

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, o.p.s.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor: 6208T088 Podniková ekonomika a management provozu

**VYUŽITÍ STATISTICKÝCH
METOD PŘI ZLEPŠOVÁNÍ
PROCESU OHÝBÁNÍ DRŽÁKU
NAVIJÁKU BEZPEČNOSTNÍHO
PÁSU**

Ing. Filip BÁBÍK

Vedoucí práce: doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval(a) samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury.

Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. o zveřejňování závěrečných prací Směrnice Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, ve znění pozdějších předpisů, zejména pak § 35 odst. 3, tzn., že ŠAVŠ nezasahuje do mých práv v případě využití této práce pro vnitřní potřebu a §60 – školní dílo. Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiju-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti ŠAVŠ. V tomto případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 16.5.2019

Děkuji vedoucí práce doc. Ing. Evě Jarošové, CSc. za odborné vedení, čas strávený při konzultaci, poskytování rad a motivaci pro dokončení diplomové práce. Dále děkuji za ochotu a lidský přístup prof. Ing. Radimu Lenortovi, Ph.D., který vždy pochopil časové problémy distančního studenta. Velké díky patří také mému kolegovi a technologovi Lukáši Podroužkovi za asistenci při nastavování výrobní linky během realizace experimentu. Poděkování si zaslouží i kolegyně Ing. Tereza Pšenková, která mi díky své znalosti produktu Minitab ušetřila spoustu času. V neposlední řadě bych rád poděkoval své manželce Michaele za trpělivost a pevné nervy po dobu psaní této práce.

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů	7
Úvod.....	8
Statistická regulace procesu.....	9
1.1 Variabilita procesu.....	10
1.2 Fáze statistické regulace procesu	11
1.3 Statistická regulace měřením	13
1.4 Regulační diagram	13
Způsobilost procesu	22
2.1 Ukazatel C_p	23
2.2 Ukazatel C_{pk}	26
2.3 Ověřování normality	27
Navrhování experimentů	29
3.1 Základní techniky experimentování	30
3.2 Faktoriální experiment.....	32
3.3 Vyhodnocení experimentu.....	35
Praktická část	37
4.1 Představení společnosti a produktu	37
4.2 Proces ohýbání držáku navijáku bezpečnostního pásu.....	39
4.3 Plán experimentu	47
4.4 Regulace procesu ohýbání.....	49
4.5 Způsobilost regulovaného procesu.....	53
4.6 Experiment.....	56
4.7 Analýza procesu po aplikaci poznatků zjištěných experimentem	61
Závěr	65

Seznam literatury	67
Seznam obrázků	69
Seznam tabulek.....	70
Seznam příloh	71

Seznam použitých zkratk a symbolů

SPC Statistická regulace procesu

DOE Navrhování experimentů

ANOVA Analýza rozptylu

Úvod

Kvalita produktů je jedním z hlavních determinantů úspěšnosti výrobních společností v prostředí automobilového průmyslu. Kvalitu výrobku je důležité podchytit již při vlastním návrhu výrobku, který předurčuje, jaká bude použita technologie, jeho složitost, vyrobiteľnost a s tím vším i úroveň potenciálně dosažitelné kvality.

Těžiště kvality však spočívá ve výrobě, jelikož právě ve výrobním procesu na výrobek působí mnoho nežádoucích vlivů, které mohou výsledný produkt negativně ovlivnit. Úlohou odpovědného personálu je tyto vlivy nalézt a eliminovat, popřípadě minimalizovat na akceptovatelnou úroveň, jelikož vysoká variabilita kritických znaků kvality výrobků je nepřijatelná. Odstraněním variability lze dosáhnout požadovaných specifikací a splnit požadavky zákazníka.

To nutí firmy vyvíjet aktivity, které proces výroby vedou k zákazníkem očekávané úrovni kvality. Statistické metody, které jsou předmětem této diplomové práce se řadí mezi aktivity proaktivní a preventivní, tzn. sběrem dat, jejich analýzou a vyhodnocováním lze následně proces pochopit a působit na něj tak, aby byl v čase stabilní a způsobilý dle požadavku zákazníka. Největší důraz bude kladen na regulační diagramy, za účelem hodnocení statistické stability a ukazatele způsobilosti pro zjištění, zda výrobní proces splňuje očekávání a požadavky zákazníka.

Hlavním cílem diplomové práce bude nalézt faktor, který má vliv na výrobní proces ohýbání držáku bezpečnostního pásu a vhodnou kombinací úrovní faktorů s ostatními faktory zajistit zlepšení způsobilosti procesu. Prostředkem k tomuto cíli bude využití regulačních diagramů ke zjištění, zda je současný proces statisticky stabilní, vyhodnocení indexů způsobilosti a metodiky DOE.

Statistická regulace procesu

Tradičním pojetím zabezpečení shody produktů s požadavky zákazníka je kontrola výrobního procesu na jeho výstupu, kde jsou detekovány neshodné jednotky. Jedná se o tzv. „ex post“ metodu, jejíž největší nevýhoda spočívá v tom, že při detekci výrobku, který nevyhovuje požadavkům na kvalitu, již byly vynaloženy veškeré zdroje potřebné k jeho výrobě zbytečně, jelikož takový výrobek není možné zákazníkovi prodat. Nicméně kvalita se musí vyrobit a ne vykontrolovat. K tomuto účelu slouží právě nástroje statistické regulace procesu, které pomáhají vyrábět ve stabilním a předvídatelném prostředí.

Statistická regulace procesu má za cíl dosáhnout a udržet proces ve statisticky zvládnutém stavu.

Z hlediska regulovatelnosti procesu lze rozlišit tyto tři základní typy procesu (Blecharz, 2011):

- A – stabilní výrobní proces schopný regulace,
- B – nestabilní výrobní proces schopný regulace,
- C – nestabilní výrobní proces neschopný regulace.

Statistická regulace si klade za cíl dosahovat výrobních procesů typu A.

K procesu B lze přistupovat dvojím způsobem. Prvním přístupem k dosažení akceptovatelného výstupu je jednoduché třídění jednotek na shodné a neshodné, což je nákladná metoda postrádající preventivní charakter a nejedná se tak v pravém smyslu slova o regulaci. Druhý přístup již řeší místo a konkrétní příčiny vzniku neshodných jednotek (lidé, stroje, prostředí, metody apod.) a vede tak k trvalému zlepšení výrobního procesu. Díky odstraňování příčin působení negativních vlivů a správnému řízení kvality lze přetransformovat proces B na proces A tak, aby byl ve stabilním stavu. Druhá metoda však pro nalezení a pochopení příčin vyžaduje užití statistických metod, které budou dále popsány v diplomové práci.

Proces C vyžaduje razantní řešení a není možné jej v tomto stavu regulovat.

1.1 Variabilita procesu

Přirozenou vlastností každého procesu je jeho variabilita. Je normální, že znaky kvality v průběhu času vykazují danou úroveň variability. V praxi to znamená, že není možné vyrobit ani dva zcela identické produkty. Statistické metody však pomáhají určit zdroje variability identifikovat, analyzovat a následně vytvářet takové podmínky, aby se variabilita znaků kvality pohybovala v požadovaných mezích a byla v průběhu času stabilní. Snížení variability napomáhá snížit pravděpodobnost výskytu neshodného produktu a tím může přinést finanční úsporu snížením rozsahu a frekvence kontrol, zmetkovitosti a případných zákaznických reklamací.

Vlivy vyvolávající variabilitu lze rozčlenit do dvou základních skupin (Tošenovský, 2000):

Náhodné vlivy působí trvale a vyvolávají změny v procesech, které reprezentují variabilitu procesu jemu vlastní. Regulovaná veličina se při působení náhodných vlivů pohybuje v daných mezích, proces je předvídatelný a snadno reprodukovatelný. Proces, ve kterém se vyskytují pouze náhodné vlivy, je statisticky stabilní. Mezi náhodné příčiny lze zařadit např. kolísání teploty, vlhkosti, vibrace strojního zařízení, prašnost prostředí apod.

Vymežitelné vlivy, jež na proces působí nahodile a nestále, naopak vyvolávají nepřirozené kolísání úrovní znaků kvality a vyvolávají reálné změny v procesech (znak kvality mimo požadovanou specifikaci), které je nutno co nejdříve s pomocí regulačních diagramů detekovat, zjistit zdroj a učinit taková opatření, která zabrání nejlépe i opakovanému výskytu. K odhalení a odstranění je obvykle postačující lokální zásah odpovědných osob za kvalitu výrobního procesu jako je seřizovač, technolog nebo inženýr kvality. Kvalita výstupu takového procesu není předvídatelná a proces je obtížně reprodukovatelný. Výrobní proces, na který působí vymežitelné vlivy, není statisticky stabilní. Mezi vymežitelné příčiny patří např. poškození nástroje, chybné seřízení stroje, změna šarže materiálu apod.

1.2 Fáze statistické regulace procesu

Hlavním cílem statistické regulace výrobního procesu je myšleno jeho udržování ve statisticky stabilním stavu.

Tohoto je dosahováno ve čtyřech fázích: (Jarošová, a další, 2015)

Přípravná fáze

Úvodní fáze slouží k hlubšímu poznání daného procesu. Jsou identifikovány cíle SPC, stanoveny znaky kvality, které budou reprezentovat regulovanou veličinu a jejichž hodnoty bude potřeba měřit nebo zaznamenávat. Stanovuje se kontrolní místo v procesu a metoda měření. Přípravná fáze SPC by měla obsahovat také analýzu systému měření (dále jen MSA), která ověří, zda byla zvolena vhodná metoda pro získávání vybraných hodnot zvoleného znaku kvality. Na základě analýzy procesu se rozhodne o vhodném rozsahu a frekvenci výběrů, aby byly postiženy všechny potenciální významné vlivy působící na proces. Rozhoduje se, zda budou při posuzování statistické regulace použity individuální hodnoty, či budou data rozdělena do podskupin. V návaznosti na předešlé kroky, se určuje vhodný typ regulačního diagramu. Připraví se plán sběru dat, např. ve formě záznamového formuláře pro dané období.

Zabezpečení statistické stability procesu

Druhá etapa má za cíl detekovat a popřípadě zmírnit, či zcela eliminovat působení vymezitelných příčin působících na regulovaný proces vytvořením podmínek zabráňujících jejich opakovanému výskytu.

Začíná se sběrem dat v předem definovaných intervalech do tzv. logických podskupin.

Do regulačního diagramu se zkušebními mezemi a centrální přímkou se vynášejí příslušné výběrové charakteristiky a výsledný graf se analyzuje. Jestliže se naměřené hodnoty vyskytnou mimo tyto zkušební meze, zjišťuje se zpětně existence vymezitelné příčiny. V případě, že byla příčina nalezena a bylo zabráněno

jejímu opětovnému výskytu, je potřeba podskupiny týkající se tohoto problému vyřadit a nové revidované meze s centrální přímkou se vypočítají již bez odstraněných podskupin. Podskupinu mimo regulační meze vypustit nelze, pokud příčina nebyla nalezena a odstraněna.

V případě, že se všechny zanesené body nacházejí uvnitř regulačních mezí, tzn. proces byl v době odběru podskupin pod kontrolou a není identifikovatelný žádný systematický vývoj (nenáhodná seskupení), lze používat vypočtené regulační meze i v dalších etapách. Jestliže je počet vypuštěných podskupin příliš velký, provádí se sběr nových hodnot regulovaného znaku kvality.

Statisticky zvládnutý proces je podmínkou pro vyhodnocování jeho způsobilosti v další etapě.

Etapa analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

Tato etapa již počítá se statisticky stabilním procesem na základě prováděných akcí z předchozí etapy a charakteristiky procesu, včetně vypočtených mezí a centrální přímkou, lze považovat za finální.

Ideálním stavem je statisticky zvládnutý a současně způsobilý proces. V tomto případě postačuje pouze monitoring chování procesu. Může však nastat situace, že proces bude statisticky zvládnutý (ad předchozí etapa) ale nebude způsobilý. V tomto případě je nutné pracovat na dalším snižování variability procesu redukcí vlivů náhodných příčin.

Dlouhodobá statistická regulace

V této fázi je proces udržován ve způsobilém a statisticky stabilním stavu za pomoci stanovených regulačních diagramů, které detekují poruchy ve stabilním procesu a pomáhají je tak odstraňovat.

Cílem SPC je tedy signalizovat vznik vymezitelné příčiny v procesu a regulovat proces takovým směrem, aby bylo opět dosaženo jeho požadovaného stavu, kdy

na proces budou působit pouze náhodné příčiny v míře, která zajistí způsobilost procesu.

1.3 Statistická regulace měřením

Regulované veličiny lze rozdělit na dva základní typy, kdy regulovaná veličina je buď kvantitativním znakem nebo kvalitativním znakem.

Kvalitativní znaky se dají vyjádřit pouze slovně. V tomto případě se využívá statistická regulace srovnáváním.

Kvantitativní znaky se dají vyjádřit číselně. Dále jsou rozlišovány na nespojitě znaky, kdy nabývají pouze některých číselných hodnot z určitého intervalu (počet zápalů v krabičce apod.) a spojité znaky, které mohou nabývat v určitém intervalu libovolných hodnot (rozměr, fyzikální veličiny apod.). Je-li sledovaný znak kvality měřitelnou proměnnou a je možné jej vyjádřit pomocí spojité číselné stupnice, využívá se statistická regulace měřením.

1.4 Regulační diagram

Chování výrobního procesu je charakterizováno chováním jedné nebo více veličin, které jsou v rámci procesu označovány jako znaky kvality. Veličiny důležité pro kvalitu procesu by se měly pravidelně kontrolovat (zkouškami, měřením, vizuální kontrolou apod.) na základě stanovených kritérií, která určují, zda je proces stabilní a plní požadavky, které jsou na proces kladeny. Tyto veličiny, které jsou sledovány v rámci SPC se nazývají regulované veličiny.

Základní nástroj, který se v praxi využívá pro účely SPC nejčastěji, je regulační diagram. Jedná se o grafický nástroj, který pomáhá znázorňovat úroveň a variabilitu procesu a zároveň odlišovat variabilitu vyvolanou náhodnými příčinami od variability vyvolané vymezitelnými příčinami. Na horizontální ose x je zaznamenáno pořadí jednotlivých podskupin a na vertikální ose y jsou vynášeny konkrétní hodnoty výběrových charakteristik.

Hlavní částí diagramu je centrální přímka (CL), která odpovídá odhadu střední hodnoty vynášené charakteristiky, případně reprezentuje požadovanou střední hodnotu procesu.

Dále jsou součástí diagramu dolní regulační mez (LCL) a horní regulační mez (UCL), které se vypočítají buď z naměřených dat (přirozené regulační meze), anebo jsou odvozeny od cílových hodnot (technické regulační meze).

Pro prvotní rozhodování o statistické stabilitě procesu poslouží přirozené meze. Nacházejí-li se hodnoty vynášené charakteristiky v pásmu mezi těmito mezemi, dá se říci, že na proces působí pouze náhodné vlivy. Překročení regulačních mezí slouží jako signál k zásahu do procesu za účelem navrácení procesu zpět na požadovanou úroveň.

Pro regulaci se používá dvojice regulačních diagramů, kdy jeden kontroluje konstantní střední hodnotu (poloha výběrové charakteristiky), zatímco druhý kontroluje konstantnost směrodatné odchylky či rozptylu předpokládaného normálního rozdělení sledované veličiny (variabilita).

Nejčastěji se lze setkat se dvěma typy dvojic regulačních diagramů:

(\bar{x}, R) – diagram pro průměr a rozpětí se hodí se pro situace, kde se pracuje s menšími rozsahy výběru

(\bar{x}, s) – diagramy pro průměr výběru \bar{x} a směrodatnou odchylku s jsou vhodné pro větší rozsahy výběrů (nad 10)

Centrální přímka a regulační meze v diagramech se počítají podle vzorců uvedených v Tab. 1.

Tab. 1 Vzorce pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí při regulaci měřením (nejsou stanoveny základní hodnoty)

Diagram	Typ grafu	Poloha centrální přímký CL	Horní regulační mez (UCL)	Dolní regulační mez (LCL)
(\bar{x}, R)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$
	R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}$	$D_3 \bar{R}$
(\bar{x}, s)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s}$	$\bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s}$
	s	\bar{s}	$B_4 \bar{s}$	$B_3 \bar{s}$

Zdroj: Upraveno dle (Montgomery, 2009)

Jednotlivé proměnné ze vzorců viz Tab. 1 znamenají:

$\bar{\bar{x}}$ – celkový průměr z podskupin

\bar{R} – průměr rozpětí výběrů

\bar{s} – průměr výběrových směrodatných odchylek podskupin

$A_2, A_3, B_3, B_4, D_3, D_4$ – součinitelé pro výpočet regulačních mezí závislé na velikosti podskupiny (ČSN ISO 7870-2:2018)

Diplmová práce se bude podrobněji zabývat pouze diagramy pro průměr a rozpětí (\bar{x}, R).

Diagram pro průměr (\bar{x} - diagram) kontroluje konstantnost střední hodnoty regulovaného znaku kvality, která vypovídá o úrovni celého sledovaného procesu.

Za předpokladu, že je proces pod kontrolou, tzn. na proces nepůsobí žádné vymezipitelné vlivy, platí, že střední hodnota μ a rozptyl σ^2 regulovaného znaku kvality je konstantní. Potom pro rozdělení průměrů platí:

$$\mu_{\bar{x}} = \mu \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Z tohoto vztahu plyne, že centrální přímkka CL \bar{x} -diagramu odpovídá μ a regulační meze jsou vypočteny následovně:

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Diagram pro rozpětí (R - diagram) sleduje velikost přirozené variability procesu. Tedy \bar{x} -diagram sleduje variabilitu mezi jednotlivými podskupinami a R -diagram variabilitu v rámci samotných podskupin. Pro dostatečně přesný odhad parametrů rozdělení, je doporučeno odebrat minimálně 20-25 podskupin. Z každé podskupiny se vypočítá průměr \bar{x} a rozpětí R .

Postup při analýze regulačních diagramů pro průměr a rozpětí - (\bar{x}, R) .:

V praxi většinou střední hodnota konkrétního procesu μ a jeho směrodatná odchylka σ není známa, a proto je před samotnou konstrukcí regulačních diagramů zapotřebí provést odhad těchto charakteristik regulovaného znaku kvality z 20 až 25 podskupin stabilního procesu.

Střední hodnota μ regulovaného znaku kvality bude odhadnuta pomocí celkového průměru.

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k} \quad (4)$$

$\hat{\mu}$ – odhad střední hodnoty regulovaného znaku kvality

$\bar{\bar{x}}$ – aritmetický průměr z aritmetických průměrů podskupin

$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ – průměry jednotlivých podskupin

k – počet podskupin

Odhad směrodatné odchylky $\hat{\sigma}$ se provede metodou založenou na rozpětí, kdy se nejdříve zjistí rozpětí R jako rozdíl největší a nejmenší hodnoty v rámci měřených podskupin.

Průměrné rozpětí z jednotlivých podskupin je:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (5)$$

\bar{R} – průměr rozpětí výběrů

R_1, R_2, R_k – rozpětí jednotlivých podskupin

Směrodatná odchylka $\hat{\sigma}$ se odhadne pomocí průměrného rozpětí podskupiny následovně:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (6)$$

d_2 – součinitel pro daný rozsah podskupiny tabelovaný v normě (ČSN ISO 7870-2:2018)

Pro získání hodnot UCL a LCL v diagramu pro průměr a rozpětí jsou použity tyto vztahy:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R} \quad (7)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R} \quad (8)$$

n – rozsah podskupiny

Pro snadnější výpočty regulačních mezí v praxi, norma (ČSN ISO 7870-2:2018) obsahuje různé typy součinitelů pro různá n . Výše uvedené vzorce poté vypadají takto (kompletní přehled viz Tab. 1):

\bar{x} -diagram

Centrální přímkou je vyjádřena střední hodnotou $\bar{\bar{x}}$ a regulační meze určují vztahy

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (9)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad (10)$$

R-diagram

Centrální přímka je vyjádřena průměrem rozpětí výběrů \bar{R} a regulační meze určují vztahy

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (11)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (12)$$

Součinitele lze nalézt v normě (ČSN ISO 7870-2:2018).

Testy nenáhodných seskupení

Další analýza prováděná v regulačních diagramech je tzv. test nenáhodných seskupení, který může účinnost regulačního diagramu ještě zvýšit tím, že umožňuje jiným způsobem detekovat podezřelé signály v procesu, přestože hodnoty nepřekročí regulační meze.

Interval UCL až LCL je rozdělen do zón A, B, C, kdy každá zóna odpovídá jedné směrodatné odchylce od centrální přímky (CL). Zóna C představuje vzdálenost jedné směrodatné odchylky od centrální přímky, zatímco zóna A představuje vzdálenost tří směrodatných odchylek od centrální přímky.

Existuje osm základních pravidel, kdy v případě, že alespoň k jednomu v průběhu procesu dojde, je nutné zjistit vymezené příčiny a zasáhnout do procesu, aby došlo k nápravě.

Pravidla pro testy nenáhodných seskupení, jak jsou definována Western Electric Handbook zní následovně (Western Electric, 1982):

Pravidlo 1 - Jeden bod se nachází mimo regulační mez

Pravidlo 2 – Devět bodů leží v řadě za sebou na jedné straně od centrální přímky

Pravidlo 3 – Šest bodů v řadě za sebou roste nebo klesá

Pravidlo 4 – Čtrnáct bodů za sebou pravidelně kolísá směrem dolů a nahoru

Pravidlo 5 – Alespoň dva ze tří bodů leží za sebou v zóně A, nebo mimo ni

Pravidlo 6 – Alespoň čtyři z pěti bodů leží v řadě za sebou v zóně B nebo mimo ni

Pravidlo 7 – Patnáct bodů za sebou v řadě leží v zóně C

Pravidlo 8 – Pět bodů za sebou v řadě leží mimo zónu C

Grafické znázornění viz Příloha č. 1. Upraveno dle (Western Electric, 1982).

Tvorba logických podskupin

Před započítáním statistické regulace je potřeba definovat velikost podskupin a frekvenci jejich výběru. Ke spolehlivému odhalení změn v procesu by bylo nejlepší nastavit co nejčastější sběr co největších souborů vzorků, jelikož přesnost odhadu charakteristik procesu roste s množstvím nasbíraných dat, nicméně tento postup by byl značně ekonomicky neefektivní.

Tento problém řeší Shewhartova myšlenka tvorby logické podskupiny, která je založena na sběru údajů v tzv. logických podskupinách. Tyto podskupiny by měly být vybírány tak, aby se případný vliv vymezitelné příčiny projevil mezi podskupinami, a nikoliv v rámci podskupin samotných a regulační diagram tak měl schopnost odhalit variabilitu způsobenou vlivem vymezitelných příčin i bez nutnosti získávání velkého množství dat.

Základ tvorby podskupin tvoří pořadí jednotek produktu v čase. Je mnoho faktorů, které hrají roli při tvorbě podskupin jako např. forma jednotek produktu, stabilita výrobního prostředí, množství potenciálních zdrojů variability atd.

Dále je potřeba při tvorbě podskupiny uvážit, zda jednotka produktu pochází pouze z jednoho stroje, nástroje, od jednoho operátora, z jedné směny apod. nebo pochází z více rozmanitých zdrojů. Jestliže se proces v minulosti nereguloval, je vhodné nejdříve provést regulaci odděleně v návaznosti na každý zdroj zvlášť, aby mohla být případná variabilita snadněji a dříve odhalena. Po regulaci jednotlivých zdrojů je již možné pracovat s podskupinami z průměrných vzorků (ze všech zdrojů), což sníží zejména náklady na prováděné analýzy.

Velikost výběru a kontrolního intervalu

Velikost výběru a kontrolního intervalu, stejně jako způsob tvorby logických podskupin, ovlivňuje několik faktorů:

- velikost nákladů v důsledku pozdního odhalení signifikantní změny v procesu,
- druh výroby (směnnost provozu apod.)
- takt výroby,
- stabilita procesu.

Jako faktor pro stanovení délky kontrolního intervalu lze využít např. rychlost výroby viz Tab. 2.

Tab. 2 Vztah mezi objemem výroby a počtem kontrolovaných výrobků

Počet výrobků/směna	1-65	66-110	111-180	181-300	301-500	500-800	801-1300	1301-3200
Počet kontrolovaných výrobků/směna	5	10	15	25	30	35	40	50

Zdroj: (Jarošová, a další, 2015)

Aby regulační diagram neztratil svou preventivní schopnost, je nutné stanovenou délku kontrolního intervalu dodržovat po dobu regulace výrobního procesu. (Jarošová, a další, 2015)

Způsobilost procesu

Jedná se o schopnost procesu trvale plnit předepsaná kritéria a hodnotí se zejména u procesů s měřitelným znakem kvality. Sledovaný znak má formulována kritéria v podobě předepsaných mezí – horní a dolní. V některých případech se jedná o jednostrannou specifikaci, kdy jsou na znak kladeny požadavky k nepřekročení maximální nebo naopak minimální hodnoty. Způsobilost je posuzována z hlediska variability procesu a jeho polohy vůči předepsaným mezním hodnotám. Variabilita znaku kvality se dá posuzovat jako okamžitá (přirozená) variabilita nebo jako variabilita (přípustná) vzhledem k předepsaným kritériím procesu. Proto ještě vedle předepsaných mezí jsou stanovovány přirozené toleranční meze, které vychází z variability procesu a nacházejí se ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od střední hodnoty procesu μ . V tomto intervalu definovaném přirozenými mezemi se bude vyskytovat 99,73 % hodnot.

Způsobilost procesu může být hodnocena pouze tehdy, je-li proces pod statistickou kontrolou, tedy veškerá variabilita procesu je důsledkem působení přirozených příčin, nikoliv zvláštních.

Při sledování variability lze sledovat okamžitou variabilitu, kterou vyjadřují ukazatele způsobilosti nebo také celkovou variabilitu, kterou popisují ukazatele výkonnosti.

Ukazatele způsobilosti vyjadřují schopnost procesu dodržet předepsané meze. Jak je proces způsobilý, se dá posoudit porovnáním přirozených tolerančních mezí s mezemi danými specifikací. Mohou nastat tyto tři případy:

Přirozené toleranční meze jsou menší než meze dané specifikací, což znamená, že více než 99,73 % hodnot bude splňovat požadavky zákazníka na sledovaný znak kvality.

Přirozené toleranční meze a meze dané specifikací se rovnají, což znamená, že v případě normálního rozdělení a centrovaného procesu (hodnota μ leží přesně uprostřed intervalu USL, LSL) bude přesně 99,73 % hodnot odpovídat specifikaci zákazníka na sledovaný znak kvality.

Přirozené toleranční meze přesahují meze dané specifikací, což znamená, že i přestože je proces statisticky stabilní, vykazuje proces větší přirozenou variabilitu,

než je zákazníkem vyžadováno, a tak se mimo meze s danou pravděpodobností vyskytne více hodnot než v předešlých případech.

Způsobilost procesu je vyjadřována pomocí ukazatelů způsobilosti, které jsou často doplňovány i graficky – histogramem. Aby měl histogram vypovídací schopnost o způsobilosti procesu, je nutné, aby v něm bylo zaneseno alespoň 100 hodnot. (Montgomery, 2009) Rozhodnutí o způsobilosti vyhodnocením histogramu je do jisté míry subjektivní, proto se k hodnocení užívají bezrozměrné ukazatele způsobilosti procesu.

2.1 Ukazatel C_p

Základním ukazatelem způsobilosti je ukazatel C_p daný vzorcem:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (13)$$

σ – směrodatná odchylka procesu

USL, LSL – předepsané meze procesu pro sledovaný znak kvality

Pokud je směrodatná odchylka neznámá, je nutné její hodnotu odhadnout, kde $\hat{\sigma}$ je odhadnutá směrodatná odchylka:

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (14)$$

Směrodatná odchylka se odhadne pomocí vzorců:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (15)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (16)$$

\bar{R} – průměrné rozpětí procesu

\bar{s} – průměrná směrodatná odchylka

d_2, c_4 – součinitele, které jsou tabelovány v normě a hodnota závisí na velikosti podskupiny a velikosti základního souboru (ČSN ISO 7870-2:2018)

Ukazatel je založen na předpokladech, že sledovaný znak kvality má normální rozdělení hodnot a střední hodnota znaku kvality leží přesně uprostřed předepsaných mezí (centrovaný proces).

Prostor mezi předepsanými mezemi je toleranční pole (čítatel), které představuje přípustnou variabilitu a lze ji nalézt např. ve výkresech produktu. Jmenovatel představuje přirozenou variabilitu s intervalem 6σ . Jestliže bude $USL - LSL = 8\sigma$, bude mít ukazatel C_p hodnotu 1,33 a takový proces splní proces podmínku způsobilosti.

Při hodnocení způsobilosti je také nutné brát na vědomí, že hodnota odhadu je závislá na konkrétním výběru měřených jednotek. To znamená, že i v případě, že je proces pod kontrolou a jeho parametry jsou konstantní, stačí, aby byl změněn výběr kontrolovaných jednotek a hodnota odhadu bude jiná. Přesnost odhadu ukazatelů je ovlivněna rozsahem a počtem podskupin, přičemž platí, že čím větší je počet získaných hodnot, tím bude odhad ukazatele způsobilosti přesnější.

Kvůli této skutečnosti je někdy ukazatel C_p vyjadřován pomocí tzv. konfidenčního intervalu, který udává, v jakém intervalu se s určitou pravděpodobností bude nacházet ukazatel C_p . $100(1-\alpha)\%$ konfidenční interval pro C_p je:

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2}^2(v)}{v}} \leq Cp \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(v)}{v}} \quad (17)$$

$$v = k(n - 1)xf \quad (18)$$

$\chi_{\alpha/2}^2(v), \chi_{1-\alpha/2}^2(v)$ – kvantily chí-kvadrát rozdělení s v stupni volnosti

n – rozsah podskupiny

k – počet podskupin

f – korekční faktor – konstanta závislá na rozsahu podskupiny

Ze vztahů 17 a 18 lze vyvodit, že přesnost (šířka) intervalů konfidenčního intervalu je ovlivněna počtem měření. Čím větší bude počet naměřených hodnot, tím bude konfidenční interval užší a odhad ukazatele způsobilosti přesnější. (Jarošová, 2011)

Kromě oboustranného ukazatele C_p lze způsobilost určit ještě s pomocí jednostranných ukazatelů C_{pU} a C_{pL} . Pokud hodnota μ , která představuje střední hodnotu procesu není známa, vypočítá se její odhad. Stejně platí i pro směrodatnou odchylku procesu σ .

$$C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (19)$$

C_{pU} - horní ukazatel způsobilosti

$$C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (20)$$

C_{pL} – dolní ukazatel způsobilosti

V případě centrovaného procesu platí, že $C_p = C_{pU} = C_{pL}$. Bude-li střední hodnota procesu posunuta k horní specifikační mezi, platí že, $C_{pU} < C_p < C_{pL}$. Bude-li střední hodnota posunuta k dolní specifikační mezi, $C_{pL} < C_p < C_{pU}$.

2.2 Ukazatel Cpk

Jedná se o nejčastěji využívaný ukazatel způsobilosti v praxi, jelikož zohledňuje, na rozdíl od C_p , i umístění střední hodnoty sledovaného znaku procesu vůči tolerančním mezím. Opět je nutné splnit předpoklad normality rozdělení hodnot a aby byl proces statisticky stabilní. Montgomery nazývá C_{pk} ukazatelem aktuální způsobilosti a C_p ukazatelem potenciální způsobilosti.

Ukazatel C_{pk} se počítá následovně (Montgomery, 2009):

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) = \min(C_{pU}, C_{pL}) \quad (21)$$

Proces je považován za způsobilý, jestliže $C_{pk} = 1,33$ nebo vyšší. Mnoho zákazníků, především v leteckém a automobilovém odvětví, však vyžaduje způsobilost procesu alespoň na úrovni $C_{pk} = 1,67$.

Konfidenční interval, který stanoví, v jakém intervalu se bude nacházet C_{pk} s pravděpodobností $100(1-\alpha) \%$ s podmínkou, že $kn > 30$, se určí takto:

$$\hat{C}_{pk} \left(1 - u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9kn\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2v}} \right) \leq C_{pk} \leq \hat{C}_{pk} \left(1 + u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9kn\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2v}} \right) \quad (22)$$

Uvedené vzorce předpokládají normální rozdělení regulovaných znaků kvality daného procesu. Předpoklad normality je možné ověřit několika způsoby viz níže.

Rovnají-li se $C_p = C_{pk}$, potom je proces vycentrovaný. Jestliže nastane situace, kdy $C_{pk} < C_p$, znamená to, že proces vycentrovaný naopak není. V tomto případě by měla být pozornost upřena na zlepšení polohy procesu směrem k požadované střední hodnotě procesu.

2.3 Ověřování normality

Normalitu lze opět posuzovat pouze u statisticky zvládnutého procesu. K ověření normality existuje mnoho statistických testů.

Obecně platí, že s růstem rozsahu výběru roste i síla testu, proto je důležité zajištění dostatečného množství dat.

Je také vhodné pro ověření normality zvolit více testů zároveň. V Minitabu je běžně užívaným testem např. Andersonův – Darlingův statistický test doplněný grafickým nástrojem v podobě např. normálního pravděpodobnostního grafu.

Testy normality

Nulová hypotéza H_0 reprezentuje předpoklad, že data pochází z normálního rozdělení. Jestliže není nulová hypotéza zamítnuta, je předpoklad normálního rozdělení považován za platný. Kritériem pro případné zamítnutí nulové hypotézy je tzv. p -hodnota.

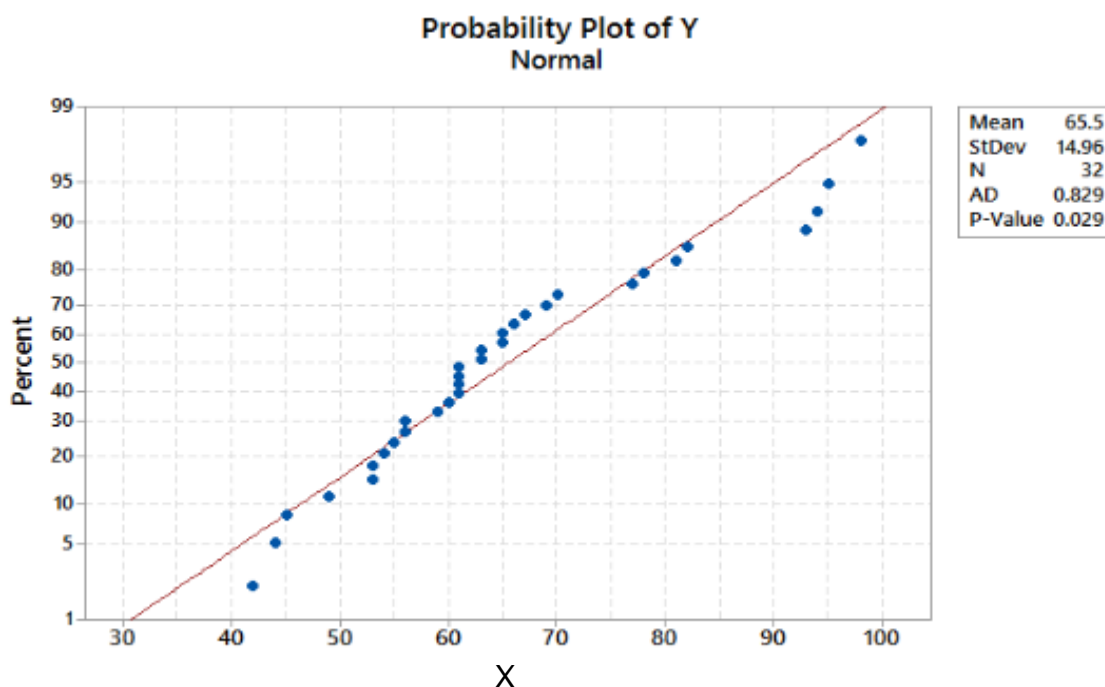
Zmíněné testy jsou založeny na různých principech. Např. Andersonův-Darlingův test, který je využíván i ve výstupech statistického software Minitab, je založen na porovnání empirické distribuční funkce $F_n(x)$ s distribuční funkcí normálního rozdělení $F(x)$. Tento typ testu je označován jako test dobré shody. Hodnocení rozdílnosti mezi uvedenými distribučními funkcemi je u tohoto testu založeno na jejich čtvercové vzdálenosti.

K jednoduchému posouzení míry shody distribučních funkcí slouží již zmíněná p -hodnota. Pro aplikaci metod statistické regulace procesu bývají k dispozici rozsahy výběrů 100 a větší, v takovém případě se obvykle volí hladina významnosti $\alpha =$

0,05. Hypotéza o normalitě je poté zamítnuta v případě, že je p -hodnota menší než 0,05.

Grafické metody

Graficky jsou naměřené hodnoty obvykle znázorňovány s pomocí histogramu. V případě nedostatečného počtu hodnot je porovnávání tvaru rozdělení s křivkou hustoty normálního rozdělení nespolehlivé. Proto se pro přesnější grafické vyhodnocení používá např. pravděpodobnostní graf viz Obr. 1.



Zdroj: (Minitab Support, 2017)

Obr. 1 Ukázka pravděpodobnostního grafu pro ověření normality výběru dat

Na osu x grafu se vynášejí naměřené hodnoty sledovaného znaku kvality, které jsou uspořádány vzestupně dle velikosti. Na osu y se vynášejí hodnoty empirické distribuční funkce vycházející z předpokládaného normálního rozdělení. Grafem je proložena regresní přímka. Pokud vynesené body leží v blízkosti a přibližně kopírují

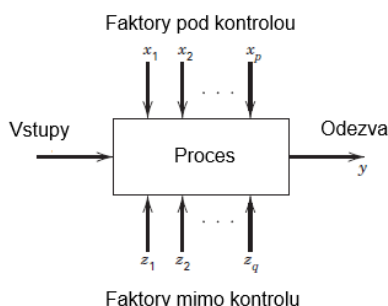
regresní přímku a zároveň jejich potenciální odchylky nevykazují určitý trend, lze tento výběr hodnot sledovaného znaku považovat za výběr z normálního rozdělení.

Navrhování experimentů

Pozorováním procesů a systémů je možné zjistit mnohé. Nicméně důležitým přístupem k pochopení vztahů a příčin jevů odehrávajících se v procesech je záměrná změna různých proměnných za účelem zjišťování a vyhodnocování výsledků. K tomuto slouží právě metody navrhování experimentů (dále jen DOE), které představuje systematické plánování zkoušek se zřetelem na statistické vyhodnocení. Pozorování generuje teorie a hypotézy, nicméně experimenty v praxi ověřují, zda jsou tyto domněnky správné.

Experiment lze obecně charakterizovat jako záměrný proces změn ve vstupech procesu za účelem zjišťování odezvy ve výstupu. V experimentu je vyhodnocován vztah příčina-následek pomocí daných změn vstupních veličin. Na základě výsledků experimentu je pak možné určit důležité vlivné vstupy, které mají požadovaný dopad na odezvu výstupu a tohoto pak využít ke zlepšování daných procesů.

Proces lze vyjádřit jako kombinaci operací, strojů, postupů, lidí a dalších zdrojů, které transformují vstupy (materiál, informace apod.) na alespoň jednu proměnnou odezvu. Proměnné (x_1, x_2, \dots, x_p) jsou faktory, které lze ovlivnit, zatímco ostatní proměnné (z_1, z_2, \dots, z_q) pod kontrolou být nemusí, ačkoliv pro účely testu pod kontrolou být mohou, viz Obrázek 2.



Zdroj: Upraveno dle (Montgomery, 2013)

Obr. 2 Model procesu

Faktor je vstupní veličina, jejíž hodnoty jsou během experimentu cíleně měněny nebo jsou alespoň pod kontrolou. Faktor může mít charakter kvalitativní veličiny (dodavatel, stroj, nástroj, šarže suroviny, výrobní operátor atd.) nebo kvantitativní veličiny (teplota, tlak, koncentrace apod.). Úrovně kvalitativních faktorů jsou stanoveny slovně a počet úrovní kopíruje obvykle situaci reálného provozu. Kvantitativní faktory obvykle postihují dvě až tři úrovně zdaného technologického předpisu.

Odezva představuje výstupní veličinu, jejíž hodnoty se v případě, že má daný faktor vliv, mění při změnách nastavení těchto faktorů, a to více než při přirozeném kolísání v důsledku přirozené variability. Odezva je zpravidla měřitelná spojitá veličina. Lze se setkat i s odezvami, které představují počet nebo podíl neshodných výrobků nebo neshod.

Základním cílem experimentu je zjištění, která proměnná vstupní veličina má na odezvu procesu největší vliv.

Dalšími cíli může být zajištění přípustné variability odezvy skrze správné nastavení úrovní faktorů a aby byl vliv nekontrolovatelných proměnných na odezvu minimalizován.

3.1 Základní techniky experimentování

Aby se předešlo zkreslování výsledků působením různých systematických vlivů, musí se experiment správně naplánovat. K tomuto slouží tyto tři základní techniky.

Replikace znamená opakování zkoušek. Jedna replikace experimentu znamená provedení zkoušky pokaždé při jiné kombinaci úrovní zkoumaných faktorů. Zkouška je opakována proto, aby bylo možné změřit a odlišit variabilitu náhodné složky od variability způsobené různým nastavením úrovní faktorů.

Znáhodnění má za úkol zabránit sloučení vlivu vybraného faktoru a nějaké další neidentifikovatelné příčiny. Úrovně či kombinace úrovní jsou střídány náhodně.

Uspořádání do bloků pomáhá pro snížení nevysvětlené variability. Jednotlivé zkoušky jsou uspořádány do bloků (skupin), kdy každý blok je vystaven co nejvíce konstantním podmínkám. Jeden blok často odpovídá jedné replice experimentu.

Postup při provádění experimentu (Montgomery, 2013)

1) Definice problému a stanovení cíle experimentu

Jasně vyjádření problému a cílů experimentu často významně přispívá k lepšímu pochopení procesu a případnému řešení problému.

2) Hledání potenciálních faktorů

Experimentátor zvažuje faktory, s jejichž změnou úrovně se mohou nastávat změny v odezvě procesu. Je potřeba zvážit všechny možné potenciálně vlivné faktory na odezvu zkoumaného procesu, nicméně především u prvotních experimentů se doporučuje začít s menším počtem faktorů.

3) Výběr faktorů

Musí být vybrán takový faktor, který experimentátorům poskytne užitečnou informaci o vlivu na odezvu zkoumaného procesu.

4) Výběr experimentálního návrhu

Výběr designu zahrnuje zvážení počtu replikací, pořadí jednotlivých zkoušek a měření, zda zahrnout znáhodnění do bloků nebo jak zajistit co nejlepší znáhodnění.

5) Realizace experimentu

Je důležité dodržovat plán experimentu stanovený v předchozích fázích, nedodržení plánu experimentu může následně narušit vypovídací hodnotu výsledků experimentu.

6) Analýza dat

Analýzou dat statistickými metodami je zajištěna objektivnost výsledků.

7) Vyhodnocení a doporučení

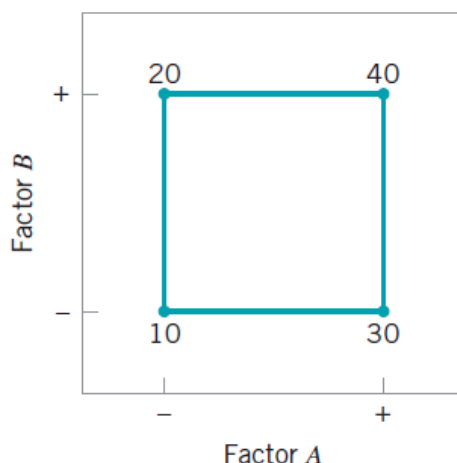
Výsledek experimentu by měl přinést praktické doporučení za účelem dosažení cílů stanovených v prvním kroku. Mohou být využity následné ověřovací zkoušky, za účelem potvrzení závěrů.

3.2 Faktoriální experiment

Jestliže se experiment zabývá vlivem více faktorů, měl by být použit faktoriální experiment. Tento je navržen tak, že zkoumá působení různých úrovní faktorů navzájem. Tzn., že v jedné replikaci jsou otestovány všechny možné kombinace faktorů a jejich úrovní.

Efekt faktoru neboli hlavní efekt je definován jako změna v odezvě vyvolaná změnou úrovně faktoru. V případě dvou faktorů A a B, kdy každý má dvě úrovně; (+) vysokou úroveň a (-) nízkou úroveň, potom hlavní efekt faktoru A je rozdíl mezi průměrnou odezvou při vysoké úrovni A a průměrnou odezvou na nízké úrovni A. V případě níže lze vidět, že při změně faktoru A z nízké úrovně (-) na vysokou úroveň (+) způsobí průměrný nárůst odezvy o 20 jednotek. Graficky je tento případ znázorněn na Obrázku 3.

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-} = \frac{30 + 40}{2} - \frac{10 + 20}{2} = 20 \quad (23)$$



Zdroj: (Montgomery, 2013)

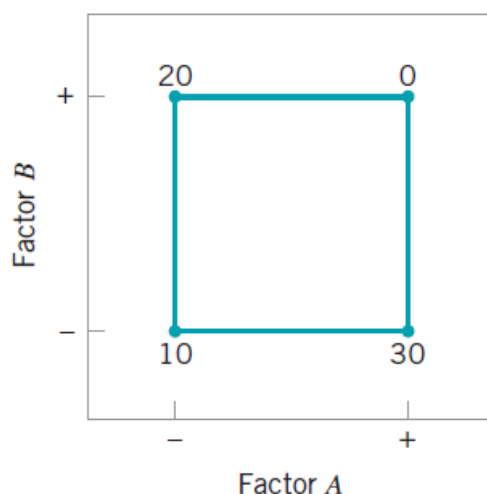
Obr. 3 Faktoriální experiment se dvěma faktory

Podobně lze zjistit i hlavní efekt faktoru B.

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-} = \frac{20 + 40}{2} - \frac{10 + 30}{2} = 10 \quad (24)$$

V některých experimentech rozdíl v odezvě mezi úrovněmi jednoho faktoru není stejný při všech úrovních ostatních faktorů. Jedná se o interakci mezi faktory.

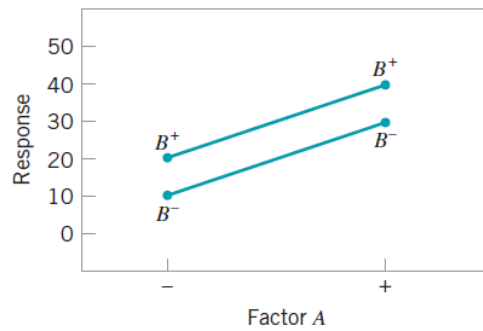
Ze součtů jednotlivých efektů v rovnicích lze vidět interakci na Obrázku 4, kdy při nízké úrovni faktoru B, efekt faktoru A = 30 – 10 = 20, ale při vysoké úrovni faktoru B je efekt faktoru A = 0 – 20 = - 20.



Zdroj: (Montgomery, 2013)

Obr. 4 Faktoriální experiment s interakcí

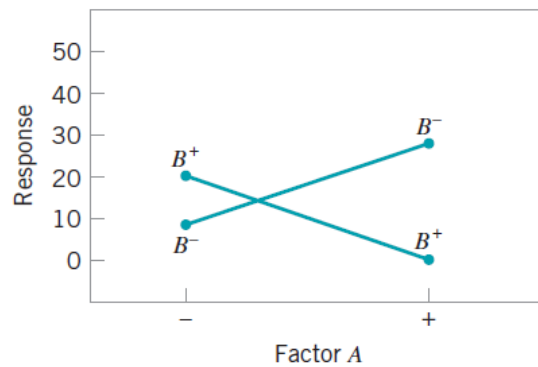
Jelikož efekt faktoru A závisí na zvolené úrovni faktoru B, existuje mezi těmito faktory interakce. Jestliže je interakce velká, odpovídající hlavní efekty mají oproti ní malý význam. Koncept interakce lze graficky znázornit viz Obr. 5 a 6. Obr. 5 znázorňuje úroveň faktoru A v kombinaci s oběma úrovněmi faktoru B. Lze vidět, že přímka B^- i B^+ jsou víceméně rovnoběžné, což znamená, že mezi faktorem A a B neexistuje interakce.



Zdroj: (Montgomery, 2013)

Obr. 5 Graf interakce (aditivní působení faktorů)

Na Obr. 6 lze vidět, že přímky B^- a B^+ nejsou rovnoběžné, a naopak se protínají, což indikuje interakci mezi faktory A a B.



Zdroj: (Montgomery, 2013)

Obr. 6 Graf interakce

Rozlišuje se *úplný faktoriální experiment*, kdy jsou ověřeny všechny možné kombinace úrovní uvažovaných faktorů a *dílčí faktoriální experiment*, ve kterém jsou některé kombinace záměrně vynechány. Jednotlivé faktory mohou mít více úrovní. (Montgomery, 2013)

3.3 Vyhodnocení experimentu

Vyhodnocení experimentu spočívá v porovnání průměrů nezávislých skupin výsledků vzniklých tříděním podle úrovní jednoho nebo více faktorů.

K tomuto účelu se používá analýza rozptylu (ANOVA), kdy se celkový součet čtverců (platí pro dva faktory s interakcí) rozloží na čtyři části: součet čtverců vlivem faktoru A , součet čtverců vlivem faktoru B , součet čtverců vlivem interakce AB a reziduální součet čtverců.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \quad (25)$$

Tabulka ANOVA pro dva faktory s interakcí vypadá následovně:

Tab. 3 Tabulka ANOVA pro dva faktory s interakcí

Zdroj variability	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměrný čtverec	F
Faktor A	SS_A	$a-1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F = \frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	SS_B	$b-1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interakce AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Chyba	SS_E	$ab(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Celková chyba	SS_T	$abn-1$		

Zdroj: (Montgomery, 2013)

K rozhodnutí o významnosti hlavních efektů faktorů a jejich interakce slouží F-statistika, která vyjadřuje poměr jejich rozptylů.

Nulová hypotéza H_0 , která představuje rovnost středních hodnot dvou zkoumaných skupin,

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

je testována proti alternativní hypotéze, kdy rovnost středních hodnot dvou zkoumaných skupin není roven.

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Pro vyhodnocení významnosti jednotlivých efektů lze zvolit porovnání vypočtené hodnoty F -statistiky, který lze nalézt ve sloupci F tabulky ANOVA s kvantilem rozdělení $F_{1-\alpha}$ dle zvolené hladiny významnosti a stupňů volnosti.

V případě, že je při daných stupních volnosti vypočtená F -statistika větší než kvantil $F_{1-\alpha}$, zamítá se nulová hypotéza na zvolené hladině významnosti, tzn., že existuje nenulový efekt daných faktorů.

Jestliže je p -hodnota větší než α , nulová hypotéza nemůže být zamítnuta. Jestliže je p -hodnota menší než α , je nulová hypotéza zamítnuta. α představuje zvolenou hladinu významnosti a p -hodnota je považována za nejnižší úroveň, kdy může být zamítnuta hypotéza H_0 pro daný soubor dat.

Jelikož se při vyhodnocení používá testování výběrů, existuje zde pravděpodobnost chybného závěru vůči celé populaci. Mohou se vyskytnout dva typy chyby. Chyba I. typu nastane, jestliže je nulová hypotéza H_0 zamítnuta, nicméně platí a zamítnuta být neměla. Pravděpodobnost chyby I. typu je značena α . Chyba II. typu nastává, jestliže nulová hypotéza H_0 není zamítnuta, přestože neplatí a měla být zamítnuta. Pravděpodobnost výskytu chyby II. typu se značí β .

Pravděpodobnost výskytu chyby I. typu je označována jako hladina významnosti statistického testu. Chyba I. typu je kontrolována stanovením úrovně hladiny významnosti, která vyjadřuje míru tolerance ve smyslu zamítnutí nulové hypotézy H_0 , jestliže platí. Obvykle je hladina významnosti stanovována na úrovni 0,05 nebo 0,01. Menší hladina významnosti znamená menší riziko chyby I. typu. (Montgomery, 2009)

Riziko chyby II. typu je označováno β a závisí na hladině významnosti α , na neznámých ale skutečných hodnotách μ_1 až μ_k , na velikosti reziduální variability a na počtu replikací. Platí, že snižuje-li se hladina významnosti, roste riziko chyby II. typu. Riziko chyby druhého typu lze snížit navýšením počtu replikací nebo uspořádáním do bloků za účelem snížení nevysvětlené složky variability. (Jarošová, 2011)

Praktická část

4.1 Představení společnosti a produktu

Společnost, která svolila vypracování této práce na téma týkající se jejího výrobního procesu, je součástí mezinárodní skupiny, která je jednou z největších a nejvýznamnějších výrobních a dodavatelských společností, jež dodává díly pro automobilový průmysl na světě. Pracovní síla celé skupiny činí 137 000 zaměstnanců, ve 230 závodech rozmístěných ve 40 zemích světa.

Skupina nabízí širokou škálu různých aktivních a pasivních bezpečnostních technologií:

- elektronický software,
- řídicí jednotky,
- volantové systémy,
- bezpečnostní systémy pro pasažéry,
- brzdové systémy,
- převodové systémy.

Závod, který je popsán v této práci (dále jen „závod“), spadá do kategorie “Active and passive occupant safety“, což znamená, že se zabývá výrobou aktivních a pasivních zařízení na ochranu posádky automobilu.

Profil společnosti

Závod je jedním z osmi závodů situovaných v České republice. Závod představuje jednoho z nejvýznamnějších světových výrobců bezpečnostních pásů na světě, který svou produkci dodává do většiny značek nejenom evropských automobilek etablovaných po celém světě.

Produkty

V závodě se vyrábí systémy bezpečnostních pásů, bederních pásů, zámky pro bezpečnostní pásy a horní nastavení. Během jedné směny lze podle typu výrobku vyrobit až 1450 ks na jedné finální lince.

Jelikož se jedná o bezpečnostní díly, na jejichž správné funkci závisí život pasažerů při případné nehodě, neustále je vyvíjen tlak na inovaci řešení, efektivitu a na zlepšovateľské aktivity všech zaměstnanců. Tlak vyvíjí také externí orgány, které kontrolují a dozorují, aby aktivity vykonávané v závodě, byly v souladu s přísnými normami, které ovlivňují automobilový průmysl.

Jak bylo napsáno výše, závod se zabývá výrobou bezpečnostních pásů v různých variantách. Základní bezpečnostní pás se však vždy skládá z následujících částí:

- naviják,
- pás,
- zámek,
- horní nastavení.

Dohromady tyto části tvoří tříbodový bezpečnostní pás tzv. 3PGA viz Obr. 7. Finální výrobek je postupně smontován na několika procesně orientovaných sériových linkách – předmontáž, montáž navijáku a montáž pásu.



Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Seat_belt

Obr. 7 Systém třibodových bezpečnostních pásů ve vozidle

4.2 Proces ohýbání držáku navijáku bezpečnostního pásu

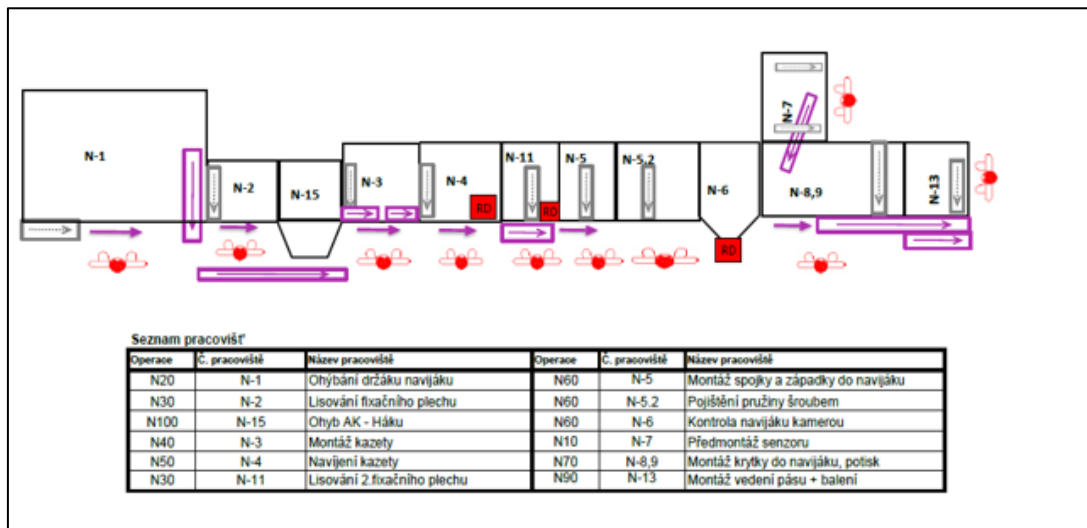
Tento proces je nutnou součástí výroby každého kusu navijáku bezpečnostního pásu napříč všemi designy.

Definice procesu

Praktická část diplomové práce se zabývá hned počáteční operací z procesu výroby navijáku sestavy 3PGA. Konkrétně se jedná o operaci ohýbání držáku navijáku, jelikož u této první operace, viz rozložení linky na Obrázku 8, dochází k předurčení kvality dalších operací a tím i celého produktu. Jakmile není provedeno ohnutí dle specifikovaných požadavků, díl již není možné použít v dalších operacích a není jej možné kvůli nevratné a trvalé deformaci opravit, nedokončený kus se musí vyhodit.

Tento fakt má vliv na výši zmetkovitosti a produktivitu výroby. Nežádá se však stává, že naviják je vyroben až do konce a chybnou výrobu odhalí až specializované zařízení, které kontroluje funkce již téměř hotového navijáku za pomoci mikrofonů a sluchátek, kdy operátor kromě vyhodnocení funkčních testů vyhodnocuje také hlučnost každého dílu. Jestliže se naviják se špatnou mezerou vyrobí, může způsobit velké potíže v dalších procesech nebo v nejhorším případě u zákazníka,

což má největší dopad na náklady nekvality z důvodu zákaznických reklamací, následných třídících akcí apod.



Zdroj: Vlastní zpracování

Obr. 8 Rozložení navijákové výrobní linky

Základní, nejběžnější sestava navijáku bezpečnostního pásu se skládá z těchto komponent:

- držák navijáku,
- cívka,
- fixační příčka,
- pružinová kazeta,
- krytka pružinové kazety,
- spojka,
- omega pružina,
- pojišťovací šroubek,
- západka,
- sestava senzoru,
- sensorová krytka,
- vedení pásu.

Typická navijáková montážní linka se skládá z těchto pracovišť:

- ohýbání držáku navijáku,
- lisování fixačního plechu,
- ohyb AK-háku,
- montáž pružinové kazety,
- navíjení pružinové kazety,
- montáž spojky a západky,
- pojištění pružiny šroubkem,
- kontrola správného sestavení kamerou,
- předmontáž senzoru,
- montáž sensorové krytky na naviják,
- montáž vedení pásu na naviják.

Proces výroby navijáku bezpečnostního pásu lze zjednodušeně popsat takto:

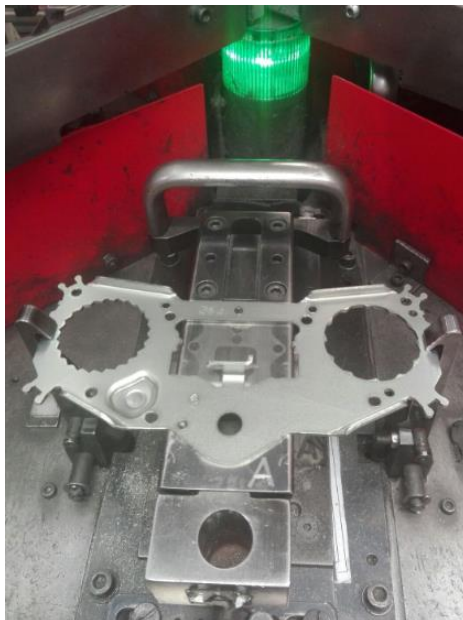
1) Ohýbání držáku navijáku

1 a) Operátor uchopí cívku a vloží do přípravku (ohybnice) viz Obr. 9.



Obr. 9 Vložení cívky do přípravku (ohybnice)

- 1 b) Operátor zasune desku přípravku a založí plech otvory do středících kolíčků tak, aby se plech nekýval a byl pevně přichycen přidržovacími čelistmi viz Obr. 10.



Obr. 10 Aretace držáku navijáku před ohýbací operací

- 1 c) Poté operátor spustí stroj a ohýbací čelisti ohnou držák navijáku do pravého úhlu jako na Obr. 11. Délka základny je předurčena mírou opotřebování ohybny a její specifikace je $62,5 + 0,15 - 0,25$ mm.



Obr. 11 Sestava držáku navijáku a cívky po operaci ohýbání držáku navijáku a lisování fixačního plechu

- 2) Po operaci ohýbání držáku navijáku následuje operace lisování fixačního plechu, což je příčka, která spojuje okraje držáku navijáku na opačné straně od základny držáku. Aplikace této příčky dává navijáku finální rozměry, co se týká úhlů po ohybu, kdy výkres předepisuje $90^\circ \pm 0,36^\circ$. Fixační plech lze vidět v horní části navijáku na Obr. 10. Některé typy navijáků obsahují dva fixační plechy. Fixační plech zajišťuje, aby cívka v případě nehody nevypadla z držáku navijáku.
- 3) Po lisování fixačního plechu následuje ohyb AK-háku, který slouží k zajištění správné pozice ve sloupku vozidla. Tvary AK háku jsou různé (např. tvar typu U, L apod.) a plní tak roli poka-yoke designu, aby nebylo možné naviják do vozidla namontovat v chybné pozici.
- 4) Poté je na pružinovou stranu navijáku nasazena kazeta, která obsahuje pásovou pružinu, která se zahákne do slotu v cívce. Tato pružina je poté navinuta tak, aby kladla odpor při odvíjení pásu a udržovala pás ve stále napnutém stavu i po odvinutí. Cívka zůstane napružená až do doby protažení cívky pásem. Do této doby je napružená cívka zajištěna umělohmotným blokačním kolíčkem.
- 5) Další operace se věnují kompletaci sensorové strany, která má za úkol hlídat zaseknutí pásu při náklonech vozidla (sestava senzoru) a při rychlém vytažení pásu (spojka + pružina). Aby pružina během používání navijáku (navíjení/odvíjení) nevypadla, je ještě pojištěna šroubkem.
- 6) Celá tato sestava je schována pod ochrannou sensorovou krytkou, která je nasazena na předposlední operaci. Zároveň je na tuto krytku natištěn záznam o čísle dílu, datum výroby a o nulových úhlech v osách WX a WY, ve kterých bude naviják pásu namontován do vozidla, a ve kterém je možné odvinout pás.
- 7) Některé navijáky ještě obsahují vedení pásu, které je montováno na posledním stanovišti a zajišťuje správnou pozici pásu při jeho odvíjení a navíjení. Po této montáži jsou navijáky vychystávány na expedici na pásové linky, kde je k navijáku přimontován pás s komponenty.

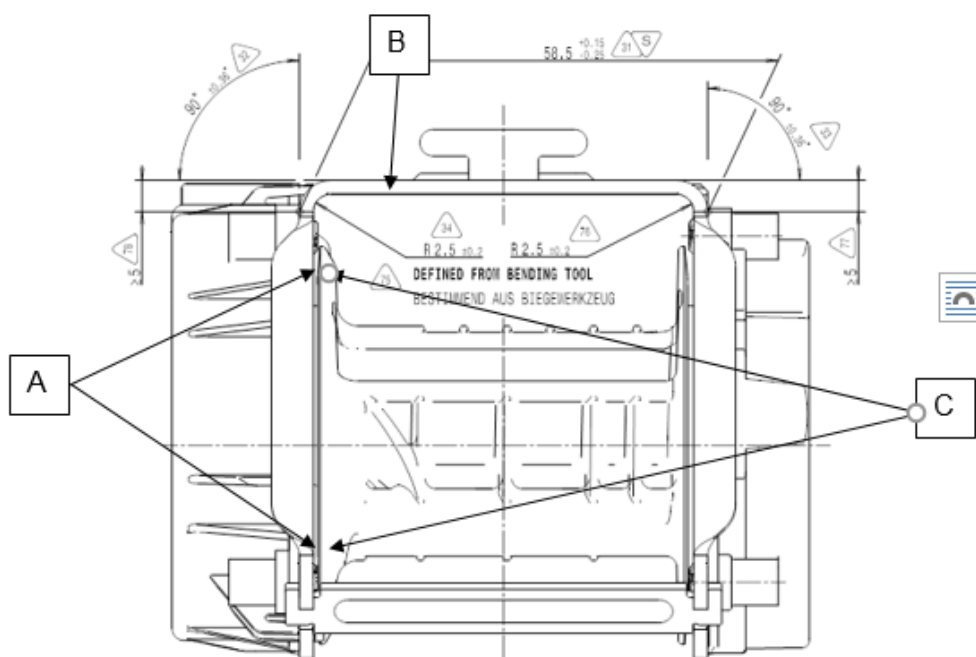
Projev malé mezery mezi cívkou a držákem navijáku může být následující:

Hlučný naviják – lemy cívky jsou při navíjení a odvíjení v kontaktu s držákem navijáku a způsobují hluk, který je v lepším případě slyšitelný pouhým uchem, v horším případě je dotyk dvou komponentů hraniční a odhalitelný je pouze na pásových linkách, kde jsou testovány na hlučnost s pomocí tzv. úhlového testu, který je vybaven mikrofony, které při odvíjení a navíjení snímají případný hluk, který vyhodnocuje operátor sluchátky.

Zablokovaný naviják – ohyb držáku je mimo toleranci a po zamontování do vozidla může dojít k pevnému kontaktu cívky, že již nelze pás odvinout a navinout. Tato vada se nedá v sériových podmínkách nasimulovat, jelikož by musel být naviják utažen do stejného profilu jako v automobilu silou 40 Nm, což není možné v podmínkách sériové výroby replikovat na každém kuse.

Je zřejmé, že chyby v ohybu jsou potenciálním významným přispěvatelem velkých nákladů na zmetkovitost a zákaznické reklamace. Diplomová práce si tedy stanovila za cíl pomocí statistické metody SPC zjistit, v jakém stavu se proces nachází z pohledu variability, stability a způsobilosti. Dále bylo využito faktoriálního experimentu za účelem odhalení významné kombinace úrovní faktorů, které by dokázaly vybraný proces ještě vylepšit a zafungovat jako preventivní prostředek pro předcházení potenciálním problémům kvůli výrobní nekvalitě.

Jako procesní odezva a regulovaný znak kvality byla zvolena mezera (viz bod A na Obr. 12) mezi držákem navijáku (viz bod B na Obrázku 11) a lemlem cívky na sensorové straně navijáku, která není ve výkresech pevně stanovena, ale historicky je zjištěno, že ideální rozměr je $0,6 \pm 0,2$ mm.



Zdroj: Výkres navijáku 4.0, ZF

Obr. 12 Výstřižek výkresu sestavy navijáku bezpečnostního pásu

Předepsaná dolní mezní hodnota byla stanovena tak, aby vznikla nejmenší možná mezera, která ještě zaručí, že se při utažení navijáku do sloupku vozidla držák navijáku nezdeformuje natolik, aby s ním cívka přišla do kontaktu. Předepsaná horní mezní hodnota mezery zaručuje, že nebude přetlačována druhá (pružinová strana) a naopak malá mezera nevznikne na pružinové straně navijáku.

Technologie ohýbání

Dříve než bude započato s vyhodnocováním výrobního procesu za pomoci statistických metod řízení jakosti, je zde v krátkosti popsán proces ohýbání plechů z technického hlediska.

Ohýbání je obecně považováno za poměrně komplikovanou metodu tváření materiálu a jednoduše se dá charakterizovat jako proces tváření, při kterém je materiál vynakládaným napětím trvale deformován, a to se zanedbatelnou změnou

průřezu. Ohýbání se nejčastěji využívá pro zpracování plechů, tyčového materiálu a trubek. Při procesu ohýbání vznikají na vnitřní straně ohybu tlaková a na vnější straně tahová napětí, která způsobují plastické deformace. Jestliže kov nemá dostatečnou tvárnost, nebo jsou-li deformace z ohybu příliš velké, vznikají na tažené straně trhliny.

Nástrojem pro technologii ohýbání je tzv. ohýbadlo, které je složeno z ohybníku a ohybnice. Strojní ohýbání se provádí na lisech pomocí ohýbacího nástroje.

Každou operaci ohýbání doprovází i nežádoucí jev způsobující deformaci tvářeného výrobku vznikající po odlehčení tvářecích nástrojů. V případě ohybu se odpružení projeví jako úhlová odchylka γ , jejíž vliv roste s délkou ohýbaných ramen. Toto zpětné odpružení způsobuje elastická deformace materiálu kolem tzv. neutrální osy. Velikost zpětného odpružení je závislá především na vlastnostech materiálu, tloušťce materiálu, poloměru ohybu a technologii ohýbání. Pro ohýbání platí, že s rostoucí tloušťkou materiálu a zmenšujícím se poloměrem ohybu se odpružení zmenšuje. Běžně používané materiály vykazují odpružení v rozsahu tři až patnáct stupňů.

Z tohoto plyne, že nástroje a proces ohýbání musí být seřizeny tak, aby počítaly s případným odpružením ohýbaného materiálu (držák navijáku), protože úhly na vybraný znak kvality mají zásadní vliv. Jestliže nebude držák ohnut do pravého úhlu, dojde k tomu, že u základny držáku bude velká mezera, a naopak u fixačního plechu bude minimální a hrozí zde kontakt lemu cívky s držákem s projevy hlučnosti při používání dílu nebo s potenciálem zablokování po utažení ve vozidle.

4.3 Plán experimentu

Jako odezva procesu byla zvolena mezera mezi držákem navijáku a cívkou. Toto byl tedy sledovaný a analyzovaný znak kvality, který je spojitou veličinou s předpokládaným normálním rozdělením. Tento znak kvality však není nijak hlídán ani regulován.

Pro potřeby zjištění stability a variability procesu byly zvoleny diagramy pro průměr a rozpětí. Ke sběru dat byla vytvořena regulační karta, která je k nahlédnutí v Příloze č. 3.

V případě této diplomové práce splňuje jednotka vybraného produktu kritéria tzv. kusového výrobku plnotvarého, kdy výrobky mají zcela nebo velmi podobnou velikost a tvar, který bude zachován i při dalším zpracování nebo při konečném užití. U takovýchto výrobků se předem počítá s tím, že se výrobní podmínky u každé jednotky mohou poněkud lišit. Aby se vliv změny podmínek minimalizoval, je nutné vytvořit podskupinu z výrobků vyrobených v co nejkratších intervalech, nejlépe vyrobených bezprostředně za sebou.

V závodě se pracuje běžně na tři směny, kdy norma na směnu činí přibližně 1450 ks navijáků tohoto vybraného typu. Z Tab. 2 by vyplývalo, že by muselo být každou směnu zkontrolováno 50 ks. Jelikož byl zvolen měřitelný znak kvality, který byl kvůli získání co nejpřesnějších rozměrových údajů měřen na 2D projektovém měřicím zařízení, bylo každou směnu vybráno pouze 10 ks a to vždy 5 ks na začátku směny po seřízení ohýbací stanice, vystřídání operátorů a seřizovačů a následně na konci směny dalších 5 ks. Během 24 hodin tedy bylo nasbíráno a naměřeno 30 ks výrobků. Tento sběr dat probíhal po 11 pracovních dnů od pondělí do pondělí. Takto bylo celkově nasbíráno 300 náměrů v 60 podskupinách, kdy v jedné podskupině bylo 5 ks. Počátek sběru výrobků byl určen k pondělí 5.3. 2018 v 6:00, kdy pracovní týden začínala ranní směna X. Proces sběru dat byl ukončen 19. 3. 2018 odpolední směnou Z.

Popis měření

Jelikož bylo měření prováděno na sofistikovaném laboratorním zařízení podléhajícím pravidelným kalibracím a bylo realizováno odborníky z řad techniků laboratoře, byla v rámci této diplomové práce záměrně zanedbána analýza způsobilosti měření.

Toto 2D projekční zařízení bylo vybráno z důvodu získání co nejpřesnějších hodnot, aby byly efekty z různých kombinací úrovní faktorů v rámci experimentu co nejvíce vypovídající.

Jak lze vidět na Obr. 13, naviják je upnut do speciálního tvarovaného držáku, což zajišťuje přesnou polohu při měření a následném odečítání hodnot. Těleso navijáku je z jedné strany nasvécováno světlem a stín je promítán projekčním zařízením na obrazovku, kde je při velkém rozlišení a přiblížení zřetelně vidět vzdálenost mezi lemem cívky a držákem navijáku. Velikost mezery je měřena jako vzdálenost dvou rovnoběžek dotýkajících se okraje držáku navijáku a lemu cívky.



40

Obr. 13 Měření zvolené odezvy procesu na 2D měřicím zařízení

4.4 Regulace procesu ohýbání

Na základě přípravné fáze, ve které byl definován plán sběru dat, byly naměřeny hodnoty mezery mezi cívkou a držákem navijáku za použití cívek typu 1 a 2 od dvou různých dodavatelů viz Příloha č. 3. V Tabulce 4 je k nahlédnutí formát měřených dat.

Tab. 4 Ukázka náměrů prvních deseti podskupin

Týden	Datum	Čas	Směna	Podskupina	1	2	3	4	5	Poloha podskupiny	Rozpětí podskupin
1	5.3.2018	6:10	X	1	0,5664	0,6562	0,5811	0,5165	0,5805	0,5801	0,1397
1	5.3.2018	13:50	X	2	0,5206	0,6325	0,6010	0,5333	0,6825	0,5940	0,1619
1	5.3.2018	14:10	Y	3	0,5466	0,6197	0,6284	0,6058	0,5964	0,5994	0,0818
1	5.3.2018	21:50	Y	4	0,5418	0,5083	0,6068	0,4729	0,6263	0,5512	0,1534
1	5.3.2018	22:10	Z	5	0,5158	0,6313	0,5275	0,6067	0,5309	0,5625	0,1154
1	6.3.2018	5:50	Z	6	0,5900	0,5885	0,5942	0,5325	0,6218	0,5854	0,0894
1	6.3.2018	6:10	X	7	0,5455	0,6450	0,5422	0,5770	0,5582	0,5736	0,1028
1	6.3.2018	13:50	X	8	0,5017	0,5173	0,6029	0,6409	0,6124	0,5751	0,1392
1	6.3.2018	14:10	Y	9	0,5993	0,5177	0,5019	0,5940	0,6308	0,5688	0,1289
1	6.3.2018	21:50	Y	10	0,6004	0,5886	0,5973	0,6087	0,6037	0,5998	0,0201

Centrální přímka v diagramu pro průměr CL odpovídá hodnotě, která vyjadřuje průměr z průměrů podskupin $\bar{\bar{x}} = 0,5798$, průměr z jednotlivých rozpětí \bar{R} podskupin je 0,1062 a násobitel A_2 pro rozsah podskupiny $n=5$ je 0,577.

Horní regulační mez

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 0,5798 + 0,577 \cdot 0,1062 = 0,6411$$

Dolní regulační mez

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 0,5798 - 0,577 \cdot 0,1062 = 0,5185$$

Po konstrukci regulačních přímek a centrální přímky jsou do grafu zaneseny také jednotlivé hodnoty vyjadřující polohu procesu v podobě průměrů jednotlivých podskupin.

V případě regulačního diagramu pro rozpětí, který slouží pro kontrolu přirozené variability procesu, centrální příčka CL odpovídá průměrnému rozpětí z jednotlivých podskupin, tedy $\bar{R} = 0,1062$

Horní regulační mez

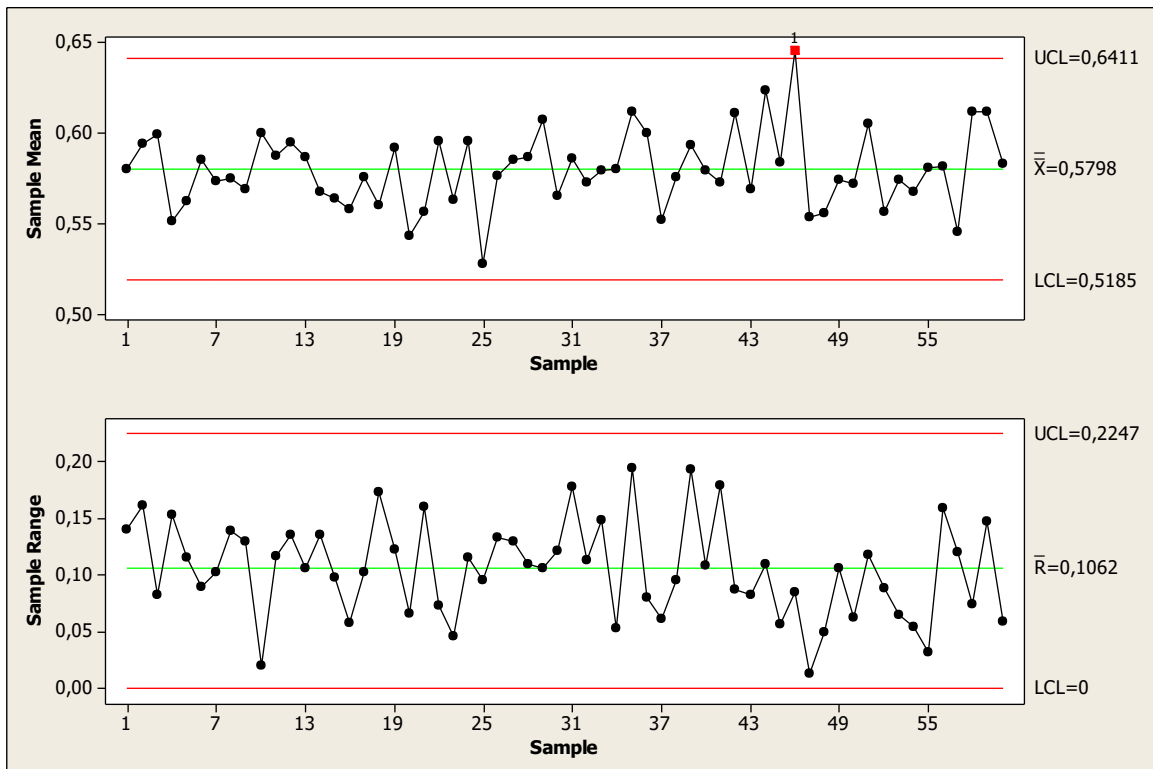
$$UCL = D_4 \bar{R} = 2,114 \cdot 0,1062 = 0,2247$$

Dolní regulační mez

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 \cdot 0,1062 = 0$$

Grafické výstupy regulačních diagramů byly vygenerovány s pomocí statistického softwaru Minitab.

Na Obr. 14 lze spatřit, že jeden bod leží nad horní regulační mezí. Tento bod reprezentuje 46. podskupinu, jejíž výrobky byly nasbírány 15.3.2018 v 5:50 ráno směnou X. V tomto případě se jedná o konec noční směny, a tedy i konec výrobní dávky. Tato směna měla k dispozici pouze zaskakujícího seřizovače, který zřejmě nedozoroval nad seřizením strojů po celou dobu z kapacitních důvodů. Tento trend u seřizovačů byl vzat na vědomí jako vymezitelná příčina, tudíž byla tato podskupina odstraněna a zkušební meze byly revidovány. Dle průběhu křivky v diagramu pro rozpětí lze vidět, že body se drží uvnitř vypočtených regulačních je z hlediska variability v pořádku a splňuje kritérium stability.



Obr. 14 Regulační diagramy pro průměr a rozpětí se zkušebními mezemi

Po odstranění podskupiny 46, která byla ovlivněna vymezitelnou příčinou popsanou výše, vypadají regulační diagramy s revidovanými mezemi viz Obr. 15.

V případě diagramu pro průměr se proces nachází na úrovni střední hodnoty regulované veličiny $\bar{\bar{x}} = 0,5787$ a průměrné rozpětí odpovídá $\bar{R} = 0,1066$. Nové revidované meze regulační meze měly tyto hodnoty:

Horní regulační mez po revizi

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 0,5787 + 0,577 \cdot 0,1066 = 0,6411$$

Dolní regulační mez po revizi

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 0,5787 - 0,577 \cdot 0,1066 = 0,5185$$

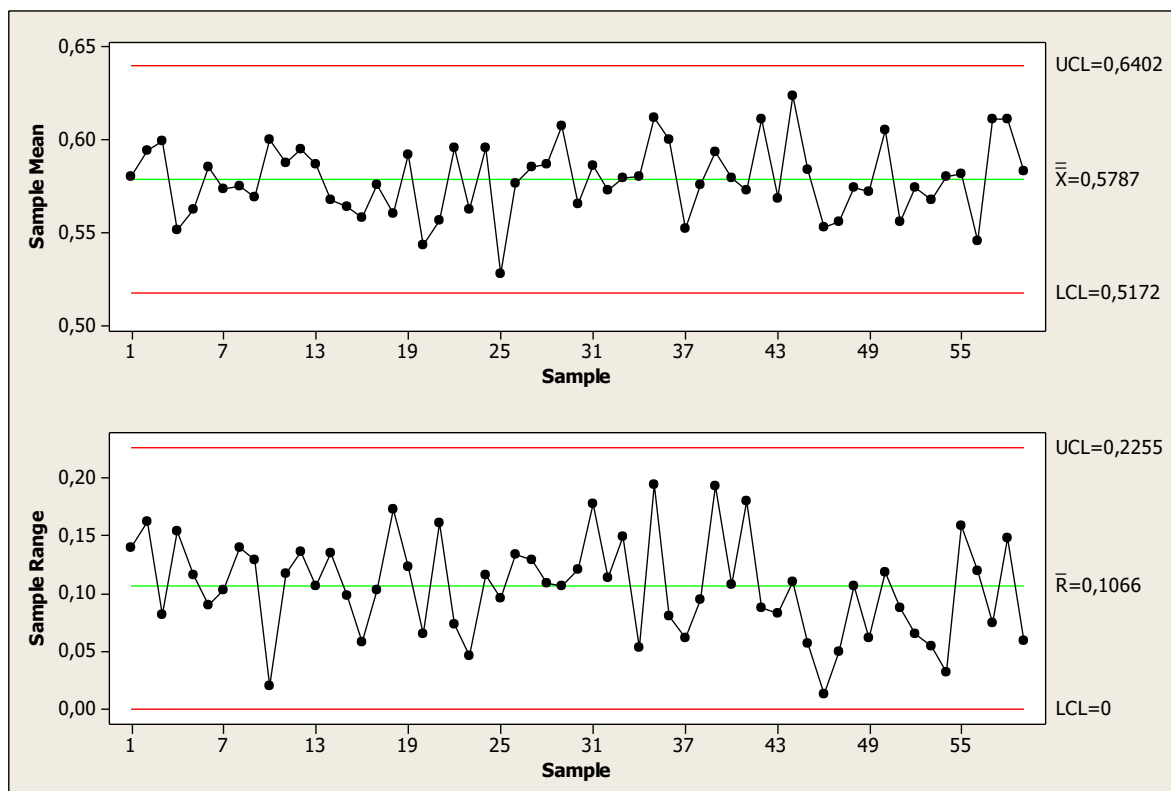
V případě regulačního diagramu pro rozpětí, centrální přímka CL odpovídá průměrnému rozpětí z jednotlivých podskupin po revizi, tedy $\bar{R} = 0,1066$.

Horní regulační mez

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2,114 \cdot 0,1066 = 0,2255$$

Dolní regulační mez

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 \cdot 0,1066 = 0$$



Obr. 15 Regulační diagramy pro průměr a rozpětí s revidovanými mezemi

Jak lze vidět, všechny body po odstranění 46. podskupiny leží uvnitř regulačních mezí diagramů pro průměr i pro rozpětí. Tyto diagramy lze tedy použít pro další regulaci procesu.

Na základě těchto regulačních diagramů, bylo možné sledovaný proces prohlásit za statisticky stabilní a vyhodnotit jeho způsobilost.

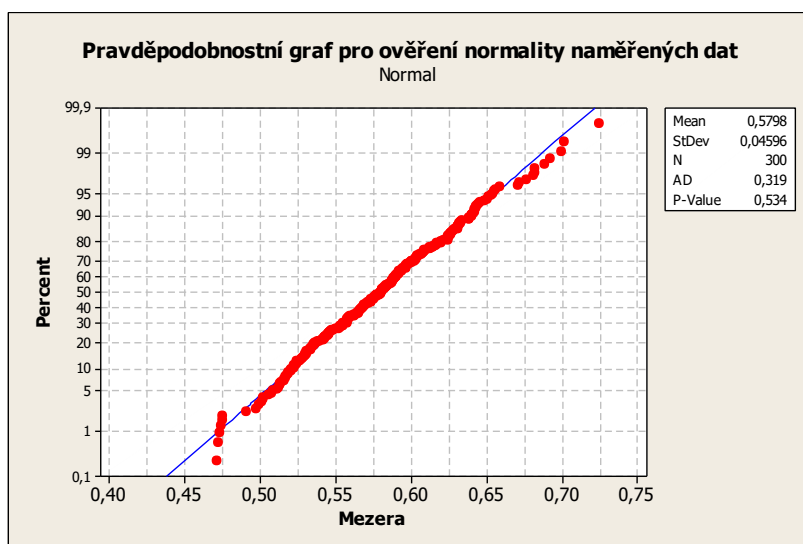
4.5 Způsobilost regulovaného procesu

Jelikož bylo dokázáno, že regulovaný proces je stabilní, bylo možné vypočítat ukazatele způsobilosti. Pro účely této práce byla uvažována variabilita okamžitá, bylo tedy operováno s ukazateli způsobilosti, nikoliv výkonnosti.

Před tím, než bylo přistoupeno k odhadu ukazatelů způsobilosti, byl ověřen předpoklad normality.

Z pravděpodobnostního grafu viz Obr. 16 plyne, že data splňují požadavek na normální rozdělení, jelikož se zobrazené body nacházejí okolo přímky.

Dále normalitu potvrdila i p -hodnota, která je v tomto případě 0,534, což znamená, že je větší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Minitab použil Anderson-Darling test.



Obr. 16 Normální pravděpodobnostní graf

K vyhodnocení způsobilosti byly použity indexy C_p a C_{pk} , které byly podrobněji popsány v teoretické části práce.

USL a LSL byly představovány předepsanými mezními hodnotami, které byly definovány na začátku praktické části. Jednalo se tedy o specifikační hranice, ve kterých je nutné udržovat sledovanou veličinu.

Neznámá směrodatná odchylka znaku kvality (mezery mezi lemem cívky a držákem navijáku) $\hat{\sigma}$, musela být odhadnuta z naměřených dat dle následujícího vztahu:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,1066}{2,326} = 0,0458$$

Po odhadu $\hat{\sigma}$ již bylo možné odhadnout index \hat{C}_p . Ve výstupu z Minitabu této hodnotě odpovídá Pp .

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} = \frac{0,8 - 0,4}{6 \cdot 0,0458} = 1,47$$

Odhadnutá hodnota indexu \hat{C}_p 1,47 říká, že proces je způsobilý, jelikož je větší než 1,33.

V dalším kroku byla ověřena skutečná poloha procesu. Pro zohlednění skutečné polohy procesu byly využity jednostranné ukazatele C_{pU} a C_{pL} . Střední hodnota byla odhadnuta pomocí celkového průměru $\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = 0,5787$.

Horní jednostranný ukazatel

$$C_{pU} = \frac{USL - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}} = \frac{0,8 - 0,5787}{3 \cdot 0,0458} = 1,61$$

Dolní jednostranný ukazatel

$$C_{pL} = \frac{\hat{\mu} - LSL}{3\hat{\sigma}} = \frac{0,5787 - 0,4}{3 \cdot 0,0458} = 1,30$$

Z hodnoty průměru a výsledků lze vyčíst, že v případě tohoto procesu před zásahem platí vztah $C_{pL} < C_p < C_{pU}$ a znamená to tedy, že střední hodnota je posunuta velmi lehce k dolní specifikační mezi.

Způsobilost procesu zohledňující jak variabilitu, tak i skutečnou polohu, byla vyjádřena indexem C_{pk} .

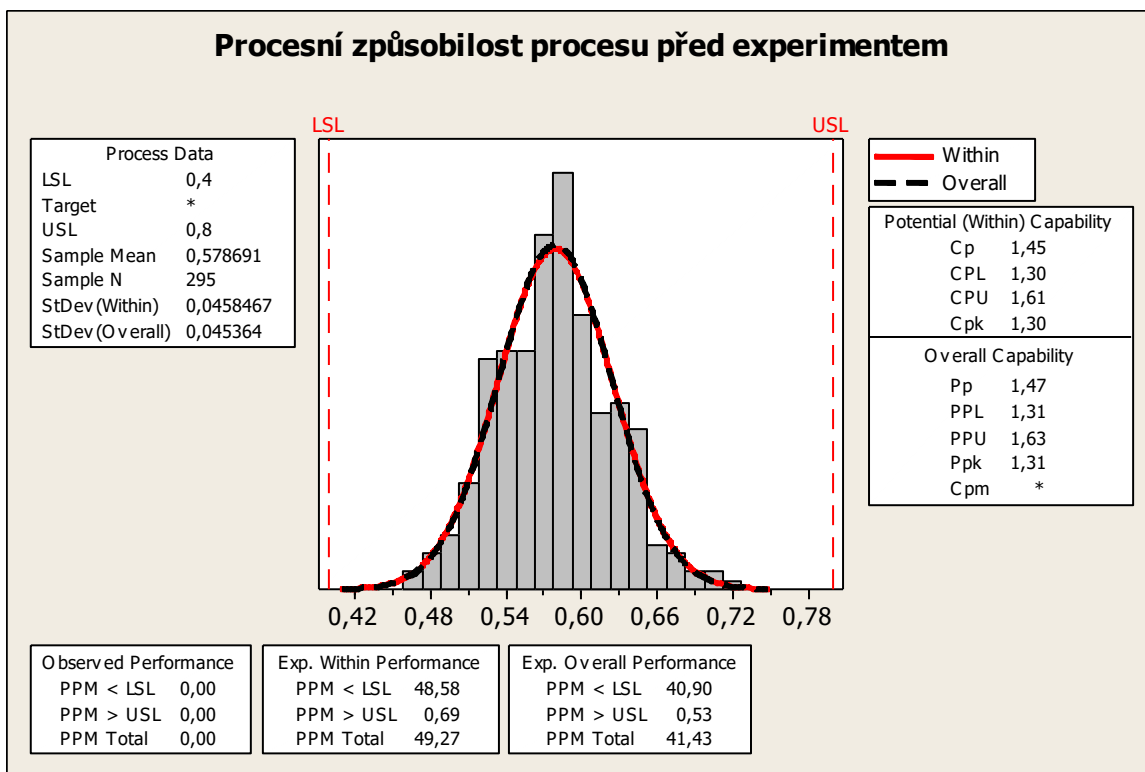
$$C_{pk} = \min(C_{pU}, C_{pL}) = 1,32$$

Porovnáním ukazatelů C_p a C_{pk} lze zjistit, zda je proces vycentrován. Po porovnání rozdílu průměru a středu tolerančního pole lze konstatovat, že proces byl mírně vychýlen k dolní hranici specifikační meze.

Pro ověření správnosti výpočtů a pro lepší grafické znázornění zjištěných poznatků, je na Obr. 17 přiložen výstup ze statistického programu Minitab.

Z tohoto výstupu lze mimo výše popsané také vyčíst, že existuje pravděpodobnost, že z milionu vyrobených kusů při takovém chování procesu, budou některé kusy mimo specifikaci. Tuto pravděpodobnost vyjadřuje hodnota ppm která říká, že z 1 milionu vyrobených kusů se cca 41 ks dostane pod dolní specifikační hranici. PPM je ukazatelem relativního objemu zmetkovitosti, který je založen na poměru zmetků a vyrobených kusů viz vztah (20).

$$PPM = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet vyrobených kusů}} \cdot 1000000 \quad (20)$$



Obr. 17 Výstup z Minitab: Způsobilost procesu před experimentem

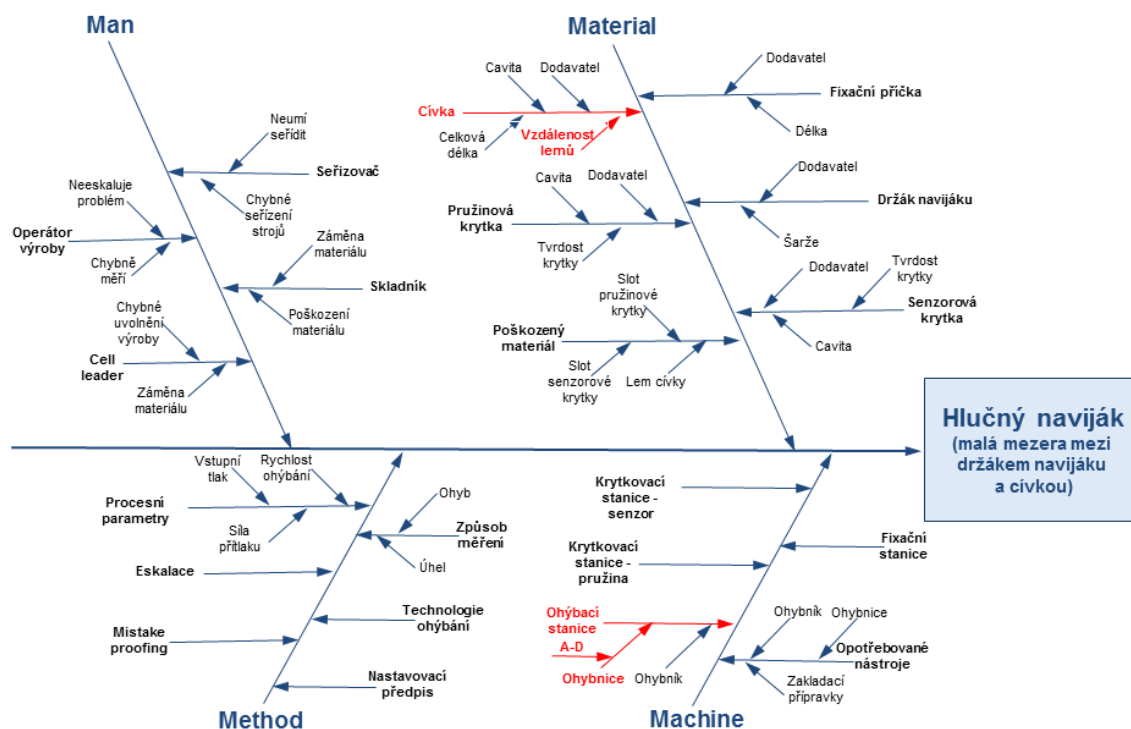
4.6 Experiment

Příprava experimentu

K utřídění do tematických skupin a následnému výběru faktorů, které mají potenciální vliv na odezvu procesu byl zvolen Ishikawův diagram. Obvykle se používá 6 kategorií, tzv. 6M, pro případ této diplomové práce však postačují 4M (z anglického (Method, Machine, Man, Material), čili Metoda, Stroj, Člověk a Materiál.

Ishikawa diagram

Hledání faktorů ovlivňujících velikost sledované odezvy procesu ohýbání držáku navijáku bezpečnostního pásu



Obr. 18 Diagram příčin a následků k určení faktorů ovlivňujících vybranou procesní odezvu

Na základě Ishikawova diagramu byly vybrány dva faktory:

Ohybnice jako zástupce skupiny stroj viz Obr. 9 a cívka jako zástupce skupiny materiál viz Obr. 11.

Faktor ohybnice má 4 úrovně (A, B, C, D) jelikož v jedné ohýbací stanici se nachází otočný karuselový stůl, který obsahuje 4 totožné ohybnice.

Faktor cívka má dvě úrovně, jelikož tento jeden díl ze sestavy navijáku bezpečnostního pásu dodávají dva dodavatelé nezávisle na sobě.

Jelikož jsou zvoleny dva faktory, kdy faktor 1 má dvě úrovně (cívka 1, cívka 2) a faktor 2 má čtyři úrovně (ohybnice A, ohybnice B, ohybnice C, ohybnice D), existuje celkem osm kombinací úrovní těchto faktorů.

S pomocí Minitabu byl vygenerován plán experimentu viz Tab. 5, kde je určeno pořadí prováděných zkoušek dle náhodného pořadí kombinací úrovní faktorů. Celkově bylo provedeno 24 měření ve třech blocích. V každém bloku se vystřídaly všechny kombinace. Naměřené hodnoty odezvy v mm jsou též zaneseny v Tab. 5.

Tab. 5 Plán experimentu s naměřenými daty

Pořadí zkoušek	Bloky	Cívka	Ohybnice	Odezva
1	3	1	C	0,6472
2	3	2	D	0,5175
3	3	2	B	0,5331
4	3	2	A	0,5182
5	3	1	A	0,6438
6	3	1	B	0,6559
7	3	2	C	0,5262
8	3	1	D	0,6261
9	1	1	B	0,6499
10	1	2	A	0,5202
11	1	1	D	0,6301
12	1	2	D	0,5201
13	1	1	C	0,6432
14	1	1	A	0,6513
15	1	2	B	0,5313
16	1	2	C	0,5197
17	2	1	C	0,6399
18	2	1	A	0,6501
19	2	2	B	0,5296
20	2	1	D	0,6287
21	2	2	A	0,5199
22	2	2	C	0,5226
23	2	2	D	0,5198
24	2	1	B	0,6598

Získaná data byla následně podrobena statistickému testu ANOVA v Minitab.

Vyhodnocení experimentu

Po vyhodnocení naměřených dat v experimentu Minitab poskytne výsledky v grafické a numerické formě:

Níže viz Tab. 6 je k dispozici výsledek statistického testu ANOVA v podobě tabulky s hodnotami.

Tab. 6 Výstup statistického testu ANOVA, Minitab

General Linear Model: Odezva versus Blocks; Cívka; Ohybnice						
Factor	Type	Levels	Values			
Blocks	fixed	3	1; 2; 3			
Cívka	fixed	2	1; 2			
Ohybnice	fixed	4	A; B; C; D			
Analysis of Variance for Odezva, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	2	0,0000013	0,0000013	0,0000007	0,06	0,940
Cívka	1	0,0873385	0,0873385	0,0873385	8176,12	0,000
Ohybnice	3	0,0011485	0,0011485	0,0003828	35,84	0,000
Cívka*Ohybnice	3	0,0003171	0,0003171	0,0001057	9,89	0,001
Error	14	0,0001495	0,0001495	0,0000107		
Total	23	0,0889549				
S = 0,00326835 R-Sq = 99,83% R-Sq(adj) = 99,72%						

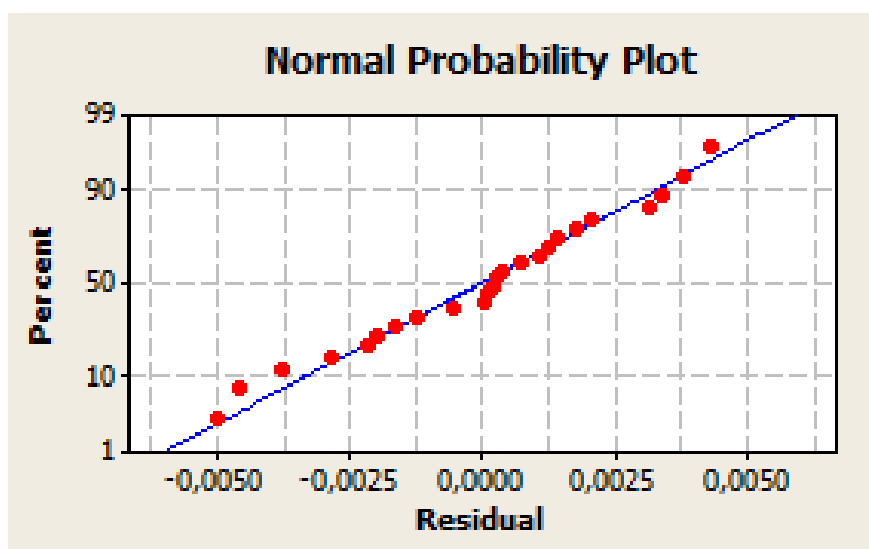
Výsledky statistického testu lze interpretovat takto:

Z tohoto přehledu lze vidět, jak jsou označeny jednotlivé úrovně faktorů.

Sloupec zcela v pravo s názvem P sdružuje *p-hodnoty* testů jednotlivých efektů v modelu. Je-li *p-hodnota* malá, obecně menší než 0,05, je efekt vstupní veličiny statisticky významný. V tomto případě je významný faktor cívka, ohybnice a interakce mezi ohybnicí a cívkou, jelikož všechny *p-hodnoty* jsou menší než 0,05. Naopak velmi nevýznamný je faktor bloku, kde *p-hodnota* 0,904 nesplňuje kritérium významnosti.

Z hodnot statistiky F plyne, že význam má vše na hladině významnosti 0,001 ale naprosto největší vliv na sledovaný znak kvality má typ cívky, jíž odpovídá F -hodnota 8172,12.

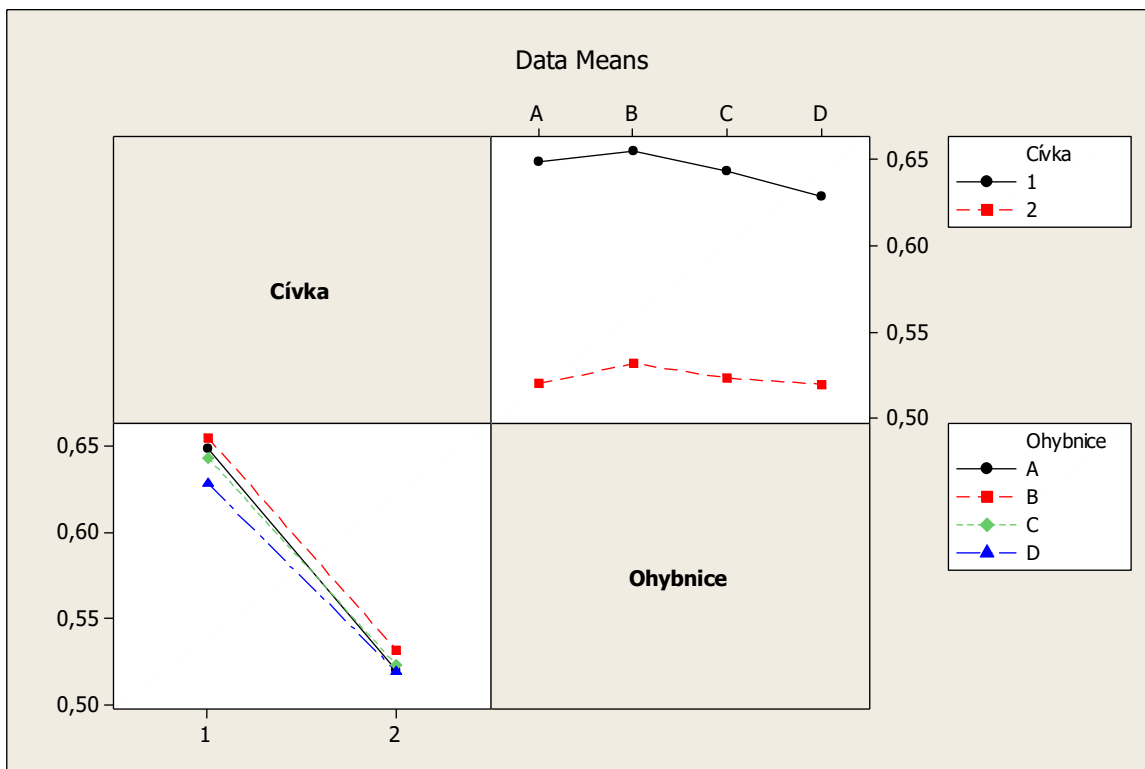
Tab. 7 Normální pravděpodobnostní graf



Z normálního pravděpodobnostního grafu v Tabulce 7 lze vidět, že vynesené body leží v blízkosti proložené přímky a nevykazují významnou odchylku od od lineárního trendu. Předpoklad normality je tímto tedy potvrzen.

Jako další nástroj k analýze vlivu faktorů na odezvu byl použit graf interakcí, což je nástroj, který vizuálně zobrazuje efekty z kombinace různých úrovní dvou faktorů.

Jako zdrojová data pro tento nástroj posloužily opět naměřené hodnoty odezvy z Tab. 6 a faktory, jejichž působení na odezvu má být vyhodnoceno. V tomto případě opět cívka a ohybnice. Graf interakce je vidět na Obr. 21.



Obr. 19 Graf interakce pro odezvu procesu dle kombinací úrovní faktorů cívka a ohybnice

Z tohoto grafického výstupu Minitab nástroje Interaction plot lze vidět, že interakce mezi cívkou a ohybnicí je zanedbatelná vůči hlavnímu efektu cívky. Na základě grafu vpravo nahoře lze říci, že jednoznačně lepší vliv na odezvu (mezera mezi držákem navijáku a lemem cívky) má cívka 1, protože černá úsečka, která ji charakterizuje se nachází nad červenou úsečkou představující cívku 2. Odezva procesu za použití cívky 1 s jakoukoliv ohybnicí se nachází blíže stanovené nominální hodnotě 0,60 mm, což zaručuje žádoucí mezera mezi cívkou a držákem navijáku.

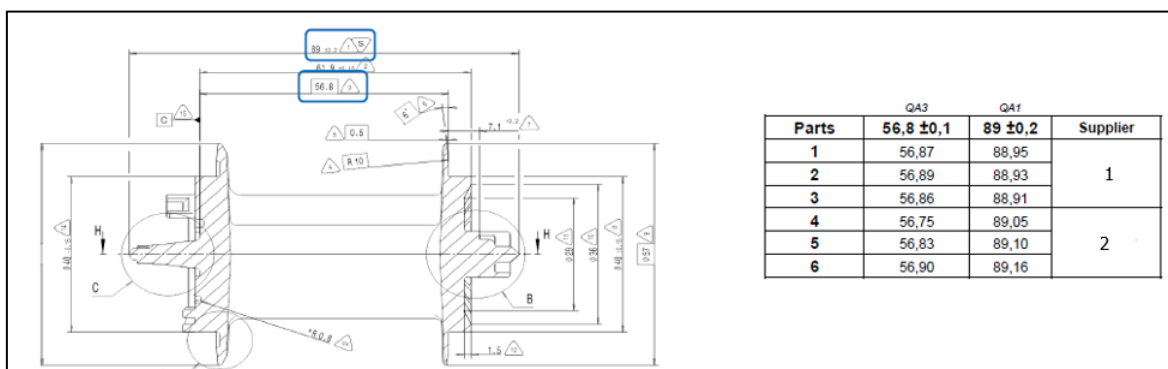
Dále lze vidět, že faktor ohybnice má minimální vliv na odezvu a zároveň při použití všech 4 ohybnic v kombinaci s cívkou 1, proces dosáhne požadované nominální hodnoty odezvy 0,6 mm.

Tento závěr potvrzuje i graf na Obrázku 21 vlevo dole, kde je vidět, že nejlepší hodnoty odezvy procesu jsou dosahovány při kombinaci cívka 1 a ohybnice B. Na základě těchto poznatků lze prohlásit, že efekt cívky je natolik velký, že na ohybnici prakticky nezáleží.

4.7 Analýza procesu po aplikaci poznatků zjištěných experimentem

Jelikož z experimentu vyšlo, že největší vliv na velikost odezvy má faktor cívka, bude nyní provedeno nové vyhodnocení způsobilosti procesu poté, kdy bude v procesu ohýbání použita pouze cívka 1.

Níže je uveden výstřížek z laboratorního měření, kde lze vidět, že u kóty QA1, která zaměřuje celkovou délku cívky, se cívka 1 nachází pod nominální hodnotou. V praxi to pak znamená, že vzdálenost mezi lemy cívky 1 je kratší než vzdálenost mezi lemy cívky 2, u kterých se naopak QA1 pohybuje nad nominální hodnotou a vytváří tak menší mezeru mezi lemem cívky a držákem navijáku.



Obr. 20 Laboratorní náměry cívek od dodavatele 1 a 2

Pro sběr hodnot při druhém kole SPC byl použit opět plán sběru, který byl přichystán v první fázi SPC. Ve druhé fázi však byla použita pouze cívka 1. Ohybnice byly ponechány v původním složení, aby nedošlo odstavením nástrojů ke snížení produktivity výroby. Druhý sběr proběhl přesně za jeden měsíc, kdy na směnu nastoupili stejní operátoři a seřizovači, aby se zredukoval vliv lidského faktoru. Plán sběru se zjištěnými hodnotami z druhé fáze SPC viz Příloha č.4.

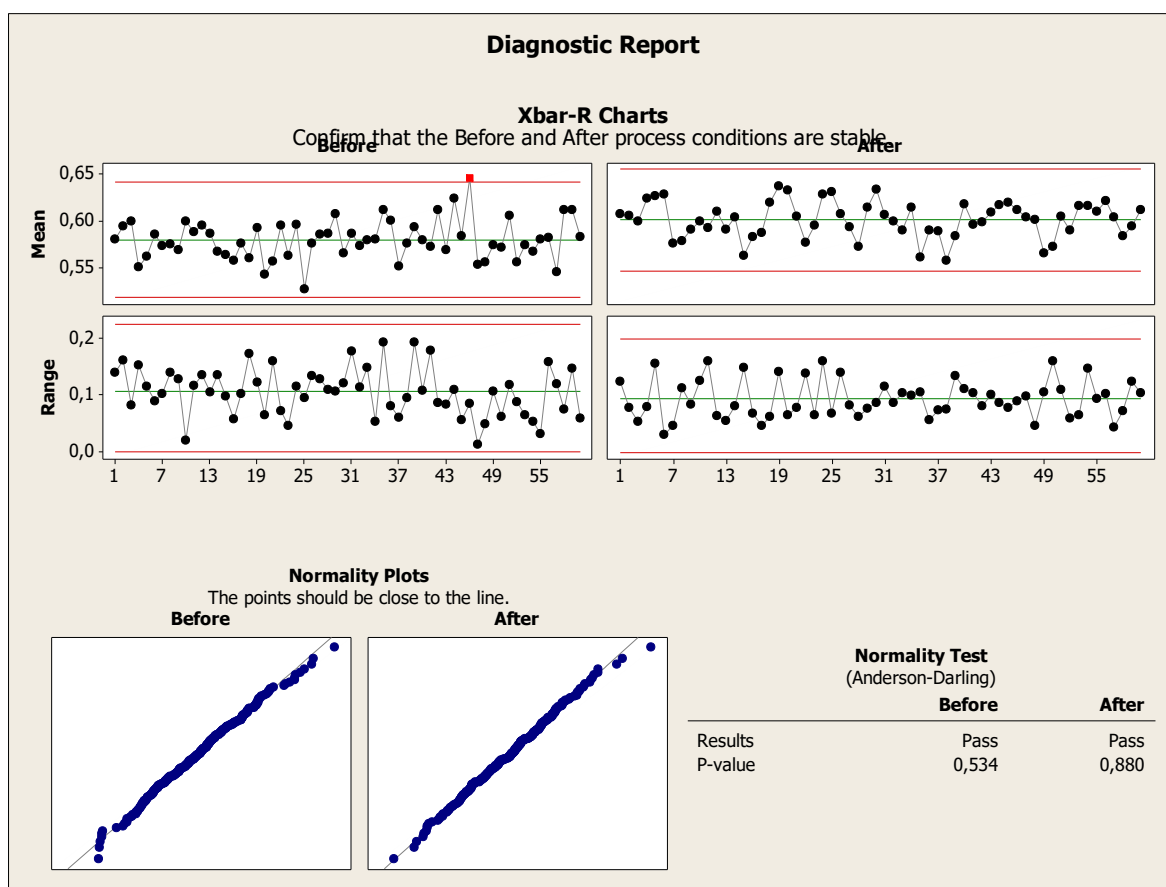
Na základě náměrů byly opět sestrojeny a analyzovány regulační diagramy pro průměr a rozpětí.

Pro lepší srovnání stavu před jakoukoliv změnou nebo zásahem do procesu byly pro potřeby regulačních diagramů použity hodnoty původních nerevidovaných mezí, které byly vypočteny před odstraněním 46. podskupiny v rámci první fáze SPC. CL

v diagramu pro průměr tedy činil 0,5798, *UCL* na úrovni 0,6411 a *LCL* odpovídá 0,5185.

Stejně tak byly ponechány vypočtené hranice z první fáze SPC pro R-diagram, kdy *LCL* bylo rovno 0, *CL* na úrovni 0,1062 a *UCL* na úrovni 0,2247.

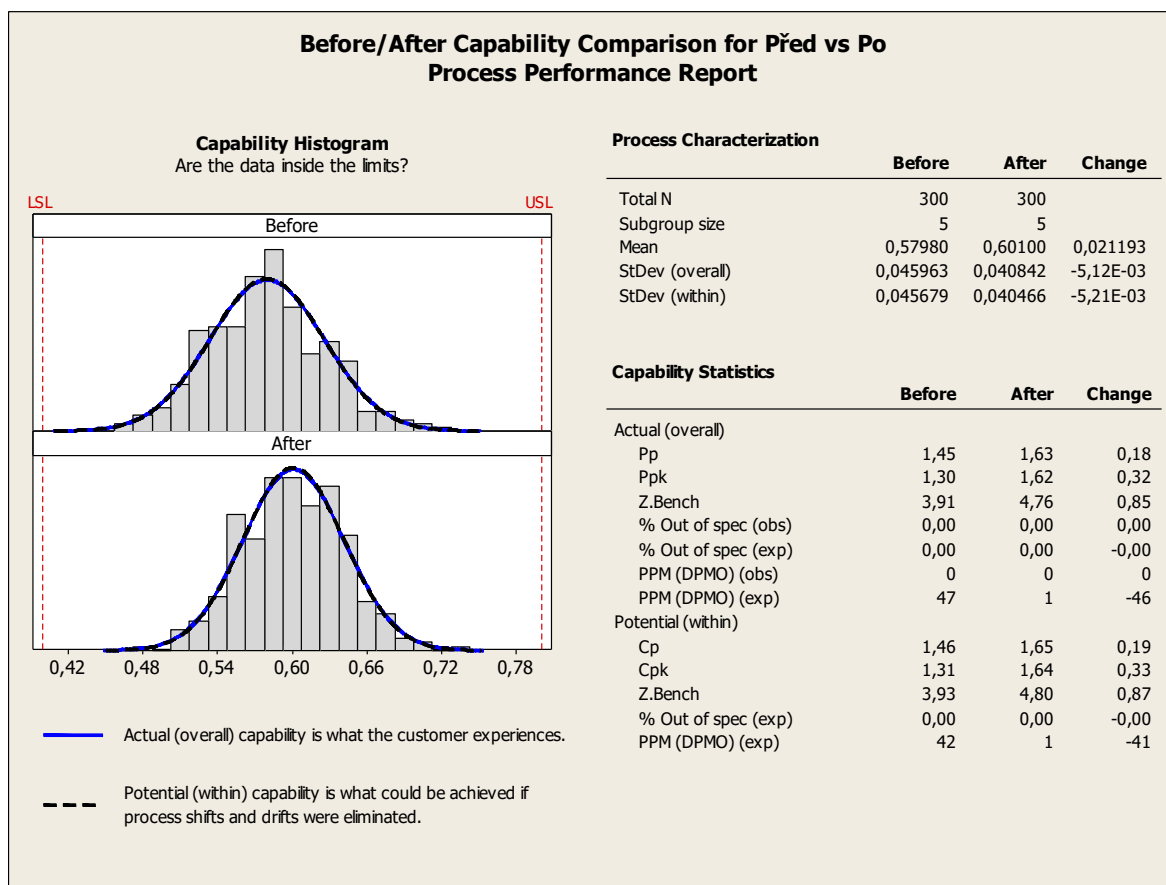
Pro účel srovnání hodnot před experimentem a po experimentu jsou uvedeny regulační diagramy před o po experimentu. Na Obr. 23 jsou dvě dvojice regulačních diagramů pro průměr a rozpětí. Lze zřetelně vidět, že poloha procesu se posunula nahoru tzn. k větší mezeře a variabilita procesu se ještě snížila. Z průběhu bodů je vidět, že proces lze považovat za zvládnutý a statisticky stabilní. Nejsou identifikována žádná podezřelá seskupení.



Obr. 21 Srovnání diagramů pro průměr a rozpětí před nalezením vlivného faktoru a po nalezení vlivného faktoru

Omezení výrobního procesu na použití cívky 1 mělo pozitivní dopad, tudíž se snížila i pravděpodobnost vzniku neshodného kusu, což lze vidět na Obr 24, kde údaj ukazatele PPM byl snížen z původních 42 na 1. To znamená, že při použití cívky 1,

za jinak neměnných podmínek, je proces v tomto stavu schopen vyrobit 999 999 ks z 1 milionu bezchybně dle požadavku zákazníka. Z hodnot průměrů je vidět, že střední hodnota vybraného znaku kvality (mezera mezi lemem cívky a držákem navijáku) se posunula téměř přesně na požadovanou nominální hodnotu.



Obr. 22 Srovnání způsobilosti procesu před a po experimentu

Jak lze vidět na Obrázku 24, nyní jsou $C_p = 1,65$ a $C_{pk} = 1,64$ velmi blízko u sebe, což znamená, že proces je téměř zcela vycentrován a požadované hodnoty odezvy se nacházejí téměř na nominální hodnotě. C_{pk} s hodnotou 1,64 značí způsobilý proces a předpokládá tak splnění požadavků zákazníka.

Z posledního přehledu viz Obrázek 24 je patrné, že se zlepšila jak střední hodnota (Mean), stejně tak se zlepšila variabilita procesu ohýbání držáku, což dokazuje

zmenšení směrodatné odchylky (Standard deviation) sledovaného znaku kvality z původních 0,046 na 0,041.

Závěr

Úkolem oddělení kvality ve výrobním podniku je být zprostředkovaným hlasem zákazníka, který má na výrobky, za které platí, určité požadavky. Aby však kvalitář věděl, v jakém stavu se nachází produkce, která je zákazníkovi dodávána, musí mít přehled i o výrobním procesu, kde tyto produkty vznikají. Právě k hlubšímu poznání procesu slouží statistické metody užití v této diplomové práci.

Pro účel této práce byl vybrán proces ohýbání držáku navijáku, kde byl spatřen velký potenciál pro zlepšení a zároveň velké riziko pro dodavatelský závod při nesplnění zákaznických požadavků na tento proces.

Hlavním cílem práce tedy bylo nalézt faktor, který má vliv na odezvu výrobního procesu ohýbání držáku navijáku bezpečnostního pásu a správnou kombinací úrovní faktorů zajistit zlepšení parametrů stability a způsobilosti procesu oproti stavu s náhodnou kombinací úrovní faktorů.

Na základě měsíčního sběru dat byla zjišťována a analyzována statistická stabilita procesu, normalita a způsobilost procesu ohýbání držáku navijáku bezpečnostního pásu

Následně byly vybrány dva faktory, s očekávaným vlivem na zvolený znak kvality – mezera mezi lemem cívky a držákem navijáku. Ke zjištění velikosti vlivu na znak kvality byla použita metoda DOE, která pomohla odhalit nejlepší kombinaci úrovní faktorů. Bylo zjištěno, že nejlepší kombinace úrovní faktorů je cívka 1 a ohybnice B. Z důvodu popsaných v práci byla v sériových podmínkách vyzkoušena výroba dílů pouze s cívkou 1 za účelem potvrzení výsledků experimentu. Po dalším měsíčním sběru výrobních dat, kdy byla v sériové výrobě používána pouze cívka 1, bylo jako potvrzovací metoda zvoleno porovnávání stability, variability a způsobilosti před experimentem a po experimentu. Po srovnání údajů a grafickém vyhodnocení je zřejmé, že používáním cívky 1 bylo dosaženo zlepšení procesních parametrů stability, variability a způsobilosti.

Výrobnímu oddělení bylo doporučeno v rámci snižování zmetkovitosti dávat přednost při ohýbání držáku navijáku cívce 1. Zároveň bylo kontaktováno oddělení

dodavatelské kvality, aby se dodavatel cívky 2 opět vrátil na nominální hodnotu u požadovaných parametrů a nebyl tak vyřazen z dodávek do závodu.

Seznam literatury

Blecharz, Pavel. 2011. *Základy moderního řízení kvality*. Praha : Ekopress, s.r.o., 2011. 978-80-86929-75-0.

ČSN ISO 7870-2:2018. Regulační diagramy: Shewhartovy regulační diagramy.

Jarošová, Eva a Noskiewičová, Darja. 2015. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2015. 978-80-247-5355-3.

Jarošová, Eva. 2011. Statistické metody řízení jakosti pro kombinovanou formu studia. místo neznámé : ŠKODA AUTO a.s. Vysoká škola, 2011. ISBN 978-80-87042-37-3.

Jarošová, Noskiewičová. 2015. Přehled metod regulace procesů při různých typech chování procesu. *www.csj.cz*. [Online] Česká společnost pro jakost, 17. 9 2015.[Citace:10.5.2018.]

http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Stati_sticke_metody/OSSM_Typy_procesu__rezim_kompatibility_.pdf. 2015b.

Kolektiv autorů. 2010. *Analýza systémů měření*. Praha : ČSJ, 2010. 978-1-60-534211-5.

Minitab Support. 2017. Minitab epress support. *Minitab Support*. [Online] Microsoft, 2017. [Citace: 27. 6 2018.] <https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/basic-statistics/summary-statistics/normality-test/before-you-start/example/>.

Montgomery, DOUGLAS C. 2013. *Design and Analysis of Experiments*. Tempe : John Wiley & Sons, Inc., 2013. 978-1118-14692-7.

Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to statistical quality control*. Arizona : John Wiley & Sons, Inc., 2009. 978-0-470-16992-6.

Plura, Jiří. 2012. *Plánování jakosti II*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. 978-80-248-2588-5.

Sleeper, Andrew. 2012. *Minitab Demystified*. New York : McGraw-Hill Companies, Inc., 2012. 978-0-07-176229-8.

Tošenovský, Josef. 2000. *Statistické metody pro zlepšování jakosti.* Ostrava : Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-X.

Western Electric. 1982. *Statistical Quality Control Handbook: Second Edition edition.* s.l. : Western Electric Co., Inc., 1982. B004OVUP24.

Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka pravděpodobnostního grafu pro ověření normality výběru dat	28
Obr. 2 Model procesu	29
Obr. 3 Faktoriální experiment se dvěma faktory	32
Obr. 4 Faktoriální experiment s interakcí	33
Obr. 5 Graf interakce (aditivní působení faktorů)	34
Obr. 6 Graf interakce	34
Obr. 7 Systém tříbodových bezpečnostních pásů ve vozidle	39
Obr. 8 Rozložení navijákové výrobní linky	40
Obr. 9 Vložení cívky do přípravku (ohybnice)	41
Obr. 10 Aretace držáku navijáku před ohýbací operací	42
Obr. 11 Sestava držáku navijáku a cívky po operaci ohýbání držáku navijáku a lisování fixačního plechu	42
Obr. 12 Výstřižek výkresu sestavy navijáku bezpečnostního pásu	45
Obr. 13 Měření zvolené odezvy procesu na 2D měřicím zařízení	48
Obr. 14 Regulační diagramy pro průměr a rozpětí se zkušebními mezemi	51
Obr. 15 Regulační diagramy pro průměr a rozpětí s revidovanými mezemi	52
Obr. 16 Normální pravděpodobnostní graf	53
Obr. 17 Výstup z Minitab: Způsobnost procesu před experimentem	55
Obr. 18 Diagram příčin a následků k určení faktorů ovlivňujících vybranou procesní odezvu	56
Obr. 21 Graf interakce pro odezvu procesu dle kombinací úrovní faktorů cívka a ohybnice	60
Obr. 22 Laboratorní náměry cívek od dodavatele 1 a 2	61
Obr. 23 Srovnání diagramů pro průměr a rozpětí před nalezením vlivného faktoru a po nalezení vlivného faktoru	62
Obr. 24 Srovnání způsobnosti procesu před a po experimentu	63

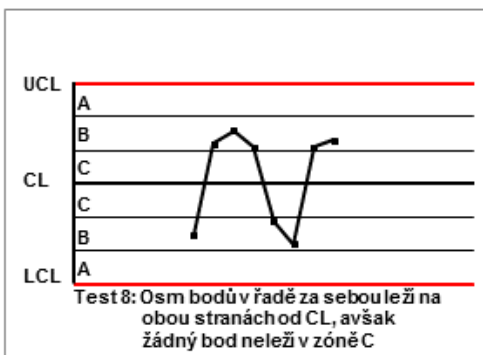
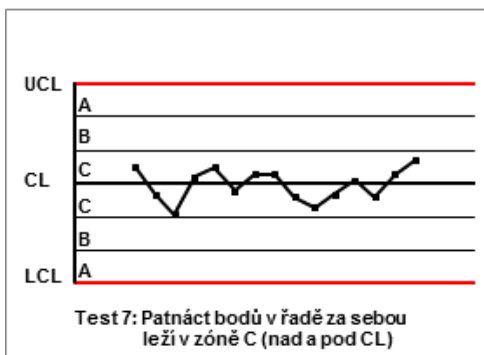
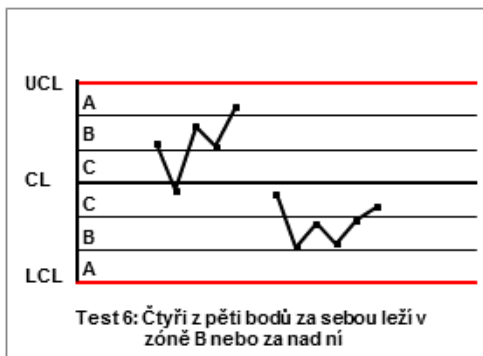
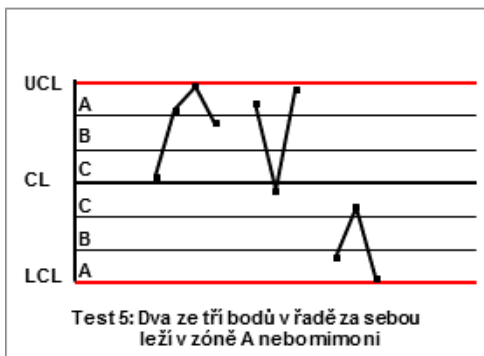
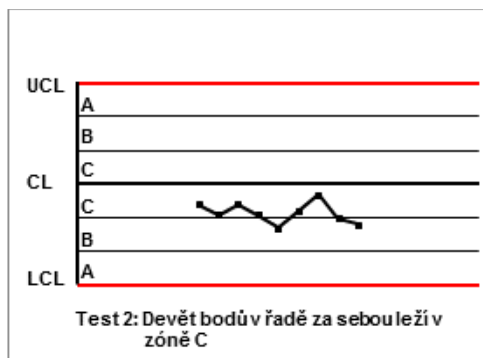
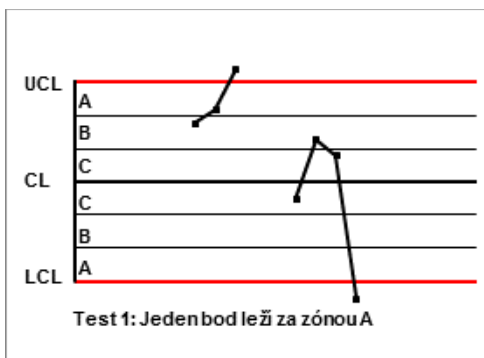
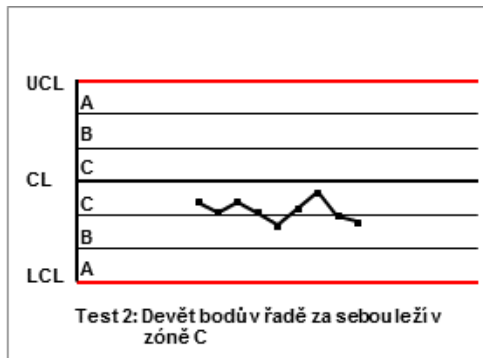
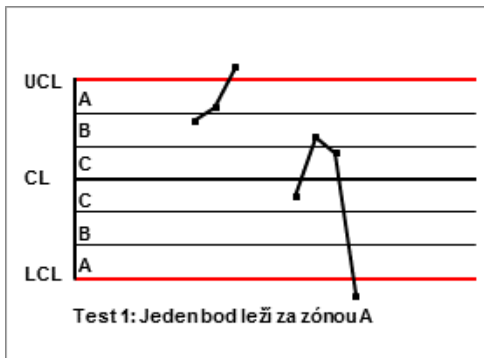
Seznam tabulek

Tab. 1 Vzorce pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí při regulaci měření (nejsou stanoveny základní hodnoty)	15
Tab. 2 Vztah mezi objemem výroby a počtem kontrolovaných výrobků	21
Tab. 3 Tabulka ANOVA pro dva faktory s interakcí	35
Tab. 4 Ukázka náměrů prvních deseti podskupin.....	49
Tab. 5 Plán experimentu s naměřenými daty	57
Tab. 6 Výstup statistického testu ANOVA, Minitab	58
Tab. 7 Normální pravděpodobnostní graf	59

Seznam příloh

Příloha č. 1 Testy seskupení (Western Electric, 1982).....	72
Příloha č. 2 Návrh regulační karty	73
Příloha č. 3 Data naměřená před provedením experimentu.....	74
Příloha č. 4 Data naměřená po provedení experimentu	75

Příloha č. 1 Testy seskupení (Western Electric, 1982)



Příloha č. 2 Návrh regulační karty

Statistical Process Control Statistické řízení procesu - Regulační karta (\bar{X} , R)		Výrobek													Proces															
Linka		Pracoviště																												
Číslo dílu		Měřený parametr	Specifikace / požadovaná hodnota			Počet vzorků			Frekvence sběru			Pracovní krok			Zkušební zařízen															
x_1																														
x_2																														
x_3																														
x_4																														
\bar{X}																														
R																														
\bar{X} - karta			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$UCL_{\bar{X}}$			-----																											
$\sigma_{\bar{X}}$			-----																											
$ICL_{\bar{X}}$			-----																											
UCL_R			-----																											
σ_R			-----																											
ICL_R			-----																											

Výhodovací SPC karty		předchozí		aktuální	
C_p					
C_{pk}					

Významné příčina	
1	1 bod je vzrosten sou je 2 zanedbatelné odchylky od cílové příčky
2	7 bodů v řadě nad nebo pod cílovou příčku
3	8 bodů v řadě s výjimkou dvou bodů stoupajících nebo klesajících
4	14 bodů v řadě s výjimkou jednoho nebo dvou bodů stoupajících nebo klesajících
5	2 z bodů jsou ve vzájemném vztahu k 2 zanedbatelné odchylky od cílové příčky
6	4 z bodů nad nebo pod cílovou příčku s 2 zanedbatelné odchylky od cílové příčky
7	15 bodů v řadě s výjimkou dvou vzájemných bodů stoupajících nebo klesajících
8	8 bodů v řadě s více než jednou zanedbatelnou odchylkou od cílové příčky

Měření - legends	
1	Začátek výroby dávky
2	Konec výroby dávky
3	Začátek změny
4	Periodické
5	Seržent, oprava stroje

Příloha č. 3 Data naměřená před provedením experimentu

Týden	Datum	Čas	Směna	Podskupina	1	2	3	4	5	Průměr podskupin	Rozpětí podskupin
1	5.3.2018	6:10	X	1	0,5664	0,6562	0,5811	0,5165	0,5805	0,5801	0,1397
1	5.3.2018	13:50	X	2	0,5206	0,6325	0,6010	0,5333	0,6825	0,5940	0,1619
1	5.3.2018	14:10	Y	3	0,5466	0,6197	0,6284	0,6058	0,5964	0,5994	0,0818
1	5.3.2018	21:50	Y	4	0,5418	0,5083	0,6068	0,4729	0,6263	0,5512	0,1534
1	5.3.2018	22:10	Z	5	0,5158	0,6313	0,5275	0,6067	0,5309	0,5625	0,1154
1	6.3.2018	5:50	Z	6	0,5900	0,5885	0,5942	0,5325	0,6218	0,5854	0,0894
1	6.3.2018	6:10	X	7	0,5455	0,6450	0,5422	0,5770	0,5582	0,5736	0,1028
1	6.3.2018	13:50	X	8	0,5017	0,5173	0,6029	0,6409	0,6124	0,5751	0,1392
1	6.3.2018	14:10	Y	9	0,5993	0,5177	0,5019	0,5940	0,6308	0,5688	0,1289
1	6.3.2018	21:50	Y	10	0,6004	0,5886	0,5973	0,6087	0,6037	0,5998	0,0201
1	6.3.2018	22:10	Z	11	0,5880	0,5964	0,5852	0,5263	0,6429	0,5878	0,1165
1	7.3.2018	5:50	Z	12	0,5833	0,6594	0,5236	0,6174	0,5920	0,5951	0,1359
1	7.3.2018	6:10	X	13	0,5871	0,5277	0,5562	0,6335	0,6289	0,5867	0,1058
1	7.3.2018	13:50	X	14	0,5680	0,4906	0,6254	0,5653	0,5877	0,5674	0,1348
1	7.3.2018	14:10	Y	15	0,5427	0,5906	0,5652	0,5119	0,6093	0,5639	0,0974
1	7.3.2018	21:50	Y	16	0,5733	0,5767	0,5802	0,5224	0,5377	0,5580	0,0578
1	7.3.2018	22:10	Z	17	0,6158	0,6046	0,5696	0,5136	0,5749	0,5757	0,1022
1	8.3.2018	5:50	Z	18	0,6485	0,5351	0,5876	0,4753	0,5543	0,5602	0,1732
1	8.3.2018	6:10	Y	19	0,5713	0,6506	0,6143	0,5965	0,5283	0,5922	0,1223
1	8.3.2018	13:50	Y	20	0,5644	0,5185	0,5244	0,5838	0,5239	0,5430	0,0653
1	8.3.2018	14:10	Z	21	0,5813	0,4713	0,5626	0,5361	0,6318	0,5566	0,1604
1	8.3.2018	21:50	Z	22	0,5775	0,6411	0,5770	0,6124	0,5687	0,5954	0,0724
1	8.3.2018	22:10	X	23	0,5661	0,5354	0,5574	0,5740	0,5809	0,5628	0,0455
1	9.3.2018	5:50	X	24	0,6387	0,5230	0,5936	0,6243	0,5982	0,5955	0,1157
1	9.3.2018	6:10	Y	25	0,4719	0,5549	0,5015	0,5431	0,5675	0,5278	0,0955
1	9.3.2018	13:50	Y	26	0,5788	0,5204	0,5458	0,5830	0,6537	0,5763	0,1334
1	9.3.2018	14:10	Z	27	0,6259	0,5965	0,6425	0,5475	0,5136	0,5852	0,1289
1	9.3.2018	21:50	Z	28	0,5752	0,6129	0,5766	0,5297	0,6385	0,5866	0,1088
2	12.3.2018	6:10	Y	29	0,6177	0,5810	0,6404	0,6520	0,5461	0,6074	0,1059
2	12.3.2018	13:50	Y	30	0,5897	0,5358	0,6205	0,5821	0,4996	0,5655	0,1209
2	12.3.2018	14:10	Z	31	0,7018	0,5590	0,5239	0,5708	0,5758	0,5863	0,1779
2	12.3.2018	21:50	Z	32	0,5866	0,5630	0,6439	0,5307	0,5406	0,5730	0,1132
2	12.3.2018	22:10	X	33	0,5222	0,5889	0,4976	0,6463	0,6434	0,5797	0,1487
2	13.3.2018	5:50	X	34	0,6201	0,5694	0,5675	0,5688	0,5741	0,5800	0,0527
2	13.3.2018	6:10	Y	35	0,5884	0,7252	0,5313	0,6248	0,5899	0,6119	0,1939
2	13.3.2018	13:50	Y	36	0,6246	0,5682	0,5625	0,6029	0,6427	0,6002	0,0802
2	13.3.2018	14:10	Z	37	0,5750	0,5710	0,5141	0,5553	0,5447	0,5520	0,0610
2	13.3.2018	21:50	Z	38	0,6250	0,5302	0,5365	0,5830	0,6040	0,5757	0,0948
2	13.3.2018	22:10	X	39	0,5483	0,5075	0,6817	0,5299	0,7004	0,5935	0,1930
2	14.3.2018	5:50	X	40	0,5804	0,5951	0,6265	0,5753	0,5188	0,5792	0,1077
2	14.3.2018	6:10	Y	41	0,4746	0,5674	0,6081	0,5599	0,6541	0,5728	0,1795
2	14.3.2018	13:50	Y	42	0,5685	0,6086	0,5834	0,6408	0,6554	0,6113	0,0870
2	14.3.2018	14:10	Z	43	0,5340	0,6167	0,6010	0,5391	0,5528	0,5687	0,0827
2	14.3.2018	21:50	Z	44	0,6427	0,6827	0,6172	0,6027	0,5734	0,6237	0,1093
2	14.3.2018	22:10	X	45	0,5582	0,6148	0,5656	0,5919	0,5879	0,5837	0,0566
2	15.3.2018	5:50	X	46	0,6886	0,6327	0,6725	0,6041	0,6293	0,6454	0,0845
2	15.3.2018	6:10	Y	47	0,5586	0,5595	0,5485	0,5529	0,5467	0,5532	0,0128
2	15.3.2018	13:50	Y	48	0,5810	0,5348	0,5521	0,5319	0,5793	0,5558	0,0491
2	15.3.2018	14:10	Z	49	0,6265	0,5202	0,5845	0,5856	0,5547	0,5743	0,1062
2	15.3.2018	21:50	Z	50	0,5949	0,5533	0,5334	0,5878	0,5904	0,5720	0,0616
2	15.3.2018	22:10	X	51	0,5590	0,6052	0,6770	0,5814	0,6025	0,6050	0,1181
2	16.3.2018	5:50	X	52	0,5116	0,5834	0,5289	0,5992	0,5578	0,5562	0,0875
2	16.3.2018	6:10	Y	53	0,6084	0,5966	0,5575	0,5434	0,5661	0,5744	0,0650
2	16.3.2018	13:50	Y	54	0,5735	0,5695	0,5969	0,5434	0,5546	0,5676	0,0535
2	16.3.2018	14:10	Z	55	0,5872	0,5610	0,5717	0,5920	0,5902	0,5804	0,0310
2	16.3.2018	21:50	Z	56	0,6273	0,5922	0,6338	0,4750	0,5798	0,5816	0,1588
3	19.3.2018	6:10	Y	57	0,5436	0,5386	0,6252	0,5161	0,5053	0,5458	0,1198
3	19.3.2018	13:50	Y	58	0,5649	0,6315	0,6390	0,6312	0,5909	0,6115	0,0741
3	19.3.2018	14:10	Z	59	0,5909	0,6924	0,5447	0,5583	0,6710	0,6115	0,1477
3	19.3.2018	21:50	Z	60	0,5936	0,5576	0,6096	0,6029	0,5506	0,5829	0,0589

Příloha č. 4 Data naměřená po provedení experimentu

Tyden	Datum	Čas	Směna	Podskupina	1	2	3	4	5	Poloha podskupiny	Rozpětí podskupin
1	2.4.2018	6:10	X	1	0,6834	0,6405	0,5774	0,5768	0,5595	0,6075	0,1239
1	2.4.2018	13:50	X	2	0,6029	0,5560	0,6339	0,6240	0,6091	0,6052	0,0779
1	2.4.2018	14:10	Y	3	0,5784	0,6318	0,5883	0,6105	0,5879	0,5994	0,0534
1	2.4.2018	21:50	Y	4	0,6664	0,5918	0,6257	0,6477	0,5860	0,6235	0,0804
1	2.4.2018	22:10	Z	5	0,5862	0,6674	0,7062	0,6206	0,5499	0,6261	0,1563
1	3.4.2018	5:50	Z	6	0,6288	0,6453	0,6230	0,6266	0,6140	0,6275	0,0313
1	3.4.2018	6:10	X	7	0,5520	0,5911	0,5564	0,5816	0,5984	0,5759	0,0464
1	3.4.2018	13:50	X	8	0,5383	0,6035	0,5786	0,6425	0,5299	0,5786	0,1125
1	3.4.2018	14:10	Y	9	0,6462	0,5860	0,5781	0,5798	0,5623	0,5905	0,0839
1	3.4.2018	21:50	Y	10	0,5546	0,6525	0,5987	0,6592	0,5334	0,5997	0,1258
1	3.4.2018	22:10	Z	11	0,6336	0,5193	0,5458	0,6800	0,5850	0,5928	0,1607
1	4.4.2018	5:50	Z	12	0,5658	0,6299	0,6224	0,6097	0,6213	0,6098	0,0642
1	4.4.2018	6:10	X	13	0,6263	0,5904	0,5750	0,5916	0,5704	0,5907	0,0559
1	4.4.2018	13:50	X	14	0,6176	0,6304	0,6090	0,5485	0,6113	0,6034	0,0819
1	4.4.2018	14:10	Y	15	0,6537	0,5374	0,5053	0,5766	0,5432	0,5632	0,1484
1	4.4.2018	21:50	Y	16	0,5599	0,5521	0,6203	0,6105	0,5698	0,5825	0,0683
1	4.4.2018	22:10	Z	17	0,5953	0,5830	0,6027	0,5561	0,6005	0,5875	0,0466
1	5.4.2018	5:50	Z	18	0,5902	0,6068	0,6513	0,5940	0,6525	0,6190	0,0623
1	5.4.2018	6:10	Y	19	0,6522	0,7123	0,6192	0,5700	0,6301	0,6368	0,1423
1	5.4.2018	13:50	Y	20	0,6021	0,6555	0,6670	0,6065	0,6315	0,6325	0,0649
1	5.4.2018	14:10	Z	21	0,6036	0,5631	0,6021	0,6423	0,6134	0,6049	0,0791
1	5.4.2018	21:50	Z	22	0,5312	0,6697	0,5505	0,5620	0,5722	0,5771	0,1386
1	5.4.2018	22:10	X	23	0,6065	0,6193	0,5800	0,6151	0,5535	0,5949	0,0658
1	6.4.2018	5:50	X	24	0,6073	0,6056	0,7406	0,5806	0,6052	0,6278	0,1600
1	6.4.2018	6:10	Y	25	0,6084	0,6300	0,6055	0,6741	0,6369	0,6310	0,0686
1	6.4.2018	13:50	Y	26	0,6060	0,6694	0,5287	0,6253	0,6081	0,6075	0,1406
1	6.4.2018	14:10	Z	27	0,5875	0,5817	0,5491	0,6181	0,6322	0,5937	0,0831
1	6.4.2018	21:50	Z	28	0,5619	0,6070	0,6046	0,5449	0,5439	0,5725	0,0632
2	9.4.2018	6:10	Y	29	0,5810	0,5978	0,6450	0,6587	0,5895	0,6144	0,0777
2	9.4.2018	13:50	Y	30	0,6044	0,6013	0,6455	0,6878	0,6252	0,6328	0,0865
2	9.4.2018	14:10	Z	31	0,5873	0,6818	0,5752	0,6229	0,5657	0,6066	0,1162
2	9.4.2018	21:50	Z	32	0,6483	0,6007	0,6150	0,5617	0,5700	0,5991	0,0867
2	9.4.2018	22:10	X	33	0,6285	0,5715	0,5414	0,6460	0,5619	0,5899	0,1047
2	10.4.2018	5:50	X	34	0,6348	0,6735	0,5740	0,6013	0,5858	0,6139	0,0995
2	10.4.2018	6:10	Y	35	0,4845	0,5888	0,5904	0,5770	0,5648	0,5611	0,1059
2	10.4.2018	13:50	Y	36	0,5968	0,6057	0,6113	0,5538	0,5805	0,5896	0,0575
2	10.4.2018	14:10	Z	37	0,5637	0,6352	0,6118	0,5609	0,5738	0,5891	0,0743
2	10.4.2018	21:50	Z	38	0,5796	0,5892	0,5137	0,5229	0,5832	0,5577	0,0755
2	10.4.2018	22:10	X	39	0,6428	0,6307	0,5077	0,6018	0,5378	0,5841	0,1351
2	11.4.2018	5:50	X	40	0,6601	0,5481	0,6446	0,6306	0,6045	0,6176	0,1120
2	11.4.2018	6:10	Y	41	0,6139	0,6006	0,5504	0,6550	0,5591	0,5958	0,1046
2	11.4.2018	13:50	Y	42	0,6358	0,6196	0,6085	0,5720	0,5548	0,5981	0,0809
2	11.4.2018	14:10	Z	43	0,6215	0,6106	0,5622	0,5845	0,6643	0,6086	0,1021
2	11.4.2018	21:50	Z	44	0,5792	0,6215	0,6670	0,5894	0,6248	0,6164	0,0878
2	11.4.2018	22:10	X	45	0,6000	0,6424	0,5915	0,5943	0,6698	0,6196	0,0784
2	12.4.2018	5:50	X	46	0,5403	0,6444	0,6295	0,6375	0,6073	0,6118	0,1041
2	12.4.2018	6:10	Y	47	0,5516	0,6236	0,6110	0,6420	0,6294	0,6115	0,0904
2	12.4.2018	13:50	Y	48	0,6113	0,6517	0,5564	0,6476	0,5526	0,6039	0,0991
2	12.4.2018	14:10	Z	49	0,6050	0,6269	0,5986	0,5951	0,5806	0,6012	0,0462
2	12.4.2018	21:50	Z	50	0,5597	0,5176	0,6114	0,6227	0,5169	0,5657	0,1058
2	12.4.2018	22:10	X	51	0,6749	0,5749	0,5337	0,5148	0,5625	0,5721	0,1601
2	13.4.2018	5:50	X	52	0,6384	0,6238	0,6439	0,5821	0,5339	0,6044	0,1100
2	13.4.2018	6:10	Y	53	0,6230	0,5745	0,5884	0,5625	0,5993	0,5895	0,0605
2	13.4.2018	13:50	Y	54	0,6343	0,6011	0,6318	0,5722	0,6379	0,6154	0,0657
2	13.4.2018	14:10	Z	55	0,6525	0,5755	0,6234	0,6878	0,5399	0,6158	0,1479
2	13.4.2018	21:50	Z	56	0,5510	0,6453	0,6316	0,6099	0,6100	0,6095	0,0943
3	14.4.2018	6:10	Y	57	0,6806	0,6013	0,6376	0,6087	0,5779	0,6212	0,1027
3	14.4.2018	13:50	Y	58	0,5854	0,6045	0,5890	0,6291	0,6108	0,6038	0,0436
3	15.4.2018	14:10	Z	59	0,5584	0,5901	0,5624	0,5764	0,6317	0,5838	0,0733
3	15.4.2018	21:50	Z	60	0,6384	0,5656	0,6065	0,6419	0,5177	0,5940	0,1241

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Filip Bábík		
STUDIJNÍ OBOR	6208T088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Využití statistických metod při zlepšování procesu ohýbání držáku navijáku bezpečnostního pásu		
VEDOUCÍ PRÁCE	doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.		
KATEDRA	KAT-Katedra automobilové techniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2019
POČET STRAN	77		
POČET OBRÁZKŮ	24		
POČET TABULEK	7		
POČET PŘÍLOH	4		
STRUČNÝ POPIS	<p>Diplomová práce se zabývá statistickými metodami zlepšování kvality výrobního procesu ohýbání držáku bezpečnostního pásu. Jelikož existoval velký potenciál pro zlepšení daného procesu, byla zvolena metoda DOE, za pomoci které byla nalezena kombinace úrovní faktorů, jež měla pozitivní vliv na vybraný znak kvality. Jako další podpůrné metody pro analýzu a vyhodnocení procesu byla použita regulace a způsobilost procesu. Díky těmto metodám byla nalezena správná kombinace úrovní faktorů. Aplikací tohoto nálezu byl změněn proces ohýbání držáku navijáku a následně bylo zjištěno, že se zlepšila</p>		

	požadovaná střední hodnota i směrodatná odchylka procesu.
KLÍČOVÁ SLOVA	SPC, DOE, Regulační diagram, Způsobilost
PRÁCE OBSAHUJE UTAJENÉ ČÁSTI: Ne	

ANNOTATION

AUTHOR	Filip Bábík		
FIELD	6208T088 Production Management and Global Business		
THESIS TITLE	Using statistical methods to improve the seat belt holder bending process		
SUPERVISOR			
DEPARTMENT	KAT - Department of Automotive Technology	YEAR	2018
NUMBER OF PAGES	77		
NUMBER OF PICTURES	24		
NUMBER OF TABLES	7		
NUMBER OF APPENDICES	4		
SUMMARY	The diploma thesis deals with the statistical methods of improving the quality of the seat belt holder bending process. Since there was great potential for improving the process, the DOE method was chosen to find a combination of factor levels that had a positive effect on the selected quality response. As a further supporting method for		

	analyzing and evaluating the process, process regulation and process capability. These methods helped to found the right combination of factor levels. By applying this finding, the bending process of the seat belt holder has been changed and subsequently it has been found that the desired mean value and the standard deviation of the process have been improved.
KEY WORDS	SPC, DOE, Regulation diagrams, Capability
THESIS INCLUDES UNDISCLOSED PARTS: No	