrou je proces schopen dodávat požadovaný produkt, s jakou velkou jistotou dle stanovených kritérií kvality. Kritériem nejčastěji jsou toleranční meze.

Ke sledování způsobilosti se používají indexy způsobilosti, které porovnávají povolenou variabilitu procesu se skutečnou variabilitou procesu.

Podmínkami pro sledování způsobilosti procesu jsou stabilita procesu, která lze ověřit regulačními diagramy a také skutečnost že rozložení sledované veličiny musí odpovídat normálnímu rozdělení. To lze ověřit například analýzou tvaru histogramu nebo některým z testů normality jako například Andersonův-Darlingův test.

Není však vyloučeno vyhodnotit způsobilost procesu pro jiná rozdělení, než je normální. Další důležitým faktorem je samotný měřicí systém, jehož vhodnost má být ověřena. Měřicí systém samotný je zdrojem variability a s tím je třeba počítat.

Jsou-li splněny všechny podmínky a je nasbíráno dostatečné množství dat, vyhodnocujeme způsobilost indexovou metodou. Index vyjadřuje již zmiňovanou míru spolehlivosti procesu pohybovat se se svou variabilitou ve stanovených mezích. Nejpoužívanějšími indexy jsou C_p a C_{pk} .

Index C_p vyjadřuje míru variability procesu vůči stanoveným mezím, znázorněno v rovnici (8.2):

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.2)$$

kde:

- USL je horní toleranční mez,
- LSL je spodní toleranční mez,
- σ vyjadřuje výběrovou směrodatnou odchylku a 6σ vymezuje oblast v níž se s pravděpodobností 99.73 % bude nacházet další hodnota sledovaného parametru.

Index C_{pk} vyjadřuje i polohu průměru sledovaného parametru vůči tolerančním mezím. Zohledňuje také jeho variabilitu. Jedná se tedy o přesnější vyjádření způsobilosti procesu. Rozlišujeme jednostrannou způsobilost v rovnici (2.3) a (2.4) nebo oboustrannou v rovnici (8.2):

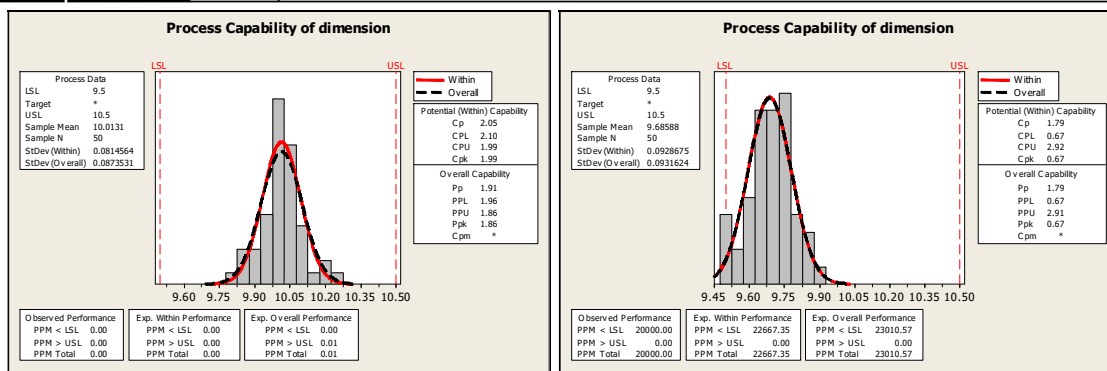
$$C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (2.3)$$

$$C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2.4)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right\} \quad (2.2)$$

kde μ je střední hodnota sledovaného parametru.

Proces se považuje za způsobilý, jeli hodnota indexu větší než 1,33. V některých případech jsou kritéria přísnější. Nespĺňuje-li proces kritéria způsobilosti, je nutné rozlišit, zdali se jedná o odchýlení z důvodu variability nebo polohy střední hodnoty. Na obrázku 8a jsou znázorněná data vyhodnocena jako způsobilá. Indexy C_p , C_{pk} , C_{pU} , C_{pL} jsou $> 1,33$. Na obrázku 8b pozorujeme data se stejnou variabilitou, respektive směrodatnou odchylkou ale jejich střed je posunut blíže ke spodní toleranční mezi. Index C_p je vyhovující ale index C_{pk} již není vyhovující. Pakliže je střed posunut ke spodní mezi, index C_{pL} je pochopitelně nízký, ale pro změnu způsobilost C_{pU} vůči horní mezi je velmi vysoká.



a)

b)

Obr. 9) Vyhodnocení způsobilosti procesu

Přestože jednou z podmínek určování způsobilosti procesu je normalita dat, lze ji určit i pro typy dat, které nejsou normální, respektive jejich rozdělení je nenormální.

V případě měřených dat, která nejsou normálního rozdělení lze data transformovat tzv. Cox Box transformací a dále s nimi pracovat jako s normálními.

Neměřená data, data získaná srovnáváním, mají tedy rozdělení již z podstaty charakteru nenormální, a to zpravidla binomické nebo Poissonovo.

Binomické rozdělení dat vykazují data počtu neshodných jednotek a Poissonovo rozdělení charakterizuje data obsahující počty vad na jednotku. I v těchto případech lze určit způsobilost procesu.

Jedna možnost je vyhodnotit data jako normální dle tvaru rozdělení a testů a pokračovat v odhadu způsobilosti zcela totožně, jak je výše popsáno pro měřená, normální data. Dopustíme se drobných nepřesností. Další možnost je použití statistického software, který umí pracovat s rozděleními dat pro atributivní data. V programu Minitab lze využít nástroje způsobilosti procesu pro binomické a Poissonovo rozdělení.

Index způsobilosti procesu pro atributivní data je také možno stanovit následujícím vzorcem (8.2) za použití AQL (Accepted Quality Limit):

$$C_{pk} = (AQL - \bar{z}) / (3\sqrt{s^2}) \quad (2.3)$$

Další možnosti je sledování ukazatelů PPM, DPMO nebo Sigma Level. Tyhle ukazatele lze přepočítat na konvenčnější ukazatele C_p , C_{pk} . [6], [5]

V praxi rozlišujeme krátkodobou způsobilost a dlouhodobou. Krátkodobá způsobilost vyšetřuje variabilitu dané podskupiny a dlouhodobá bere v potaz průměry průměrů podskupin a dle toho se také vypočítává směrodatná odchylka.

Za zmínku také stojí indexy způsobilosti pro výrobní zařízení C_m , C_{mk} . Výpočty indexů i jejich význam je totožný jako pro proces s tím, že v těchto případech se jedná o zařízení. Tyto indexy se někdy nazývají krátkodobou způsobilostí, rovnice (2.4), (8.2):

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma_m} \quad (2.4)$$

$$C_{mk} = \min\{C_{mkU}; C_{mkL}\} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma_m}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma_m}\right\} \quad (2.5)$$

kde:

- σ_m je směrodatná odchylka stroje,
- USL je horní toleranční limit,
- LSL je spodní toleranční limit.

Výrobní zařízení se považuje za spolehlivé, pokud je index vyšší než 1,67.

Index způsobilosti existuje i pro měřicí zařízení. C_g (gauge – měřidlo) a analogicky se jedná o poměr mezi variabilitou měřicího zařízení σ a rozsahem tolerančních mezí, jak je vidno v rovnicích (2.6), (8.2):

$$C_p = \frac{0.2(USL - LSL)}{6\sigma} \quad (2.6)$$

respektive:

$$C_g = \frac{0.2T}{6\sigma_g} \quad (2.7)$$

kde:

- USL-LSL, T je tolerance měřeného rozměru a
- σ_g je výběrová směrodatná odchylka z měření.

Analogicky k ostatním kritickým indexům způsobilosti se počítá index C_{gk} v rovnici (8.2):

$$C_{gk} = \frac{0.1T - |X_g - X_m|}{3\sigma_g} \quad (2.8)$$

kde:

- T je tolerance měřeného rozměru,
- \bar{X}_g je výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu,
- \bar{X}_m je nominální hodnota etalonu, střed tolerance a
- σ_g je výběrová směrodatná odchylka výsledků měření.

Výše uvedené vzorce jsou standardem pro stanovení způsobilosti měřidel dle metody Bosch. Dle této metody je měřidlo považováno za způsobilé, jeli $\text{index} > 1.33$.

Existují však drobné rozdíly v kritériích dle metody VDA 5 a dle metody Ford, kdy VDA používá 4, respektive 2 směrodatné odchylky ve vzorci a Ford konstantu 0.15 (oproti 0.2 Bosch) ale považuje měřidlo za způsobilé, pokud je $\text{index} > 1$. [2], [4], [5], [6]

2.5.3 Diagram Paretovy analýzy

Diagram Paretovy analýzy je dnes již všeobecně známým nástrojem pro stanovení hlavní příčiny problémů.

Vilfredo Pareto, italský ekonom, se v 19. století snažil poukázat, že 80 % bohatství země vlastní 20 % lidu. Tato myšlenka se brzy dostala i do oblasti kvality, kde se uchytila jako mocný nástroj pro stanovení priorit při řešení problémů.

Základnou pro konstrukci diagramu je četnost určitého výskytu. Zaleží, v jakém odvětví průmyslu se pohybujeme, ale bavíme-li se o kvalitě a řešení problémů, mějme teď namysli četnost vad, seřazenou sestupně, za pomoci sloupcového grafu. Na druhé ose vynášíme kumulativní křivku, tzv. Lorenzovu křivku. Ta znázorňuje, jakým podílem se vady podílí na celkovém součtu. Podle Pareta bychom v prvních 2 vadách z 10 měli najít kumulativní četnost

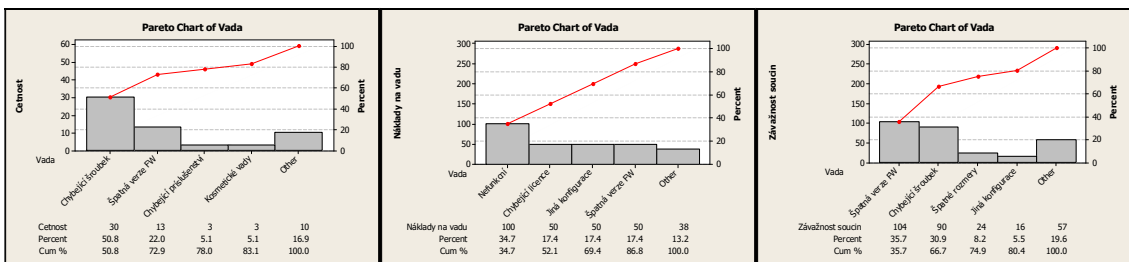
80 %. To může nastat, může nastat přibližně, nebo nemusí, potom se graf musí posoudit individuální logikou.

Takto sledovaná četnost výskytu může být zavádějící v tom, že nezohledňuje ekonomickou složku problému nebo závažnost problému. Vynásobením četnosti s náklady na vadu a s indexem závažnosti dostaneme zcela jiný rozměr pohledu k rozhodování o příčinách, které potřebujeme řešit. Příklad dat je v následující tabulce č.5.

Tabulka 5) Data pro Paretův graf

Vada	Četnost	Četnost kumulativně	Četnost kumulativně [%]	Náklady na vadu	Součet nákladů na vadu	Závažnost	Závažnost součin
Chybějící šroubek	30	30	51%	1	30	3	90
Špatná verze FW	13	43	73%	50	650	8	104
Kosmetické vady	3	46	78%	20	60	5	15
Špatné rozměry	3	49	83%	10	30	8	24
Chybějící příslušenství	3	52	88%	5	15	5	15
Špatné balení	2	54	92%	2	4	2	4
Jiná konfigurace	2	56	95%	50	100	8	16
Chybějící licence	1	57	97%	50	50	8	8
Nefunkční	1	58	98%	100	100	10	10
Pozdě dodané	1	59	100%	0	0	5	5

Následující grafy č.10 znázorňují změnu priorit, uvažujeme-li jen výskyt, nebo vezmeme v potaz náklady nebo závažnost.



a) Priorita četnosti

b) Priorita nákladů na vadu

c) Priorita závažnosti

Obr. 10) Paretovy analýzy dle priorit

Jak tento nástroj zapadá do statistické regulace? Pravděpodobně na počátku zavedení statistické regulace se může stát, že se může vyskytnout více vymezitelných příčin, které zapříčiní, že bod je mimo regulační meze, nebo že je z grafu patrné podezřelé seskupení bodů. Vymezitelná příčina může obsahovat více podpříčin, půjdeme-li do hloubky například metodou 5x proč. Paretův diagram se může použít i při analýze příčin nezpůsobilosti procesu atd. [3], [6]

2.5.4 Diagram příčin a následků

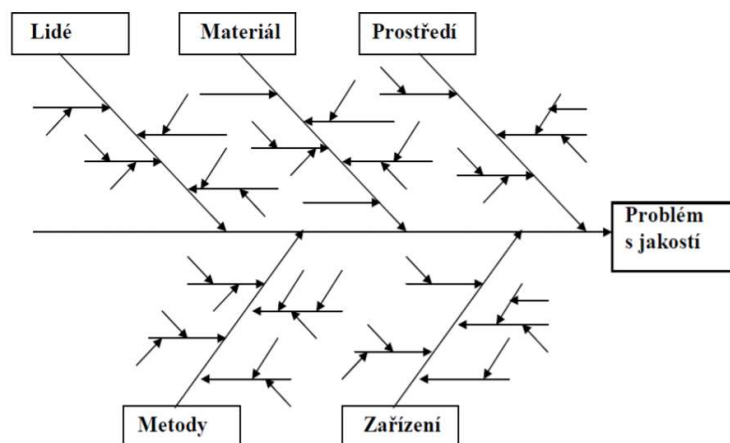
Tento nástroj se používá, pokud se hledá příčina problému. Využívá se metody brainstormingu, kdy tým, vedený moderátorem, dle svých zkušeností, navrhuje možné příčiny. Je vhodné mít v týmu různorodé osazení napříč odděleními a s různou kvalifikací. Potom je zaručen velký přísun všelijakých návrhů, které se v pozdější fázi vyhodnotí a dále zpracují.

Diagram příčin a následků je taktéž znám pod názvem Ishikawův diagram a pro svoji nápadnou podobnost i diagram rybí kosti, jak je vidět na obrázku č.8. Diagram se zakresluje od „hlavy“ kde je zakreslen, respektive vepsán problém, který se řeší. Hlavní páteřní části jsou zpravidla definovány určitými kategoriemi a do těchto kategorií se vepisují stanovené příčiny.

Často se tyto kategorie značí logikou 6M. Každá příčina může mít další příčiny a ty jsou opět zaznamenány do kostry diagramu.

Diagram příčin a následků obsahuje mnoho informací, mnoho příčin, a proto je třeba nějakým způsobem vybrat a řešit ty nejdůležitější. Tým může na základě zkušeností stanovit důležitost jednotlivých příčin. Jednotlivé příčiny mohou být bodově ohodnoceny a následně může být stanoveno, které položky jsou nejdůležitější, a to například pomocí Paretovy analýzy.

K nejdůležitějším položkám jsou vytvořeny akční plány. [3], [6]



Obr. 11) Ishikawův diagram [6]

Diagram příčin a následků může být konstruován i v negrafické formě, pomocí prosté tabulky, kdy k jednotlivým příčinám může být přiřazen akční plán.

2.5.5 Histogram

Diagram ukazující četnost výskytu dat ve skupinách je považován za stěžejní kvalitářský nástroj. Jeho grafické vyhodnocení dokáže poskytnout velmi důležité informace o stavu procesu.

Jedná se o sloupcový graf, který třídí hodnoty do skupin a zobrazuje jejich rozložení. Používá se ve spojení s dalšími nástroji jako například již uvedený nástroj pro určení způsobilosti procesu z Minitabu.

Přestože v dnešní době existuje více možností, jak zkonstruovat histogram pomocí počítačového SW, je výhodnější znát pravidla jeho konstrukce pro správnou interpretaci dat. Ani Minitab jej nevytvoří na první pokus správně dle smluvených pravidel a je třeba zásahu uživatele. U histogramu sledujeme následující parametry:

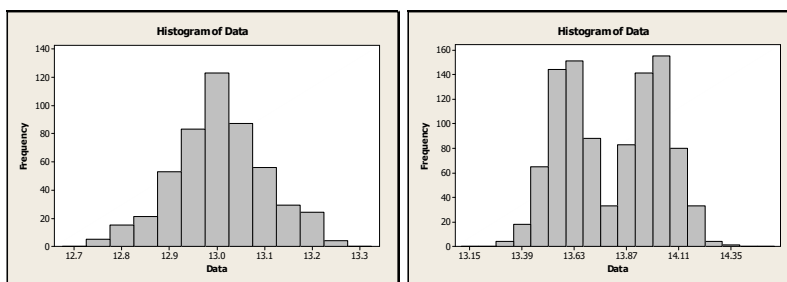
- n – počet hodnot,
- R – rozptyl hodnot,
- h – šířka intervalu,
- k – počet intervalů.

Kritické je určit správný počet intervalů. Možností je více. Nejběžnější způsob je použít vztah $k=1+3,3\log n$. Ale pro $n < 50$ určíme k dosazením hodnoty kolem 10 a snižujeme, dokud nedostaneme nejmenší počet inverzí. Ideálně jednu.

Nejčastěji vyskytující se typy tvarů histogramů jsou popsány níže:

- zvonovitý tvar – normální rozdělení,
- dvouvrcholový histogram – může značit dva zdroje dat, dvě směny, dvě zařízení apod.
- histogram asymetrického tvaru – může se jednat o asymetrický typ rozdělení jako binomické, Poissonovo,
- useknutý histogram – některá data mohla být odstraněná nebo produkce vykontrolována a odejmuta z měření,
- histogram s izolovanými hodnotami – záměna typu produktu, dočasné špatné nastavení,
- hřebenový histogram – pravidelné střídání vyšších a nižších hodnot četností,
- histogram plochého tvaru – může značit mix více produkcí nebo totálně nezvládnutý proces
- a další. [6], [5]

Na obrázcích č.12 jsou graficky zobrazeny některé příklady tvarů histogramů.



a) Zvonovitý tvar

b) dvouvrcholový histogram

Obr. 12) Histogramy

2.5.6 Bodový diagram

Diagram se používá pro grafické vyjádření závislosti, korelace dvou sledovaných proměnných, respektive dvou zvolených kvalitativních znaků. Hodnoty dvou veličin jsou zobrazeny pomocí bodů v grafu a je zkoumán jejich rozptyl a směr korelace. Závislost lze vyjádřit i matematicky. Takovou analýzu potom nazýváme regresivní nebo korelační. [6]

2.5.7 Kontrolní formulář

Neboli formulář pro sběr údajů slouží pro sběr informací z procesu. Formulář je navržen taky aby informace v něm poskytovaly potřebné informace o sledovaných parametrech a jejich následné vyhodnocení sloužilo ke stanovení vhodné nápravy, neustálému zlepšování anebo k určení efektivity stanovených akcí. V dnešní době se nemusí jednat o papírové formuláře ale o data vyplněná do databáze podnikového systému. Nicméně, i dnes se může stát, že návrh podnikového systému nedovolí sběr specifických informací a pro může být zvolen i papírový formulář, který pokryje tuto, třeba jen dočasnou aktivitu. Stále však v dnešní době dostane přednost některý z kancelářských software, jako například formulář vytvořen v MS Office nebo Google Sheets.

Nehledě tedy na formu formuláře, důležitý je jeho návrh. Je třeba dobře znát problematiku a parametry které chceme sledovat. Ke sledovaným parametrům přidružit další důležité informace, jako datum, čas, směna, stroj, měřící zařízení apod. Forma dat musí dovolit jejich další statistické zpracování. [6]

2.5.8 Vzorkování a stratifikace

Při používání uvedených nástrojů se často používají termíny jako jsou podskupina, rozsah podskupiny, vzorek a podobně. Síla statistiky a stejně tak i používání statistických nástrojů spočívá v tom, že pro odhad parametrů základního souboru využívají jen jeho část, často používaný termín „reprezentativní vzorek“. Jedná se o termín definovaný normou. Reprezentativní vzorek je odebrán takovým způsobem, aby se docílilo stejného rozdělení pravděpodobností ve výběru, jako v základním souboru. Tuto definici řadím do stejné kategorie jako definici „zdravého rozumu“. Pro každého má jiný význam, jinou úroveň atd.

Výběr „reprezentativního“ vzorku je třeba nadefinovat a standardizovat. K tomu nám mohou opět pomoci normy, které již poskytují pravidla výběru, zohledňují úroveň kvality a rizika nezachycení vady. Níže jsou uvedeny relevantní normy:

- ISO 7870-3:2012 Control charts – Part 3: Acceptance control charts definuje výběr vzorku přímo pro data regulačních diagramů. Protože regulační diagramy jsou nasazovány i pro měření parametrů uvnitř procesů, norma se nezaměřuje na vzorkování výstupních kontrol.
- ČSN ISO 3951-1:2017. Statistické přejímky měřením a ČSN ISO 2859-1:2000. Statistické přejímky srovnáváním – Část 1: Přejímací plány AQL pro kontrolu každé dávky v sérii.

První norma je zaměřená na statistickou přejímku měřením a druhá srovnáváním. Rozdíl mezi termíny „měřením“ a „srovnáváním“ byl definován již dříve. Normy jsou si podobné. Definují úroveň přijatelnosti kvality, velikosti vzorků, kritéria přijetí a zamítnutí a přechodová pravidla mezi normální, zpřísněnou a zmírněnou kontrolou.

Rozdíl mezi těmito normami je pochopitelně rozdělení dat, kdy – ISO 3951-1:2017 vyžaduje normální rozdělení dat pro správné fungování přejímacích plánů. Dalšími rozdíly jsou velikost vzorku, pro přejímku měřením je vzorek menší, a stanovení přijatelnosti. V případě srovnáváním ISO 2859-1 vyhodnocuje počet vadných vzorků na základě výskytu vad a norma ISO 3951-1 využívá výpočtů ke stanovení směrodatné odchylky. [13], [14], [15]

3 POPIS SOFTWARE PRO STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESU

Statistický SW slouží jako počítačová podpora pro matematické a statistické operace. SW zpracovává a případně upravuje data, vypočítá požadované statistické ukazatele, případně dokáže data vhodně zobrazit. Existuje více SW zpracovávající statisticky a matematicky data, např.: Statistica, Statgraphic, MS Excel s podporou statistických modulů, a další. V práci však budou popsány programy Palstat a Minitab. Minitab, protože je používán v Sanmina Brno a Palstat pro srovnání a případnému doporučení do firmy.

3.1 Minitab

Produkt Pensylvánské státní univerzity. Obsahuje balík statistických metod a je často používán ve spojení s projekty Six Sigma. Zatím se nedistribuuje v českém jazyce, nicméně, existují české návody a školení. Využívá se při školní výuce statistiky, při školení zaměstnanců a pro statistické řízení společností. Úroveň jeho ovládnutí a interpretace výsledků je závislá na matematických a statistických znalostech uživatele.

Minitab obsahuje velké množství statistických nástrojů, včetně popisné statistiky, testu hypotéz, určování intervalů spolehlivosti, testu normality dat a analýzy měřicího systému. Minitab dokáže pracovat s různými typy dat, které také dokáže generovat, stačí jen zvolit typ dat, určit střed a směrodatnou odchylku.

Minitab analyzuje vztah mezi veličinami a proměnnými regresivními analýzami, nástroji ANOVA a Design of Experiment.

Obsahuje mnoho kvalitářských nástrojů pochopitelně i včetně těch, které spadají do kategorie statistického řízení, jako jsou regulační diagramy, výpočet způsobilosti procesu, Paretův graf, bodové grafy, histogram, Cause and Effect.

Tento nástroj se používá i k predikci trendů nebo spolehlivosti.

3.2 Palstat CAQ

Palstat je komplexní modulární český systém určený pro řízení kvality společnosti nejen dle ISO 9001 ale i pro automotive standard IATF 16949 a metody VDA. Jeho funkce a možnosti přesahují statistické a matematické využití a vyhovují metodikám APQP, PPAP, SPC, FMEA, MSA, a další.

Funkce Palstat jsou součástí jednotlivých modulů, které lze objednat a využívat individuálně, dle potřeb společnosti. Moduly jsou rozděleny do kategorií:

- plánování (FMEA, Díly, Kontrolní a technické postupy, Pracovní zakázky, Vzorkování, Projekt),
- monitorování (Vstupní kontrola, Výstupní kontrola, Mezioperační kontrola, SPC, Hodnocení dodavatelů),
- neshody (Global 8D report, Reklamace, Hlášení neshod, Ishikawa),
- metrologie (Měřidla, MSA, Laboratoř),
- údržba (Stroje, Nástroje, Nářadí),
- události (Úkoly, Kontakty, Archiv, Reporting Designer, Checklist),
- audity (Audity, Audit výrobku),

- dokumentace (Řízení dokumentů, Externí dokumentace, Vývojové diagramy, Digitální podpisy),
- procesy (Procesy, Výcvik),
- propojení (Hardware, Drivery, ERP, CAQ Server).

4 REŠERŠE RELEVANTNÍCH NOREM (IATF 16949, VDA 6.3)

Statistické řízení procesu je velmi obsáhlý soubor metod a nástrojů, které jsou různou měrou nasazeny ve společnostech dle jejich velikosti, zaměření, úrovně řízení a hlavně, na základě vyhodnocení jejich rentability. Ne vždy jsou tyto vyspělé techniky a nástroje třeba a naopak, v některých odvětvích jsou nezbytnou součástí řízení nejen kvality. Praktická část práce je zaměřena na automotive prostředí, kde jsou statistické metody požadovány.

4.1 IATF 16949

IATF 16949 (International Automotive Task Force) je norma systému managementu kvality pro automobilový průmysl. Norma je nadstavbou systému kvality ISO 9001. Doplnjuje, specifikuje a zpřísňuje požadavky ISO9001, a proto norma IATF není použitelná samostatně. Z uvedeného plyne že IATF má stejnou obsahovou strukturu jako ISO 9001 kopírující model PDCA:

Plan – kapitoly 5-7 (vedení, plánování, zdroje),

Do – kapitola 8 (provoz),

Check – kapitola 9 (hodnocení výkonosti),

Act – kapitola 10 (zlepšování).

Skupina lidí, která stojí za IATF se snažila harmonizovat některé normy a postupy týkající se automobilového průmyslu prvním vydáním normy ISO/TS 16949 již v roce 1999. Doposud byly vydány 3 aktualizace normy ISO/TS 16949, ale ty byly nahrazeny 1. vydáním normy IATF 16946.

Cílem normy je vytvoření takového systému managementu kvality, který podporuje neustálé zlepšování, prevenci vad a snižuje variabilitu procesů. [9]

Do kontextu cíle IATF 16949 normy dokonale zapadá implementace statistického řízení procesů, protože tahle sada nástrojů má stejné cíle.

4.1.1 Požadavky IATF 16949 na statistické řízení procesů

Přímý požadavek týkající se statistického řízení procesu je v kapitole 9. Hodnocení výkonosti, konkrétně 9.1.1.2 Identifikace statistických metod a 9.1.1.3 Aplikace statistických pojmů.

Norma dále nespecifikuje rozsah a způsob nasazení statistických nástrojů. Organizace, na základě rozsahu a typu provozu musí sama zvážit, které statistické metody jsou dostatečné k prokazování způsobilosti jejich procesů. V některých případech však zákazník požaduje použití specifických nástrojů, nebo určí parametry, které je třeba vyhodnocovat, což vede k použití konkrétních nástrojů.

Statistické metody mají být zohledněny již při vyhodnocování rizik ve fázi návrhu a vývoje například při tvorbě DFMEA a při analýze rizik procesu při tvorbě PFMEA. Statistické nástroje mají být uvedeny v plánu kontroly a řízení.

Statistické termíny, jako variabilita, regulace, způsobilost procesu mají být používány v organizaci.

Další požadavek pro použití statistických metod je v kapitole 7. Zdroje, přesněji 7.1.5.1.1. Analýza Systému měření. Způsobnost systém měření, kontrol a zkoušení musí být statistickými metodami prověřena. Opět není stanoveno, jakým způsobem. Očekává se však některá ze standardních metod výpočtu způsobnosti měřícího systému případně může být požadováno zákazníkem využití automotive metody dle VDA 5.

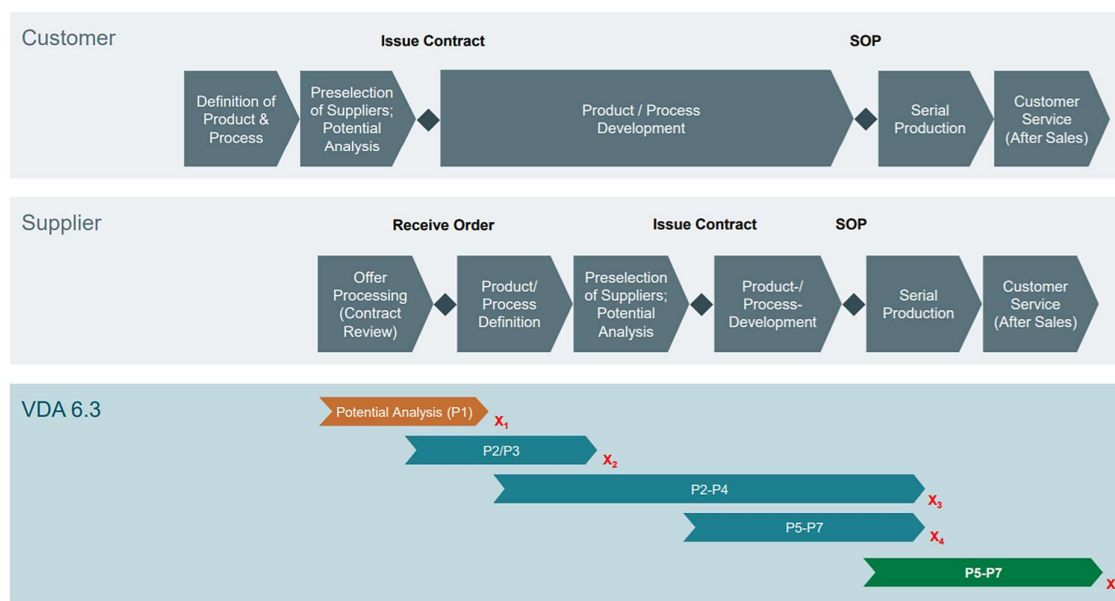
V některých kapitolách jsou statistické metody jen zmíněny ve smyslu jejich vhodnosti jako například v 9.1.1.1 Monitorování a měření výrobních procesů, 8.5.1.3 Ověřování seřízení, 8.6.4 Přejímání a ověřování shody externě poskytovaných produktů a služeb a samozřejmě zmíněno v kontrolním plánu 8.5.1.1. [9]

4.2 VDA 6.3 Audit Procesu

Sdružení automobilového průmyslu (Verband der Automobilindustrie e.V. - VDA) vyvinulo několik publikací řady VDA, které konsolidují požadavky na kvalitu a kritéria německých automobilek. VDA 6.3 není jen standardizovaná příručka popisující metodu procesního auditu, ale definuje auditové otázky, kritéria hodnocení a kvalifikaci auditorů.

Cílem auditu je prokázání shody s požadavky a kritérii zkoumaného procesu, jeho způsobnosti a efektivnosti a samozřejmě sjednání nápravy nebo zlepšení v případě, že je prokázána neshoda nebo příležitost pro zlepšení.

Audit procesu dle VDA 6.3 může být vykonáván interně nebo externě. Je navržen tak, aby byl vhodný pro jakoukoliv společnost z hlediska její velikosti. Je možné jej vykonávat ve všech etapách projektu zavádění výroby či služby. Lze jej použít i pro hodnocení potencionálních dodavatelů. Na obrázku č.13 je grafický znázorněno, které prvky procesu, respektive jaká sada otázek je vhodná do konkrétních fází zavádění procesu.



Obr. 13) Prvky procesu dle VDA 6.3 [10]

Z obrázku č.13 jsou zřejmé prvky procesu P1-P7. Jsou to samostatné kategorie otázek, hodící se do určitých fází vzniku procesu. Proto je možnost auditovat proces v různých fázích, od výběru potencionálního dodavatele, přes vývoj, až po sériovou výrobu:

- P1: Potencionální analýza,
- P2: Management projektu,
- P3: Plánování návrhu a vývoje produktu a procesu,
- P4: Realizace návrhu a vývoje produktu a procesu,
- P5: Management dodavatelů,
- P6: Analýza procesu výroby,
- P7: Péče o zákazníky, spokojenost zákazníků, služby.

Prvek P1 – potencionální analýza, se používá pro hodnocení a výběr potencionálního dodavatele. Lze jej použít i jako sebehodnocení pro zjištění stavu společnosti. Otázky prvku P1 jsou vybrané z prvků P2-P7. Hodnocení potencionální analýzy je odlišné od hodnocení zbytku prvků. Při potencionální analýze se jednotlivé otázky hodnotí barevnou škálou Red, Yellow, Green:

- Red – Požadavky otázky nejsou splněny
- Yellow – Požadavky otázky jsou splněny pouze podmínečně
- Green – Požadavky otázky jsou splněny

Celkové hodnocení se stanovuje z počtu jednotlivých hodnocení:

- Dodavatel blokován - >14x žlutá, červená
- Dodavatel v řízení – max. 14x žlutá, žádná červená
- Dodavatel uvolněn – max. 7x žlutá, žádná červená

Prvky P2-P4 jsou zaměřeny na počáteční fáze vzniku procesu. Prověřují systém projektového řízení (P2), plánování projektu (P3) a dodržování plánu a implementaci (P4).

Prvky P5-P7 auditují zavedený a funkční proces a jsou často používány pro periodické přezkoumávání procesu.

VDA 6.3 poskytuje sadu otázek pro audit procesu služby. Ty se značí D2-D7. jejich znění je takřka totožné, jako P2-P7, ale očekávání je mírně odlišné. Hodnocení otázek P2-P7, respektive D2-D7 není dle barevné škály, jak je uvedeno u potencionální analýzy, ale je hodnoceno bodově 0, 4, 6, 8, 10:

- 10 - požadavky zcela splněny,
- 8 - požadavky převážně splněny, nepatrné odchylky,
- 6 - požadavky částečně splněny, větší odchylky,
- 4 - požadavky nedostatečně splněny, závažné odchylky,
- 0 – požadavky nesplněny.

Hodnotí se jednotlivé prvky zvlášť, a to poměrem dosažených bodů k maximálnímu možnému počtu bodů – E_{Pn} [%], dílčí prvky P6 analogicky jako jednotlivé prvky – E_{Un} [%], kroky procesu E_n [%] a celkový výsledek auditu E_G [%].

Je možné provádět audit vybraných prvků. Potom je třeba takový výsledek odlišit – $E_{G(Pn)}$ [%]; například auditujeme-li jen prvky P2-P4 tak značíme $E_{G(P2P3P4)}$ [%].

Výsledky auditu P2-P7 nebo jeho dílčích částí se interpretují následujícím způsobem, dle zařazení do kategorie:

- A – E_G nebo $E_{G(P_n)} \geq 90$; kvalitativně způsobilý,
- B - $\leq 80 E_G$ nebo $E_{G(P_n)} < 90$; kvalitativně způsobilý podmíněně,
- C – E_G nebo $E_{G(P_n)} < 80$; kvalitativně nezpůsobilý.

Na konečné zařazení do kategorií A, B, C má kromě celkového výsledku E_G respektive $E_{G(P_n)}$ vliv i výsledky dílčích prvků P6 E_{U_n} [%], výsledky jednotlivých prvků E_{P_n} [%] a kroků procesů E_n [%] a také bodové hodnocení otázek označených * (hvězdičkou).

Je-li jedna z výše uvedených položek < 80 , nebo jeli minimálně jedna otázka označená * bodována < 4 body, nebo jedna otázka je bodována 0, je výsledek celého auditu přeřazen do kategorie B, přestože celkový výsledek spadá do kategorie A.

Je-li jedna z výše uvedených položek < 70 , nebo jeli minimálně jedna otázka označená * bodována < 0 body, je výsledek celého auditu přeřazen do kategorie C, přestože celkový výsledek spadá do kategorie B, nebo A.

Významnou částí VDA 6.3 je katalog otázek, který je auditorům procesu základním nástrojem. Kromě znění otázky samotné poskytuje ke každé otázce minimální požadavky důležité pro hodnocení a příklady realizace. [10]

4.2.1 Požadavky VDA 6.3 na statistické řízení procesů

VDA 6.3 je mnohem specifitější v požadavcích na statistické řízení procesů než systém IATF 16949. V minimálních požadavcích pro hodnocení, uvedených k jednotlivým otázkám a v příkladech realizace, je mnohokrát uvedeno něco, co vede k statistickému řízení procesu. Níže bude více konkrétněji rozebráno dle prvků procesu.

4.2.1.1 P2-P4

V těchto raných fázích projektu nelze pochopitelně zpracovávat žádná data z reálné produkce, protože ještě není zavedena. V těchto fázích se plánuje a postupně zavádí projekt. Z toho tedy plyne, že statistické řízení se definuje a pohybuje v čistě teoretické nebo experimentální rovině. Požadavky na statistického řízení procesu vychází z následujících aktivit spjatých s prvky P2-P4:

- Porozumění požadavkům zákazníka, včetně CSR – *customer specific requirements*,
- Požadavky na produkt a na proces,
- Způsobilost dodavatelů,
- Způsobilost měřících zařízení,
- Plánování zkoušek produktu.

Praktickým využitím statistických nástrojů v P2-P4 je statistické plánování experimentu (Design of Experiment), stanovení způsobilosti měřidel a stanovení způsobilosti procesu na zkušebních vzorcích, které se provádí před uvolněním výroby v již reálných podmínkách.

4.2.1.2 P5

Prvek P5 je zaměřen na řízení dodavatelů a zajištění vyhovujícího vstupního materiálu nebo externě poskytované služby. Statistické řízení je zde požadováno při prokazování způsobilosti dodavatelů nebo jejich porovnávání. Využívá se monitorování ppm z inspekce příchozího materiálu srovnáváním. Dále může být využito standardizované vzorkování při vstupní přejímací inspekci. Pokud jsou použity, je třeba zajistit způsobilá měřidla.

4.2.1.3 P6

Prvek P6 je nejobsáhlejší a stěžejní. Tvoří se v něm nejvíce přidané hodnoty, a kromě vlastních požadavků na statistické řízení procesu jsou v něm zahrnuty požadavky z podpůrných procesů, proto se zde setkáme s požadavky, které jsou duplicitami z ostatních prvků.

Prvním příkladem je, že v plánu kontrol z fáze P3 jsou obsaženy všechny kontroly, včetně statistické řízení procesů z prvku P6.

V dílčím prvku P6.1 Vstup do procesu (P6.1.1) je zmíněn požadavek na způsobilost měřidel použitých ve výrobním procesu.

V prvku P6.2 Průběh procesu (P6.2.1) je požadováno definování parametrů procesů, zadání kontrol a důkazy o způsobilosti strojů a procesů. Je požadované vyhodnocování zvláštních charakteristik pomocí statistického řízení procesu (P6.2.3).

Prvek P6.3 je zaměřen na lidské zdroje, ale zde jsou prověřovány kompetence pracovníků, kteří jsou zahrnutí v programu statistického řízení procesů.

P6.4 Hmotné zdroje odkazuje na způsobilost zařízení a procesů (P6.4.1) a způsobilost zkušebních a měřicího zařízení (P6.4.3)

V prvku P6.5 je zkoumána efektivnost a účinnost procesu. Zde je uveden požadavek na ukazatelé kvality a způsobilost procesu (P6.5.1) a sběr dat způsobem umožňující jejich následné zpracování (P6.5.2)

4.2.1.4 P7

Tento poslední prvek je zaměřen na péči o zákazníka, plnění jeho požadavků a na aktivity po dodání produktu jako jsou reklamace a jejich šetření. Nároky na statistické řízení procesu jsou hlavně na celkovou výkonost procesu, vyhodnocení ukazatelů kvality a s tím spjaté nápravné akce, eventuálně proces neustálého zlepšování. [10]

5 STATISTICKÝ ZVLÁDNUTÝ PROCES, ROZDÍLY V PŘÍSTUPU DLE ISO 9001 A AUTOMOTIVE

Norma ISO 9001 požaduje rozhodování na základě faktů a dat, z čehož logicky plyne zpracování dat vhodným způsobem. Norma přímo nenařizuje použití nástrojů statistického řízení procesů, nicméně, jejich použití posouvá společnost dál ve schopnostech řídit procesy a taková společnost je věrohodnější v očích zákazníků a auditorů.

Naproti tomu norma IATF 16949 a metoda VDA 6.3 jsou na požadavky využití statisticky řízení procesu mnohem specifičtější, jak jsme se mohli přesvědčit v kapitole 4.

5.1 Způsobilost procesu

Přijatelné hodnoty indexů způsobilosti procesu C_p a C_{pk} jsou v rámci ISO 9001, respektive ne automotive závodu, není-li dohodnuto se zákazníkem jinak, stanoveny na hodnotách $C_p, C_{pk} = 1$ až 1,33. Tato způsobilost zaručuje že směrodatná odchylka variability procesu se vejde do tolerančních mezí $\pm 3x$ respektive $\pm 4x$ v případě hodnoty 1,33. Tyto hodnoty nejsou stanoveny normou, ale logickým přístupem, protože indexy s hodnotou <1 nesou významné riziko výroby zmetků.

Norma IATF 16949 také neuvádí žádnou specifickou hodnotu způsobilosti, ale zákazník je obecně v automotive vyžadována způsobilost $\geq 1,67$.

Metoda VDA 6.3 uvádí dlouhodobou způsobilost procesu $C_{pk} \geq 1,33$. Tabulka č.6 znázorňuje přepočty mezi indexy způsobilosti, PPM a počty vad.

Tabulka 6) Indexy způsobilosti vs ppm

C_p	Sigma	PPM	Vadné kusy [%]
1	± 3	2700	0,27
1,33	± 4	63,33	0,0063
1,67	± 5	0,57	0,0000573

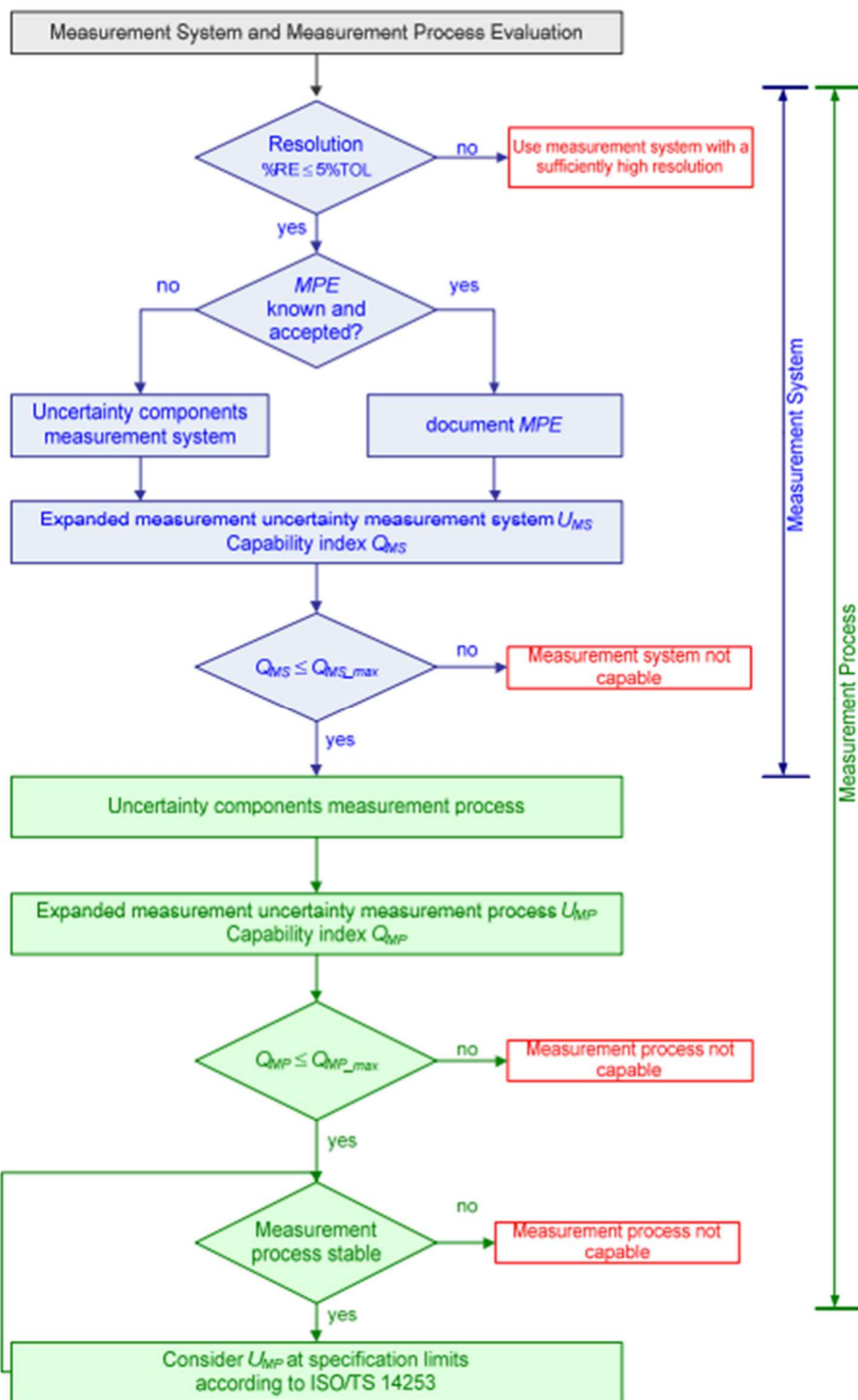
5.2 Způsobilost měřidel

Standardní metoda určování způsobilosti měřidel se liší od metod v automotive. V automotive může být vyžadována metoda popsána v publikaci VDA 5.

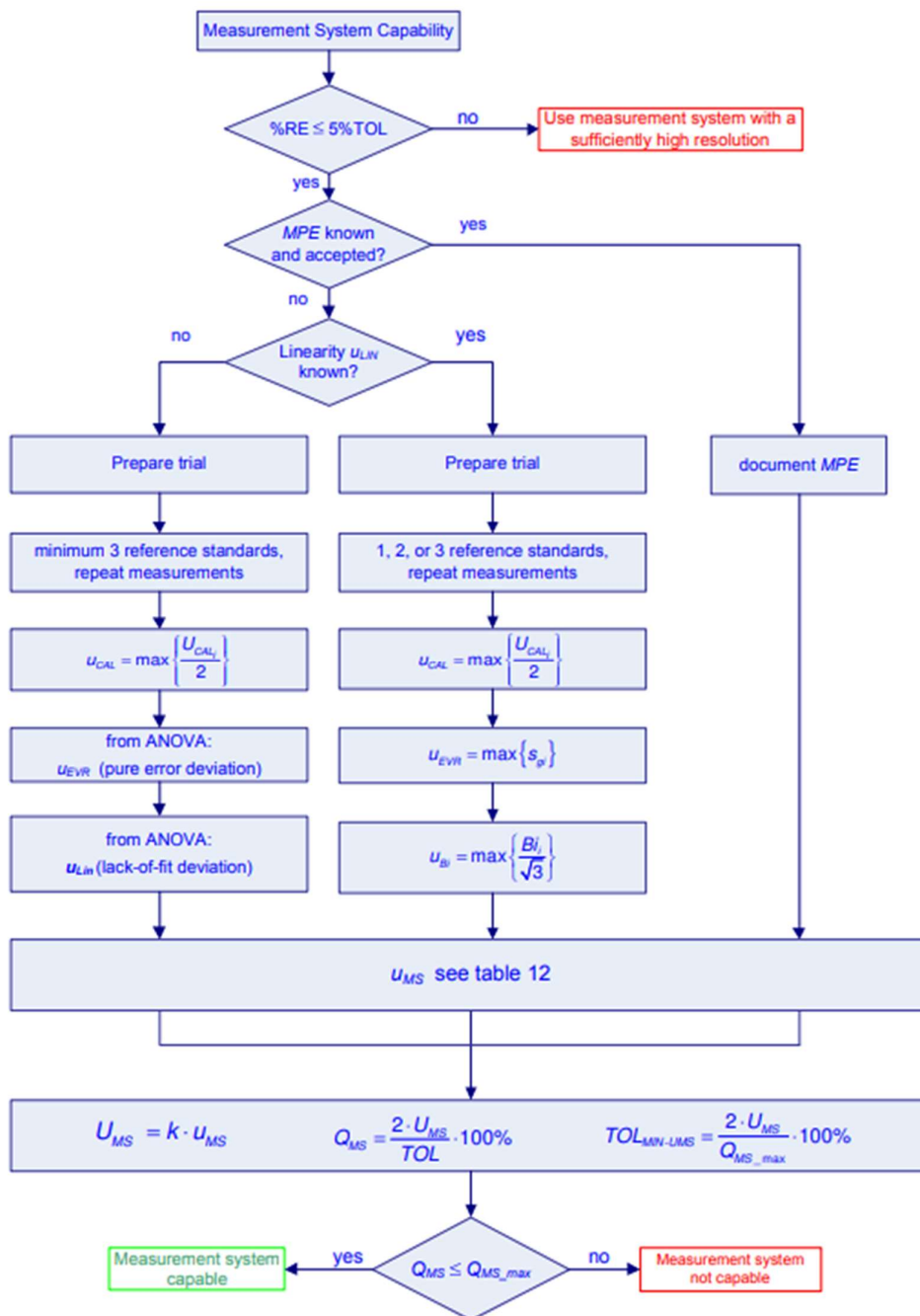
Standardní metoda určování způsobilosti měřidel byla popsána v kapitole 2.4.2, kdy byly představeny indexy způsobilosti C_g a C_{gk} a jejich výpočty.

Automotive přístup odkazuje na metodu popsanou ve VDA příručce č.5 Vhodnost kontrolních procesů. Příručka se snaží konsolidovat různé uznávané přístupy určování nejistot a způsobilosti nejen měřidla, ale celého měřícího procesu. Postupy jsou ověřeny pro geometrických rozměrů, jako je délka, úhly. K ostatním fyzikálním veličinám je třeba přistupovat individuálně, protože pro ně nejsou tyto postupy ověřeny.

Z procesu určování vhodnosti kontrolních procesů, na obrázku č.14, a z postupu pro hodnocení vhodnosti měřícího systému na obrázku č.15 je patrná důležitost správného určení nejistot měření.



Obr. 14) Postup pro hodnocení vhodnosti kontrolních procesů [19]



Obr. 15) Postup pro stanovení vhodnosti měřícího systému [19]

Jak je patrné z procesu na obrázcích č.14 a 15, vyhodnocení způsobilosti měřícího systému dle VDA 5 je víceokrová činnost. Stručný postup je následující:

- Vyhodnocení, zda rozlišení přístroje %RE je $\leq 5\%$ tolerance měřeného objektu.
- Stanovení složek nejistot měřícího systému. Typické složky nejistoty jsou
 - u_{RE} – nejistota rozlišení stupnice
 - u_{CAL} – nejistota kalibrace
 - u_{EVR} – nejistota opakovatelnosti na etalonu
 - u_{BI} – systematická odchylka

- u_{LIN} – odchylka linearity
 - u_{MS_REST} – další nejistoty
- Stanovení rozšířené nejistoty měřicího systému, rovnice (8.2):

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS} \quad (5.1)$$

- Výpočet Q_{MS} – Ukazatel vhodnosti měřicího systému dle rovnice (8.2)

$$Q_{MS} = \frac{2 U_{MS}}{TOL} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

- Porovnání vypočtených ukazatelů dle rovností v (8.2)

$$Q_{MS} \leq Q_{MS \max}, Q_{MS \max} = 15\% \quad (5.3)$$

- Stanovení složek nejistoty procesu měření
- U_{EVO} – Opakovatelnost na zkoušené součásti
 - U_{AV} – reprodukovatelnost operátorů
 - U_{GV} – reprodukovatelnost upínacích přípravků
 - U_{STAB} – reprodukovatelnost v čase
 - U_{IAi} – Interakce
 - U_{OBJ} – nehomogenita součásti
 - U_{RE} – rozlišení ukazatele
 - U_T – teplota
 - U_{REST} – zbytková nejistota

- Stanovení rozšířené nejistoty procesu měření dle (8.2):

$$U_{MP} = k \cdot u_{MP} \quad (5.4)$$

- Výpočet Q_{MP} – ukazatel vhodnosti měřicího procesu dle (5.5):

$$Q_{MP} = \frac{2 U_{MP}}{TOL} \cdot 100\% \quad (5.5)$$

- Porovnání vypočtených ukazatelů dle rovnosti v (8.2):

$$Q_{MP} \leq Q_{MP \max}, Q_{MP \max} = 30\% \quad (5.6)$$

Vyjde-li $Q_{MS} \leq Q_{MS \max}$ a $Q_{MP} \leq Q_{MP \max}$ můžeme měřicí systém považovat za způsobilý a je nyní možné vypočítat minimální možnou toleranci pro měřicí systém dle rovnic (5.7), (8.2):

$$TOL_{\min ums} = \frac{2 U_{MS}}{Q_{ms \max}} \cdot 100\% \quad (5.7)$$

respektive:

$$TOL_{\min ump} = \frac{2 U_{MP}}{Q_{mp \max}} \cdot 100\% \quad (5.8)$$

[18], [19]

6 POPIS FIRMY A AUTOMOTIVE ZÁKAZNÍKU

Praktická část práce bude zaměřena na implementaci statistického řízení procesu ve firmě, ve které pracuji od roku 2005, Sanmina Czech Republic s.r.o (dále jen Sanmina). Pro automotive zákazníka bude poskytována služba, a to konkrétně opravy a renovace tzv. „infotainment“ systému do automobilů. Zákazník je OEM výrobce tohoto infotainmentu pro automobilku. Současně se zaváděním služby Sanmina musí splňovat požadavky dle VDA 6.3 a plánovat certifikaci normy IATF 16949.

6.1 Sanmina-SCI Czech Republic s.r.o

Sanmina byla založena roku 1980 v Silicon Valley, v Kalifornii. Založili jí Jure Sola a Milan Mandaric. Oba pochází z území bývalé Jugoslávie. Dnes existuje pod názvem Sanmina Corporation, sídlící v San Jose, Kalifornie a její entita v Česku je zaregistrovaná pod názvem Sanmina-SCI Czech Republic s.r.o, sídlící v Brně, Královo Pole.

Sanmina zaměstnává přibližně 37 tisíc zaměstnanců po celém světě. Operuje v 21 státech, na šesti kontinentech. Sanmina navrhuje, vyrábí a poskytuje služby. Zaměřuje se na optické technologie, elektroniku i mechanické výrobky které poskytuje OEM výrobcům z oblastí komunikačních sítí, výpočetní a skladovací techniky, z lékařských, obranných a leteckých a automotive průmyslů, z odvětví multimédií, polovodičů a pravděpodobně z dalších průmyslových odvětví.

Sanmina v Brně poskytuje převážně služby, a to v oblasti logistiky a oprav elektronických zařízení. Má registrovaný systém managementu kvality ISO 9001 a systém managementu životního prostředí ISO 14001. Pro významného zákazníka opravuje základní desky do notebooků. Dále opravuje čtečky ticketů a mechanismus pro turniketové zařízení, tablety a také distribuuje zařízení pro inventury v obchodech. Nyní je v procesu zavádění novy automotive zákazník. [16]

6.2 Automotive zákazník

Zmiňovaný automotive zákazník je však dlouholetým zákazníkem ve výrobních závodech Sanminy, například v Maďarsku. Je součástí americké automobilové divize. Zákazník byl průkopníkem ve výrobě autorádií. Je dodavatel do mnoha automobilek.

6.3 Rozsah automotive služby

Sanmina Brno se smluvně zavázala poskytovat službu v rozsahu renovace a opravy produktu hlavní jednotky infotainmentu. Infotainment zařízení, která se skládá z:

- Hlavní 2 DIN jednotky,
- Navigace,
- HDD,
- DVD,
- Digital Radio,
- FM/AM,
- APIX2,
- Phone/Bluetooth.



a) Hlavní jednotka – přední pohled

b) Hlavní jednotka – boční pohled

Obr. 16) Hlavní jednotka

7 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VE FIRMĚ

7.1 Současný systém kvality

V Sanmině Brno je registrovaný systém kvality ISO 9001:2015. Registrace probíhá tzv. deštníkovým přístupem, což znamená že mateční Sanmina centrálně řídí systém kvality ve svých dceřiných pobočkách a zaručuje se v nich za plnění požadavků normy. V praxi to znamená, že externích certifikačních a udržovacích auditů systému je provedeno méně v rámci celé Sanminy, ale neprojde-li jedna pobočka auditem, certifikát může být odebrán celé Sanmině. Rozsah systému ISO 9001 v pobočce v Brně je právě pro poskytování služeb v oblasti logistiky a oprav a je vyloučena část návrhu a vývoje.

Nyní, právě na základě požadavku nového automotive zákazníka, je jednáno o registraci IATF 16949 ve fázi stanovení rozsahu a plánování nadcházejících auditů. Prvním auditem bude *pre-assesment* audit, což znamená, že systém bude zauditován, případné nedostatky budou komunikovány a napraveny. Po nápravě bude požádáno o první ostrý audit.

7.2 Současné statistické řízení

V Sanmině Brno jsou pravidelně vyhodnocovány ukazatelé kvality smluveny se zákazníkem anebo případně stanoveny interními potřebami. V případě, že některé ukazatele nejsou ve stanovených cílech, je vyžadována reakce v podobě analýzy příčin a stanovení nápravných akcí. Pro účely monitorování stavu procesu nejsou nasazeny regulační diagramy a ani způsobilost procesu není stanovena indexy C_p , C_{pk} a to z důvodu charakteru ukazatelů kvality a charakteru procesu. Jedná se o služby, a ne o výrobu. Data jsou atributivní, nejsou měřená. Jen ppm dodavatelů je vyhodnoceno na čtvrtletní bázi.

Velmi často je využívána Paretova analýza při stanovení nejfrekventovanějších příčin problémů nebo nesplnění ukazatelů kvality na jejíž základě se stanovují nápravná opatření adresující nejvýznamnější příčiny.

Nástroje statistického řízení jsou však velmi často používány při implementaci projektů v rámci Lean Six Sigma programu, nejčastěji při projektech pro certifikaci úrovně Green Belt, kdy Green Belt kandidát musí prokázat porozumění a praktické nasazení Lean Six Sigma nástrojů. Používají se zejména regulační diagramy, výpočty způsobilosti procesu, Paretoův diagram, Ishikawa.

7.3 Současné podpůrné nástroje pro statistické řízení

Pro potřeby Lean Six Sigma programu je využíván statistický software Minitab. Z pohledu jedince se jedná o příležitostní aktivitu, která je realizována například pro zpracování dat projektu pro certifikaci Green Belt. Zřídka je využíván pro pravidelné sledování procesů. Na to v Sanmině Brno stačí MS Excel, nebo Google tabulky a prezentace a obyčejný graf s časovou osou a zobrazeným cílem.

Sanmina má zaplacené limitované množství licence Minitab, proto je možné mít Minitab nainstalovaný a v případě potřeby spustit.

7.4 Stav projektu zavádění automotive zákazníka

Zavádění nového zákazníka, nového produktu nebo transfer z jiné pobočky je v Sanmině projektově řízen. Postup je standardizován a popsán v řízené firemní dokumentaci. Vyhovuje požadavkům ISO 9001:2015.

Standardizovaný postup má redukovat problémy, chyby, zpoždění a jiné negativní události během fází zavádění, a naopak má celé zavádění urychlit. Definiuje cíle a odpovědnosti jednotlivých členů týmu. Definiuje také postupy zavádění jednotlivých položek uvedených v kontrolním seznamu projektu. Celý postup je rozdělen do fází, jednotlivých milníků, tzv. *gates*:

- Gate 1 - po získání zakázky, začátek plánování, kontaktní osoby/zodpovědnosti,
- Gate 2 - zavedení kontrolního seznamu a akčního plánu,
- Gate 3 - školení, plán zavedení,
- Gate 3a - zavedení kompletní, zákaznické schvalování, záznamy o školení, první kusy,
- Gate 4 - uzavření kontrolního seznamu, akčního plánu.

Konkrétní položky kontrolního seznamu jsou rozděleny do těchto fází projektu.

Klíčovou roli zastává vedoucí projektu / projektový lídr. Jeho zodpovědnosti jsou:

- určit vhodný tým seskládaný ze zástupců různých oddělení,
- udržovat aktualizovaný kontrolní seznam,
- pravidelně s týmem revidovat akční plán,
- vytvořit časový plán projektu – Ganttův diagram,
- Organizovat schvalovací schůzky pro přechod do dalších *gate*.

Projekt zavádění zákazníka však spadá do kategorie automotive. V takovém případě se používá zvláštní verze kontrolního seznamu, která vyhovuje automotive požadavku metodiky *Advance Product Quality Planning*. Projekt se nyní nachází ve fázi, která je ekvivalentem Gate 3 standardního kontrolního seznamu, kdy se sbírají požadavky zákazníka a plánuje se jejich zavedení. V plánu projektu je i certifikace dle IATF 16949:2016 a vyhovění požadavkům na audit procesu dle VDA 6.3.

8 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ZAVEDENÍ VDA 6.3, NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ (METODIKA)

Požadavek zákazníka na vyhovění požadavků VDA 6.3 byl uveden při prvotní revizi zakázky, která byla schválena korporátním týmem Sanminy. Podpora managementu a potřebné zdroje jsou zajištěny.

Jeli následována automotive verze kontrolního seznamu, která vyhovuje *Advance Product Quality Planing*, mělo by tím být zajištěno, že projekt bude vyhovovat i VDA 6.3. V následujících částech bude uvedeno, jaké prvky a nástroje statistického řízení budou zakomponovány do procesu zakázky pro zákazníka. Bude se vycházet z požadavku VDA 6.3 na statistické řízení procesu uvedených v kapitole 4.2.1.

8.1 Postup implementace VDA 6.3 požadavků

V kapitole 4.2 bylo uvedeno, že metoda procesního auditu VDA 6.3 se skládá z několika prvků, které ohraničují skupiny otázek. Požadavky prvků lze plánovat při zavádění zakázky a postupně auditovat, dle fáze, ve které se projekt nachází. Momentálně je možné auditovat P1, P2, P3, částečně P4, P5, P7.

P1: Potencionální analýza – analýza je provedena na existující neautomotive zakázce pro zmapování současné kondice projektového řízení, řízení procesu, řízení dodavatelů a péče o zákazníka. Cílem je zjistit úroveň dodavatele, a to následně může sloužit jako kritérium výběru dodavatele, nebo k jeho rozvoji. Analýzou v Sanmina Brno je zjištěno, že všechny potřebné elementy jsou zavedeny. Nedostatkem je jen neaktuálnost akčních plánů a kontrolních seznamů. Celkový výsledek je „dodavatel v řízení“ s jedenácti žlutě vyhodnoceními otázky. Výsledek auditu, spolu s příležitostmi ke zlepšení, je poslán vedoucímu auditované zakázky k sjednání nápravy.

P2: Management projektu – Je zavedeno projektové řízení (kapitola 7.4) a je zavedena automotive verze kontrolního seznamu. Jsou plánovány zdroje. Součástí plánu jsou i aktivity spojené s managementem kvality.

P3: Plánování návrhu a vývoje produktu a procesu – Je zaveden akční plán, Ganttův diagram, revidují se dokumenty a požadavky zákazníka. Tento prvek je momentálně postupně naplňován.

P4: Realizace návrhu a vývoje produktu a procesu – projekt není zatím realizován.

P5: Management dodavatelů – Součástí managementu dodavatelů ve firmě je výběr a hodnocení dodavatelů. Kritéria jsou převzata z korporátních procedur. Dodavatelé se hodnotí kvartálně. Na obrázku č.17 je příklad vyhodnocení dodavatele udávající souhrnný SSI – *Supplier Satisfaction Index*.

Digi-Key	Q3 (2020)	Q4 (2020)	Q1 (2021)	Q2 (2021)
PPM Previous Quarter	0	0	0	6061
PPM Current Quarter	0	0	6061	0
PPM Improvement [%]	100%	100%	0%	100%
Percent Supplier OTD Late to MRP [%]	0%	0%	0%	0%
Percentage of Parts RTV'd [%]	0%	0%	0%	0%
SCAR Avg Cycle Time	0	0	9	0
SCAR Avg Aging	0	0	16	0
Supplier Satisfaction Index (SSI)	100%	100%	75%	100%



Obr. 17) Hodnocení dodavatelů

P6: Analýza procesu výroby – Proces je zatím jen plánován.

P7: Péče o zákazníky, spokojenost zákazníků, služby – Standardním přístupem v Sanmině je zajištěno zavedení prvků managementu kvality jako je vstupní kontrola náhradních dílů a reklamace, evidence a řešení eskalací zákazníka pomocí 8D přístupu, stanovení zodpovědností a školení, plány kontroly, vyhodnocení rizik, monitorování klíčových ukazatelů a další.

8.2 Plnění požadavků VDA 6.3 z hlediska statistického řízení

Požadavky na statistické řízení procesu jsou centrálně evidovány v plánu kontrol. Plán kontroly je i specifický požadavek normy IATF 16949:2015 kapitola 8.5.1.1 a je i požadavkem projektového řízení a plánování kvality v Sanmině. Obrázek č. 18 znázorňuje náhled formuláře plánu kontroly, který se skládá z následujících prvků ve sloupcích:

- Item – identifikační číslo,
- Process name/Process description – název procesu nebo název jeho části,
- Machine device – jig tools for manufacture – seznam zařízení použitých v daném procesu nebo v jeho části,
- Characteristics -
 - o No. – identifikační číslo kontrolované charakteristiky,
 - o Process – název kontrolované charakteristiky, pokud se jedná o kontrolu procesu, tzn. charakteristiky, která má vliv na produkt,
 - o Product – název kontrolované charakteristiky, pokud se jedná o kontrolu na produktu, tzn. inherentní charakteristiky produktu,
- Classification of special characteristic – kategorie zvláštní charakteristiky (v automotive to může být např. bezpečnostní charakteristika, kritická interní nebo externí charakteristika, charakteristika podnikového systému, anebo charakteristika

pro statistické řízení procesu. Tyto charakteristiky jsou rozlišeny znakem, který se také nachází v pracovních instrukcích pro rychlou orientaci,

- Methods
 - o Specification / Product Tolerance/ Process – specifikace nebo očekávání kontrolované charakteristiky,
 - o Evaluation Measurement Techniques – technika provedení kontroly, seznam vybavení (může být například “vizuální),
 - o Sample
 - Size – velikost kontrolovaného vzorku,
 - Frequency – jak často se odebírá kontrolovaný vzorek,
 - o Method Control – metoda provedení kontroly,
- Responsible – zodpovědné oddělení, osoba za provedenou kontrolu,
- Document or format – referenční dokumentace, pracovní instrukce, návod,
- Reaction plan – akce následující po nalezení vady.

ITEM	PROCESS NAME/ PROCESS DESCRIPTION	MACHINE DEVICE - JIG TOOLS FOR MANUFACTURE	CHARACTERISTICS		CLASSIFICATION OF SPECIAL CHARACTERISTI CS	METHODS				RESPONSIBLE	DOCUMENT OR FORMAT	REACTION PLAN		
			No.	Process		Product	Specification / Product Tolerance/ Process	Evaluation Measurement Techniques	Sample				Method of Control	
									Size					Frequency
1														

Obr. 18) Formulář plánu kontrol

Vstupem do plánu kontroly jsou:

- Požadavky relevantních norem (rozebrány v kapitole 4),
- Požadavky zákazníka,
- Kontrolní body plynoucí z vývojového diagramu.

Veškeré výše uvedené požadavky je nutno zakomponovat do plánu kontroly. V kapitole č. 4 jsou rozebrány požadavky na statistické řízení procesu normy IATF 16949 a metody VDA 6.3. V následujícím odstavci je přehled klíčových indikátorů výkonů požadovaných a odsouhlasených se zákazníkem, které se také budou vyhodnocovat nástroji statistického řízení:

- Refurbishment rate [%]; cíl 95 % - ukazatel znázorňuje poměr renovovaných přístrojů / počet přístrojů k modernizaci. Tento ukazatel bude možno sledovat regulačním diagramem typu p a bude možné sledovat důvody neprovedení přepracování paretoovou analýzou.
- SCRAP rate [%] - ukazatel scrapu je obrácená hodnota výše uvedeného refurbishment rate. V procesu je více důvodů, proč nelze provést renovaci přístroje, např. přístroj je přijat potřeť, a to je limit nebo některá z komponent nepovolených k výměně je porouchaná apod. V tomto případě bude SCRAP rate sledován jednoduchým grafem trendu a budou vyhodnocovány důvody scrapu paretoovou analýzou.
- Delivery Reliability [%]; cíl 95 % – ukazatel znázorňující spolehlivost doručení přístroje včas v porovnání s cílovým datem, který je stanoven na počátku každé

- dílčí zakázky. Pro tento ukazatel můžeme zkonstruovat regulační diagram typu p a paretovou analýzou sledovat důvody nesplnění cílového času dodání přístroje.
- General QA inspection [%]; cílem je nulová chybovost – inspekce kvality každého kusu. Rozsah je vizuální kontrola a kontrola záznamů v podnikovém systému. Pro monitorování se použije regulační diagram typu p.
 - QA SPOT check rate [%]; cílem je nulová chybovost – úspěšnost inspekce oddělení kvality. Jedná se o 3% vzorek jehož rozsahem je vizuální kontrola a funkční test. Opět bude sledován regulačním diagramem typu p.
 - Escalation/Repeat Repair [%] – tento ukazatel bude znázorňovat poměr defektních přístrojů k počtu všech zmodernizovaných, odeslaných přístrojů. Bude sledován regulačním diagramem typu p a equivalentním Process Z indexem pro cílovou hodnotu 500ppm, což je Process Z = 3.3. Příčiny vad a stížností budou analyzovány paretovou analýzou. Pro tyto případy je zákazníkem vyžadován 8D report.
 - Material consumption [\$] - cena materiálu za jednotku. Lze také sledovat regulační diagramem typu p.
 - Initial analyses/test Yield [%] – procentní úspěšnost prvotní analýzy, respektive diagnostiky přístroje. Bude sledováno i regulačním diagramem typu p.
 - AFT/MFT Yield [%] – jedná se o úspěšnost finálních testů. AFT je automatický finální test. MFT je manuální finální test. Bude sledováno i regulačním diagramem typu p.
 - Supplier capability PPM – počet vadných přijatých náhradních dílů na milion.
 - Způsobilost měřidel – vyhodnocení způsobilosti měřidel pro vstupní kontrolu náhradních dílů dle VDA 5.

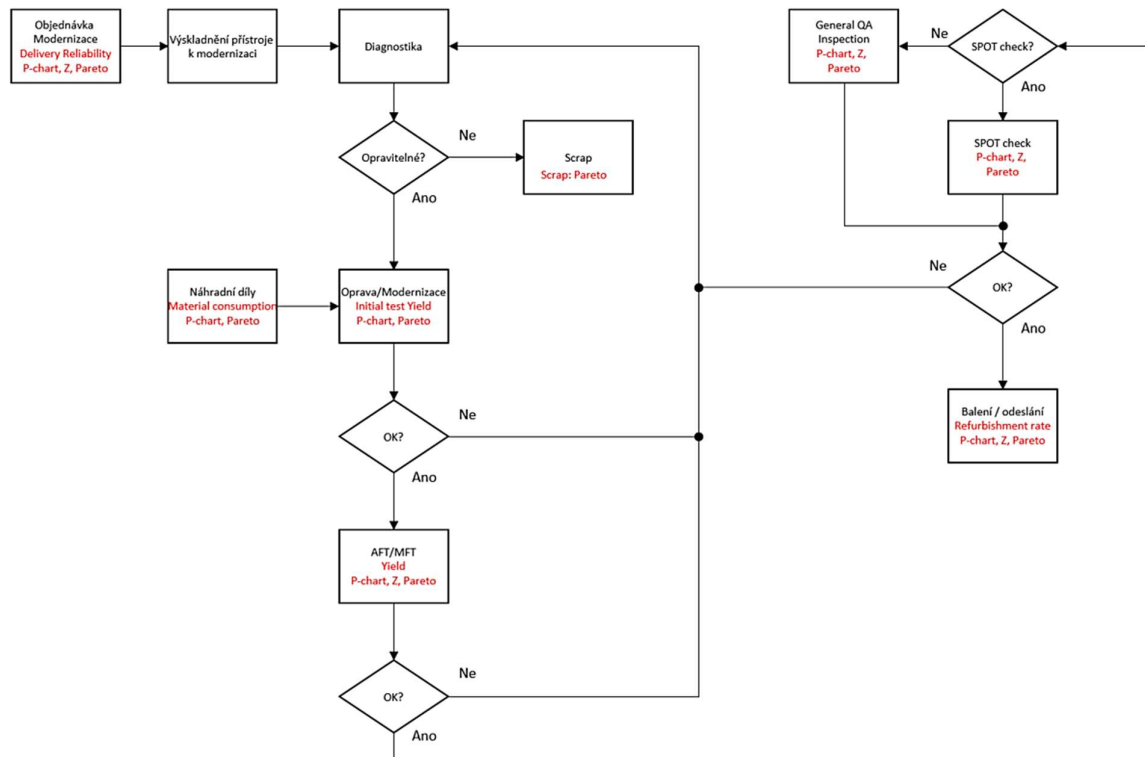
V tabulce č. 7 jsou pro zvýšení přehlednosti uvedeny odsouhlasené ukazatele výkonnosti se zákazníkem a matice použitých nástrojů statistického řízení procesu.

Tabulka 7) Matice ukazatelů výkonnosti a použité nástroje statistické regulace

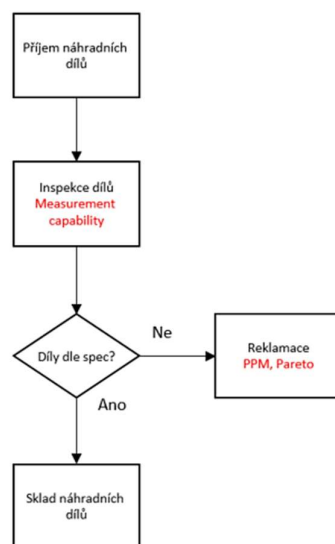
Výkonnostní ukazatele	Regulační diagram	Způsobilost měřícího systému	Způsobilost procesu – binomické rozdělení	PPM	Paretův diagram
Refurbishment rate [%]	p-chart		x		x
SCRAP rate [%]					x
Delivery Reliability [%]	p-chart				x
QA SPOT check rate [%]	p-chart		x		x
General QA inspection [%]	p-chart		x		x
Escalation/RR rate [%]			x		x
Material consumption MCPU [\$]	p-chart				x
Initial analyses/test Yield [%]	p-chart				x
AFT/MFT Yield [%]	p-chart				x
Spare parts PPM				x	x
Measurement capability		x			

Dalším vstupem do plánu kontrol je vývojový diagram. Na obrázku č.19 je zobrazen tok procesu renovace infotainment produktu. Na obrázku č. 20 je zobrazen tok příjmu náhradních

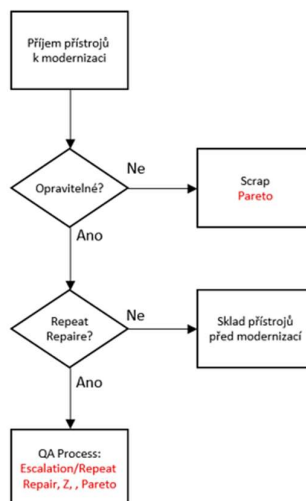
dílů a na obrázku č. 21 je zobrazen proces příjmu přístrojů k renovaci. Červeně jsou označeny ukazatele výkonnosti a nástroje k statistické regulaci. Pro účely spojené se zadáním práce jsou v toku procesu zobrazeny místa, kde se bude měřit ukazatel výkonnosti procesu a vyhodnocovat některý z nástrojů regulace procesu dle matice v tabulce č.6. Uvedený vývojový diagram na obrázcích 19-21 je z praktických a důvěrných důvodů zjednodušen na nutné minimum.



Obr. 19) Vývojový diagram procesu modernizace



Obr. 20) Vývojový diagram příjmu náhradních dílů



Obr. 21) Vývojový diagram příjmu přístrojů k modernizaci

8.3 Návrh nástrojů statistického řízení do procesu

Do procesu je navrženo 5 nástrojů pro statistické řízení procesu. Protože je celý projekt ve fázi implementace, není možné vyhodnocovat reálná data z fungujícího procesu. Pro ilustraci jsou použita data z měření, z jiného procesu, generovaná nebo experimentálně získaná.

8.3.1 Regulační diagram typu p

Prvním z nástrojů je regulační diagram typu p. Jedná se o diagram pro atributivní data, podíl výskytu k nekonstantnímu vzorku. Protože nejsou k dispozici žádná data, není nyní možné stanovit centrální přímkou a ani regulační meze. Je třeba čekat alespoň na vyhodnocení 25 podskupin a potom vyhodnotit počáteční data. Postup jeho konstrukce je totožný s postupem popsáním v kapitole 2.5.1.6:

a) *Stanovíme parametr, který chceme měřit nebo srovnávat*

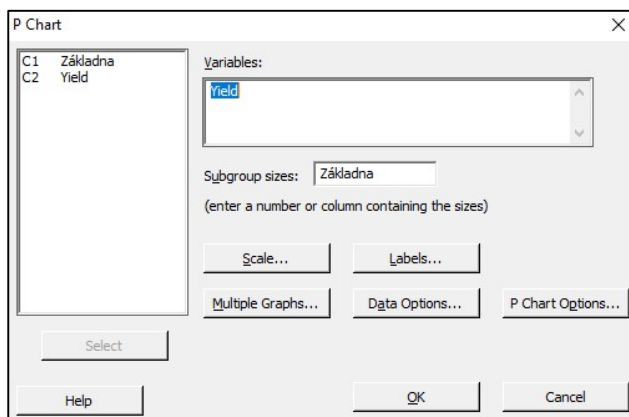
Tento diagram bude použit pro zobrazení výkonu ukazatelů Refurbishment rate [%], Delivery Reliability [%], Escalation/RR rate [%], General QA inspection [%], QA SPOT check rate [%], Material consumption [\$], Initial analyses/test Yield [%], AFT/MFT Yield [%].

b) *zajistíme systém měření, sběru dat*

Podnikový systém dovoluje extrahovat data z procesu uložené v databázi a dále je zpracovávat pro uživatelsky přívětivé zobrazení interním reportovacím systémem. Pro výše zmíněné ukazatele bude vždy potřeba základna a počet výskytů, které regulační diagram přepočítá na podíl. Data budou odebírány na týdenní bázi.

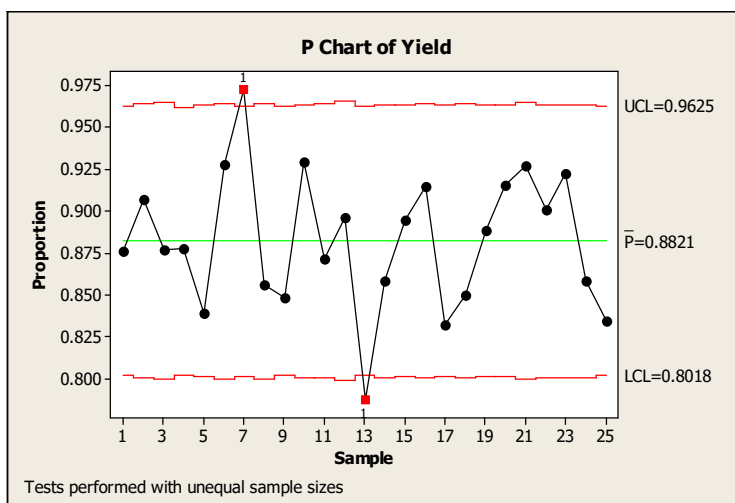
c) *sestrojíme regulační diagram z referenčních dat*

Protože Sanmina podporuje statistický software Minitab, včetně školicích materiálů, nabízí se jeho použití. V menu aplikace Minitab spustíme záložky *Stat > Control Charts > Attributes Charts > P chart* a zdroj dat navolíme dle obrázku č.22, vybereme sloupec *Yield* s výskyty (Variables) a velikost skupiny (Subgroup sizes) je ve sloupci *Základna*.



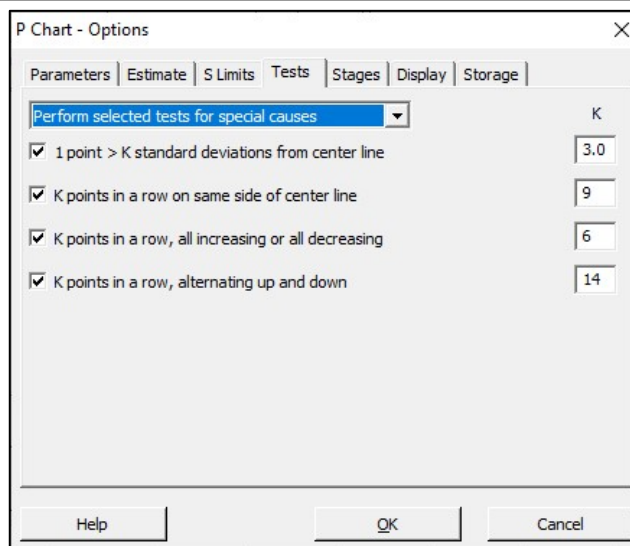
Obr. 22) Nastavení regulačního diagram typu p

Na obrázku č. 23 je regulační diagram s prvotními daty.



Obr. 23) Regulační diagram s prvotními daty

Současně si můžeme v aplikaci Minitab spustit i testy, které vyhodnotí, zdali nejsou některé body mimo regulační meze anebo jestli se v grafu netvoří atypická seskupení, obrázek č.24.



Obr. 24) Volba testů pro regulační diagram

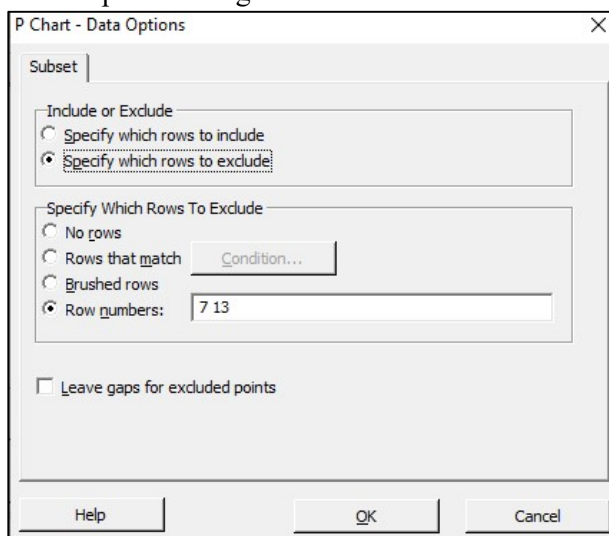
Výsledek testu:

Test Results for P Chart of Yield

TEST 1. One point more than 3.00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 7, 13

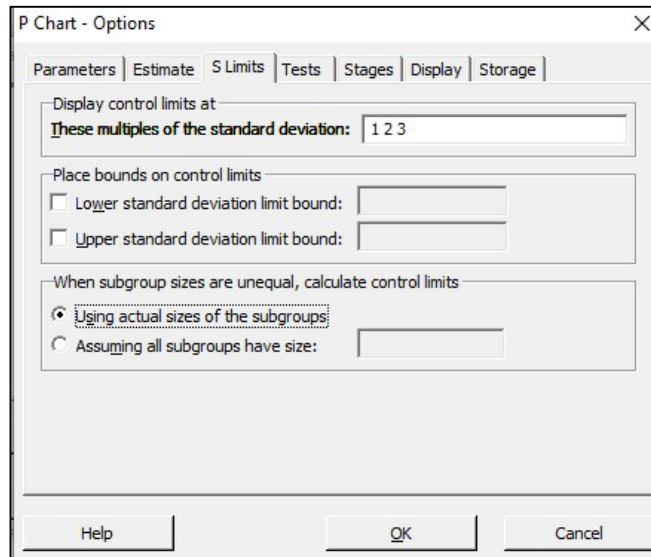
d) *analýza diagramu a odstranění nevyhovujících podskupin z důvodu vymezitelných příčin*

Předpokládejme, že body podskupin 7 a 13 jsou mimo z vysvětlitelných příčin, proto je odstraníme, jak je zobrazeno na obrázku č. 25 a necháme Minitab znovu přepočítat a vygenerovat centrální přímkou i regulační meze.



Obr. 25) Odstranění bodů 7 a 13 z dat regulačního diagramu

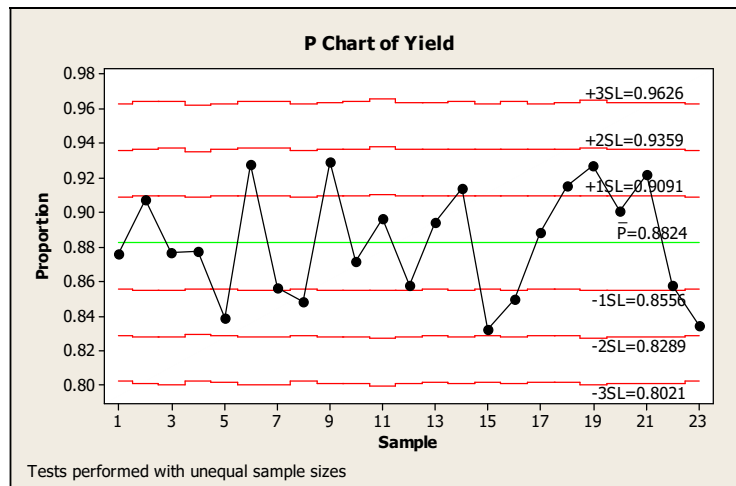
Současně můžeme zobrazit všechny regulační meze do grafu. Na obrázku č.26 je zobrazeno nastavení všech třech regulačních mezí.



Obr. 26) Přidání regulačních mezí

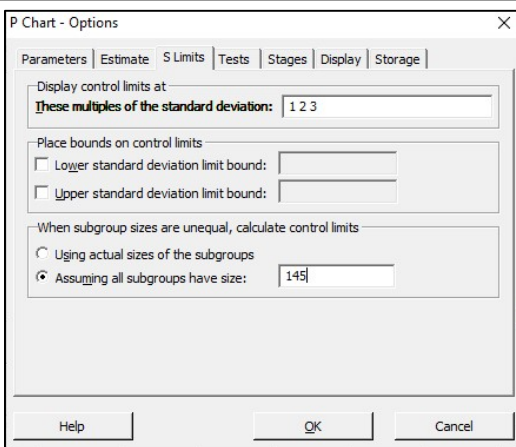
e) přepočítání parametru diagramu bez bodů s vymezenou příčinou

V tomto okamžiku jsou centrální přímkou a regulační meze nastaveny tak, že nepočítají s body, které jsme vyloučili a berou v potaz pouze body, které vystihují statisticky zvládnutý proces, což je podmínka pro nastavení mezí a centrální přímkou. Protože každá podskupina má jinou velikost, jsou parametry regulačních mezí kalkulovány pro každou podskupinu zvlášť, obrázek č.27.



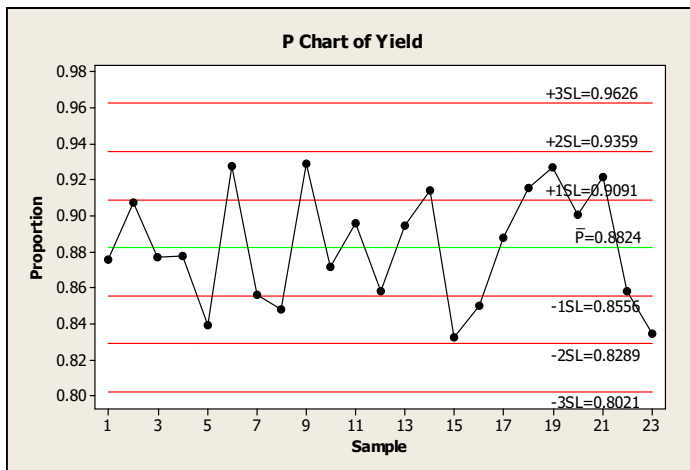
Obr. 27) Regulační diagram s novými parametry

Provedeme fixaci těchto parametrů. Fixaci parametrů si můžeme dovolit, protože základna osciluje v intervalu do 20 %. Na obrázku č. 28 zadáváme průměrnou hodnotu podskupiny.



Obr. 28) Fixace podskupiny a parametrů

Na následujícím obrázku č. 28 je tedy finální regulační diagram, který má nastaveny parametry dle výpočtů z dat, které považujeme za statisticky zvládnuté. Toto jsou nyní výchozí parametry pro proces. Je vhodné parametry pravidelně revidovat.



Obr. 29) Finální regulační diagram

Stejný postup návrhu regulačního diagramu můžeme použít v MS Excel, ale v tomto případě musíme do buněk Excelu zadat příslušné vzorce pro výpočty regulačních mezí a vynést je v grafu. Výhodou Minitabu je že všechny vzorce jsou již zakomponovány a vypočteny automaticky.

8.3.2 Způsobilost procesu / Binominal Proces Capability

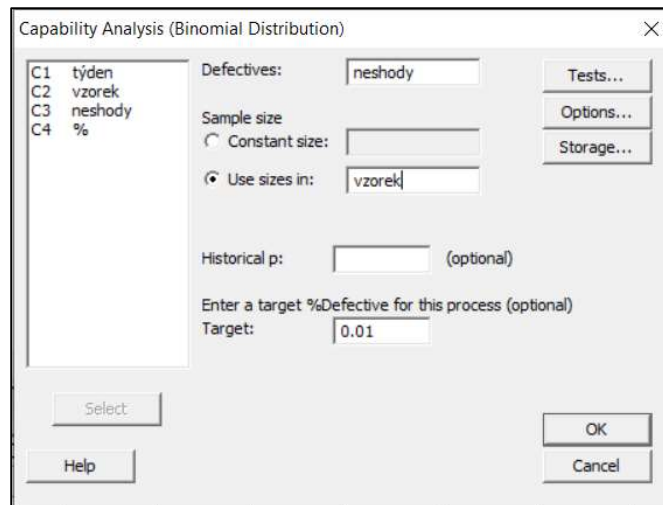
Jak už bylo zmíněno, indexy C_p , C_{pk} jsou designovány pro data měřená, data normálního rozdělení a v případě jiného typu dat dochází ke zkreslení nebo komplikacím při jejich interpretaci. Pro neměřená data jsou možnosti, jak způsobilost procesu stanovit:

- v případě že rozložení dat vypadá normálně, např. pomocí histogramu, nebo testu normality, můžeme použít standardní vyhodnocení C_p , C_{pk} například v Minitabu. Dopustíme se chyby a je třeba dbát na interpretaci také při odečtu ppm, které nebude ku počtu vad, ale ve vztahu k nastaveným limitům specifikace.
- Ukazatel C_{pk} dále můžeme přepočítat použitím vzorce s AQL.

- Sledovat „defect rate“ pomocí PPM a následně přepočítat na C_p , C_{pk} .
- Použít v Minitabu způsobilost procesu pro binomické rozdělení.

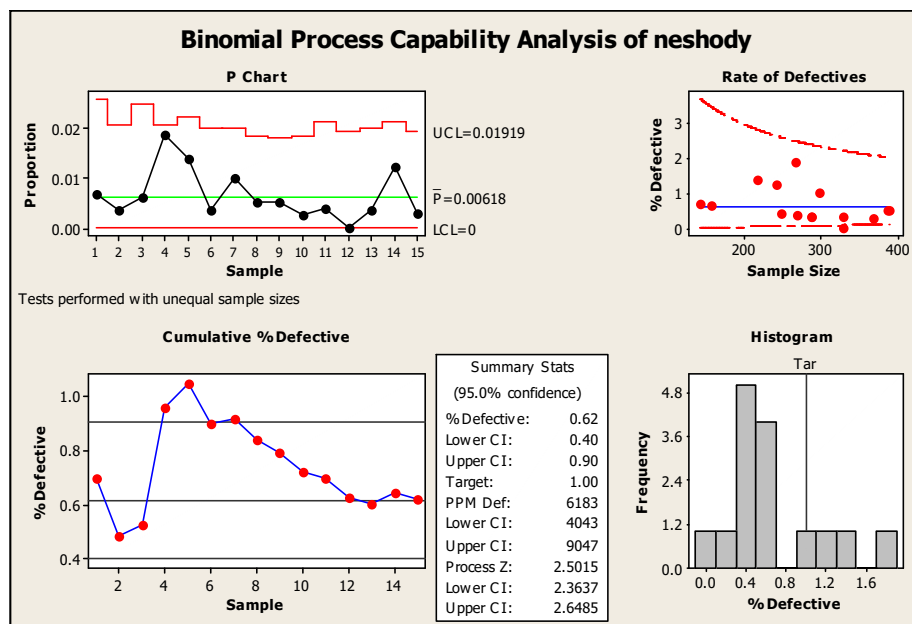
Způsobilost procesu pro binomické rozdělení v Minitabu je navrženo pro ukazatele Refurbishment rate [%], Delivery Reliability [%], QA SPOT check rate [%], General QA inspection [%], Escalation/RR rate [%], AFT/MFT Yield [%]. V aplikaci Minitab zvolíme *Stat > Quality Tools > Capability Analysis > Binominal*.

V nastavení zdrojů na obrázku č. 30 zvolíme z jakého sloupce vezme Minitab počet neshod a velikost podskupin a uvedeme i cíl, jeli stanoven.



Obr. 30) Nastavení zdroje dat pro binomické rozdělení

Minitab vygeneruje sadu nástrojů, na obrázku č.31, ze kterých vyčteme stav procesu, včetně způsobilosti.



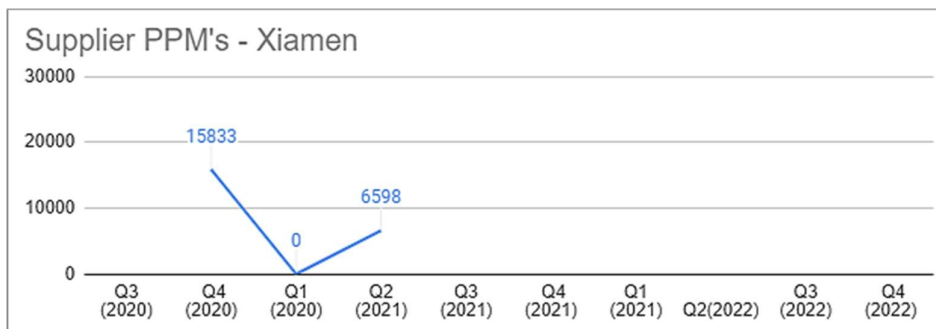
Obr. 31) Binomická způsobilost

- P chart – regulační diagram typu p, popsáný v předchozí kapitole,
- Rate of defectives – zobrazuje distribuci vad na základě velikosti vzorku,
- Cumulative %Defective – zobrazuje kumulovaný vývoj procentní chybovosti,
- Histogram – grafické zobrazení distribuce vad [%],
- Summary Stats – statistiky:
 - o %Defective – průměrná chybovost,
 - o PPM Def – počet vad na milion,
 - o Process Z – index způsobilosti – pokud $je > 2$, process je považován za způsobilý, nicméně, pro ukazatel Escalation/RR rate [%] je od zákazníka nastavený cíl 500 ppm a to odpovídá hodnotě Process Z = 3.3,
 - o CI – konfidenční intervaly výše uvedených statistik při 95% spolehlivosti.

Binomická způsobilost se tedy stanovuje analýzou výše uvedeného nástroje a jeho konkrétních částí.

8.3.3 PPM

Ukazatel PPM se bude používat pro měření a srovnávání dodavatelů náhradních dílů. Sanmina není zodpovědná za výběr ani hodnocení dodavatelů náhradních dílů pro projekt a zavázala se pouze sledovat PPM dodavatelů a dokumentovat záchyty. Na obrázku č. 32 je typický příklad použití PPM grafu v Sanmině v Brně.



Obr. 32) PPM dodavatele

8.3.4 Paretův diagram

Každý ukazatel výkonosti, není-li 100 % naplněn, vykazuje určité množství neshod. Například, plníme-li Refurbishment Rate na 96 %, je logické, že za zbývajících 4 % jsou nějaké důvody, respektive neshody. Neshody lze identifikovat, popsat, kategorizovat a vynést v grafu seřazené dle četnosti, závažnosti nebo ceny. V našem procesu je mnoho příležitostí pro použití Paretova diagramu. Je předepsaný pro každý ukazatel výkonosti. V kapitole 2.5.3 je popsán princip Paretova diagramu a jeho možnosti. Pro jeho sestavení použijeme opět Minitab. *Stat > Quality Tools > Pareto Charts*. Ukázky Paretových grafů jsou již na obrázcích č. 10.

8.3.5 Způsobilost měřicího systému a procesu - QMS, QMP

Postup ověřování způsobilosti měřicího systému a způsobilosti měřicího procesu podle VDA 5 jsou popsány v kapitole 5.2.

Pro účely našeho procesu je třeba ověřit vhodnost měřicího systému pro měření rozměrů komponent na vstupní inspekci náhradních dílů. Pro prokázání vhodnosti používáme již uvedené vztahy $Q_{MS} \leq Q_{MS \max}$ a $Q_{MP} \leq Q_{MP \max}$. Stejně jako pro výpočet je správné určení všech aplikovatelných nejistot měření.

V této kapitole je provedeno několik měření k prokázání způsobilosti měřidla, systému i procesu za použití různých metod výpočtů. Data jsou zpracována v MS Excel, některá v statistickém programu Minitab a některá jsou zpracována v programu Palstat. K měření používáme následující vybavení:

Ověřovaný měřicí přístroj / měřicí přístroj pro posouzení dílu:

Název: Digitální posuvné měřidlo Mitutoyo CD – 15B

Rozsah: 0-150 mm

Rozlišení: 0.01mm

ID: ENG000349

Ethalon:

Sada koncových měrek Mitutoyo

Rozsah: 2.5-250 mm

Rozlišení: 0.001 mm

ID: VUT0008712

Podmínky:

Teplota: 24 °C +/-2 °C

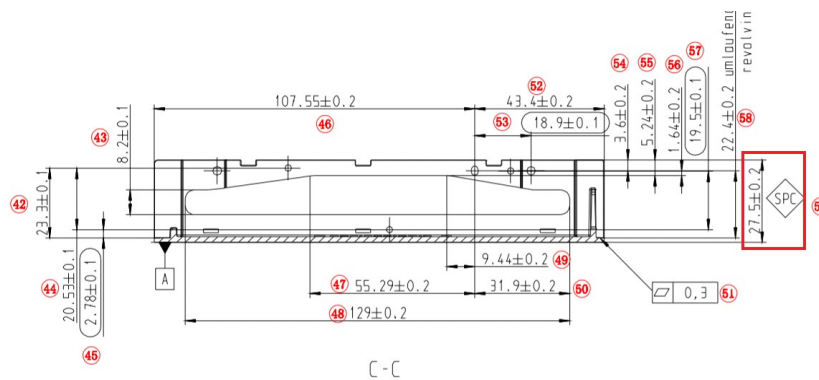
Tlak: 1013,25 hPa

Vlhkost: 40 %

Rozměr měřené součásti:

27.5 +/-0.2 mm

Posuzovaný díl je zobrazen na obrázku č. 33. Jedná se o délku hrany krytu zařízení, která je při výrobě kontrolována v rámci statistického řízení procesu. Při vzorkové přejímce materiálu není třeba tento rozměr statisticky vyhodnocovat jako ve výrobě, pouze kontrolovat rozměr.



Obr. 33) Posuzovaný díl

8.3.5.1 Způsobilost měřidla C_g , C_{gk}

Nejdříve ověříme způsobilost měřidla. Provedeme 50 měření ověřovaným posuvným měřidlem na etalonu 5.00011 mm.

8.3.5.1.1 MS Excel

V MS Excel spočítáme směrodatnou odchylku $S_g = 0.0082$ mm a použijeme ji ve vzorcích pro výpočet indexů C_g , C_{gk} .

$$C_g = \frac{0.2USL - LSL}{6\sigma_g}; \text{ respektive } C_g = \frac{0.2T}{6\sigma_g};$$

$$C_{gk} = \frac{0.1T - |X_g - X|}{3\sigma_g};$$

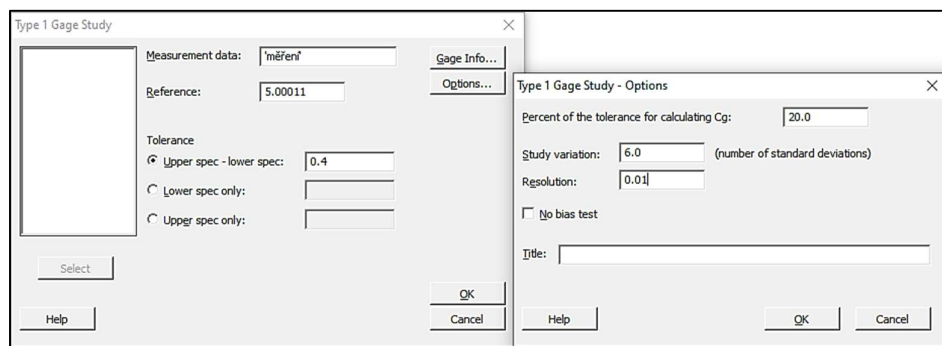
$$C_g = 1.625$$

$$C_{gk} = 1.622$$

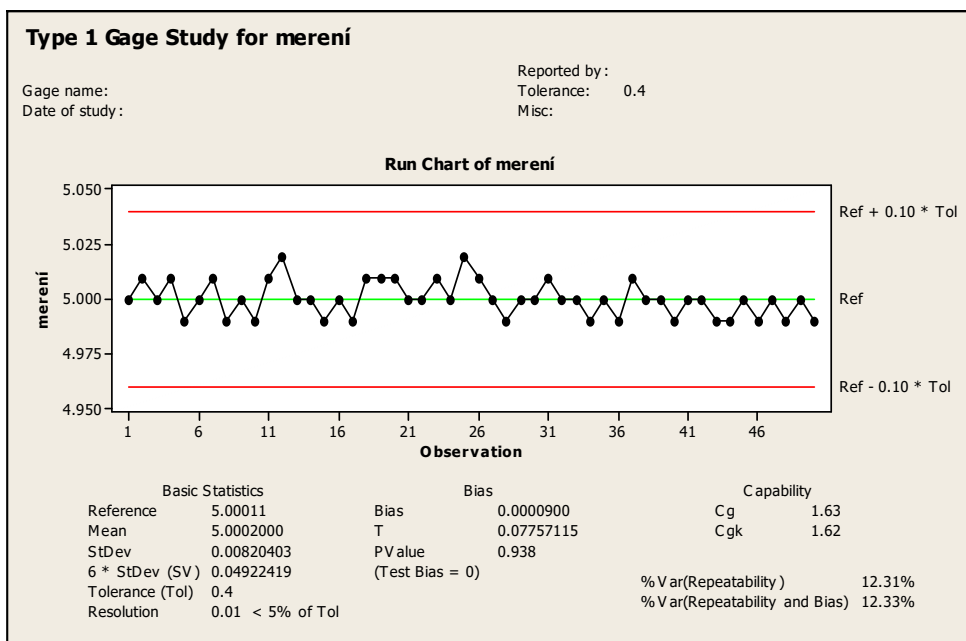
Pro výpočet používáme přísnějších kritérií 6sigma, respektive 3sigma zvýšení intervalu spolehlivosti na 99.74 % což jsou kritéria Bosch. Měřidla s indexy >1.33 jsou považována za způsobilé. Excelové výpočty indexů způsobilosti měřidla C_g , C_{gk} dokazují, že zvolené měřidlo je vhodné pro měření rozměru zkoumaného výrobku.

8.3.5.1.2 Minitab

Stejné hodnoty dostáváme i v programu Minitab, i když zaokrouhlené. Nástroj spustíme v záložkách *Stat > Quality Tools > Gage Study > Type 1 Gage Study*. Na obrázku č. 34 je následující nastavení v Minitabu a na obrázku č. 35 je výsledek analýzy měřidla. Indexy C_g , C_{gk} jsou stejné, jak v MS Excel. Směrodatná odchylka je také 0.0082 mm.



Obr. 34) Nastavení způsobilosti měřidla v Minitab



Obr. 35) Způsobilost měřidla v Minitab

8.3.5.1.3 Palstat

Způsobilost měřidla ověřujeme i v programu Palstat. V software Palstat však při nastavení stejných podmínek dostáváme rozdílné výsledky. Rozdíl není velký. Na obrázku č. 36 je vidět směrodatná odchylka 0.008 mm (V Excelu a v Minitabu 0.0082 mm). Způsob vyhodnocení byl zvolen stejně jako v předchozích případech $0.2 \cdot T / 6\sigma$. Palstat vrátil hodnoty indexů $C_g = 1.625$, $C_{gk} = 1.617$. Po zaokrouhlení těchto hodnot dostáváme stejná čísla, jako jsou ta z Minitabu. Není tedy jasné, zda čísla v Minitabu jsou před zaokrouhlením stejná jako z Excelu, nebo z Palstatu. Nicméně, v Palstat lze pozorovat zaokrouhlené číslo průměrné hodnoty měření a když se tato hodnota dosadí do vzorce v Excelu, vyjdou stejná čísla jako v Palstat, tzn že Palstat pravděpodobně nepřesně vyhodnotil bias/odchýlení, a proto je rozdíl jen v C_{gk} kde je tato složka obsažena.

Xa	Sa	Cg	Cgk
5,000	0,008	1,625	1,617

Způsob výpočtu: Bosch 0,20 * T / 6 * σ

Obr. 36) Vyhodnocení způsobilosti měřidla v Palstat

8.3.5.2 Kritérium rozlišení měřidla

Použité měřidlo disponuje rozlišením 0.01mm. Tolerance měřené součásti je 0.4 mm. Kritérium pro způsobilost je že rozlišení měřícího přístroje smí činit $< 5\%$ tolerance. V tomto konkrétním případě je rozlišení 2,5 % tolerance, což znamená že měřidlo je dle těchto kritérií vyhovující. $\%RE = 0.01/0.4 \cdot 100$.

8.3.5.3 Stanovení nejistot

Pro výpočet hodnot Q_{MS} , Q_{MP} je nutné stanovit rozšířené nejistoty U_{MS} , U_{MP} . Rozšířené nejistoty se skládají z dílčích nejistot a vypočítají se následujícími vzorci (8.1), (8.2):

$$U_{MS} = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + \max\{u_{EVR}^2 + u_{RE}^2\} + u_{Bi}^2 + u_{LIN}^2 + u_{MS_REST}^2} \quad (8.1)$$

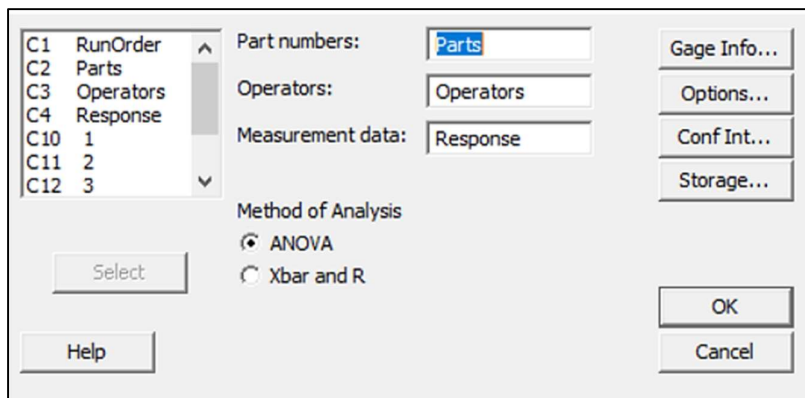
$$U_{MP} = k \cdot \sqrt{u_{cal}^2 + \max\{u_{EVR}^2 + u_{EVO}^2 + u_{RE}^2\} + u_{Bi}^2 + u_{LIN}^2 + u_{AV}^2 + u_{AG}^2 + u_{STAB}^2 + u_{OBJ}^2 + u_T^2 + u_{MS_REST}^2} \quad (8.2)$$

Za k dosazujeme hodnotu 2 pro zvětšení intervalu pravděpodobných hodnot při pravděpodobnosti 95 %. Do vzorce však dosazujeme aplikovatelné, nebo významné dílčí nejistoty:

- $U_{RE} = 0.0029 \text{ mm}; U_{RE} = \frac{1}{\sqrt{12}} RE,$
- $U_{cal} = 0.01 \text{ mm}; U_{cal} = \frac{U_{cal}}{k},$
- $U_{EVR} = 0.0073 \text{ mm};$ směrodatná odchylka získána z měření na etalonu 5.00011 mm, $n=25,$
- $U_{Bi} = 0.00056 \text{ mm}; U_{Bi} = \frac{\bar{x} - x_m}{\sqrt{3}},$
- $U_{LIN} = 0.000136 \text{ mm};$ Minitab Gage Linearity and Bias study, $U_{LIN} = \frac{a}{\sqrt{3}},$
- $U_{EVO} = 0.00097 \text{ mm};$ Minitab ANOVA – Repeatability,
- $U_{AV} = 0.00004 \text{ mm};$ Minitab ANOVA – Reproducibility,
- $U_T = 0.0007 \text{ mm}; u_T = L \cdot \alpha \cdot u_{\Delta T},$
- $u_{MS} = 0.0123 \text{ mm},$
- $U_{MS} = 0.0259 \text{ mm},$
- $u_{MP} = 0.0152 \text{ mm},$
- $U_{MP} = 0.0304 \text{ mm}.$

8.3.5.3.1 Minitab ANOVA

Pro zjištění nejistot opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (u_{EVO} – repeatability a u_{AV} – reproducibility) můžeme použít nástroj ANOVA ve statistickém softwaru Minitab v části pro posuzování způsobilosti měřidel *Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study*. Pro tyto účely byla provedena další sada měření, kdy byly zahrnuty další dvě osoby pro vyhodnocení reprodukovatelnosti. Bylo tedy naměřeno 2x 10 měření x 3 operátoři tzn 60 měření. Na obrázku č. 37 je nastavení zdrojových dat pro spuštění nástroje ANOVA v Minitab.



Obr. 37) Nastavení ANOVA

Dle hodnoty p zvýrazněné na obrázku č. 38 určíme, zda je nejistota interakce významná, nebo není. Pokud je hodnota $p < 0.25$, je významná, v našem případě interakci nezahrnujeme do celkové nejistoty.

Gage R&R (Nested) for Response

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0.0014071	0.0001563	1.20773	0.349
Operators	2	0.0004085	0.0002043	1.57777	0.234
Parts * Operators	18	0.0023302	0.0001295	1.05278	0.438
Repeatability	30	0.0036890	0.0001230		
Total	59	0.0078349			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Obr. 38) Vyhodnocení významnosti interakce v ANOVA

Z dalšího části výstupu Minitabu stanovujeme nejistotu opakovatelnosti na obrázku č. 39.

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0113729	0.0682376	98.06
Repeatability	0.0111983	0.0671895	96.56
Reproducibility	0.0019856	0.0119137	17.12
Operators	0.0019856	0.0119137	17.12
Part-To-Part	0.0022711	0.0136268	19.58
Total Variation	0.0115975	0.0695849	100.00

Obr. 39) Nejistoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Tabulka 8) Zdrojová data pro ANOVA

Operátor 1		Operátor 2		Operátor 3	
měření 1	měření 2	měření 1	měření 2	měření 1	měření 2
4.99	5.01	5.03	5.00	5.00	4.99
5.00	4.98	5.01	5.01	4.98	4.99
5.00	5.00	4.99	5.00	4.99	5.02
5.01	5.01	4.99	4.99	4.98	5.01
5.01	4.99	5.00	5.00	5.01	5.00
5.00	5.01	4.99	5.01	5.00	5.00
4.99	5.00	4.99	4.99	5.00	5.00
4.99	4.97	5.01	4.99	4.98	5.01
5.00	5.01	5.01	4.98	4.99	5.00
4.99	5.01	5.02	5.02	5.02	5.00

8.3.5.3.2 Minitab Palstat

Nejistoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti byly také analyzovány v programu Palstat. Na obrázku č. 40 je vidět že Palstat vyhodnotil nejistotu opakovatelnosti $u_{EVO} = 0.123$ mm ale nejistotu reprodukovatelnosti u_{AV} nevyhodnotil, možná protože je o řád nižší a je ve srovnání s u_{EVO} zanedbatelná.

MSA	
EV	0.0122109436
AV	0
GRR	0.0122109436
PV	0
TV	0.0122109436

Obr. 40) Výsledky nejistot v Palstat ANOVA

8.3.5.3.3 Minitab Gage Linearity and Bias study

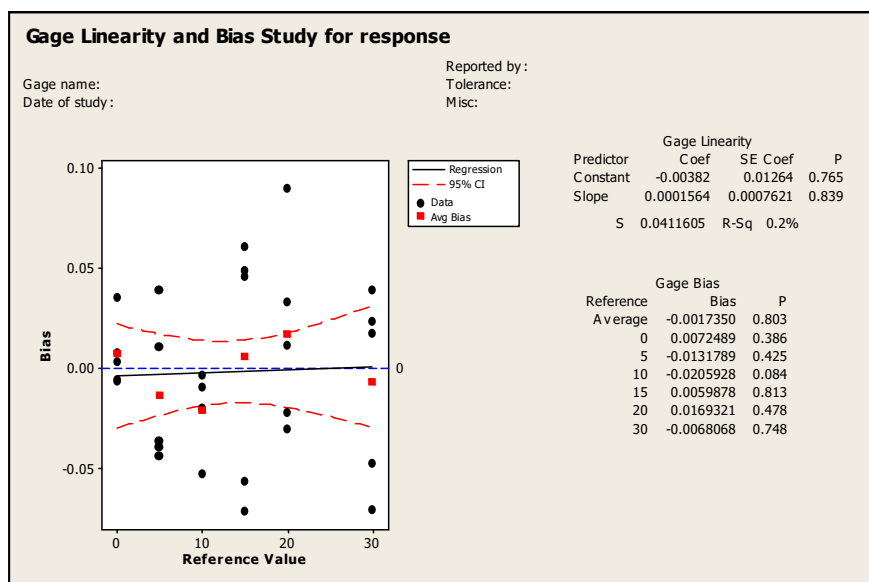
Nejistota linearity U_{LIN} je vypočítána za pomoci Gage Linearity and Bias Study analýzy v Minitabu. *Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage Linearity and Bias Study*. Nastavíme zdroj dat a spustíme test. Z dat na obrázku č. 41 sestojíme regresní funkci

$y = -0.0038 + 0.0001564X_n$. Vypočítáme hodnoty pro krajní body:

$$y_{(0)} = -0.0038$$

$$y_{(30)} = 0.000892 \text{ a dále dopočítáme odchylku linearity}$$

$$u_{LIN} = -0.0038 - 0.0798/2 \cdot \sqrt{3} = 0.00136 \text{ mm}$$



Obr. 41) Gage Linearity and Bias Study

Tabulka 9) Zdrojová data pro Gage Linearity and Bias Study

X_n	Y_{n1}	Y_{n2}	Y_{n3}	Y_{n4}	Y_{n5}
0	-0.01	0.00	0.01	-0.01	0.04
5	5.01	4.96	5.04	4.96	4.96
10	9.99	9.95	10.00	9.98	9.98
15	14.94	15.05	14.93	15.05	15.06
20	19.97	20.03	20.09	19.98	20.01
30	29.95	29.93	30.04	30.02	30.02

8.3.5.4 Stanovení hodnot Q_{MS} , Q_{MP} , TOL_{min_UMS} , TOL_{min_UMP}

Po stanovení všech aplikovatelných nejistot je možné rozhodnout, zdali je měřicí systém a měřicí proces vhodný a je také dále možné dopočítat minimální tolerance dalších

potencionálních rozměrů, které můžeme měřit posuzovaným měřidlem. Aplikujeme rovnice pro výpočet Q_{MS} , Q_{MP} a TOL_{min_UMS} , TOL_{min_UMP} :

$$Q_{MS} = \frac{2 UMS}{TOL} \cdot 100\%; \quad Q_{MP} = \frac{2 UMP}{TOL} \cdot 100\%$$

$$TOL_{min\ ums} = \frac{2 UMS}{Q_{ms\ max}} * 100\%; \quad TOL_{min\ ump} = \frac{2 UMP}{Q_{mp\ max}} * 100\%$$

$$Q_{MS} = 12.93\% < Q_{MS\ max} 15\%$$

$$Q_{MP} = 15.16\% < Q_{MP\ max} 30\%$$

$$TOL_{min_UMS} = 0.345\text{ mm}$$

$$TOL_{min_UMP} = 0.202\text{ mm}$$

Z uvedených výsledků Q_{MS} , Q_{MP} je zřejmé, že měřicí systém i měřicí proces jsou vyhovující dle VDA 5.

8.3.6 Plán kontroly

Na obrázku č.42 je příklad plánu kontroly. Z praktických důvodů jsou uvedeny jen kontroly ze dvou procesních kroků. Ze vstupní inspekce náhradních dílů a z inspekce kvality. V plánu kontrol jsou zobrazeny položky, které jsou řízeny statisticky. V automotive se používají značky. V tomto konkrétním případě značí oranžová značka statistické řízení a zelená přítomnost speciálního znaku (*special characteristic*), který je obsažen v manuálním testu.

ITEM	PROCESS NAME / PROCESS DESCRIPTION	MACHINE DEVICE - JIG TOOLS FOR MANUFACTURE	CHARACTERISTICS		CLASSIFICATION OF SPECIAL CHARACTERISTICS	METHODS				RESPONSIBLE	DOCUMENT OR FORMAT	REACTION PLAN		
			No.	Process		Product	Specification / Product Tolerance/ Process	Evaluation Measurement Techniques	Sample				Method of Control	
									Size					Frequency
1	Incoming Inspection ♦	Oracle	1	Validate Raw material versus commercial invoice		Invoice parameters	Manual validation, counting and visual inspection	100%	Every lot received	Manual validation	Warehouse personnel - receiving	Receiving material procedure No.:	If lot does not conform with invoice, create a SCAR and report to buyer.	
			2	Delivery inspection (Cosmetic criteria, damages, packaging, ESD, MSD)	SC	Package according to rules described in receiving procedure	Visual Inspection	100%		Visual Inspection		Receiving material procedure No.:	If cosmetic criteria or dimension spec does not meet specification reject part.	
			3	Caliper	Dimensions according specs	According part number specifications in component drawings	Measurement with caliper	According to sample plan		Measurement with caliper		Receiving material procedure No.:	SPC analyses and action per procedure SOP-QA-XXX.	
2	QA Inspection	ERP	1	Visual inspection		Visual inspection according to acceptance criteria	Visual inspection	100%	Every equipment received	Visual inspection	QA Technician	QA Inspection procedure No.:	If equipment does not pass visual inspection or functional test it must be returned to repair line and recorded to ERP.	
			2	ERP, AFT test equipment	Functional Test	Test sequence PASS	Automatic Functional Test	3%	Every equipment received	Automatic Functional Test	QA Technician	QA Inspection procedure No.:	SPC analyses and action per procedure SOP-QA-XXX.	

Obr. 42) Příklad plánu kontrol

8.3.7 Vzorkování

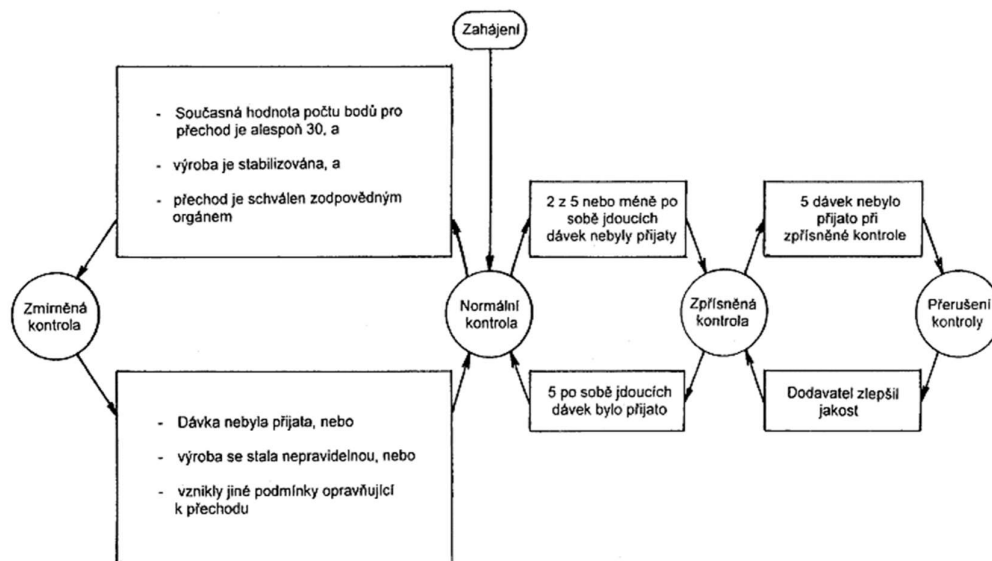
Zákazník nedefinuje žádné zvláštní kritéria pro statistickou přejímku náhradních dílů srovnáváním, proto je zvolen standardní postup v Sanmině dle ČSN ISO 2859-1. V kontextu automotive náročnosti a přístupu k nulové chybovosti bude zvolen nejnižší AQL dle tabulky č.11 pro přejímací plán jedním výběrem, kontrolní úroveň volíme II v tabulce č.10 a budeme následovat přechodová pravidla zobrazená na obrázku č.43.

Tabulka 10) Kódová písmena rozsahu výběru [14]

Rozsah dávky			Speciální kontrolní úrovně				Obecné kontrolní úrovně		
			S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 až 8	A	A	A	A	A	A	A	B	
9 až 15	A	A	A	A	A	A	B	C	
16 až 25	A	A	B	B	B	B	C	D	
26 až 50	A	B	B	C	C	C	D	E	
51 až 90	B	B	C	C	C	C	E	F	
91 až 150	B	B	C	D	D	D	F	G	
151 až 280	B	C	D	E	E	E	G	H	
281 až 500	B	C	D	E	F	F	H	J	
501 až 1 200	C	C	E	F	G	G	J	K	
1 201 až 3 200	C	D	E	G	H	H	K	L	
3 201 až 10 000	C	D	F	G	J	J	L	M	
10 001 až 35 000	C	D	F	H	K	K	M	N	
35 001 až 150 000	D	E	G	J	L	L	N	P	
150 001 až 500 000	D	E	G	J	M	M	P	Q	
500 001 a výše	D	E	H	K	N	N	Q	R	

Tabulka 11) Přejímací plány jedním výběrem pro normální kontrolu [14]

Kódové písmeno rozsahu výběru	Rozsah výběru	Připustná mez jakosti AQL v procentu neshodných jednotek a neshodách na 100 jednotek (normální kontrola)																											
		0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1 000		
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
O	1 250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
R	2 000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	

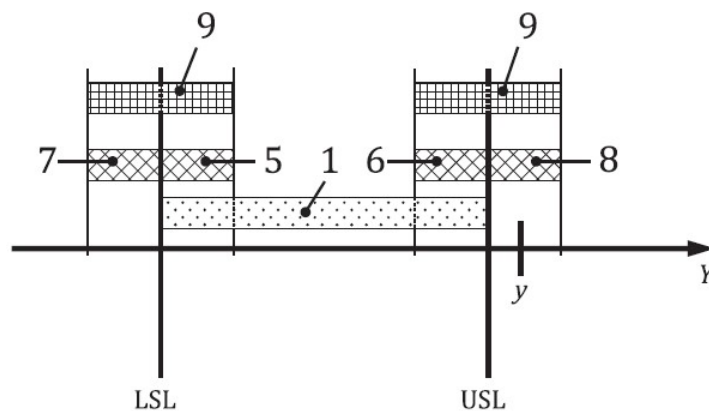


Obr. 43) Přechodová pravidla [14]

8.3.8 Posouzení dílu dle ČSN EN ISO 14253-1:2018

Po ověření způsobilosti měřidla, měřícího systému a měřícího procesu lze schváleným měřidlem ověřovat rozměry náhradních dílů dle minimální tolerance TOL_{min_UMS} a TOL_{min_UMP} . Posoudíme díl uvedený v kapitole 8.3.5 o rozměru 27.5 mm a toleranci ± 0.2 mm. Protože poslední vydání VDA 5 vzniklo dříve, než nejnovější revize ISO 14253, logicky odkazuje na starší verzi této normy a starší způsob posuzování shody. Pro naše účely se bude následovat nejnovější vydání z roku 2018.

Bylo provedeno 10 měření ověřeným měřidlem a posouzeno, zdali se průměrná hodnota měření bude nacházet v pásmu přijetí dle obrázku č. 44.



Obr. 44) Zóny nejistot [17]

1 pásmo přijetí

5 ochranné pásmo g_{LA} spodního limitu specifikace pro posouzení shody

6 ochranné pásmo g_{UA} horního limitu specifikace pro posouzení shody

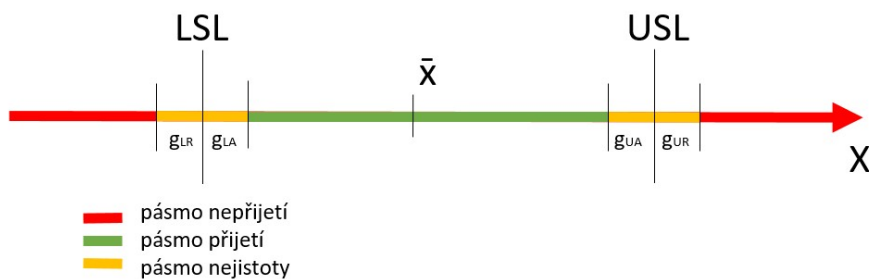
- 7 ochranné pásmo g_{LR} spodního limitu specifikace pro posouzení neshody
- 8 ochranné pásmo g_{UR} horního limitu specifikace pro posouzení neshody
- 9 zóny nejistoty
- y měřená hodnota
- LSL spodní limit specifikace
- USL horní limit specifikace

K posouzení shody a akceptování dílu je nutné, aby se hodnota pohybovala v pásmu přijetí. V takovém případě lze díl považovat za shodný. Bude-li se hodnota pohybovat v pásmu nejistoty, díl nepovažujeme za shodný, ale nemůžeme jej považovat ani za neshodný. Za neshodný díl se považuje takový, jehož hodnota je vně pásma nejistoty a přijetí, v pásmu nepřijetí.

V tabulce č. 12 jsou naměřené hodnoty a vypočítané statistiky potřebné k určení shody posuzovaného dílu.

Tabulka 12) Naměřené hodnoty a statistika

Číslo měření	Naměřené hodnoty [mm]
1	27.49
2	27.48
3	27.51
4	27.52
5	27.48
6	27.51
7	27.49
8	27.51
9	27.49
10	27.51
Statistika [mm]	
\bar{x}	27.499
s_x	0.014
u_A	0.004
u_B	0.025
u_C	0.025
$U = u_C * 2$	0.051
Úplný výsledek	27,499±0,051
Specifikace	27,5±0,2
USL	27.7
LSL	27.3
$(USL - LSL) / u_C$	15.749
g_A	1.65
$g_A * u_C$	0.042



Obr. 45) Grafická interpretace přijetí dílu dle ČSN EN ISO 14253-1:2018

Z grafické interpretace na obrázku č. 45 a i ze statistik v tabulce č. 12 je patrné, že rozměr posuzovaného dílu (\bar{x}) se nachází v pásmu přijetí a dle ISO 14253-1:2018 je shodný a je přijat.

9 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU A APLIKACE VYBRANÝCH METOD (APLIKACE ZVOLENÉHO SOFTWARE) PRO STATISTICKÉ ŘÍZENÍ.

Statistické řízení procesu ve Společnosti Sanmina v Brně pro automotive proces je nastaveno tak, aby vyhovovalo požadavkům zákazníka, normě IATF 16949, metodě procesního auditu VDA 6.3 a zejména procesu renovace automotive zařízení pro zákazníka a relevantním normám, které popisují jednotlivé nástroje. Stěžejními nástroji jsou regulační diagram typu p, binomická způsobilost procesu, způsobilost a vhodnost měřidel, a Paretův diagram pro analýzu výskytů. Zvolené nástroje jsou vybrány s ohledem na charakteristiku prováděné služby, která generuje neměřená, atributivní data, nenormální distribuce.

Pro zpracování dat a interpretaci výsledků je zvolen statistický program Minitab. Minitab je statistický nástroj, který je pro statistické řízení procesů dostačující a přesnější. Dalším argumentem je že společnost Sanmina již vlastní licence k použití tohoto programu a má vytvořené mnoho školicího materiálu zejména pro školení Lean Six Sigma kandidátů.

Palstat je velmi komplexní nástroj nejen pro statistické operace, ale pro celkové řízení kvality ve společnosti, včetně exekuce auditů, následných nápravných opatření, správy zařízení, kalibrací, údržby a mnoho dalších funkcí. Obsahuje více než 30 modulů a jejich cena se pohybuje v rozpětí od 20 000 Kč do 30 000 Kč za modul. Jeho pořízení by bylo nákladné a v případě, že Sanmina vlastní licence pro použití Minitab, i neopodstatněné, třebaže by se mohly nakoupit jen moduly SPC a MSA pro účely statistického řízení.

10 ZÁVĚR

Cílem práce byl systémový rozbor problematiky statistického řízení procesu. Rešerše relevantních norem. Analýza současného stavu ve firmě a aplikace nástrojů statistického řízení procesů při zavádění nového automotive zákazníka s ohledem na metodu procesního auditu VDA 6.3. Dále provést srovnání SW, a nakonec zhodnotit zvolenou aplikaci statistických nástrojů a software.

V práci byla systémově rozebrána problematika statistického řízení dle ČSN ISO 11462-1:2002 Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu, její elementy, význam a přínos. V práci jsou popsány nejvýznamnější nástroje statistické regulace jako jsou regulační diagram, diagram Paretovy analýzy, diagram příčin a následků, ukazatelé způsobilosti procesu, histogram, kontrolní formulář, bodový diagram, stratifikace a vzorkování. Obzvláště regulačním diagramům byla věnována zvláštní pozornost a jejich popis je v souladu s ČSN ISO ČSN ISO 7870:2018 Regulační diagramy.

Bylo pojednáno o požadavcích automotive norem (IATF 16946 a VDA 6.3) na statistické řízení procesu a srovnání s ISO 9001.

Protože praktická část práce je spjata se zavedením nového automotive zákazníka v Sanmině v Brně, byl uveden popis obou společností, rozsah služby, kterou má Sanmina pro automotive zákazníka poskytovat a stav projektového řízení.

Statistické řízení procesu bylo navrženo tak, aby vyhovovalo požadavkům zákazníka a všem relevantním normám. Nástroje byly navrženy pro konkrétní kroky procesu služby. Některé nástroje byly demonstrovány v programu Minitab a některé v programu Palstat a výsledky porovnány. Nakonec byl provedeno posouzení rozměru náhradního dílu ověřeným měřidlem a vyhodnoceno dle normy ISO 14253-1:2018.

Minitab byl doporučen pro statistické řízení procesu, na základě ekonomické výhodnosti, dostupnosti a podpory v Sanmině. Je více zaměřený na statistiku. Palstat je vhodný pro celkové řízení kvality ve firmě. Nevýhodou je, že je databázový, kdežto Minitab není. Kombinace tabulkového procesoru MS Excel, Google Sheet a Minitab je ve firmě dostačující.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [2] *Statistická regulace procesů (SPC): příručka*. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
- [3] MILLER, Ivan. *Kapesní příručka Six Sigma*. 3. vydání. Praha: Interquality, 2016. ISBN 978-80-905414-1-2.
- [4] IMLER, Ken, 2008. *Strategické systémy kvality*. Pardubice: Radek Lévy. ISBN 978-80-904156-0-7.
- [5] CHALOUPKA, Jiří. *Jednoduše kvalita*. Praha: Pre-Press: Red Cat. 110 s. ISBN 978-80-254-1346-3.
- [6] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press. 2018. ISBN 978-89-7261-561-2.
- [7] *Požadavky na certifikaci pro VDA 6.1, VDA 6.2, VDA 6.4*. 6. přepracované vydání. Přeložil Jaroslav MÁŠILKO. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02775-1.
- [8] *Komentované vydání ČSN EN ISO 9001:2016*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. 136 s. ISBN 978-80-02-02642-6.
- [9] *Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. 119 s. ISBN 978-80-02-02699-0
- [10] *VDA 6.3 - Audit procesu*. 3. přepracované vydání. Přeložil Pavel Němeček. Praha: Česká společnost pro jakost, 2017. ISBN 978-80-02-02727-0.
- [11] ČSN ISO 11462-1:2002. *Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC)*. 2002.
- [12] ČSN ISO 7870:2018. *Regulační diagramy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [13] ČSN ISO 3534-2:2010. *Statistika – Slovník a značky – Část 2: Aplikovaná statistika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [14] ČSN ISO 2859-1:2000. *Statistické přejímky srovnáváním – Část 1: Přejímací plány AQL pro kontrolu každé dávky v sérii*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [15] ČSN ISO 3951-1:2017. *Statistické přejímky měřením – Část 1: Stanovení přejímacích plánů AQL jedním výběrem pro kontrolu každé dávky v sérii pro jediný znak kvality a jediné AQL*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [16] *Company profile* [online]. Sanmina Corporation. Dostupné z <https://www.sanmina.com/company-profile/>
- [17] ČSN ISO 14253-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením – Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

- [18] ČSN ISO ČSN ISO 9001:2016. *Systémy managementu kvality – Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [19] VDA 5. *Způsobilost kontrolních procesů*. 2.vyd. Praha: Česká metrologická společnost pro jakost. 2011.

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam tabulek

Tabulka 1) Vzorce pro výpočet regulačních mezí diagramu pro průměr (\bar{X}), rozpětí (R) [12].....	27
Tabulka 2) Výpočet regulačních mezí a stanovení centrální přímky pro individuální hodnoty (X) a klouzavá rozpětí (Rm) [12]	27
Tabulka 3) Hodnoty konstanty A4 [12]	28
Tabulka 4) Vztahy pro výpočty regulačních mezí a stanovení centrálních přímek pro regulační diagramy srovnáváním [12]	28
Tabulka 5) Data pro Paretův graf.....	35
Tabulka 6) Indexy způsobilosti vs ppm	46
Tabulka 7) Matice ukazatelů výkonnosti a použité nástroje statistické regulace	57
Tabulka 8) Zdrojová data pro ANOVA	70
Tabulka 9) Zdrojová data pro Gage Linearity and Bias Study	71
Tabulka 10) Kódová písmena rozsahu výběru [14]	73
Tabulka 11) Přejímací plány jedním výběrem pro normální kontrolu [14]	73
Tabulka 12) Naměřené hodnoty a statistika.....	75

12.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Kolísání vs způsobilost procesu [2].....	21
Obr. 2) Neustále zlepšování dle PDCA [18].....	23
Obr. 3) regulační diagram [12].....	24
Obr. 4) Typy regulačních diagramů, výběr [12]	26
Obr. 5) Diagram pro průměr (\bar{X}), rozpětí (R)	27
Obr. 6) Regulační diagram srovnáváním	29
Obr. 7) Příklady testů seskupení vymezitelných příčin [3].....	30
Obr. 8) Testy Western Electric [3].....	31
Obr. 9) Vyhodnocení způsobilosti procesu.....	33
Obr. 10) Paretovy analýzy dle priorit.....	35
Obr. 11) Ishikawův diagram [6].....	36
Obr. 12) Histogramy	37
Obr. 13) Prvky procesu dle VDA 6.3 [10]	42
Obr. 14) Postup pro hodnocení vhodnosti kontrolních procesů [19]	47
Obr. 15) Postup pro stanovení vhodnosti měřicího systému [19]	48
Obr. 16) Hlavní jednotka.....	51
Obr. 17) Hodnocení dodavatelů	55
Obr. 18) Formulář plánu kontrol	56
Obr. 19) Vývojový diagram procesu modernizace	58
Obr. 20) Vývojový diagram příjmu náhradních dílů	58
Obr. 21) Vývojový diagram příjmu přístrojů k modernizaci	59
Obr. 22) Nastavení regulačního diagramu typu p	60

Obr. 23)	Regulační diagram s prvotními daty	60
Obr. 24)	Volba testů pro regulační diagram	61
Obr. 25)	Odstranění bodů 7 a 13 z dat regulačního diagramu	61
Obr. 26)	Přidání regulačních mezí	62
Obr. 27)	Regulační diagram s novými parametry	62
Obr. 28)	Fixace podskupiny a parametrů	63
Obr. 29)	Finální regulační diagram	63
Obr. 30)	Nastavení zdroje dat pro binomické rozdělení	64
Obr. 31)	Binomická způsobilost	64
Obr. 32)	PPM dodavatele	65
Obr. 33)	Posuzovaný díl	66
Obr. 34)	Nastavení způsobilosti měřidla v Minitab	67
Obr. 35)	Způsobilost měřidla v Minitab	68
Obr. 36)	Vyhodnocení způsobilosti měřidla v Palstat	68
Obr. 37)	Nastavení ANOVA	69
Obr. 38)	Vyhodnocení významnosti interakce v ANOVA	70
Obr. 39)	Nejistoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti	70
Obr. 40)	Výsledky nejistot v Palstat ANOVA	71
Obr. 41)	Gage Linearity and Bias Study	71
Obr. 42)	Příklad plánu kontrol	72
Obr. 43)	Přechodová pravidla [14]	74
Obr. 44)	Zóny nejistot [17]	74
Obr. 45)	Grafická interpretace přijetí dílu dle ČSN EN ISO 14253-1:2018	75

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Součinitele pro určení přímek regulačních diagramů.....	87
---	----

1. PŘÍLOHY

Příloha 1 Součinitele pro určení průmek regulačních diagramů

Rozsah podskupin n	Součinitele pro regulační meze											Součinitele pro centrální průmku	
	\bar{X} -diagram			s-diagram				R-diagram *				S použitím s^*	S použitím R^*
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	d ₂
2	2,121	1,880	2,659	–	3,267	–	2,606	–	3,686	–	3,267	0,7979	1,128
3	1,732	1,023	1,954	–	2,568	–	2,276	–	4,358	–	2,575	0,8862	1,693
4	1,500	0,729	1,628	–	2,266	–	2,088	–	4,698	–	2,282	0,9213	2,059
5	1,342	0,577	1,427	–	2,089	–	1,964	–	4,918	–	2,114	0,9400	2,326
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	–	5,079	–	2,004	0,9515	2,534
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,205	5,204	0,076	1,924	0,9594	2,704
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,307	0,136	1,864	0,9650	2,847
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,394	0,184	1,816	0,9693	2,970
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,686	5,469	0,223	1,777	0,9727	3,078
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	3,173
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,923	5,594	0,283	1,717	0,9776	3,258
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	3,336
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	3,407
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,740	0,347	1,653	0,9823	3,472
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	3,532
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	3,588
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,609	0,9854	3,640
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,489	5,889	0,404	1,596	0,9862	3,689
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	3,735
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,606	5,951	0,425	1,575	0,9876	3,778
22 ^{NPS)}	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,660	5,979	0,435	1,567	0,9882	3,819
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,711	6,006	0,443	1,557	0,9887	3,858
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,032	0,452	1,548	0,9892	3,895
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,805	6,056	0,459	1,541	0,9896	3,931

* Nedoporučuje se pro rozsah výběru $n > 10$.