

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu,
logistiky a kvality

STATISTICKÉ METODY V MANAGEMENTU KVALITY

Bakalářská práce

Václav SVOBODA

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



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Václav Svoboda**
Studijní program: Ekonomika a management
Obor: Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

Název tématu: **Statistické metody používané v systému managementu kvality**

Cíl:

Rámcový obsah:

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2021

L. S.

Elektronicky schváleno dne 28. 4. 2021

Václav Svoboda

Autor práce

Elektronicky schváleno dne 28. 4. 2021

doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 28. 4. 2021

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Garant studijního oboru

Elektronicky schváleno dne 28. 4. 2021

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 29. 6. 2021

Děkuji doc. Ing. Evě Jarošové, CSc. za odborné vedení závěrečné práce.

Obsah

Úvod	7
1 Teoretická východiska	8
1.1 Management kvality v automobilovém průmyslu	8
1.2 Statistická regulace procesu.....	9
1.3 Regulační diagramy	11
1.3.1 Regulační diagramy při kontrole měření	12
1.3.2 Regulační diagramy při kontrole srovnáváním.....	15
1.4 Způsobilost procesu	19
2 Analýza současného stavu	22
2.1 Představení vybrané společnosti.....	22
2.2 Kovová výroba.....	22
2.3 Plastová výroba.....	25
3 Návrhy řešení a jejich aplikace	27
3.1 Řešení kovové části výroby.....	27
3.2 Řešení plastové části výroby.....	28
Závěr	30
Seznam literatury	31
Seznam obrázků a tabulek	32
Seznam příloh	33

Seznam použitých zkratk a symbolů

IATF International Automotive Task Force

ISO International Organization for Standardization

PPM Parts per Million

SPC Statistical Process Control

TQM Total Quality Management

Úvod

Tato práce se věnuje statistickým metodám používaných v managementu kvality. Ty jsou v určité míře zahrnuty ve všech výrobních společnostech. Jejich správné využití však vede k efektivnějšímu řízení procesů a jejich neustálému zlepšování. Dále je možné omezit náklady na zdroje společnosti, například předcházením vzniku neshodných výrobků.

Cílem práce je shrnutí statistických metod, které jsou používány v systému managementu kvality a následná aplikace těchto vědomostí k optimalizaci metod, jež jsou používány ve společnosti TI Group Automotive Systems s.r.o., Nepřevázka. Očekávaným výstupem je tedy kromě samotné teoretické části i rozbor současných metod a návrhy ke zlepšení ve výše popsané společnosti.

V první části se práce zabývá statistickými metodami, které lze v rámci managementu kvality použít ve výrobní společnosti. V další kapitole je analyzován současný stav využití těchto metod. Následuje návrh vlastních řešení autora, kterými lze dané systémy a procesy zefektivnit.

1 Teoretická východiska

Obsahem této kapitoly jsou teoretická východiska, pomocí kterých bude následně možno analyzovat současný stav využití statistických metod v managementu kvality vybrané společnosti a navrhnout vhodná řešení pro zlepšení. První část se bude věnovat definici managementu kvality a specifikům řízení kvality v automobilovém průmyslu. Následovat bude představení jednotlivých statistických metod, které lze využít pro efektivnější řízení kvality v organizaci.

1.1 Management kvality v automobilovém průmyslu

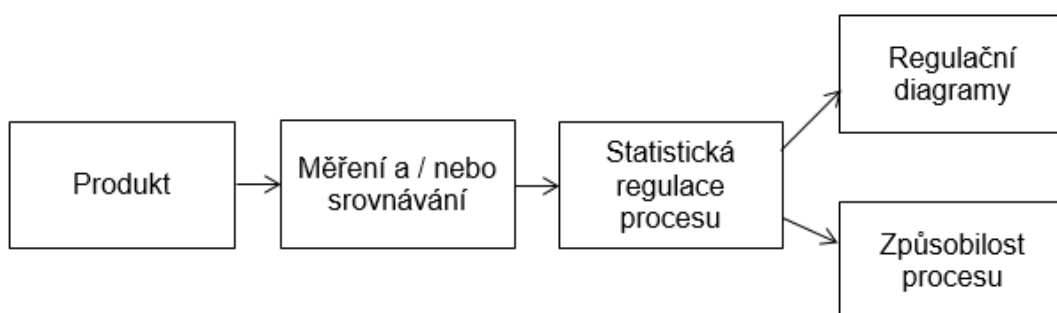
Pro pochopení významu spojení management kvality je možné citovat normu ISO 9000:2015, ve které je definován jako „management týkající se kvality,“ (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, str. 24) kde kvalita je „stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik“ (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, str. 30). Podrobnější vysvětlení tohoto pojmu však lze nalézt v knize Masao Umeda (1993), podle kterého je management kvality tou částí celopodnikového řízení, která zajišťuje co největší spokojenost a loajalitu zákazníků co nejefektivnějším způsobem. Pro každou organizaci je proto výhodné implementovat zásady managementu kvality do svých struktur, neboť to vede k jejímu efektivnějšímu chodu.

Pro samotné budování, udržování a rozvoj managementu kvality existují tři základní koncepce (Nenadál, 2016):

- koncepce ISO,
- koncepce odvětvových standardů,
- koncepce TQM (Total Quality Management).

Specifikem managementu kvality v automobilovém průmyslu je kombinace těchto koncepcí, kdy celý dodavatelský řetězec v automobilovém průmyslu musí od září 2018 dodržovat standardy normy IATF 16949 (Nenadál, 2018). Tato norma je vydaná Mezinárodní pracovní skupinou pro automobilový průmysl a rozšiřuje požadavky na systém managementu kvality definované normou ISO 9001:2015.

Z hlediska používání statistických metod je v těchto normách kladen důraz především na shodnost výsledného produktu s požadavky zákazníka. „Organizace musí zajistit shodu všech produktů a procesů, včetně náhradních dílů a dílů zajišťovaných externě, se všemi příslušnými požadavky zákazníka“ (Česká společnost pro jakost, 2016, str. 33). Propojení tohoto požadavku se statistickými metodami, kterými lze jeho naplnění zefektivnit, je znázorněno na Obr. 1. Těmto metodám se poté práce podrobně věnuje v následujících kapitolách.



Obrázek 1 - Schéma statistických metod potřebných k naplnění požadavků zákazníků a norem

1.2 Statistická regulace procesu

Statistická regulace procesu (Statistical Process Control – SPC) je statistická metoda, které monitoruje průběh procesu pomocí bezprostřední, pravidelné a průběžné výběrové kontroly kvality. V případě správné regulace vyvolává podněty k zásahům do procesu za účelem jeho zlepšení, a dokonce lze nevyhovující kvalitě i předcházet (Jarošová, Noskiewičová, 2015).

Podle Mitry (2016) zahrnuje SPC porovnání výstupu z procesu s předepsanými standardy a provedení okamžité reakce v případě neshody. Zároveň je možné odhadnout, zda je proces schopen vyrábět produkty v předepsané kvalitě.

Cílem SPC tedy je (Jarošová, Noskiewičová, 2015):

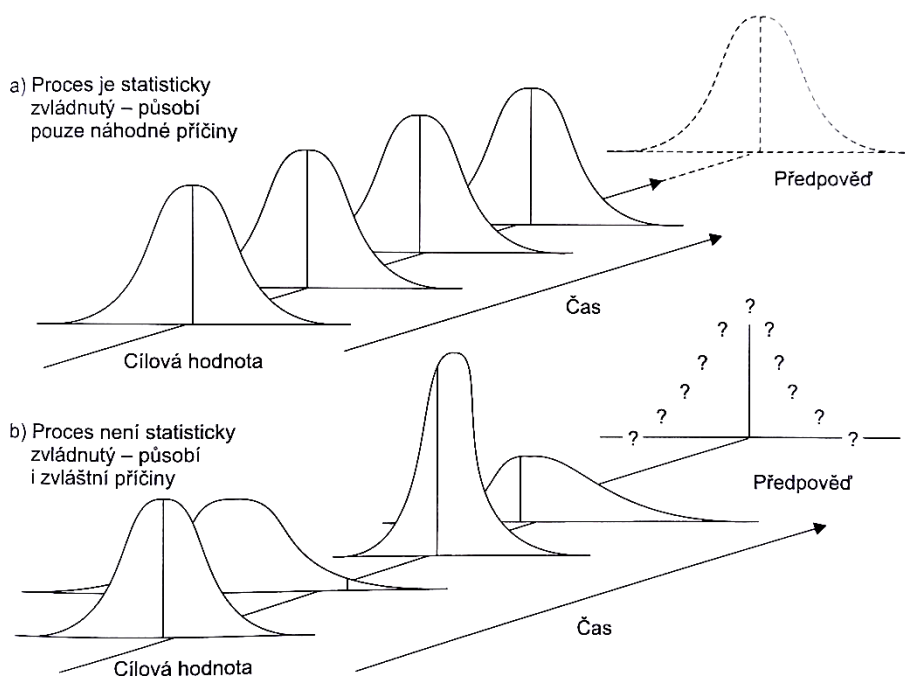
- dosažení stavu, kdy je proces statisticky zvládnutý,
- udržování procesu na požadované úrovni,
- předcházení neshodným produktům,
- vytvoření podmínek pro další zlepšování procesu.

SPC vychází z předpokladu existence variability procesu, jelikož na proces i během relativně stálých podmínek působí vlivy, které ji způsobují. Tyto vlivy se rozdělují na (Jarošová, Noskievičová, 2015):

- Náhodné příčiny – široké spektrum jednotlivě neidentifikovatelných příčin, jako je vlhkost ovzduší či chvění stroje. Pokud na proces působí pouze náhodné příčiny, je proces ve statisticky zvládnutém stavu a kvalita jeho výstupu je předvídatelná (Obr. 2a).
- Zvláštní příčiny – zdroje variability, které na proces za běžných podmínek nepůsobí a v čase se mění (nekvalitní materiál, nedostatečně zaškolený pracovník). Z tohoto důvodu není možné proces považovat za statisticky zvládnutý a jeho výstupy predikovat (Obr. 2b).

SPC lze v organizaci provádět různými nástroji, z nichž se práce zabývá:

- regulačními diagramy,
- analýzou způsobilosti procesu.



Zdroj: (Jarošová, Noskievičová, 2015)

Obrázek 2 - Působení náhodných a zvláštních příčin na variabilitu procesu

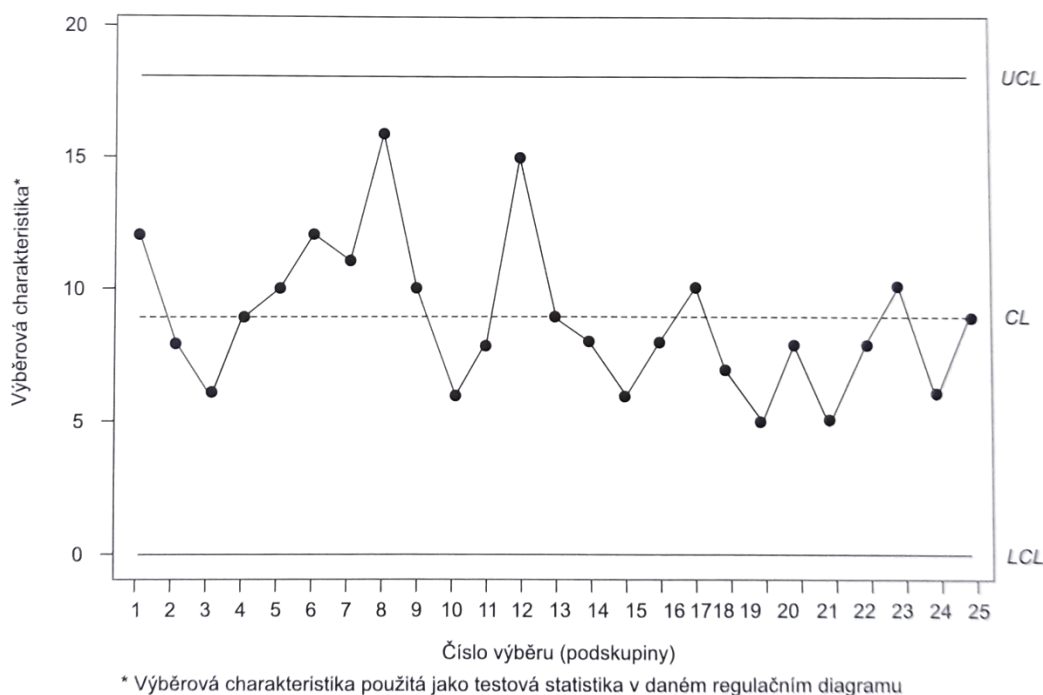
1.3 Regulační diagramy

Použití regulačních diagramů je jedním ze základních statistických nástrojů regulace procesu. Jeho základy zformuloval ve dvacátých letech 20. století W. A. Shewhart a jejich předpokladem je normální rozdělení procesu. Princip spočívá v postupném odstraňování zvláštních příčin procesu, aby se stal statisticky zvládnutým a jeho výsledky predikovatelnými. Data pro regulaci procesu se získávají pravidelným odběrem logických podskupin vzorků, což je určitý počet vzorků odebraný tak, aby se při jejich výrobě minimalizovala šance pro kolísání zvláštních příčin (v ideálním případě vzorky vyrobené hned po sobě). Podle Hůlové a Jarošové (2004) je pro zajištění dostatečného množství doporučeno provést alespoň 25 výběrů logických podskupin.

Regulační diagramy zkoumají polohu procesu (střední hodnotu) a jeho variabilitu (rozpětí či směrodatnou odchylku), pomocí kterých jsou určeny regulační meze diagramu (Obr. 3). Každé překročení těchto regulačních mezí poté vysílá signál o možném působení zvláštní příčiny. V tomto okamžiku je třeba zakročit a pokusit se zvláštní příčinu identifikovat a odstranit. Po jejím odstranění lze pokračovat v další regulaci a tímto způsobem proces neustále zlepšovat. Zároveň je možné sledovat i trendy vývoje hodnot v regulačním diagramu a na základě předpokladu budoucího překročení regulačních mezí zasáhnout do procesu ještě dříve, než k výrobě neshodných produktů dojde (Jarošová, Noskiewičová, 2015).

Regulační diagramy se dělí podle způsobu klasifikace výstupu:

- regulační diagramy při kontrole měření,
- regulační diagramy při kontrole srovnávání.



Zdroj: (Jarošová, Noskiewičová, 2015)

Obrázek 3 - Struktura regulačního diagramu

1.3.1 Regulační diagramy při kontrole měřením

V tomto případě jsou k dispozici číselné údaje o kvalitě produktu, které se získávají měřeními vzorků z jednotlivých logických podskupin. Základní diagramy lze rozdělit na (Hůlová, Jarošová, 2004):

- diagram pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí (\bar{X} , MR diagram) – používán pouze pokud není možný rozsah podskupiny větší než jedna,
- diagram pro aritmetický průměr a rozpětí (\bar{X} , R diagram) – používán pro rozsahy podskupin 2 – 10,
- diagram pro aritmetický průměr a směrodatné odchylky (\bar{X} , s diagram) – vhodné použití pro rozsah podskupiny větší než 10.

Pro sestavení regulačního diagramu pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí je nejprve nutné vypočítat průměr z individuálních hodnot (1), klouzavé rozpětí (2) a průměr z klouzavých rozpětí (3). Pomocí těchto ukazatelů je již možné určit centrální přímkou a regulační meze (4 – 9) diagramu (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k}{k} \quad (1)$$

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|, i = 2, \dots, k \quad (2)$$

$$\overline{MR} = \frac{MR_2 + MR_3 + \dots + MR_k}{k-1} \quad (3)$$

$$CL_X = \bar{X} \quad (4)$$

$$UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R} \quad (5)$$

$$LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R} \quad (6)$$

$$CL_{MR} = \overline{MR} \quad (7)$$

$$UCL_{MR} = D_4 \overline{MR} \quad (8)$$

$$LCL_{MR} = D_3 \overline{MR} \quad (9)$$

\bar{X} = průměr z individuálních hodnot

MR = klouzavé rozpětí

x = individuální hodnota

k = počet individuálních hodnot

\overline{MR} = průměrné klouzavé rozpětí

CL_X = centrální přímka pro průměr z individuálních hodnot

UCL_X, LCL_X = horní a dolní regulační mez pro průměr z individuálních hodnot

CL_{MR} = centrální přímka pro klouzavé rozpětí

UCL_{MR}, LCL_{MR} = horní a dolní regulační mez pro klouzavé rozpětí

E_2, D_3, D_4 = součinitelé pro regulační meze (Příloha 1)

V diagramu pro aritmetický průměr a rozpětí je třeba nejprve spočítat aritmetické průměry a rozpětí jednotlivých podskupin (10, 11). Z nich se poté vypočítá celkový průměr a průměrné rozpětí (12, 13). Tato data se použijí ve vzorcích (14 – 19), čímž dojde k výpočtu hodnot centrální přímky a regulačních mezí (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (10)$$

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (11)$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (12)$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (13)$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (14)$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (15)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (16)$$

$$CL_{\bar{R}} = \bar{R} \quad (17)$$

$$UCL_{\bar{R}} = D_4 \bar{R} \quad (18)$$

$$LCL_{\bar{R}} = D_3 \bar{R} \quad (19)$$

\bar{X} = průměr podskupiny

R = rozpětí podskupiny

x = naměřená data

n = rozsah podskupiny

$\bar{\bar{X}}$ = celkový průměr

\bar{R} = průměrné rozpětí

k = počet podskupin

$CL_{\bar{X}}$ = centrální přímka pro aritmetický průměr

$UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}}$ = horní a dolní regulační mez pro aritmetický průměr

$CL_{\bar{R}}$ = centrální přímka pro rozpětí

$UCL_{\bar{R}}, LCL_{\bar{R}}$ = horní a dolní regulační mez pro rozpětí

A_2, D_3, D_4 = součinitelé pro regulační meze (Příloha 1)

Pro sestavení diagramu aritmetického průměru a směrodatné odchylky se nejprve podle vzorců (10, 12) vypočte průměr podskupin a celkový průměr. Dále je třeba určit směrodatnou odchylku podskupin (20) a poté její průměr (21). S těmito daty je

již možné vyjádřit (21 – 27) centrální přímky i regulační meze obou charakteristik (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum(X_{i,k} - \bar{X}_k)^2}{n-1}} \quad (20)$$

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_k}{k} \quad (21)$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (22)$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad (23)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \quad (24)$$

$$CL_s = \bar{s} \quad (25)$$

$$UCL_s = B_4 \bar{s} \quad (26)$$

$$LCL_s = B_3 \bar{s} \quad (27)$$

R = směrodatná odchylka podskupiny

n = rozsah podskupiny

$\bar{\bar{X}}$ = celkový průměr

\bar{s} = průměrná směrodatná odchylka

k = počet podskupin

$CL_{\bar{X}}$ = centrální přímka pro aritmetický průměr

$UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}}$ = horní a dolní regulační mez pro aritmetický průměr

CL_s = centrální přímka pro směrodatnou odchylku

$UCL_{\bar{R}}, LCL_{\bar{R}}$ = horní a dolní regulační mez pro směrodatnou odchylku

A_3, B_3, B_4 = součinitelé pro regulační meze (Příloha 1)

1.3.2 Regulační diagramy při kontrole srovnáváním

Při kontrole srovnáváním není k dispozici číselná hodnota, ale pouze atributivní rozhodnutí o kvalitě produktu (shodný / neshodný). I v těchto případech však lze sestavit regulační diagramy a na jejich základě proces regulovat. Nevýhodami však jsou obvykle větší rozsah podskupin a pomalejší detekce zvláštní příčiny. Sleduje se

zde tedy shodnost jednotek nebo počet neshod. Výběr vhodného diagramu závisí na podobě procesu a jeho výstupů (Česká společnost pro jakost, 2006):

- Diagram pro počet neshodných (np diagram) – je nutný stejný rozsah výběrů
- Diagram pro podíl neshodných (p diagram) – lze použít při nestejném rozsahu výběrů
- Diagram pro počet neshod (c diagram) – je nutný stejný rozsah výběrů
- Diagram pro počet neshod na jednotku (u diagram) – lze použít při nestejném rozsahu výběrů

Diagramy pro počet a podíl neshodných se obvykle používají v procesech, kde je výskytem definované vady produkt prohlášen za neshodný (poškozený, nefunkční produkt). Rozsah výběru má být takový, aby bylo nalezeno alespoň 5 neshodných jednotek. Oproti tomu diagramy pro počet neshod se objevují v procesech, kde je určité množství neshod tolerováno (bubliny ve skle, povrchové vady). Zde je doporučován takový rozsah výběru, aby počet podskupin bez nenalezené neshody byl malý. Pokud při tvorbě diagramů vyjde spodní regulační mez záporná, položí se rovna nule (Česká společnost pro jakost, 2006).

Pro sestavení diagramu počtu neshodných je potřeba nejprve vyjádřit průměr z jednotlivých hodnot (28) a poté je již možné spočítat (29 – 31) centrální přímkou a regulační meze diagramu (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k} \quad (28)$$

$$CL_{np} = \bar{np} \quad (29)$$

$$UCL_{np} = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}\left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} \quad (30)$$

$$LCL_{np} = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}\left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} \quad (31)$$

np = počet zjištěných neshodných jednotek

n = rozsah podskupiny

\bar{np} = průměr počtu neshodných jednotek

k = počet podskupin

CL_{np} = centrální přímka

UCL_{np}, LCL_{np} = horní a dolní regulační mez

Pokud je vzhledem k procesu výhodné aplikovat diagram pro podíl neshodných, je potřeba nejprve vypočítat průměrný podíl neshodných (32). Z tohoto parametru se dá následně určit centrální přímka (33). Pokud jsou rozdíly mezi rozsahy menší než 25 % průměrného rozsahu, vypočítají se regulační meze pomocí vzorců (34, 35). V případě většího rozdílu je nutné vytvořit diagram s proměnnými mezemi (pro každou podskupinu existují vlastní regulační meze), které se spočítají vzorci (36, 37), (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (32)$$

$$CL_p = \bar{p} \quad (33)$$

$$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (34)$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (35)$$

$$UCL_{p_i} = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad (36)$$

$$LCL_{p_i} = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad (37)$$

np = počet zjištěných neshodných jednotek

n = rozsah podskupiny

\bar{p} = průměr podílu neshodných jednotek

k = počet podskupin

CL_p = centrální přímka

UCL_p, LCL_p = konstantní horní a dolní regulační mez

UCL_{p_i}, LCL_{p_i} = proměnná horní a dolní regulační mez

Pro vytvoření diagramu počtu neshod se nejdříve spočítá průměrný počet neshod v podskupině (38). Centrální přímka a regulační meze (39 – 41) se poté vyjádří pomocí této hodnoty (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k} \quad (38)$$

$$CL_C = \bar{c} \quad (39)$$

$$UCL_C = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (40)$$

$$LCL_C = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (41)$$

c = počet zjištěných neshod v podskupině

\bar{c} = průměrný počet neshod

k = počet podskupin

CL_C = centrální přímka

UCL_C, LCL_C = horní a dolní regulační mez

Základem pro sestavení diagramu počtu neshod na jednotku je výpočet průměrného počtu neshod v jednotce a průměrné velikosti jednotky (42, 43). Dále je pomocí vzorce (44) určena centrální přímka. Pokud je rozpětí rozsahů jednotek menší než 25 % průměrného rozsahu jednotky, tak lze vypočítat i regulační meze (45, 46). V případě, že jsou rozdíly mezi rozsahy větší, je opět potřeba vzorci (47, 48) vytvořit proměnné regulační meze pro každou podskupinu (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (42)$$

$$\bar{n} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_k}{k} \quad (43)$$

$$CL_U = \bar{u} \quad (44)$$

$$UCL_U = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \quad (45)$$

$$LCL_U = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \quad (46)$$

$$UCL_{Ui} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (47)$$

$$LCL_{Ui} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (48)$$

c = počet zjištěných neshod

n = velikost jednotky

\bar{u} = průměr počtu neshod na jednotku

k = počet podskupin

CL_U = centrální přímka

UCL_U, LCL_U = konstantní horní a dolní regulační mez

UCL_{U_i}, LCL_{U_i} = proměnná horní a dolní regulační mez

1.4 Způsobilost procesu

Analýza způsobilosti procesu je další statistickou metodou, kterou lze použít k ověření toho, zda je proces schopen produkce v požadované kvalitě a množství v čase. Způsobilost procesu lze chápat jako míru jeho schopnosti vyhovovat předem určeným požadavkům. Jejím cílem je určení spolehlivosti, s jakou je proces schopen tyto požadavky naplňovat. Díky tomu je poté schopna proces kontrolovat a při nesplnění požadavků na způsobilost okamžitě zasáhnout (Jarošová, Noskievičová, 2015).

Základním předpokladem je však existence statisticky zvládnutého procesu - tzn. variabilita je tvořena pouze náhodnými příčinami. Po splnění této podmínky je možné začít s monitorováním procesu, odebráním podskupin (s rozsahem obvykle 3 – 5 vzorků) a jejich měřením. Po odebrání alespoň 20 podskupin vzorků je možné způsobilost procesu vyhodnotit (Jarošová, Noskievičová, 2015).

Vyhodnocení způsobilosti vychází z porovnání přípustné a přirozené variability. Přípustná variabilita je stanovena požadavky na produkt procesu, obvykle oboustrannou toleranční mezí, ale může být stanovena i jednostranná (např. při měření fyzikálních jednotek). U přirozené variability bude práce předpokládat normální rozdělení, kdy střední hodnota μ a rozptyl σ jsou v čase neměnné. V intervalu $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ poté leží 99,73 % hodnot (Jarošová, Noskievičová, 2015).

Jelikož však rozptyl není známý, nelze určit šíři intervalu přirozené variability. Z tohoto důvodu je potřeba jeho hodnotu odhadnout na základě naměřených dat. K odhadu lze dospět pomocí průměrných výběrových variačních rozpětí (49)

nebo průměrných výběrových směrodatných odchylek (50). Pokud je v požadavcích na výrobek zadána oboustranná toleranční mez, lze již spočítat první ukazatel způsobilosti procesu C_p (51), (Česká společnost pro jakost, 2006).

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (49)$$

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (50)$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (51)$$

σ = odhad rozptylu

\bar{R} = průměrné výběrové variační rozpětí

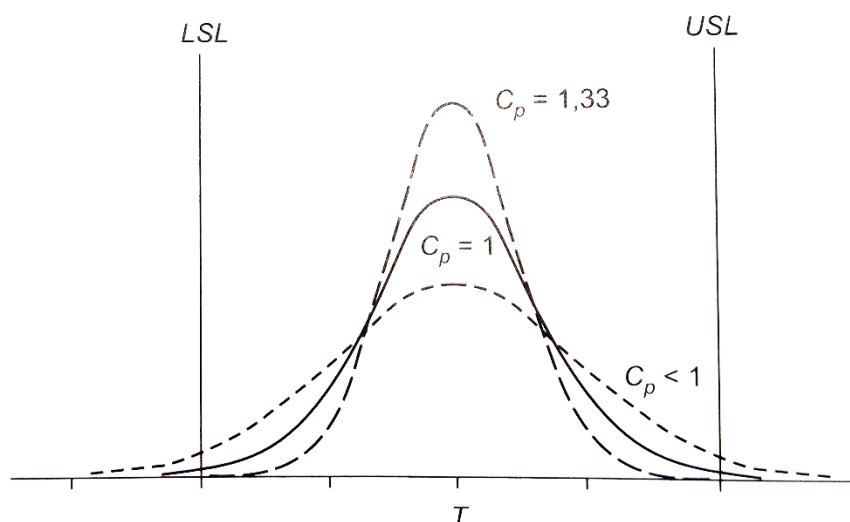
\bar{s} = průměrná výběrová směrodatná odchylka

USL, LSL = horní a dolní toleranční mez

C_p = ukazatel způsobilosti procesu

c_4, d_2 = dělitel pro odhad σ

Vypočítaná hodnota C_p je základním ukazatelem způsobilosti procesu. Variabilitu procesu pro různá C_p lze nalézt na Obr. 4. Proces se obecně považuje za přijatelný, pokud $C_p > 1,33$, neboť zajišťuje dostatečnou míru spolehlivosti procesu, a to 63 PPM (Jarošová, Noskiewičová, 2015).



Zdroj: (Jarošová, Noskiewičová, 2015)

Obrázek 4 - Variabilita procesu pro různá C_p

Ukazatel C_p ovšem zohledňuje pouze variabilitu procesu, a nikoliv jeho polohu. Jeho výsledky totiž platí pro centrováný proces, který není v praxi obvyklý. Vliv polohy procesu na počet neshodných dílů ukazuje Tabulka 1. Z tohoto důvodu se zavedly ukazatele C_{pu} a C_{pl} (53, 54), které pracují s odhadem střední hodnoty procesu (52). Nižší z těchto hodnot se poté nazývá C_{pk} (55), což je způsobilost procesu, která zahrnuje jeho variabilitu i polohu a zajišťuje dostatečnou míru spolehlivosti procesu.

$$\mu = \bar{\bar{X}} \quad (52)$$

$$C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (53)$$

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (54)$$

$$C_{PK} = \text{MIN} (C_{PU}, C_{PL}) \quad (55)$$

μ = odhad střední hodnoty procesu

$\bar{\bar{X}}$ = celkový průměr procesu

σ = odhad rozptylu

USL, LSL = horní a dolní toleranční mez

C_{PU}, C_{PL}, C_{PK} = ukazatele způsobilosti procesu

Pokud je požadavkem předepsána pouze horní toleranční mez, použije se k vyhodnocení způsobilosti C_{pu} , případě dolní toleranční meze potom C_{pl} (Česká společnost pro jakost, 2006).

Tabulka 1 - Počet neshodných kusů v závislosti na centrování procesu

C_p	Počet neshodných kusů na 1 000 000 vyrobených	
	Centrováný proces	Střední hodnota posunuta o 1,5 σ
1,00	2 700	66 808
1,33	63	6 210
1,67	0,573	233
2,00	0,002	3,4

Zdroj: (Jarošová, Noskiewičová, 2015)

2 Analýza současného stavu

Tato kapitola se věnuje analýze současného stavu používání statistických metod ve společnosti, která bude v první části stručně představena. Následuje samotná analýza, která je aplikována na dva oddělené procesy – kovovou a plastovou výrobu.

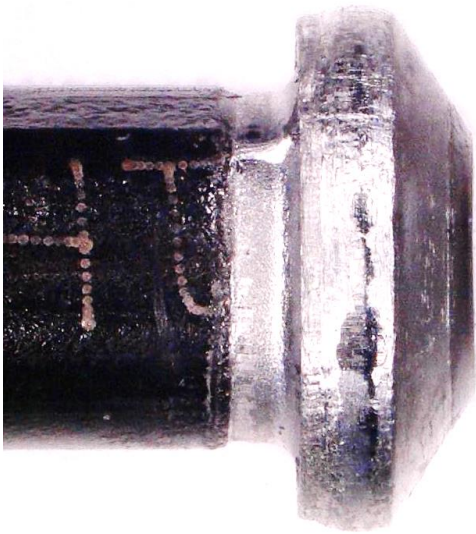
2.1 Představení vybrané společnosti

Vybranou společností je pobočka firmy TI Group Automotive Systems s.r.o. (dále jen TI Group) se sídlem v Nepřevázce poblíž Mladé Boleslavi. Firma se zaměřuje na výrobu brzdových a palivových trubek pro automobilový průmysl a je jedním z globálních lídrů této oblasti. Vedení společnosti sídlí ve Spojených státech amerických, vybraná pobočka spadá pod řízení pro střední Evropu.

Proces výroby trubek zde začíná příjmem materiálu, který se nakupuje buď od externích dodavatelů, nebo od ostatních poboček TI Group. V průběhu výrobního procesu dochází k tváření konců trubek nebo narážení koncovek. Následuje ohyb na požadovaný tvar a případné další úpravy (klipování, návlek ochranných materiálů). Samotná výroba se dělí na dva odlišné a oddělené procesy – kovovou a plastovou výrobu.

2.2 Kovová výroba

Výroba kovových trubek začíná nařezáním vstupního materiálu na požadovanou délku. Poté díly vstupují do automatického procesu, během kterého jsou na ně navlečeny šrouby a konce trubek jsou tvářeny do podoby tzv. pertlů (Obr. 5). Přesné rozměry těchto koncovek poté umožní bezproblémovou funkčnost výrobků u zákazníka bez úniku používaných kapalin. Po tváření následuje u většiny dílů ohyb trubek, zatímco některé se expedují k zákazníkovi rovné.

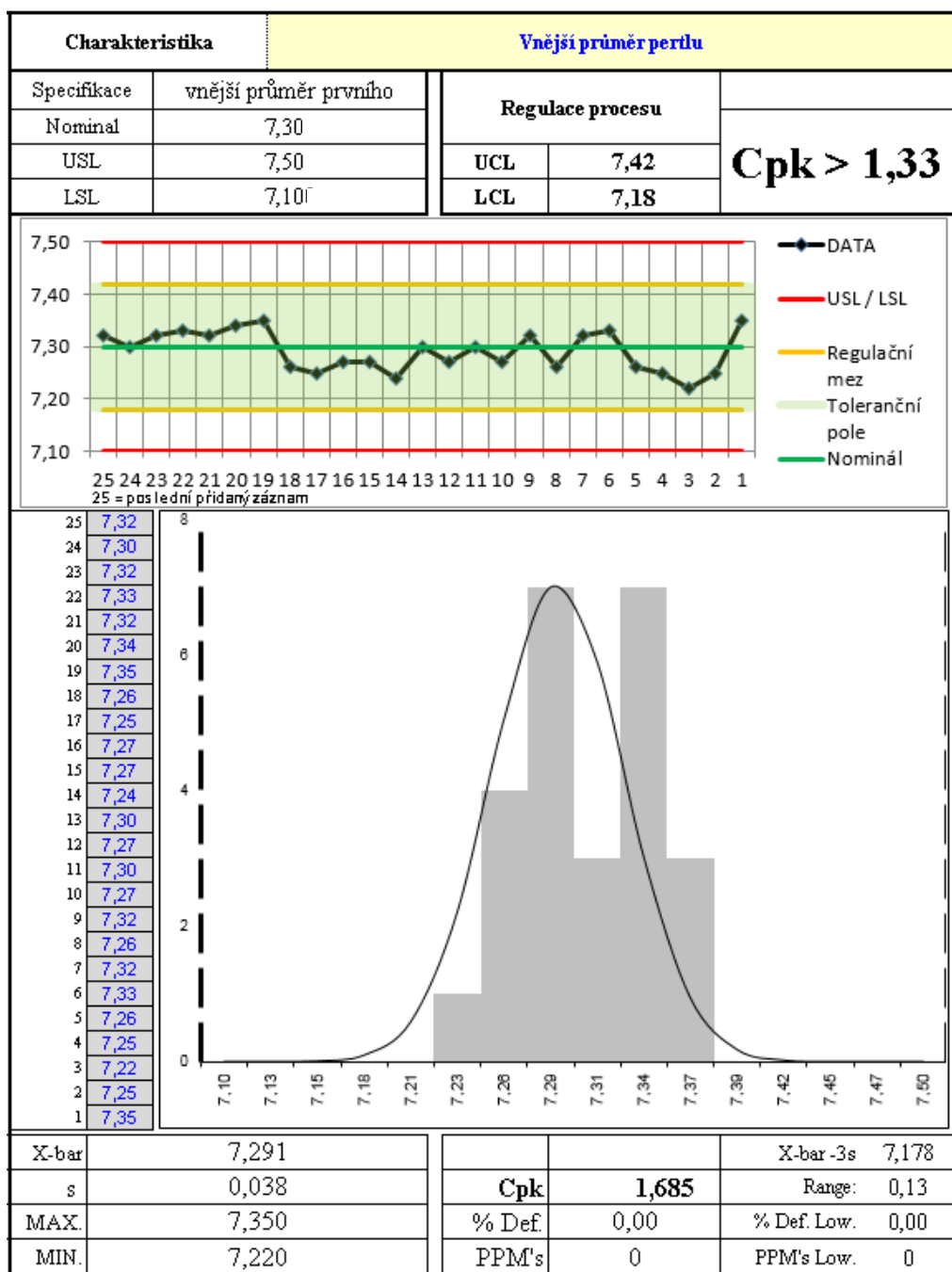


Obrázek 5 - Tvářená koncovka - pertl F NyAl 4,75

Regulace procesu je pro kovovou část výroby nejdůležitější při tváření pertlů. Nejen proto, že je přímo vyžadována zákazníky, ale zároveň se jedná o proces, kde je největší riziko vyrobení vysokého počtu neshodných kusů (stroj je schopen vyrobit přibližně 1 000 ks za hodinu) a z toho vyplývajících ekonomických a časových ztrát pro podnik.

Základem regulace procesu je sběr dat. K němu dochází pomocí výrobních kontrolorů, kteří pravidelně odebírají vzorky a výsledky měření zapisují do připravených excelových souborů pro daný produkt. Díly jsou měřeny vždy na začátku výroby, průběžně každé dvě hodiny a poté při ukončení výroby. Rozsah podskupiny je ve firmě stanoven na $n=1$.

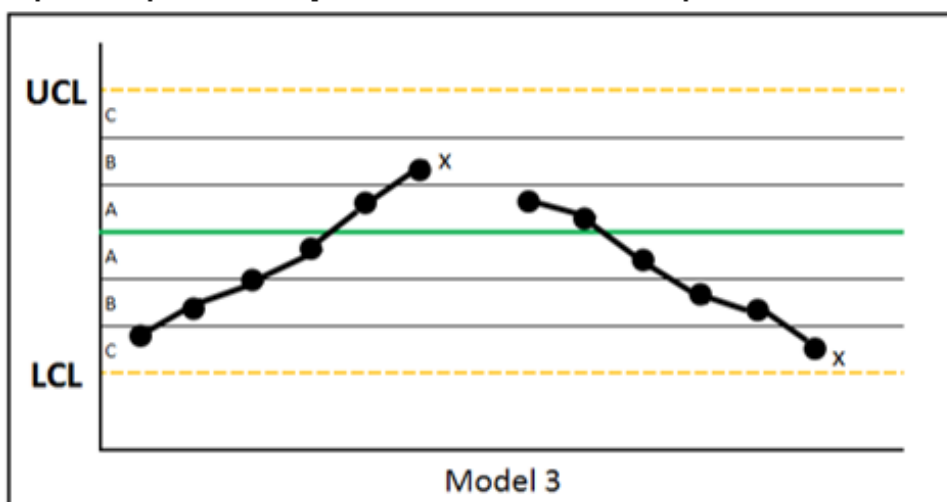
Znaky kvality jsou získávané měřeními a k jejich regulaci je používán diagram pro aritmetický průměr. Každý měřený znak kvality má vlastní kontrolní kartu (Obr. 6), ve které je k dispozici histogram i ukazatel způsobilosti procesu C_{pk} (C_{pu} v případě předepsání pouze horní toleranční meze).



Obrázek 6 - Kontrolní karta znaku kvality Vnější průměr pertlu

Vyhodnocení spolehlivosti a způsobilosti procesu probíhá po každém zápisu naměřených dat výrobním kontrolorem. Nejprve se vyhodnotí data na regulačním diagramu, aby se zjistilo, zda nedošlo k překročení regulační meze, nebo zda data neindikují nepříznivý trend, který by mohl vést k budoucí výrobě neshodných kusů (Obr. 7). Následuje vyhodnocení, zda je C_{pk} (C_{pu}) > 1,33.

Negativní trend - všechny body uvnitř regulačních mezí, ale objevují se nějaká nenáhodná seskupení bodů.
 Např.: 6 po sobě jdoucích bodů stoupá nebo klesá, apod.



Obrázek 7 - Negativní trendy při vyhodnocování regulačního diagramu

V případě kladného výsledku všech podmínek lze nadále pokračovat ve výrobě. Pokud není některá z podmínek splněna, výrobní proces je zastaven a ve spolupráci se zodpovědnými osobami je nutné nalézt příčinu. Každý den je také prováděna kontrola řádného vyhodnocování, kdy osoba zodpovědná za statistickou regulaci prohlédne všechny kontrolní karty a vyhodnotí, zda je vše v souladu s požadavky.

2.3 Plastová výroba

Plastová výroba opět začíná nařezáním vstupního materiálu na požadovanou délku. Poté jsou trubky pomocí šablony ohnuty do požadovaného tvaru a poslány na určitou dobu do horkovzdušné pece s následným prudkým ochlazením, aby tvar zůstal zachován. Následuje narážení obvykle plastových koncovek, které pak slouží k řádnému upnutí dílu do protikusu. Příklad hotového plastového produktu viz Obr. 8



Obrázek 8 - Finální podoba plastového dílu JX61-9J332-AB

Na konci procesu před expedicí je nastolena 100% kontrola všech kusů, aby byla zajištěna požadovaná kvalita výstupu u zákazníka. Znaky kvality jsou hodnoceny atributivně (shodný nebo neshodný kus). Výsledky 100% kontroly jsou zanášeny do interního systému firmy pro zahlašování výroby. Proces není nijak statisticky regulován.

3 Návrhy řešení a jejich aplikace

Tato kapitola se zabývá návrhy ke zlepšení využívání statistických metod ve vybrané společnosti. Funkčnost těchto návrhů byla ověřována jejich aplikací na vybraný znak kvality. Práce se nejprve věnuje zlepšením v kovové části výroby a poté následují návrhy na vylepšení části plastové.

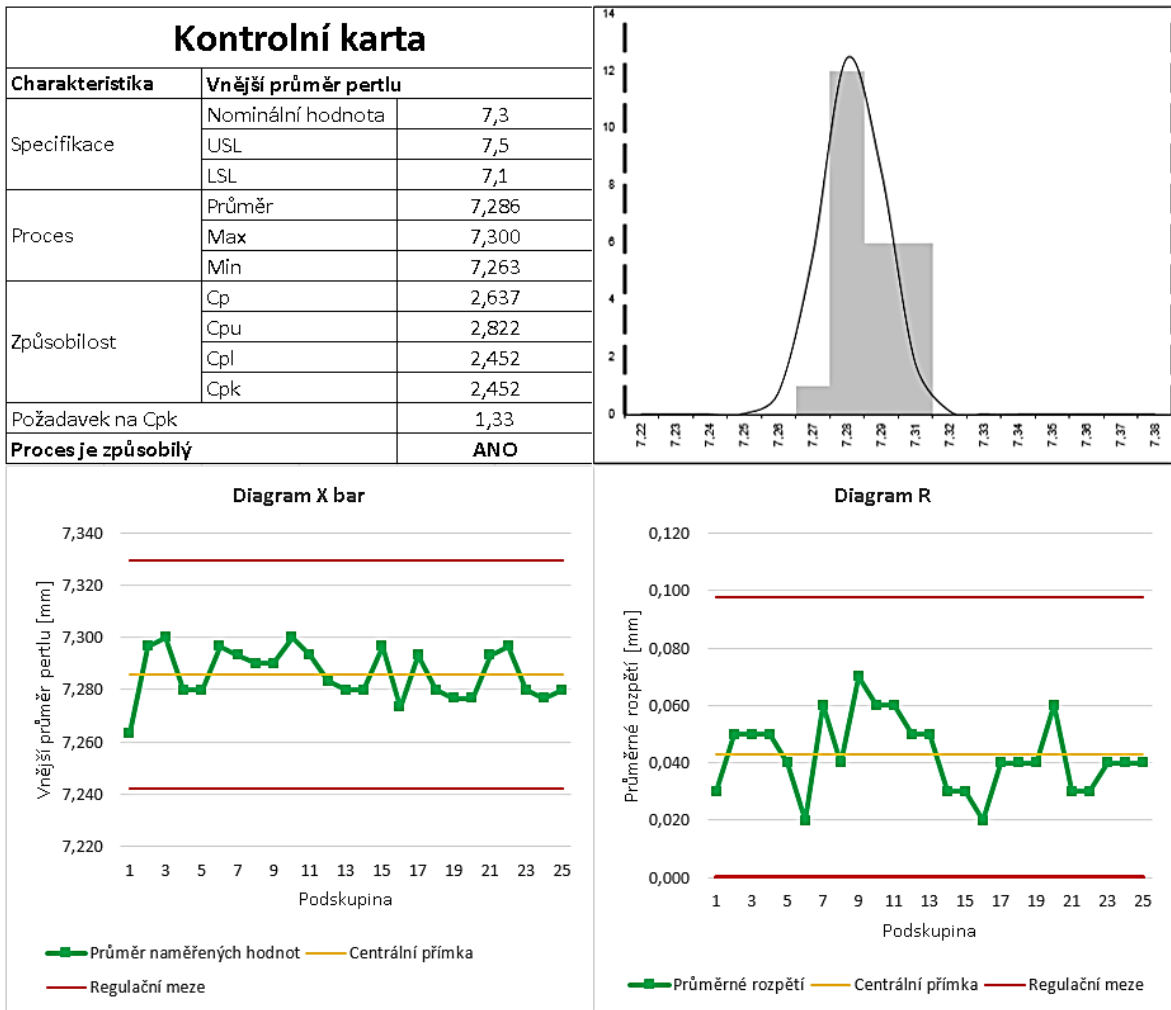
3.1 Řešení kovové části výroby

Ačkoliv je kontrola a regulace procesu řízena, dají se zde navrhnout některá vylepšení. Prvním nedostatkem je používaný rozsah podskupiny $n = 1$, který by se měl používat pouze pro procesy, kde není možné odebrat více vzorků. Z tohoto důvodu bylo navrženo zvýšení rozsahu podskupiny na $n = 3$. Dále je k regulaci procesu používán pouze diagram pro průměr. Vzhledem k nově navrženému rozsahu podskupin bylo doporučeno používání diagramu pro rozpětí. Těmito kroky dojde nejen k přesnější regulaci procesu, ale také je k dispozici více dat, která mohou indikovat přítomnost zvláštní příčiny v procesu.

Výše popsaná zlepšení byla aplikována na jeden ze znaků kvality výrobku, konkrétní vnější průměr pertlu. Postupně bylo nasbíráno a změřeno 25 podskupin vzorků. Z těchto dat byly vytvořeny diagramy pro průměr a rozpětí a dále vypočítány ukazatele způsobilosti. Naměřená data a pomocné výpočty jsou obsahem Přílohy 2. Z výsledků poté byla sestavena nová kontrolní karta znaku kvality (Obr. 9). Porovnání přínosu změn oproti předchozímu stavu poté přináší Tab. 2. Zlepšením metodiky pro sběr se zároveň zvýšila i způsobilost procesu. Je proto navrženo, aby se popsaný systém vylepšení aplikoval i na ostatní znaky kvality.

Tabulka 2 - Porovnání vybraných charakteristik před a po aplikaci zlepšení

Charakteristika	Stávající stav	Navržený stav
Rozsah podskupiny	1 ks	3 ks
Diagram pro průměr	Ano	Ano
Diagram pro rozpětí	Ne	Ano
C_{pk} procesu	1,685	2,452

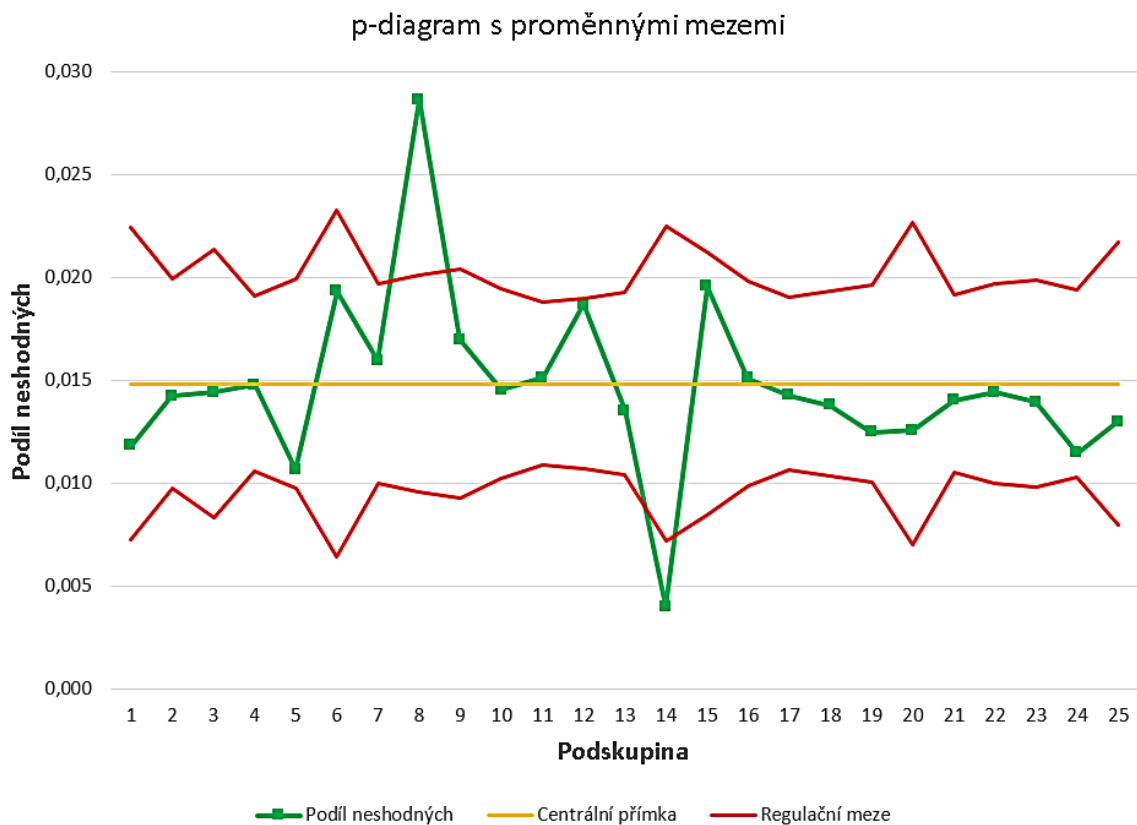


Obrázek 9 - Nová kontrolní karta znaku kvality

3.2 Řešení plastové části výroby

V plastové části výroby dosud nebyla zavedena žádná regulace procesu. Vzhledem k povaze výrobního procesu, ve kterém probíhá pouze atributivní vyhodnocování kvality produktu (shodný / neshodný) o nestejném rozsahu podskupin, byla navržena regulace pomocí diagramu pro podíl neshodných (p-diagram).

K aplikaci regulace byl vybrán díl JX61-9J332-AB, u kterého bylo pomocí záznamů vybráno posledních 25 výrobních dávek. Z těchto dat byl kvůli velkému rozpětí velikosti dávek sestaven p-diagram s proměnnými mezemi (Obr. 10). Původní data a pomocné výpočty jsou uvedeny v Příloze 3.



Obrázek 10 - P-diagram s proměnnými mezemi

Na diagramu jsou jasně viditelná dvě překročení regulačních mezí. První nastalo v podskupině č. 8, kdy je podíl neshodných výrazně vyšší. Na základě této informace byla provedena investigace příčiny. Bylo zjištěno, že tuto dávku vyráběl pracovník, který nebyl pro danou operaci řádně proškolen. Tento nedostatek byl napraven a tím bylo předejito výrobě dalších neshodných kusů v budoucích dávkách. Druhé překročení regulační meze proběhlo v podskupině č. 14, v tomto případě se ovšem jedná o pozitivní jev, neboť podíl neshodných kusů byl nižší.

Závěr

Závěr práce se bude věnovat porovnání zjištěných výsledků s vytyčenými cíli. V první části byla shrnuta teoretická východiska, na jejichž základě byla vytvořena analýza současného stavu využívání statistických metod ve vybrané společnosti.

V obou částech výroby TI Group byly zjištěny nedostatky. V případě kovové výroby je statistická kontrola procesu prováděna, ale v nedostatečném rozsahu. Při výrobě plastových dílů není proces dokonce regulován vůbec.

Pro zlepšení statistické regulace na kovech bylo proto doporučeno zvýšení rozsahu podskupin odebíraných vzorků, který byl nedostatečný, a dále zavedení používání diagramu pro rozpětí. Funkčnost navrhovaných řešení byla ověřena na vybraném znaku kvality a zlepšením metodiky došlo také ke zvýšení způsobilosti procesu.

Jelikož v plastové výrobě nebyla zavedena žádná statistická regulace, bylo na základě parametrů procesu navrženo používání p-diagramu s proměnnými mezemi. Tato metoda byla opět ověřena na vybraném díle. Analýzou regulačního diagramu byla nalezena a následně odhalena zvláštní příčina variabilita procesu. Pokud bude tato regulace uplatňována i nadále, je možné proces lépe kontrolovat a zároveň snižovat náklady na nekvalitu.

Z výše uvedených důvodů lze cíl práce považovat za splněný.

Seznam literatury

ČSN EN ISO 9000:2015 *Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník*. Přeložila Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 88 stran.

HŮLOVÁ, Marie a Eva JAROŠOVÁ. *Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti*. 3. vyd. Praha: Oeconomica, 2004. ISBN 80-245-0691-2.

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

MITRA, Amitava. *Fundamentals of quality control and improvement*. Fourth edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, [2016]. ISBN 978-1-118-70514-8.

NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-807261-561-2.

NENADÁL, Jaroslav. *Systémy managementu kvality: co, proč a jak měřit?*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-807261-426-4.

Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016. 1. vyd. Přeložila Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.

UMEDA, Masao. *Seven Key Factors for Success on TQM*. Tokyo: Japanese Standards Association, 1993. ISBN 4-542-50416-6.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma statistických metod potřebných k naplnění požadavků zákazníků a norem	9
Obrázek 2 - Působení náhodných a zvláštních příčin na variabilitu procesu	10
Obrázek 3 - Struktura regulačního diagramu.....	12
Obrázek 4 - Variabilita procesu pro různá C_p	20
Obrázek 5 - Tvářená koncovka - pertl F NyAl 4,75.....	23
Obrázek 6 - Kontrolní karta znaku kvality Vnější průměr pertlu	24
Obrázek 7 - Negativní trendy při vyhodnocování regulačního diagramu	25
Obrázek 8 - Finální podoba plastového dílu JX61-9J332-AB	26
Obrázek 9 - Nová kontrolní karta znaku kvality	28
Obrázek 10 - P-diagram s proměnnými mezemi	29

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Počet neshodných kusů v závislosti na centrování procesu	21
Tabulka 2 - Porovnání vybraných charakteristik před a po aplikaci zlepšení.....	27

Seznam příloh

Příloha 1 Tabulka konstant potřebných pro výpočty	34
Příloha 2 Data a jejich zpracování pro Xbar, R diagram.....	35
Příloha 3 Data a jejich zpracování pro p-diagram.....	37

Příloha 1 Tabulka konstant potřebných pro výpočty

Rozsah podskupiny	Součinitelé pro regulační meze							Dělitelé pro odhad σ	
	A_2	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4	E_2	d_2	c_4
2	1,880	---	3,267	2,659	---	3,267	2,660	1,128	0,7979
3	1,023	---	2,574	1,954	---	2,568	1,772	1,693	0,8862
4	0,729	---	2,282	1,628	---	2,266	1,457	2,059	0,9213
5	0,577	---	2,114	1,427	---	2,089	1,290	2,326	0,9400
6	0,483	---	2,004	1,287	0,030	1,970	1,184	2,534	0,9515
7	0,419	0,076	1,924	1,182	0,118	1,882	1,109	2,704	0,9594
8	0,373	0,136	1,864	1,099	0,185	1,815	1,054	2,847	0,9650
9	0,367	0,184	1,816	1,032	0,239	1,761	1,010	2,970	0,9693
10	0,308	0,223	1,777	0,975	0,284	1,716	0,975	3,078	0,9727

Zdroj: (Česká společnost pro jakost, 2006)

Příloha 2 Data a jejich zpracování pro Xbar, R diagram

Sběr dat [mm]					
Podskupina	Měření			Průměr	Rozpětí
	1	2	3		
1	7,26	7,25	7,28	7,263	0,030
2	7,32	7,30	7,27	7,297	0,050
3	7,32	7,27	7,31	7,300	0,050
4	7,31	7,26	7,27	7,280	0,050
5	7,28	7,26	7,30	7,280	0,040
6	7,31	7,29	7,29	7,297	0,020
7	7,26	7,32	7,30	7,293	0,060
8	7,27	7,29	7,31	7,290	0,040
9	7,30	7,32	7,25	7,290	0,070
10	7,27	7,30	7,33	7,300	0,060
11	7,32	7,30	7,26	7,293	0,060
12	7,31	7,28	7,26	7,283	0,050
13	7,26	7,31	7,27	7,280	0,050
14	7,27	7,30	7,27	7,280	0,030
15	7,28	7,30	7,31	7,297	0,030
16	7,26	7,28	7,28	7,273	0,020
17	7,30	7,27	7,31	7,293	0,040
18	7,28	7,30	7,26	7,280	0,040
19	7,27	7,26	7,30	7,277	0,040
20	7,27	7,31	7,25	7,277	0,060
21	7,29	7,31	7,28	7,293	0,030
22	7,30	7,31	7,28	7,297	0,030
23	7,26	7,28	7,30	7,280	0,040
24	7,26	7,27	7,30	7,277	0,040
25	7,26	7,28	7,30	7,280	0,040
Celkový průměr				7,286	
Průměrné rozpětí					0,043

Parametry diagramu [mm]			
Diagram	Centrální přímka	UCL	LCL
Průměr	7,286	7,330	7,242
Rozpětí	0,043	0,098	0,000
A2	1,023		
D3	0		
D4	2,282		
Způsobilost procesu			
Střední hodnota	7,286		
Rozptyl	0,025		
Cp	2,637		
Cpu	2,822		
Cpl	2,452		
Cpk	2,452		
USL	7,5		
LSL	7,1		
d2	1,693		

Příloha 3 Data a jejich zpracování pro p-diagram

Podskupina	Rozsah	Počet neshodných	Podíl neshodných
1	254	3	0,012
2	562	8	0,014
3	347	5	0,014
4	812	12	0,015
5	563	6	0,011
6	207	4	0,019
7	627	10	0,016
8	524	15	0,029
9	471	8	0,017
10	689	10	0,015
11	925	14	0,015
12	856	16	0,019
13	740	10	0,014
14	250	1	0,004
15	358	7	0,020
16	596	9	0,015
17	841	12	0,014
18	725	10	0,014
19	641	8	0,012
20	239	3	0,013
21	785	11	0,014
22	625	9	0,014
23	574	8	0,014
24	697	8	0,011
25	308	4	0,013
Celkem	14216	211	
Průměrný podíl neshodných			0,015
Průměrný rozsah		568,64	
Rozpětí rozsahů		718	
Parametry diagramu			
Centr.přímka	UCL	LCL	
0,015	Proměnná	Proměnná	

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Václav Svoboda		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	Statistické metody v managementu kvality		
VEDOUCÍ PRÁCE	doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.		
KATEDRA	KKM - Katedra kvantitativních metod	ROK ODEVZDÁNÍ	2021
POČET STRAN	39		
POČET OBRÁZKŮ	10		
POČET TABULEK	2		
POČET PŘÍLOH	3		
STRUČNÝ POPIS	<p>Tato práce se zaměřuje na statistické metody používané v managementu kvality. Cílem je navrhnout řešení pro zlepšení využívání statistických metod ve vybrané společnosti. Nejprve je provedena analýza současného stavu, která vychází z teoretických východisek, a poté navržena řešení. Pro oblast kovové výroby je prvním navrženým řešením zvýšení počtu odebíraných kusů z procesu. Dále je doporučeno používat diagram pro rozpětí a přepracování kontrolních karet. Změny vedou ke zvýšení způsobilosti procesu. Pro plastovou výrobu je doporučeno začít využívat p-diagram s proměnnými mezemi, což vede k lepší regulaci procesu a nižší zmetkovitosti.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Statistika, Kvalita, Statistická regulace procesu, SPC, Způsobilost procesu		

ANNOTATION

AUTHOR	Václav Svoboda		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Statistical methods in quality management		
SUPERVISOR	doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.		
DEPARTMENT	KKM - Department of Quantitative Methods	YEAR	2021
NUMBER OF PAGES			
	39		
NUMBER OF PICTURES			
	10		
NUMBER OF TABLES			
	2		
NUMBER OF APPENDICES			
	3		
SUMMARY	<p>This thesis is focused on statistical methods used in quality management. Its goal is to make suggestions for improving statistical methods in selected company. This company is analyzed based on theoretical background and then suggestions are made. First recommendation for rigids is to measure more pieces during SPC. It is also recommended to use a range diagram and reworking of control charts. Changes lead to increased process capability. For plastic manufacturing, there is a recommendation to start using p-diagram with variable limits, which leads to better process control and lower scrap rates.</p>		
KEY WORDS	<p>Statistics, Quality, Statistical Process Control, SPC, Process Capability</p>		