

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hodnocení produktu pomocí indexů způsobilosti procesu

Autor: **Bc. Kristián Dominik HLADKÝ**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jana KLEINOVÁ, CSc.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kristián Dominik HLADKÝ**
Osobní číslo: **S16N0014K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**
Název tématu: **Hodnocení produktu pomocí indexů způsobilosti procesu**
Zadávající katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

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

1. Úvod
2. Způsoby hodnocení kvality produktu
3. Charakteristika způsobilosti procesu
4. Výpočet předepsaných hodnot indexů způsobilosti procesu
5. Porovnání deklarovaných a předepsaných hodnot indexů způsobilosti procesu
6. Zhodnocení výsledků
7. Závěr

Rozsah grafických prací: 0 výkresů
Rozsah kvalifikační práce: 50 - 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

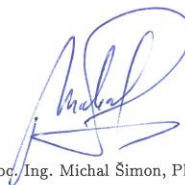
Seznam odborné literatury:

1. **NENADÁL, J. a kol.** *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody.* Praha: Management Press, 2011, 378 s.
ISBN 978-80-7261-186-7
2. *Vnitropodniková směrnice Guide N JEU-GQ-008 B, Capability of Production Facilities.* Schválil Patrick LEMEURE. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2009, 38 s.
3. *Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd.*
Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, 218 s.
ISBN 80-02-01810-9

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jana Kleinová, CSc.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Konzultant diplomové práce: **Ing. Lenka Kúsová**
JTEKT Automotive Czech Plzen, s.r.o.
Datum zadání diplomové práce: **24. září 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 24. září 2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne

.....

Podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Hladký	Jméno Kristián Dominik	
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Kleinová, CSc.	Jméno Jana	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	
NÁZEV PRÁCE	Hodnocení produktu pomocí indexů způsobilosti procesu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	56	TEXTOVÁ ČÁST	49	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce zkoumá metodiky výpočtu indexů způsobilosti procesu dle odborné literatury, zákazníka a dodavatele a porovnává je mezi sebou. Na vybraném komponentu Worm Housing je provedeno vzorkování, měření obrobků a vypočítání indexů podle odlišných metodik. Pro výpočty byl vytvořen vlastní program automaticky zpracovávající výsledky a vyhodnocující rozdíly dosažených výsledků u různých metodik v podobě odhadované zmetkovitosti výroby. Na základě zjištěných výsledků jsou navržena nápravná opatření pro zákazníka a pro výrobu dodavatele.
KLÍČOVÁ SLOVA	C_{pk} , histogram, index způsobilosti procesu, konfidenční interval, kvalita, MSA, normální rozdělení, obrábění, ppm, statistické řízení výroby, Worm Housing, zmetkovitost

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Hladký	Name Kristián Dominik	
FIELD OF STUDY	2301T007 “Industrial Engineering and Management“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kleinová, CSc.	Name Jana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	
TITLE OF THE WORK	Product assessment using Process capability indices		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	56	TEXT PART	49	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	<p>The diploma thesis researches methodologies of process capability indices calculation according to bibliography, customer and supplier and compares them to each other. With selected component Worm Housing have been made sampling, workpiece measurement and indices calculation according to different methodologies. For the calculations has been created own program automatically processing results and evaluating differences of achieved results for different methodologies, using estimated scrap rate of production. Based on the results found are proposed corrective actions for the customer and for the supplier's production.</p>
KEY WORDS	<p>C_{pk}, histogram, process capability index, confidence interval, quality, MSA, normal distribution law, machining process, ppm, statistical process control, Worm Housing, scrap rate</p>

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval mé vedoucí diplomové práce, paní doc. Ing. Janě Kleinové, CSc., za její rady a pomoc „udržet nit“ textu práce, který se zpočátku zpracovával velmi složitě a rozsáhle. Dále děkuji za možnost konzultací společnosti JTEKT Plzeň a za spolupráci při výrobě a měření vzorků dodavateli komponentu.

ÚVOD	12
1 KVALITA A JAKOST.....	13
1.1 DŮLEŽITOST A POTŘEBA KVALITY	13
1.2 ZPŮSOBY HODNOCENÍ KVALITY PRODUKTU.....	14
2 ZPŮSOBILOST PROCESU.....	16
2.1 INDEXY ZPŮSOBILOSTI A VÝKONNOSTI PROCESU.....	16
2.2 INTERPRETACE HODNOT INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI	21
2.3 PŘEDPOKLADY PRO VÝPOČET INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU	23
3 SPOLEČNOST JTEKT A JEJÍ PRODUKTY	24
4 VÝPOČET INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU DLE SMĚRNICE ZÁKAZNÍKA	28
4.1 SMĚRNICE A OBCHODNÍ KONTRAKT	28
4.2 POSTUP VÝPOČTU	29
4.3 PŘÍPRAVA PŘED VZORKOVÁNÍM.....	29
4.4 ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ	31
4.5 VZORKOVÁNÍ A MĚŘENÍ	31
4.6 HISTOGRAMY.....	32
4.7 OVĚŘENÍ NORMALITY DAT	32
4.8 VÝPOČET INDEXŮ C_{PK}	33
4.9 KONFIDENČNÍ INTERVALY.....	34
5 VÝPOČET INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU DLE PRAXE DODAVATELE.....	36
5.1 SMĚRNICE DODAVATELE	36
5.2 POSTUP VÝPOČTU	36
6 POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ U DODAVATELE, ZÁKAZNÍKA A ODBORNÉ LITERATURY	38
7 VLASTNÍ VÝPOČET INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU.....	41
7.1 NÁVRH VÝPOČETNÍHO SOFTWARE	41
7.2 VYHODNOCENÍ VLASTNÍHO VÝPOČTU A NÁVRH NÁPRAVNÉHO OPATŘENÍ.....	43
ZÁVĚR.....	47
POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	48
INTERNETOVÉ ZDROJE.....	48
NORMY.....	49
SMĚRNICE.....	49
PŘÍLOHA 1.....	50
PŘÍLOHA 2.....	51
PŘÍLOHA 3.....	52
PŘÍLOHA 4.....	53
PŘÍLOHA 5.....	55
PŘÍLOHA 6.....	56

Přehled použitých zkratk a symbolů

3D = souřadnicové stroje měřící ve všech osách

8D = metoda pro řešení reklamací, skládající se z 8 na sebe navazujících kroků

α = hladina významnosti

σ_c = odhad směrodatné odchylky založený na kolísání uvnitř podskupin

σ_i = odhad směrodatné odchylky založený na kolísání uvnitř podskupin (viz také σ_c)

$\chi^2_{\alpha/2}$ = chí kvadrát pro hladinu významnosti $\alpha/2$

$a_i(n)$ = konstanta pro Shapiro-Wilk test o normalitě dat (viz příloha 5)

AIAG = kolaborativní skupina automobilek založena společnostmi Ford, General Motors a Chrysler (*Automotive Industry Action Group*)

AQL = statistická přejímka srovnáváním (*Acceptance Quality Limit*)

B2B = obchodní vztahy mezi společnostmi (Business to Business)

C-EPS = řízení s elektrickým sloupkovým posilovačem (*Column Electric Power Steering System*)

C4 = dělitel pro odhad směrodatné odchylky (viz příloha 6)

C_m = index způsobilosti stroje (krátkodobý)

C_{mk} = index způsobilosti stroje (krátkodobý)

CNC = počítačové číslicově řízené obráběcí stroje (*Computer Numerical Control*)

C_p = index způsobilosti procesu (předběžný)

C_{pk} = index způsobilosti procesu (předběžný)

CPL = dolní index způsobilosti procesu

CPU = horní index způsobilosti procesu

DFMEA = konstrukční analýza možného výskytu a vlivu vad (*Design Failure Mode and Effects Analysis*)

D_i = ukazatel odhadu inherentního kolísání procesu (6násobek σ_i)

DP-EPS = řízení s dvojitým elektrickým pastorkovým posilovačem (*Double Pinion Electric Power Steering System*)

H_0 = testovací hypotéza (nulová)

H_1 = testovací hypotéza (alternativní)

ht = třída intervalu histogramu

HV = zkouška tvrdosti materiálu podle Vickerse

IATF = technická specifikace pro automobilový průmysl (*International Automotive Task Force*)

JAPL = zkratka JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o.

JEO = evropská centrála spol. JTEKT (*JTEKT European Operations*)

kN = jednotka síly kilonewton neboli tisíc newtonů

K_t = třída histogramu

LSL = dolní toleranční mez (*Lower specification limit*)

mm = jednotka délky milimetr neboli tisícina metru

mp = střední hodnota tolerančního pole

MS = manuální hřebenové řízení (*Manual Steering System*)

MSA = analýza systému měření (*Measurement System Analysis*)

N = celkový počet prvků v pozorování (počet měření), někdy také jako n

P-EPS = řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem (*Pinion Electric Power Steering System*)

P -hodnota = pravděpodobnostní odhad variability populace

P_p = index výkonnosti procesu (dlouhodobý)

P_{pk} = index výkonnosti procesu (dlouhodobý)

ppm = počet neshodných kusů na 1 milión vyrobených kusů (*Parts per milion*)

QS-9000 = oborová norma automobilového průmyslu, kterou zpracovala AIAG

R&R = opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (*Repeatability and Reproducibility*)

s = výběrová směrodatná odchylka z dat podskupiny

SPC = statistická regulace procesu (*Statistical Process Control*)

TI = dolní toleranční mez

TS = horní toleranční mez

$u_{1-\alpha/2}$ = normovaná veličina pro normované normální rozdělení pro hladinu významnosti $\alpha/2$

USL = horní toleranční mez (*Upper specification limit*)

W = poměr dvou odhadů variability populace

$W\alpha(n)$ = kritická hodnota odhadu variability populace

WH = Worm Housing (skříň šnekového převodu)

W_t = rozdíl horní a dolní tolerance v absolutní hodnotě

x_i = jednotlivé naměřené hodnoty

\bar{x} = aritmetický průměr

\bar{X} = celkový průměr neboli průměr z průměrů podskupin, vážený jejich velikostí

Úvod

Snahou průmyslového inženýra by mělo být porozumění podniku a jeho vazbám a zlepšovat výkonnost podniku jako celku. Pod zvyšováním výkonnosti může každý nacházet jiný předmět zájmu. Oddělení výroby si pod tímto pojmem pravděpodobně představí zvýšený počet vyrobených jednotek. Kvalitáři tomu zřejmě porozumí jako výroba bez zmetků či nutných přepracování. Úsek účetnictví by si zvýšení výkonnosti spojil zejména s růstem ziskovosti produktu. Procesní inženýrství by nejraději zrychlovalo čas přestavby linky. A určitě existuje ještě mnoho jiných představ.

Pokud by každý řešil pouze své nastavené cíle, určitě by dříve či později jednotlivé oddělení naráželo na cíle jiného oddělení, neboť by v některých případech šly zájmy proti sobě. Celková výkonnost podniku by tak mohla dokonce i klesat. Proto je třeba sledovat, jak zamýšlené akce průmyslového inženýra ovlivní funkčnost podniku jako celku a tím i jeho celkovou výkonnost.

Dnešní metody průmyslového inženýrství dokáží simulovat a hodnotit plánované zlepšovací zásahy z jednotlivých úhlů pohledů, ale také integrovaně. Tato diplomová práce si klade za jeden z cílů prozkoumat možnosti zvýšení výkonnosti podniku pomocí zaměření se na cíle oddělení kvality, zejména skrze zajištění povolené zmetkovitosti z důvodu neshodného vstupního materiálu, avšak stále s ohledem na celkovou funkčnost a výkonnost podniku.

Pro vytvoření vhodného kontextu, jak se dívat na funkčnost a výkonnost podniku jako celku, je nejlépe uvědomit si důvod vzniku podniku. Tím je na prvním místě zisk. Samozřejmě nemusí být důvodem jediným, avšak je primárním. Také zákon o daních z příjmů předpokládá důvod vzniku podniku, aby vytvářel zisk. Z pohledu zákona je to dokonce povinnost. Samozřejmě, že zákon svými předpisy umožňuje různé daňové optimalizace, které pak mohou vést k tomu, že podnik účetně nedosahuje zisku, přestože je velmi výkonný. Pro účely této diplomové práce bude celková výkonnost podniku chápána jako schopnost dosahování zisku.

Návrhy průmyslového inženýra by tedy měly zvyšovat ziskovost. Velmi častým, moderním a mnohdy nutným přístupem, jak tohoto dosáhnout, je snížení nákladů. Zmetkovitost výroby je svým způsobem zvýšený náklad a její snížení by tedy mělo logicky vést i ke snížení nákladů. Je však otázkou, jaká řešení se pro snížení zmetkovitosti zvolí, respektive jak moc nákladná řešení. Není rozumné investovat větší prostředky do řešení, které přispěje ke snížení nákladovosti z důvodu snížení zmetkovitosti menší měrou. Tím by právě mohla celková výkonnost podniku naopak klesnout.

Proto vzniklo mnoho různě nákladných metod pro řízení kvality a jednou z nich je také statistická metoda pro hodnocení produktu pomocí indexů způsobilosti procesů, která ověřuje plánovanou zmetkovitost. V současné době v automobilovém průmyslu je tato metoda velmi rozšířená a používána naprostou většinou dodavatelů. Protože automobilový trh je velmi globalizovaný a tato metoda hojně využívána, existují různé přístupy k této metodě dle specifických požadavků zákazníka. Mezi dodavateli a jejich zákazníky se tak prezentují určité výsledky plánované zmetkovitosti, které dodavatel spočítá podle vlastních interních směrnic.

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání deklarovaných hodnot indexů způsobilosti procesu s předepsanými hodnotami. K tomu bude využito technické specifikace zákazníka, metodické příručky zákazníka, interní metodické směrnice, samotné deklarované hodnoty od dodavatele a odborná literatura pro statistické metody a řízení kvality. To vše se zaměřením zejména na automobilový průmysl.

1 Kvalita a jakost

Pojem kvalita zná a v životě používá snad každý. Někdy též jako synonymum pojmu jakost. V běžném občanském životě má řada lidí představu, že kvalitní produkt znamená mnohdy ten nejlepší, s nejvíce funkcemi, a tím i podvědomě spojuje s kvalitním produktem jeho vyšší cenu. Tohoto častého, jak je však později vysvětleno, mylného chápání, užívají mnohé firmy při marketingových akcích pro zvýšení atraktivity a prodejnosti svého zboží či služeb a tím tak ještě umocňují v široké veřejnosti toto nevhodné porozumění pojmem kvalita či jakost. Ať již úmyslně či z nevědomosti.

Historicky se pojmy jakost a kvalita rozumí jako synonyma a odborníci vycházejí z nejstarší dochované definice připisované Aristotelovi. [10, str. 13] I v této práci jsou případné pojmy kvalita a jakost považovány za synonyma a snahou je užívat mimo citace zejména jednotného pojmu, a sice kvality.

Mnoho významných osobností se zasadilo o rozšíření a rozvoj řízení jakosti, mezi něž se řadí W. Edwards Deming, Joseph M. Juran, Armand V. Feigenbaum, Kaoru Ishikawa, Philip B. Crosby a další. [14, str. 17] Pokoušeli se definovat kvalitu takto [14, str. 19]:

- Kvalita je způsobilost pro užití (Juran)
- Kvalita je shoda s požadavky (Crosby)
- Kvalita je to, co za ni považuje zákazník (Feigenbaum)
- Kvalita je minimum ztrát, které výrobek od okamžiku své expedice dále společností způsobí (Taguchi)
- Kvalita je míra výsledku, která může být kategorizována v různých třídách

Dále se lze setkat s tímto chápáním kvality [2, str. 9]:

- Kvalita znamená, že se vrací zákazník, NE výrobek
- Kvalita je způsobilost pro užívání
- Kvalita je spokojenost zákazníka

Norma pro automobilový průmysl IATF 16949 : 2016 se snaží o jednoznačnou definici pojmu kvality větou: „...stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků“. Definice vychází z normy ČSN EN ISO 9000 : 2016, která je překladem z ISO 9000 : 2015 a je základní východiskem právě pro normu IATF 16949 : 2016.

1.1 Důležitost a potřeba kvality

Je-li pojmu kvalita porozuměno správně pomocí definic zmíněných v předchozích odstavcích, je teprve možné klást si otázky, proč a zda je kvalita v dnešní výrobě důležitá, proč je ji třeba vyhodnocovat, a co může mít za následky, nebude-li stupeň požadavků souborem inherentních znaků dostatečně splněn.

Jak již bylo nastíněno v úvodu, je třeba mít stále na očích hlavní cíl výrobní organizace, a tím je dosahování zisku. Cílem práce není zkoumání různých možností tvorby zisku či zkoumání účetních operací, které se na zisk mohou vždy dívat z trochu jiného úhlu pohledu

a analyzovat jinou část strategie organizace (struktura výnosů a nákladů, strategie odepisování a dlouhodobých investic aj.). Je přijata premisa, že obecně je pro výrobní organizaci lepší dosahovat kladné ziskovosti. Zvyšování zisku lze dnes dosahovat obecně dvěma způsoby:

- připočtením vyšší požadované ziskové marže k přímým a nepřímým nákladům produktu
- snížením nákladů při zachování prodejní ceny produktu

První možnost byla spíše využívána v dřívějších dobách, kdy existoval v určitých odvětvích převis poptávky nad nabídkou. Oprostíme-li se od trhu v nedokonalé konkurenci, jako například oblast monopolu či oligopolu, tak v dnešní době je tato metoda v konkurenčním prostředí kapitalistického trhu málokdy úspěšná.

Druhá metoda zkoumá, za jakou cenu je zákazník ochoten utratit své úspory za produkt, a to i s ohledem na konkurenci, neboť právě nabídka dnes převyšuje poptávku. Tato druhá metoda má tak silnější motivační faktor pro hledání úspor ve všech možných procesech organizace. Stručně lze popsat, že čím více se organizaci podaří snížit náklady spojené s výrobou produktu, tím vyšší ziskovosti může dosahovat.

Náklady lze snižovat mnohými způsoby a velice rozsáhle se tímto problémem zabývá právě obor průmyslového inženýrství. Oblasti zkoumání lze rozdělit na již zavedenou výrobu nebo naopak na předvýrobní fáze. Velice častým cílem metod průmyslového inženýrství je snížení či plná eliminace plýtvání, neboť plýtvání je cokoli, co zákazník nechce platit. Jedná se o někdy v určité míře nutné, avšak mnohdy zbytečné náklady navíc. Chyby a zmetky se řadí mezi osm základních druhů plýtvání.

1.2 Způsoby hodnocení kvality produktu

Hodnocení znamená porovnání či ověření nějakého výstupu s výchozími požadavky či zadáním. Aby bylo možné hodnotit kvalitu produktu, je třeba znát nejprve, co je zákazníkem požadováno. V běžné praxi automobilového průmyslu jsou požadavky specifikovány skrze technický výkres, odkaz na použité normy (mezinárodní či specifické zákaznické) a dále obchodním kontraktem s cíli kvality. Mezi takovéto cíle může patřit:

- maximální počet neshod u zákazníka v ppm za měsíc a rok (parts per milion – počet neshodných kusů na milion kusů dodaných)
- maximální absolutní počet neshod u zákazníka za měsíc a rok a to s rozlišením
 - celkový počet bez rozdílu povahy neshody či místa detekce
 - celkový počet neshod na bezpečnostních znacích
 - celkový počet neshod detekovaných v automobilce (tzv. „0 km claim“)
 - celkový počet neshod detekovaných u konečného spotřebitele či dealera vozů (tzv. „field claim“)
- minimální počet bodů zákaznického procesního auditu
- maximální doba odezvy na ohlášenou interní i externí neshodu
- maximální doba odezvy na kompletní vyplnění 8D reportu o interní i externí neshodě

Hodnocení tedy musí korespondovat s požadavky a cíli zákazníka, jinak hrozí hodnocení čistě subjektivních hledisek. Možnosti, jak hodnotit kvalitu produktu, tedy jsou:

- přímé měření produktu (délkové tolerance, geometrické tolerance, aj.)
- provádění testů (nedestruktivní – např. rentgenová kontrola porozity, únik tlaku vzduchu v čase, zádržná síla montážních spojů aj.; dále destruktivní - např. test tvrdosti materiálu, test prokalitelnosti, vytrhávací síla ložiska aj.)
- porovnání dosažených výsledků s předepsanými cíli kvality (např. zmíněné ppm, počet neshod aj.)
- průzkum spokojenosti zákazníka skrze různé formy dotazníku
- předvýrobní statistické ověření způsobilosti procesu (podrobněji viz následující kapitoly)
- statistická regulace procesu SPC (užívá se v již zaběhnuté výrobě pro ověřování shody produktu tím, že zkoumá stálost stability a způsobilosti procesu) – pro úplné podrobnosti
- viz ČSN ISO 8258 : 1994 (již neplatná norma bez náhrady) nebo viz ČSN ISO 7870 : 1995 (již neplatná norma bez náhrady) nebo viz IATF 16949 : 2016 Blue book SPC AIAG Manual
- statistická přejímka AQL (užívá se pro statistické rozhodnutí o přijetí či nepřijetí dodávky) – pro úplné podrobnosti viz ČSN ISO 2859 : 1999
- provádění produktového auditu (pouze interní, byť s možností externího zajištění měřících a testovacích služeb v akreditované laboratoři dle ČSN EN ISO/IEC 17025 : 2018)
- provádění procesního auditu (tzv. 1., 2. nebo 3. stranou – interní, externí zákaznický, externí certifikovanou společností)
- provádění auditu systému managementu kvality – pro úplné podrobnosti viz ČSN EN ISO 19011 : 2012
- subjektivní hodnocení zákazníka (např. obecně chuť, estetika, poslech, pohodlí aj.)
- spotřebitelské testy (v Evropě v automotive odvětví relevantní ADAC, TÜV SÜD, Euro NCAP)
- benchmarking (porovnávání s produkty a procesy uvnitř i mimo vlastní odvětví)

Je tedy patrné, že existuje velké množství možností, jak ověřit a prokázat shodu s požadavky zákazníkovi či sobě samým. Každý ze způsobů hodnocení kvality vyžaduje různé množství času, vybavení a také znalostí hodnotitele. Jak již bylo zmíněno, snaha dnešních organizací je snižovat náklady, a proto se rozvinuly zejména způsoby hodnocení kvality produktu do forem statistických vyhodnocení. Důvodem je, že 100% kontrola a přeměřování produktů by bylo nekonkurenčně nákladné. Více však o statistické metodě hodnocení způsobilosti v dalších kapitolách.

2 Způsobilost procesu

Snahou manažerů kvality by mělo být řízení firemní procesů ovlivňující kvalitu. K tomu jsou zapotřebí informace, dle kterých se mohou rozhodovat. Automobilové odvětví se začalo vyvíjet směrem k sériové výrobě s menšími a opakovanými dávkami a životní cyklus produktů se spíše zkracuje; dochází častěji ke generačním či tzv. faceliftovým změnám automobilů. V lidských silách není možné udržet v hlavě veškeré informace s jejich detaily, a proto se vyvinuly a stále vyvíjejí různé ukazatele, někdy zvané jako indexy, které se snaží o komplexní vyjádření zkoumaného problému ideálně v jednom čísle či grafu. Ne jinak je tomu ve výrobní oblasti. Zákazník požaduje obdržet ideálně veškeré produkty ve shodě, avšak mnohdy na straně dodavatele není možné shodu 100% garantovat. Důvody pro to jsou zejména tyto:

- určitá ověřování produktů vyžadují destruktivní průběh, a tedy 100% kontrola by postrádala na významnosti
- 100% ověřování by bylo ekonomicky nepřípustné, neboť
 - by mohlo trvat nepřiměřeně dlouhou dobu, což z pohledu nákladů znamená vymezení více pracovníků či více času jednoho z nich
 - by mohlo vyžadovat nákladné operace s transportem, vybavením a použitím laboratoře či měřících zařízení a přípravků

Je na místě zdůraznit, že výrobek může:

- být přepravován (nepřidává se hodnota)
- být zpracováván ve výrobě (jediná činnost přidávající hodnotu)
- být kontrolován (nepřidává se hodnota)
- být skladován a čekat (nepřidává se hodnota)

Obecně zákazník nechce platit za činnosti nepřidávající hodnotu. Přestože ne všechny činnosti nepřidávající hodnotu lze zcela eliminovat, měla by trvat snaha je maximálně redukovat. Jde-li o specifický požadavek zákazníka, aby určitý znak jakosti byl 100% kontrolován, a toto je vzato v potaz při stanovení obchodní ceny nebo se společnost rozhodne 100% kontrolovat vybraný znak jakosti pro jeho zvláštní signifikanci (viz kapitoly dále), je to samozřejmě v pořádku, avšak těchto znaků jakosti bývá menšinové množství. Jak se tedy vypořádat s paradoxem, kde je třeba zajistit shodu produktu a zároveň není ekonomicky únosné ji ověřovat 100% kontrolou, například měřením? V takovýchto případech je využíváno statistických indexů způsobilosti procesu.

2.1 Indexy způsobilosti a výkonnosti procesu

Aby bylo správně porozuměno dalším kapitolám, je nutné předpokládat základní chápání statistických pojmů, zejména ohledně pravděpodobnosti a jejího rozdělení, nejčastěji rozdělení normálního a jeho vztahu k Centrální limitní větě. Před vysvětlením, jak indexy způsobilosti procesu pracují a jak se počítají, je třeba si uvědomit, že ve výrobě není žádný produkt stejný. Je to způsobeno tím, že na proces, který utváří samotný produkt, působí různé vlivy. Vlivy jako takové způsobují variabilitu hodnot. Někdy se tyto vlivy nazývají též jako příčiny variability procesu neboli kolísání procesu. Tyto příčiny lze umístit do dvou různých

kategorií, které pomáhají dále analyzovat proces. Jedná se o náhodné příčiny a o vymežitelné příčiny.

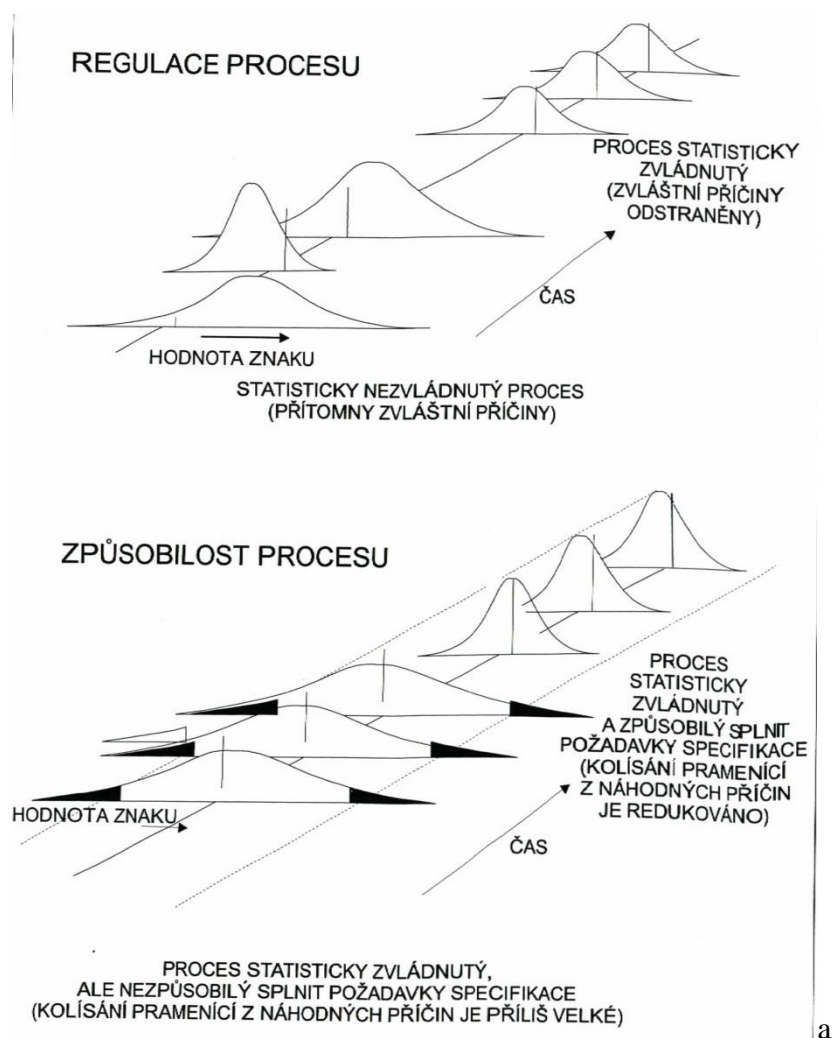
Jako příklady příčin variability procesu u průměru vyráběné hřídele lze uvést kolísání způsobené strojem (vůle, opotřebení ložiska), nástrojem (pevnost, rychlost opotřebení), materiálem (průměr, tvrdost), údržbou (mazání, výměna některých opotřebovaných částí zařízení), prostředím (teplota, stálost napětí v síti) a systémem měření. Některé příčiny variability procesu způsobují krátkodobé rozdíly od jednoho kusu ke druhému (mrtvý chod stroje, uložení stroje, upnutí součásti) a jiné příčiny působí pouze v delším časovém intervalu (nástroj se pozvolna opotřebovává). [12, str. 13]

Náhodné příčiny (chance nebo common causes [13, str. 21]) se vztahují k samotnému procesu a působí na něj trvale. Výsledkem jejich působení je v čase stabilní a opakující se rozdělení pravděpodobnosti sledovaného znaku jakosti. Tento stav procesu se nazývá statisticky zvládnutý proces. Náhodné příčiny se chovají jako stabilní systém náhodných příčin. Jsou-li přítomné pouze tyto a nemění se, je výstup z procesu predikovatelný. [12, str. 14]

Vymežitelné příčiny (assignable nebo special causes [13, str. 21]), v jiné literatuře jako zvláštní příčiny, se vztahují ke každému z faktorů, který způsobuje kolísání ovlivňující pouze některé produkty z výstupů procesu. Tyto příčiny působí obvykle přerušovaně a jsou nepredikovatelné. Dokud nejsou všechny zvláštní příčiny kolísání identifikovány, mohou pokračovat v ovlivňování výstupu z procesu nepředvídatelnými způsoby. Pokud jsou tyto příčiny v procesu přítomny, je proces v čase nestabilní a tedy jeho stav statisticky nezvládnutý. [12, str. 14]

Způsobilstvost procesu je určena kolísáním, které je vyvoláno pouze náhodnými příčinami. To obecně představuje nejlepší výkon samostatného procesu. Tento stav se projevuje, když proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu. Obecně proces ve statisticky zvládnutém stavu může být popsán predikovatelným rozdělením sledovaného znaku jakosti. Pokud proces zůstává ve statisticky zvládnutém stavu a nedochází ke změně polohy, rozptýlení či tvaru, pokračuje takový proces ve vytváření stejného rozdělení součástí splňujících požadavky technické specifikace. Přijatá praxe v automobilovém průmyslu je vypočítat způsobilstvost procesu pouze tehdy, když se prokáže, že proces je ve statisticky zvládnutém stavu. Tyto výsledky jsou pak využity jako základ pro predikci, jaký bude výkon procesu. Zvláštní příčiny jsou zodpovědné za změny ve tvaru, rozptýlení nebo poloze rozdělení znaku charakterizujícího tento proces, a tak mohou rychle zrušit platnost predikce způsobilstvosti procesu. Tedy k používání různých ukazatelů a indexů procesu jako nástrojů predikce jeho chování se vyžaduje, aby data použitá k výpočtu těchto charakteristik byla získána z procesů, které jsou ve statisticky zvládnutém stavu. [12, str. 19-21]

Obrázek č. 2.1-1 vystihuje, že po regulaci procesu a odstranění zvláštních příčin kolísání procesu je dosaženo statisticky zvládnutého a způsobilého procesu.



Obr. č. 2.1-1: Regulace a způsobilost procesu [12, str. 18]

Nejčastějšími statistikami jsou odhady parametru polohy (tzv. těžiště) a rozptýlení v souladu s požadavky zákazníka. Jestliže se rozdělení sledovaného znaku posouvá od středu technické specifikace, zmenšuje se prostor pro možné kolísání. Posun v poloze procesu, vzrůst rozptýlení procesu nebo kombinace obou může vést k produkci neshodných kusů. Na tomto předpokladu jsou stanoveny tyto indexy:

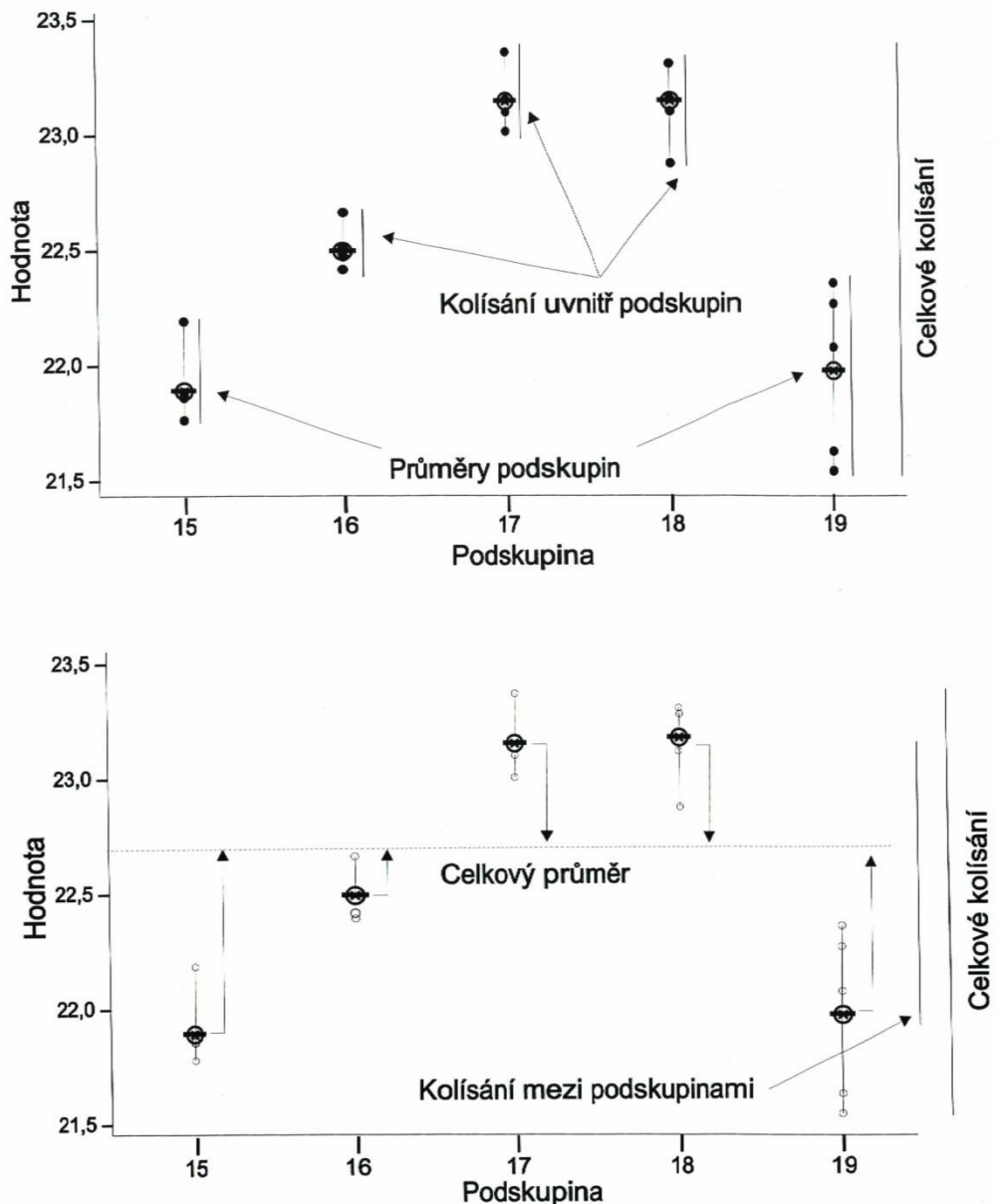
- Ukazatele respektující pouze kolísání procesu a technické specifikace: C_p a P_p
- Ukazatele respektující jak kolísání, tak i polohu těžiště procesu a technické specifikace: C_{pk} a P_{pk}

Náhodné příčiny způsobují tzv. inherentní kolísání procesu. Pro odhad způsobilosti procesu je nutné odhadnout kolísání uvnitř podskupin (σ_c), které by mělo představovat dobrý odhad inherentního kolísání procesu. Pro proces ve statisticky zvládnutém stavu lze kolísání uvnitř podskupin dobře odhadnout z regulačních diagramů pomocí podílů.

Naopak celkové kolísání procesu (σ_P) v sobě zahrnuje jak kolísání podskupin, tak i kolísání mezi skupinami a slouží pro odhad výkonnosti procesu. Toto celkové kolísání procesu se odhaduje výběrovou směrodatnou odchylkou ze všech pozorování:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Grafické znázornění kolísání procesu uvnitř podskupin, mezi podskupinami a celkové kolísání je na obrázku 2.1-2.



Obr. č. 2.1-2: Typy kolísání procesu [12, str. 130]

S ohledem na typ technické specifikace existují různé výpočty indexů způsobilosti a výkonnosti procesu. Zákazník může předepsat hodnotu znaku jakosti:

- cílovou hodnotou s \pm tolerancí symetricky rozdělenou (délka $8,2 \pm 0,5$ mm)
- cílovou hodnotou s $+/-$ tolerancí nesymetricky rozdělenou (délka $8,0 +0,7/-0,3$ mm)
- horní maximální mezí (povrchová tvrdost max 60 HV)
- spodní minimální mezí (vytrhávací síla min 5,0 kN)
- horní mezí s přirozenou fyzikální spodní mezí jako hodnota 0,00 (nejčastěji různé geometrické tolerance, např. rovinnost 0,05)

Nejčastěji se pro horní toleranční mez používá označení USL (*upper specification limit*) a pro spodní toleranční mez LSL (*lower specification limit*). [6, str. 248]

Pro indexy způsobilosti a výkonnosti procesu je čerpáno z QS-9000 z důvodu, že tato literatura slouží jako příručka pro statistické řízení procesů přímo v automobilovém průmyslu. Její dodržení a aplikace v praxi není nijak závazné, není-li dohodnuto mezi odběratelem a zákazníkem. Mnohdy však společnosti v automobilovém průmyslu na tuto příručku odkazují nebo na jejím základě vytváří vlastní směrnice, které mohou s odběratelem sdílet jako zvláštní požadavek zákazníka pro výpočty indexů.

V případě, že je zadána cílová hodnota s oboustrannou toleranční mezí, je pro výpočet indexu způsobilosti procesu C_p použito vztahu

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL - LSL}{6(S/c_4)} \quad (2)$$

Index způsobilosti C_p porovnává způsobilost procesu s maximálním možným kolísáním procesu daným tolerančním polem. Tento index vyjadřuje míru toho, jak dobře proces splňuje požadavek na variabilitu. Tento index není ovlivňován polohou procesu a lze jej počítat pouze v případě předepsání obou tolerančních mezí.

Index způsobilosti procesu C_{pk} navíc přihlíží i k poloze procesu a v případě oboustranné předepsané tolerance musí vyjít vždy nejvýše roven indexu C_p . Index C_{pk} lze zjistit jako menší z hodnot

$$CPU = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3\sigma_c} = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3(S/c_4)} \quad \text{a} \quad CPL = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3(S/c_4)} \quad (3 \text{ a } 4)$$

Velmi podobné vztahy vzorců platí i pro jednostranné toleranční meze, avšak s výjimkou ukazatelů C_p a P_p , neboť jejich stanovení v takovýchto případech nemá smysl. Pouze fyzikálně omezené tolerance, například geometrické tolerance omezené od spodu hodnotou 0, je možné počítat dle vzorce C_p a P_p pro oboustranné toleranční meze. Je však nutné uvědomit si, že vztah k indexu C_{pk} či P_{pk} nelze vnímat stejně. [12, str. 137]

Indexy C_{pk} a P_{pk} však již u jednostranných tolerančních mezí smysl mají, neboť právě zkoumají zároveň polohu procesu a zjišťuje se tedy skutečná poloha procesu od buď spodní, či horní toleranční meze dle vzorců

$$CPU = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3(S/c_4)}, \quad CPL = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3(S/c_4)} \quad (5 \text{ a } 6)$$

Z výše uvedeného lze tedy shrnout rozdílnost daných indexů. Indexy C_p a P_p nic neříkají o tom, zda produkt dosahuje shody. Pouze popisují možnost, zda toho lze s danou technologií a nastavením procesních parametrů dosáhnout. Indexy C_{pk} a P_{pk} už berou v potaz seřízení procesu k cílové hodnotě a dokáží tak zhodnotit, zda produkt bude dosahovat či dosahuje shody.

Způsobilost, tedy indexy C_p a C_{pk} , jsou využívány k predikci chování procesu. Popisují, zda lze produkt na dané technologii vůbec vyrábět ve shodě (index C_p) a zda je tato shoda v čase predikovatelná a dlouhodobě dosažitelná (index C_{pk}), tedy, zda je proces způsobilý plnit požadavky zákazníka. Ke zjištění využívá inherentní složku kolísání podskupin v procesu. Naproti tomu výkonnost, tedy indexy P_p a P_{pk} , pouze ověřují, zda je produkt vyráběn na dostatečně vyzrálé technologii (P_p) a zda je dlouhodobě dosahováno shody produktu (P_{pk}), tedy zda je proces výkonný a skutečně plní požadavky zákazníka. Protože využívá celkového kolísání procesu, nelze na základě těchto indexů predikovat jeho chování do budoucna. K řízení procesu v delším časovém období je pak vhodnější využívat nástroj statistické regulace procesu, tzv. SPC v podobě regulačních diagramů.

Někdy se toto značení indexů C_p , C_{pk} , P_p a P_{pk} převádí na názvy jako způsobilost krátkodobá, předběžná a dlouhodobá [6, str. 247] a i zde koluje v průmyslové praxi značný zmatek. Jak popisuje [6, str. 280], krátkodobá způsobilost je někdy označována jako způsobilost stroje a nese indexy C_m a C_{mk} . Tato krátkodobá způsobilost hodnotí chování stroje nebo výrobního zařízení, kdy vše ostatní (materiál, operátor, prostředí, nástroj, seřízení stroje) má být konstantní. Doporučuje se odebrat minimálně 50 po sobě jdoucích kusů. Samotný výpočet indexu C_m pak literatura umožňuje dvojím způsobem. Buď využitím klasických vzorců pro index P_p (neboť lze zjistit směrodatnou odchylku a variaci celého souboru) nebo použitím upraveného vzorce

$$C_m = \frac{USL - LSL}{8\sigma} \quad (7)$$

Krátkodobá způsobilost se používá nejčastěji před předáním výrobního stroje či zařízení zákazníkovi, po instalaci stroje u zákazníka, po určité době provozování, po opravách stroje nebo před zahájením výroby nového výrobku. [10, str. 356]

Předběžná způsobilost je nejčastěji v literatuře spojována s indexy C_p a C_{pk} , dlouhodobá způsobilost pak s indexy P_p a P_{pk} . I zde se tedy projevuje nejednotnost chápání pojmů způsobilost a výkonnost. Pro předběžnou způsobilost doporučuje [6, str. 281] odebrání alespoň 20 podskupin po třech až pěti vzorcích po zahájení výroby. Pro dlouhodobou způsobilost navrhuje toto odebrání vzorků po dobu alespoň 20 dní, kdy se projeví různé směny, jiní operátoři a seřizovači, výměna nástrojů aj.

Ze znalostí popsaných výše lze odvodit, že v praxi by mělo platit $C_m > C_{mk}$, $C_p > C_{pk}$, $P_p > P_{pk}$ a současně $C_m > C_p > P_p$ a nakonec $C_{mk} > C_{pk} > P_{pk}$. Dále se tato práce bude zabývat tzv. předběžnou způsobilostí C_p a C_{pk} , neboť bude zkoumat produkt v předvýrobní fázi projektu.

2.2 Interpretace hodnot indexů způsobilosti

Index způsobilosti procesu, ať už C_p či C_{pk} , je bezrozměrné číslo. Je-li však známo rozdělení pravděpodobnosti a toleranční mez či meze, je možné odvodit díky dosaženému číslu odhad vyrobených neshodných kusů. Svým způsobem lze na index způsobilosti nahlížet jako na minci o dvou stranách. Buď lze vidět odhad poměru či počet vyrobených shodných kusů nebo naopak kusů neshodných. Toto je možné určit z vlastností například normálního rozdělení pravděpodobnosti, u jehož přirozených mezí v intervalu $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$ se nachází 99,73 % všech hodnot. Není-li rozdělení normální, určují se krajní body intervalu pomocí 0,135% a 0,985% kvantilu jiného vhodného rozdělení. [6, str. 248]

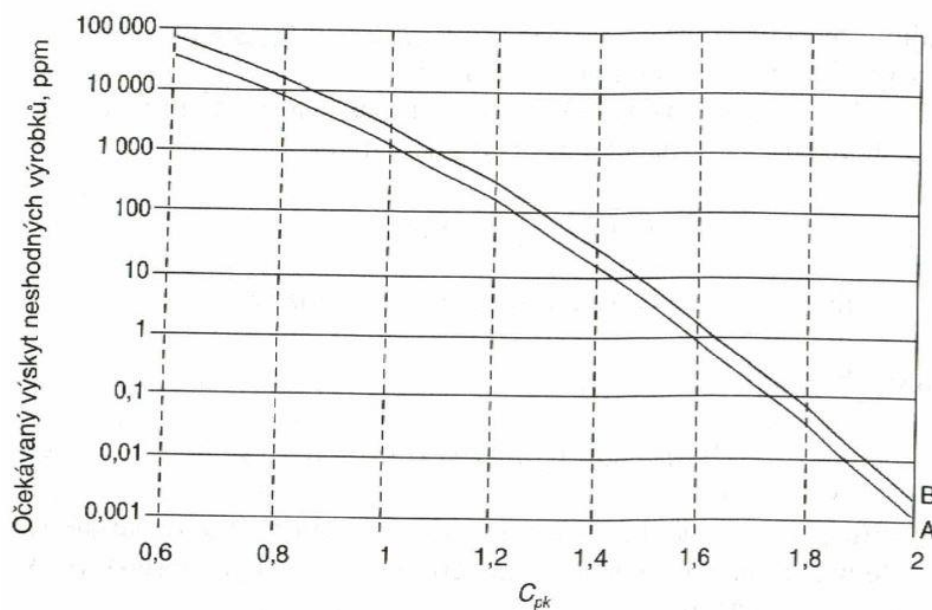
Je-li proces centrováný přesně na střed a index C_{pk} dosahuje hodnoty 1,00, znamená to, že právě 0,27 % hodnot bude ležet mimo toleranční meze. U hodnoty indexu $C_{pk} > 1,00$ to pak znamená s vyšší hodnotou menší podíl neshodných kusů. Naopak hodnoty indexu $C_{pk} < 1,00$ značí vyšší podíl neshodných kusů. V automobilovém průmyslu se nejčastěji užívá hodnot

indexů C_{pk} 1,33; 1,67 a 2,00 pro různé znaky jakosti dle jejich důležitosti. Pro tyto vybrané hodnoty indexů C_{pk} je znázorněn podíl neshodných kusů v tabulce 2.2-1. Tabulka uvádí počet neshodných kusů v jednotkách *ppm*, což je jen přepočtení procentních bodů na počet neshodných kusů na 1 milion vyrobených kusů (*parts per milion* – kusy z milionu), někdy v literatuře jako *DPMO* (*defects per milion oportunities* – vady z milionu příležitostí). Veškeré varianty jsou správné a je spíše jen zvyklostí automobilového odvětví užívat přepočtení na *ppm*. Pro zajímavost, metodika Six Sigma se snaží o hodnotu indexu C_{pk} 2,00 a vyšší, což znamená 0,002 neshodných kusů na 1 milion vyrobených kusů. To je prakticky téměř jistota dodávek pouze shodných kusů, a tak výborné uspokojení požadavků zákazníka.

C_p	<i>ppm</i>	
	Centrovaný proces	Střední hodnota posunuta o $1,5 \sigma$
1,00	2700	66808
1,33	63	6210
1,67	0,573	233
2,00	0,002	3,4

Tab. č. 2.2-1: Podíl neshodných kusů dle hodnoty C_p (kdy $C_p = C_{pk}$) v jednotkách *ppm* [6, str. 251]

Vhodně také vyjadřuje závislost *ppm* na hodnotě C_{pk} graf na obrázku 2.2-1. Zde lze zdůraznit povšimnutí si nelineárního vztahu *ppm* a hodnoty C_{pk} .



Obr. č. 2.2-1: Závislost očekávaného výskytu neshodných výrobků na hodnotě C_{pk} (A: jednostranná tolerance nebo $C_{pk} < C_p$; B: $C_{pk} = C_p$) [10, str. 356]

Takovéto znázornění v jednotkách *ppm* je pro většinu lidí přijatelnější, a spíše si pak pod hodnotou C_{pk} představí něco realističtějšího. Hodnoty C_{pk} z předvýrobních fází projektu mohou sloužit více stranám. Jednak je to samozřejmě zákazník, který tyto hodnoty požaduje znát, dále to může být samotný dodavatel a jeho tým seřizovačů nebo tým konstruktérů. Pro ty je informace o dosahované hodnotě C_{pk} důležitá z pohledu prostoru pro zlepšování. Standard IATF 16949 : 2016 požaduje, aby organizace analyzovala procesy a jejich možnosti zlepšení. Známe-li tedy hodnoty C_p a hodnoty C_{pk} , kde mezi nimi je značný rozdíl, značí to právě možnosti zlepšení procesu seřizením. Při nízké hodnotě C_p je v ní obsažena informace o nutnosti investic do vhodnější technologie či přesun výroby na již stávající, vhodnější technologii uvnitř organizace.

2.3 Předpoklady pro výpočet indexů způsobilosti procesu

Ne vždy je možné uvažovat normální rozdělení pravděpodobnosti u sledovaného znaku jakosti. Před výpočtem indexů způsobilosti procesu je nutné ověřit několik předpokladů a podmínek a v případě jejich porušení postupovat odlišným způsobem. Mezi základní předpoklady a doporučený postup pro výpočet indexů C_p a C_{pk} lze zařadit [10, str. 345]:

1. volbu znaku jakosti;
2. analýzu systému měření;
3. shromáždění údajů;
4. průzkumovou analýzu shromážděných údajů;
5. ověření normality sledovaného znaku jakosti;
6. posouzení statistické zvládnutosti procesu;
7. výpočet indexů způsobilosti procesu a jejich porovnání s požadovanými hodnotami.

Například [13, str. 104] uvádí postup velmi podobně, avšak s rozdílným pořadím, kdy dříve než ověření normality doporučuje ověření stability procesu (statisticky zvládnutý stav). Navíc přidává jako předposlední ověření ještě nezávislost pozorování. Příručka [12, str. 139] tak doporučuje obdobně a dále zdůrazňuje nutnost založení technických specifikací na požadavcích zákazníka.

Obecně v odborné literatuře převažuje shoda v důležitosti ověření analýzy systému měření, statisticky zvládnutého stavu procesu a zejména ověření normality rozdělení pravděpodobnosti pozorovaného znaku kvality. Na všech těchto předpokladech byly doposud vysvětlovány téměř veškeré vzorce a pojmy v předchozích kapitolách.

3 Společnost JTEKT a její produkty

Společnost JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o. (dále jen JAPL) sídlící v průmyslové zóně Borská pole Plzeň používá zkratku z úvodních písmen v podobě JAPL a je součástí světového koncernu JTEKT Corporation. Původem je koncern z Japonska a vznikl sloučením společností Koyo Seiko a Toyota Machine Works v roce 2006. Hlavní sídlo koncernu JTEKT Corporation se nachází ve městě Osaka v Japonsku. Komplexně se celý koncern zaměřuje na průmyslové odvětví ložisek, hnacího ústrojí, obráběcích strojů a řídicích systémů do automobilů. Řízení koncernu je uskutečněno pomocí divizí po jednotlivých kontinentech, které si dále řídí svá výzkumná a konstrukční centra, prodejní kanceláře a zejména výrobní závody. Mezi takovéto výrobní závody v Evropě patří právě JAPL a ten se specializuje na řídicí systémy pro osobní automobily. Řídicí systémy vyráběné v JAPL lze rozlišit na několik druhů:

- MS (*manual steering system*) - manuální hřebenové řízení
- C-EPS (*column electric power steering system*) - řízení s elektrickým sloupkovým posilovačem
- P-EPS (*pinion electric power steering system*) - řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem
- DP-EPS (*double pinion electric power steering system*) - řízení s dvojitým elektrickým pastorkovým posilovačem



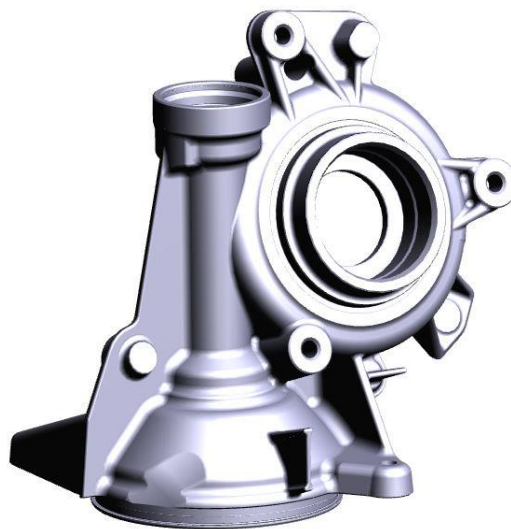
Obr. č. 3-1: Moderní typ DP-EPS [Dostupné online dne 8.1.2019
z <https://www.abdynamics.com/en/applications/production-testing/power-steering-system>]

V současné době pracuje v JAPL kolem 1100 zaměstnanců, kteří společně vyrobí ročně až tři miliony řídicích systémů. Je vhodné zdůraznit, že společnost nevyrábí a ani neplánuje výrobu hydraulických posilovačů. Mezi zákazníky JAPL patří např. automobilky dle abecedního pořadí Audi, Dacia, Daimler, Peugeot, Renault, Škoda, Toyota, Volkswagen aj. Samozřejmě ne všechny komponenty nutné pro montáž si JAPL vyrábí samostatně. Mnoho

z nich je nakupováno jako komponent. Dále je v této práci řešen systém P-EPS, do kterého je nutné nakoupit obrobek zvaný Worm Housing.

Produkt Worm Housing (dále jako WH) lze přeložit jako skříň šnekového převodu a v této práci bude řešen typ pro řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem, zkráceně P-EPS, pro nový projekt již stávajícího zákazníka. Pro lepší představu je v příloze 1 zobrazena v podobě 3D modelu celá sestava systému řízení P-EPS. V sestavě je zelenou barvou zvýrazněn právě výrobek WH. WH v sestavě funguje, jak je již z názvu patrné, jako skříň šnekového převodu, což znamená, že ve WH je uložen šnek a kolo s hřídelí. K jedné přírubě WH je namontován motor, který při impulzu z řídicí jednotky automobilu vyvíjí posilovací moment na šneka a šnek přenáší požadovaný moment na kolo v druhé přírubě, skrz které prochází hřídel. Hřídel je spojena s pastorkem, který mění rotační pohyb na posuvný pohyb hřebenové tyče. Ta je dále spojena s předními těhlicemi u kol a umožňuje tak ovládání vozidla.

Postup výroby WH pro typ P-EPS probíhá u současného dodavatele v několika krocích. Nejprve je vysokotlakým odléváním vyroben odlitek. K tomu se využívá hliníkové slitiny $AlSi_9Cu_3(Fe)$, která se řadí mezi tzv. siluminy a má vhodné slévárenské vlastnosti. Pro odlití se používá rámová forma s vyměnitelnou vložkou o dvou kavitách. Dále je výrobek zchlazen ve vodě a založen do ostřihovacího nástroje. Po ostřihání dochází k apretaci, tzv. otryskání ocelovými kuličkami v rotačních bubnech. Po apretaci následuje nejdůležitější proces, a to obrábění na 5 osém CNC stroji firmy Chiron s jedním stolem, dvěma upínači a dvěma vřeteny. Po obrobení zbývá již jen chemické mytí ve vanové pračce a následná vizuální kontrola, předepsané měření a balení do vratných plastových beden. Všechny tyto procesy jsou prováděny automatizovaně, kromě přepravy mezi jednotlivými pracovišti, vizuální kontroly, některého měření a balení. Výsledný produkt WH, jeho 3D model, je na obrázku 3-2.



Obr. č. 3-2: 3D model komponentu Worm Housing [3D model spol. JAPL]

Komponent WH má vytvořený také 2D výkres pro odlitek a pro obrobek. Na výkrese obrobku jsou vyznačeny konstrukčním týmem zvláštní znaky jakosti, které musí dodavatel dodržet s vysokou přesností tolerance. Znaky jakosti musí být dodavatelem pečlivě prostudovány, s ohledem na stávající technologické možnosti dílny.

Společnost JAPL nakupuje WH jako obrobek a hlavním podkladem je kromě obchodních smluv zejména výkres obrobku. Proto je další část práce řešena v oblasti procesu obrábění. Systém řízení se společně s brzdami, airbasy nebo bezpečnostními pásy řadí mezi kritické produkty v automobilu a je jim tak věnována zvýšená pozornost ze strany automobilek. V rámci konstrukční analýzy, tzv. DFMEA, jsou určeny zásadní komponenty a u nich jsou pak ve výkresech vyznačeny kritické kóty, specifikace či jiné zkoušky, které musí splňovat oproti ostatním charakteristikám mnohem přísnější tolerance a jsou označeny symboly jako zvláštní znaky jakosti. Pro nový projekt, kódově značený XNO, je požadováno po dodavateli WH, aby spolu se vzorky v určité fázi projektu zároveň zaslal výsledky indexů způsobilosti procesu na vybrané znaky jakosti. Tyto znaky jakosti jsou voleny zákazníkem, tedy společností JTEKT, a jsou označeny speciálním symbolem písmene C v kosočtverci ($\diamond C$) a znamenají kritické položky pro montáž. K nalezení jsou v příloze 2, ve které je výřez konstrukčního výkresu, který obsahuje pouze ty části výkresu, ve kterých jsou zkoumané charakteristiky. Celkem jich je sedm, neboť poznámka č. 4 (čistota dílu) takto označená se nevztahuje pro výpočet indexu způsobilosti procesu.

Při jejich nesplnění hrozí ztráta funkce výrobku či dokonce ohrožení na lidském životě. Každý komponent může mít různý počet a i různé zvláštní znaky jakosti. Ty jsou určeny zákazníkem a konstrukčním týmem. U komponentu WH bylo tedy konstrukčním týmem označeno celkem sedm zvláštních znaků jakosti, které lze statisticky hodnotit pomocí indexů způsobilosti procesu. Jejich výčet je mimo přílohu 2 také v tabulce 3-1. Ve společnosti JAPL je užíváno místo termínu „zvláštní znak jakosti“ zkráceně „kritický znak“, někdy také „C“ znak z anglického Critical.

#	Kritický znak	Tolerance
1	Průměr	90,900 -0,040/-0,094
2	Rovnoběžnost	0,03-M
3	Sklon	0,1-E
4	Umístění	Ø 0,1-E,D
5	Umístění	0,02-EMD (pouze k 48,5)
6	Průměr	66,300 -0,035/-0,065
7	Souosost	Ø 0,05-E,D

Tab. č. 3-1: Kritické znaky jakosti komponentu Worm Housing [Vlastní zpracování]

V tabulce 3-1 mají některé kritické znaky velmi malá toleranční pole; v některých případech jen setiny milimetru. S dodavatelem je smluven kontrakt na několik desítek tisíc kusů ročně po dobu přibližně pěti let, což je obvyklý prodejní cyklus jedné generace automobilu. Všechny dodávané komponenty musí splňovat toleranční předpisy, a to zejména u těchto kritických znaků jakosti.

Při nedodržení tolerančních mezí kritických znaků jakosti mohou nastat rizika s různými následky. Takové příklady rizik a následků pro komponent WH jsou k nalezení v tabulce 3-2, kde pořadí odpovídá kritickým znakům jakosti v tabulce 3-1.

#	Riziko	Následek
1	Netěsnost příruby motoru	Hlučnost, pronikání vlhkosti, zkrat motoru
2	Vyosení hřídele motoru	Hlučnost, rychlé opotřebení, neplynulé posilování
3	Vyosení šnekového hřídele	Hlučnost, nízký či vysoký moment posilování
4	Osový posuv šneka vůči kolu	Hlučnost
5	Osový posuv kola vůči šneku	Hlučnost, nízký či vysoký moment posilování
6	Netěsnost příruby kola	Hlučnost, pronikání vlhkosti, degradace maziva, rychlé opotřebení
7	Vyosení torzní tyče	Nesprávný signál z hysterezní křivky, opožděné posilování

Tab. č. 3-2: Rizika a následky nedodržení kritických znaků jakosti u komponentu WH
[Vlastní zpracování]

Lze si povšimnout, že téměř ve všech případech hrozí při neshodě na WH hlučnost systému řízení. Samotná hlučnost systému řízení neohrožuje uživatele na zdraví, avšak velice snižuje komfort užívání a hlučné díly jsou automobilkami nekompromisně reklamovány. Co však již může ohrozit zdraví, je náhlý zkrat motoru, jak lze vyvodit u kritického znaku jakosti č. 1. Protože je nežádoucí, aby se podobná rizika naplňovala, je po dodavateli požadováno statistické vyhodnocení způsobnosti procesu a tím vypočtení předpokládané zmetkovitosti vybraných kritických znaků jakosti. Takovýto požadavek však musí být smlouven oficiálně v rámci obchodního kontraktu. Pro obchodní kontrakt pro komponent WH se využívá několika směrnic, které jsou smluvně provázány, aby je dodavatel musel závazně dodržovat.

4 Výpočet indexů způsobilosti procesu dle směrnice zákazníka

Jak bylo zmíněno v předešlých kapitolách, na stranu zákazníka se staví společnost JAPL a komponent Worm Housing je nakupován jako obrobek od dodavatele, který není záměrně jmenován a není to ani nezbytně nutné. V této práci tedy vystupuje spol. JAPL jako zákazník a dále obecně jen dodavatel. Mezi zákazníkem a dodavatelem neexistuje žádný další zprostředkovatel, překupník, mezisklad aj.; vztah je zcela přímý.

4.1 Směrnice a obchodní kontrakt

Pro dodržení logické souvztažnosti je nutné se ptát, na základě čeho je zákazník oprávněn požadovat určitou metodu výpočtu a jak se o ní dodavatel dozví. Ve spol. JAPL totiž existuje mnoho interních směrnic, které se problematikou výpočtu indexů způsobilosti procesu zabývají, a mnohdy si samotné dokonce v něčem i odporují či mají jinak definované základní pojmy. Mezi takové patří např. interní JTEKT směrnice Guide N° JEU_GQ_024 B (*Statistical process control on machining processes*), Guide N° JEU_GQ_025 B (*S.P.C. - Statistical process control for machining – Calculation of charts & models*), JAPL-PI-Q-151 B (*Machine Process Capability*) nebo JAPL-I-Q-024 C (*Process Capability Analysis Standard*). K těmto interním směrnicím však dodavatel nemá oficiální přístup.

Na začátku každého projektu zasílá nákupní oddělení z JEO (*JTEKT European Operations*), což je centrála pro evropské závody, každému dodavateli mimo jiné obchodní smlouvy a další ujednání. Mezi relevantní patří obecné obchodní podmínky JEU_PI_DHA_009 G (*JTEKT General Purchase Conditions*) a závazek kvality projektu JEU_PI_SQ_063 F (*Project Quality Commitment*). Tyto dokumenty jsou požadovány po dodavateli podepsat, neboť smluvně ujednávají velmi důležité předpoklady a podmínky pro způsoby financování, dodávek, kvality, reklamací aj. V dokumentu JEU_PI_SQ_063 F (*Project Quality Commitment*), hned na straně 1, je odkázáno na dokument Guide N° JEU_GQ_015 K (*Purchasing Guide*), který se ve své druhé části zaměřuje blíže na kvalitu a reklamační řízení. A právě v této části dokumentu, na straně 18, je další odkaz na interní směrnici pro metodu výpočtu indexů způsobilosti procesu Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*). Dokument Guide N° JEU_GQ_015 K (*Purchasing Guide*) také ještě odkazuje na interní směrnici pro výpočet konfidenčních intervalů JEU_PI_SQ_048 B (*Capabilities: Calculation of Confidence Interval*), též na straně 18.

V dokumentu Guide N° JEU_GQ_015 K (*Purchasing Guide*) je navíc velmi důležitá tabulka, která je k nalezení v příloze 3. Příloha 3 rozlišuje požadavky na hodnoty indexů způsobilosti procesu pro různé fáze projektu a různé zvláštní znaky jakosti. Pro komponent Worm Housing platí kategorie C1 v rané fázi projektu, proto index $C_{pk} > 1,67$. Pro jiné komponenty může být naopak předepsán jiný zvláštní znak jakosti, pro který může platit jiná hodnota indexu C_{pk} . Hodnota 1,67 tedy není vždy pravidlem.

Ke všem těmto dokumentům a směrnicím, které se ho týkají, má dodavatel přístup přes B2B portál a to vždy v aktuálním znění. Navíc při aktualizaci systém automatizovaně zasílá upozornění e-mailem na kontaktní osoby u dodavatele. Byť se současné propojení obchodního kontraktu se směrnicí pro výpočet indexů způsobilosti procesu může zdát trochu složité, hlavní je, že existuje a je tak zcela oprávněné trvat na dané metodě výpočtu po dodavateli. Ten má povinnost se s dokumenty seznámit a dodržovat je, což plyne z dodavatelova podpisu při přijetí projektu.

Pro výpočet indexů způsobilosti procesu pro komponent WH bude tedy odkazováno na základní směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) a JEU_PI_SQ_048 B (*Capabilities: Calculation of Confidence Interval*). V odborné literatuře

se lze setkat zejména s indexy způsobilosti procesu C_m , C_{mk} , C_p , C_{pk} , P_p a P_{pk} . Směrnice Guide N° JEU_GQ_015 K (*Purchasing Guide*) vyžaduje zhodnocení indexů C_{pk} , které nazývá jako krátkodobé způsobilosti procesu. Proto také budou vyhodnocovány indexy C_{pk} .

4.2 Postup výpočtu

Stručně lze ze směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) určit pro výpočet indexů způsobilosti procesu komponentu WH následující postup:

- 1) Určení znaků jakosti pro výpočet indexů C_{pk}
- 2) Příprava před vzorkováním
 - a. Určení výrobních variant
 - b. Sestavení plánu odběru vzorků
- 3) Analýza systému měření
- 4) Vzorkování a měření, souhrn dat
- 5) Tvorba histogramů
- 6) Ověření normality dat
 - a. Shapiro-Wilkův test
 - b. Kolmogorovův nebo Anderson-Darlingův test
- 7) Výpočet odhadů indexů C_{pk}
 - a. Dle normálního rozdělení
 - b. Dle nenormálního rozdělení
- 8) Ověření indexů C_{pk} v konfidenčních intervalech
- 9) Rozhodnutí o shodě a neshodě

Pro komponent WH byl první krok proveden v předešlých kapitolách, kde byly vybrány kritické znaky jakosti a také odůvodněna jejich důležitost z pohledu rizika neshody. Přehled těchto určených kritických znaků je v příloze 2. Veškeré postupy a výpočty v dalších kapitolách této práce budou směřovány pouze ke komponentu WH a sledují sled kroků viz postup výpočtu výše.

4.3 Příprava před vzorkováním

Než kdokoli začne vyrábět vzorky pro měření a výpočet indexů C_{pk} , je nutné zjistit podmínky pro samotný způsob vzorkování. I vzorkování má mít svůj řád. Směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) uvažuje index C_{pk} jako krátkodobou způsobilost, jejíž charakteristiku popisuje pomocí vnitřního kolísání procesu a dle toho tedy vyžaduje, aby při vzorkování probíhala výroba jako jedna výrobní perioda bez přerušení a při které nebudou měněny parametry stroje, stroj bude obsluhovat jeden a ten samý operátor, bude dodržena stejná metoda zakládání odlitku do stroje, bude použito stejného vybavení stroje, vstupní dávka materiálu odlitků bude z jedné šarže a případně rozdělena dle otisků z formy, teplota na pracovišti bude stálá apod.

Jak bylo již zmíněno dříve, vysokotlaké odlévání bude využívat 2kavitové formy a obrábění bude probíhat na 5osém CNC s jedním pevným stolem, dvěma upínači a dvěma vřeteny. Pro výrobu tedy bude nutné zakládat do stroje na první upínač jeden typ odlitku, např. z kavity č. 1 a na druhý upínač druhý typ odlitku, tedy např. z kavity č. 2. Každý upínač ve stroji má vlastní vřetenno, tedy v tomto případě k variaci nedochází. Celkem tedy bude ve skutečnosti třeba vytvořit vzorky dvou velkých skupin, a to první skupinu pro případ kavity č. 1 na upínači č. 1 a pro vřetenno č. 1 a pak druhá skupina pro případ kavity č. 2 na upínači č. 2 a pro vřetenno č. 2. Samozřejmě existuje možnost, že odlitky budou zakládány i opačně či zcela

náhodně. To by však zvýšilo celkovou variaci ještě více a tím i náklady na vzorkování a průběžné měření. Dodavatel složitější variaci zatím neuvažuje, minimálně nikoli v počátečních fázích projektu. Pokud by v budoucnu padlo rozhodnutí uvolnit i jiný způsob variace do výroby, muselo by být stejným způsobem vše navzorkováno, prověřeno a zákazníkem schváleno. Přehledněji je celková variace výroby znázorněna v tabulce 4.3-1. Zeleně jsou podbarveny ty varianty, které dodavatel zvolil pro svou výrobu. Je nutné ještě dodat, že tyto varianty platí pro daný typ CNC stroje Chiron. Pokud bude v budoucnu potřeba uvolnit z kapacitních důvodů či jako záložní řešení ještě další stroj, byť i stejného typu, platí logika sestavení matice variant zcela stejně spolu s podmínkou dalšího vzorkování a uvolnění zákazníkem. Zatím je však tedy naplánována výroba pouze na jednom daném stroji a to s výrobními variantami 1 a 2.

Varianta #	Kavita 1	Kavita 2	Stůl 1	Upínač 1	Upínač 2	Vřeteno 1	Vřeteno 2
1	o		o	o		o	
2		o	o		o		o
3	o		o		o		o
4		o	o	o		o	
5	o	o	o	o		o	
6	o	o	o		o		o

Tab. č. 4.3-1: Výrobní varianty u dodavatele. Zeleně podbarveny zvolené výrobní varianty.
[Vlastní zpracování]

Směrnice Guide N° JEU_GQ_015 K (*Purchasing Guide*) dále požaduje, aby vzorkovací výroba probíhala za podmínek sériové výroby, což znamená použití sériového stroje, nástrojů, vybavení, obsluha vytrénovaným operátorem, použití finálního balení, odladěného měřicího systému a měřících zařízení apod. Dále tato směrnice vyžaduje délku trvání vzorkovací výroby alespoň dvě hodiny a výrobu nejméně 125 ks. Výrobní požadavek dvou hodin znamená přepočtem 7.200 sekund. Při výrobním cyklovém času dílu 40 sekund (včetně založení a vyložení dílu ze stroje) to znamená výrobu 180 ks. Tím by měly být předpoklady, viz výše, splněny.

Dalším důležitým krokem přípravy vzorkování je určení systému vzorkování. To znamená, zda budou při vzorkovací výrobě odebírány kusy ihned za sebou, náhodně či nějakým algoritmem. Tomuto však předchází nutnost vědět celkový počet požadovaných vzorků. Jak v odborné literatuře, tak i ve směrnici Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) panuje shoda, že čím více vzorků, tím obecně lépe. Avšak i odborná literatura připouští možnost individuálního určení počtu s ohledem na náročnost výroby a zkoušky či měření. Zde budou vzorky měřeny na souřadnicovém měřidle, tzv. 3D měřidle, kde jeden program měření trvá 15 minut. Toto měření je poměrně náročné a nákladné, proto bylo rozhodnuto zvolit pro vzorkování 50 ks, což je spodní minimum, které směrnice povoluje. Snížený počet vzorků však bude muset být reflektován při ověření v konfidenčních intervalech dle směrnice JEU_PI_SQ_048 B (*Capabilities: Calculation of Confidence Interval*).

Směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) doporučuje, podobně jako odborná literatura, vzorkování v podskupinách o velikosti pěti vzorků. Takto bude zvolena metoda odběru vzorků. Z těchto znalostí lze určit konkrétní plán odběru vzorků pro každou variantu 1 a 2. Při výrobě 180 ks během dvou hodin bude vždy odebráno pět kusů vzorků v rámci jedné podskupiny, pak 14 či 15 kusů vynecháno a poté opět pět kusů vzorků

odebráno do další podskupiny atd. Schematicky je znázorněn plán odběru vzorků v tabulce 4.3-2.

Podskupina	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-	6	-	7	-	8	-	9	-	10
Odebraný počet [ks]	5	14	5	15	5	14	5	15	5	14	5	15	5	14	5	15	5	14	5
Celkem vyrobeno [ks]	180																		
Celkem vzorků pro výpočet C_{pk} [ks]	50																		

Tab. č. 4.3-2: Plán odběr vzorků pro varianty 1 a 2. Pro každou výrobní variantu bude odebráno 50 vzorků pro výpočty indexů C_{pk} . [Vlastní zpracování]

4.4 Analýza systému měření

Je-li připraven plán vzorků pro každou výrobní variantu, a pokud jsou splněny předpoklady výroby, viz výše, může vzorkovací výroba začít. Samotná výroba vzorků však není konečným cílem, tím je výpočet indexů C_{pk} . Aby byl výsledek relevantní, musí být zvolen jednak správný výpočet, ale také musí být k dispozici správná data. Správnými daty se rozumí naměřené údaje, které lze považovat za důvěryhodné a objektivní. Jak je známo z oboru metrologie, u měřených veličin nemůžeme nikdy nalézt pravou hodnotu. Snažíme se jí měřením přiblížit s určitou chybou nejistoty měření.

Obor metrologie se tímto problémem dodnes významně zabývá a v současnosti existuje tzv. analýza systému měření, někdy známa pod anglickou zkratkou MSA (*Measurement System Analysis*) či po staru dílčí část opět anglické zkratky R&R (*Repeatability and Reproducibility*). Analýza systému měření statisticky zkoumá, zda zvolené měřidlo, metoda měření, podmínky měření apod. vyhovují tak, že měření určitého znaku jakosti je opakovatelné a reprodukovatelné. To znamená, že ať už ten samý či jiný operátor bude měřit opakovaně za sebou či se zpožděním daný znak jakosti předepsaným měřidlem a případně předepsanou metodou a za předepsaných podmínek, neměl by se statisticky významně odchylovat od ostatních naměrů. Tato analýza systému měření musí být provedena na všechny plánované měřené znaky jakosti. Protože se jedná o poměrně rozsáhlou problematiku, není v této práci prostor pro detailní vysvětlení postupu této analýzy. Pro bližší informace je doporučeno prostudovat příručku *Measurement System Analysis* od skupiny AIAG, aktuálně 4. vydání. Pro účely této práce je konstatován fakt, že analýza systému měření byla provedena u dodavatele na všechny plánované měřené kritické znaky jakosti s výsledkem vyhovujícím. Proto bude možné postoupit k měření vzorků, sběru a vyhodnocení dat.

4.5 Vzorkování a měření

Vzorkování bude probíhat dle plánu odběru vzorků pro výrobní varianty 1 a 2. Pro každou variantu bude odebráno 10 podskupin o pěti vzorcích. Protože jedno měření na 3D zařízení trvá kolem 15 minut, bude třeba uvolnit kapacitu v laboratoři na celou víkendovou směnu. Tato směna však bude výjimečná kvůli vzorkování, protože během všedních dní je nutné mít volnou laboratoř pro postupné uvolňování výroby v již sériové produkci. Výstupy z 3D měřicího zařízení bohužel nelze vyexportovat do editovatelné verze, ale jen do verze pdf. Proto bude ještě nutné naplánovat další čas pro zpracování dat, tj. přepsání výsledků měření pro každou charakteristiku do předem připraveného editovatelného programu MS Excel.

4.6 Histogramy

Po změření vzorků je třeba data uspořádat, ověřit a rozhodnout, jak budou dále zpracována. Směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) doporučuje v první řadě vytvoření histogramů pro rychlou analýzu pravděpodobnostního rozdělení dat a pro ověření, zda soubor dat neobsahuje zdánlivě vylučitelné chyby měření, jakými obvykle bývá např. špatný opis dat či náhlá porucha měřicího zařízení. Pro tvorbu histogramu směrnice doporučuje základní vzorce pro samotnou konstrukci histogramu.

Nejprve je třeba rozhodnout o třídě histogramu, která se zjistí dle vzorce (8), alternativně dle vzorce (9).

$$K_t = 1 + \frac{10 \cdot \log(N)}{3} \quad (8)$$

$$K_t = \sqrt{N} \quad (9)$$

Třída je limitována velikostí 20. Dále je předepsán vzorec (10) pro určení třídy intervalu histogramu. Třída intervalu histogramu musí být zaokrouhlena na násobek rozlišení přístroje.

$$h_t = \frac{W_t}{K_t} \quad (10)$$

4.7 Ověření normality dat

Jak v odborné literatuře, tak i ve směrnici Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) jsou pro všechny možné výpočty indexů způsobilosti procesu uvažovány základní předpoklady, a jedním z největších předpokladů je, že proces vykazuje chování normálního pravděpodobnostního rozdělení. Na tom je postavený celý základ těchto indexů, který se v historii dále rozvíjel. Ovšem jak ukázal čas a praxe, ne vždy se proces tak chová. Naopak mohou nastat i případy, kdy výroba nesestává ani z jednoho procesu s chováním dle normálního rozdělení. Matematici vytvořili různé statistické nástroje, jak normalitu dat ověřit. Směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) doporučuje postupně různé možnosti. První z nich je vizuální analýza dat z histogramů, kde by protnutá křivka měla odpovídat křivce normálního rozdělení, tedy zvonovitému a symetrickému tvaru. Avšak obvykle, co člověk, to různý subjektivní pohled a tím i vyhodnocení. Extrémní případy by tímto neměly být ohroženy, ale přechodné meze už mohou být vyhodnoceny různě.

Dalším vizuálním vyhodnocením normality dat je dle směrnice možné užít testu tzv. Henryho přímé křivky. Ten v principu využívá toho, že vzestupně seřazená data vytvoří při vykreslení funkce dle vzorce (11) přímkou, pokud jsou data normálně rozdělena. Pokud nevznikne přímka, lze hypotézu o normálním rozdělení dat zamítnout. Ovšem i vizuální vyhodnocení přímkou bývá subjektivní.

$$F(x_i) = \frac{i}{n+1} \quad (11)$$

Protože je předpokládáno, že výpočet ve formě jasného výsledku v podobě čísla je více objektivní, upřednostňuje směrnice další možnosti ověření normality dat. Záleží však na velikosti souboru dat. V případě do 50 vzorků je doporučen Shapiro-Wilkův test a v případě nad 50 vzorků je doporučen Kolmogorovův nebo Anderson-Darlingův test.

Odborná literatura samozřejmě zná mnohem více testů a každý se může hodit pro jiné soubory dat či jiné cíle zkoumání. Směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) však uvažuje pouze tyto matematické testy, a protože je již známa velikost souboru dat do 50 ks, bude volen právě Shapiro-Wilkův test. Shapiro-Wilkův test normality dat je mechanismus, který pracuje na principu dvou hypotéz.

Hypotéza H_0 : data odpovídají normálnímu rozdělení $N(\mu, \sigma)$

Hypotéza H_1 : data neodpovídají normálnímu rozdělení $N(\mu, \sigma)$

Tento test je založen na rozhodnutí o proměnné W , což je poměr dvou odhadů variability populace. Test je proveden stručně v těchto krocích. Nejprve je nutné seřadit data vzestupně, tedy $x_1 < x_2 < \dots < x_n$. Poté se stanoví testovací proměnná W dle vzorce (12),

kde

$a_i(n)$ = dle tabulek v příloze 4

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$m = \begin{cases} \frac{n}{2} \\ n-1 \\ \frac{n-1}{2} \end{cases}$$

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^m a_i(n) (X_{(n-i+1)} - X_{(i)}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (12)$$

Dále se stanoví kritická hodnota pro $W_\alpha(n)$ pro dané n a $\alpha = 0,01$ nebo $\alpha = 0,05$. Směrnice používá 5% hladinu významnosti. Pak už zbývá jen porovnat získané W a $W_\alpha(n)$ dle vzorce (13):

$$W \leq W_\alpha(n) \quad (13)$$

V takovémto případě je nulová hypotéza zamítnuta; tedy v případě menší proměnné W je zamítnuta hypotéza, že data odpovídají normálnímu rozdělení.

Lze se také setkat s jiným vyhodnocením u různých počítačových programů kromě proměnné W . Tím je porovnání tzv. P -hodnoty (z anglického pojmu *Probability*, tedy pravděpodobnost). P -hodnotu vyhodnotí software pomocí vzorce (14):

$$P - \text{hodnota} = P\{W < W_{obs}\} \quad (14)$$

Logika vyhodnocení je tak tedy podobná a platí, že v případě

$$P\text{-hodnota} \leq \text{hladina významnosti } \alpha$$

je nulová hypotéza zamítnuta; tedy při P -hodnotě menší než v případě směrnice 5 % je zamítnuta hypotéza, že data odpovídají normálnímu rozdělení.

4.8 Výpočet indexů C_{pk}

Směrnice Guide N° JEU_GQ_008 B (*Capability of Production Facilities*) předepisuje pro výpočet indexů C_{pk} vzorec (15):

$$C_{pk} = \min \left[\frac{m_p - TI}{1/2 * D_i}; \frac{TS - m_p}{1/2 * D_i} \right] \quad (15)$$

kde D_i je odvozeno od dalšího vzorce 16 a dále inherentní směrodatná odchylka dle vzorce (17):

$$D_i = 6 * \sigma_i \quad (16)$$

$$\sigma_i = \frac{\text{average}(\sigma_{i1}, \dots, \sigma_{ik})}{c_4} \quad (17)$$

Pro vzorec (16) jsou použity konstanty, které se odvozují dle velikosti podskupiny. Jejich tabelované hodnoty jsou k nalezení v příloze 5. Při jednostranné toleranci se u vzorce (15) uplatní vždy jen jedna relevantní strana tolerančního pole.

Vzorce (15), (16) a (17) platí jen v případě, že testování hypotéz o normalitě dat nezamítlo normální rozdělení dat. Pokud však byla normalita dat zamítnuta, jsou dle směrnice další dvě možnosti výpočtu.

- Zjistit skutečné pravděpodobnosti rozdělení souboru dat
- Použít penalizace místo 6σ zvýšením na 8σ

Protože nalézt skutečné pravděpodobnostní rozdělení se nemusí buď vůbec povést, nebo je k tomu zapotřebí mnohem více dat než 50 vzorků, upřednostňuje směrnice použití spíše druhé možnosti, tedy penalizace odhadu směrodatné odchylky. Pro informaci, pokud by se podařilo nalézt skutečné pravděpodobnostní rozdělení souboru dat, postupovalo by se dále pro výpočet indexů C_{pk} tzv. kvantilovou metodou. Nicméně tento postup nebude použit a není tedy relevantní zkoumat jej podrobněji.

4.9 Konfidenční intervaly

Po vypočtení indexů C_{pk} , ať už při použití vzorce pro normální rozdělení či při použití penalizace, je nutné výsledek ověřit v tzv. konfidenčním intervalu. To je nutné z toho důvodu, že výpočet používá odhady ze souboru dat, a proto i výsledek indexu C_{pk} bude pouhý odhad. Ten se tedy musí opět testovat s určitou hladinou významnosti.

Pro testování v konfidenčním intervalu byl společností JTEKT vytvořen soubor řízený směrnici JEU_PI_SQ_048 B (*Capabilities: Calculation of Confidence Interval*). Tento soubor vyžaduje jako vstupní parametry pro výpočet konfidenčních intervalů:

- Výsledný odhad indexu C_{pk}
- Velikost souboru dat
- Hladinu významnosti α

Výsledný odhad indexu C_{pk} se zjistí výpočtem viz výše, velikost souboru dat je v případě této práce $n = 50$ a hladinu významnosti u kritických znaků jakosti předepisuje směrnice $\alpha = 20 \%$.

V této směrnici JEU_PI_SQ_048 B (*Capabilities: Calculation of Confidence Interval*) jsou použity tyto základní vzorce (18) a (19):

$$C_p * \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2}^2}{n-1}} \leq C_p \leq C_p * \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2}^2}{n-1}} \quad (18)$$

$$C_{pk} - u_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{n-1}{9n*(n-3)} + \frac{C_{pk}^2}{2*(n-3)} * \left(1 + \frac{6}{n-1}\right)} \leq C_{pk} \leq C_{pk} + u_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{n-1}{9n*(n-3)} + \frac{C_{pk}^2}{2*(n-3)} * \left(1 + \frac{6}{n-1}\right)} \quad (19)$$

Výsledkem tohoto výpočtu je dolní mez a horní mez konfidenčního intervalu pro index C_{pk} . Protože index C_{pk} slouží nepřímě k vyjádření zmetkovitosti výroby, je třeba zajímat se jen o dolní mez konfidenčního intervalu. Dolní mez je pak považována za konečný výsledek indexu C_{pk} , který je dále třeba porovnat s požadavkem zákazníka. Výsledek dolní meze konfidenčního intervalu musí být vyšší než požadovaná hodnota od zákazníka, jinak dochází k neshodě. U kritických znaků jakosti je to tedy vyšší než 1,67.

5 Výpočet indexů způsobilosti procesu dle praxe dodavatele

Dodavatel se pohybuje v automobilovém odvětví již několik desítek let a měl by tak mít zaveden svůj systém, jak hodnotit vlastní výrobu pomocí indexů C_{pk} . S dodavatelem byl tento postup auditován a podrobně prodiskutován při společných návštěvách.

5.1 Směrnice dodavatele

Výpočet indexů způsobilosti procesu u dodavatele by se měl řídit jeho směrnicí, případně by se měl odkazovat přímo na směrnici zákazníka. Bohužel, dodavatel nebyl schopen nic takového předložit. Vede pouze vlastní praxi výpočtu, která je z pohledu systému managementu jakosti shledávána jako neřízená informace.

Dodavatel v současnosti používá svou jednoduchou verzi programu v MS Excel, kde má přednastavené vzorce pro výpočet indexů C_{pk} z 30 vzorků. Z tohoto programu lze vyčíst vzorce (20) a (21):

Vzorec dodavatele pro C_{pk} :

$$C_{pk} = \left[\frac{m_p - TI}{3s}; \frac{TS - m_p}{3s} \right] \quad (20)$$

kde

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (21)$$

Při jednostranné toleranci se u vzorce (20) uplatní také vždy jen jedna relevantní strana tolerančního pole; podobně jako dle směrnice JTEKT.

5.2 Postup výpočtu

Postup výpočtu dle směrnice zákazníka se skládá z celkem 9 základních kroků, viz kapitola 4.2. Oproti tomu postup výpočtu dle dodavatele neobsahuje všechny kroky.

Společně se zákazníkem dodavatel postupuje u těchto kroků:

- 1) Určení znaků jakosti pro výpočet indexů C_{pk}
- 2) Analýza systému měření

Určení kritických znaků jakosti vychází z technické specifikace projektu, a to hlavně pomocí výkresové dokumentace. Dodavateli je předložen výkres s již označenými znaky jakosti, viz příloha 2. Analýzu systému měření provádí dodavatel za součinnosti zákazníka, a to způsobem, že společně měřící laboratoř zákazníka a dodavatele sdílí měřící 3D programy a ladí případné rozdíly. V případě nejednoznačnosti výkresu si domluví vzájemný postup či kompromis. Po sjednocení programů se provede již samotná analýza MSA, viz kapitola 4.4.

Samostatně dodavatel řeší tyto kroky:

- 3) Vzorkování a měření, souhrn dat
- 4) Výpočet indexů C_{pk}
 - a. Dle normálního rozdělení
- 5) Rozhodnutí o shodě a neshodě

Po seřízení výroby dodavatel již zcela samostatně odebírá vzorky a provádí jejich měření. Z měření získává měřicí protokoly, ze kterých poté přepisuje naměřené hodnoty pro kritické znaky jakosti. Hodnoty přepisuje do vlastního souboru MS Excel, který provede výpočet dle vzorce (20) a (21). Následně dodavatel již jen rozhodne o shodě či neshodě produktu.

Kroky, které dodavatel neplní v porovnání se směrnicí JTEKT:

- 6) Příprava před vzorkováním
 - a. Určení výrobních variant
 - b. Sestavení plánu odběru vzorků
- 7) Tvorba histogramů
- 8) Ověření normality dat
 - a. Shapiro-Wilkův test
 - b. Kolmogorovův nebo Anderson-Darlingův test
- 9) Výpočet odhadů indexů C_{pk}
 - a. Dle nenormálního rozdělení
- 10) Ověření indexů C_{pk} v konfidenčních intervalech

Dodavatel si tak zjednodušuje práci s vyhodnocením indexů C_{pk} menším počtem vzorků, neprovedením penalizace při nenormálním rozdělení a neověřením v konfidenčních intervalech. Právě tyto rozdíly vedly k úvaze, zda se výsledky indexů C_{pk} i přesto budou shodovat s výpočtem dle směrnice zákazníka. Níže je tato úvaha vyhodnocena po ověření na určeném komponentu WH.

6 Porovnání výpočtů u dodavatele, zákazníka a odborné literatury

Oproti postupům dodavatele požaduje odborná literatura jiné postupy výpočtu a zejména tak požaduje směrnice společnosti JTEKT, kterou se má dodavatel správně řídit. Nalezené rozdíly z průběhu auditu jsou souhrnně zobrazeny v tabulce 6-1. Je důležité zdůraznit, že nestačí jen srovnat vzorce pro výpočet indexů způsobilosti procesu. Vzorce jsou vlastně jen jakýmsi vrcholem dané metodiky zjištění správných indexů a i přes to, že by existovala shoda ve vzorcích, ještě to nemusí nutně znamenat dosažení stejného výsledku indexu. Jak vyjmenovává za důležité prvky odborná literatura, tak je i složena tabulka 9-1 pro porovnání.

Dále si lze v tabulce 6-1 povšimnout dvou sloupců zhodnocení. Prvním zhodnocením je srovnání jednotlivých prvků mezi směrnicí společnosti JTEKT a odbornou literaturou. Toto zhodnocení je provedeno z důvodu ověření relevantnosti jednotlivých požadavků ve směrnici společnosti JTEKT, která požaduje jejich dodržování dodavatelem. Lze si povšimnout, že z celkem 13 sledovaných porovnávacích prvků jich je deset ve shodě a jen tři v neshodě. U těchto tří neshodných prvků je však namísto doplnit jednotlivé komentáře.

Pro celkový počet vzorků je v odborné literatuře sice nejčastěji doporučováno odebrat alespoň 125 vzorků, avšak odborná literatura zároveň dodává, že je nutné přihlídnout k povaze a náročnosti měření jednotlivého produktu. Například u jednoduchých produktů (např. normovaných šroubů) není problém odebrat i 1.000 ks vzorků a provést rychlé měření délky závitu. Opačně, u složitějších produktů (např. frézovaný a tepelně zpracovaný hřídel) by odebrání takového množství vzorků pro zkoušku tvrdosti jádra, která je destruktivní, bylo značně náročné jak časově, tak i finančně. Pak je opodstatněné snížit počet vzorků, avšak vždy s domluvou a schválením zákazníka. Proto minimální požadovaný počet odebraných vzorků 50 ks dle směrnice JTEKT nelze brát hned jako zcela jasnou neshodu oproti odborné literatuře. Velmi podobně je to i u požadavku na vzorkovací výrobu, kde odborná literatura nejčastěji doporučuje jednu výrobní směnu, za to směrnice společnosti JTEKT požaduje buď výrobu po dobu dvou hodin nebo alespoň 125 ks. I zde však současně odborná literatura dodává nutnost zohlednit povahu produktu a jeho proces výroby.

U třetího neshodného prvku, ověření statistické zvládnutosti procesu, lze použít předpoklad, že společnost JTEKT, stejně jako její dodavatelé, se zavazuje k dodržování standardu IATF 16949 : 2016 a QS 9000, které se o předpokladu statisticky zvládnutého procesu pro samotný výpočet indexů způsobilosti procesu zmiňují. Existuje tak tedy nepřímá vazba, která vlastně znamená v konečném důsledku shodu tohoto prvku.

Dalším zhodnocením v tabulce 6-1 je zhodnocení mezi směrnicí společnosti JTEKT a jejím dodavatelem. Zde je z 13 sledovaných porovnávacích prvků 11 v neshodě a pouze dva prvky ve shodě. Navíc, jedním ze shodných prvků je název indexu C_{pk} , což je v podstatě jen terminus technicus. Druhým shodným prvkem je analýza systému měření, která je rozhodně důležitá pro důvěrnost naměřených dat.

Z těchto zhodnocení lze odvodit, že směrnice společnosti JTEKT vychází z odborné literatury a liší se spíše u diskutabilních prvků, což znamená, že požadavky z takovéto směrnice přenášené na dodavatele jsou zcela relevantní a v pořádku. Naopak, dle zjištěných poznatků, dodavatel se ve způsobu výpočtu indexů způsobilosti procesu a dodržení různých předpokladů pro výpočet výrazně liší. Z této rozdílnosti však nelze rozhodnout, zda vypočtené indexy dodavatelem jsou tak rozdílné, že by nespĺňovaly požadované hodnoty zákazníka. Lze zatím pouze konstatovat, že výpočty a předpoklady výpočtu u dodavatele nejsou ve shodě s požadavky směrnice společnosti JTEKT. Nadále by tedy bylo vhodné ověřit, jaký vliv má tato

rozdílná metodika na konečné výsledky indexů způsobilosti procesu a jak moc se liší deklarované výsledky od dodavatele s výsledky předepsanými, tedy indexy vypočítanými ve shodě s požadavky směrnice společnosti JTEKT.

	Dodavatel	JTEKT	Odborná literatura	Zhodnocení směrnice JTEKT vs. odb. literatura	Zhodnocení směrnice JTEKT vs. dodavatel
Index C_p nazýván	Stabilita procesu	Krátkodobý index způsobilosti procesu	Index způsobilosti procesu	0	X
Index C_{pk} nazýván	Způsobilost procesu	Krátkodobý index způsobilosti procesu	Index způsobilosti procesu	0	0
Index C_p počítán	$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s}$ kde vždy $s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL - LSL}{6(s/c_4)}$	$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL - LSL}{6(s/c_4)}$	0	X
Index C_{pk} počítán	$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_p} = \frac{USL - \bar{X}}{3s}$ a $CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_p} = \frac{\bar{X} - LSL}{3s}$	$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_c} = \frac{USL - \bar{X}}{3(s/c_4)}$ a $CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{X} - LSL}{3(s/c_4)}$	$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_c} = \frac{USL - \bar{X}}{3(s/c_4)}$ $CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{X} - LSL}{3(s/c_4)}$	0	X
Celkový počet vzorků	30	Minimálně 50	Minimálně 125	X	X
Způsob vzorkování	Kusy za sebou	Doporučuje podskupiny po 5 ks	Doporučuje podskupiny po 3-5 ks	0	X
Požadavek na vzorkovací výrobu	Není	2 hodiny výroby nebo 125 ks minimálně	Výrobní směna	X	X
Analýza systému měření (MSA)	Prováděno	Požadováno	Požadováno	0	0
Ověření statistické zvládnutosti procesu	Pomocí histogramu	Nezmiňováno	Požadováno	X	X
Ověření normality dat	Není	Požadováno	Požadováno	0	X
Výpočet v případě porušení normality dat	Není	Místo $6\sigma_c$ penalizace na $8\sigma_c$ nebo využití K1 a K2 interních tabulek	Jiné vhodné rozdělení pravděpodobnosti Transformace dat Kvantilová metoda Neparametrické metody Metoda podílem neshodných jednotek	0	X
Ověření v konfidenčním intervalu	Není	Požadováno dle JEU-048	Doporučuje	0	X
Zahmutí chyby měření I. a II. řádu (α/β)	Není	Zahrnuje chybu α v konfidenčních intervalech	Doporučuje	0	X

Tab. č. 6-1: Zhodnocení metody a předpokladů výpočtu pro indexy způsobilosti procesu [Vlastní zpracování]

7 Vlastní výpočet indexů způsobilosti procesu

V únoru roku 2019 byla u dodavatele zahájena vzorkovací výroba dle harmonogramu. Pro dodržení všech podmínek a správné provedení vzorkování byla u dodavatele vlastní účast JTEKTu v podobě tzv. dozorového předvýrobního procesního auditu. S dodavatelem byla ověřena správnost revize výkresu, stav stroje, upínek, vřeten a také odlitků. Potvrdily se vzájemně již dříve odsouhlasené návrhy výrobních variant 1 a 2 a prověřila se ještě jednou volná kapacita laboratoře na víkend. Odlitky byly rozděleny do boxů dle kavit 1 a 2 a začalo se s výrobou dle plánu odběru vzorků do podskupin. Dozorový audit probíhal však jen do konce vzorkovací výroby. Během víkendové měření již nikoli. Diskuze s laboratoří a ověření analýzy systému měření (MSA) probíhalo na testovacích kusech již předtím s vyhovujícím výsledkem.

7.1 Návrh výpočetního softwaru

Pro vlastní řešení výpočtu byl vytvořen soubor v programu MS Excel (vlastní zpracování), viz příložený digitální soubor, do kterého stačí již jen zadat naměřená data pro každou charakteristiku a pro každou výrobní variantu, tedy vždy po 50 datech.

Před vlastním programováním softwaru v MS Excel byla samozřejmě provedena rešerše stávajících programů volně dostupných na internetu, avšak žádný bohužel nevyhovoval požadavkům pro výpočet dle JTEKT směrnice. Proto bylo třeba započít vlastní programování softwaru. Byl vybrán program MS Excel, neboť dle vzorců uváděných ve směrnici JTEKT se dalo předpokládat, že program MS Excel umožní veškeré vzorce a funkce naprogramovat. Navíc, dalším důležitým faktorem pro rozhodnutí o volbě MS Excel, byla jeho velmi rozšířená aplikace ve firmě a také uživatelská znalost prostředí.

Snahou bylo naprogramovat software tak, aby byl pro uživatele přívětivý a snadný pro obsluhu. Proto byla zvolena koncepce, že program bude po uživateli vyžadovat pouze dva jednoduché úkony. Těmi jsou vložení naměřených hodnot kritických znaků a jejich vzestupné seřazení. Pro snazší orientaci jsou v programu pole, která uživatel může měnit, podbarvena žlutě a světle oranžově. Žlutá je užita pro případnou změnu tolerančního pole, nominální hodnoty a vepsání naměřených hodnot a světle oranžová pouze k vzestupnému seřazení naměřených hodnot. Ukázka části obrazovky programu je v příloze 6.

Po vyplnění naměřených hodnot pak program dle předpřipravených vnořených funkcí a vzorců provede následné výpočty dle směrnice společnosti JTEKT. Podařilo se tak naprogramovat a dodržet celý postup výpočtu požadovaný směrnicí JTEKT:

- Ověření normality dat dle Shapiro-Wilkova testu
- Vytvoření histogramů dat
- Výpočet inherentní směrodatné odchylky dle výsledku normality dat
- Výpočet odhadu indexů způsobilosti procesu C_p a C_{pk}
- Ověření indexů C_p a C_{pk} v konfidenčních intervalech
- Výpočet zmetkovitosti v ppm jednotkách a v relativním poměru

Program také současně dokáže z vložených dat provést výpočet dle praxe dodavatele:

- Výpočet indexů C_p a C_{pk}
- Výpočet zmetkovitosti v ppm jednotkách a v relativním poměru

- Závěrem program zhodnocuje a porovnává dosažené výsledky mezi sebou (viz tabulka 10.2-1):
- C_{pk} dle směrnice zákazníka pro každý kritický znak jakosti a každou výrobní variantu
- C_{pk} dle praxe dodavatele pro každý kritický znak jakosti a každou výrobní variantu
- C_{pk} dle požadavku pro každý kritický znak jakosti a každou výrobní variantu
- Zmetkovitost dle dosažených indexů C_{pk} zákazníka, dodavatele a požadavku pro každý kritický znak jakosti a každou výrobní variantu
- Zmetkovitost dle dosažených indexů C_{pk} zákazníka, dodavatele a požadavku pro všech sedm kritických znaků jakosti (pravděpodobnostní počty kombinatorické matematiky)
- Poměr zmetkovitosti dle dosažených indexů C_{pk} zákazníka a dodavatele pro každý kritický znak jakosti a každou výrobní variantu
- Poměr zmetkovitosti dle dosažených indexů C_{pk} zákazníka a dodavatele pro všech sedm kritických znaků jakosti
- Poměr zmetkovitosti dle dosažených indexů C_{pk} zákazníka a požadavku pro všech sedm kritických znaků jakosti
- Celkové globální zhodnocení shody či neshody plnění požadavku indexů C_{pk}

Běžný uživatel nemusí znát postup a průběh výpočtů dopodrobna. Takovému uživateli plně dostačuje přehledová karta výsledků, viz tabulky 10.2-1 a 10.2-2. Pro snadnější rozhodování o shodných znacích je v programu implementována funkce podmíněného formátování, která umožňuje podbarvení pole podle dosaženého výsledku. V případě nedostatečně vysokého indexu C_{pk} oproti požadavku je pole zbarveno červeně, opačně pak zeleně. Na první pohled tak lze velmi snadno rozeznat, které znaky jakosti jsou problémové a které nikoli. Stejně tak se podbarvuje celkový globální výsledek o shodě produktu.

Tento program může být navíc používán i jako šablona. To znamená, že není nutné zkoumat vybraných sedm kritických znaků jakosti komponentu WH, ale lze si předepsat i jiné znaky jakosti, a to dokonce i z úplně jiného typu komponentů.

Pro pokročilejší uživatele, kteří ovládají statistické nástroje nebo rozumí postupům výpočtu ve směrnici JTEKT, umožňuje program využít jej jako simulačního nástroje. Protože celý program je otevřený a lze číst i upravovat veškerá pole, může do něj takto pokročilý uživatel zasahovat. Je tak tedy možné simulovat různé změny a okamžitě vyhodnocovat jejich dopad na zmetkovitost. Lze měnit a různě simulovat, a to i různě kombinovaně, např.:

- Nominální hodnotu znaku jakosti
- Horní toleranci znaku jakosti
- Dolní toleranci znaku jakosti
- Hladinu významnosti α
- Požadavek na hodnotu indexu C_{pk}

Při těchto simulacích se vždy automaticky aktualizuje přehledová karta a uživatel tak ihned zjistí, zda např. rozšíření tolerančního pole pomůže dodavateli k lepšímu odhadu zmetkovitosti či nikoli apod.

Program s příklady na aktuálním projektu a komponentu WH byl zaslán do evropské centrály ve Francii do technického centra s požadavkem, aby se centrála vyjádřila, zda je možné ke směrnici oficiálně připojit buď přímo tento program či zda by centrála se svými odborníky navrhla či vytvořila podobný program a ten ke směrnici připojila. V takovém případě by pak program musel být zamčený a uživatel na straně dodavatele by měl práva pouze zapisovat hodnoty do vyznačených polí. Aktualizace směrnice o konkrétní program by velmi zjednodušila práci dodavatelům a také samotné společnosti JTEKT při ověřování shody dodávaných produktů.

7.2 Vyhodnocení vlastního výpočtu a návrh nápravného opatření

V tabulce 7.2-1 jsou zpřehledněny dosažené výsledky výpočtu. Celkově si výroba u dodavatele nevede dobře a proto je většina znaků podbarvená červeně, tedy nesplňující shodu požadavku $C_{pk} > 1,67$. V tabulkách 7.2-1 a 7.2-2 jsou veškeré hodnoty zaokrouhleny záměrně na dvě desetinná místa, neboť i ve směrnici společnosti JTEKT jsou takto uváděné příklady a v automobilovém průmyslu je úzus takto předkládat výsledné přehledy.

U výrobní varianty 1 vyšel v porovnání indexů C_{pk} mezi směrnici JTEKT a požadavkem pouze kritický znak jakosti č. 3 (Sklon 0,1-E) jako shodný a u výrobní varianty 2 pouze znaky č. 3 a 4 (Sklon 0,1-E; Umístění Ø 0,1-ED) jako shodné. Všechny ostatní znaky vyšly jako neshodné.

Z pohledu zmetkovitosti vyšly samozřejmě nejlépe znaky se shodnými výsledky indexů C_{pk} , viz výše. Naopak nejhůře je na tom u výrobní varianty 1 znak č. 7 (Souosost Ø 0,05-ED) s dosaženou 15,32% zmetkovitostí výroby při použití výpočtu dle směrnice JTEKT. U výrobní varianty 2 má nejvyšší zmetkovitost, opět dle výpočtu směrnice JTEKT, 23,15 % znak č. 4 (Umístění 0,02-EMD). Požadovaná zmetkovitost pro každý znak jakosti je při $C_{pk} > 1,67$ pouhých 0,27 ppm, což je 0,000027 %. Výše zmíněné neshodné znaky jakosti jsou tedy extrémně mimo daný požadavek.

Zmetkovitost je však nutné hodnotit komplexně, a proto je v programu použito pravděpodobnostních počtů s použitím kombinatoriky. Přehled výsledků komplexní zmetkovitosti je v tabulce 7.2-2. Pro zjištění pravděpodobné zmetkovitosti výroby pro všech sedm znaků jakosti na dvou výrobních variantách je nutné uvažovat, že každý znak jakosti z každé výrobní varianty může dosahovat odlišné individuální zmetkovitosti, což se i ve skutečnosti potvrdilo. Proto je nutné zjistit pravděpodobnost opačného jevu, tedy shodného kusu. Tyto pravděpodobnosti je pak dále třeba vynásobit mezi sebou u každého znaku jakosti a každé výrobní varianty. Takto dosažený součin se pak odečte opět od pravděpodobnosti opačného jevu, kdy všechny kusy budou shodné. Pro komponent WH pak vyšla celková komplexní zmetkovitost 49,31 % dle směrnice JTEKT a 48,37 % dle dodavatele. Přitom požadavek pro komplexní zmetkovitost na vybraných sedmi kritických znacích je jen 3,81 ppm, což znamená 0,000381 %.

Z analýzy dosažené zmetkovitosti pro každý kritický znak a pro každou výrobní variantu dosahuje největšího rozdílu mezi výpočty dle směrnice JTEKT a dle výpočtu dodavatele znak č. 4 (Umístění Ø 0,1-ED) u výrobní varianty 1, kde zmetkovitost v ppm je dle směrnice JTEKT 131,11 krát vyšší než zmetkovitost dle dodavatele. U výrobní varianty 2 je tomu tak u znaku č. 1 (Průměr 90,900), kde zmetkovitost v ppm je dle směrnice JTEKT 5,91 krát vyšší než zmetkovitost dle dodavatele.

U komplexního porovnání zmetkovitosti všech sedm kritických znaků jakosti a obou výrobních variant kombinovaně se hodnoty mezi výsledky při použití výpočtu dle směrnice JTEKT a výpočtu dodavatele liší relativně nepatrně vzhledem k výši dosažené zmetkovitosti, a to v poměru 1,02 s vyšší zmetkovitostí dle výpočtu směrnice JTEKT v ppm jednotkách. Naopak velmi závažné zjištění je u odhadu celkové zmetkovitosti oproti zmetkovitosti požadované obchodním kontraktem. Kontrakt požaduje pro kombinaci sedmi kritických znaků jakosti a dvou výrobních variant nejvýše zmetkovitost 3,81 ppm. Výpočtem dle směrnice JTEKT však zmetkovitost dosahuje velmi vysokých 493.061,27 ppm. Tzn., že téměř každý druhý dodaný komponent WH nebude ve shodě. Celkové vyhodnocení komponentu WH pomocí indexů C_{pk} pak tedy vychází jako neshodné.

Výsledky indexů C_{pk} dle výpočtu dodavatele a dle výpočtu dle směrnice JTEKT se skutečně liší a je tedy prokázána rozdílnost výsledných hodnot u těchto dvou metodik

výpočtu. Na komponentu WH se jeví trend, kde dodavatelova metodika výpočtu spíše nadhodnocuje výsledné indexy C_{pk} , což je ku prospěchu samotného dodavatele a ke škodě zákazníka. Avšak toto pravidlo nelze uznat jako obecné, neboť u některých znaků to neplatí, byť spíše v setinách hodnot, než v desetínách. Z této rozdílnosti lze vyvodit závěr, že metodika výpočtu dle dodavatele by společností JTEKT neměla být akceptována.

Zajímavým úkazem u tohoto komponentu WH je, že ačkoli u některých znaků metodika výpočtu indexů C_{pk} dle dodavatele výsledné hodnoty má snahu spíše nadhodnocovat, přesto to nepomohlo k dosažení shody. Tzn., že JTEKT vyhodnotil buď za shodné či neshodné všechny znaky stejně, byť s dosažením jiných hodnot indexů C_{pk} .

Výrobní varianta 1: CNC Stroj 1 - Upínač 1 - Vřeteno 1 - Kavita 1												
#	Kritický znak	Tolerance	C _{pk} JTEKT	C _{pk} Dodavatel	C _{pk} Požadavek	Zmetkovitost v PPM JTEKT	Zmetkovitost v % JTEKT	Zmetkovitost v PPM Dodavatel	Zmetkovitost v % Dodavatel	Zmetkovitost v PPM Požadavek	Zmetkovitost v % Požadavek	Poměr zmetkovitosti v PPM JTEKT vs. Dodavatel
1	Průměr	90,900 -0,040/-0,094	1,14	1,47	1,67	329,53	0,03	4,99	0,00	0,27	0,00	65,99
2	Rovnoběžnost	0,03-M	1,21	1,35	1,67	149,47	0,01	25,56	0,00	0,27	0,00	5,85
3	Sklon	0,1-E	20,70	19,89	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
4	Umístění	∅ 0,1-ED	1,14	1,53	1,67	300,51	0,03	2,29	0,00	0,27	0,00	131,11
5	Umístění	0,02-EMD (pouze k 48,5)	0,76	1,12	1,67	11093,04	1,11	382,64	0,04	0,27	0,00	28,99
6	Průměr	66,300 -0,035/-0,065	1,07	1,09	1,67	666,05	0,07	560,99	0,06	0,27	0,00	1,19
7	Souosost	∅ 0,05-ED	0,34	0,37	1,67	153217,57	15,32	131533,44	13,15	0,27	0,00	1,16
Výrobní varianta 2: CNC Stroj 1 - Upínač 2 - Vřeteno 2 - Kavita 2												
#	Kritický znak	Tolerance	C _{pk} JTEKT	C _{pk} Dodavatel	C _{pk} Požadavek	Zmetkovitost v PPM JTEKT	Zmetkovitost v % JTEKT	Zmetkovitost v PPM Dodavatel	Zmetkovitost v % Dodavatel	Zmetkovitost v PPM Požadavek	Zmetkovitost v % Požadavek	Poměr zmetkovitosti v PPM JTEKT vs. Dodavatel
1	Průměr	90,900 -0,040/-0,094	1,05	1,21	1,67	831,54	0,08	140,63	0,01	0,27	0,00	5,91
2	Rovnoběžnost	0,03-M	1,54	1,65	1,67	2,05	0,00	0,36	0,00	0,27	0,00	5,61
3	Sklon	0,1-E	16,99	16,74	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
4	Umístění	∅ 0,1-ED	2,06	2,01	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,41
5	Umístění	0,02-EMD (pouze k 48,5)	0,24	0,30	1,67	231456,28	23,15	186961,84	18,70	0,27	0,00	1,24
6	Průměr	66,300 -0,035/-0,065	0,97	0,96	1,67	1727,21	0,17	2020,51	0,20	0,27	0,00	0,85
7	Souosost	∅ 0,05-ED	0,27	0,21	1,67	209138,38	20,91	266534,83	26,65	0,27	0,00	0,78

Tab. č. 7.2-1: Vyhodnocení indexů C_{pk} a předpokládané zmetkovitosti výroby produktu WH pro jednotlivé znaky jakosti. Červená pole znamenají neshodu dosaženého indexu C_{pk} oproti požadavku, zelená pole znamenají shodu. [Vlastní zpracování]

Celková zmetkovitost na 7 kritických znacích [v PPM a v %]	
PPM JTEKT	493061,27
% JTEKT	49,31
PPM Dodavatel	483726,63
% Dodavatel	48,37
PPM Požadavek	3,81
% Požadavek	0,00
Poměr zmetkovitosti na 7 kritických znacích [v PPM]	
JTEKT vs. Dodavatel	1,02
JTEKT vs. Požadavek	129409,16
Bude dodavatel dodávat produkt ve shodě s požadavky JTEKT směrnice?	
NE	

Tab. č. 7.2-2: Celkové zhodnocení dosažení shody plnění požadavků zákazníka a komplexní předpokládané zmetkovitosti výroby produktu WH. [Vlastní zpracování]

Protože celkové zhodnocení komponentu WH pomocí indexů C_{pk} vychází jako neshodné, je nutné přijmout taková opatření, aby byly komponenty WH dodány do společnosti JTEKT pouze jako shodné. Jako okamžité nápravné opatření nejde navrhnout nic jiného, než 100% kontrolu měřením a vybráním pouze shodných kusů. Tento požadavek již vychází z automobilové normy IATF 16949 : 2016, avšak měl by být pro jistotu dodavateli ještě důrazně připomenut.

Ze zkušenosti lze pro kritický znak č. 6 (Průměr 66,300), navrhnout přebroušení břitů nástroje, neboť ze vzorkování lze vyzorovat vysokou stabilitu procesu, avšak velmi blízkou hornímu tolerančnímu poli. Z další zkušenosti lze pro ostatní kritické znaky navrhnout analýzu přídatku pro obrábění pro hrubovací a pro šlichtovací nástroj. Z minulých let byly případy, kdy hrubovací nástroj odebíral příliš přídatku na obrábění a šlichtovací nástroj trpěl vibracemi pro nedostatečný přídatek materiálu.

Bohužel, nelze jednoznačně a jednoduše navrhnout funkční dlouhodobá nápravná opatření. Těm musí nejprve předcházet analýza kořenové příčiny, což je však již úkol pro technický úsek obrábění u samotného dodavatele.

Do doby, než dodavatel přijde na kořenovou příčinu nezpůsobitelného procesu, neodstraní ji formou nápravného opatření a neověří ji novým vzorkováním a novým vyhodnocením indexů C_{pk} (již správně dle metodiky směrnice JTEKT), je povinen zajistit shodné díly již výše zmíněným 100% přeměřováním dílů.

Závěr

Práce si kladla za cíl vypočítat indexy C_{pk} pro sedm kritických znaků jakosti komponentu Worm Housing dle praxe dodavatele a také dle směrnice společnosti JTEKT, která vystupuje jako přímý zákazník. Dalším cílem práce bylo porovnat vypočtené hodnoty mezi sebou a s požadavkem z obchodního kontraktu. K výpočtu bylo nutné důkladně analyzovat požadavky a zejména konkrétní výpočetní postupy směrnice. Výsledky této analýzy sloužily jako vstup pro zpracování vlastního programu, který může být používán jako šablona pro výpočty indexů C_{pk} a jako simulační nástroj pro různé modely změn parametrů.

Oba cíle se podařilo naplnit a zjistilo se, že metodika výpočtu indexů C_{pk} dodavatele a směrnice JTEKT je opravdu rozdílná a každá dosahuje odlišných výsledků. Výpočet dle praxe dodavatele naznačuje spíše nadhodnocující trend ve prospěch dodavatele, a proto by neměla být dodavatelova metodika akceptována.

Většina kritických znaků jakosti vychází jako neshodných a tedy celkové hodnocení komponentu WH pomocí indexů C_{pk} vychází také jako neshodné.

Výpočet zjistil velmi závažnou zmetkovitost sedm kritických znaků jakosti, kde téměř každý druhý dodávaný komponent Worm Housing bude neshodný. To může mít za následek mnoho interní výrobní zmetkovitosti ve společnosti JTEKT nebo dokonce externích reklamací od konečných zákazníků. Na základě funkcionality dílu to mohou být reklamace zejména na hlučné elektrické posilovače či jejich nespolehlivost v čase z důvodu netěsnosti a zkratu elektrických komponent posilovače. Takové typy reklamací jsou samozřejmě zákazníkem neakceptovatelné, a proto je po dodavateli požadováno uskutečnit nápravné opatření.

Jako okamžité nápravné opatření musí být u dodavatele implementováno 100% měření a výběr pouze shodných dílů. Toto 100% měření musí probíhat do doby, než zákazník schválí nové vzorkování a výpočet indexů C_{pk} po dalších technických nápravných akcích u dodavatele. Další vzorkování a výpočet indexů C_{pk} již musí probíhat podle směrnice společnosti JTEKT.

Použitá literatura a zdroje

- [1] Anděl, J. Statistické metody. Praha: MATFYZPRESS, 2007. ISBN 80-7378-003-8
- [2] Blecharz, P.: Základy moderního řízení kvality. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 978-80-86929-7p5-0
- [3] Chajdiak, J.: Štatistické riadenie kvality. Bratislava: Statis, 1998. ISBN 80-85659-12-3
- [4] Janiga, I.: Aplikovaná pravdepodobnosť a štatistika pre inžinierov. Štatistická analýza jedného a dvoch súborov dat. 1. diel. Bratislava: STU, 2013. 265 s. ISBN 978-80-227-4046-3
- [5] Jaroš, F. a kol.: Pravděpodobnost a statistika. Praha: VŠCHT-FCHI, 2002. 299 s. ISBN 80-7080-474-2
- [6] Jarošová, E., Noskiewičová, D.: Pokročilejší metody statistické regulace procesu. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5355-3
- [7] Magnello, E., Van Loon, B.: Seznamte se... Statistika. Praha: Portál, 2010. ISBN 978-80-7367-753-4
- [8] Malá, I.: Statistické úsudky. Praha: KMPP, 2013. ISBN 978-80-7431-127-7
- [9] Michálek, J.: Základy statistického myšlení. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011, 71 s. ISBN 978-80-02-02237-2
- [10] Nenadál, J. a kol.: Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2011. ISBN 978-80-7261-186-7
- [11] Somorčík, J., Teplička, I.: Štatistika zrozumiteľne. Enigma Publishing, 2015. ISBN 978-80-8133-042-1
- [12] Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, 218 s. ISBN 80-02-01810-9.
- [13] Terek, M., Hrnčiarová, Ľ.: Štatistické riadenie kvality. Bratislava: Iura Edition, 2004. ISBN 80-89047-97-1
- [14] Veber, J. a kol.: Řízení jakosti a ochrana spotřebitele. Praha: Grada Publishing, 2007, ISBN 978-80-247-1782-1

Internetové zdroje

- Moderní typ DP-EPS. Dostupné online dne 8.1.2019 z <https://www.abdynamics.com/en/applications/production-testing/power-steering-system>.
- Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965) An analysis of variance for normality (complete samples). Biometrika, Vol. 52, No. 3/4. Dostupné online dne 10.1.2019 z <http://www.real-statistics.com/statistics-tables/shapiro-wilk-table/>.

Normy

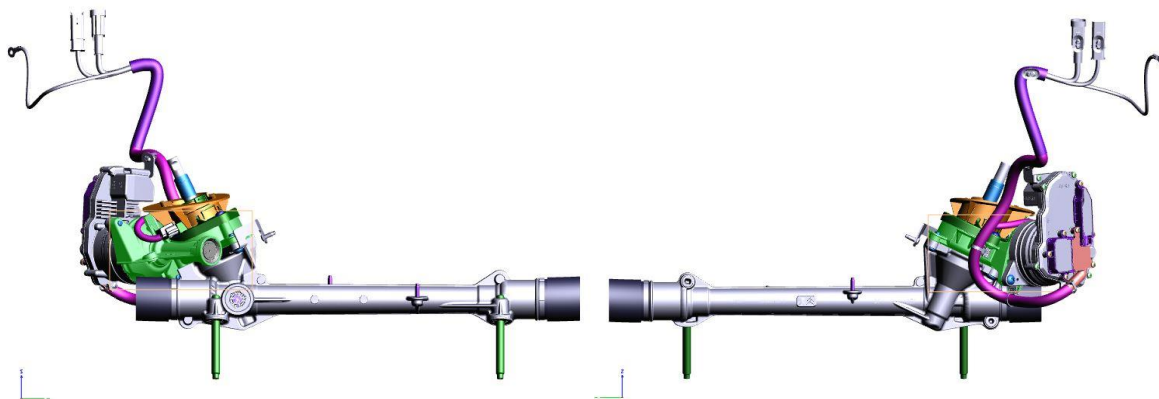
- ČSN ISO/IEC 17025 : 2018
- IATF 16949 : 2016
- ČSN EN ISO 19011 : 2012
- ČSN ISO 2859 : 1999
- ČSN ISO 7870 : 2015
- ČSN ISO 8258 : 1994

Směrnice

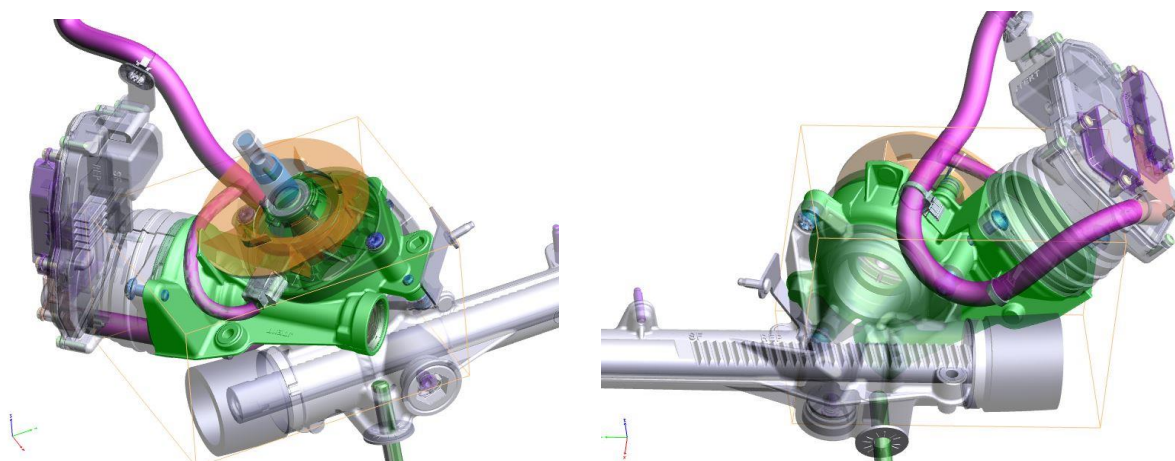
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JEU-GQ-008 B, Capability of Production Facilities. Schválil Patrick LE MEUR. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2009, 38 s.
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JEU-GQ-015 K, Purchasing Guide. Schválil Paul DE MACEDO. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2016, 23 s.
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JEU-GQ-024 B, Statistical Process Control on Machining Processes. Volume 1. Schválil Patrick LE MEUR. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 19 s.
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JEU-GQ-025 B, Statistical Process Control for Machining. Calculation of Charts & Models. Volume 2. Schválil Patrick LE MEUR. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2016, 16 s.
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JEU_I_SQ_007 C, QCMS (Quality Chain Management Systém) Approach. Schválil Patrick LE MEUR. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2017, 10 s.
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JEU_PI_SQ_048 B, Capabilities: Calculation of Confidence Interval. Schválil Patrick LE MEUR. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2012, 4 s.
- Vnitropodniková směrnice Guide N° JAPL-I-Q-024, Process Capability Analysis Standard. Schválil V. KABÁT. Irigny: JTEKT Europe Headquarter, 2010, 13 s.

Příloha 1

3D modely systému řízení P-EPS. Zeleně je zvýrazněn komponent Worm Housing.



Sestava systému řízení P-EPS, přední a zadní pohled [3D model spol. JAPL]



Detail systému řízení P-EPS, přední a zadní pohled [3D model spol. JAPL]

Příloha 3

Požadavky na hodnoty indexů způsobilosti procesu v různých fázích projektu a pro různé zvláštní znaky jakosti. Pro komponent Worm Housing platí kritický znak jakosti C1 a index $C_{pk} > 1,67$.

Defects of S type generate recall campaign. Defects of R and C1 type could also generate recall campaign or rework on vehicle during after-sales operation in accordance with their level of occurrence or type of defect.

Previous Identification	Type	Symbols on drawings				LEVEL OF REQUIRED PROCESS CAPABILITY (reference is given by colour vs left table)			
		Initial	Down grade			Reference	CpK	PpK	Comments
	Safety						> 2	> 1,67	Zero defect : Implementation of relevant means of detection/control to curb the hazards of the production process and then to ensure zero defect SPC monitoring and evidence of process stability and improvement For S and C down graded adapted monitoring to be validated by JTEKT during QCMS
	Regulation								
	Critique 1					C1	>1,67	> 1,5	Adapted monitoring to be validated by JTEKT during QCMS
	Critique 2					C2	> 1,5	> 1,33	Adapted monitoring to be validated by JTEKT during QCMS
No identification	Critique 3					C3	> 1,33	> 1,1	Adapted monitoring to be validated by JTEKT during QCMS
	Others	No identification						> 1,1	Standard level of capability for all characteristics without symbols on drawings

Zákaznické požadavky na hodnoty indexů způsobilosti procesu.

[Guide N° JEU_GQ_015 K (Purchasing Guide), str. 19]

Příloha 4

n =	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
a1	0.3989	0.3964	0.3940	0.3917	0.3894	0.3872	0.3850	0.3830	0.3808	0.3789	0.3770	0.3751
a2	0.2755	0.2737	0.2719	0.2701	0.2684	0.2667	0.2651	0.2635	0.2620	0.2604	0.2589	0.2574
a3	0.2380	0.2368	0.2357	0.2345	0.2334	0.2323	0.2313	0.2302	0.2291	0.2281	0.2271	0.2260
a4	0.2104	0.2098	0.2091	0.2085	0.2078	0.2072	0.2065	0.2058	0.2052	0.2045	0.2038	0.2032
a5	0.1880	0.1878	0.1876	0.1874	0.1871	0.1868	0.1865	0.1862	0.1859	0.1855	0.1851	0.1847
a6	0.1689	0.1691	0.1693	0.1694	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1693	0.1692	0.1691
a7	0.1520	0.1526	0.1531	0.1535	0.1539	0.1542	0.1545	0.1548	0.1550	0.1551	0.1553	0.1554
a8	0.1366	0.1376	0.1384	0.1392	0.1398	0.1405	0.1410	0.1415	0.1420	0.1423	0.1427	0.1430
a9	0.1225	0.1237	0.1249	0.1259	0.1269	0.1278	0.1286	0.1293	0.1300	0.1306	0.1312	0.1317
a10	0.1092	0.1108	0.1123	0.1136	0.1149	0.1160	0.1170	0.1180	0.1189	0.1197	0.1205	0.1212
a11	0.0967	0.0986	0.1004	0.1020	0.1035	0.1049	0.1062	0.1073	0.1085	0.1095	0.1105	0.1113
a12	0.0848	0.0870	0.0891	0.0909	0.0927	0.0943	0.0959	0.0972	0.0986	0.0998	0.1010	0.1020
a13	0.0733	0.0759	0.0782	0.0804	0.0824	0.0842	0.0860	0.0876	0.0892	0.0906	0.9190	0.0932
a14	0.0622	0.0651	0.0677	0.0701	0.0724	0.0745	0.0765	0.0783	0.0801	0.0817	0.0832	0.0846
a15	0.0515	0.0546	0.0575	0.0602	0.0628	0.0651	0.0673	0.0694	0.0713	0.0731	0.0748	0.0764
a16	0.0409	0.0444	0.0476	0.0506	0.0534	0.0560	0.0584	0.0607	0.0628	0.0648	0.0667	0.0685
a17	0.0305	0.0343	0.0379	0.0411	0.0442	0.0471	0.0497	0.0522	0.0546	0.0568	0.0588	0.0608
a18	0.0203	0.0244	0.0283	0.0318	0.0352	0.0383	0.0412	0.0439	0.0465	0.0489	0.0511	0.0532
a19	0.0101	0.0146	0.0188	0.0227	0.0263	0.0296	0.0328	0.0357	0.0385	0.0411	0.0436	0.0459
a20	0.0000	0.0049	0.0094	0.0136	0.0175	0.0211	0.0245	0.0277	0.0307	0.0335	0.0361	0.0386
a21			0.0000	0.0045	0.0087	0.0126	0.0163	0.0197	0.0229	0.0259	0.0288	0.0314
a22					0.0000	0.0042	0.0081	0.0118	0.0153	0.0185	0.0215	0.0244
a23							0.0000	0.0039	0.0076	0.0111	0.0143	0.0174
a24									0.0000	0.0037	0.0071	0.0104
a25											0.0000	0.0035

Tabulka pro Shapiro-Wilkův test normality dat [Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965) *An analysis of variance for normality (complete samples)*. Biometrika, Vol. 52, No. 3/4. Dostupné online dne 10.1.2019 z <http://www.real-statistics.com/statistics-tables/shapiro-wilk-table/>]

n \ P	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.939	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

Tabulka pro Shapiro-Wilkův test normality dat [Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965) *An analysis of variance for normality (complete samples)*. Biometrika, Vol. 52, No. 3/4. Dostupné online dne 10.1.2019 z <http://www.real-statistics.com/statistics-tables/shapiro-wilk-table/>]

Příloha 5

n	C_4
2	0,7979
3	0,8862
4	0,9213
5	0,9400
6	0,9515
7	0,9594
8	0,9650
9	0,9693
10	0,9727
11	0,9754
12	0,9776
13	0,9794
14	0,9810
15	0,9823
16	0,9835
17	0,9845
18	0,9854
19	0,9862
20	0,9869
21	0,9876
22	0,9882
23	0,9887
24	0,9892
25	0,9896

Tabelizované hodnoty C_4 . [Michálek, J. 2006. Statistická regulace procesů, str. 181]

Příloha 6

Ukázka programu MS Excel s kartou pro uživatele. Žlutá pole slouží k vyplnění naměřených hodnot, světle oranžová k jejich vzestupnému seřazení. Další pole běžný uživatel již neobsluhuje. [Vlastní zpracování]

Charakteristika	Nominální hodnota	Horní tolerance	Dolní tolerance	Horní hodnota	Dolní hodnota	$\alpha/2$	n
Průměr	90,9	-0,04	-0,094	90,860	90,806	10%	50

Shapiro-Wilk test									
Podskupina #	Vzorek #	Naměřená hodnota $X_{(i)}$	Seřazeno vzestupně $X_{(i)}$	$X_{(n-i+1)} - X_{(i)}$	$a_i(n) * (X_{(n-i+1)} - X_{(i)})$	$(X_{(i)} - \text{avg } X)^2$	W	$W_{\alpha(0,05)}$	Vyhodnocení normality dat
1	1	90,832	90,818	0,016	0,0060016	0,0000746	1,41218561	0,947	Nezamítáme H_0 , tedy může být normální 1,00 Shapiro-Wilk test
	2	90,823	90,818	0,014	0,0036636	0,0000746			
	3	90,823	90,818	0,014	0,0031640	0,0000746			
	4	90,831	90,819	0,013	0,0026416	0,0000584			
	5	90,831	90,820	0,012	0,0022164	0,0000441			
	6	90,830	90,820	0,011	0,0018601	0,0000441			
2	7	90,824	90,820	0,011	0,0017094	0,0000441			
	8	90,831	90,820	0,011	0,0015730	0,0000441			
	9	90,822	90,821	0,010	0,0013170	0,0000318			
	10	90,829	90,821	0,010	0,0012120	0,0000318			
	11	90,825	90,821	0,010	0,0011130	0,0000318			
	12	90,818	90,821	0,010	0,0010200	0,0000318			
3	13	90,828	90,822	0,009	0,0008388	0,0000215			
	14	90,821	90,822	0,008	0,0006768	0,0000215			
	15	90,830	90,823	0,007	0,0005348	0,0000132			
	16	90,828	90,823	0,007	0,0004795	0,0000132			
	17	90,828	90,824	0,006	0,0003648	0,0000070			
	18	90,818	90,824	0,006	0,0003192	0,0000070			
4	19	90,831	90,825	0,005	0,0002795	0,0000027			
	20	90,829	90,826	0,004	0,0001544	0,0000004			
	21	90,828	90,828	0,001	0,0000314	0,0000018			
	22	90,834	90,828	0,001	0,0000244	0,0000018			
	23	90,832	90,828	0,001	0,0000174	0,0000018			
	24	90,820	90,828	0,001	0,0000104	0,0000018			
5	25	90,820	90,829	0,000	0,0000000	0,0000056			
	26	90,830	90,829						
	27	90,829	90,829						
	28	90,831	90,829						
	29	90,829	90,829						
	30	90,820	90,829						
6	31	90,830	90,829						
	32	90,830	90,830						
	33	90,830	90,830						
	34	90,830	90,830						
				(SUMA $a_i(n) * (X_{(n-i+1)} - X_{(i)})^2$)		SUMA $(X_{(i)} - \text{avg } X)^2$			
				0,0009680		0,0006855			