

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA EKONOMICKÁ

Bakalářská práce

Statistická regulace kvality výrobního procesu

Statistical regulation of the quality of the production process

Ondřej Kendík

Plzeň 2019

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej KENDÍK**
Osobní číslo: **K15B0092P**
Studijní program: **B6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Podniková ekonomika a management**
Název tématu: **Statistická regulace kvality výrobního procesu**
Zadávací katedra: **Katedra financí a účetnictví**

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

1. Definujte základní pojmy z oblasti kvality výroby.
2. Charakterizujte podnikatelský subjekt a popište jeho činnost.
3. Pomocí vhodných nástrojů analyzujte kvalitu výrobního procesu.
4. Na základě provedené analýzy stanovte návrhy na zlepšení kvality.
5. Formulujte závěr.

Rozsah grafických prací: **neuveden**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

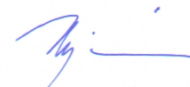
- **BASL, Josef; GLASL, Vít a TŮMA, Miroslav.** *Modelování a optimalizace podnikových procesů.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-936-2.
- **FREHR, Hans-Ulrich.** *Total Quality Management: zlepšení kvality podnikání.* Brno: UNIS, 1995. ISBN 3-446-17135-5.
- *Statistická regulace procesů (SPC): příručka.* Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
- **TOŠENOVSKÝ, Josef a NASKIEVIČOVÁ, Darja.** *Statistické metody pro zlepšování jakosti.* Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-X.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kateřina Mičudová, Ph.D.**
Katedra ekonomie a kvantitativních metod

Datum zadání bakalářské práce: **23. října 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **23. dubna 2019**



Doc. Ing. Michaela Krechovská, Ph.D.
děkanka



Ing. Pavlína Hejduková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. října 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

„Statistická regulace kvality výrobního procesu“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucí bakalářské práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Plzeň dne 14. 4. 2019

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce, Ing. Kateřině Mičudové, Ph.D., za ochotu, odbornou pomoc, cenné rady a připomínky, které vedly k vypracování této práce. Zároveň bych chtěl poděkovat panu Davidu Tůmovi, jednateři společnosti Tůma aerospace s.r.o., za ochotu a poskytnuté informace o výrobním procesu, které vedly k vypracování této práce. Nakonec bych chtěl poděkovat Bc. Michaele Matysové, za neocenitelné rady, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Obsah

Úvod.....	7
Cíle a struktura práce.....	8
Cíle.....	8
Struktura.....	8
1 Výrobní proces.....	9
1.1 Informace o procesu.....	9
1.2 Kolísání.....	9
1.3 Opatření v procesu a na výstupu.....	11
1.4 Lokální opatření a opatření v systému.....	11
2 Kvalita procesu.....	12
2.1 Měření a čtení hodnot.....	13
2.1.1 Měření hodnot.....	13
2.1.2 Čtení hodnot.....	14
2.2 Pravděpodobnostní modely znaků jakosti.....	14
3 Regulace a způsobilost procesu.....	17
3.1 Regulace procesu.....	17
3.2 Způsobilost procesu.....	18
3.2.1 Indexy způsobilosti C_p a C_{pk}	18
3.2.2 Hodnocení způsobilosti.....	19
3.2.3 Výpočet odhadu pravděpodobnosti neshodných výrobků.....	20
3.2.4 Index způsobilosti C_{pm}	20
3.2.5 Index způsobilosti C_{pmk}	21
3.2.6 Výběrové charakteristiky.....	21
3.3 Hodnocení procesu.....	21
4 Nástroje řízení jakosti.....	23
4.1 Histogram.....	23
4.2 Regulační diagram.....	23
4.2.1 Typy regulačních diagramů.....	26
4.2.1.1 Diagramy pro aritmetický průměr a pro rozpětí.....	26
4.2.1.2 Regulační diagramy pro aritmetické průměry a pro směrodatné	

odchyly.....	28
4.2.1.3 Regulační diagramy pro mediány a rozpětí.....	29
4.2.1.4 Regulační diagramy pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí.....	30
4.2.1.5 Shewartovy regulační diagramy.....	31
4.2.2 Výstražné meze.....	31
5 Popis společnosti Tůma aerospace, s. r. o.....	32
5.1 Měřicí přístroje.....	33
6 Analýza ocelového svorníku.....	36
6.1 Popis ocelového svorníku.....	36
6.2 Testování ocelového svorníku.....	36
6.2.1 Box plot.....	37
6.2.2 Shapirův – Wilksův test ověření normality.....	38
6.2.3 Regulační diagram.....	39
6.2.4 Indexy způsobilosti.....	41
6.2.5 Jednovýběrový t-test.....	42
7 Analýza mosazného víčka.....	44
7.1 Popis mosazného víčka.....	44
7.2 Testování mosazného víčka.....	45
7.2.1 Box plot.....	45
7.2.2 Test normality.....	46
7.2.3 Regulační diagramy.....	47
7.2.4 Indexy způsobilosti.....	50
7.2.5 Jednovýběrový t-test.....	51
7.2.6 Mediánový test.....	51
8 Shrnutí a doporučení.....	53
8.1 Návrh na změnu tolerančních mezí.....	54
Závěr.....	56
Seznam obrázků.....	57
Seznam tabulek.....	58
Seznam použitých zkratk.....	59
Seznam použité literatury.....	61
Seznam příloh.....	63

Úvod

S neustále rostoucí konkurencí se zvyšuje tlak na společnosti vyrábět kvalitní výrobky. Společnosti, které tyto kvalitní výrobky vyrábějí, mají nespornou konkurenční výhodu. Naopak každý nekvalitní výrobek znamená růst nákladů na opravy a reklamace výrobků a může vyústit až ve ztrátu zákazníka. Se stále zvyšujícími se nároky zákazníků na kvalitu výrobků, rostou i nároky na management podniku udržet svůj výrobní proces optimálním stavu např. z hlediska nákladů nebo zmetkovitosti aj.

Jestliže firma chce vyrábět kvalitní výrobky s minimální zmetkovostí, musí neustále sledovat a zlepšovat svůj výrobní proces. K tomu jí dopomůže statistická regulace procesu, která nejen zajistí kvalitní výrobky, ale v konečném důsledku i sníží náklady na výrobu a zajistí spokojené zákazníky. Jestliže se v procesu vyskytne nekvalitní výrobek, statistická regulace procesu pomůže odhalit příčinu vady tohoto výrobku pomocí vhodných nástrojů popsaných v této práci. Některé nástroje, jako např. regulační diagram, mohou odhalit chybu v procesu ještě dříve, než vznikne vadný výrobek, a tím udrží zmetkovitost na nule. Tím se ušetří čas a náklady spojené s opravami nebo reklamacemi výrobků. Ovšem aby měla maximální přínos společnosti, je třeba jí provádět pravidelně a dlouhodobě. Jedině tak se zajistí, že výrobní proces bude pracovat optimálně.

Společnost Tůma aerospace, jejíž kvalitu výrobního procesu zpracovává tato práce, neprodává výrobky koncovým zákazníkům. Největší část odběratelů tvoří různé letecké společnosti. Z tohoto důvodu je tlak na kvalitní výrobky ještě vyšší.

Cíle a struktura práce

Cíle

Hlavním cílem práce je vyhodnotit kvalitu výrobního procesu ve vybraném podniku a navrhnout případná doporučení pro zvýšení úrovně kvality.

K tomu, aby tento cíl byl naplněn, je nezbytné vymezení vhodných nástrojů a ukazatelů analýzy kvality výrobního procesu, charakteristika vybraného podnikatelského subjektu a vybraných výrobků. Na základě vyhodnocení kvality pomocí vhodných nástrojů budou definovány návrhy na zlepšení kvality výrobního procesu.

Struktura

Tato práce je rozdělena na dvě části – část teoretickou a část praktickou. Teoretická část má čtyři kapitoly, které postupně vysvětlují pojmy týkající se statistické regulace kvality výrobního procesu. První kapitola vysvětluje, co znamená výrobní proces. Kromě vymezení pojmu samotného, se zde ve čtyřech podkapitolách rozebírají další pojmy, které s výrobním procesem souvisejí, jako např. kolísání nebo opatření v procesu. Druhá kapitola se věnuje pojmu kvalita, způsobům, jak jí popsat, změřit a předpovídat. Třetí kapitola řeší pojmy regulace a způsobilost procesu, které v hodnocení procesu hrají klíčovou roli. Ve čtvrté kapitole jsou popsány základní nástroje statistické regulace procesu.

Praktická část je rozdělena na čtyři dílčí kapitoly. Pátá kapitola popisuje vybraný podnikatelský subjekt a následně popisuje měřicí přístroje použité k získání dat potřebných pro další výpočty. Šestá kapitola nejdříve popisuje vybraný výrobek, následně ověřuje kvalitu naměřených dat. Poté hodnotí statistický stav a způsobilost procesu pomocí různých statistických nástrojů. Sedmá kapitola má shodnou strukturu jako kapitola šestá, s tím rozdílem, že výrobní proces hodnotí pomocí odlišného výrobku. Osmá a zároveň poslední kapitola obsahuje shrnutí, hodnocení za oba výrobky a podává návrhy na zlepšení současného stavu.

1 Výrobní proces

Pojmem výrobní proces lze označit pracovní tok, který začíná od externích dodavatelů a končí u externích odběratelů. V průběhu tohoto toku se spotřebovávají nejrůznější vstupy, které se transformují na výstup, který má hodnotu pro zákazníka. Jak vstupy, tak i výstupy mohou být hmotné (např. materiál) i nehmotné (např. služby). Proces má svůj začátek a konec, ty označujeme jako hranice. Hranice procesu jsou místa, kde vstupy a výstupy vstupují nebo vystupují z procesu (Basl, Glasl, Tůma 2002).

1.1 Informace o procesu

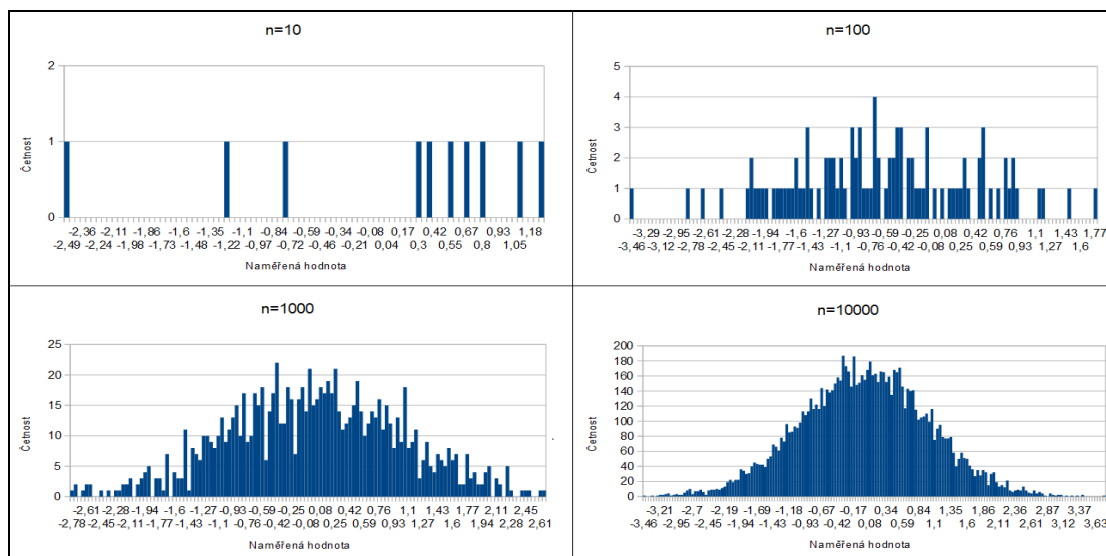
Mnoho užitečných informací lze získat ze studia výstupů procesu. Ovšem ty nejužitečnější mohou být získány dokonalou znalostí procesu a hlavně jeho vnitřní variability. Hlavním bodem regulace procesu by měly být jeho charakteristiky, jako jsou např. rychlost, teplota, zpoždění, zásobování apod. Je nutné určit cílové hodnoty pro charakteristiky, které nejvíce přispívají k produktivnosti procesu a poté sledovat, jak se liší skutečné hodnoty od těch cílových. Z takto získaných informací lze určit, zda proces pracuje obvyklým či neobvyklým způsobem. V případě, že proces pracuje neobvyklým způsobem, je možné uskutečnit opatření na jeho opravu. Opatření musí být včasná a přiměřená, jinak efekt ze zjištěné informace o rozdílu skutečných a cílových hodnot charakteristiky je zcela promrhán (Česká společnost pro jakost 2006).

1.2 Kolísání

Žádné dva výstupy nebo dvě hodnoty v procesu nikdy nejsou stejné, protože každý proces má mnoho zdrojů kolísání. Ovšem rozdíly mezi nimi mohou být veliké i neměřitelně malé. Některé zdroje kolísání způsobují krátkodobé rozdíly od jednoho výrobku ke druhému. Jiné se zase projeví na výstupu až v delším časovém úseku. Tyto rozdíly se mohou projevovat pozvolna, skokovitě nebo nepravidelně. Časová perioda a podmínky při měření jsou velice důležité, protože nepřímo ovlivňují velikost pozorovaného celkového kolísání. Zatímco jednotlivé naměřené hodnoty se vždy alespoň nepatrně liší, jako celek vytváří určitý obrazec, který může být popsán jako rozdělení (Česká společnost pro jakost 2006).

Příklad takového rozdělení je naznačen na obrázku č. 1 pro n naměřených hodnot.

Obr. č. 1: Histogramy náhodného rozdělení



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Takové rozdělení může být charakterizováno parametrem polohy (nejčastěji střední hodnotou), parametrem rozptýlení (směrodatnou odchylkou nebo rozpětím, tedy rozdílem mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou) a parametrem tvaru (symetrie a šikmost). Problém kolísání se často zjednodušuje na to, zda hodnoty jsou či nejsou uvnitř tolerančního pole, a poté jsou vyhodnoceny jako přijatelné resp. nepřijatelné. Avšak cílem by mělo být zachování polohy procesu v cílových hodnotách s minimální variabilitou. Ke správnému zvládnutí kolísání by mělo být vystopování tohoto kolísání až k jeho kořenům. Nejdříve je tedy nutné určit, zda kolísání má příčiny náhodné či vymežitelné (Česká společnost pro jakost 2006).

Náhodné příčiny kolísání jsou výsledkem mnoha zdrojů, které působí na proces trvale. Jejich výsledkem je stabilní a opakující se rozdělení pravděpodobnosti znaku jakosti. Takový stav se nazývá „statisticky zvládnutý stav procesu“. Jsou-li přítomny pouze náhodné příčiny kolísání, proces je stabilní a hlavně předpověditelný (Česká společnost pro jakost 2006).

Vymežitelné příčiny či zvláštní příčiny ovlivňují pouze některé výstupy z procesu. Působí obvykle přerušovaně a nepředvídatelně. Jejich přítomnost značí jedna či více hodnot mimo regulační meze nebo nenáhodným seskupením uvnitř regulačního pole. Dokud nejsou tyto příčiny identifikovány, můžou ovlivňovat proces nepředvídatelnými způsoby a takový proces je nestabilní. Změny, které způsobí vymežitelné příčiny lze

rozdělit na prospěšné a škodlivé. Oba druhy je nutno identifikovat, ovšem zatímco škodlivých je třeba se zbavit, prospěšné by se měli stát trvalou součástí procesu (Česká společnost pro jakost 2006).

1.3 Opatření v procesu a na výstupu

Nejefektivnější opatření v procesu jsou obvykle zaměřeny preventivně, aby bránila kolísání skutečných hodnot charakteristiky od cílových. Takto se zaručí stabilita procesu a kolísání se udrží v přijatelných mezích. Mezi taková opatření patří změny v operacích (např. školení zaměstnanců nebo změna materiálu) a změny v samotných prvcích procesu (např. oprava zařízení, komunikace zaměstnanců, teplota a vlhkost na dílně apod.). Naopak nejméně efektivními opatřeními jsou opatření na výstupu, jelikož se omezují pouze na rozlišení a opravu vadného výrobku, ale neřeší příčinu jeho vzniku v samotném procesu. V případě vzniku vadného výrobku, je třeba třídit veškeré výrobky, a každý vadný buď opravit nebo vyřadit. V této činnosti se bude pokračovat do té doby, než bude opravena příčina vzniku vadných výrobků. Je zřejmé, že opatření na výstupu jsou špatnou náhradou za opatření v procesu. Opatření na výstupu by mělo být pouze dočasné řešení v případě nestabilního nebo nezpůsobilého procesu. Z tohoto důvodu by sběr informací a jejich analýza měly vést k opatřením, které napraví samotný proces (Česká společnost pro jakost 2006).

1.4 Lokální opatření a opatření v systému

Vymežitelné příčiny kolísání mohou odhalit a napravit ti, kteří jsou v přímém kontaktu s operací pomocí jednoduché metody statistické regulace. Přestože management může hrát roli v řešení, často takový problém vyžaduje lokální opatření, což znamená účast těch, kteří jsou v přímém kontaktu s operací. Po správném řešení vymežitelných příčin zbývá vyřešit příčiny náhodné. Rozsah náhodných příčin lze určit shodnými statistickými metodami, ale k jejich izolaci je třeba podrobné analýzy. Řešení obvykle má na starosti management podniku. Přestože někdy lidé přímo v kontaktu s procesem mohou být v lepší pozici pro identifikaci příčiny, rozhodnutí o nápravě spadá na management. Obecně lze říci, že náhodné příčiny kolísání vyžadují opatření v systému. Zkušenost z podniku uvádí, že asi 15 % kolísání procesu je řešitelná lokálními opatřeními. Zbýlých 85 % se řeší opatřením v systému. Záměna těchto dvou druhů

opatření mohou být pro podnik velmi nákladná. Podnik může chybně uskutečnit lokální opatření (např. seřízením strojů), ale příčina kolísání je v chybně zvoleném vstupním materiálu (Česká společnost pro jakost 2006).

2 Kvalita procesu

Kvalita nebo také jakost, znamená schopnost plnit stanovené nebo předpokládané požadavky zákazníků. Ovšem je třeba rozlišit pojem kvalita od pojmu třída. Tím, že proces vyprodukuje např. automobil vyšší třídy, neznamena, že proces je kvalitnější. K hodnocení kvality procesu je třeba jí nějakým vhodným způsobem popsat, a k tomu dopomáhají znaky kvality. Tyto znaky slouží k měření, posuzování a hodnocení kvality, dále z nich můžeme určit další postupy nebo ke srovnání s dalšími podniky. Jejich vlastností je, že mají vždy své konkrétní hodnoty. Jsou to tedy matematické veličiny a podle toho, jak se s nimi dále může pracovat, je můžeme roztrdit do tří typů:

- **Kardinální (měřitelné) znaky** – Tyto znaky nabývají konkrétních číselných hodnot. O dvou hodnotách stejného znaku lze prohlásit, zda jsou stejné nebo rozdílné. V případě dvou rozdílných znaků je možné určit, který je větší, který je menší, a tento rozdíl vyjádřit.
- **Ordinální (uspořadatelné) znaky** – Znaky ordinální bývají označeny pořadovými čísly nebo kódy. Rozdílné hodnoty stejného znaku se dají seřadit od nejmenšího po největší podobně jako hodnoty kardinální, ale rozdíl mezi nimi nelze vyjádřit. Příklady jsou nejvyšší dosažené vzdělání či tarifní třída.
- **Nominální (jmenné) znaky** – Tyto znaky bývají označeny slovně nebo symboly. V případě, že jsou označeny čísly, nejedná se o číselné hodnoty, ale o kódy. O dvou hodnotách lze říci, zda jsou shodné či rozdílné, ale v případě rozdílnosti nelze určit, o kolik se liší a ani jejich pořadí. Příkladem je barva nebo druh materiálu (Janeček 2001, Frehr 1995).

K nejčastěji používaným znakům k posuzování kvality se používají znaky kardinální. Ty se ovšem dále dělí na znaky spojitě a diskrétní. Spojitě mohou nabývat všech možných hodnot. Mezi příklady spojitých znaků patří délka, hmotnost, čas, objem apod. Diskrétní mohou nabývat jen izolovaných hodnot, může se jednat např. o počet výrobků. Ovšem naměřené hodnoty spojitých veličin budou vlastně vždy diskrétní.

Jestliže budeme měřit rozměr výrobku metrem s přesností na milimetry, naměřené hodnoty můžou být například 1,1 cm a 1,2 cm, ale nic mezi nimi. Proto při rozlišení mezi spojitou a diskrétní veličinou se používá pravidlo ze statistiky, které říká, že za diskrétní veličinu se považuje taková, u které se budou některé hodnoty několikrát opakovat. Za spojitou veličinu považujeme tu, u které počet možných hodnot výrazně převyšuje četnost souboru (Janeček 2001).

Dále existují bivalentní či dvouhodnotové znaky kvality. Tyto znaky mají určité výjimečně postavení. Mohou nabývat pouze dvou hodnot, které představují opačné postavení. Pracujeme s nimi stejně nehledě na to, zda jsou kardinální, nominální či ordinální. Mohou být označeny např. ano nebo ne, dostatečné nebo nedostatečné, příp. 0 nebo 1 (Janeček 2001).

V praxi ovšem dochází k problému, že některé znaky obsahují příliš mnoho informací, což činí práci s nimi velice obtížnou, proto se provádí transformace znaků tím, že se jeden znak nahradí jeho matematickou funkcí. Smyslem transformace je redukce informací na únosnou míru, a tím zjednodušit práci s nimi. Proces transformace se nedá zvrátit, protože během ní se informace koncentrují, a tím je jich část ztracena. Např. spojitý znak lze transformovat na bivalentní tím, že se rozliší pouze, zda znak nabývá určité hodnoty či nikoli. Transformace je také součet bodů za hodnocení podle více kritérií. Také lze transformovat kardinální znaky za ordinální nebo nominální a ordinální za nominální, ale v opačném směru to nelze (Janeček 2001).

2.1 Měření a čtení hodnot

2.1.1 Měření hodnot

Nejčastější postup zjišťování hodnot znaků je měření, které má ovšem tu vlastnost, že lze použít jen na kardinální a především na spojitě znaky. Měření se provádí pomocí měřidel, které se dělí na ztělesněné míry (např. úhloměr nebo rolovací metr) a měřicí přístroje, které jsou nejčastější metodou měření. Měřicí přístroje jsou např. posuvné měřítko, voltmetr, tlakoměr, teploměr a mnoho dalších. Každá měřidla mají také svojí rozlišitelnost, což je vzdálenost mezi dvěma sousedícími body na stupnici. Důsledkem toho je, že žádná hodnota znaku nemá spojitou stupnici, ale pouze diskrétní (Janeček 2001).

Při měření je také nutné dávat pozor na chyby při měření. Tyto chyby se dělí podle závažnosti na hrubé, systematické a náhodné:

- Hrubé chyby mohou být způsobeny zvolením nevhodného měřicího přístroje, chybným přečtením stupnice, chybným zapsáním hodnoty či poškozením měřicího přístroje. Často se dají rozeznat odlehlou až extrémní hodnotou nebo jednoduchým statistickým testem na odlehlé hodnoty. Je třeba rozeznat, zda tyto hodnoty jsou skutečně chybné a poté je opravit např. novým měřením (Janeček 2001).
- Systematické chyby vznikají například nepřesností nebo nerovnoměrností stupnice, špatnou kalibrací nebo nemožností přístroj „vynulovat“ apod. Některé se dají odhalit např. použitím jiného přístroje nebo jinou metodou měření. Tyto odhalené chyby jsou známé a lze je odstranit numerickou korekcí hodnot. Zbytek systematických chyb zůstává neznámých, které lze odstranit jedinečně vícenásobným měřením (Janeček 2007).
- Náhodné chyby při měření nelze definovat, protože vznikají působením mnoha náhodných vlivů, a tedy je nelze nikdy úplně odstranit. Tyto chyby spolu s neznámými chybami tvoří variabilitu měřicí metody (Janeček 2007).

2.1.2 Čtení hodnot

V praxi se často čtou hodnoty transformované namísto skutečně naměřených. Skutečné hodnoty nejsou ztracené, ale mohou být časově náročné na správné vyhodnocení. Hodnoty spojitých znaků se např. čtou tak, že se zaznamenává pouze interval, kam daná hodnota patří. Tímto způsobem se například rozměr výrobku může roztřídit do kategorií dobrý kus, opravitelný zmetek a neopravitelný zmetek. Stále častěji se také používají znaky, u kterých silně závisí na hodnocení člověkem. Mezi tyto znaky patří všechny, které závisí na subjektivním hodnocení (např. podle chuti, barvy apod.) nebo na bodovém hodnocení. Objektivnost tohoto hodnocení může být vysoká v případě, že člověk je k takovému hodnocení vycvičen, ovšem nikdy se nevyrovná měření objektivními měřicími přístroji (Janeček 2001).

2.2 Pravděpodobnostní modely znaků jakosti

Než vzniknou hodnoty, které je možné změřit (např. délka výrobku nemůže být změřena

před tím, než je samotný výrobek vyroben), nelze tyto hodnoty přesně předpovídat. Proto jsou tyto hodnoty neznámé veličiny, které mají svoji distribuční funkci $F(\mathbf{x})$, diskrétní veličiny mají svoji pravděpodobnostní funkci $P(\mathbf{x})$ a spojité veličiny mají svoji hustotu pravděpodobnosti. Dále mají svoje charakteristiky, kterými jsou střední hodnota, směrodatná odchylka, medián, modus, rozptyl ad. U kardinálních znaků bývá snadné rozlišit, zda se jedná o spojité či diskrétní vzhledem k jejich věcné podstatě, mnoho znaků nemůže nabývat hodnot záporných, některé znaky jsou jednostranně nebo oboustranně omezeny, a u některých znaků lze odhadnout, jakým mechanismem vznikají jeho hodnoty. Z těchto informací lze určit pravděpodobnostní model, díky kterému lze tyto hodnoty předpovídat. Ve většině případů je vhodným pravděpodobnostním modelem jeden ze základních typů, u kterých je mechanismus vzniku hodnot známý (Janeček 2007).

1. Hypergeometrický model

Hypergeometrický model zobrazuje schéma tzv. výběru bez vracení. Mechanismus vzniku hodnot je takový, že ze základního souboru, který obsahuje celkem A prvků a M prvků, které mají určitou vlastnost (např. neshodné s požadavkem), se vytvoří výběrový soubor o velikosti n . Počet hodnot s určitou vlastností ve výběrovém souboru bude představovat x (Janeček 2001).

2. Binomický model

Binomický model je schéma tzv. výběru s vracením. Ze základního souboru, který obsahuje p prvků s určitou vlastností, je vybráno n prvků tak, že se vybere jeden prvek, u kterého se zjistí daná vlastnost a poté je vrácen do základního souboru. Rozdíl oproti hypergeometrickému modelu může jeden prvek být vybrán vícekrát (Janeček 2001).

3. Poissonův model

Tento model slouží k znázornění vzácně se vyskytujících jevů. Používá se k modelování počtu vad v kontrolním prostoru, počtu poruch za určitý časový úsek, k modelování fyzikálních procesů nebo modelování proudu prvků, který prochází určitou sestavou. Může se jím aproximovat hypergeometrický nebo binomický model (Janeček 2001).

4. Geometrický model

Geometrický model vyjadřuje, kolik cyklů vydrží cyklicky namáhaný prvek bez

poruchy. Ovšem nepředpokládá se opotřebení prvku. Prvek, který přežil jeden cyklus bez poruchy, vstupuje do dalšího cyklu s nezměněnou pravděpodobností na poruchu p (Janeček 2001).

5. Normální model

Pro měřitelné znaky jakosti je normální model ten nejčastěji používaný. Jestliže znak jakosti pochází ze součtu více nezávislých veličin s podobným rozptylem, pak má tento znak normální rozdělení. Z tohoto důvodu se normální model používá tam, kde hodnota znaku x pochází z předem nastavených podmínek, které usilují o dosažení určité hodnoty, a řízení procesu, kde vznikají hodnoty, ale působí na ně mnoho dalších faktorů. Díky těmto dalším faktorům vzniká dílčí odchylka od požadované hodnoty. Za určitých podmínek tímto modelem můžeme aproximovat mnoho jiných modelů např. hypergeometrický, binomický, Poissonův ad. (Janeček 2001).

6. Rovnoměrný model

Tento model předpokládá, že určitý znak může nabýt kterékoliv hodnoty z oboustranně omezeného intervalu s rovnoměrnou hustotou pravděpodobnosti. Může být použit např. při modelování chyby při numerickém zaokrouhlování hodnot (Janeček 2001).

7. Exponenciální model

Exponenciální model se používá k modelaci časových veličin (např. doba životnosti, doba mezi poruchami atd.). Vychází z předpokladu, že objekt má během užívání stálý sklon k poruchám. Hustota pravděpodobnosti těchto časových veličin exponenciálně klesá v čase. Tento model je spojitou obdobou geometrického modelu a lze ho použít za určitých podmínek k jeho aproximaci (Janeček 2007).

3 Regulace a způsobilost procesu

Během třicátých let dvacátého století se začaly objevovat první racionální postupy a metody ovlivňování kvality výrobků (např. regulační diagram) a následné kontroly (statistické přejímky). Obě tyto metody našly uplatnění v USA ve výrobě vojenské techniky během druhé světové války. Po válce tyto metody v USA ztratily na významu, ovšem další uplatnění našly v Japonsku, které se následně stalo průmyslovou velmocí. V roce 1956 byla v Evropě založena nevládní organizace pro jakost (EOQ = European Organisation for Quality). Během dalších dvaceti let vznikaly další takové společnosti všude na světě, které díky svému celosvětovému propojení položily základy pro řízení kvality výrobního procesu (Janeček 2007).

3.1 Regulace procesu

Regulace procesu má za cíl určovat současný stav a predikovat stav budoucí, z čehož je poté učiněno opatření na jeho zlepšení. Než je však učiněno opatření, je třeba vzít v úvahu, zda opatření není nadměrné nebo není dostačující. V případě, že systém ovlivňují pouze náhodné příčiny kolísání, lze o něm prohlásit, že se nachází ve statisticky zvládnutém stavu, poté lze tento proces charakterizovat předpověditelným rozdělením sledovaných znaků a podílu hodnot, které splňují technické specifikace. Jakmile se proces vyskytne v tomto stavu, první akcí by mělo nezbytně být nastavení polohy procesu na požadovanou úroveň. Díky tomu se minimalizuje počet výrobků, které nesplňují technické specifikace. Regulace procesu má dále funkci vyslat signál, když se v systému vyskytne zvláštní příčina kolísání, což má za následek opatření k jejímu odstranění nebo se učiní trvalou součástí procesu. Největší přínos má regulace procesu, když se použije jako trvalý poznávací nástroj (např. proces způsobilý a nezpůsobilý, stabilní a nestabilní atd.) namísto nástroje posuzování shodnosti (např. dobrý a špatný výrobek). Regulace procesu má smysl pouze, když přispívá ke zlepšení nebo udržení dokonalé výkonnosti procesu (Česká společnost pro jakost 2006).

Jarošová, Noskievičová 2015 definují, že regulace procesu má následující cíle:

- Předcházet nedostatečnému regulování procesu a zamezovat přeregulování procesu.
- Dosáhnout statisticky zvládnutého stavu a udržení tohoto stavu.

- Zamezovat vadným výrobkům.
- Rozdělovat zvláštní a náhodné příčiny kolísání.
- Zasáhnout proti zvláštní příčině kolísání co nejrychleji.
- Vytvořit ideální podmínky pro hodnocení způsobilosti procesu.

3.2 Způsobilost procesu

Způsobilost procesu je schopnost udržet se v požadovaných tolerančních mezích znaku jakosti. Způsobilost se posuzuje pomocí různých indexů způsobilosti. Tyto indexy ovšem mají výchozí podmínku normalitu dat. Ovšem hodnotit způsobilost má smysl pouze u procesu, který pracuje ve statisticky zvládnutém stavu. Zvláštní příčiny kolísání mohou výsledky způsobilosti silně zkreslovat, a tím snižovat výpovědní hodnotu následujících indexů. (Česká společnost pro jakost 2006).

3.2.1 Indexy způsobilosti C_p a C_{pk}

Index způsobilosti C_p zobrazuje schopnost procesu udržet sledovaný znak jakosti uvnitř tolerančních mezí. Tyto meze jsou určeny přáním zákazníka nebo si je podnik nadefinuje sám. V případě, že výrobek tyto meze překročí, je vyhodnocen jako nesprávný, a je třeba ho opravit nebo úplně vyřadit. Index způsobilosti C_p je dán poměrem přípustné a skutečné variability. Index C_p nebere v potaz umístění hodnot v tolerančním poli. Ukazuje tedy možnosti procesu, které vytváří jeho variabilita, ale neříká, jestli tyto možnosti jsou využity. Index C_{pk} zobrazuje nejen variabilitu, ale i pozici hodnot v tolerančním poli. Z tohoto důvodu index C_{pk} zobrazuje skutečnou způsobilost dodržovat předepsané meze. V případě, kdy oba tyto indexy dosahují stejné hodnoty, se jedná o ideální situaci, kdy průměr naměřených hodnot je roven hodnotě optimální. Vzorce pro výpočet těchto ukazatelů jsou následující:

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad (1)$$

$$c_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right), \quad (2)$$

kde: USL ... horní toleranční mez,

LSL ... dolní toleranční mez,

μ ... střední hodnota,

σ ... směrodatná odchylka (Nenadál et al. 2002).

V případech, kdy je definovaná pouze jedna toleranční mez, index způsobilosti C_p nelze vypočítat. Vzorec C_{pk} se změní, podle toho která toleranční mez je definovaná, na následující:

$$C_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \quad (3)$$

$$C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}. \quad (4)$$

Oba tyto indexy spolu souvisejí. Lze mezi nimi odvodit následující vztah:

$$C_{pk} = C_p - \frac{|USL + LSL - 2\mu|}{6\sigma}. \quad (5)$$

Z tohoto vzorce je patrné, že hodnota C_{pk} je vždy menší nebo rovna hodnotě C_p . Rovnost těchto indexů nastává právě ve chvíli, kdy střední hodnota sledovaného znaku se rovná středu tolerančního pole (Nenadál et al. 2002).

3.2.2 Hodnocení způsobilosti

Způsobilost se nejčastěji hodnotí pomocí indexu C_{pk} . Intervaly pro hodnocení způsobilosti jsou následující:

- je-li $C_{pk} < 1,00$, pak proces není způsobilý,
- je-li $C_{pk} = 1,00$, pak se proces přibližuje způsobilosti,
- je-li $C_{pk} > 1,00$, pak proces může být považován za způsobilý (Janeček 2007).

Některé firmy uvádějí pro index C_{pk} hodnotu 1,33 aby byl proces způsobilý. Tato hodnota však vyžaduje, aby toleranční meze byly minimálně ve vzdálenosti čtyřnásobku směrodatné odchylky od střední hodnoty. Některé další firmy mají ještě přísnější požadavky na způsobilost tím, že požadují, aby byla vzdálenost tolerančních mezí od střední hodnoty šestnásobkem směrodatné odchylky. Tato strategie se označuje jako „jakost six sigma“. Pro ostatní indexy platí stejné hodnoty pro hodnocení způsobilosti (Nenadál et al. 2002, Česká společnost pro jakost 2006).

3.2.3 Výpočet odhadu pravděpodobnosti neshodných výrobků

Vypočtený index způsobilosti C_{pk} lze použít k odhadu pravděpodobnosti neshodných výrobků, protože vyjadřuje polohu rozdělení znaku vůči tolerančním mezím. Pro výpočet této pravděpodobnosti v případě definování obou tolerančních mezí lze použít následující vzorec:

$$P = \Phi(-3C_{pk}) + \Phi(3C_{pk} - 6C_p), \quad (6)$$

kde: Φ ... distribuční funkce normovaného normálního rozdělení,

C_p ... index způsobilosti,

C_{pk} ... index způsobilosti.

V případě pouze jedné toleranční meze se tato pravděpodobnost vypočte podle následujícího vzorce (Nenadál et al. 2002).

$$P = \Phi(-3C_{pk}). \quad (7)$$

3.2.4 Index způsobilosti C_{pm}

Index způsobilosti C_{pm} , nebo také Taguchiho index způsobilosti, charakterizuje variabilitu sledovaného znaku pomocí rozptylu kolem jeho optimální hodnoty. Hodnotí tedy variabilitu znaku a míru dosažení jeho optimální hodnoty. Aby index C_{pm} byl správně interpretován, je třeba uvádět k němu i index C_p , který zhodnotí, zda dosažená hodnota je ovlivněná přirozenou variabilitou nebo posunem střední hodnoty znaku od hodnoty optimální. Pro použití je nutné, aby optimální hodnota ležela uprostřed tolerančního pole. V případech, kdy optimální hodnota neleží uprostřed tolerančního pole nebo je definovaná pouze jedna toleranční mez, se na místo indexu C_{pm} zavádí index C_{pm}^* . Vzorce pro oba tyto indexy jsou následující:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \quad (8)$$

$$C_{pm}^* = \min\left\{\frac{T - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - T}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\}, \quad (9)$$

kde: T ... optimální hodnota (Nenadál et al. 2002).

3.2.5 Index způsobilosti C_{pmk}

Dle Nenadála et al. (2002, s. 248) index způsobilosti C_{pmk} „porovnává vzdálenost střední hodnoty sledovaného znaku jakosti k bližší toleranční mezi s polovinou variability znaku kolem cílové hodnoty.“. Má shodnou vlastnost s indexem C_{pk} , že hodnotí, zda sledované hodnoty leží uvnitř tolerančních mezí. Dále ovšem hodnotí míru dosažení stanovené cílové hodnoty. Lze ho vypočítat pomocí následujícího vzorce (Nenadál et al. 2002).

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (10)$$

3.2.6 Výběrové charakteristiky

Ze vzorců č. 1 až 10 je patrné, že pro jejich výpočet je třeba znát charakteristiky souboru (střední hodnota μ a směrodatná odchylka σ), z kterého pocházejí naměřené hodnoty. Ovšem tyto hodnoty jsou ve většině případů nedostupné. Na místo těchto charakteristik je třeba určit jejich odhady na základě naměřených hodnot. Z tohoto důvodu indexy způsobilosti jsou také pouze odhady. Při použití různých výběrových souborů z jednoho souboru základního, vypočtené indexy způsobilosti se mohou lišit. Mají tedy svoji střední hodnotu, směrodatnou odchylku, rozptyl a další charakteristiky. Také mají svůj interval spolehlivosti, který se rozšiřuje s počtem hodnot ve výběrovém souboru. Z tohoto důvodu je třeba naměřené hodnoty dále testovat, např. testem na střední hodnotu, aby se potvrdilo, zda skutečně tyto hodnoty dosahují optimálních hodnot (Nenadál et al. 2002).

3.3 Hodnocení procesu

Každý proces lze klasifikovat ze dvou hledisek. Z hlediska statistického zvládnutí, které se hodnotí podle příčin kolísání působících na proces. V případě, že na proces působí pouze náhodné příčiny kolísání, je statistický stav hodnocen jako zvládnutý. V tomto případě je proces stabilní a predikovatelný. Nezvádnutý stav znamená, že na proces působí zvláštní příčina kolísání, díky které je proces nestabilní a nepredikovatelný. Druhé hledisko je způsobilost, která se hodnotí podle indexů způsobilosti, které jsou uvedeny v kapitole č. 3.2. Následující tabulka ukazuje případy, které mohou nastat z hlediska způsobilosti a statistického zvládnutí.

Tab. č. 1: Případy statistické regulace a způsobilosti

		Statistická regulace	
		Statisticky zvládnutý stav	Statisticky nezvládnutý stav
Způsobilost	Přijatelná	Případ 1	Případ 3
	Nepřijatelná	Případ 2	Případ 4

Zdroj: Česká společnost pro jakost 2006, s. 20

V prvním případě se jedná o ideální situaci, kde se nevyskytují zvláštní příčiny kolísání a náhodné příčiny kolísání se pohybují v regulačních mezích. V případě č. dva proces vykazuje nadměrné náhodné kolísání, které se pohybuje za regulačními mezemi. Toto kolísání musí být sníženo, jinak bude docházet k nadměrně vysoké zmetkovitosti. Ve třetím případě proces ovlivňují zvláštní příčiny kolísání, které je třeba identifikovat a zavést opatření na jejich odstranění. Čtvrtý případ vyjadřuje nejméně vhodnou situaci, jelikož ho ovlivňují jak náhodné, tak zvláštní příčiny kolísání, které je nutné odstranit. V praxi se počítá způsobilost procesu až po prokázání statistického zvládnutí procesu. Výsledky způsobilosti se poté použijí jako základ pro predikci výkonu procesu. Nemá význam provádět predikce na základě dat z procesu, který není statisticky zvládnutý, protože data z tohoto procesu nejsou opakovatelná v čase a tedy nelze předpovědět jeho budoucí vývoj (Česká společnost pro jakost 2006).

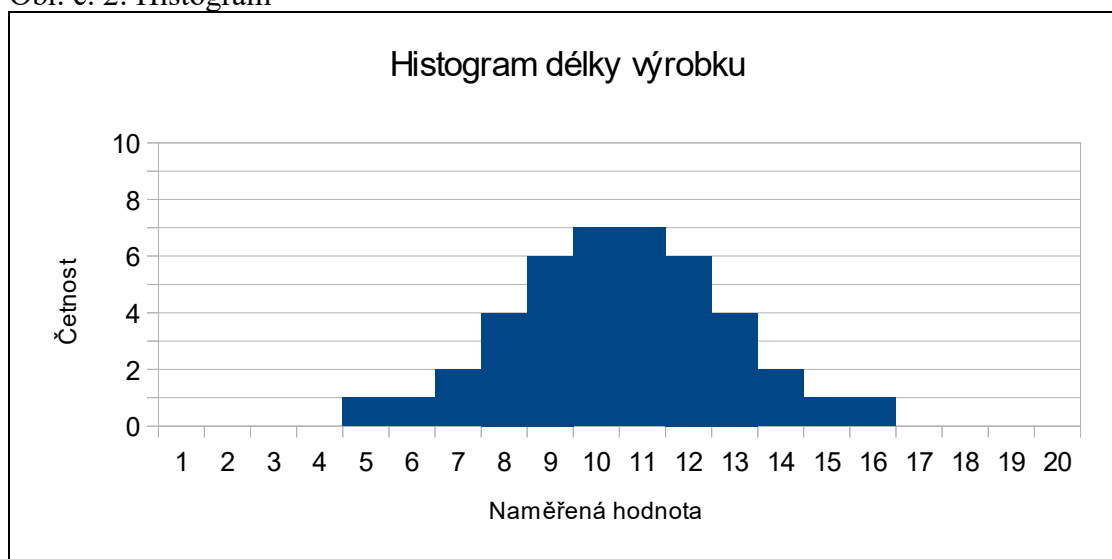
4 Nástroje řízení jakosti

Velkou část problémů s jakostí lze odhalit a analyzovat pomocí nástrojů řízení jakosti. Řadí se sice mezi jednoduché nástroje, ovšem mají vysokou účinnost (Nenadál et al. 2002).

4.1 Histogram

Histogram je rozdělení četností naměřených hodnot do sloupkového grafu. Díky své jednoduchosti a rozšíření je histogram nejznámějším a nejpoužívanějším statistickým nástrojem. Vypovídá např. o tom, zda naměřené hodnoty se nacházejí uvnitř regulačních mezí nebo jaký tvar rozdělení mají naměřené hodnoty aj. Spojitost dat je naznačena tím, že se sloupky navzájem dotýkají. Z histogramu lze získat data o poloze a rozptýlenosti hodnot, odhadnout tvar rozdělení, první informace o způsobilosti procesu a porovnáním více histogramů lze odhadnout změny v procesu. Následující obrázek ukazuje příklad histogramu (Tošenovský, Naskievičová 2000, Nenadál et al. 2002).

Obr. č. 2: Histogram



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

4.2 Regulační diagram

Při statistické regulaci procesu se často opakují dvě chyby.

- 1. chyba: Kolísání je mylně přičítáno zvláštní příčině kolísání, ale ve skutečnosti je to příčina náhodná. Tato chyba je výsledkem nadbytečného regulování procesu. Proti této příčině budou neustále vytvářeny opatření, které budou

výrobní proces zatěžovat, ovšem tato příčina nikdy nebude odstraněna, protože ve skutečnosti patří mezi náhodné, které nelze úplně odstranit.

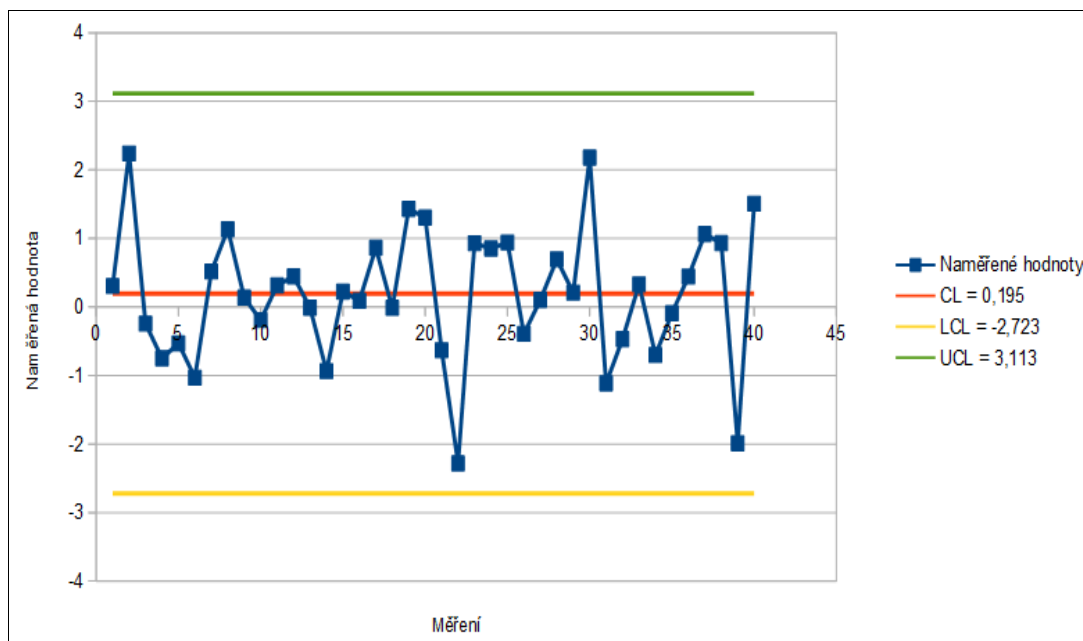
- 2. chyba: Kolísání je mylně přičítáno náhodné příčině kolísání, ale ve skutečnosti je to příčina zvláštní. Tato chyba se vyskytuje v procesech s nedostatečnou regulací. Díky této chybě se v procesu bude vyskytovat zvláštní příčina kolísání, proti které nebude učiněno žádné opatření a nebude napravena. Tato příčina způsobí nestabilní a nepředpověditelný proces.

Pro odlišení zvláštní a náhodné příčiny kolísání, vyvarování se těchto dvou chyb a určení, zda proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu, je vhodným nástrojem regulační diagram. Tento diagram se přímo zaměřuje na zvláštní příčiny a ukazuje rozsah příčin náhodných. Ten se ovšem hodí pouze pro data pocházející z normálního rozdělení, proto je před vlastní konstrukcí diagramu nutné otestovat rozdělení, z jakého data pochází (Česká společnost pro jakost 2006).

Regulační diagram má na ose x čísla náhodně vybraných výrobků nebo jejich skupin. Na ose y pak má hodnoty výběrových charakteristik (např. průměr, rozpětí apod.). Dále se skládá z centrální přímkou CL, která se určí jako průměr výběrové charakteristiky. Dalšími prvky diagramu jsou dolní hranice LCL a horní hranice UCL. Tyto hranice zobrazují pásmo, ve kterém se budou pohybovat naměřené hodnoty s předem stanovenou pravděpodobností za předpokladu, že proces ovlivňují pouze náhodné příčiny kolísání. Poté se do diagramu zanesou chronologicky za sebou naměřené hodnoty. V případě, že naměřené hodnoty překročí regulační hranice, je v procesu zvláštní příčina kolísání a je tedy třeba učinit opatření na její odstranění (Tošenovský, Naskievičová 2000, Nenadál et al. 2002).

Následující obrázek ukazuje regulační diagram bez zvláštních příčin kolísání.

Obr. č. 3: Regulační diagram



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Situace, které mohou nastat v regulačním diagramu, a naznačují zvláštní příčinu kolísání nebo chybu v měření:

- body mimo regulační meze,
- mnoho bodů v řadě nad nebo pod centrální přímkou,
- mnoho stoupajících nebo klesajících bodů v řadě,
- mnoho bodů v řadě leží v prostřední třetině regulačního diagramu,
- žádné body se nevyskytují v prostřední třetině diagramu (Nenadál et al. 2002, Tošenovský, Naskievičová 2000).

První situace nejčastěji naznačuje zvláštní příčinu kolísání, ovšem v případě, že tento bod leží až absurdně daleko (např. zaznamenaná hodnota je 300 mm namísto 30 mm), se může jednat o hrubou chybu v měření. Před vyhodnocením je třeba ověřit, zda tato hodnota je přípustná. Druhá situace značí změnu v procesu nebo změnou měřícího přístroje. Může se jednat např. o opravu hodnot v programu výrobního procesu. Třetí situace může značit opotřebení nástroje. Silně opotřeбенý nástroj může s každým

dalším použitím vyrobít výrobek stále menší nebo větší. Čtvrtá a pátá situace značí nejčastěji chybu v konstrukci diagramu samotného. Může tím dojít chybným vypočtením regulačních mezí či chybným zakreslením bodů. Ovšem může k tomu dojít i při měření tím, že mezi sledovanými výrobky se budou nacházet výrobky jiné s odlišnými hodnotami. V ideálním regulačním diagramu neleží žádná hodnota za regulačními mezemi, není zde dlouhodobý rostoucí nebo klesající trend, hodnoty jsou střídavě nad a pod centrální přímkou a přibližně $\frac{2}{3}$ všech hodnot leží v prostřední třetině diagramu (Nenadál et al. 2002).

4.2.1 Typy regulačních diagramů

Statistická regulace procesů předpokládá, že naměřené hodnoty mají normální rozdělení. Toto rozdělení má dva parametry, střední hodnotu a směrodatnou odchylku. Z tohoto důvodu se regulační diagramy vždy konstruují v páru. Jeden pro parametr polohy a druhý pro variabilitu. Jednotlivé typy regulačních diagramu se poté nazývají podle charakteristiky, která je z naměřených hodnot vypočtena (Hůlová, Jarošová 2007).

Pro polohu se konstruují následující diagramy:

- diagram pro aritmetické průměry,
- diagram pro mediány,
- diagram pro individuální hodnoty (Hůlková, Jarošová 2007).

Pro variabilitu se používají následující diagramy:

- diagram pro rozpětí,
- diagram pro směrodatnou odchylku,
- diagram pro klouzavé rozpětí (Hůlová, Jarošová 2007).

4.2.1.1 Diagramy pro aritmetický průměr a pro rozpětí

Pro konstrukci těchto diagramů je třeba nejdříve provést měření výběru o rozsahu n , kde n je rovno alespoň dvěma, doporučená velikost n je 5. Během měření je nutné zabezpečit, aby v procesu nedošlo k nějaké podstatné změně (např. změna suroviny). Těchto měření se provede alespoň 25, z kterých se následně vytvoří 25 podskupin. U každé podskupiny se vypočte variační rozpětí R odečtením nejnižší hodnoty od

nejvyšší. Z těchto variačních rozpětí se následně spočítá průměrné rozpětí \bar{R} . Nyní již lze vypočítat a konstruovat přímkou CL, LCL a UCL u diagramu pro rozpětí pomocí následujících vzorců.

$$CL = \bar{R}, \quad (11)$$

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

$$UCL = \bar{R} + D_4, \quad (13)$$

kde: \bar{R} ... průměrné rozpětí,

D_3 ... tabulková hodnota,

D_4 ... tabulková hodnota (Hůlová, Jarošová 2007).

Tabulkové hodnoty D_3 a D_4 jsou uvedeny v příloze č. 1. Po konstrukci těchto tří přímkou se do diagramu zanesou chronologicky za sebou vypočtené rozpětí R . Tyto body se následně spojí přímkami. V případě, že v diagramu jsou všechny body uvnitř regulačních mezí, se dále konstruuje diagram pro aritmetické průměry. Ze všech dříve vytvořených podskupin se vypočtou aritmetické průměry \bar{X} , a z těch se ještě vypočte celkový průměr $\bar{\bar{X}}$. Centrální přímkou a regulační meze se poté vypočtou pomocí následujících vzorců.

$$CL = \bar{\bar{X}}, \quad (14)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}, \quad (15)$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}, \quad (16)$$

kde: $\bar{\bar{X}}$... celkový průměr,

A_2 ... tabulková hodnota (Hůlová, Jarošová 2007).

Tabulková hodnota A_2 je uvedena v příloze č. 1. Do tohoto diagramu se pak zanesou vypočtené aritmetické průměry \bar{X} . Hodnocení diagramu se provede shodně jako u diagramu pro rozpětí. Hodnotí se, zda body neleží za regulačními mezemi a následně další nenáhodná uskupení, které jsou uvedeny v kapitole 4.2 (Hůlová, Jarošová 2007).

4.2.1.2 Regulační diagramy pro aritmetické průměry a pro směrodatné odchylky

Pro zobrazení kolísání se často namísto rozpětí používá směrodatná odchylka, protože

rozpětí zahrnuje pouze krajní body, zatímco směrodatná odchylka zahrnuje všechny body v podskupinách. Postup je obdobný, jen na místo rozpětí se počítá směrodatná odchylka podle následujícího vzorce.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{n-1}}, \quad (17)$$

kde: j ... číslo podskupiny,

σ_j ... směrodatná odchylka v j -té podskupině,

n ... velikost podskupiny,

X_{ij} ... i -tá hodnota v j -té podskupině,

\bar{X}_j ... průměr v j -té podskupině (Hůlová, Jarošová 2007).

Pro výpočet regulačních mezí je dále třeba průměrná směrodatná odchylka, která je dána následujícím vzorcem

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k s_j^2}, \quad (18)$$

kde: k ... počet podskupin (Hůlová, Jarošová 2007).

Pomocí vypočtené průměrné směrodatné odchylky lze určit prvky diagramu dle následujících vzorců.

$$CL = \bar{\sigma}, \quad (19)$$

$$LCL = \bar{\sigma} B_3, \quad (20)$$

$$UCL = \bar{\sigma} B_4, \quad (21)$$

kde: B_3 ... tabulková hodnota,

B_4 ... tabulková hodnota,

$\bar{\sigma}$... průměrná směrodatná odchylka (Hůlová, Jarošová 2007).

Tabulkové hodnoty B_3 a B_4 jsou uvedeny v příloze č. 1. Do diagramu se pak chronologicky za sebou zaznamenají hodnoty σ , a vyhodnotí se shodně jako předchozí diagramy. Regulační diagram aritmetických průměrů v této dvojici diagramů má odlišné

vzorce od diagramu aritmetických průměrů zmíněného dříve. Tyto vzorce jsou následující (Hůlová, Jarošová 2007).

$$CL = \bar{\bar{X}}, \quad (22)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{\sigma}, \quad (23)$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{\sigma}, \quad (24)$$

kde: A_3 ... tabulková hodnota (Hůlová, Jarošová 2007).

Tabulková hodnota A_3 je uvedena v příloze č. 1. Do diagramu se pak zanesou hodnoty $\bar{\bar{X}}$ a vyhodnotí se (Hůlová, Jarošová 2007).

4.2.1.3 Regulační diagramy pro mediány a rozpětí

V případě, že volíme rozsah podskupiny $n = 3$ nebo $n = 5$, je práce s mediánem jednodušší než s aritmetickým průměrem, zejména v případech, kdy probíhají výpočty ručně. Ovšem pro použití tohoto diagramu je několik omezujících podmínek.

- Naměřené hodnoty pochází z normálního rozdělení,
- zvláštní příčiny kolísání napadají proces jen velmi zřídka,
- operátor v procesu může okamžitě a rychle provést opatření v procesu (Hůlová, Jarošová 2007).

Vzorce pro regulační diagram pro rozpětí jsou shodné s diagramem pro rozpětí zmíněným dříve. Pro vytvoření regulačního diagramu pro mediány je nutné určit medián M v každé podskupině a následně vypočítat z těchto mediánů průměrný medián \bar{M} . Vzorce pro výpočet CL, UCL a LCL jsou následující.

$$CL = \bar{M}, \quad (25)$$

$$LCL = \bar{M} - A_4 \bar{x}, \quad (26)$$

$$UCL = \bar{M} + A_4 \bar{x}, \quad (27)$$

kde: A_4 ... tabulková hodnota,

\bar{M} ... průměrný medián (Hůlová, Jarošová 2007).

Tabulková hodnota A_4 je uvedena v příloze č. 1. Zanesením hodnot mediánů M a rozpětí R , jsou diagramy hotovy a lze je vyhodnotit (Hůlová, Jarošová 2007)

4.2.1.4 Regulační diagramy pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí

V některých procesech není možné vytvořit podskupiny s velikostí větší než $n = 1$. Především se to týká procesů v chemickém nebo potravinářském průmyslu, kde se naměří hodnoty z jedné velké homogenní dávky a nemá smysl provádět více měření. Nebo v dalších případech např. ve farmaceutickém průmyslu vzniká každý výrobek za trochu jiných podmínek. K použití diagramu pro individuální hodnoty mohou však vést i další důvody např. ekonomické. Do diagramu individuálních hodnot se tedy namísto hodnot spočítaných z podskupin vynesou konkrétní hodnoty. Klouzavé rozpětí je pak rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími hodnotami. Tyto diagramy mají tu výhodu, že jsou ze všech diagramů nejméně citlivé na normalitu dat. Při použití těchto diagramů je ovšem třeba zvýšit počet pozorování, protože dříve uvedený počet podskupin 25 zde znamená celkem 25 hodnot. Pro záruku stability je třeba počet hodnot zvýšit alespoň na 50. Pro konstrukci diagramů je třeba spočítat průměr z naměřených hodnot μ a průměr klouzavého rozpětí \bar{K} . Vzorce pro konstrukci regulačního diagramu pro klouzavé rozpětí jsou následující.

$$CL = \bar{K} , \quad (28)$$

$$LCL = 0 \bar{K} , \quad (29)$$

$$UCL = 3,267 \bar{K} , \quad (30)$$

kde \bar{K} ... průměrné klouzavé rozpětí (Hůlová, Jarošová 2007).

Protože u těchto typů diagramů nelze měnit velikost podskupiny, která je pevně daná na úrovni $n = 1$, tabulkové hodnoty D_3 a D_4 lze nahradit přímo číselnými hodnotami, které jsou $D_3 = 0$ a $D_4 = 3,267$. Protože tabulková hodnota $D_3 = 0$, lze prohlásit, že dolní regulační mez pro klouzavé rozpětí $LCL = 0$. Prvky regulačního diagramu pro individuální hodnoty se poté vypočítají pomocí následujících vzorců.

$$CL = \mu , \quad (31)$$

$$LCL = \mu - 2,66 \bar{K} , \quad (32)$$

$$UCL = \mu + 2,66 \bar{K} , \quad (33)$$

kde μ ... průměr individuálních hodnot (Hůlová, Jarošová 2007).

Opět i zde hodnota 2,66 je tabulková hodnota, které se také nedá měnit, protože n je

vždy rovno jedné, a tedy do vzorce lze vložit přímo číselnou hodnotu. Zanesením hodnot K a μ jsou diagramy hotovy a lze je vyhodnotit shodně jako všechny předchozí (Hůlová, Jarošová 2007).

4.2.1.5 Shewartovy regulační diagramy

Výše popsané typy regulačních diagramů lze aproximovat normálním rozdělením na Shewartovy regulační diagramy. V tomto diagramu vychází regulační meze ze směrodatné odchylky sledovaného znaku. Vzorec pro výpočty regulačních mezí je následující.

$$LCL, UCL = \bar{x} \pm 3\sigma, \quad (34)$$

kde \bar{x} ... průměr sledovaného znaku (Chmelík, Tonar 2006).

4.2.2 Výstražné meze

V procesu může nastat situace, kdy se v něm vyskytne zvláštní příčina kolísání, ovšem hodnota vyprodukovaná touto příčinou, nepřekročí regulační mez, ale pouze se jí přiblíží. V regulačním diagramu je tedy riziko, že nebude vyslán signál, že se v procesu vyskytla zvláštní příčina kolísání. Tomuto jevu se říká riziko chybějícího signálu. Pro snížení tohoto rizika se do diagramů zanáší výstražné meze. Tyto meze jsou vzdáleny dvě směrodatné odchylky od průměru hodnot. Při častém překročení těchto výstražných mezí je třeba opatření v procesu i v případě, že žádná z těchto hodnot nepřekročí meze regulační. Vzorec pro výpočty regulačních mezí je následující.

$$\text{Dolní výstražná mez, Horní výstražná mez} = \bar{x} \pm 2\sigma, \quad (35)$$

kde: σ ... směrodatná odchylka (Hůlová, Jarošová 2007).

5 Popis společnosti Tůma aerospace, s. r. o.

Obr. č. 4: Logo společnosti



Zdroj: Tůma aerospace 2019

Obrázek č. 4 ukazuje logo společnosti. Společnost Tůma aerospace vznikla pod původním jménem Přesné obrábění - Precision machining, s.r.o. v roce 2006 v Nynicích u Plzně. Byla založena bratry Davidem Tůmou a Tomášem Tůmou, kteří jsou dnes jednatele společnosti, a jejich otcem Vladimírem Tůmou. V roce 2016 byla společnost přejmenována na svůj aktuální název Tůma aerospace, s.r.o. Specializuje se především na obrábění kovů a výrobu součástí pro různé letecké společnosti, dále vyrábí například součásti pro železniční průmysl nebo elektrické pohony a trakční motory. Nabízí 2D a 3D tvorbu programů, modelování 3D modelů, tvorbu elektronických výkresů a zakázkovou, kusovou i sériovou výrobu na CNC frézách (Tůma aerospace 2019).

Dle CZ-NACE se firma zabývá těmito činnostmi:

- 25610 - povrchová úprava a zušlechťování kovů,
- 25620 - obrábění,
- 461 - zprostředkování velkoobchodu a velkoobchod v zastoupení,
- G - velkoobchod a maloobchod; opravy a údržba motorových vozidel (Podnikatel.cz 2019).

Následující tabulka zachycuje základní údaje o společnosti.

Tab. č. 2: Údaje o společnosti

Obchodní firma	Tůma aerospace, s.r.o.
Sídlo	Nynice 61, 330 11 Hromnice
Právní forma	Společnost s ručením omezeným
Datum vzniku a zápisu	28. června 2006
Identifikační číslo	26413264

Základní kapitál	200 000,- Kč
------------------	--------------

Zdroj: Veřejný rejstřík a Sbírka listin 2019

Dle klasického členění velikosti podniku vzhledem k počtu zaměstnanců a ročnímu obratu, je tato firma hodnocena jako střední podnik, protože má 52 zaměstnanců a roční obrat nepřesahuje 50 milionů EUR (Veřejný rejstřík a Sbírka listin 2019).

Mezi nejznámější a nejvýznamnější zákazníky patří Airbus, Boeing, Euroshooting, Mahr, Sell, Škoda, Zodiac Aerospace ad. (Tůma aerospace 2019).

Společnost Tůma aerospace s.r.o. nemá jeden dominantní výrobek, který by dostatečně representoval celý výrobní proces, ale vyrábí velké množství různých druhů výrobků. Z tohoto důvodu pro statistickou regulaci výrobního procesu byly náhodně vybrány dva výrobky, aby se zlepšila její vypovídající hodnota. Oba tyto výrobky byly vyrobeny na zakázku od externích odběratelů, a tedy v rámci firmy jsou to hotové výrobky.

Firma v době psaní této práce neprovádí statistickou regulaci procesu žádným způsobem a nedisponuje žádným SW pro vyhodnocení kvality. Z tohoto důvodu bylo měření hodnot provedeno manuálně a pouze pro účely této práce.

5.1 Měřicí přístroje

Ve vybrané firmě se ke kontrole rozměrů výrobků běžně používá dvou druhů digitálních posuvných měříték neboli tzv. „šuplery“. Jeden druh měřítka se používá na měření vnějších rozměrů a druhý na měření vnitřních rozměrů. Rozlišitelnost obou druhů měříték činí 0,01 mm. Aby u těchto přístrojů byla zaručena přesnost měření, je třeba provádět jejich kalibraci, která ve firmě probíhá zřídka a v nepravidelných intervalech. Na následujícím obrázku jsou zobrazena digitální posuvná měřítka použitá k měření hodnot v této práci.

Obr. č. 5: Posuvná měřítka



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

6 Analýza ocelového svorníku

6.1 Popis ocelového svorníku

Na následujícím obrázku je zobrazen ocelový svorník.

Obr. č. 6: Ocelový svorník



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Tyto výrobky byly měřeny přímo u stroje okamžitě po výrobě přístroji, které jsou uvedeny v kapitole 5.1. Jedna výrobní dávka tohoto výrobku činila 130 kusů, která byla celá vybrána pro měření. U tohoto výrobku jsou nejdůležitějšími prvky jeho celková délka a šířka závitů. Optimální délka svorníku činí 32 mm, ovšem za správný výrobek se považuje ten, u kterého se délka pohybuje mezi 31,7 mm a 32,3 mm. Délka závitů není tak důležitá, proto se jí tato práce dále nebude zabývat. Šířka závitů se neměří, pouze se slovně ohodnotí jako správný nebo nesprávný. Označení pro hodnocené prvky je následující:

- H... délka svorníku,
- Z1... kratší závit na svorníku,
- Z2... delší závit na svorníku.

6.2 Testování ocelového svorníku

V následujících kapitolách se všechny použité výpočty a grafy prováděly v programech MS Excel a SW Statistica. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 2. V následující tabulce je uvedeno, kolik správných svorníků bylo vyrobeno.

Tab. č. 3: Základní statistické údaje o výrobku

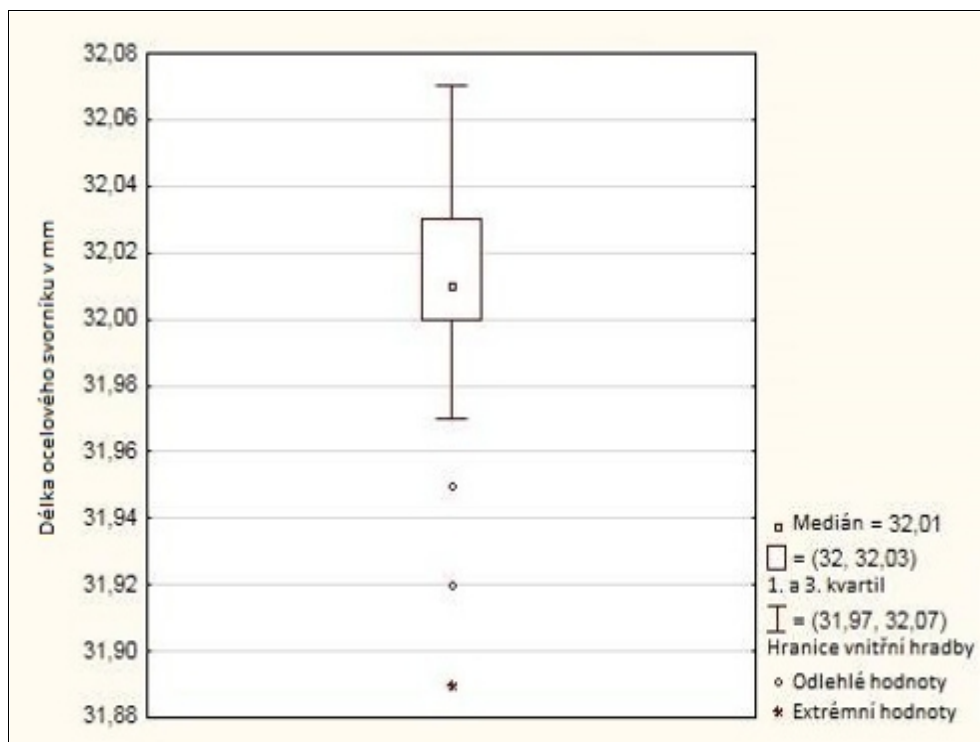
Rozměr	H	Z1	Z2
USL v mm	31,7	-	-
Optimální hodnota v mm	32	-	-
LSL v mm	32,3	-	-
Počet správných výrobků v ks	130	130	130
Průměr hodnot v mm	32,014	-	-
Směrodatná odchylka v mm	0,072	-	-
Min v mm	31,89	-	-
Max v mm	32,07	-	-

Zdroj: vlastní zpracování 2019

6.2.1 Box plot

V první řadě je třeba určit, zda v naměřených hodnotách se vyskytují odlehlé či extrémní hodnoty. Tyto hodnoty je třeba ověřit, zda jsou relevantní a v případě, že nejsou, je třeba je vyřadit. Příčina těchto hodnot může být mimo jiné učiněním hrubé chyby při měření, či zápisem naměřené hodnoty. Z naměřených hodnot se vytvoří následující krabičkový graf neboli box plot.

Obr. č. 7: Box plot ocelového svorníku



Zdroj: Vlastní zpracování s pomocí SW Statistica 2019

Z tohoto grafu je patrné, že v měření se vyskytuje jedna extrémní hodnota a dvě hodnoty odlehlé. Ovšem dle slov pracovníků společnosti, tato extrémní hodnota a jedna z hodnot odlehlých nejsou možné, a tedy s nejvyšší pravděpodobností se jedná o hrubé chyby, které vznikly chybou v měření. Z tohoto důvodu budou tyto dvě hodnoty vyřazeny z dalšího testování.

6.2.2 Shapirův – Wilksův test ověření normality

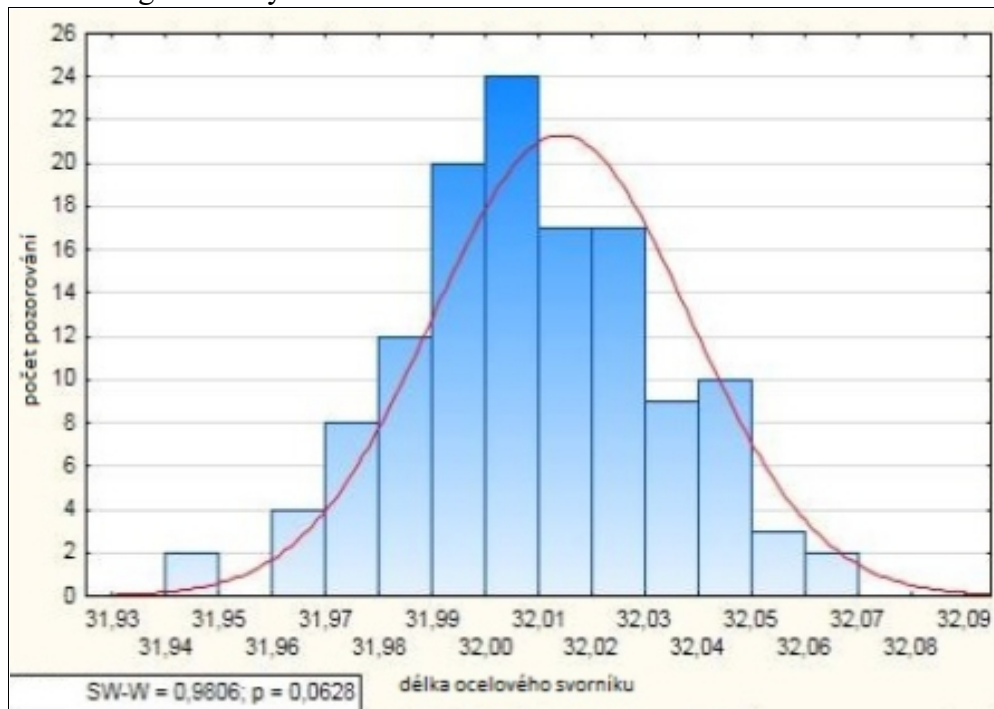
Dalším krokem je ověření normality. Protože všechny indexy způsobilosti, které zde jsou počítány, předpokládají normální rozdělení naměřených hodnot, je tento test nesmírně důležitý a bez něj není možné pokračovat. Pro tento test bude stanovena hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

Definice nulové a alternativní hypotézy

H_0 : Naměřené hodnoty pocházejí z normálního rozdělení

H_1 : Naměřené hodnoty nepocházejí z normálního rozdělení

Obr. č. 8: Histogram délky ocelového svorníku



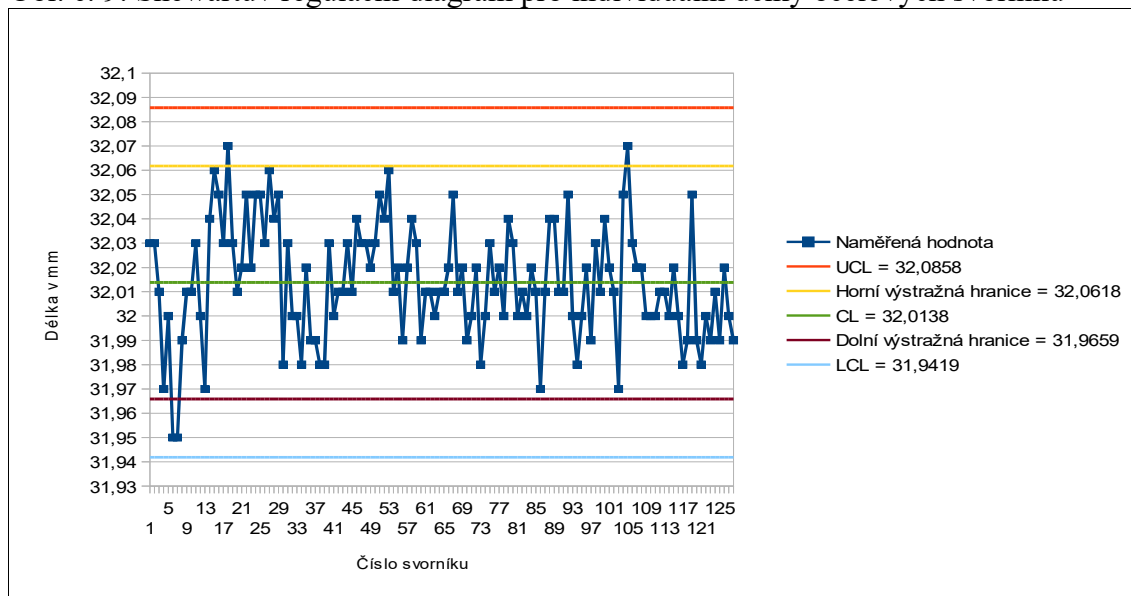
Zdroj: Vlastní zpracování s pomocí SW Statistica 2019

Jelikož výsledkem tohoto testu je p hodnota rovna hodnotě 0,0628, na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nemáme dostatek důvodů k zamítnutí nulové hypotézy. Můžeme tedy předpokládat, že data pocházejí z normálního rozdělení.

6.2.3 Regulační diagram

Pro zhodnocení, zda je proces statistický zvládnutý, budou použity Shewartovy regulační diagramy pro individuální hodnoty a pro klouzavé rozpětí, díky kterým se určí, zda se v procesu vyskytují zvláštní příčiny kolísání.

Obr. č. 9: Shewartův regulační diagram pro individuální délky ocelových svorníků



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Regulační meze v tomto diagramu jsou od centrální přímky CL vzdáleny tři směrodatné odchylky. Výstražné meze jsou ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek.

V tomto diagramu neleží žádná hodnota mimo regulační meze, ovšem hodnoty č. 13 až 29 leží vyjma jedné nad centrální přímkou CL. Toto nenáhodné uskupení bodů bylo způsobeno nevhodnými daty v programu stroje. Operátor však během výroby chybu odhalil a provedl korekci v programu. Kromě tohoto ojedinělého jevu se zde nevyskytuje žádný dlouhodobý rostoucí či klesající trend a hodnoty často mění stranu od centrální přímky. Mezi výstražnými mezemi a regulačními mezemi se hodnoty vyskytují pouze zřídka. Následující tabulka ukazuje, kolik výrobků se vyskytuje v každé třetině diagramu.

Tab. č. 4: Rozložení výrobků v regulačním diagramu

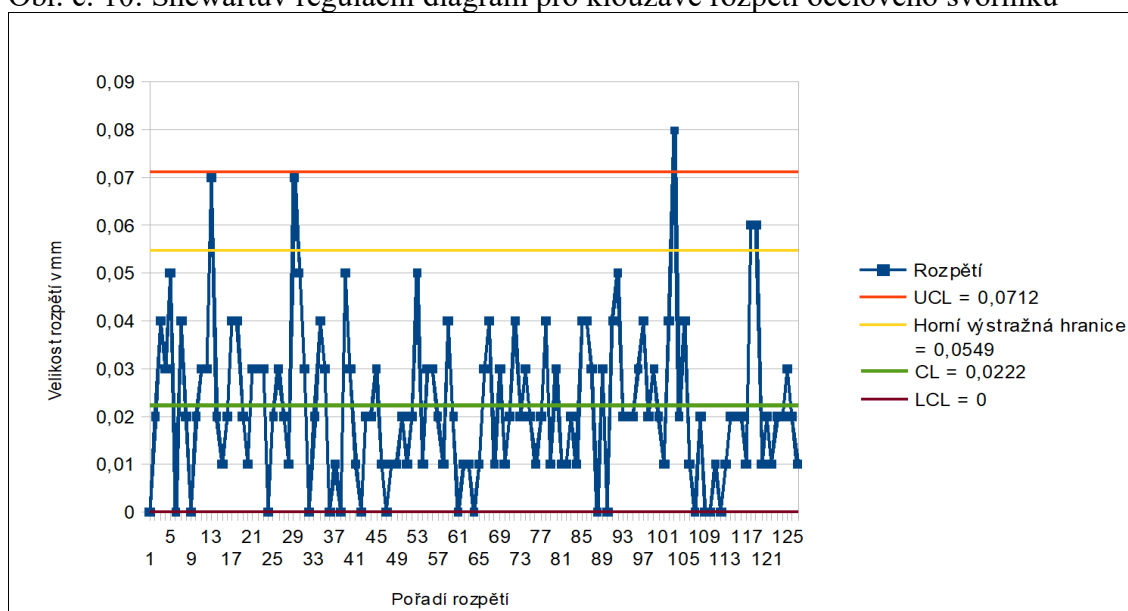
	Interval	Počet výrobků	Podíl výrobků
Horní třetina	>32,038	24	18,75%
Prostřední třetina	<31,989 32,038>	90	70,31%

Dolní třetina	<31,989	14	10,94%
----------------------	---------	----	--------

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

V ideálním regulačním diagramu leží $2/3$ hodnot v prostřední třetině. Z výše uvedené tabulky vyplývá, že naměřené hodnoty splňují toto pravidlo. Dále je třeba sestavit diagram pro klouzavé rozpětí. Tento diagram se nachází na obrázku č. 10.

Obr. č. 10: Shewartův regulační diagram pro klouzavé rozpětí ocelového svorníku



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

V tomto diagramu jsou dolní regulační mez i dolní výstražná mez rovny nule. Z tohoto důvodu dolní regulační mez zde není zanesena. Horní regulační mez je ve vzdálenosti tří směrodatných odchylek od centrální přímky. Horní výstražná mez je ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek od centrální přímky.

Dále se zde vyskytuje jedna hodnota mimo toleranční meze. Tato hodnota může znamenat zvláštní příčinu kolísání. Ovšem vzhledem k tomu, že v diagramu pro individuální hodnoty žádná z hodnot regulační meze nepřekračuje, se zde může jednat o falešný signál. Pro potvrzení by bylo třeba další analýzy.

Mimo tento jeden bod se nad výstražnou mezí hodnoty vyskytují pouze ojediněle. Na základě regulačních diagramů tedy lze prohlásit, že výrobní proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu.

6.2.4 Indexy způsobilosti

U procesu, který pracuje ve statisticky zvládnutém stavu, je dále nutné zjistit jeho způsobilost. Ta se bude hodnotit pomocí různých indexů způsobilosti.

- **Index způsobilosti C_p**

Pro výpočet tohoto indexu byl použit vzorec č. 1.

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{32,3 - 31,7}{6 \times 0,02398} = 4,17$$

Po dosazení hodnot je tento index roven hodnotě 4,17. Tento index by měl dosahovat hodnoty alespoň 1,00, aby se proces alespoň přibližoval způsobilosti. Hodnota 4,17 je velmi vysoká a znamená, že proces je potenciálně schopný udržet se v tolerančních mezích. Ovšem neříká nic o tom, zda tyto meze skutečně dodržuje.

- **Index způsobilosti C_{pk}**

Tento index se počítá podle vzorce č. 2.

$$c_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) = \min\left(\frac{32,3 - 32,0138}{3 \times 0,02398}, \frac{32,0138 - 31,7}{3 \times 0,02398}\right) = 3,98$$

Po výpočtu je tento index roven hodnotě 3,98. Obdobně jako předcházející index, i hodnota tohoto indexu by měla dosahovat alespoň 1,00. Opět hodnota 3,98 je velmi vysoká a značí velmi způsobilý proces. Tento index zohledňuje umístění hodnot v tolerančním poli, proto nejlépe odráží skutečnou způsobilost procesu.

- **Index způsobilosti C_{pm}**

Dle vzorce č. 8 se spočte tento index.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{32,3 - 31,7}{6\sqrt{0,02398^2 + (32,0138 - 32)^2}} = 3,61$$

Hodnota tohoto indexu po výpočtu se rovná hodnotě 3,61. Opět, tato hodnota je velmi vysoká a značí, že tento proces je schopný vyrábět výrobky s optimálními hodnotami.

- **Index způsobilosti C_{pkm}**

Poslední index způsobilosti, který se zde počítá, se vypočte dle vzorce č. 10.

$$C_{pkm} = \min\left\{\frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\}$$

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{32,0138 - 31,7}{3\sqrt{0,02398^2 + (32,0138 - 32)^2}}; \frac{32,3 - 32,0138}{3\sqrt{0,02398^2 + (32,0138 - 32)^2}} \right\} = 3,45$$

Po dosazení do vzorce je tento index roven hodnotě 3,45. Tento index hodnotí shodně jako index C_{pk} , zda se hodnoty skutečně nachází uvnitř tolerančních mezí, k tomu hodnotí i zda hodnoty dosahují optimální hodnoty. Vysoká hodnota tohoto indexu opět značí, že hodnoty, které vycházejí z procesu, jsou uvnitř tolerančních mezí a zároveň proces je schopen vyrábět optimální výrobky.

Následující tabulka ukazuje přehled vypočítaných indexů.

Tab. č. 5: indexy způsobilosti

Název indexu	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pmk}
Hodnota indexu	4,17	3,98	3,61	3,45

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že všechny indexy jsou velmi vysoké, přesahující hodnotu 1,00. Na základě těchto hodnot lze výrobní proces považovat za způsobilý. Výrobní proces je tedy schopný udržet se v požadovaných tolerančních mezích. Nicméně jak je uvedeno v kapitole 3.2.6, je třeba si uvědomit, že vypočtené indexy jsou pouze odhady, které ovlivňuje šířka tolerančního pole. Toto pole je nastaveno na úrovni 0,6 mm a je vzhledem k naměřeným hodnotám velmi široké. Pro potvrzení výsledků indexů je vhodné další testování.

Vypočtený index způsobilosti C_{pk} lze použít pro výpočet pravděpodobnosti, se kterou výrobní proces vyprodukuje neshodný výrobek. Dosazením do vzorce č. 6 je tato pravděpodobnost rovna hodnotě $3,92 \cdot 10^{-31} \%$. Tato pravděpodobnost je tak nízká, že jí lze považovat za nulovou.

6.2.5 Jednovýběrový t-test

Po prokázání způsobilosti procesu zbývá pomocí jednovýběrového t-testu zjistit, zda naměřené hodnoty pocházejí ze základního souboru, u kterého se střední hodnota rovná optimální hodnotě. Tato optimální hodnota pro ocelový svorník je rovna hodnotě 32 mm. Pro tento test bude použita hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

Definice nulové a alternativní hypotézy

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Na následující tabulce je uvedena p hodnota pro vypočtený test normality. Červená hodnota znamená nevyhovující hodnotu.

Tab. č. 6: Výsledky t-testu

Rozměr	Testové kritérium	p hodnota
H	6,52	< 0,000001

Zdroj: Vlastní zpracování s pomocí SW Statistica 2019

Z tabulky č. 6 vyplývá, že p hodnota t-testu je menší než 0,05. To je dostatečný důvod k zamítnutí nulové hypotézy. Naměřené hodnoty tedy nepocházejí ze základního souboru se střední hodnotou 32 mm. Jejich základní soubor má vyšší střední hodnotu, která se statisticky významně odlišuje od optimální hodnoty. Výsledné výrobky jsou tedy odlišné od hodnoty, kterou požaduje zákazník, a je tedy nutné provést opatření v procesu na korekci těchto hodnot.

7 Analýza mosazného víčka

7.1 Popis mosazného víčka

Na následujícím obrázku je zachyceno mosazné víčko ze dvou stran.

Obr. č. 11: Mosazné víčko ze dvou stran



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Tyto výrobky byly měřeny přímo u stroje okamžitě po výrobě přístroji, které jsou uvedeny v kapitole 5.1. Jedna výrobní dávka tohoto výrobku činila 15 kusů, která byla celá vybrána k měření. Aby mosazné víčko bylo označeno jako správný výrobek, hodnotí se u něj šest rozměrů, označených abecedně od A až po F, které jsou všechny shodně důležité. Označení rozměrů je následující:

- A... vnější průměr víčka,
- B... šířka víčka,
- C... vnitřní průměr víčka,
- D... průměr menšího výřezku na víčku,
- E... délka víčka včetně výřezku,
- F... délka víčka bez výřezku.

Po vyhodnocení těchto rozměrů se následně hodnotí oba závity na víčku, které se shodně jako u ocelového svorníku neměří, ale pouze vyhodnotí jako správný či nesprávný. Větší závit uvnitř víčka se označuje jako **Z3** a menší závit na vrchu víčka

jako Z4.

7.2 Testování mosazného víčka

V následujících kapitolách se všechny použité výpočty a grafy prováděly v programech MS Excel a SW Statistica. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 3. V následující tabulce je uvedeno, kolik shodných ocelových víček bylo vytvořeno.

Tab. č. 7: Základní statistické údaje o mosazném víčku

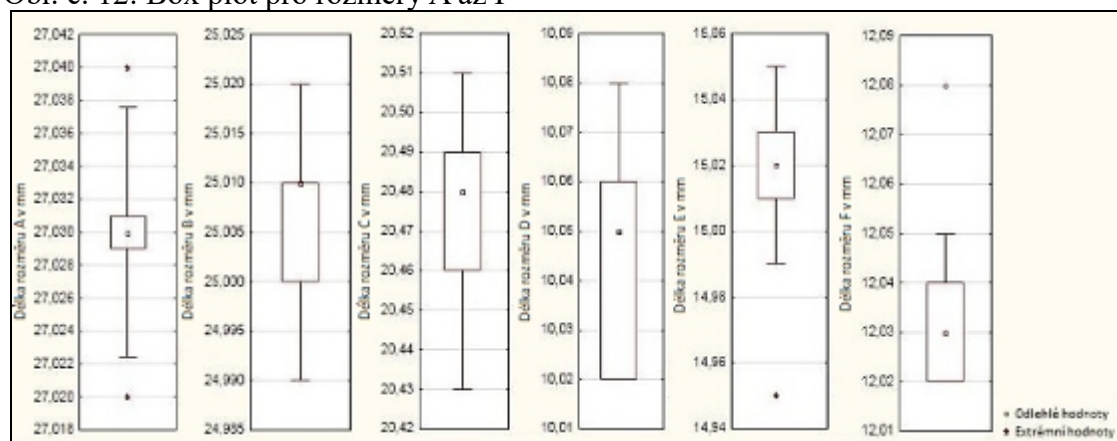
Rozměr	A	B	C	D	E	F	Z3	Z4
USL v mm	26,8	24,8	20,3	9,8	14,8	11,8	-	-
Optimální hodnota v mm	27	25	20,5	10	15	12	-	-
LSL v mm	27,2	25,2	20,7	10,2	15,2	12,2	-	-
Počet správných výrobků v ks	15	15	15	15	15	15	15	15
Počet nesprávných výrobků v ks	0	0	0	0	0	0	0	0
Průměr hodnot v mm	27,030	25,007	20,478	10,044	15,017	12,035	-	-
Směrodatná odchylka hodnot v mm	0,004	0,007	0,022	0,019	0,023	0,016	-	-
Min v mm	27,02	24,99	20,43	10,02	14,95	12,02	-	-
Max v mm	27,04	25,01	20,51	10,08	15,05	12,08	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

7.2.1 Box plot

Stejně jako u prvního výrobku je třeba zjistit pomocí krabičkového grafu, zda se v naměřených hodnotách nenachází odlehlé nebo extrémní hodnoty

Obr. č. 12: Box plot pro rozměry A až F



Zdroj: Vlastní zpracování s pomocí SW Statistica 2019

Z těchto grafů je patrné, že v naměřených hodnotách nachází odlehlé i extrémní hodnoty, ovšem dle slov pracovníka firmy, tyto hodnoty jsou přípustné, proto je nelze vyloučit z dalšího testování.

7.2.2 Test normality

Před dalším testováním je nutné otestovat, zda naměřené hodnoty pocházejí z normálního rozdělení. V následující tabulce jsou výsledky Shapirova Wilksova testu normality pro každý rozměr. Pro tyto testy bude použita hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

Definice nulové a alternativní hypotézy

Nulová a alternativní hypotéza vypadá pro každý rozměr následovně:

H_0 : Naměřené hodnoty pocházejí z normálního rozdělení

H_1 : Naměřené hodnoty nepocházejí z normálního rozdělení

Na následující tabulce jsou uvedeny p hodnoty pro vypočtené testy normality. Červené hodnoty znamenají nevyhovující hodnoty.

Tab. č. 8: Výsledky Shapirova Wilksova testu

Rozměr	p hodnota SW-W testu
A	0,0001
B	0,0062
C	0,7282
D	0,1126
E	0,0049
F	0,0035

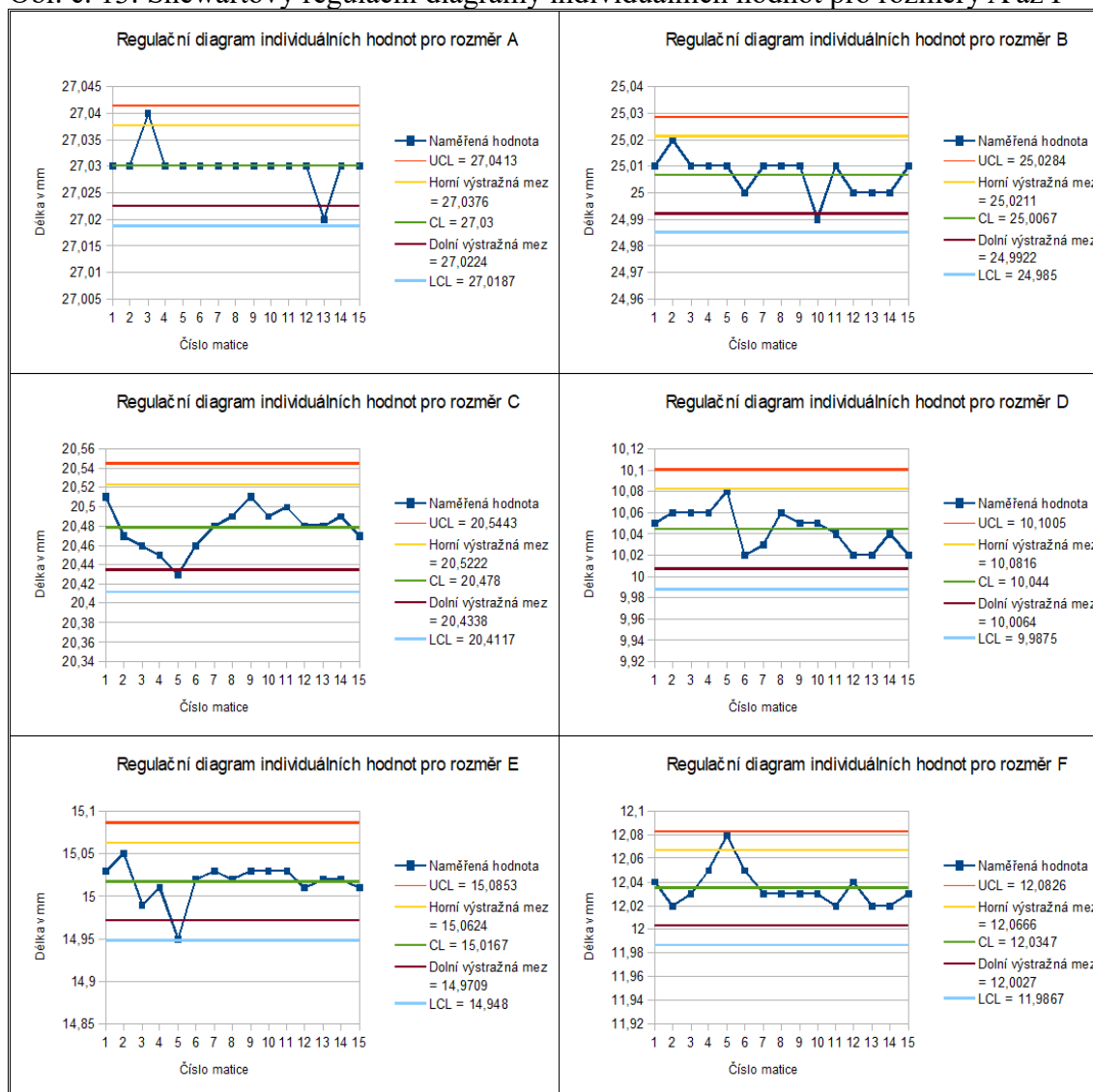
Zdroj: Vlastní zpracování s pomocí SW Statistica 2019

Na základě výsledků testů normality zamítáme nulovou hypotézu pro 4 z 6 rozměrů. Z toho vyplývá, že hodnoty pro tyto čtyři rozměry nesledují normální rozdělení a tedy pro ně není možné spočítat indexy způsobilosti, které jsou citlivé na normalitu dat. Z tohoto důvodu v této práci nebudou počítány. Tyto odchylky od normality byly způsobeny tím, že rozlišitelnost posuvných měřítek použitých k měření těchto hodnot, byla příliš velká. Tím bylo způsobeno, že vzniklo mnoho duplicitních hodnot, které se odchylují od normálního rozdělení.

7.2.3 Regulační diagramy

Většina rozměrů sice nesleduje normální rozdělení, nicméně regulační diagram pro individuální hodnoty pro ně lze vytvořit, protože tento diagram je na normalitu dat nejméně citlivá. Tento diagram byl vytvořen pro každý rozměr a nachází se na následujícím obrázku.

Obr. č. 13: Shewartovy regulační diagramy individuálních hodnot pro rozměry A až F



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Regulační meze v těchto diagramech jsou od centrální přímky CL vzdáleny tři směrodatné odchylky. Výstražné meze jsou ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek.

Z těchto šesti diagramů vyplývá, že žádná z hodnot se nevyskytuje mimo regulační meze. U dvou diagramů se sice jedna hodnota dotýká jedné z mezí, ovšem nepřekračuje ji. Výstražné meze hodnoty překračují pouze výjimečně. V žádném diagramu není výrazně větší počet hodnot na jedné straně centrální přímky než na straně druhé. Není zde ani žádný trend ve stoupání či klesání. Na následující tabulce je uvedeno jak jsou hodnoty rozloženy v jednotlivých třetinách diagramu.

Tab. č. 9: Rozložení výrobků v regulačním diagramu individuálních hodnot

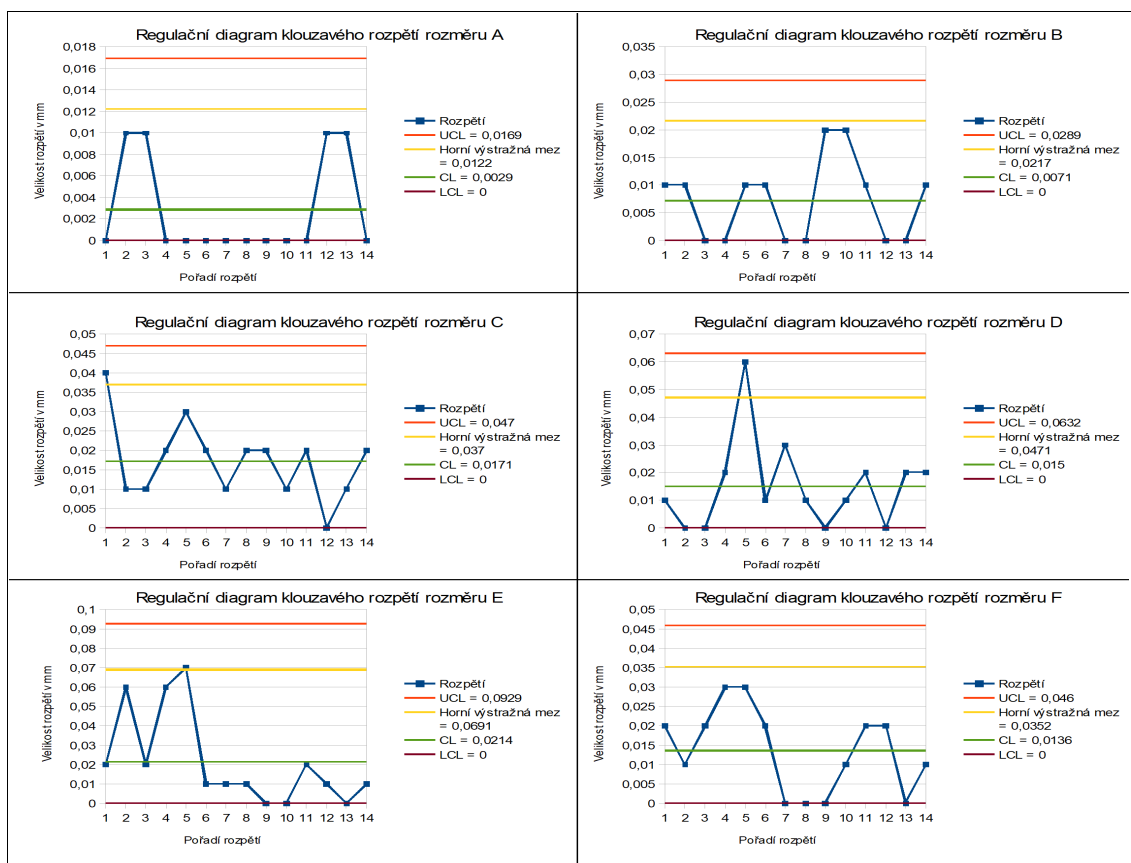
Třetina	A	B	C	D	E	F
Horní třetina	1 (7 %)	1 (7 %)	2 (13 %)	1 (7 %)	1 (7 %)	1 (7 %)
Prostřední třetina	13 (87 %)	13 (87%)	11 (73 %)	10 (67 %)	12 (80 %)	14 (93 %)
Dolní třetina	1 (7 %)	1 (7 %)	2 (13 %)	4 (27 %)	2 (13 %)	0 (0 %)

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Z této tabulky vyplývá, že pravidlo třetin, které říká, že v prostřední přetině leží přibližně dvě třetiny hodnot, tyto hodnoty příliš nedodržují. Toto je způsobeno kombinací dvou faktorů. Nedostatečně přesnými měřicími přístroji a malým počtem měření.

K diagramu individuálních hodnot se tvoří do páru diagram klouzavého rozpětí. Tento diagram je vytvořen pro všechny rozměry na následujícím obrázku.

Obr. č. 14: Shewartovy regulační diagramy klouzavého rozpětí pro rozměry A až F



Zdroj: Vlastní zpracování 2019

V těchto diagramech jsou dolní regulační meze i dolní výstražné meze rovny nule. Z tohoto důvodu dolní regulační meze zde nejsou zaneseny. Horní regulační meze jsou ve vzdálenosti tří směrodatných odchylek od centrálních přímek. Horní výstražné meze jsou ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek od centrálních přímek.

V těchto diagramech jsou dolní regulační meze i dolní výstražná meze rovny nule. Z tohoto důvodu dolní regulační meze zde nejsou zaneseny. Horní regulační meze jsou ve vzdálenosti tří směrodatných odchylek od centrálních přímek. Horní výstražná meze jsou ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek od centrálních přímek.

Ani v těchto diagramech není žádná hodnota mimo toleranční meze a mimo meze výstražné se hodnoty nacházejí vzácně. Na základě diagramů pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí lze tedy prohlásit výrobní proces, který produkuje mosazné matice, za statisticky zvládnutý. Nicméně pro vytvoření kvalitnějšího regulačního diagramu je třeba měřicí zařízení s menší rozlišitelností.

7.2.4 Indexy způsobilosti

Dalším krokem testování výrobního procesu je ověřit, zda je proces způsobilý pomocí indexů způsobilosti. Nicméně tyto indexy jsou citlivé na normalitu dat, a proto tento proces lze testovat pouze na základě dvou rozměrů C a D. Následující tabulka zobrazuje vypočtené indexy způsobilosti pomocí vzorců 1, 2, 6 a 8.

Tab. č. 10: Indexy způsobilosti rozměrů C a D

Název indexu	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pkm}
Hodnota indexu pro rozměr C	3,02	2,68	2,14	1,9
Hodnota indexu pro rozměr D	3,54	2,76	1,39	1,09

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Shodně jako u předchozího výrobku, i zde jsou skoro všechny indexy způsobilosti vysoké, a tím značí způsobilý proces. Pouze indexy C_{pm} a C_{pkm} pro rozměr D se blíží k hodnotě 1,00. Tyto dva indexy hodnotí, do jaké míry naměřené hodnoty dosahují optimální hodnoty. Může zde tedy být důvod se domnívat, že naměřené hodnoty se odchyľují od hodnot optimálních. Toto tvrzení podporuje i vysoký rozdíl mezi indexy C_p a C_{pk} . Hodnotu 1,00 však žádný index nepřekračuje, a tedy na základě uvedených dat lze proces prohlásit za způsobilý. Ovšem jako u předchozího výrobku, i tyto indexy jsou pouze odhady a pro potvrzení výsledků je třeba dalších testů.

Výše vypočtený index C_{pk} lze dosadit do vzorce č. 6 a vypočítat tím pravděpodobnost neshodného výrobku. Po výpočtu je tato pravděpodobnost rovna hodnotě $4,04 * 10^{-14} \%$ pro rozměr C a $5,76 * 10^{-015} \%$ pro rozměr D. To znamená, že tuto pravděpodobnost lze považovat za nulovou.

7.2.5 Jednovýběrový t-test

Jednovýběrový t-test je použit, zda rozměry C a D pocházejí ze základních souborů se středními hodnotami rovnajícími se optimálním hodnotám pro tyto rozměry. Ostatní rozměry budou testovány v následující kapitole jiným testem, protože t-test má výchozí podmínku normalitu dat. Pro tento test bude použita hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

Definice nulové a alternativní hypotézy

Nulová a alternativní hypotéza vypadá pro každý rozměr následovně:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

V následující tabulce jsou uvedena testová kritéria a p hodnoty pro oba provedené t-testy. Červené hodnoty znamenají nevyhovující hodnoty.

Tab. č. 11: Výsledky t-testů pro rozměry C a D

Rozměr	Testové kritérium	p hodnota
C	-3,85	0,001751
D	9,05	< 0,000001

Zdroj: Vlastní zpracování s pomocí SW Statistica 2019

Výsledkem provedených t-testů jsou dvě p hodnoty, které jsou menší než 0,05. Z tohoto důvodu zamítáme obě nulové hypotézy. Oba rozměry C a D tedy pochází ze základních souborů se statisticky významně odlišnými středními hodnotami od optimálních hodnot.

7.2.6 Mediánový test

Protože naměřené hodnoty pro rozměry A, B, E a F nesplňují normální rozdělení, není možné tyto rozměry použít pro výpočet t-testu. Pro testování těchto rozměrů je třeba použít mediánový test, který na normalitu dat není citlivý. Jak vyplývá z názvu tohoto testu, výpočty se týkají mediánů a nikoliv průměrů. Tyto rozměry budou testovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Definice nulové a alternativní hypotézy

Nulová a alternativní hypotéza vypadá pro každý rozměr následovně:

$$H_0: M = M_0$$

$$H_1: M \neq M_0$$

V následující tabulce jsou zanesena testová kritéria a p hodnoty pro zbylé čtyři rozměry vypočtené pomocí mediánového testu. Červené hodnoty znamenají nevyhovující hodnoty.

Tab. č. 12: Výsledky mediánového testu

Rozměr	Testové kritérium	p hodnota
A	3,41	0,00006
B	2,45	0,01172
E	2,44	0,00739
F	3,41	0,00006

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Jak je zaneseno na tabulce č. 12 i zde jsou p hodnoty nižší než hladina významnosti α . Z tohoto důvodu zamítáme všechny čtyři nulové hypotézy. Na základě těchto testů je tedy prokázáno, že i rozměry A, B, E a F pochází z jiných základních souborů s mediánem odlišným od optimální hodnoty.

8 Shrnutí a doporučení

Výrobní proces společnosti Tůma aerospace s.r.o. byl v této práci zhodnocen pomocí dvou náhodně vybraných výrobků. Výsledky různých statistických testů aplikovaných na oba výrobky se jednoznačně shodují. Regulační diagramy, na obrázku č. 9, 10, 13 a 14 říkají, že výrobní proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu. Následně vypočtené indexy způsobilosti potvrzují, že výrobní proces společnosti je způsobilý. Je tedy schopný splnit přání zákazníků a udržet se v tolerančních mezích. Z tabulky č. 1 se tedy tento proces nachází v případě č. 1. Jedná se o ideální situaci, kdy se v procesu nevyskytují zvláštní příčiny kolísání a příčiny náhodné se pohybují v tolerančním poli. K udržení tohoto stavu je třeba častá kontrola a údržba strojů, které jsou součástí tohoto procesu.

Nicméně všechny provedené testy na střední hodnoty naznačují, že průměry všech měřených rozměrů se neshodují s optimálními hodnotami. Střední hodnoty šesti z celkových sedmi sledovaných znaků jsou větší než jejich optimální hodnoty a jeden je menší. Z toho vyplývá, že ačkoliv proces je statisticky zvládnutý a způsobilý, výrobky, které vyrábí, nejsou optimální, ale stále leží v tolerančním poli. Tento rozdíl tedy na výsledném hodnocení výrobků nemá žádný vliv, ovšem nelze ho zanedbat. Tyto neshody pramení z nevhodných dat v programu výrobního procesu. Tato data zadávají zaměstnanci do programu manuálně, a tedy korekci dat ze strany zaměstnanců by se této odchylce mohlo zcela předejít. Kvalifikovaní zaměstnanci, kteří dbají zvýšené pozornosti zadávaným hodnotám, budou vyrábět ve shodném výrobním procesu kvalitnější výrobky.

Jak je patrné z obr. č. 13, především z regulačního diagramu pro rozměr A, rozlišitelnost posuvných měříttek není optimální pro měření těchto rozměrů. Pro kvalitnější data by bylo vhodné použít přesnější měřicí zařízení, tím by bylo možné lépe dosáhnout normality dat, a tedy umožnit výpočet indexů způsobilosti pro rozměry, u kterých není prokázána normalita dat. Pro současné měřicí přístroje by bylo vhodné provádět pravidelnou kalibraci, aby byla zaručena přesnost jejich měření.

K dlouhodobému zajištění kvalitního procesu je třeba provádět regulaci procesu opakovaně a dlouhodobě. Tím se docílí plného potenciálu statistické regulace výrobního procesu a zajistí se tím prvotřídní výrobky, nižších nákladů na jeden výrobek a vyšší

reálnou způsobilost.

8.1 Návrh na změnu tolerančních mezí

Je zde také důvod se domnívat, že toleranční meze jsou od sebe až příliš vzdálené, protože vypočtené indexy C_p přesahují hodnotu 2,00. Tyto vysoké hodnoty mohou mít dvě příčiny. Proces je až příliš zaměřený na přesnost nebo toleranční meze jsou nastaveny příliš daleko od sebe. Jedná-li se o první případ, bylo by vhodné snížit přesnost např. tím, že se sníží čas, který proces věnuje každému výrobku. Tím se docílí zrychlení výrobního procesu a sníží se náklady na každý výrobek. V druhém případě, kdy vysoké hodnoty indexu C_p způsobují příliš široké toleranční meze, by bylo vhodné jejich snížení. Strategie Six Sigma, která v praxi udává nejširší meze, které jsou vzdáleny šest směrodatných odchylek od optimální hodnoty, bude mít hodnotu indexu C_p na úrovni 2,00. Jestliže firma sníží šířku svého tolerančního pole na úroveň šesti směrodatných odchylek od optimální hodnoty, budou toleranční meze vypadat tak, jak je zobrazeno na následující tabulce. Tato tabulka zachycuje změnu tolerance délky ocelového svorníku.

Tab. č. 13: Změna tolerančních mezí pro ocelový svorník

Délka ocelového svorníku	Toleranční meze v mm		Vzdálenosti tolerančních mezí	
	LSL	USL	V mm	Ve směrodatných odchylkách
Před změnou	31,7	32,3	0,6	25,02
Po změně	31,86	32,14	0,29	12

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Tyto nové toleranční meze dávají základy pro nové výpočty indexů způsobilosti, které jsou uvedené v následující tabulce.

Tab. č. 14: Změna indexů způsobilosti pro ocelový svorník

Název indexu	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pkm}
Hodnota indexu před změnou	4,17	3,98	3,61	3,45
Hodnota indexu po změně	2	1,81	1,73	1,57

Zdroj: Vlastní zpracování 2019

Tato změna nemá žádný vliv na statistický stav, který je stále vyhodnocen jako zvládnutý, a indexy způsobilosti stále vykazují vysoké hodnoty, které značí způsobilý proces. I po zúžení tolerančního pole o více než polovinu není žádný výrobek označený jako nesprávný. Pravděpodobnost neshodného výrobku se změnila na hodnotu $2,93 \cdot 10^{-6} \%$, což značí jeden nesprávný výrobek z přibližně 35 000 000 všech výrobků, a tedy lze jí považovat za nulovou. Na výsledky výrobního procesu tedy tato změna nemá žádný vliv, avšak tím že budou přísněji hodnoceny výrobky, bude výrobní proces schopen uspokojit i náročnější zákazníky.

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce je vyhodnotit kvalitu výrobního procesu ve vybraném podniku a navrhnout případná doporučení pro zvýšení úrovně kvality.

Pro splnění tohoto cíle je třeba vymezení vhodných nástrojů a ukazatelů analýzy kvality výrobního procesu. Tento dílčí cíl je zpracován v teoretické části práce. Tato část ve čtyřech kapitolách nejdříve vymezuje základní pojmy z oblasti kvality výroby, na základě kterých následně vymezuje vhodné nástroje a ukazatele. Další dílčí cíl je charakteristika vybraného podnikatelského subjektu a vybraných výrobků. Charakteristika podniku se nachází v kapitole č. 5. Charakteristika vybraných výrobků se nachází v kapitolách šest a sedm. V těchto kapitolách se také nachází analýza a hodnocení kvality. Poslední dílčí cíl je na základě vyhodnocení kvality definovat návrhy na zlepšení kvality výrobního procesu. Tomuto cíli se věnuje kapitola osm.

Na základě provedených výpočtů je zjištěno, že výrobní proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu a je způsobilý plnit přání zákazníků. Ovšem výrobky se často odchyľují od optimálních hodnot. Proto je firmě doporučeno věnovat zvýšenou pozornost datům v programu stroje. Tím se docílí plného potenciálu statistické regulace výrobního procesu a zajistí se tím prvotřídní výrobky, nižších nákladů na jeden výrobek a vyšší reálnou způsobilost. Dále má firma příliš široké pole pro správné výrobky. Zúžením tohoto pole budou na tyto výrobky kladeny vyšší nároky, díky kterým bude firma schopna uspokojit náročnější zákazníky.

Jelikož společnost nedisponuje žádným SW pro vyhodnocování kvality, jeho zakoupením by měla výrobní proces neustále pod dozorem. Tím by se snížil čas mezi výskytem vady a opatřením a tedy by se snížil počet výrobků ovlivněných touto vadou. Jestliže firma chce vyrábět kvalitní výrobky s minimální zmetkovitostí, musí neustále sledovat a zlepšovat svůj výrobní proces. K tomu jí dopomůže statistická regulace procesu, která nejen zajistí kvalitní výrobky, ale v konečném důsledku i sníží náklady na výrobu a zajistí spokojené zákazníky.

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Histogramy náhodného rozdělení.....	10
Obr. č. 2: Histogram.....	23
Obr. č. 3: Regulační diagram.....	25
Obr. č. 4: Logo společnosti.....	32
Obr. č. 5: Posuvná měřítka.....	34
Obr. č. 6: Ocelový svorník.....	35
Obr. č. 7: Box plot ocelového svorníku.....	36
Obr. č. 8: Histogram délky ocelového svorníku.....	37
Obr. č. 9: Shewartův regulační diagram pro individuální délky ocelových svorníků.....	38
Obr. č. 10: Shewartův regulační diagram pro klouzavé rozpětí ocelového svorníku.....	39
Obr. č. 11: Mosazné víčko ze dvou stran.....	43
Obr. č. 12: Box plot pro rozměry A až F.....	44
Obr. č. 13: Shewartovy regulační diagramy individuálních hodnot pro rozměry A až F.....	46
Obr. č. 14: Shewartovy regulační diagramy klouzavého rozpětí pro rozměry A až F.....	47

Seznam tabulek

Tab. č. 1: Případy statistické regulace a způsobilosti.....	22
Tab. č. 2: Údaje o společnosti.....	32
Tab. č. 3: Základní statistické údaje o výrobku.....	36
Tab. č. 4: Rozložení výrobků v regulačním diagramu.....	38
Tab. č. 5: indexy způsobilosti.....	41
Tab. č. 6: Výsledky t-testu.....	42
Tab. č. 7: Základní statistické údaje o mosazném víčku.....	44
Tab. č. 8: Výsledky Shapirova Wilksova testu.....	45
Tab. č. 9: Rozložení výrobků v regulačním diagramu individuálních hodnot.....	47
Tab. č. 10: Indexy způsobilosti rozměrů C a D.....	48
Tab. č. 11: Výsledky t-testů pro rozměry C a D.....	49
Tab. č. 12: Výsledky mediánového testu.....	50
Tab. č. 13: Změna tolerančních mezí pro ocelový svorník.....	52
Tab. č. 14: Změna indexů způsobilosti pro ocelový svorník.....	52

Seznam použitých zkratk

α	hladina významnosti
σ	směrodatná odchylka
σ_j	směrodatná odchylka v j-té podskupině
$\bar{\sigma}$	průměrná směrodatná odchylka
μ	průměr výběrového souboru
μ_0	střední hodnota základního souboru
Φ	distribuční funkce normovaného normálního rozdělení
ad.	a další
aj.	a jiné
apod.	a podobně
CL	centrální přímka
cm	centimetr
CNC	Computer Numerical Control
C_p	index způsobilosti
C_{pk}	index způsobilosti
C_{pm}	index způsobilosti
C_{pm}^*	index způsobilosti
C_{pmk}	index způsobilosti
$F(x)$	distribuční funkce
H_0	nulová hypotéza
H_1	alternativní hypotéza
j	číslo podskupiny
k	počet podskupin
K	klouzavé rozpětí
\bar{K}	průměrné klouzavé rozpětí
LCL	dolní regulační mez
LSL	dolní toleranční mez
M	medián naměřených hodnot
M_0	medián základního souboru

\bar{M}	průměrný medián
m^2	metr čtvereční
min	minimum
mm	milimetr
n	velikost podskupiny
např.	například
$P(x)$	pravděpodobnostní funkce
R	Rozpětí
\bar{R}	Průměrné rozpětí
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
T	optimální hodnota
tzv.	takzvaně
UCL	horní regulační mez
USL	horní toleranční mez
\bar{x}	průměr sledovaného znaku
X_{ij}	hodnota v j-té podskupině
\bar{X}	Průměr v podskupině
\bar{X}_j	průměr v j-té podskupině
$\bar{\bar{X}}$	Průměr z průměrů podskupin

Seznam použité literatury

Monografie

BASL, Josef, GLASL, Vít a TŮMA, Miroslav. *Modelování a optimalizace podnikových procesů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. 140 s. ISBN 80-7082-936-2.

Česká společnost pro jakost. *Statistická regulace procesů (SPC): Příručka*. 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. XII, 216 s. ISBN 80-02-01810-9.

FREHR, Hans-Ulrich. *Total Quality Management: zlepšení kvality podnikání*. 1. vyd. Brno: UNIS, 1995. 258 s. ISBN 3-446-17135-5.

HŮLOVÁ, Marie a JAROŠOVÁ, Eva. *Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti*. 3. vyd. Praha: Oeconomica, 2007. 119 s. ISBN 80-245-0691-2.

JANEČEK, Zdeněk. *Management jakosti*. 2. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2007. ii, 143 s. ISBN 978-80-7043-621-9.

JANEČEK, Zdeněk. *Zajišťování jakosti*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2001. 94 s. ISBN 80-7082-807-2.

JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

NENADÁL, Jaroslav et al. *Moderní systémy řízení jakosti: quality management*. Vyd. 2., dopl. Praha: Management Press, 2002. 282 s. ISBN 80-7261-071-6.

TOŠENOVSKÝ, Josef a NASKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.

Internetový odkaz

CHMELÍK, Václav a TONAR, Jiří. *Výpočet koeficientů regulačních diagramů pro obecné riziko* [online]. [cit. 14.04.2019]. Dostupné z: https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/2006/06_-_13_-_Shewhartovy_koeficienty.pdf

Podnikatel.cz - největší server pro podnikatele v ČR [online]. Copyright © 2007 [cit. 12.04.2019]. Dostupné z: <https://www.podnikatel.cz/rejstrik/tuma-aerospace-s-r-o-26413264/?fbclid=IwAR2MJ7j07RIFiHV6SDIwWn470PMzqPYQbwvfjrpEKgQxnRWPEf>

TlwYllnFw

Tůma aerospace s.r.o. [online]. © Všechna práva vyhrazena Tůma aerospace [cit. 12.03.2019]. Dostupné z: <https://www.tuma-aerospace.cz/>

Veřejný rejstřík a Sbírka listin. [online]. Ministerstvo spravedlnosti České republiky © 2012-2015 [cit. 12.03.2019]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=183200&typ=PLATNY>

Veřejný rejstřík a Sbírka listin. [online]. Ministerstvo spravedlnosti České republiky © 2012-2015 [cit. 3. 4. 2019]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=53712108&subjektId=183200&spis=489620>

Seznam příloh

Příloha A: Tabulkové hodnoty součinitelů použitých pro výpočty tolerančních mezí

Příloha B: Naměřené délky ocelových svorníků

Příloha C: Naměřené délky mosazných víček

Příloha A: Tabulkové hodnoty součinitelů použitých pro výpočty tolerančních mezí

Rozsah podskupiny	A₂	D₃	D₄	A₃	B₃	B₄
2	1,880	-	3,267	2,659	-	3,267
3	1,023	-	2,574	1,954	-	2,568
4	0,729	-	2,282	1,628	-	2,266
5	0,577	-	2,114	1,427	-	2,089
6	0,483	-	2,004	1,287	0,030	1,970
7	0,419	0,076	1,924	1,182	0,118	1,882
8	0,373	0,136	1,864	1,099	0,185	1,815
9	0,337	0,184	1,816	1,032	0,239	1,761
10	0,308	0,223	1,777	0,975	0,284	1,716
11	0,285	0,256	1,740	0,927	0,321	1,646
12	0,266	0,283	1,717	0,886	0,354	1,618
13	0,249	0,307	1,693	0,850	0,382	1,594
14	0,235	0,328	1,672	0,817	0,406	1,572
15	0,223	0,347	1,653	0,789	0,428	1,552
16	0,212	0,363	1,637	0,763	0,448	1,534
17	0,203	0,378	1,622	0,739	0,466	1,518
18	0,194	0,391	1,608	0,718	0,482	1,503
19	0,187	0,403	1,597	0,698	0,497	1,490
20	0,180	0,415	1,585	0,680	0,510	1,477
21	0,173	0,425	1,575	0,663	0,523	1,466
22	0,167	0,434	1,566	0,647	0,534	1,455
23	0,162	0,443	1,557	0,633	0,545	1,445
24	0,157	0,451	1,548	0,619	0,555	1,445
25	0,153	0,459	1,541	0,606	0,565	1,435

Příloha B: Naměřené délky ocelových svorníků v mm

32,03	32,00	32,05	31,98	32,05
32,03	31,97	32,03	31,98	32,04
32,01	32,04	32,06	32,03	32,06
31,97	32,06	32,04	32,00	32,01
31,89	32,05	32,05	32,01	32,02
32,00	32,03	31,98	32,01	31,99
31,95	32,07	32,03	32,03	32,02
31,92	32,03	32,00	32,01	32,04
31,95	32,01	32,00	32,04	32,03
31,99	32,02	31,98	32,03	31,99
32,01	32,05	32,02	32,03	32,01
32,01	32,02	31,99	32,02	32,01
32,03	32,05	31,99	32,03	32,00
32,01	32,02	32,01	31,97	32,00
32,01	32,00	32,01	32,05	31,98
32,02	32,04	32,05	32,07	31,99
32,05	32,03	32,00	32,03	32,05
32,01	32,00	31,98	32,02	31,99
32,02	32,01	32,00	32,02	31,98
31,99	32,00	32,02	32,00	32,00
32,00	32,02	31,99	32,00	31,99
32,02	32,01	32,03	32,00	32,01
31,98	31,97	32,01	32,01	31,99
32,00	32,01	32,04	32,01	32,02
32,03	32,04	32,02	32,00	32,00
32,01	32,04	32,01	32,02	31,99

Příloha C: Naměřené rozměry mosazného víčka v mm

A	B	C	D	E	F
27,03	25,01	20,51	10,05	15,03	12,04
27,03	25,02	20,47	10,06	15,05	12,02
27,04	25,01	20,46	10,06	14,99	12,03
27,03	25,01	20,45	10,06	15,01	12,05
27,03	25,01	20,43	10,08	14,95	12,08
27,03	25	20,46	10,02	15,02	12,05
27,03	25,01	20,48	10,03	15,03	12,03
27,03	25,01	20,49	10,06	15,02	12,03
27,03	25,01	20,51	10,05	15,03	12,03
27,03	24,99	20,49	10,05	15,03	12,03
27,03	25,01	20,5	10,04	15,03	12,02
27,03	25	20,48	10,02	15,01	12,04
27,02	25	20,48	10,02	15,02	12,02
27,03	25	20,49	10,04	15,02	12,02
27,03	25,01	20,47	10,02	15,01	12,03

Abstrakt

KENDÍK, Ondřej. *Statistická regulace kvality výrobního procesu*. Plzeň, 2019. 61 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta ekonomická.

Klíčová slova: kvalita, regulační diagram, statistická regulace, statistické testování, výrobní proces, způsobilost.

Předložená práce je zaměřena na regulaci výrobního procesu, jelikož se stále rostoucími nároky na kvalitní výrobky je kladen stále větší důraz na bezchybný výrobní proces. Cílem práce je vyhodnotit kvalitu výrobního procesu ve vybraném podniku a navrhnout případná doporučení pro zvýšení úrovně kvality. V osmi kapitolách rozebírá nejdříve základní pojmy a nástroje z oblasti statistické regulace procesu, a následně je aplikuje na výrobní proces. Na základě provedeného výzkumu jsou vybrané společnosti předloženy návrhy na vylepšení jejich výrobního procesu. Zaměstnancům firmy je doporučeno pečlivěji kontrolovat data v programu výrobního procesu a pro kontrolu výrobků používat lepší měřicí zařízení. K dosažení plného potenciálu statistické regulace procesu by jí firma měla provádět pravidelně a dlouhodobě, a tím si zajistit prvotřídní výrobky.

Abstract

KENDÍK, Ondřej. *Statistical Regulation of the Quality of the Production Process*. Plzeň, 2019. 61 p. Bachelor Thesis. University of West Bohemia. Faculty of Economics.

Key words: quality, control diagram, statistical control, statistical testing, production process, capability

The presented work is focused on the regulation of the production process, as the ever-increasing demands on quality products requires a flawless production process. The aim of the thesis is to evaluate the quality of the production process in the selected company and propose possible recommendations for increasing the quality level. In eight chapters is discussed the basic concepts and tools of statistical process control which are applied to the manufacturing process. Based on the conducted research, selected company is presented with suggestions to improve their production process. Company employees are advised to check the data in the production process program more carefully and use better measuring equipment to check products. In order to achieve the full potential of statistical process control it should be performed by the company on a regular and long-term basis, thereby securing first-class products.