

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra statistiky



Bakalářská práce

**Statistická analýza měřicího procesu
u vybraných dílů v letecké výrobě**

Iveta Dvořáková

© 2018 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Iveta Dvořáková

Provoz a ekonomika

Název práce

Statistická analýza měřicího procesu u vybraných dílů v letecké výrobě

Název anglicky

Statistical analysis of measuring process of selected components in the aviation industry

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit měřicí proces výrobního procesu vybraných dílů v leteckém průmyslu. Snahou bude zjistit, do jaké míry jsou získaná data z měření dílů na výstupu výrobního procesu ovlivněna variabilitou samotného měřicího procesu a zda je použití těchto dat vhodné pro řízení kvality.

Metodika

Vyhodnocení bude vycházet z dat vstupů do výrobního procesu, kde bude proveden výpočet podílu variability měření na variabilitě výrobního procesu, variability měření jednotlivých kontrolorů, bude stanovena variability dílů a variabilita měřidla s cílem určit způsobilost měřicího procesu. Měřicí proces bude pak zhodnocen analýzou R & R.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Konkurenceschopnost, výroba, kvalita, stabilita procesu, regulační diagram, odlehle body, trend, cykly, tendence, index způsobilosti

Doporučené zdroje informací

- BRČÁK, J. – SEKERKA, B. *Mikroekonomie*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010. ISBN 978-80-7380-280-6.
- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA, – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA STATISTIKY, – KÁBA, B. – SVATOŠOVÁ, L. *Statistické metody II*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2008. ISBN 978-80-213-1736-9.
- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA, – HRON, J. *Dovednosti v řízení*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2013. ISBN 978-80-213-2417-6.
- HOŠKOVÁ, P. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA STATISTIKY, – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA. *Statistika I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2013. ISBN 978-80-213-2341-4.
- HRONOVÁ, S. – SEGER, J. – HINDLS, R. *Statistika pro ekonomy*. Praha: Professional publishing, 2006. ISBN 80-86419-99-1.
- MESSINA W.S., *Statistical quality control for manufacturing managers*. New York: John Wiley and Sons, 1987. ISBN 0-471-85774-2
- NENADÁL, J. – NOSKIEVIČOVÁ, D. – PETŘÍKOVÁ, R. – PLURA, J. – TOŠENOVSKÝ, J. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management press, s.r.o., 2011. ISBN 978-80-7261-186-7.
- PANDE, P S. – CAVANAGH, R R. – NEUMAN, R P. *Zavádíme metodu Six Sigma, aneb, Jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. Brno: TwinsCom, 2002. ISBN 80-238-9289-4.
- TÖPFER, A. *Six Sigma : koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1766-8.
- VEBER, J. a kol. *Management kvality, prostředí a bezpečnosti práce*. Praha: Management press, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-7261-210-9
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Tomáš Hlavsa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra statistiky

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2018

prof. Ing. Libuše Svatošová, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2018

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci: „Statistická analýza měřicího procesu u vybraných dílů v letecké výrobě“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 13.03.2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Hlavsovi, Ph.D. za vedení, vstřícnost při konzultacích a cenné rady během zpracování.

Dále bych chtěla poděkovat letecké společnosti za spolupráci, vstřícný přístup a poskytnutí údajů pro vyhotovení této bakalářské práce.

Statistická analýza měřicího procesu u vybraných dílů v letecké výrobě

Abstrakt

Vzhledem ke globalizaci a tvrdému konkurenčnímu boji na trhu je na firmy vyvíjen stále větší tlak na výkonnost, efektivitu a konkurenceschopnost. Na tento tlak musí firmy reagovat skrze zvyšování kvality výrobků a snižování cen. Jedině tak mohou očekávání zákazníků naplnit, v ideálním případě i předčít a tím zvyšovat svůj tržní podíl.

Firma, která se rozhodne zasáhnout do výrobního procesu za účelem optimalizace, se rozhoduje na základě informací z výstupu výrobního procesu, které jsou sbírány v operaci kontroly kvality výrobků. Statistickou analýzou procesu měření je schopna ověřit správnosti těchto informací a předejít tak špatným manažerským rozhodnutím.

Účelem této práce je ověřit způsobilost měřicího procesu pomocí statistické analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření, na pracovišti kontroly jakosti vyráběných dílů ve společnosti působící v leteckém průmyslu. Analýza prokázala, že data získávaná na výstupu výrobního procesu jsou z velké míry ovlivněna variabilitou měření. Měřicí proces je vyhodnocen jako nezpůsobilý a je navržena změna kontrolního procesu.

Klíčová slova: konkurenceschopnost, kvalita, statistická analýza, stabilita, proces, měřicí systém, způsobilost měření, opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Statistical analysis of measuring process of selected components in the aviation industry

Abstract

Because of globalization and aggressive concurrence politic on the market are companies under increasing pressure in term of performance, efficiency and quality. This pressure pushed companies to increase quality level and decrease price. Only by this way, can the companies fulfill expectations of the customers, or possibly surpass it and increase so share on the market.

Company which decide to modify own production process for optimization is taking the decision based on evaluation of production process performance, which is monitored in the quality inspection process. By statistical analysis of the inspection process is the company able to verify value of this information and avoid incorrect decisions in management. Target of this study is verification of inspection process capability by using statistical analysis of repetitiveness and reproducibility of measuring at the workplace of quality control of the manufactured parts in a company operating in the aviation industry. The analysis showed that the data obtained at the output of the manufacturing process are largely influenced by the variability of the measurement. The measurement process is evaluated as ineligible and a change in the control process is proposed.

Keywords: competitiveness, quality, statistical analysis, stability, process, measuring system, measurement capability, repeatability and reproducibility

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Cíl práce a metodika	14
2.1 Cíl práce	14
2.2 Metodika	14
3 Jakost a variabilita procesu měření.....	15
3.1 Jakost a management jakosti.....	15
3.1.1 Úvod do pojmosloví.....	15
3.1.2 Vývoj managementu jakosti	15
3.1.3 Jakost jako jeden z pilířů prosperity organizace.....	16
3.2 Náhodné a vymezitelné příčiny variability procesu.....	18
3.3 R&R analýza variability měřicího procesu	21
3.4 Způsoby grafického znázornění proměnlivosti procesů	25
3.4.1 Puntíkový diagram.....	25
3.4.2 Tabulka četností.....	26
3.4.3 Histogram.....	26
3.4.4 Krabicový diagram	27
3.4.5 Paretova analýza	28
3.4.6 Regulační diagram	29
3.4.6.1 Rozdělení regulačních diagramů	30
3.4.6.2 Určení regulačních mezí.....	31
4 Statistická analýza měřicího procesu	32
4.1 Charakteristika společnosti, výrobního programu a procesu	32
4.1.1 Představení společnosti.....	32
4.1.2 Popis výrobního programu.....	33
4.1.3 Popis vybraného procesu (výrobní operace včetně operace kontroly)	33
4.2 Analýza variability měřicího procesu – výchozí stav	35
4.2.1 Podmínky a sběr dat kontrolního procesu.....	35
4.2.2 R & R analýza.....	36
4.2.3 Vyhodnocení výsledků R & R analýzy - výchozí stav	40
4.3 Metody použité k definici příčin a nápravných opatření	41
4.3.1 Definice příčin variability procesu měření	41
4.4 Analýza variability měřicího procesu – po implementaci opatření	42
4.4.1 Vyhodnocení výsledků R & R analýzy - po implementaci opatření	43
5 Závěr.....	44
6 Seznam literatury	46

7 Seznam obrázků	48
8 Seznam tabulek.....	48
9 Seznam příloh	48

1 Úvod

V dnešní době, kdy je trhu silná (někdy až dokonalá) konkurence, vzniká velmi silný konkurenční tlak na jakost výrobku, jeho cenu a technickoekonomickou úroveň. Zejména pak u výrobní společnosti působící v leteckém odvětví je vysoký tlak ještě na spolehlivost, bezpečnost a environmentální ohleduplnost jejich výrobků. Proto jsou dnes již samozřejmostí požadavky na certifikaci systémů řízení jakosti podle norem řady ISO 9000 a dalších dokumentů dokladujících jakost výrobních procesů a výrobků. Jde tedy o ucelený systém řízení jakosti, který je celosvětově uznáván a jeho používání je mnohdy vyžadováno zákazníkem.

Při rozvoji, zavádění, udržování a zlepšování systému managementu jakosti jsou užitečné zejména statistické metody. Tyto metody jsou popsány normou ČSN ISO/TR 10017. Díky těmto metodám můžeme variabilitu procesu popisovat, analyzovat a interpretovat. Statistická analýza výstupů z výrobních procesů může pomoci výrobní společnosti lépe pochopit charakter, velikost variability a určit zdroje variability. Tím lze dosáhnout efektivnějšího řešení, dokonce i prevenci problémů, které z takové variability pramení. V leteckém odvětví se stále více rozšiřují požadavky na vyhodnocování stability výrobních procesů a stability měření. Před zahájením výroby dílů je téměř vždy vyžadována analýza rizik a při zjištění neshodných dílů, použití nemalého množství nástrojů pro definici příčin zmetkovitosti a nápravných opatření. V dnešním náročném světě není dostačující pouze zajištění kvality, ale zajištění opakované kvality, tedy standardizace výroby.

Statistické metody pro analýzu měřicího procesu tedy umožní rozpoznat, jestli získávaná data měření jsou vhodná pro každodenní manažerské rozhodování a tím společnosti pomáhají v nestálém zlepšování svých procesů. Dále pomáhají zabezpečit spokojenost zákazníků, v leteckém odvětví hlavně bezpečnost pasažérů na palubě letounu. Není přijatelné, aby mezi bezpečnostně relevantními díly se i v jednom z tisíce případů objevil vadný kus, který by kvůli velké variabilitě měření nebyl detekován. Takový únik kvality by mohl ovlivnit ovladatelnost letounu nebo přímo zapříčinit jeho pád.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit měřicí proces výrobního procesu vybraných dílů v leteckém průmyslu. Snahou bude zjistit, do jaké míry jsou získaná data z měření dílů na výstupu výrobního procesu ovlivněna variabilitou samotného měřicího procesu a zda je použití těchto dat vhodné pro řízení kvality.

2.2 Metodika

Statistická analýza procesu měření je provedena na vybraných dílech, jež jsou součástí hydraulických podvozkových sestav vyráběných pro francouzského zákazníka. Podnikem stanovená kritická část výrobního procesu je výrobní kontrola na stanovišti povrchových úprav. Ta má v zodpovědnosti kontrolu tloušťky eloxované vrstvy na vyráběných dílech a zanesení těchto dat do inspekčních plánů. Metoda samotného měřicího procesu je popsána normami zákazníka PCS 2220 a NFC 40-761-02MDE.

Pro efektivní řízení vybraného procesu kvality je nutné nejprve analyzovat výchozí stav měřicího procesu. K analýze výchozího stavu a k určení způsobilosti měřicího procesu pomůže výpočet podílu variability měření na variabilitě výrobního procesu, variability měření jednotlivých kontrolorů, variability dílů a variability měřidla. Pro tento výpočet použijeme analýzu R & R (opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření). Pomocí této analýzy zjistíme jakou mírou je proces měření ovlivněn variabilitou měřidla – opakovatelnost zn. EV, variabilitou kontrolorů – reprodukovatelnost zn. AV a celkovou variabilitu vyjádřenou ve vztahu k tolerančnímu poli zn. %R&R – je hodnota, podle níž se vhodnost systému měření přímo posuzuje.

V případě způsobilosti procesu měření není nezbytně nutné kontrolní proces regulovat a sbíraná data kvality mohou posloužit jako vhodný zdroj dat pro další rozhodnutí s cílem optimalizace výroby. Pokud měřicí proces bude vyhodnocen jako nezpůsobilý, je nutné pomocí dalších kvalitativních nástrojů určit možné příčiny zjištěné variability, odstranit jejich vliv na měřicí proces a ten znovu analyzovat. Pokud je proces i po aplikaci opatření stále nevyhovující, je nutné změnit celý měřicí proces například novou kontrolní metodikou.

3 Jakost a variabilita procesu měření

3.1 Jakost a management jakosti

3.1.1 Úvod do pojmosloví

Kvalitu neboli jakost definuje nespočetné množství různých publikací po celém světě. Philip B. Crosby, významný obchodník a manažer kvality, ve svých publikacích napsal: „*Jakost je shoda s požadavky*“ [14] Joseph M. Juran, rumunsko-americký inženýr a manažer, konzultant v oblasti kvality a řízení kvality, vymezuje kvalitu jako „*vhodnost k účelu nebo používání*.“ [9]

Oficiální a celosvětově uznávanou definici považujeme tu z norem ISO ř. 9000. Norma ČSN EN ISO 9000: 2006 uvádí, že kvalita je „*Stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik*.“ [3] Touto formulací je uvedeno, že jde o stupeň splnění, a tudíž můžeme kvalitu považovat za veličinu měřitelnou. Měříme splnění inherentních charakteristik. Inherentní charakteristiky jsou znaky či vlastnosti, jež jsou pro daný produkt typické (např. vůně parfému, chuť pokrmu atp.). Zároveň rozlišuje jednotlivé produkty stejného charakteru (substitutů) na trhu.

V současnosti, hovoříme-li o kvalitě daného výrobku, vymezíme tím pouze malý podíl celkového uspokojení zákazníka. Rozhodující pro uspokojení zákazníka jsou i procesy předcházející výrobě, pak také služby zákazníkovi po samotném prodeji výrobku např. servis, reklamace a jiné. Jakožto členem evropské unie musí ČR a všechny organizace zde působící klást důraz na životní prostředí a bezpečnosti práce dle legislativy. Jde tedy o ucelený systém managementu jakosti. Systémy managementu jakosti garantují spokojenost všech zainteresovaných stran při minimálních spotřebách vstupních zdrojů a doporučují postupy pro kontinuální zlepšování.

3.1.2 Vývoj managementu jakosti

Pojem „kvalita“ (z latinského slova „qualis“ - jaký) byl používán již ve starověkém Řecku. První výklad významu slova je připisován Aristotelovi, který definuje kvalitu jako povahu určité skutečnosti [5]. Ačkoliv se mění co do intenzity, nelze ji měřit a je tedy protikladem kvantity. Pro nynější aplikaci všech směrů ekonomiky je však tato formulace nevhodná.

Zejména na konci minulého století prošla kvalita významným vývojem. Během 2. průmyslové revoluce byly sestaveny první montážní linky a došlo k masové produkci. Henry Martin Ford, podnikatel a průkopník v automobilovém průmyslu, ve svých závodech poprvé v historii vyčlenil kontrolu kvality z dělnických činností. Kontrolu prováděli ti nejzkušenější zaměstnanci s nejdéle trvajícím praxí. Výrobní časy na jednotlivých výrobních stanovištích se významně zkrátily a zvýšila se tím produktivita práce. Vyčlenění přináší ale také velkou nevýhodu - dělník bez nutnosti kontroly odvedené práce ztrácí zodpovědnost a kvalita jeho odváděné práce se snižuje. Procento zmetkovitosti výrobků se zvyšuje a je nutné zavést kvalitativní nástroje snižující zmetkovitost výroby, jak popisuje kolektiv autorů publikace [14].

Pro kontrolní stanoviště Henry M. Ford poprvé definoval kontrolní plány, podle kterých kontrola probíhá. Cílem je napomoci tomu, aby kontrolor neopomenul zkontrolovat některou z charakteristik výrobku, nespletl kontrolované rozměry či toleranční pole a provedl správně vizuální kontrolu. Stoprocentní kontrola všech charakteristik výrobku je ale velmi nákladná a časově náročná, proto je nutné se zabývat otázkou statistické kontroly. V roce 1924 Walter A. Shewhart určil problém variability výrobního procesu. Poprvé zakreslil variabilitu do jednoduchého diagramu, z něhož dokázal určit odchylky náhodné a nenáhodné, tím položil základy statistickým metodám kontroly jakosti. Podle W. A. Shewharta: *„Řízený proces je ten, u kterého dokážeme na základě předchozí zkušenosti alespoň v určitých mezích předpovědět jeho budoucí chování.“* [18]

3.1.3 Jakost jako jeden z pilířů prosperity organizace

Základním cílem většiny subjektů působících na trhu statků a služeb je jednoznačně maximalizace zisku. Ke zvyšování zisku dochází v případě, kdy zvyšuje svůj podíl na trhu. Vzájemné soupeření firem o tržní podíl nazýváme konkurencí. Publikace *„Mikroekonomie - teorie a praxe“* popisuje tržní struktury a vztahy mezi nimi. Uvádí, že subjekt považujeme za konkurenceschopný, pokud je schopen [2]:

- Udržet se na trhu, nebo svůj tržní podíl zvyšovat
- Plnit všechny své závazky (odvod daní, výplaty mezd zaměstnancům, platby dodavatelům za materiály a služby, údržba strojů a zařízení)

Subjekt je považován za nekonkurenceschopný, pokud není schopen [2]:

- Nabídnout statky či služby, které nejsou spotřebitelé ochotni kupovat
- Neplní všechny své závazky

Konkurenceschopnost lze zlepšit snížením nákladů oproti jiným podnikům v daném odvětví. Pokud se podnik potýká s vysokou mírou zmetkovitosti výroby, pak má nízkou výtěžnost materiálních vstupů a vynakládá další finanční prostředky na opravy zmetků nebo jejich likvidaci a mnoho dalších dodatečných nákladů. Tento efekt nazýváme ledovcovým efektem, viz obr. [11].

Obrázek 1: Ledovcový efekt - vysoké zmetkovitosti výroby

Tradiční náklady na neshody
- jednoduše identifikovatelné jsou jen špičkou ledovce



Dodatečné náklady na neshody - ztracené možnosti

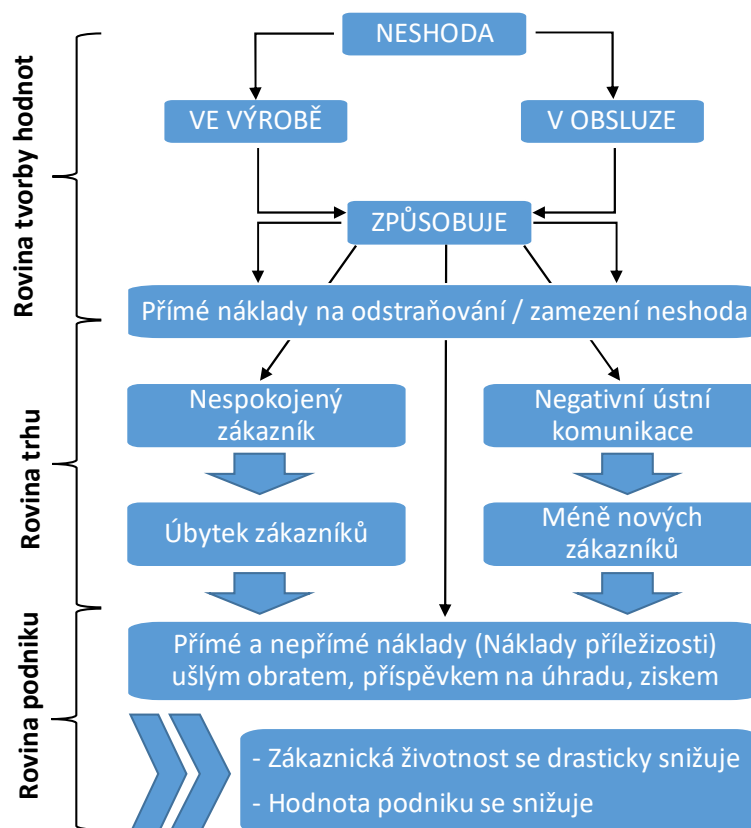
Zdroj: vlastní zpracování dle [11]

Produktivita reálná není rovna maximální možné produktivitě při nulové zmetkovitosti. Negativní účinek neshod na podnik je zobrazen na diagramu [14]. Zvýšení konkurenceschopnosti lze dosáhnout i zvýšením kvality vyráběných produktů. Pokud je výrobek kvalitnější za srovnatelnou cenu určenou trhem, zvyšuje podnik svůj tržní podíl větším prodejem výrobků spotřebitelům. Jestliže vlastní již větší tržní podíl, je schopen

ovlivňovat tržní cenu (ovlivňuje cenu svého výstupu). Spokojený a loajální zákazník je ochoten akceptovat vyšší kvalitu výrobku za mírné zvýšení ceny.

Právě díky konkurenčním bojům za cílem maximalizace zisku, jsou celosvětově považovány tři základní pilíře úspěšnosti podniků - náklady, jakost a čas. Podle [2] 66% všech příčin ztrát trhů padá na nízké jakosti výrobků nebo služeb.

Obrázek 2: Negativní účinek neshod na podnik



Zdroj: vlastní zpracování dle [18]

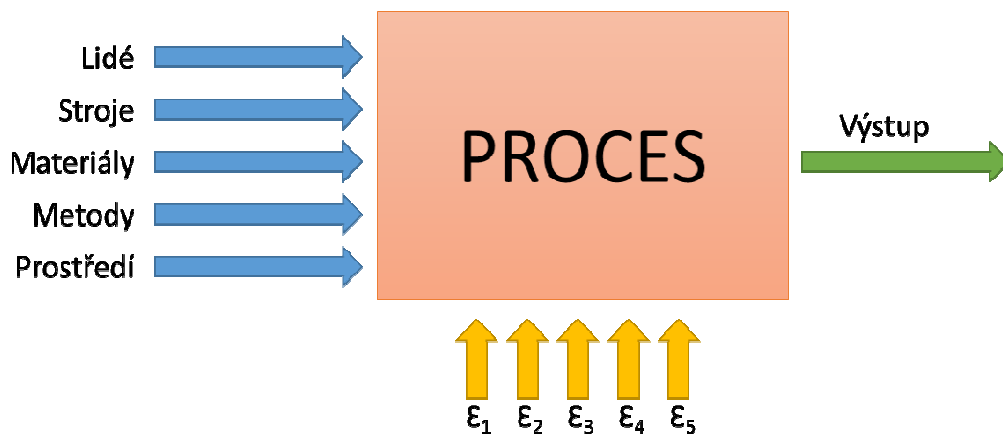
3.2 Náhodné a vymezitelné příčiny variability procesu

Statistické myšlení samo o sobě není nástroj. Je to spíše úhel pohledu, kterým pozorujeme svět okolo sebe. Takový pohled je důležitý, a to nejen pro technology, procesní inženýry, pracovníky kvality a všechny, kdo odpovídají za procesy, ale i pro samotné vedení podniků.

Procesem rozumíme každou činnost. Dříve se používaly spíše konkrétnější výrazy procesů (např. obrábění, slévání, lakování, měření atp). Také bývalo zvykem, že procesy,

kteře fungují, se snažíme dále neovlivnit a zachovat stejné výrobní podmínky se stálou zmetkovitostí např. pod 5 procent s naprostou závislostí na stoprocentní výstupní kontrole. Pokud ale vyrábíme letecké díly, v tom okamžiku musíme uvažovat jiným způsobem. Improvizaci nahradíme standardizací. V leteckém průmyslu jsou všichni kontroloři pravidelně školeni určitým spektrem standardů a schémat. Pro většinu evropských firem, působících v tomto odvětví, je nezávislým poskytovatelem služeb zahrnujícím certifikaci, validaci, ověřování a školení Lloyd's Register Quality Assurance (LRQA). Podle LRQA je společným rysem všech procesů existence mnoha výstupů a vstupů na druhé straně. Názorné zobrazení diagramem [9].

Obrázek 3: Složky procesu



Zdroj: vlastní zpracování dle [20]

Každý proces je neustále ovlivňován i dalšími jevy, pozorovatelnými i nepozorovatelnými. To znamená, že každý výstup procesu bude nějakým způsobem ovlivněn, a tím odlišen od nominálu.

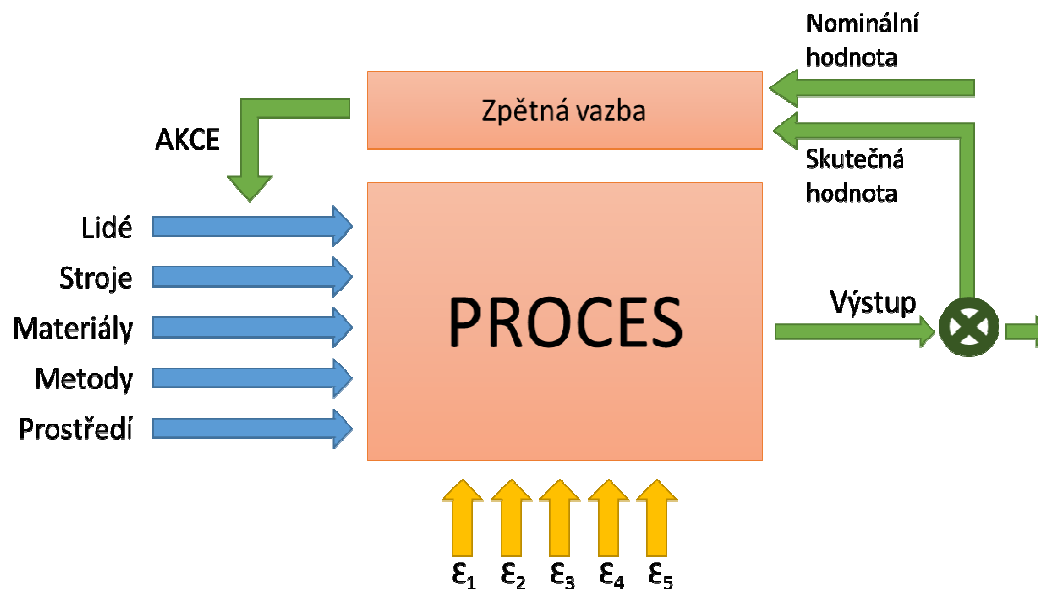
Náhodné příčiny proměnlivosti jsou příčiny, které nemůžeme nikdy zcela odstranit z působení v procesu. Určitou proměnlivost procesu musíme přijmout. V praxi se jedná například o nehomogenitu surovin, vůli v ložiskách výrobních či měřicích strojů, vliv teploty atd.

Vymezitelné příčiny proměnlivosti jsou příčiny, které musíme eliminovat, chceme-li stabilní proces. V praxi se s takovými příčinami setkáváme v podobě například cizího tělesa v surovině, zadření ložiska výrobních či měřicích strojů, hrubou chybou obsluhy atp.

Za stabilní pak dle [4] označujeme proces ovlivněný pouze náhodnými příčinami proměnlivosti, nikoli však příčinami vymezitelnými.

Na dalším diagramu 3. je použita tzv. zpětná vazba, což může být např. měření, jehož cílem je zjistit skutečnou hodnotu od hodnoty nominální. Údaj o rozdílu nominální a skutečné hodnoty je podkladem pro další rozhodnutí (regulace procesu).

Obrázek 4: Složky procesu se zpětnou vazbou

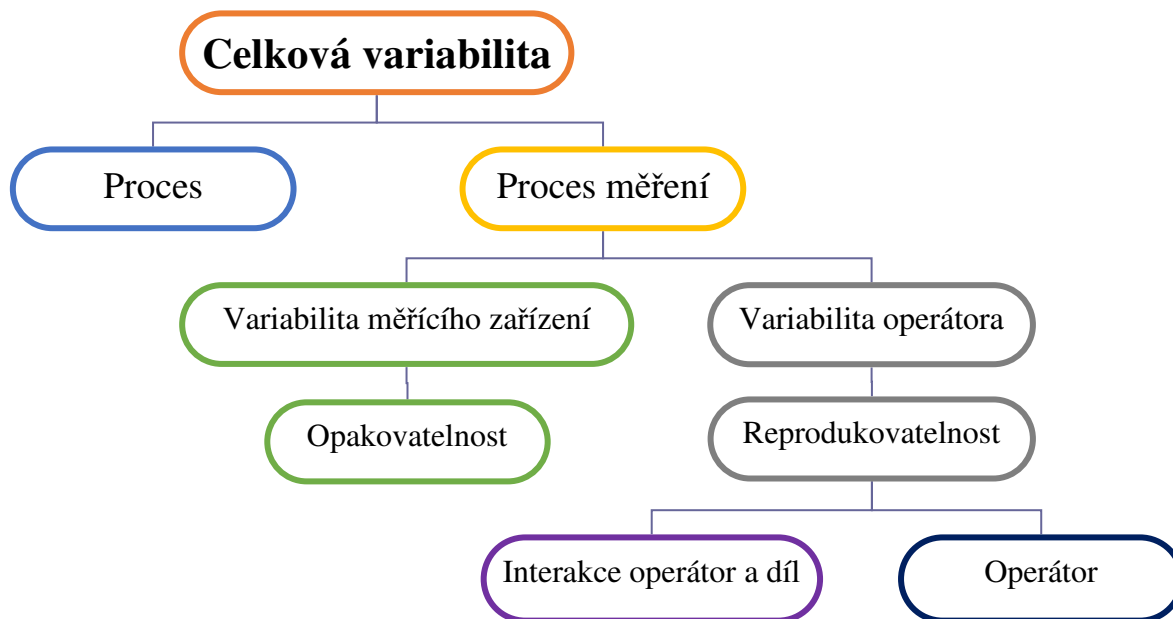


Zdroj: vlastní zpracování dle [20]

Uvažujeme-li výrobními procesy, procesy v oboru letectví, musíme si uvědomit, že vyrábíme i díly bezpečnostní. Pokud by se díl, který neodpovídá požadavkům zákazníka dle výrobní dokumentace, zamontoval do sestavy letounu a dostal se do běžného provozu, mohl by mít vliv dokonce i na přímé řízení či ovladatelnost letounu a tím ohrozit životy všech lidí na palubě. Z tohoto hlediska není přijatelný žádný únik kvality až k zákazníkovi. Pokud vezmeme v úvahu, že stoprocentní kontrola je časově i nákladově náročná, musíme začít uvažovat nad standardizací a například statistickou přejímkou dílů.

Řízení procesů pomocí zpětné vazby naráží v praxi na celou řadu problémů. Jedním z těchto problémů je proměnlivost měření, která se sčítá s vlastní proměnlivostí procesu, viz diagram 4. Pokud by proměnlivost měření byla ve srovnání s vlastní proměnlivostí procesu velká, regulační zásahy by reagovaly jen na náhodný šum měření a regulace by byla neúčinná, tudíž chceme proměnlivost měření znát. A proto bychom měli analyzovat stabilitu kontrolního procesu.

Obrázek 5: Rozdělení proměnlivosti procesu



zdroj: vlastní zpracování dle [8]

3.3 R&R analýza variability měřicího procesu

Pro analýzu stability kontrolního procesu použijeme nejčastěji používanou metodu analýzy opakovatelnosti měření (opakovaně měří stejný operátor) a reprodukovatelnosti měření (stejně měření, ale různí operátoři). V publikacích často značená jako R&R analýza z anglických pojmů „*Repeatability and reproducibility Study*“ nebo jako součást MSA (anglicky „*Measurement System Analysis*“ – v překladu *Analýza systému měření*). Analýza R&R vždy součástí nějakého systému řízení jakosti - buď podle zmiňované normy QS 9000, nebo jiné normy či celostní metody řízení kvality (TQM, SixSigma). „*Její účelem je posouzení variability, kterou do výsledku vnáší použitý systém měření.*“ [8]

Měřicí systém, jehož stabilitu posuzujeme, se skládá z několika známých proměnných, které bychom si měli před samotnou analýzou popsat (viz diagram 3) a neznámých proměnných, které jsou pro nás skryté. Pokud známé proměnné definujeme předem, můžeme tím předejít některým projevům nenáhodných příčin ve stabilitě měřicího procesu.

Znamé proměnné, které ovlivňují měřicí proces, jsou:

1. Měřený subjekt – typ dílů, podsestav, sestav

Pro správnou dohledatelnost naměřených hodnot, výsledku analýzy a následnou archivaci vytvořené dokumentace musíme k samotnému měření a analýze zaevidovat čísla dílů, podsestav, výrobního programu atp.

2. Měřená charakteristika – klíčová charakteristika

Vybraná charakteristika je definována výkresem výrobku nebo normou. Pro výpočet je nutné zjistit i předepsanou toleranci této charakteristiky.

3. Pracovník – operátor – kontrolor

Operátoři by měli být pro analýzu vybráni z těch, kteří běžně přístroj používají. Obvykle pro hodnocení systému měření postačují 3 operátoři. Pokud se operátor z hlediska variability jeví jako článek kritický, měli by se měření účastnit všichni operátoři.

4. Metoda měření

Měření provedeme v náhodném pořadí, operátoři by neměli vědět, který vzorek právě měří. Musíme však správně zaznamenat získaná data. Záznam může provádět například osoba, která řídí sběr dat a významu studie si je vědoma.

5. Měřidlo

Měřidlo určené zákazníkem pro měření nanosené vrstvy CAA, musí mít přiřazenou správnou měřicí sondu, která je dle návodu k obsluze měřidla definována na měření tloušťky těchto typů antikorozních povlaků.

6. Prostředí měření – teplota, vlhkost vzduchu, čistota dílů a měřidla atd.

Definované podmínky prostředí během měření jsou definovány návodem k obsluze a normou ČSN EN ISO 15548-1.

Definice základních ukazatelů metody R&R:

Opakovatelnost zn. EV – (často nazývána jako variabilita měřicího zařízení) je variabilita výsledků měření vyprodukovaná jedním měřicím přístrojem, použitým opakovaně jedním hodnotitelem měřicím jednu identickou charakteristiku na stejném výrobku. [6]

$$EV = \bar{\bar{R}} \cdot K_1 \quad (1)$$

kde $\bar{\bar{R}}$ je průměrné rozpětí
 K_1 je koeficient závisící na počtu opakování měření a na součinu počtu vzorků a počtu operátorů (viz tabulka v příloze č. 1.)

Průměrné rozpětí spočítáme:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{(\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C)}{n} \quad (2)$$

kde $\bar{R}_{A,B,C}$ je průměrné rozpětí naměřených hodnot operátorem A, B, C
 n je celkový počet opakování měření jednoho dílu jedním operátorem

Reprodukovatelnost zn. AV (často nazývána jako variabilita operátora) je variabilita v průměrech měření provedených různými hodnotiteli za pomoci stejného měřicího přístroje pro měření stejné charakteristiky na stejném výrobku (pokud máme více měřidel, můžeme hovořit o reprodukovatelnosti měřidel – místo operátora měníme měřidla). [6]

$$AV = \sqrt{\left[(\bar{X}_{DIF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{m \cdot n} \right) \right]} \quad (3)$$

kde \bar{X}_{DIF} je difference průměrů
 K_2 je konstanta
 n je počet pokusů měření
 m je počet měřených kusů

Diferenci průměrů spočítáme pomocí vztahu:

$$\bar{X}_{DIF} = \max(\bar{X}_A, \bar{X}_B, \bar{X}_C) - \min(\bar{X}_A, \bar{X}_B, \bar{X}_C) \quad (4)$$

kde $\bar{X}_A, \bar{X}_B, \bar{X}_C$ jsou aritmetické průměry průměrných hodnot každého měření kontrolora A, B, C.

Opakovatelnost a reprodukovatelnost zn. R&R - se stanovuje na základě opakovatelnosti EV a reprodukovatelnosti AV:

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (5)$$

Pokud chceme proces měření zlepšit, lze vyhodnotit jednotlivé příspěvky variability systému měření podílem opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zpravidla vyjádřené v procentech, tedy:

$$\% EV = (EV / TV) \cdot 100$$

$$\% AV = (AV / TV) \cdot 100$$

kde TV je celková variabilita viz vzorec (7).

Variabilita součástí zn. PV je definována jako variabilita mezi vzorky. Je to část, která doplňuje celkovou variabilitu procesu měření, ke které pouze opakovatelnost a reprodukovatelnost nepostačuje.

$$PV = R_p \cdot K_3 \quad (6)$$

kde R_p je aritmetický průměr rozptylu
 K_3 je koeficient závislý na počtu měřených vzorků
(viz tabulka příloha 1.)

Celková variabilita (TV)

$$TV = \sqrt{R \& R^2 + PV^2} \quad (7)$$

Celková variabilita vyjádřená ve vztahu k tolerančnímu poli zn. %R&R je hodnota, podle níž se vhodnost systému měření přímo posuzuje.

$$\%R \& R = \left(\frac{R \& R}{TV}\right) \cdot 100 \quad (8)$$

Obecné směrnice pro výše uvedenou charakteristiku [4]:

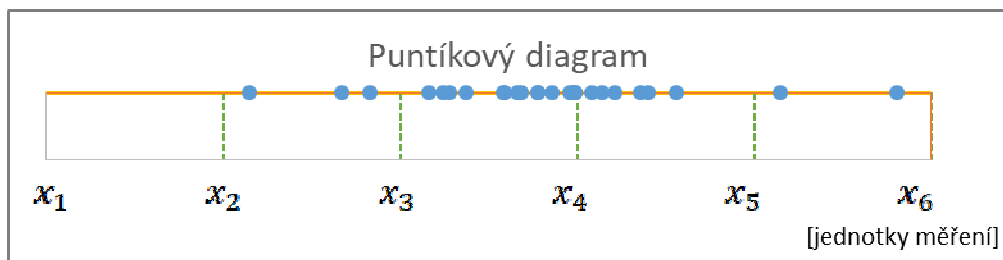
- **Pokud R&R% < 10%** - systém měření je přípustný vzhledem k procesu resp. tolerančnímu rozpětí
- **Pokud 10% < R&R% < 30%** - systém měření je podmíněně přípustný vzhledem k procesu resp. tolerančnímu rozpětí, závisí na poměru ceny nápravy a významnosti sledované veličiny.
- **Pokud R&R% > 30%** - systém měření není přípustný vzhledem k procesu resp. tolerančnímu rozpětí. (9)

3.4 Způsoby grafického znázornění proměnlivosti procesů

3.4.1 Puntíkový diagram

Nejjednodušším způsobem znázornění proměnlivosti procesu je puntíkový diagram někdy také tečkový diagram, angl. Dot Plot). Nevhodný je však pro měření více hodnot, v tu chvíli by bylo grafické znázornění nepřehledné. Vhodný je pouze tam, kde celkový počet měření je menší než 20. Svoji užitečnost prokáže puntíkový diagram v malých sériích nebo například při seřizování stroje. Na obrázku níže je ukázka puntíkového diagramu. Naměřené hodnoty y_i , kde $i =$ jsou vyznačeny modrým “puntíkem”.

Obrázek 6: Puntíkový diagram



zdroj: [1]

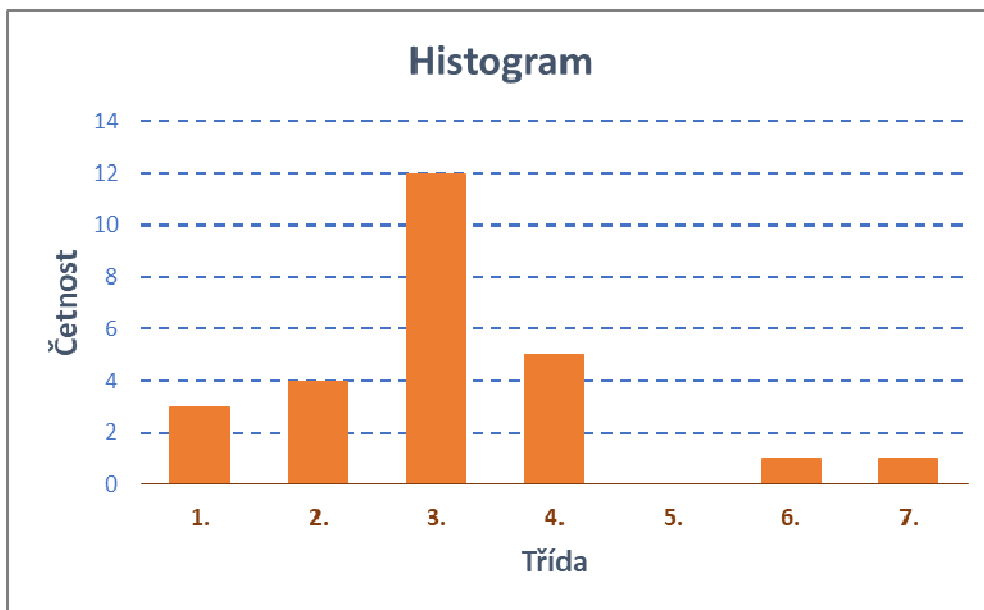
3.4.2 Tabulka četností

Pouhým zápisem naměřených hodnot do tabulky není možné proměnlivostí výstupu sledovat jakoukoliv závislost. Pokud bychom si hodnoty uspořádali podle velikosti, lze jednoduše zjistit podle první a poslední hodnoty, v jakém rozmezí leží. Střední hodnota souboru naměřených hodnot z tabulky není zřejmá. Rozdělíme však rozpětí do tříd a připíšeme-li k nim jednotlivé absolutní četnosti naměřených hodnot, pak znázorníme i střední hodnotu souboru naměřených hodnot.

3.4.3 Histogram

Převedením tabulky četností do grafického zobrazení pomocí sloupcového diagramu získáme tzv. Histogram. Na první pohled je zřejmý pokrok ve vypovídající hodnotě souboru dat na rozdíl od nahodilého zápisu naměřených hodnot do prosté tabulky. Histogram nám pomůže i velmi přibližně posoudit, zda rozdělení naměřených hodnot znaku jakosti lze aproximovat normálním rozdělením. Modelový příklad histogramu viz diagram 6.

Obrázek 7: Histogram – Modelový příklad



Zdroj: [12]

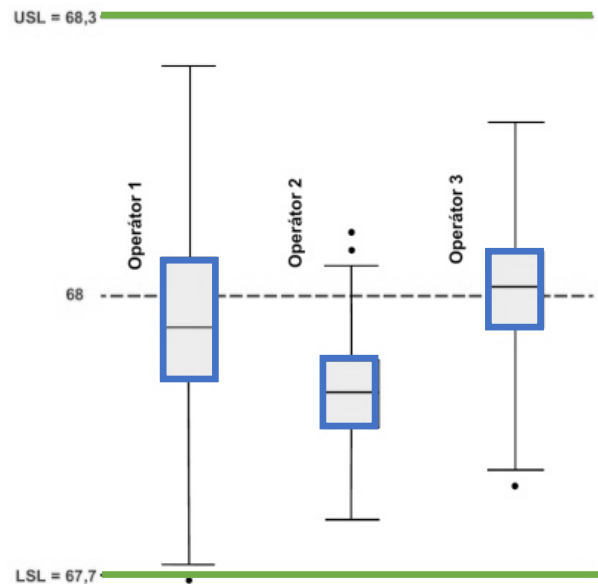
3.4.4 Krabicový diagram

Krabicový diagram, neboli v anglickém jazyce „Box Plot“, je jinou možností zobrazení proměnlivosti dat. Je zvláště vhodný při srovnání měření ze dvou nebo více souborů (např. hodnoty naměřené ve více směnách, více strojích, z více dávek materiálů). Krabicový diagram zobrazuje:

1. **Maximum** – maximální hodnota ze souboru dat
2. **Minimum** – minimální hodnota ze souboru dat
3. **Medián** – prostřední hodnota
4. **Horní čtvrtina** – pod horní čtvrtinou leží 75 procent ze souboru dat
5. **Dolní čtvrtina** – pod dolní čtvrtinou leží 25 procent ze souboru dat

Příklad použití krabicového diagramu pro kontrolu stability měření na jednotlivých směnách operátorů kontroly:

Obrázek 8: Krabicový diagram



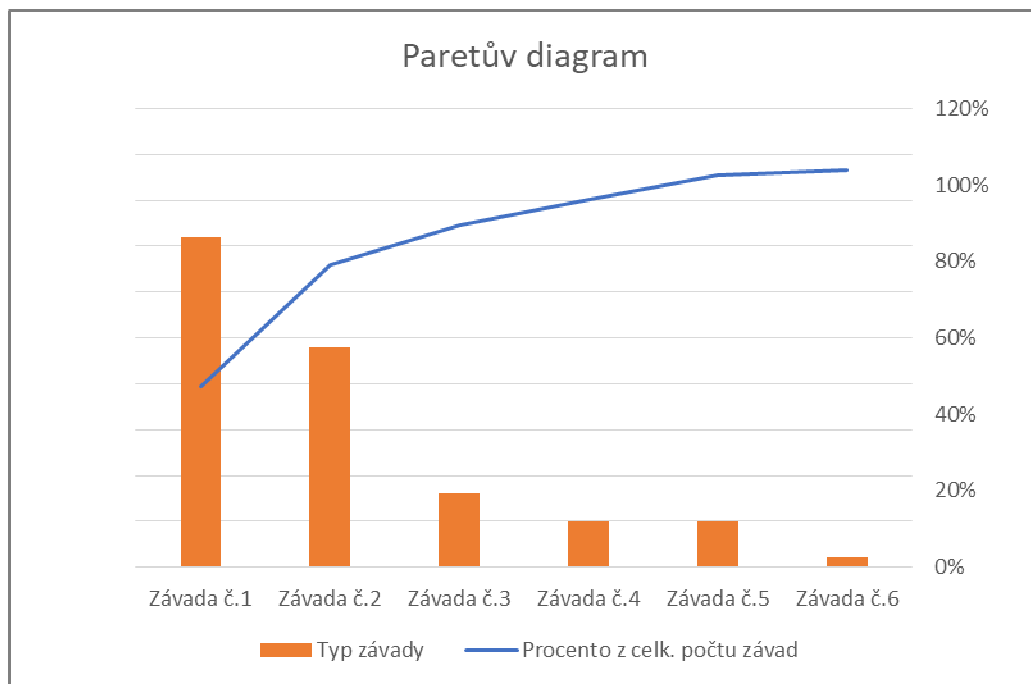
Zdroj: [16]

3.4.5 Paretova analýza

Italský ekonom a statistik Vilfredo Pareto se na počátku 20. století zabýval otázkou rozložení majetku ve společnosti. Dospěl k závěru, že zhruba 80 procent veškerého majetku v tehdejší italské společnosti leželo v rukou dvaceti procent vlastníků. [8]

Podobný poměr se v přírodě i v lidské společnosti prosazuje v mnoha případech. Mnoho problémů totiž vede na diferenciální rovnice, jejichž řešením jsou exponenciály. Paretova principu používáme i při analýze výsledků experimentu. Pomocí Paretovy analýzy jsme schopni najít dvacet procent příčin problému, které způsobují osmdesát procent následků či příznaku problémů. Paretovo pravidlo je tedy metodou pro účelné stanovení pořadí důležitosti příčin problémů, odděluje několik důležitých příčin od mnoha nevýznamných.

Obrázek 9: Paretův diagram



Zdroj: [8]

3.4.6 Regulační diagram

Jak bylo řečeno v kapitole 3.1.2 dle W. A. Shewharta: „Řízený proces je ten, u kterého dokážeme na základě předchozí zkušenosti alespoň v určitých mezích předpovědět jeho budoucí chování.“ Dokážeme-li popsat proměnlivost procesu pomocí průměrů, směrodatné odchylky či rozpětí, pak jsme schopni s určitou pravděpodobností, predikovat budoucí chování procesu a zajistit tak, aby se kvalita výstupu z procesu pohybovala v předem stanovených a přijatelných mezích.

Za rozumné řízení procesů nazýváme takové řízení, které přináší nejvyšší kvalitu produktu a nejnižší náklady. V procesu působí pouze náhodné příčiny proměnlivosti, do procesu nezasahujeme. Pokud se v procesu objeví nenáhodná příčina proměnlivosti, musíme ji najít a vhodným zásahem odstranit nebo potlačit.

Správnému a důslednému použití těchto pravidel v průmyslové praxi říkáme statistická regulace procesů (SPC). Při ní nám pomáhá tzv. regulační diagram, je jednoduchá pomůcka pro rozlišení mezi náhodnými a nenáhodnými příčinami proměnlivosti procesu.

3.4.6.1 Rozdělení regulačních diagramů

Vhodný regulační diagram je volen podle toho, zda je sledovaný znak měřitelný či neměřitelný, dále pak podle počtu prvků (n) ve výběrovém souboru. Druhy jednotlivých diagramů jsou popsány níže podle [4].

1. **Regulační diagramy měřením** – pokud sledované znaky jakosti jsou měřitelné, pracujeme s regulačními diagramy měřením.

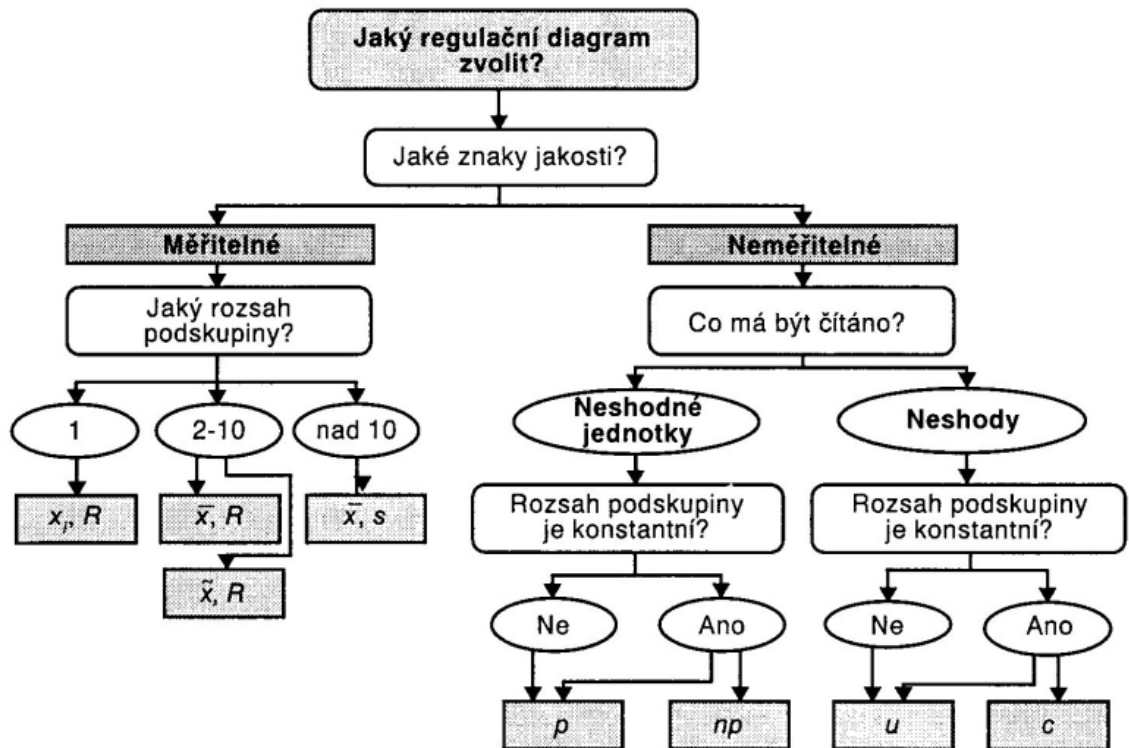
- **Pro výběrový průměr a rozpětí** ($\bar{X}; R$) – vhodnost použití je při rozsahu výběru $n=2$ až $n=10$ obvykle je voleno $n=4$ (5)
- **Pro výběrový průměr a směrodatnou odchylku** ($\bar{X}; \sigma$) – vhodnost použití při mechanizovaném výpočtu, kdy $n > 10$, protože odhad pomocí rozpětí u regulačního diagramu se stává méně přesným.
- **Pro výběrový medián a rozpětí** ($\tilde{X}; R$) – vhodnost použití pro rychlý výpočet charakteristiky polohy, zvláště u rozsahů výběru $n=3, 5, 7$, avšak s širším pásmem mezi regulačními mezemi, což znamená nižší citlivost na změny v procesu oproti diagramu ($\bar{X}; R$). Pro rozsah výběrů platí $n < 10$.
- **Pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí** ($X_i; R_{kl}$) – vhodnost použití pro jednočíselné informace, např. Výsledky destruktivních zkoušek

2. **Regulační diagramy srovnáváním** – pokud sledované znaky jakosti nejsou měřitelné, pracujeme s regulačními diagramy srovnáváním. Nejčastěji používanými regulačními diagramy srovnáváním jsou:

- diagramy pro podíl neshodných jednotek v podskupině (p)
- diagramy pro počet neshod v podskupině (c)
- diagramy pro průměrný počet neshod na jednotku v podskupině (u)

Při rozhodování o volbě regulačního diagramu je možné použít schéma na obr. 2.

Obrázek 10: Diagram pro volbu regulačního diagramu



Zdroj: [16]

3.4.6.2 Určení regulačních mezí

Určení regulačních mezí je jedním ze zásadních rozhodnutí, které musí být učiněno při návrhu regulačního diagramu. Posunem regulačních mezí dále od centrální přímky snížíme riziko chyby I. druhu – tj. situace, kdy bod leží za regulačními mezemi, ačkoli není přítomna žádná vymezitelná příčina. Rozšířením regulačních mezí však vzroste také riziko chyby II. druhu - tj. situace, kdy bod leží mezi regulačními mezemi, ale proces je statisticky nezládnutý. Nejčastěji se v praxi používají regulační diagramy, v nichž se promítá pouze riziko I. druhu [4].

4 Statistická analýza měřícího procesu ve vybrané společnosti

4.1 Charakteristika společnosti, výrobního programu a procesu

4.1.1 Představení společnosti

Vybraná společnost je největší letecký výrobce v České republice a historicky největší producent cvičných proudových letounů na světě o velikosti přibližně 1900 zaměstnanců.

Společnost s ručeným omezením byla založena roku 1919. Z počátku byla společnost zaměřena na výrobu leteckých dílů a opravy letadel. Ještě ten samí rok, představila společnost svůj první vlastní prototyp vojenského letounu v Brandenburském tvaru. Brzy následovala objednávka ministerstva obrany na sériovou výrobu. O dva roky později zveřejnila i první civilní letecký letoun. Během období první republiky přinesla společnost mnoho československých prvenství v představení nových prototypů letounů či nápaditých konstrukčních řešení a patentů. V roce 1953 byla ve společnosti vybudována nová zařízení navržená zcela pro výrobu proudových letounů a v tomtéž roce zahájila provoz. Dominantními programy společnosti během 60. a 70. let proudových cvičných letounů byly- L-29 Delfín a L-39 Albatros. Řada letectev po celém světě stále využívá vynikající výcvikové kvality tohoto cenově přijatelného letadla. Sklonem 90. let přinesl začlenění západní avioniky a standardů, stejně tak jako používání výkonnějších amerických motorů a globálního vybavení, a tím zahájení nové kapitoly života společnosti. Vzešly s tím nové modely L-159 a Letoun L-59 Super Albatros.

Od roku 2000 zahájila společnost spolupráci s několika světovými firmami např. výroba vrtulníků pro americkou společnost, výroba potahů a dveří pro letoun Boeing 757, výroba střední části křídla C-27J Spartan italského zákazníka.

V posledních letech byly podepsány smlouvy na výrobu hydraulických podvozkových sestav pro letouny A320 a A319 pro francouzskou společnost. Výroba náběžných hran křídel, dveří a nákladové rampy pro nákladový vojenský letoun KC-390 brazilské společnosti a spousta dalších neméně významných smluv uzavřených s partnery po celém světě. V roce 2014 oznámila společnost zahájení vývoje vlastního letounu L- 39 New Generation.

4.1.2 Popis výrobního programu

Roku 2011 byl společností podepsán kontrakt s francouzským zákazníkem, který rozšířil výrobu společnosti o hlavní části hydraulických podvozků pro Airbus A320 a A321. Hlavní hydraulická část je u zákazníka spojena s hlavní podvozkovou nohou, v Anglii je celá sestava podvozku namontována na letadlo a naposledy odzkoušena.

Hydraulické části vyráběné ve vybrané společnosti podléhají velmi přísným konstrukčním požadavkům. Jejich nekvalita by mohla mít za vliv zaseknutí hydraulického systému, tedy nevysunutí/nezasunutí podvozku letadla. Vzhledem k tomu, že se jedná o letadla přepravující při maximální obsazenosti až 185 lidí, je společenskou nutností zajistit jejich bezpečnost.

Hydraulická sestava je složena z přibližně z 200 různých typů dílů (Nohy, ramena, pístnice, válce, pružiny aj.). Bezpečnostně relevantní díly a rozměry jsou definovány konstrukcí společnosti zodpovídající za konečnou sestavu letadla Airbus.

Se zákazníkem je ke kontraktu podepsán i plán kvality (Quality plan), který definuje podmínky kvality a vyráběných dílů, jenž je společnost povinna plnit. Tento plán kvality obsahuje mimo jiné definici kontrolního procesu First Article Inspection (FAI). Před zahájením sériové výroby jakéhokoliv dílu pro zákazníka, je nutné provést kontrolní proces FAI a získat schválení výsledného protokolu zákazníkem. Pro relevantně bezpečnostní díly je tento kontrolní proces rozšířen o analýzu rizik (DFMEA vytvořenou na základě Ishikawa diagramu), analýzu stability výrobního procesu (SPC), analýzu kontrolního procesu (R & R) a podrobný popis celého procesu pomocí metodiky UPAP.

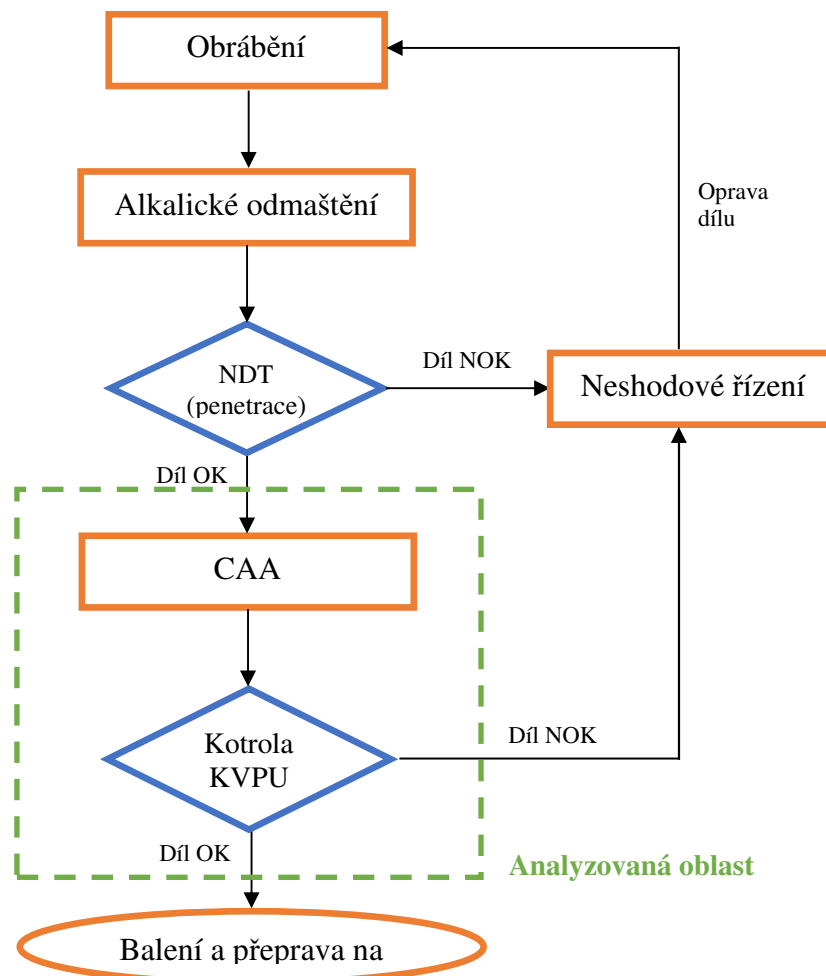
4.1.3 Popis vybraného procesu (výrobní operace včetně operace kontroly)

Hlavní části hydraulické sestavy tvoří díly vyrobené z hliníkových odlitků. Pro celistvost a neporušenost povrchové molekulární vrstvy jsou opracovávány pouze některé funkční části odlitků, zbytek povrchu však zůstane neopracovaný, pouze očištěn a mechanicky zpevněn. Na obrobených částech jsou definovány tzv. klíčové charakteristiky, které přímo určují funkčnost celé sestavy.

Na všechny nosné díly hydraulické sestavy, a to i přes rozměry definované jako klíčové charakteristiky, je po obrábění a mechanickém zpevnění povrchu nanášena ochranná vrstva anodickou oxidací v kyselině chromové (zn. CAA), která má chránit díly před korozí a vlivy vnějšího prostředí během provozu letadla. Proto je i tloušťka této

nanesené vrstvy pro nás klíčovou charakteristikou. Proces je specifikován normou zákazníka PCS2220 a IFC 40-761-02MDE vydání 3.0. Zkoumaný proces je znázorněn pomocí diagramu 9. níže:

Obrázek 11: Popis zkoumaného procesu



Zdroj: Vlastní zpracování dle průvodky práce

Kontroluje se výstup z procesu v podobě tloušťky nanesené vrstvy procesem CAA na celém povrchu dílů. Měření probíhá metodou vířivých proudů (měřicí mód N). Vířivé proudy se používají na měření tloušťky elektricky nevodivých vrstev na elektricky vodivém podkladu.

Vlastnosti nanesené vrstvy jsou definovány dle normy zákazníka IFC 40-761-02MDE vydání 3.0:

- **Pro díly z materiálu - hliníková slitina č. 7075 má být aplikována vrstva CAA o tloušťce $\geq 2\mu\text{m}$ (horní hranice tloušťky vrstvy definována není)**

Kontrola je prováděna podle normy zákazníka PCS 2220. Definované měřidlo schválené zákazníkem je Dualscope FMP 20 od firmy Fischer. Ruční přístroj Dualscope pracuje na principu magnetické indukce a umožňuje měřit např. vrstvy zinku, cínu, chrómu, mědi, laků a plastů na oceli nebo železe. Přístroj pracuje na principu vířivých proudů a výrobce uvádí, že lze s nimi měřit vrstvy eloxu, barev, laků a plastů na hliníku, mědi a dalších barevných kovech. [17]

Pro kontrolu stability výrobního procesu CAA i pro analýzu opakovatelnosti reprodukovatelnosti měření, byly vybrány dva reprezentativní díly ze sestavy:

- a) **Díl číslo:** 50-4525003-00, **Název:** Lower Stay
- b) **Díl číslo:** 201661306, **Název:** Bananne

4.2 Analýza variability měřicího procesu – výchozí stav

4.2.1 Podmínky a sběr dat kontrolního procesu

Měřicí systém, jehož stabilitu posuzujeme, se skládá z několika známých proměnných, které musíme před samotnou analýzou popsat, abychom v nejlepším případě předešli nenáhodným odchylkám měření.

1. Měřený subjekt

- Díl číslo: 201661306, Název: Bananne, Počet dílů: 10

2. Měřená charakteristika

- Tloušťka nanesené vrstvy procesem CAA ($\geq 2\mu\text{m}$), na vyznačeném místě

3. Pracovníka/ operátora/ kontrolora

- operátor A, operátor B, operátor C

4. Metoda měření

- Metodika popsána normou zákazníka PCS2220, Výtah z normy byl zpracován procesním technologem do Technologické návodky TEN 13 3001 pro snadné použití kontrolorem.

5. Měřidlo

- Dualscope FMP20

6. Prostředí měření

- Podmínky pro měření jsou definovány v normě zákazníka PCS2220, TEN 13 3001 a v návodu pro obsluhu měřicího přístroje.

4.2.2 R & R analýza

R&R analýzu provedeme na rozsahu, který byl stanoven na základě oborové normy QS 9000 MSA, 4. vydání. Definovaný rozsah:

- 10 kusů dílů (Bananne)
- 3 kontroloři kvality (kontrolor A, kontrolor B, kontrolor C)
- 3 pokusy (jeden kontrolor měří každý díl třikrát)

Naměřené hodnoty jednotlivých kontrolorů viz tabulka č. 4., 5. a 6., všechny uvedené hodnoty měření jsou v μm .

Tabulka 1: Naměřené hodnoty kontrolorem A

Kontrolor A					
Díl	Naměřené hodnoty			R	X _P
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.		
1.	2,10	0,27	1,40	1,83	1,26
2.	-3,00	2,20	-1,50	5,20	-0,77
3.	0,64	2,50	-4,50	7,00	-0,45
4.	3,00	-2,00	-2,30	5,30	-0,43
5.	-3,90	-3,50	-0,52	3,38	-2,64
6.	-1,90	-3,90	-1,40	2,50	-2,40
7.	2,40	-2,50	-1,30	4,90	-0,47
8.	1,10	4,00	-1,20	5,20	1,30
9.	-4,00	-2,30	-3,10	1,70	-3,13
10.	0,27	1,70	0,35	1,43	0,77
				\overline{R}_A	\overline{X}_A
				3,84	-0,70

Tabulka 2: Naměřené hodnoty kontrolorem B

Kontrolor B					
Díl	Naměřené hodnoty			R	X _P
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.		
1.	-3,40	-1,40	-0,22	3,18	-1,67
2.	2,90	2,60	6,40	3,80	3,97
3.	0,09	-0,25	-0,72	0,81	-0,29
4.	0,30	1,60	-0,89	1,30	1,10
5.	0,67	1,60	1,40	0,93	1,22
6.	4,10	2,60	2,20	1,90	2,97
7.	-1,40	-0,32	-3,50	3,18	-1,74
8.	1,20	2,50	1,30	1,30	1,67
9.	1,50	1,90	1,90	0,40	1,77
10.	0,62	-7,10	0,65	7,75	-1,94
				\overline{R}_B	\overline{X}_B
				2,57	0,63

Tabulka 3: Naměřené hodnoty kontrolorem C

Kontrolor C					
Díl	Naměřené hodnoty			R	X _P
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.		
1.	3,10	3,30	0,24	3,06	2,21
2.	3,20	2,40	1,40	1,80	2,33
3.	1,40	3,50	1,70	2,10	2,20
4.	2,70	1,30	2,00	1,40	2,00
5.	1,60	4,10	1,80	2,50	2,50
6.	2,80	4,20	3,00	1,40	3,33
7.	1,20	2,20	2,70	1,50	2,03
8.	2,50	2,10	4,20	2,10	2,93
9.	1,90	2,90	3,40	1,50	2,73
10.	3,00	2,90	-0,02	3,02	1,96
				\overline{R}_C	\overline{X}_C
				2,04	2,42

Před výpočtem opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření musíme určit průměrné rozpětí měření kontrolora A, kontrolora B a kontrolora C, a pak diferenci průměrů jejich měření.

Průměrné rozpětí dle vztahu (2):

$$\overline{R} = 2,82$$

Rozptyl měření jednotlivých kontrolorů je graficky znázorněn v následujícím grafu (10). Na jednotlivých měření kontrolorů jsou zajímavé některé jevy:

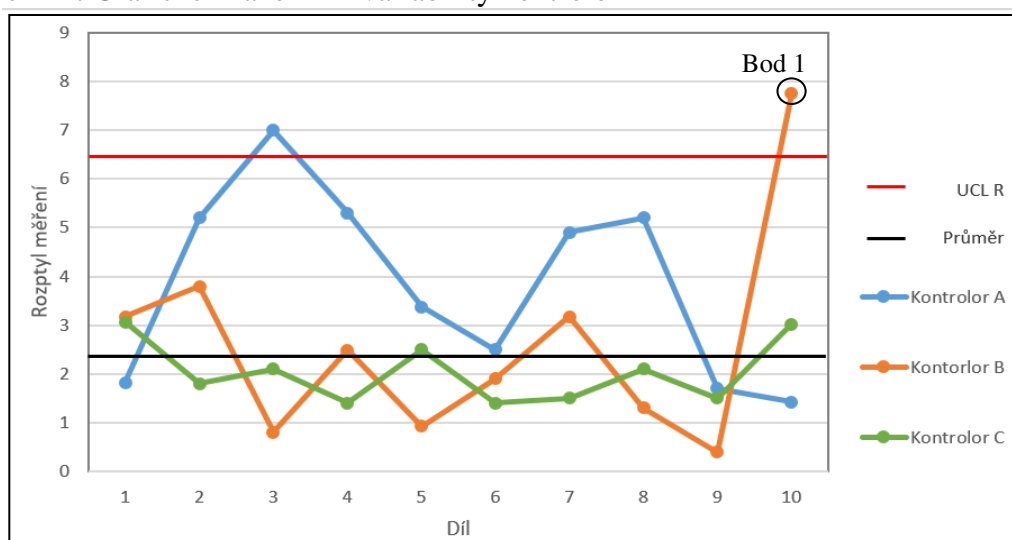
U měření kontrolora A je viditelná sklon k cyklickým změnám. Při opakované kontrole by bylo vhodné, zaměřit se na jednotlivé vrcholy a to, co se přesně odehrává mezi nimi. Vzhledem k tomu, že měření bylo vyhotoveno v rámci jedné hodiny, můžeme vyloučit výraznější vliv změny vnějšího prostředí. Měření prováděl pouze jeden kontrolor, takže vliv jiného operátora, jenž může být projevem cyklických změn, je možné taktéž vyloučit. Pravděpodobně se cyklické změny projevují vlivem určité variace při měření. Kontrolor má během měření před sebou rozloženy všechny díly (10ks) a při měření

každého kusu by měl přikládat sondu zcela kolmo ke kontrolovanému dílu. Avšak pro usnadnění práce během měření druhého a třetího dílu zůstává kontrolor na jednom místě, a tudíž při měření druhého a třetího dílu může být jeho úhel pohledu příčinou, že není správně vizuálně zkontrolován úhel přiložení měřicí sondy.

U měření kontrolora B se kromě cyklických změn (s menším cyklem), projevila i změna skokem označena bodem 1. Materiál, měřicí proces, operátor, prostředí vše je stejné jako u ostatních měření. Může se ale jednat například o náhlu závadu zařízení nebo o nedbalosti operátora (ve formě přiložení sondy v jiném než kolmém úhlu, měření na hraně vyznačeného pole měření).

U měření kontrolora C je viditelná také určitá cyklická změna, ale nejdominantnějším jevem je podstatně menší rozptyl měření. U kontrolora C bylo vyzorováno, že pro kalibraci přístroje před měřením použil nejméně poničenou část kalibrační folie na rozdíl od jeho kolegů, kteří vybraní oblasti ke kalibraci měřidla na folii, nevěnovali žádnou pozornost.

Obrázek 12: Grafické znázornění variability kontrolorů



Zdroj: Vlastní zpracování

Diference průměrů dle vztahu (4):

$$\overline{X}_{DIF} = 3,12$$

Pomocí vztahu (1) průměrného rozpětí a konstanty dané počtem měření spočítáme **opakovatelnost**.

$$EV = 1,66$$

Reprodukovatelnost neboli variabilitu kontrolorů spočítáme pomocí vztahu (3):

$$AV = 1,60$$

Opakovatelnost & Reprodukovatelnost (R&R) je tedy dle vztahu (5):

$$R \& R = 2,30$$

Variabilita součástí dle vztahu (6):

$$PV = 0,73$$

Celková variabilita dle vztahu (7):

$$TV = 2,42$$

4.2.3 Vyhodnocení výsledků R & R analýzy - výchozí stav

Kolísání procesu pro větší vypovídající schopnost můžeme převést na procentuální hodnoty vztažené k celkové variabilitě procesu. Výsledné hodnoty v procentech jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 4: Výsledné hodnoty variability v [%] - výchozí stav

% kolísání	Vzorec	Výsledná hodnota
Měřicího zařízení	$\% EV = (EV/TV).100$	68,59 %
Kontrolora	$\% AV = (AV/TV).100$	66,11%
GRR (Měřicího zařízení x kontrolora)	$\% R\&R = (R\&R/TV).100$	95,04 %
Součásti	$\% PV = (PV/TV).100$	30,16 %

Zdroj: vlastní zpracování

Variabilita měřicího zařízení výchozího stavu je 68,59 % z celkové variability. Vzhledem k vysokému podílu opakovatelnosti měření na celkové variabilitě je nutné se na tuto položku zaměřit během hledání možných příčin v dalších krocích. Variabilita může být způsobená používaným měřicím prostředkem, metodou měření nebo nestabilními podmínkami měření.

Variabilita kontrolorů výchozího stavu je 66,11% z celkové variability. Vzhledem k vysokému podílu reprodukovatelnosti měření na celkové variabilitě je nutné se také na tuto položku zaměřit během hledání možných příčin v dalších krocích. Variabilita může být způsobená rozdílným přístupem jednotlivých operátorů, případně v jejich dovednostech, např. v důslednosti přikládání měřicí sondy v dostatečně dlouhém časovém intervalu.

Vzhledem k tomu, že % R&R hodnota je rovna 95,04 %, což je mnohem vyšší hodnota, než je stanovené kritérium dle obecné směrnice (9), můžeme říci, že proces měření není způsobilý a musí být zlepšen.

4.3 Metody použité k definici příčin a nápravných opatření

4.3.1 Definice příčin variability procesu měření

K nalezení kořenových příčin variability měření vybereme metodu tzv. „rybí kosti“ správně však pojmenované jako Ishikawův diagram nebo diagram příčin a následků. Tato

metodika je ve firmě často používána pro hledání kořenových příčin u problémů, které vznikají na technologicky náročnějších výrobních procesech.

Na jednotlivé větve diagramu jsou zaneseny vstupy procesu dle obrázku č. 3. Větve tedy vyznačují jednotlivé kategorie, do kterých definovaný tým postupně přiřazuje všechny možné vlivy, jež jsou definovány pomocí brainstormingu. Pak pomocí faktorů možného dopadu, pravděpodobnosti výskytu a odhalitelnosti byly definovány kritické, prioritizované kořenové příčiny:

- A. **Nevhodné skladování měřících sond**, které může nést riziko poškození.
- B. **Nadměrné opotřebení kalibrovací folie** (doporučené použití 100 – 200 měření, použití folie cca na 1 200 měření)
- C. **Nedostatečná kontrola stavu měřících zařízení, nedbalá kalibrace**
- D. **Nedostatečné proškolení pracovníků** o používání přístroje a procesu kalibrace

Na všechny definované kořenové příčiny byla stanovena jak krátkodobá, tak dlouhodobá nápravná opatření a měla by být součástí i dalších plánovaných auditů na procesech kontroly. K tomu poslouží například velmi jednoduchý nástroj nazývaný „5x proč“, který pomocí pěti logicky položených otázek pomůže definovat nápravná opatření.

4.4 Analýza variability měřícího procesu – po implementaci opatření

Po implementaci definovaných nápravných opatření do vyhodnocovaného procesu, je proces měření znovu analyzován pomocí stejné metodiky (tedy pomocí R&R analýzy). Naměřené hodnoty z druhého měření viz příloha 2.

4.4.1 Vyhodnocení výsledků R & R analýzy - po implementaci opatření

Tabulka 5: Výsledné hodnoty variability v [%] - po implementaci opatření

% kolísání	Vzorec	Výsledná hodnota
Měřicího zařízení	$\% EV = (EV/TV).100$	92,07 %
Kontrolora	$\% AV = (AV/TV).100$	17,63%
GRR (Měřicího zařízení x kontrolora)	$\% R\&R = (R\&R/TV).100$	93,75 %
Součásti	$\% PV = (PV/TV).100$	33,81 %

Zdroj: Vlastní zpracování

Variabilita měřicího zařízení po implementaci nápravných opatření je 92,07 % z celkové variability. Vzhledem k vysokému podílu opakovatelnosti měření na celkové variabilitě po implementaci všech definovaných nápravných opatření na viditelné příčiny variability můžeme konstatovat, že zvolená měřicí metoda (měřidlo) není vhodná pro vyhodnocování stanoveného měřicího procesu.

Variabilita kontrolorů po implementaci nápravných opatření je 17,63% z celkové variability. Takový výsledek už můžeme chápat jako přirozenou variabilitu kontrolorů, kterou lze akceptovat.

Vzhledem k tomu, že % R&R hodnota je rovna 93,75 %, což je mnohem vyšší hodnota, než je stanovené kritérium dle obecné směrnice (9), proces měření není způsobilý.

5 Závěr

V současné globalizované době musí podniky, aby byly konkurenceschopné, respektovat požadavky zákazníků, udržovat co nejnižší náklady a zároveň garantovat vysokou jakost svých produktů. Ta je důležitá zejména pro podniky v leteckém odvětví, neboť ručí i za životy všech pasažérů na palubě letadla.

Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnotit měřicí proces a zjistit, do jaké míry jsou získávaná data z měření dílů na výstupu výrobního procesu ovlivněna variabilitou samotného měřicího procesu. Získávaná data z měření dílů na výstupu výrobního procesu neslouží pouze pro jejich záznam a archivaci výsledků měření, ale zejména manažerům kvality jako základ při jejich každodenním rozhodování a řízení kvality v podniku.

Společně s vedoucím oddělení kvality dané společnosti byl vybrán specifický výrobní proces, kde se společnost potýká s velkou mírou variability.

Nejprve byly shromážděny všechny informace o výrobním procesu, procesu měření z výrobní společnosti a obsahy norem vztahující se k vyhodnocování procesu měření analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Samozřejmě byl nastudován i návod pro obsluhu měřicího zařízení.

Analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření výchozího stavu bylo zjištěno, že variabilita měření se u jednotlivých kontrolorů liší. Během jejich měření byl vyzorován rozdílný způsob kalibrace měřidla, také odlišná pozornost a důslednost během měření. Celková variabilita měření výchozího stavu byla vypočítána na 95,04% a variabilita způsobena právě vlivem kontrolorů byla spočtena na 66,11%. Variabilita samotného měřidla byla pak vyhodnocena na 68,59%. Podle obecné směrnice, která je celosvětově uznávaná pro hodnocení výsledku analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti je stanovena přijatelná hranice variability max. 30%. Tedy proces měření výchozího stavu byl vyhodnocen jako nezpůsobilý a byl pozastaven.

Na základě definovaného problému byl sestaven tým pracovníků, kteří za použití dalších kvalitativních nástrojů například Ishikawa diagramu, 5x Proč aj. definovali nápravná opatření, a v co nejkratším termínu je implementovali do výrobního procesu.

Po implementaci definovaných nápravných opatřeních byl pomocí stejné analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti znovu vyhodnocen proces měření. Po proškolení a správné stimulaci kontrolorů klesla jejich variabilita na 17,63% tj. byla tato variabilita

snížena o 48,48% . Avšak i přes výrazné zlepšení variability měření kontrolorů se celková variabilita snížila na 93,75 % tj. o 1,29%.

Variabilita měření i po implementaci všech definovaných opatření je příliš vysoká (vysoko nad hranici obecné směrnice 30%), **proto je proces měření používán pro měření dílů na vybraném výrobní procesu vyhodnocen jako nezpůsobilý a doporučuji změnit metodiku měření.** Závěr je podpořen odborným článkem pana Ing. Michala Kubíny, který ve svém článku [8] uvádí, že příliš tenká vrstva eloxu (pod 5 μm) pro vyhodnocení metodou vířivých proudů může negativně ovlivnit proces měření právě vysokou mírou variability.

Navrhuji, rozlišovat dobrý díl a případný zmetek komparačně. To znamená, mít etalon s vrstvou eloxu 2 μm a vyhodnocovat, má-li daný díl tloušťku vrstvy vyšší či nižší. I to má ale velká rizika z hlediska vysoké míry variability a způsobilost vyhodnocování by musela být analyzována. **V případě, že analýza neprokáže vhodnost ani této metody, doporučuji prověřit možnost eloxování zkušebních tyčinek společně s dávkou dílů a vyhodnocovat tento zkušební materiál sice destruktivní, ale vhodnější metodou měření například mikroskopickým měřením.**

6 Seznam literatury

- [1] ARTHUR, Jay; Lean Six Sigma demystified. New York : McGraw Hill Companies, 2006. str. 117. ISBN 978-0-07-148650-7.
- [2] BRČÁK, Joseph; SEKERA, Bohuslav; SVOBODA, Roman; Mikroekonomie - teorie a praxe. Plzeň : Vykladatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2013. str. 168. ISBN 978-80-7380-453-4.
- [3] ČSN EN ISO 9000:2006; Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník. Praha : Český normalizační institut, 2006.
- [4] ČSN ISO 8258 (010271); Shewhartovyregulační diagramy. Praha : Český normalizační institut, 1994.
- [5] DUROZOI, Gérard; ROUSSEL, André; Dictionnaire de philosophie. Paris : Editions NATHAN, 1990. str. 154. ISBN 978-80-251-1766-8.
- [6] HRUŠKA, Karel; FRANK, Petr; HRUŠKA, Karel ml.; Řízení jakosti a metrologie. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. stránky 151-170. ISBN 80-7204-302-1.
- [7] Ing. BRADÍK, Joseph; Ph.D., Ing. NOVOTNÝ, Radovan; Řízení a zabezpečování jakosti. Brno : Ing. Zdeněk Novotný Csc., 2003. str. 59. ISBN 80-214-2460-5.
- [8] Ing. KUBÍNYI, Michal; Systémy měření tenkých povrchových vrstev. Povrchové úpravy [Časopis]. Praha : Press Agency, 2009. Vydání 04. ISSN 0551-7354.
- [9] JURAN, Joseph M.; Quality and century of improvement. Milwaukee : ASQ Quality Press, Available from: Pro Quest Ebook Central, 2004. str. 96. ISBN 0-87389-635-1.
- [10] JURAN, Joseph M.; GODFRAY, Balanton A.; Quality Control Handbook. New York : McGraw Hill, 1999. str. 300. ISBN 0-07-034003-X.
- [11] KANJI, Gopal K.; Total quality management – proceeding of the first world congress. Sheffield : Manufacturing Engineer, 1995. str. 230. ISBN 978-94-011-0539-2.
- [12] Kvalita jednoduše [Online] // Kvalita jednoduše. 2017. Citováno 01. 02. 2018. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/box-plot/>.
- [13] MACÁKOVÁ, Libuše a kolektiv; Mikroekonomie - Základní kurz. Slaný : Nakladatelství a vydavatelství Melandrium, 2007. ISBN 978-80-86175-56-0.

- [14] NEDÁL, Jaroslav; NESKIEVIČOVÁ, Darja; PETŘÍKOVÁ, Růžena; PLURA, Jiří; TOŠENOVSKÝ, Josef; Moderní management jakosti - principy, postupy, metody. Praha 3 : Management Press, s.r.o., 2011. stránky 13, 16. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [15] PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R.; Zavádíme metodu Six sigma, aneb, Jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti. Brno : TwinsCom, 2002. str. 24. ISBN 80-238-9289-4.
- [16] Prof. Ing. HRUŠKA, Karel Dr.Sc.; Ing. FRANK, Petr; Ing. HRUŠKA, Karel; Řízení jakosti a metrologie. Brno : CERM, s.r.o., 2003. str. 155. ISBN 80-7204-302-1.
- [17] PROMINENT, s.r.o. [Online] // Prominent KM. 2018. Citováno 01. 02. 2018. Dostupné z: http://www.prominent-km.cz/?page_id=127.
- [18] TÖPFER, Armin a kolektiv; Six sigma - Koncepce a příklady pro řízení bez chyb. Brno : Computer Press. str. 161. ISBN 978-80-251-1766-8.
- [19] VÁCLAVEK, Jaroslav; Statistická regulace výrobních procesů. České Budějovice : Bartoň QSV, 1996. str. 27. ISBN 80-902236-0-5.
- [20] VARDEMAN, Stephan B.; JOBE, Marcus J.; Statistical Quality assurance methods for engineers. New York : Wiley-Academy, 2002. str. 40. ISBN 0-471-15937-3.

7 Seznam obrázků

Obrázek 1: Ledovcový efekt - vysoké zmetkovitosti výroby	17
Obrázek 2: Negativní účinek neshod na podnik	18
Obrázek 3: Složky procesu	19
Obrázek 4: Složky procesu se zpětnou vazbou	20
Obrázek 5: Rozdělení proměnlivosti procesu	21
Obrázek 6: Puntíkový diagram	26
Obrázek 7: Histogram – Modelový příklad	27
Obrázek 8: Krabicový diagram	28
Obrázek 9: Paretův diagram.....	29
Obrázek 10: Diagram pro volbu regulačního diagramu.....	31
Obrázek 11: Popis zkoumaného procesu	34
Obrázek 12: Grafické znázornění variability kontrolorů	39

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Naměřené hodnoty kontrolorem A	37
Tabulka 2: Naměřené hodnoty kontrolorem B	37
Tabulka 3: Naměřené hodnoty kontrolorem C	38
Tabulka 4: Výsledné hodnoty variability v [%] - výchozí stav	41
Tabulka 5: Výsledné hodnoty variability v [%] - po implementaci opatření.....	43

9 Seznam příloh

Příloha 1: Koeficienty pro výpočet	49
Příloha 2: Naměřené hodnoty jednotlivých kontrolorů - po implementaci opatření	51

Příloha č. 1:

Příloha 1: Koeficienty pro výpočet

Koeficienty:			
počet	pokusů	operátorů	kusů
	K_1	K_2	K_3
2	0,8862	0,7071	0,7071
3	0,5908	0,5231	0,5231
4	-	-	0,4467
5	-	-	0,4030
6	-	-	0,3742
7	-	-	0,3534
8	-	-	0,3375
9	-	-	0,3249
10	-	-	0,3146

Zdroj: vlastní zpracování dle [16]

Příloha č. 2

Příloha 2: Naměřené hodnoty jednotlivých kontrolorů - po implementaci opatření

Naměřené hodnoty kontrolorem A:

Kontrolor A					
Díl:	Naměřené hodnoty:			R	X _P
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.		
1.	8,90	4,60	8,10	7,20	9,20
2.	12,00	13,80	8,60	11,47	5,20
3.	4,90	7,70	6,80	6,47	8,30
4.	7,80	13,20	6,60	9,20	6,60
5.	9,20	7,50	10,60	9,10	5,10
6.	6,80	12,60	9,20	9,53	5,80
7.	7,90	10,00	5,80	7,90	4,20
8.	4,70	-2,10	2,60	1,73	13,80
9.	4,30	11,70	7,80	7,93	7,40
10.	4,60	-0,70	8,10	4,00	8,80
				\overline{R}_A	\overline{X}_A
				7,45	7,44

Naměřené hodnoty kontrolorem B:

Kontrolor B					
Díl:	Naměřené hodnoty:			R	X _P
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.		
1.	6,60	4,80	2,10	4,50	14,90
2.	6,90	17,00	10,70	11,53	10,10
3.	1,50	7,80	9,20	6,17	7,70
4.	9,10	2,40	4,80	5,43	6,70
5.	1,70	8,30	4,10	4,70	7,30
6.	9,00	5,20	4,70	6,30	4,30
7.	4,40	1,30	8,70	4,80	9,30
8.	1,90	10,60	1,40	4,63	9,20
9.	4,60	4,20	9,80	6,20	7,10
10.	-0,75	11,30	10,00	6,85	12,05
				\overline{R}_B	\overline{X}_B
				6,11	8,87

Naměřené hodnoty kontrolorem C:

Kontrolor C					
Díl:	Naměřené hodnoty:			R	X _P
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.		
1.	3,80	7,80	4,70	5,43	4,00
2.	0,75	5,10	5,70	3,85	4,95
3.	5,60	3,80	3,00	4,13	4,00
4.	7,00	6,60	5,00	6,20	5,70
5.	10,70	8,00	8,10	8,93	2,70
6.	5,20	2,00	6,70	4,63	5,10
7.	7,10	2,20	3,50	4,27	4,90
8.	4,00	5,50	6,50	5,33	3,60
9.	7,60	1,20	6,40	5,07	10,40
10.	11,60	7,60	0,33	6,51	11,27
				\overline{R}_C	\overline{X}_C
				5,44	5,66