

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA
TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorský studijní program: P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

Příspěvek k hodnocení ukazatelů výrobního procesu
v oblasti automobilového průmyslu

Autor:

Ing. Kateřina Bícová

Školitel:

Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.

Plzeň 2016

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Upozornění

Podle zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR), zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy s písemným souhlasem autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Touto cestou děkuji školitelce doc. Ing. Heleně Zídkové, Ph.D. za její vedení, konzultace a čas, který mi věnovala. Dále děkuji všem osloveným, za jejich rady a připomínky, které mi v souvislosti s touto prací poskytovali.

Děkuji.

Anotace

Disertační práce pojednává o hodnocení výrobního procesu v oblasti sériové výroby automobilového průmyslu. Cílem této práce je zhodnotit výrobní proces pomocí naměřených dat a stanovení vybraných hodnotících ukazatelů. Na základě tohoto zhodnocení je navržena metodika hodnocení výrobních procesů. Navržená metodika je shrnuta do 9. kroků, od seznámení s vybraným procesem, stanovení cílů a plánem sběru dat, přes stanovení vybraných ukazatelů a interpretaci výsledků.

Zároveň je navržen také „Registr ovlivňujících faktorů“ pro usnadnění hledání příčin již vzniklého problému (při aplikaci Ishikawa diagram) nebo při hledání možných vlivů na výrobní proces, jakožto možných rizik, tj. predikce toho, kde by mohla eventuelně chyba nastat.

Annotation

This thesis is focused on the evaluation of the production process in the automotive industry serial production. The main aim is to valorise the production process using measured data and selected evaluation indicators. The evaluation of the production processes methodology is designed based on this valorisation data. Designed method is divided into 9 steps from acquaintance with current process, the aims definition and the data collection, over the definition of selected indexes and the results interpretation.

The “Register of influencing factors” is concurrently designed to simplify the search of the already arised problematic causes (when Ishikawa diagram applied) or through production process possible impacts searching, as a possible risk prediction, where the error could occur.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	7
1 Úvod	8
2 Přehled současného stavu řešené problematiky	10
3 Cíle disertační práce	14
3.1 Hlavní cíl disertační práce.....	14
3.2 Vedlejší cíle disertační práce	14
4 Metodika práce	15
4.1 Analýza statistických dat	16
4.1.1 Základní statistická analýza	16
4.1.2 Ověření normality.....	21
4.1.3 Třídění dat	30
4.2 Definování hodnotících ukazatelů výrobního procesu.....	31
4.2.1 Histogram	32
4.2.2 Regulační diagramy	34
4.2.3 Způsobilost procesu (process capability)	42
4.2.4 Počet a míra neshod.....	46
4.2.5 Diagram příčin a následků – Ishikawa diagram	48
4.3 Testování hypotéz	49
4.3.1 Fisherův test	49
4.3.2 Metoda ANOVA	50
5 Řešení a dosažené výsledky.....	53
5.1 Vyhodnocovaná data.....	53
5.2 Analýza dat	59
5.2.1 Základní popisná statistika	59
5.2.2 Ověření normality.....	59
5.3 Stanovení vybraných ukazatelů.....	65
5.3.1 Histogram	65
5.3.2 Regulační diagramy	65
5.3.3 Způsobilost	68
5.3.4 Relativní četnost neshod / průměrná zmetkovitost.....	69
5.3.5 Diagram příčin a následků – Ishikawa diagram	72
5.4 Testování hypotéz	74
5.4.1 Metoda ANOVA	74

5.4.2	Fisherův test	74
5.5	Návrh metodiky hodnocení výrobního procesu	76
5.5.1	Znalost procesu	76
5.5.2	Identifikace ovlivňujících faktorů	76
5.5.3	Stanovení cíle	81
5.5.4	Stanovení plánu pro sběr dat	81
5.5.5	Ověření předpokladů nutných pro aplikaci vybraných metod a stanovení ukazatelů..	81
5.5.6	Stanovení vybraných ukazatelů	83
5.5.7	Vyhodnocení	83
5.5.8	Reakce na variability	84
5.5.9	Návrhy na další zlepšování	84
6	Závěr	85
	Seznam obrázků a tabulek	87
7	Seznam použitých zdrojů	89
	Přílohy	I
	Příloha č.1 – Registr ovlivňujících faktorů - výroba	II
	Příloha č.2 – Registr ovlivňujících faktorů – měření	VIII

Přehled použitých zkratk a symbolů

EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní norma
ČSN	Česká technická norma
RD	Regulační diagram
CL	Central line
UCL	Upper control limit
LCL	Lower control limit
PPM	Označuje míru neshod, to znamená skutečně vzniklý a po vyrobení numerický zjištěný počet neshod.
DPMO	Ukazatel, který označuje počet neshod ve smyslu chybných možností, to znamená počet všech možných neshod zjištěný početně před vývojem nebo výrobou výrobku.
ISMS	Information Security Management System - systém řízení bezpečnosti informací
QMS	Quality Management System - systém řízení kvality
ANOVA	Analysis of variance - analýza rozptylu
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis - analýza možného výskytu a vlivu vad

1 Úvod

V současné době se každý podnik řadí do světové ekonomiky, a pokud chce udržet své standardy, je třeba naučit se být konkurenceschopný na globálním trhu. Proto musí společnosti působící na trhu reagovat na rychle se měnící požadavky zákazníků, neustálý tlak na snižování cen a zvyšování kvality produktů a služeb. Nejvíce je třeba se ale soustředit na kontrolu rozpočtu marketingových aktivit, efektivitu distribučních kanálů, kvalitu produktového portfolia a spokojené a loajální zákazníky.

Stejně tak tržní prostředí v oblasti strojí výroby a strojírenství je v dnešní době plné konkurence, organizace projevují rostoucí zájem o dosažení a prokázání svého dobrého jména. Progresivní technologie, vlastnosti výrobků a veškerých služeb se neustále rozvíjejí. Jen těžko by někdo bez neustálé analýzy trhu a následné inovace svých produktů uspěl na tak zahlceném tržním prostředí. Zejména v oblasti automobilového průmyslu lze říci, že je podmínkou, mít minimálně certifikovaný systém řízení kvality. Druhů přezkoušení, osvědčení a certifikátů je nespočet a samy o sobě nemusí vždy zákazníka přesvědčit o dobrém jméně a stejně tak ujištění organizace, že splňuje dané požadavky a bude je splňovat i v budoucnu.

Strategie, jak si udržet své standardy a být konkurenceschopný na globálním trhu zahrnuje dlouhodobé cíle společnosti, plánovaný vývoj jednotlivých strategických operací a alokaci zdrojů potřebných k jejich dosažení.

Otázkám způsobu měření konkurenceschopnosti a výkonnosti podniku se v minulosti stejně jako v současnosti věnovala a věnuje řada autorů. Podnik není izolovaný subjekt, jehož výkonnost závisí pouze na jeho vnitřních procesech a schopnostech. V současných podmínkách globálních trhů mohou úspěšně fungovat a dále se vyvíjet převážně ty podniky, jak již bylo zmíněno, které zvládnou reagovat i na vnější podmínky a změny, které hledají cesty pro zvyšování podnikové výkonnosti a zejména zvládnou být konkurenceschopné na trzích. Dalším úkolem managementu podniků je i kontrola kvality výrobků, na niž se požadavky neustále zvyšují, a proto je velmi důležité se na ni soustředit. A nejde jen o výstupy z měření, ale i zajištění kvality produkce dlouhodobě. (1)

Dá se říci, že dnes je tedy ještě důležitější, než kdykoliv dříve, aby byl managementu podniku schopen pružně reagovat na změny probíhající na trhu. To znamená, mít nejen pružnou výrobní technologii a podnikovou organizaci, ale hlavně mít k dispozici vhodné a kvalitní informace o veškerých procesech v podniku. Dostatek kvalitních informací je důležitý k přijímání kvalifikovanějších rozhodnutí na všech úrovních řízení podniku a pomáhá zvýšit hodnotu produktu. (1)

Předkládaná práce nastiňuje pro orientaci a pochopení tematiky nejprve definice a teoretické poznatky v problematice hodnocení ukazatelů výrobního procesu v oblasti automobilového průmyslu. Zdůvodňuje jak samotný výběr hodnotících ukazatelů, tak jejich vhodnost určení pro daný podnik a následné neustálé zlepšování procesu.

Stěžejní je část práce, kde je navržena metodika zpracování vybraných ukazatelů výrobních procesů v oblasti automobilového průmyslu včetně aplikace na vybraný soubor dat. Hodnocení ukazatelů se soustřeďuje především na hromadnou a sériovou výrobu, kde lze chování dat popsat normálním rozdělením pravděpodobnosti. Soubor dat je podroben statistické analýze, jejímž účelem je na základě pravděpodobnostního rozboru charakterizovat tento proces a navrhnout opatření pro zajištění optimální přesnosti, stability výrobního procesu a další později definované parametry. Hlavním nástrojem použitým pro hodnocení a zajištění statistické regulace procesu jsou regulační

diagramy, které pomáhají při sledování procesu a dokladují jeho stabilitu, dále způsoblost procesu a navazující neméně důležitá průměrná zmetkovitost. A samozřejmě využití dalších nástrojů řízení kvality pro zjištění potřebných ukazatelů.

Navržená metodika by měla pomoci podnikům, jak získat z nashromážděných dat potřebné hodnotící ukazatele výrobního procesu a následně pak přehled a objektivní informace o průběhu výroby a výrobního procesu podniku.

2 Přehled současného stavu řešení problematiky

Hodnocení ukazatelů výrobního procesu je tématem, které je v současnosti hodně diskutované. Jak už bylo zmíněno v úvodu, každý podnik chce dosáhnout těch nejlepších výsledků, a tím zákazníkům a konkurenci dát najevo nejen své postavení, ale zároveň dokladovat svou spolehlivost, co se týče kvality a zvládnutých procesů. K úspěšnému působení na trhu a v konkurenčním boji o zákazníka musí podniky neustále a rychle reagovat na měnící se požadavky zákazníků, pečlivě sledovat situaci na trhu, budovat vzájemně výhodné dodavatelsko-odběratelské vztahy. Samozřejmě stále hledat nové příležitosti a možnosti rozvoje, a tím si budovat výhody před svými konkurenty a vytvářet podmínky pro spokojeného zákazníka.

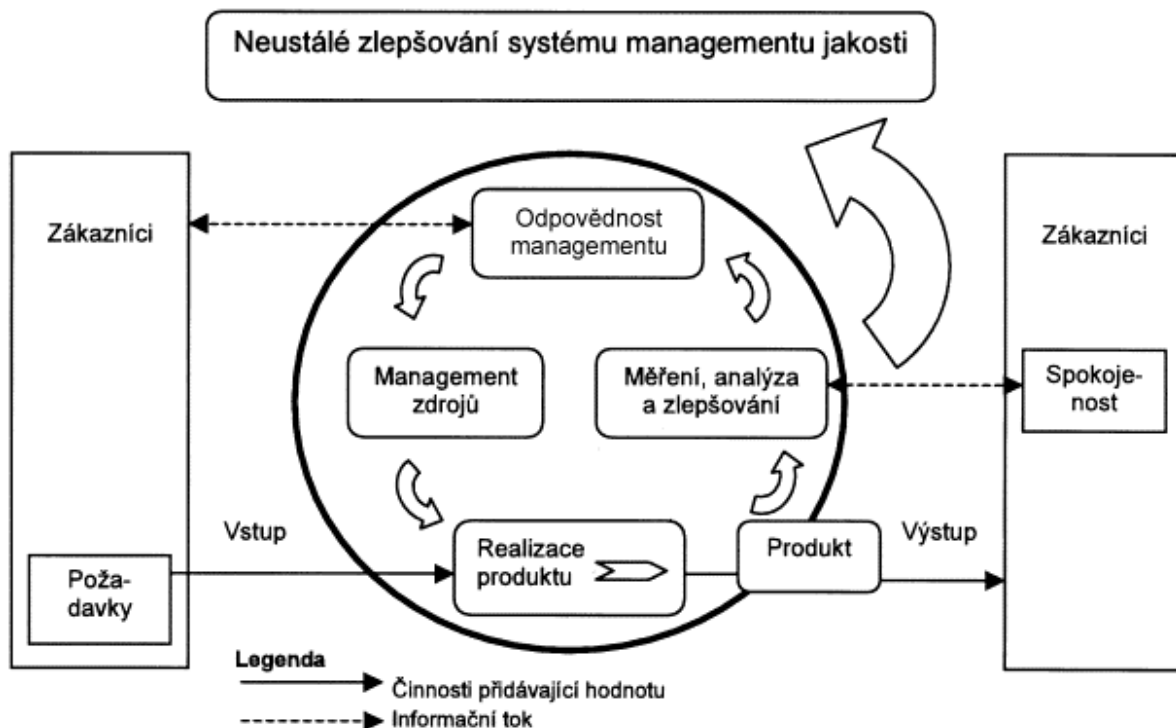
To, jak může své procesy management podniku hodnotit, je různé. Většina z dostupné literatury a odborných příspěvků se soustřeďuje na ekonomické zhodnocení, využití finančních ukazatelů zejména pro analýzu výkonnosti podniku, pro lepší pochopení konkurence anebo to, jak si podnik vede např. v analýze rovnováhy nákladů a výnosů, jak to je s plánováním investic, obrat podniku a jiné ekonomické hodnocení. (2)

Další oblastí zaměření literatury je hodnocení samotných procesů a jejich zlepšování. Jde o analýzu jednotlivých procesů, hledání slabých míst s následným nápravným opatřením, nebo návrhem na zlepšení daného procesu. Jde hlavně o hodnocení plnění plánů managementu podniku, jak a čeho chce management podniku dosáhnout a jak se mu to daří.

Procesy se vyskytovaly v organizaci vždycky, jen nebyly tak definovány jako dnes. Hlavní vývoj vedoucí k procesně orientované organizaci byl zaznamenán ze strany aplikace v oblasti informatiky, managementu a samozřejmě v oblasti ISO řady 9000. Procesně řízený model je orientován na výsledek všech činností podniku. Jakmile je tento přístup managementu podniku osvojen, je možné začít na plánech pro zlepšování. O každý proces je třeba se starat, musí se průběžně zlepšovat a optimalizovat. Nezbytnou podmínkou pro zlepšování procesu je znalost údajů o jeho výkonnosti, efektivitě a schopnosti změřit změnu. Aby podnik mohl dlouhodobě působit na trhu, musí mít jeho management nejen představu, jak chce vypadat, ale i představu jak těchto vizí dosáhnout, proto je nezbytné měření výkonnosti jednotlivých procesů v podniku. Klíčové indikátory jsou pak ty, jejichž plnění kriticky podmiňuje dosažení podnikových cílů. Obecný požadavek na moderní systémy pro měření výkonnosti procesů je ten, že je třeba se zaměřit na vývoj v budoucnosti, nejen zaměření na minulost. (1)

Aby organizace fungovala efektivně, musí stanovit a řídit mnoho vzájemně propojených činností. Z následující ilustrace je zřejmé, že při stanovování požadavků jakožto vstupů hrají významnou úlohu zákazníci.

Procesní přístup dle ISO 9001 a ISO/TS 16949



Obrázek 1: Procesní přístup dle ISO 9001 a ISO/TS 16949

Klíčové jsou pro tuto práci výrobní procesy, z čehož plyne, že hlavní je tedy dosažení určité kvality výrobků a výkonnosti výrobního procesu. Hodnocení výrobního procesu je ve většině literatury soustředěno na výkonnost a způsobilost, což jsou důležité ukazatele o samotném výrobním procesu. Dále je výrobní proces hodnocen pomocí základních i složitějších nástrojů řízení kvality, případně lze data z výroby a měření podrobit i rozsáhlé statistické analýze.

Relevantní naměřená data se používají nyní mnohem častěji a mnoha způsoby než kdykoli dříve. Většina závěrů o výrobním procesu, jak jej seřídit, zda je statisticky zvládnutý apod., je založena právě na naměřených datech. (3)

V současnosti je možné získat mnoho informací o použití jednotlivých nástrojů řízení kvality. Stejně tomu je i v případě statistického řízení procesu a dá se říci, že i u stanovení způsobilosti nebo výkonnosti procesu. K tomu nelze nic namítat, ale údaje o použití a samotné aplikaci těchto nástrojů je spíše teoretická. Je třeba brát v potaz nejrůznější okolnosti výrobního procesu, které ideální situace komplikují a vytváří tak speciální případy, které literatura moc často nezohledňuje, nebo možná jen uvede v poznámce.

Většina publikací se soustřeďuje jen na uplatnění jednoho konkrétního nástroje nebo několika určitých nástrojů spolu úzce souvisejících. To pro management podniku znamená, že pokud chce využít nějakého hodnocení výrobního procesu, ať už pomocí nástrojů řízení kvality, nebo statistického hodnocení, je nutno nastudovat velké množství literatury, aby závěr byl opravdu objektivní.

Samozřejmě je možné, aby management podniku využil některý z na trhu nabízených softwarových nástrojů. V současnosti existuje nespočet různých statistických softwarů pro zpracování dat, které

jsou však mnohdy využívány, aniž by bylo ověřeno, zda-li je správné nebo vhodné daný nástroj použít. (4) Pokud se management podniku rozhodne pro použití některého statistického softwaru, je třeba zhodnotit jeho vhodnost, protože při statistickém vyhodnocování může například dojít k tomu, že při použití zaokrouhlovaných mezivýsledků se mohou objevit odchylky oproti vzorovým datům. Kromě toho nejdůležitějšího, a to volby vhodného softwaru, existují další parametry, které je třeba zohlednit před samotným pořízením statistického softwaru. První věc, ve které je zapotřebí mít jasno, je že investice se neskládá pouze z nákupu licence. U opensource softwarů je cena vlastnictví tvořena na základě počtu hodin práce, které lze využít. Většinu hodin práce ale zabere jen samotné učení jak software používat. U jiných softwarů jde např. o relativně striktní licenční politiku. K dalším parametrům patří určitě i zohlednění vyšších nároků na hardware a jiné.

Dalším úskalím před konkrétním zhodnocením výrobního procesu je otázka, jakých nástrojů je třeba využít, jaké jsou správné a vhodné, kolik nástrojů je třeba použít a jaké ukazatele vlastně management podniku potřebuje nebo chce. Je pak na managementu podniku, aby se rozhodl, jaké nástroje využije a jakých závěrů chce dosáhnout. To často podněcuje požadavek zákazníka, jemuž chce management podniku vyhovět. Neméně důležitou otázkou je, zda je management podniku vůbec schopen nashromáždit taková data, která by mohla dané informace poskytnout.

Sběru dat je třeba věnovat pozornost, neboť pro některý podnik se může stát i velmi nákladným, a proto mnohdy i nedostupným z důvodu velkého rozsahu např. při požadavku 100% kontroly. Přínos z využívání postupu založeného na nashromážděných datech je do značné míry podmíněn kvalitou použitých dat. Je-li kvalita dat nízká, bude pravděpodobně i přínos z využitého postupu hodnocení malý. Aby bylo zajištěno, že přínos získaný z hodnocení analýzy výrobního procesu a výroby bude dostatečně velký a mohly se tak náklady na jeho dosažení ospravedlnit, je třeba zaměřit pozornost i na kvalitu nashromážděných dat. (3)

Při sběru dat je navíc potřeba se vyhnout získávání redundantních informací nepotřebných v konkrétním místě a čase pro konkrétní účel, protože se tím snižuje přehlednost a samozřejmě mohou růst i náklady. Je třeba i brát v úvahu, že informace musí být také důsledně a pečlivě ve všech etapách nakládání s nimi chráněny. Účinně, avšak ekonomicky únosně. Proto je někdy i nezbytné vybudovat, realizovat a neustále zlepšovat vlastní efektivní systém řízení bezpečnosti informací v organizaci, což podmiňuje i získání konkurenční výhody (Information Security Management System – ISMS dle ISO/IEC 27001). (5)

Provede-li se retrospektivní pohled do praxe našich organizací, lze říci, že ve většině případů se opírají o tradiční přístupy k měření výkonnosti. Pro tyto přístupy či pohledy je charakteristické, že jsou orientovány ve většině případů do minulosti, maximálně současnosti. Výsledný efekt hodnocení je spatřován hlavně v ekonomických kritériích a cílem je určit trendy nebo místa, která vykazují neefektivitu. Z toho vyplývá jediné, je třeba, aby se organizace přihlásila k mottu „Dělat, co je potřeba – a ne to, co se doposud vždy dělalo.“ Bylo by vhodné si uvědomit, že postupem času se vše vyvíjí a mění. Je tedy třeba, vedle tradičních přístupů k hodnocení využívat i přístupy nové, či doplnit o nové ukazatele a nejreálnější předpovědi faktorů budoucího vývoje v podobě určení rozvojového potenciálu. (6)

Dá se tedy říci, že současně dostupné zdroje neobsahují jednotný ucelený postup pro komplexní zhodnocení výrobního procesu pro sériovou výrobu v oblasti automobilového průmyslu. Tato oblast

si ovšem klade vysoké nároky na kvalitu dodávaných výrobků. S tím souvisí kvalita celého výrobního procesu, která vyžaduje pozornost právě tam, kde kvalita kolísá a kde ji lze ještě v procesu ovlivnit. Dodavatelé musí, pokud chtějí uspět na trhu vedle konkurence, doložit fungující procesy a zvládnutý výrobní proces, a s tím zajištěnou vysokou kvalitu výrobků. Je tedy důležité mít zvládnuté postupy stanovování hodnotících ukazatelů, tak i to, co jednotlivé ukazatele vypovídají o daném procesu.

Vzhledem k tomu, že zatím nebyla vydána nová norma ISO/TS 16949 s použitím aktuální normy ISO 9001:2015, bude se pro potřeby této práce vycházet z normy ISO 9001:2008.

3 Cíle disertační práce

Základní myšlenkou pro tvorbu této práce je navržení metodiky hodnocení ukazatelů výrobního procesu v oblasti automobilového průmyslu, při částečné aplikaci teoretických znalostí a zkušeností, získaných během studia dostupné literatury a vlastního výzkumu. V neposlední řadě pak zavést tento koncept do praxe a experimentálně ho ověřit na reálných tvrdých datech.

3.1 Hlavní cíl disertační práce

Hlavním cílem disertační práce je tedy formulovat návrh metodiky hodnocení výrobních procesů v prostředí sériové výroby automobilového průmyslu, analyzovat funkci základních nástrojů matematické statistiky a ukázat, že nejde jen o pouhé zpracování dat, ale o podložený přístup ke skutečnosti s pochopením náhod, které každý proces provází, a na základě nashromážděných podnikových dat zhodnotit pomocí vybraných hodnotících ukazatelů výrobní proces.

3.2 Vedlejší cíle disertační práce

Dosažení hlavního cíle závisí na splnění několika dílčích cílů, mezi které náleží:

- Ověření kvality nashromážděných dat pomocí statistické analýzy dat
- Definování hodnotících ukazatelů výrobního procesu
- Aplikace vybraných nástrojů kvality na zhodnocení stavu procesu
- Návrh a ověření metodiky hodnocení výrobního procesu na případové studii včetně hodnocení poznatků

Důležitým požadavkem na tuto práci je uvedení vybraných poznatků v oblasti hodnocení ukazatelů výrobních procesů a následné možnosti dalšího vývoje.

4 Metodika práce

Pro vytvoření metodiky hodnocení ukazatelů výrobního procesu musí být k dispozici data pořízená během výrobního procesu, která se pak dále zpracovávají.

Prvním krokem před statistickým zpracováním dat je analýza dat samotných, která napoví, o jaký druh rozdělení pravděpodobnosti jde.

Pravděpodobnost nebo pravděpodobné jsou slova používaná celkem běžně a každý ví, co znamenají. Z pohledu matematické statistiky jsou vlastně náhodným jevům přisuzovány váhy, co je pravděpodobnější než něco jiného. Na základě pozorovaných dat se matematická statistika snaží pravděpodobnosti náhodných jevů odhadovat a porovnávat s představami a požadavky o pravděpodobnostech těchto jevů např. pokud je třeba znát pravděpodobnost výskytu neshodného produktu při stávajícím stavu výrobního procesu. Výskyt této neshody je náhodný jev daného procesu a požadavkem je dostat tento proces do stavu, kdy bude pravděpodobnost výskytu neshody co nejmenší nebo bude odpovídat požadavkům zákazníka. A samozřejmě bude tato pravděpodobnost časově stálá, což znamená, že „proces bude pod kontrolou“. (4)

Pro navržení metodiky zpracování dat je třeba nejprve tedy zjistit, o jaký typ dat jde a pak je možné navrhnout vhodné ukazatele pro hodnocení výrobního procesu. Toto je možné po detailní analýze současného stavu procesu, objasnění způsobu shromažďování dat a také druhu zjišťovaných dat. Například potvrzení, že jde o normální rozdělení a zda je proces zvládnutý vypoví tvar histogramu. Tvar histogramu při normálním rozdělení má zvonovitý tvar, což odpovídá Gaussově křivce. To znamená, že jde o proces, který je časově ustálený.

Navržený postup:

- Analýza statistických dat včetně základní popisné statistiky
- Výběr potřebných ukazatelů pro zhodnocení procesu
- Stanovení daných ukazatelů
- Interpretace výsledků
- Testování dalších možných hypotéz
- Závěr z analýzy procesu
- Návrh metodiky hodnocení výrobního procesu

Pro ověření navržené metodiky bude pro tuto práci využito různých souborů dat, aby bylo ověřeno více možností a také přizpůsobení metodiky pro více potenciálních uživatelů. Ve všech případech půjde o reálná data z měření během výrobního procesu.

Kompletní navržená a otestovaná metodika hodnocení ukazatelů výrobního procesu by měla být implementována do podnikového systému řízení kvality. Bude se tedy jednat o komplexní návod pro sériovou výrobu v oblasti automobilového průmyslu, jak postupovat při stanovování hodnotících ukazatelů výrobního procesu a jejich vyhodnocení. Bude tak stanoven závěr o výrobním procesu, který může podnik dále prezentovat jako důkaz zvládnutého stavu procesu, čímž dokladuje zákazníkům kvalitu. Může se samozřejmě jednat o kvalitu výrobního procesu a jeho činností, tak i kvalitu jeho produktů.

4.1 Analýza statistických dat

Pokud je cílem dozvědět se více o stavu výrobního procesu, je prvním krokem samozřejmě sběr dat a je to velice důležitý krok, protože od kvality dat se vše odvíjí. Data jsou potřeba pro využití patřičného statistického nástroje, v zásadě platí, čím více dat, tím lépe. Před vlastním odběrem dat z procesu je nutno rozhodnout, která data se budou získávat, jak se budou měřit či zjišťovat, kdo bude sběr provádět, jak často, kam se data budou ukládat, jaké množství dat bude zapotřebí, aby data přinesla žádanou informaci, nebo jaký problém se bude pomocí dat řešit. Je tedy nutné věnovat sběru dat patřičnou pozornost, aby data byla v žádané kvalitě. (7; 4)

4.1.1 Základní statistická analýza

Pomocí základní statistické analýzy dat se ověří možnost aplikace dalších nástrojů řízení kvality podle toho, o jaký typ dat se jedná. U dat diskrétního charakteru není obvykle nutné provádět ověřování předpokladů, např. pro volbu vhodného regulačního diagramu srovnáním je pouze nutné si uvědomit, zdali je sledován počet neshodných výrobků či počet neshod. Naopak u dat spojitého charakteru je situace komplikovanější, neboť je třeba najít vhodný statistický model pro popis dat. Nejčastěji se jedná o model normálního rozdělení. (7)

Normální rozdělení

Normální rozdělení charakterizuje pravděpodobnostní chování velmi široké kategorie jevů v průmyslové výrobě a v přírodních vědách. Je používáno u souborů dat spojitého charakteru a jde o nejčastější rozdělení. Pro různé důvody je poněkud speciálním rozdělením. Je symetrické, tj. hodnoty se pohybují okolo střední hodnoty a jsou zatíženy pouze náhodnou chybou. Následuje tedy ověření normality. (8)

Pokud tedy odpovídá naměřený soubor dat normálnímu rozdělení, lze predikovat chování analyzovaného procesu v budoucnu, pokud budou zachovány tytéž podmínky. Dále je použitelné všude tam, kde je kolísání náhodné veličiny způsobeno součtem velkého počtu nepatrných a vzájemně nezávislých vlivů.

Křivka, jež popisuje normální rozdělení pravděpodobnosti, nese jméno F. Gausse (1777-1855). Carl Friedrich Gauss byl slavný německý matematik a fyzik. Zabýval se mimo jiné geometrií, matematickou analýzou, teorií čísel, astronomií, elektrostatikou, geodézií a optikou. Silně ovlivnil většinu z těchto oborů vědění. Mezi jeho stěžejní díla patří spis *Disquisitiones Arithmeticae*, který napsal již ve věku 21 let a položil tím základy teorie čísel jakožto matematické disciplíny. (9; 10)

Pro spojitě náhodné veličiny je normální rozdělení nejdůležitější model. Graficky je model popsán spojitou křivkou zvonovitého tvaru, též známou jako Gaussova křivka. Aby se mohlo jednat o normální rozložení, musí se křivka řídit zvláštními pravidly, která se týkají jeho směrodatné odchylky. Nejde tudíž o libovolnou křivku zvonovitého tvaru. Model normálního rozdělení se označuje $N(\mu, \sigma^2)$, kde μ je střední hodnota a parametr σ je směrodatná odchylka. (4; 11)

Plocha pod křivkou má velikost 1 a od tvaru křivky je odvozeno rozdělení pravděpodobnosti. Jinými slovy, integrál z hustoty přes celý definiční obor náhodné veličiny je roven jedné. Protože hustota je symetrická kolem střední hodnoty, znamená to, že střední hodnota dělí plochu pod křivkou na dvě stejné části - každá z nich má tedy velikost 1/2. Ze symetrie vyplývají samozřejmě i další příjemné

vlastnosti. Za předpokladu, že chceme určit pravděpodobnost $P(x_1 < x < x_2)$ náhodné veličiny x a přitom x_1 a x_2 jsou od střední hodnoty stejně vzdáleny. (12) Lze psát:

$$|x_1 - \mu| = |x_2 - \mu|$$

Potom velikost plochy pod křivkou hustoty od x_1 do μ je stejná, jako velikost plochy od μ do x_2 . A tedy:

$$P(x_1 < X < x_2) = 2 \cdot P(x_1 < X < \mu) = 2 \cdot P(\mu < X < x_2)$$

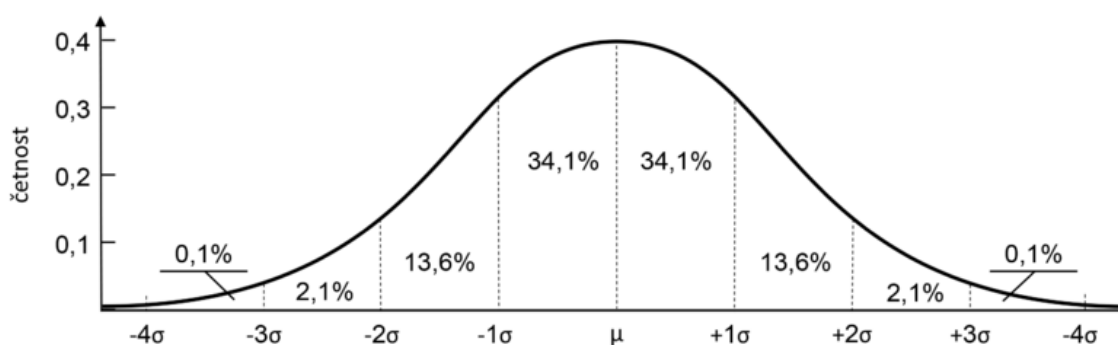
Tato vlastnost vyplývající ze symetrie normálního rozdělení velmi zjednoduší některé úvahy a výpočty.

Normální rozdělení je jako každé jiné statistické rozdělení především *myšlenkovým modelem a matematickým ideálem*. Je to však model velice významný. Prakticky vždy se zajímáme, jestli se naše naměřené hodnoty podobají normálnímu rozložení. Pokud ano, lze využít řadu statistických testů, které jsou na předpokladu normálního rozložení založeny (nazývají se **parametrické**)

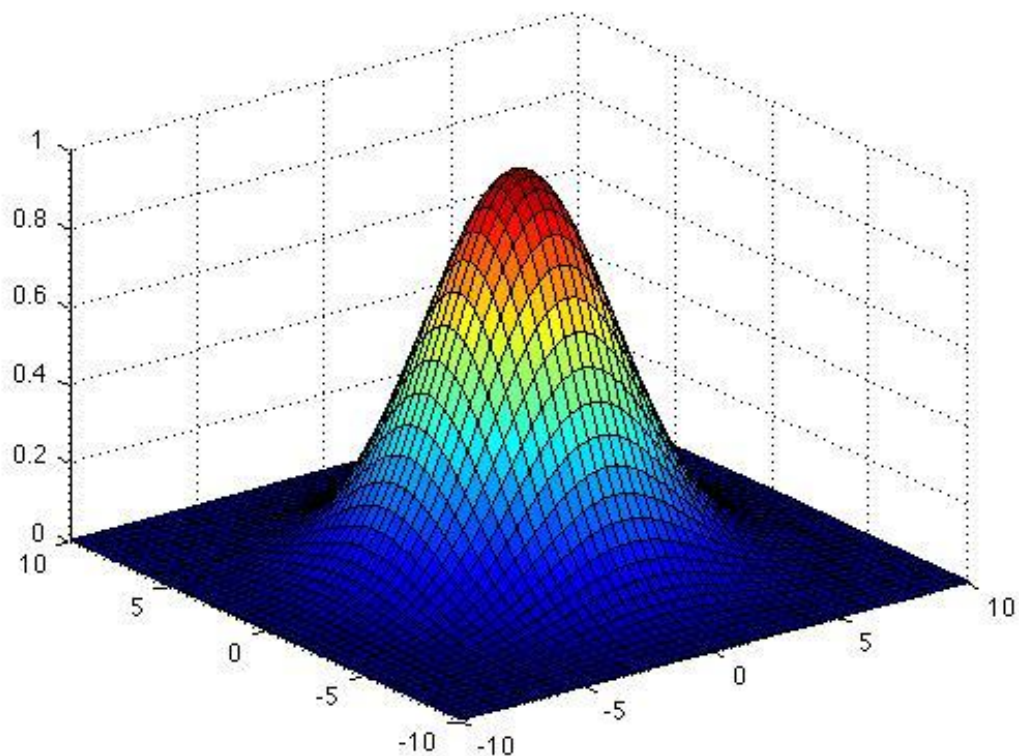
Důležitost pro statistiku

Pro statické zpracování dat je normální rozdělení důležité díky následujícím charakteristikám:

- Rozdělení je **symetrické** a většina hodnot se soustředí kolem střední hodnoty.
- Normální rozdělení je jednodálí (má jeden vrchol)
- Vždy můžeme vypočítat procento případů spadajících do určitého intervalu kolem střední hodnoty. Do jedné směrodatné odchylky (σ) na každou stranu spadá 68,26% případů. Do dvou směrodatných odchylek (2σ) na každou stranu spadá 95,34% případů. Jinak řečeno je 95% pravděpodobnost, že náhodně vybraný případ bude ležet v intervalu $\pm 2\sigma$ kolem průměru (přesně je to do $\pm 1,96\sigma$). Do $\pm 3\sigma$ spadne přesně 99,7% případů (viz obrázek).



Obrázek 2: Normální rozdělení - Gaussova křivka (11)



Obrázek 3: Normální rozdělení - Gaussova křivka (3D) (13)

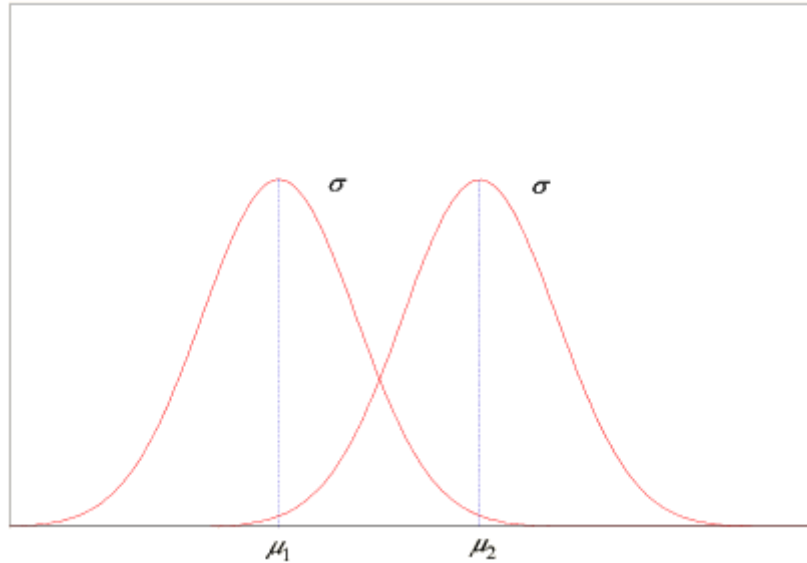
Graf znázorňuje hustotu normálního rozdělení se střední hodnotou rovnou μ a směrodatnou odchylkou rovnou σ . Hodnota funkce říká, v jakých oblastech je výsledek náhodného pokusu více pravděpodobný a v jakých méně. Výsledky poblíž střední hodnoty μ jsou pravděpodobnější než odlehlé. Rozdělení je symetrické kolem střední hodnoty μ . (14; 15)

Normální rozdělení pravděpodobnosti s parametry μ a σ^2 , pro $-\infty < \mu < \infty$ a $\sigma^2 > 0$, je pro $-\infty < x < \infty$ definováno hustotou pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce.

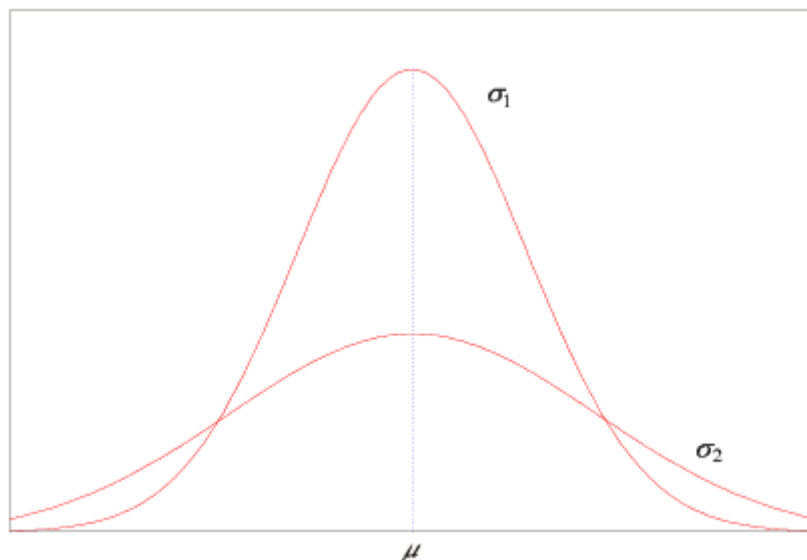
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Normální rozdělení se většinou značí $N(\mu, \sigma^2)$. Rozdělení $N(0,1)$ bývá označováno jako normované (nebo standardizované) normální rozdělení. Normované normální rozdělení má tedy hustotu pravděpodobnosti

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$



Obrázek 4: Normální rozdělení - stejné směrodatné odchylky a různé střední hodnoty

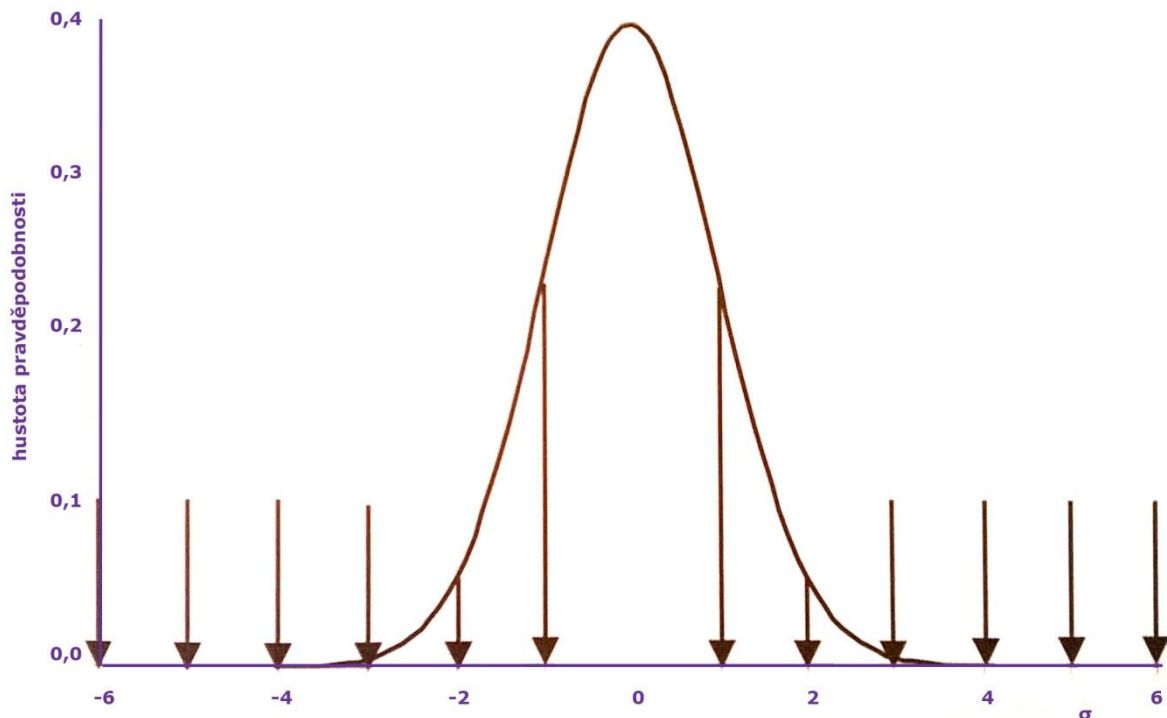


Obrázek 5: Normální rozdělení - různé směrodatné odchylky a stejná střední hodnoty

Z výše uvedených obrázků je zřejmý význam jednotlivých charakteristik normálního rozdělení. Hodnota μ se u normálního rozdělení nachází ve stejném bodě na ose x , kde funkce dosahuje svého vrcholu. Malá hodnota σ vytváří „ostrou“ křivku s úzkým vrcholem a příkrými stěnami, velká hodnota σ vytváří naopak „širokou“ křivku s méně příkrými stranami. (11)

Klasickým typem veličin, které se řídí tímto rozdělením, jsou náhodné chyby. Proto se toto rozdělení někdy označuje jako zákon chyb. Významnost normálního rozdělení je také v tom, že je limitním rozdělením. To znamená, že za určitých podmínek formulovaných centrální limitní větou se k němu blíží jiná spojitá i diskrétní rozdělení. Normální rozdělení lze tedy využít i k nahrazení jiných složitějších rozdělení a k vyrovnání empirických rozdělení. (15; 16)

Normální rozdělení a některé jeho vlastnosti



Obrázek 6: Normální rozdělení a některé jeho vlastnosti

- V intervalu $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$ leží **68,26%** všech pozorování, mimo tento interval leží $2 \cdot 15,87\%$, tj. **31,74%**.
- V intervalu $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$ leží **95,44%** všech pozorování, mimo tento interval leží $2 \cdot 2,28\%$, tj. **4,56%**.
- V intervalu $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$ leží **99,73%** všech pozorování, mimo tento interval leží $2 \cdot 0,135\%$, tj. **0,27% (2700 ppm)**.
- V intervalu $\langle \mu - 4\sigma, \mu + 4\sigma \rangle$ leží **99,994%** všech pozorování, mimo tento interval leží $2 \cdot 0,003\%$, tj. **0,006% (60 ppm)**.
- V intervalu $\langle \mu - 5\sigma, \mu + 5\sigma \rangle$ leží **99,99994%** všech pozorování, mimo tento interval leží $2 \cdot 0,00003\%$, tj. **0,00006% (0,6 ppm)**.
- V intervalu $\langle \mu - 6\sigma, \mu + 6\sigma \rangle$ leží **99,9999998%** všech pozorování, mimo tento interval leží $2 \cdot 0,0000001\%$, tj. **0,0000002% (0,002 ppm)**.

Pozn. Při studiu odborné literatury je možné se setkat s nejednotným označením směrodatné odchylky. Je používáno „s“ nebo „σ“. Aby nedošlo k záměně jiných veličin v popisovaném vztahu, je pro potřeby této práce používáno označení podle daného citovaného zdroje.

Základní popisná statistika umožňuje výpočet základních číselných charakteristik, které pomáhají co nejlépe využít informaci obsaženou v naměřených hodnotách. Naměřené hodnoty se charakterizují hlavně parametrem polohy a úrovní variability neboli směrodatnou odchylkou. (4)

Poloha dat na číselné ose se nejčastěji odhaduje výběrovým průměrem. Ten se spočítá jako součet všech dat vydělený počtem dat. Viz následující vzorec pro výpočet výběrového průměru \bar{x} , kde n je rozsah výběru.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Druhou nejčastější charakteristikou pro chování dat je úroveň variability. Ta je odhadována na základě dat pomocí výběrové směrodatné odchylky s .

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

Pokud rozdělení normální není, použijeme k dalším analýzám **neparametrické testy** (nebo transformujeme distribuci proměnné).

4.1.2 Ověření normality

Volba teoretického rozdělení je prováděna na základě některých věcných úvah o sledovaném jevu, popřípadě na základě odhadu typu teoretického rozdělení z grafického vyobrazení výběrového rozdělení četností. Tato volba nemusí být vždy správná, a proto je aktuální ověřit shodu empirického rozdělení s teoretickým vhodným testem.

Testy hypotézy, že náhodný výběr x_1, x_2, \dots, x_n pochází z určitého předpokládaného rozdělení (např. normálního), se nazývají *testy dobré shody*.

Pro ověření, zda data odpovídají normálnímu rozdělení pravděpodobnosti, existuje několik metod. Jde o metody početní i grafické, např. histogram, χ^2 -test dobré shody nebo Kolmogorovův test dobré shody s normálním rozdělením. (17)

Definice základních pojmů v této oblasti:

Statistická hypotéza je tvrzení, které se týká neznámé vlastnosti rozdělení pravděpodobnosti náhodné proměnné (i vícerozměrné) nebo jejích parametrů.

Hypotéza, jejíž platnost je ověřována, se nazývá **nulová hypotéza H_0** .

Proti nulové hypotéze se staví **alternativní hypotézu H_1** . Ta může být buď **oboustranná**, nebo **jednostranná**. Pak i **testy** jsou buď **oboustranné**, nebo **jednostranné**.

Hypotézy se mohou týkat pouze neznámých číselných parametrů rozložení náhodné veličiny, pak jde o **testy parametrické**.

Ostatní typy jsou **testy neparametrické**.

Statistické testy jsou postupy, jimiž se prověřuje platnost nulové hypotézy. Na základě nich se pak **hypotéza buď přijme, nebo odmítne**.

Testovací kritérium je náhodná veličina závislá na náhodném výběru (též nazývaná **statistika**) mající vztah k nulové hypotéze.

Hladina významnosti testu (chyba α zvolená experimentátorem), což je pravděpodobnost, že se zamítne nulová hypotéza.

Pearsonův χ^2 - test dobré shody

Tento test lze použít ve dvou nejčastěji se vyskytujících situacích:

- Nulová hypotéza H_0 předpokládá, že v konečném základním souboru roztříděném podle nějakého kvantitativního či kvalitativního znaku do k skupin jsou podíly variant v základním souboru rovny číslům $p_{0,1}, p_{0,2}, \dots, p_{0,k}$.
- Nulová hypotéza H_0 předpokládá, že nekonečný základním souboru má rozdělení určitého typu (např. normální).
 - o V případě, že H_0 udává nejen typ rozdělení, ale i jeho parametry, mluvíme o úplně specifikovaném modelu.
 - o V případě, že je udán pouze typ rozdělení, tak hovoříme o neúplně specifikovaném modelu.

Jde vlastně o testování statistické hypotézy, kde poslední krok představuje formulace závěru testování, které lze to provést dvěma způsoby:

1) srovnáním vypočteného testovacího kritéria s kritickou hodnotou, která se určuje v závislosti na zvolené hladině významnosti α . Jestliže hodnota vypočtené testovací statistiky překročí kritickou hodnotu, znamená to, že existuje evidence pro zamítnutí nulové hypotézy (tzn. „že je potvrzen rozdíl“). Naopak, pokud se vypočtená testovací statistika ocitne uvnitř oboru přijetí H_0 , nemusí se zamítnout nulová hypotéza, a je tedy předpoklad, že platí.

2) převedením testovací statistiky do pravděpodobnostní škály a výpočtem pravděpodobnosti p , která kvantifikuje pravděpodobnost realizace hodnoty testovací statistiky, pokud nulová hypotéza platí. Takže pravidlo pro formulaci závěru je pak následující:

* Jestliže p -hodnota je menší než hladina významnosti α (chyba α), zamítne se nulová hypotéza H_0 . Symbolicky lze použít závěr:

$p < 0,05$ „statisticky významný rozdíl“ nebo

$p < 0,01$ „statisticky vysoce významný rozdíl“

* Jestliže je p -hodnota větší než hladina významnosti α (chyba α), nulová hypotéza H_0 nelze zamítnout a je tedy předpoklad, že platí. Symbolicky lze psát:

$p > 0,05$ („statisticky nevýznamný rozdíl“).

Shodu mezi empirickým a teoretickým rozdělením se posuzuje pomocí testového kritéria:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j},$$

Kde n_j jsou empirické (skutečné) četnosti v intervalu j ($j = 1, 2, \dots, k$) a np_j teoretické četnosti (stanovené na základě pravděpodobnosti) v intervalu j . Vzorec testového kritéria lze snadno upravit na ekvivalentní tvar

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{n_j^2}{np_j} - n$$

Za platnosti H_0 má statistika asymptoticky χ^2 – rozdělení o $k-c-1$ stupních volnosti (c je počet parametrů, které nejsou H_0 specifikovány, pro normální rozdělení tedy 2)

Kritický obor pro test H_0 má tedy tvar:

$$K = \{\chi^2 > \chi_{\alpha(k-c-1)}^2\}$$

kde $\chi_{\alpha(k-c-1)}^2$ je kritická hodnota χ^2 – rozdělení.

Pokud $\chi^2 > \chi_{\alpha}^2$, nulová hypotéza se zamítá, platí hypotéza alternativní, která tvrdí, že náhodný výběr není ze základního souboru s daným rozdělením pravděpodobností. Spolehlivost χ^2 – testu dobré shody se zvyšuje s rostoucím rozsahem výběru n .

Kolmogorovův test dobré shody s normálním rozdělením

Je-li plně známo teoretické rozdělení, tzn. jeho typ i příslušné parametry, je velmi výhodným a jednoduchým testem shody Kolmogorov – Smirnovův test, který je použitelný i v případech, kdy není použitelný χ^2 – test dobré shody (např. v případě výběru malého rozsahu, velký podíl teoretických četností menších než 5).

Jeho předností je, že vychází z původních jednotlivých napozorovaných hodnot a nikoliv z údajů seříděných do tříd (skupin). Tím nedochází ke ztrátě informace obsažené ve výběru.

Test se používá k ověření hypotézy, že pořizovaný výběr pochází z rozdělení se spojitou distribuční funkcí $F(x)$, která ovšem musí být úplně specifikována včetně všech parametrů. (17)

Test se provádí pomocí testového kritéria:

$$D = \frac{1}{n} \max |N_j - H_j|,$$

kde:

N_j kumulativní četnosti empirické

H_j kumulativní četnosti teoretické

n četnost sledovaného souboru

$\max |N_j - H_j|$ největší rozdíl mezi kumulativními četnostmi empirickými a teoretickými

Jestliže hodnota testového kritéria D překročí kritickou hodnotu D_α , nalezenou v tabulce pro daný rozsah výběrového souboru n a zvolenou hladinu významnosti α , zamítáme nulovou hypotézu o shodě mezi empirickým a teoretickým rozdělením.

Tabulka kritických hodnot D_α je sestavena pouze pro $n \leq 40$. Pro výběry větších rozsahů se musí kritické hodnoty určit podle vztahů (pro $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,01$).

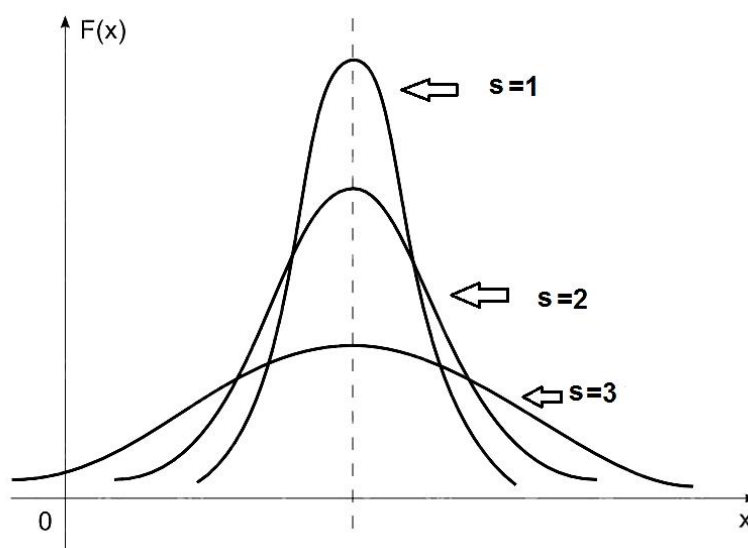
$$D_{0,05} = \frac{1,36}{\sqrt{n}} ; D_{0,01} = \frac{1,63}{\sqrt{n}}$$

Lze říci, že tvar křivky charakterizuje proces výroby nebo měření, pro detailnější zhodnocení souboru dat se stanovují další parametry jako přesnost, stabilita, strannost a linearita, zejména pro systém měření a pro výrobu šikmost a špičatost.

4.1.2.1 Přesnost (Accuracy)

Přesnost lze definovat jako „těsnost“ vzhledem k pravé hodnotě nebo přijaté referenční hodnotě. Nebo též jako rozdíl mezi hodnotou výsledku a hodnotou očekávanou (referenční). Přesnost lze popsat chybou a kombinuje náhodné a systematické faktory.

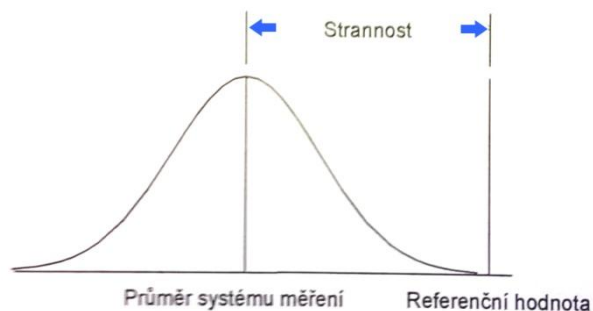
Co se týká daného výrobního procesu, přesnost určuje vlastně to, jak přesně podnik vyrábí. Lze pak říci, kdy podnik vyrábí přesněji než je potřeba, a tím je výroba nákladnější. Nebo naopak výroba s přesností nižší, než jsou požadavky.



Obrázek 7: Přesnost

4.1.2.2 Strannost (Bias)

Strannost je rozdíl mezi pravou hodnotou (referenční hodnotou) a pozorovanou střední hodnotou měření provedených na tomtéž znaku na témž dílu. Strannost je míra systematické chyby systému měření.



Obrázek 8: Strannost

Metoda grafická – Pro určení strannosti je nutno nejprve určit referenční hodnotu etalonu popř. výrobního dílu (je vhodné mít výběry pro dolní a horní krajní hodnoty). Dále se změří daný díl $n \geq 10$ krát.

Z naměřených hodnot se určí strannost každého odečtu:

$$strannost_i = x_i - referenční\ hodnota$$

Poté se z dat strannosti zakreslí histogram ve vztahu k referenční hodnotě. Následuje kontrola, zda se v histogramu nevyskytují nějaké zvláštní příčiny nebo anomálie (je nutno dát velký pozor při $n < 30$). (18; 19; 3)

Metoda numerická - Výpočet průměrné strannosti n odečtů:

$$průměrná\ strannost = \frac{\sum_{i=1}^n strannost_i}{n}$$

Výpočet směrodatné odchylky opakovatelnosti:

$$\sigma_{opakovatelnost} = \sigma_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dále se určí, zda je opakovatelnost přijatelná, a to výpočtem:

$$\%EV = 100 [EV/TV] = 100 [\sigma_{opakovatelnost}/TV],$$

kde celková variabilita TV je založena na očekávané variabilitě procesu nebo na rozpětí daném specifikací děleno 6.

(Pod 10% obecně platí, že se jedná o přijatelný systém měření. 10% až 30% může být přijatelný pro některé aplikace. Nad 30% se považuje za nepřijatelné) (3)

Poněvadž se u analýzy strannosti předpokládá, že opakovatelnost je přijatelná, další pokračování v analýze s velkým %EV může vést k zavádějícím výsledkům.

Nejistota strannosti

$$\sigma_b = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}}$$

Určení statistiky t pro strannost (pozorovaný průměr měření)

$$t = \frac{\text{průměrná strannost}}{\sigma_b}$$

Strannost je přijatelná na hladině α pokud nula padne do $1-\alpha$ konfidenčních mezí okolo hodnoty strannosti

$$\text{strannost} - \left[\sigma_b \left(t_{v, 1 - \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \right] \leq \text{nula} \leq \text{strannost} + \left[\sigma_b \left(t_{v, 1 - \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \right]$$

kde $v = n - 1$ a $t_{v, 1 - \left(\frac{\alpha}{2} \right)}$ se zjistí pomocí standardních tabulek pro t .

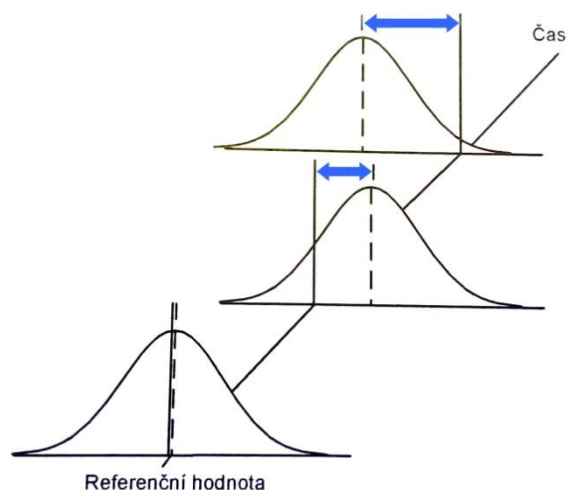
Následně se provede vyhodnocení příčin statisticky nezvládnutého stavu nebo podmínek (např. diagram příčin a následků - Ishikawa). (18; 19; 3)

4.1.2.3 *Stabilita (Stability)*

Stabilitu lze definovat jako změnu strannosti v čase nebo stabilizovaný proces měření ve statisticky zvládnutém stavu vzhledem k poloze.

Pro určení je třeba stanovit referenční hodnotu etalonu popř. výrobního dílu (je vhodné mít výběry pro dolní a horní krajní hodnoty). Dále se periodicky (např. každou směnu, den, týden...) provede 3 až 5 měření vzorového výběru. Rozsah, velikost a periodičita výběru záleží na znalosti systému měření, stavu re-kalibrace, provozních podmínkách atd. Data se v časovém pořadí zakreslí do regulačního diagramu pro (\bar{X}, R) popř. (\bar{X}, s) . (18)

Další možností určení je nezávislá výběrová metoda. Buď grafická metoda, kdy se stanoví regulační meze pomocí běžné analýzy a provede se vyhodnocení příčin statisticky nezvládnutého stavu nebo podmínek (např. Ishikawa) anebo numerická metoda, která funguje pouze pro běžné analýzy regulačních diagramů. Pokud je systém ve stabilizovaném stavu, lze data použít pro strannosti systému. (18)

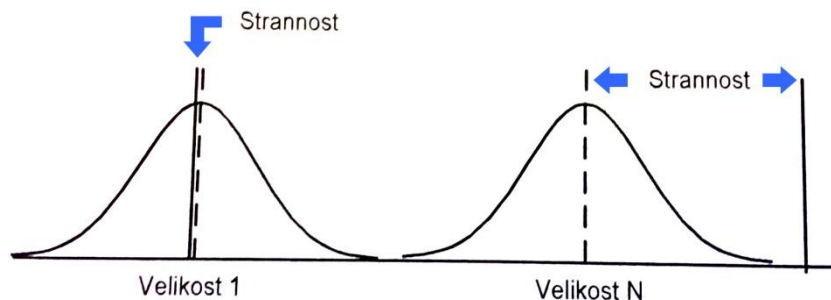


Obrázek 9: Stabilita

4.1.2.4 Linearita (Linearity)

Linearita je vlastně změna strannosti v běžném provozním rozsahu nebo korelace násobných a nezávislých chyb strannosti v provozním rozsahu. (3)

Pro určení linearity je zapotřebí vybrat $g \geq 5$, jejichž měření kolísající vlivem variability procesu a pokrývají pracovní rozsah měřidla. Každý díl se nechá změřit pracovníky rozměrové kontroly, aby se určila jeho referenční hodnota a potvrdilo se, že je zde zahrnut pracovní rozsah předmětného měřidla. Každý díl se nechá změřit $m \geq 10$ krát, díly se volí náhodně, aby se omezilo ovlivňování strannosti operátorem. (18; 19)



Obrázek 10: Linearita

Vypočet strannosti dílu pro každé měření a průměrná strannost každého dílu

$$strannost_{i,j} = x_{i,j} - referenční\ hodnota_i$$

$$strannost = \frac{\sum_{j=1}^m strannost_{i,j}}{m}$$

Následuje grafické určení linearity, kde se jednotlivé strannosti a průměrné strannosti vzhledem k referenčním hodnotám se zakreslí do lineárního grafu.

Pomocí rovnic se vypočítá a zakreslí se nejlépe přiléhající přímka a konfidenční meze této přímky. V případě nejlépe přiléhající přímky se použije vztah

$$\bar{y}_i = ax_i + b$$

kde x_i je referenční hodnota a \bar{y}_i je průměrná hodnota strannosti.

$$a = \frac{\sum xy - \left(\frac{1}{gm} \sum x \sum y\right)}{\sum x^2 - \frac{1}{gm} (\sum x)^2} \quad b = \bar{y} - a\bar{x}$$

Pro dané x_0 jsou konfidenční meze určeny následujícími vztahy:

Dolní mez

$$b + ax_0 - \left[t_{gm-2,1-\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{\left(\frac{1}{2}\right)} s \right]$$

Horní mez

$$b + ax_0 + \left[t_{gm-2,1-\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{\left(\frac{1}{2}\right)} s \right]$$

kde

$$s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - b \sum y_i - a \sum x_i y_i}{gm - 2}}$$

Následuje zakreslení přímky znázorňující „strannost=0“ a zkontroluje se graf za účelem zjištění zvláštních příčin a přijatelnosti linearitu. Aby byla linearita přijatelná, musí přímka znázorňující „strannost=0“ ležet zcela uvnitř konfidenčních mezí nejlépe přiléhající přímky.

Pro stanovení jednotlivých ukazatelů a použití některých nástrojů řízení kvality je potřeba si data rozdělit do intervalů, rozčlenit a uspořádat data podle jednoho nebo více znaků. K tomu je třeba se seznámit ještě s úlohou třídění dat, která je neméně důležitá. Je třeba volit konkrétní aplikace nástrojů řízení kvality tak, aby byly zjištěné ukazatele pro management podniku užitečné vzhledem k optimalizaci a preventivním opatřením ve výrobě.

4.1.2.5 Šikmost a špičatost

Mezi známé popisné charakteristiky lze zařadit tzv. míry tvaru, tj. šikmosti a špičatosti. Tyto charakteristiky pomáhají určovat, jak moc se získané rozdělení dat podobá nebo se naopak odlišuje od normálního rozdělení, tj. Gaussova.

Šikmost je charakteristikou, jež určuje, kterým směrem je proměnná asymetricky rozložena. Rozlišuje se šikmost kladná, též pravostranná, kdy se většina získaných hodnot nachází pod průměrem a šikmost záporná (levostranná), kdy se většina hodnot naopak nachází nad průměrem. Míru této asymetričnosti rozložení pak určuje koeficient šikmosti. (20)

Šikmost označuje tedy stupeň asymetričnosti rozdělení veličiny kolem střední hodnoty. Kladné zešikmení označuje rozdělení s asymetrickou stranou, která se vychyluje směrem k více kladným

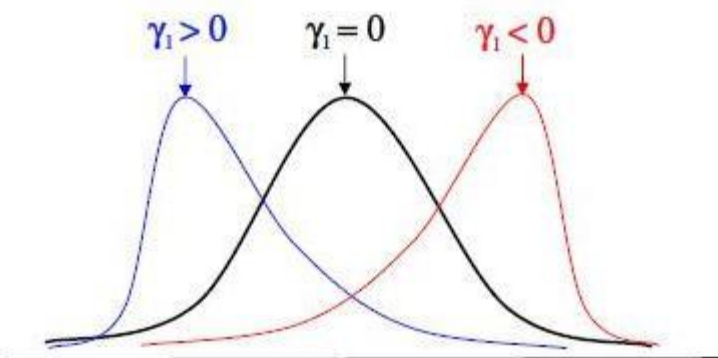
hodnotám. Záporné zešikmení označuje rozdělení s asymetrickou stranou, která se vychyluje směrem k více záporným hodnotám.

Rovnice pro výpočet šikmosti je definována jako:

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3,$$

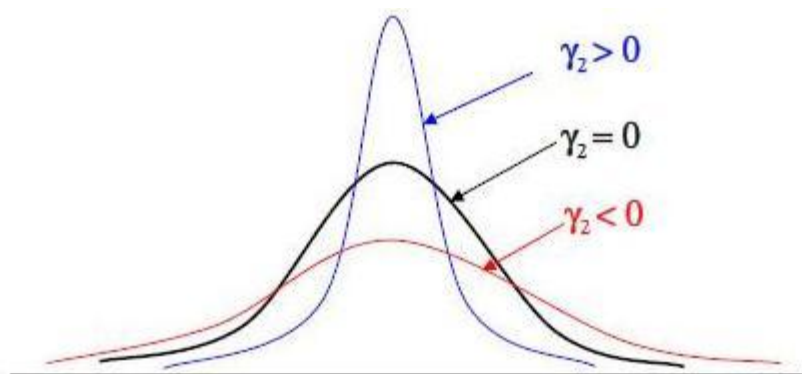
kde s je výběrová směrodatná odchylka.

Nulová šikmost značí, že hodnoty souboru jsou rovnoměrně rozděleny vlevo a vpravo od průměru. Kladná šikmost značí, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vlevo a většina hodnot se nachází vlevo od průměru. U záporné šikmosti je tomu naopak.



Obrázek 11: Různé hodnoty stupně šikmosti (20)

Špičatost udává, jak se v rozložení četností vyskytují velmi vysoké a velmi nízké hodnoty. I tuto míru lze udat pomocí koeficientu, k jehož výpočtu se opět využívají centrální momenty a na základě jehož výsledku lze usuzovat na více špičaté než normální rozdělení (tzv. leptokurtické) či méně špičaté než normální rozdělení (tzv. platykurtické). (20)



Obrázek 12: Různé hodnoty stupně špičatosti (20)

Hodnoty s tzv. normovaným normálním rozdělením (které má průměr roven nule a směrodatnou odchylku rovnu jedné) mají koeficient špičatosti roven nule. Rozdělení s kladným koeficientem jsou špičatější než normované normální rozdělení, tedy hodnoty jsou více koncentrovány v blízkosti průměru. Naopak rozdělení se záporným koeficientem šikmosti jsou plošší než normované normální rozdělení. Špičatost lze označit jako přesnost výroby.

Špičatost je definována následujícím vztahem:

$$\gamma = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

kde s je výběrová směrodatná odchylka.

4.1.3 Třídění dat

Třídění dat navazuje na etapu zjišťování dat. Účelem je rozčlenit a uspořádat data podle jednoho nebo více znaků (hledisek, vlastností, kritérií apod.). Je třeba, aby skupiny byly vytvořeny tak, aby bylo možné do nich začlenit všechny hodnoty souboru, a pro každou hodnotu musí platit zcela jednoznačně, do které skupiny bude zařazena. Má-li třídící znak nespojitý (diskrétní) charakter s malým počtem obměn, pak se třídí do skupin podle všech těchto obměn. Je-li třídící znak spojitý nebo nespojitý s velkým počtem obměn, lze vzhledem k přehlednosti třídít podle všech těchto obměn. V těchto případech je třeba sloučit blízké obměny třídícího znaku do společných intervalů, čímž získáme skupinové (intervalové) rozdělení četností.

Vlastní technika třídění je taková, že po vymezení intervalů se pro každou jednotku ze souboru udělá například čárka v příslušném intervalu pracovní tabulky (čárkovací metoda). Počet čárek v jednotlivých intervalech, tedy počet jednotek, se nazývá intervalová četnost. Součet všech intervalových četností se musí rovnat rozsahu souboru, což je nejběžnější kontrola toho, že je roztržěn celý soubor. Četnosti pak lze dělit na absolutní, výše uvedené a relativní, které udávají procento z rozsahu celého souboru, tedy součet relativních četností ve všech intervalech musí být roven 100. Počet intervalů nejčastěji by se měl pohybovat mezi 6 až 20 a je lepší tvořit intervaly stejné šířky. (18)

Východiskem je tedy sledovaný statistický znak. Pokud jsou k dispozici výsledky provedeného měření nebo zjišťování v číselné či slovní podobě, hovoří se o statistických datech. V původní neuspořádané podobě z nich ale žádné informace o sledované veličině není možné prakticky získat. Data je tedy třeba vhodným způsobem vždy setřídít, u číselných zpravidla uspořádat. Jde o to, získat z dat co možná nejvíce užitečných informací o sledovaném statistickém znaku. (16)

4.2 Definování hodnotících ukazatelů výrobního procesu

Na základě rešerše odborné literatury je vybráno několik nástrojů k určení důležitých ukazatelů pro hodnocení daného výrobního procesu. Následující podkapitola popisuje tedy vybrané nástroje, metody a parametry, kterými lze zhodnotit výrobní proces. Pro popis metod stanovení a hodnocení jednotlivých ukazatelů je využito několika zdrojů, aby byla zajištěna jejich objektivita v použití.

Každý výrobní proces je možné popsat pomocí hodnotících ukazatelů. Ty je možné rozdělit na kvalitativní a kvantitativní, podle toho, co reprezentují. Toto rozdělení nemusí ve většině případů být objektivní, jsou typické ukazatele pro jednotlivé skupiny, ale na druhou stranu jsou některé ukazatele, které lze zařadit do obou skupin. S ohledem na výrobní proces lze říci, že toto rozdělení není v podstatě důležité, neboť pro management podniku je důležitý hlavně závěr. Tedy to, co jednotlivé ukazatele vypovídají o výrobě či výrobním procesu. Následující rozdělení je tedy spíše informativní.

a) Kvalitativní ukazatele

Kvalitativní ukazatel a jeho naměřená hodnota vypovídá o okamžitém stavu. Jde o ukazatel, který vypovídá o kvalitě dané vlastnosti: dobrý x špatný, má x nemá, lepší x horší, menší x větší apod. Nelze tedy kvantifikovat rozdíl mezi jednotlivými prvky. Mezi kvalitativní ukazatele patří např. hodnota ppm, způsobilost, výkonnost, ukazatele získané pomocí regulačních diagramů srovnáním (počet vad...) apod.

b) Kvantitativní ukazatele

Kvantitativní ukazatel charakterizuje určitá hodnota. Při měření kvantitativních ukazatelů a jejich hodnot je důležité vycházet z relace naměřená hodnota ve vztahu k definovanému cíli. Lze tedy zjistit míru rozdílu mezi jednotlivými prvky. Mezi nejpoužívanější nástroje pro znázornění kvantitativních ukazatelů lze zařadit regulační diagramy měřením (rozměr výrobku, hmotnost výrobku...), histogramy, Paretovu analýzu atd.

Vybrané nástroje a parametry pro hodnocení výrobního procesu:

- Histogram
- Regulační diagramy
- Způsobilost
- Relativní četnost neshod / průměrná zmetkovitost
- Diagram příčin a následků

Zdůvodnění výběru:

Na základě požadavků normy ISO/TS 16949: Systémy managementu kvality – Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2008 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu, musí být pro každý proces stanoveny vhodné statistické metody a musí být zahrnuty do plánu kontroly a řízení. Dále základní statistické pojmy jako např. variabilita, regulace (stability), způsobilost procesu a jeho přeregulování, musí být pochopeny a používány v celé organizaci. (21) S ohledem na tuto skutečnost je vybrán jako první ukazatel pro hodnocení výrobního procesu **způsobilost**. Stanovení způsobilosti je však podmíněno stabilitou analyzovaného procesu, ta se ověří pomocí **regulačních diagramů**. V regulačních diagramech je de facto zobrazen **histogram**, který znázorňuje rozložení dat. Kromě toho je sestavení histogramu grafickou metodou pro ověření normality.

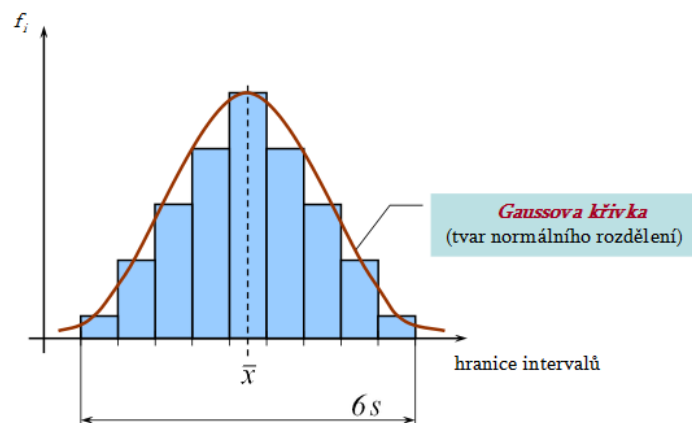
Pro posouzení variability a vlivů na výrobní proces je nejčastějším používaným nástrojem **Diagram příčin a následků**.

A posledním je určení **Relativní četnosti neshod / průměrné zmetkovitosti**, což je typický manažerský parametr pro zhodnocení výroby.

4.2.1 Histogram

Pod pojmem histogram je obvykle chápán sloupcový graf, jehož tvar vypovídá o chování sledované veličiny, tedy jejím rozdělení pravděpodobnosti. Jde o jeden ze základních nástrojů řízení kvality. (22)

Data jsou nejprve rozdělena do jednotlivých tříd (intervalů). V grafu jsou pak vynášeny např. četnosti hodnot v jednotlivých třídách. Je důležité si uvědomit, že je třeba dostatečný objem dat. Minimální počet hodnot pro sestavení histogramu je cca 25 – 30 a počet tříd je od 7 do max. 20, aby byl zřetelný tvar daného souboru. Podle tvaru výsledného histogramu lze charakterizovat soubor dat. Pokud je proces ve statisticky zvládnutém stavu, tvar histogramu odpovídá Gaussově křivce, což vypovídá o normálním spojitým rozdělení. (4; 7)



Obrázek 13: Histogram s Gaussovou křivkou – normální rozdělení (23)

Histogram lze využít jako první krok při rozboru dat ještě před statistickými testy, neboť lze podle tvaru zjistit vhodný model rozdělení pravděpodobnosti, tedy popis chování sledované veličiny. Zaznamenává rozpětí naměřených hodnot rozdělených do skupin, v závislosti na četnosti naměřených hodnot.

Účelem histogramu je objasnění prezentace údajů. Údajem může být měření délky a průměru, doby trvání, náklady, názory atd. Stejně údaje lze prezentovat i formou tabulky, ale grafická forma prezentace však může usnadnit zjištění vztahů. (8; 24)

Postup sestavení histogramu

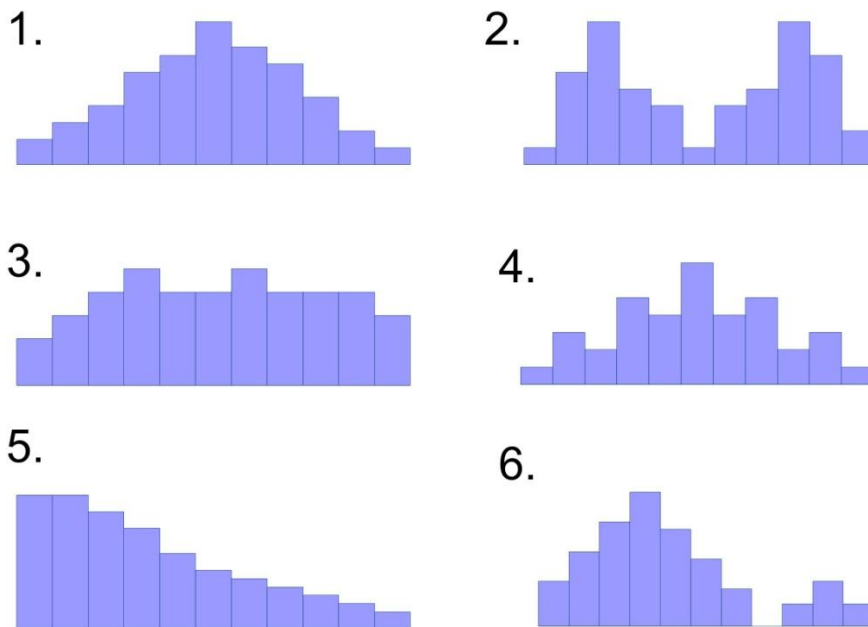
- Shromáždění a záznam údajů (náhodný výběr o rozsahu n)
- Výpočet numerické vzdálenosti mezi největší a nejmenší hodnotou v souboru dat = R
- Stanovení počtu tříd (intervalů) k stejné šíře h (obvykle $7 \leq k \leq 20$)
- Do zvolených tříd se zařadí napozorované hodnoty x_1 až x_n (důležité je stanovení nejnižší a nejvyšší hodnoty každé třídy a definice hranic mezi nimi)

- Zjištění absolutní třídni četnosti n_i v jednotlivých třídách a případně relativní třídni četnosti f_i ($i = 1, 2, \dots, n$)
- Sestrojení histogramu – na osu x se vynášejí hranice třídni intervalů, na osu y se vynášejí třídni četnosti
- Nad třídni intervaly se sestrojí obdélníky o stejné šíři
- Vyhodnocení tvaru, analýza

Vyhodnocení tvaru histogramu

Několik tvarových představitelů: (25; 26)

1. zvonovitý tvar charakterizuje normální rozdělení, nejčastější tvar
2. dva vrcholy signalizují dva soubory dat (např. měření dvěma pracovníky, změněné podmínky měření, výroba na dvou strojích, data z dvou linek, dva prodejci...)
3. plochý tvar zpravidla indikuje, že proces není správně nastaven (např. údaje shromážděné za proměnlivých podmínek nebo byly údaje podrobeny určitému procesu výběru...)
4. hřebenový signalizuje např. chyby při měření, nesprávné zaokrouhlování, nevhodně stanovené hranice intervalů, definice příliš mnoho intervalů...
5. useknutý tvar signalizuje, že nebyly zahrnuty všechny hodnoty (může jít o exponenciální nebo logaritmické rozdělení)
6. odlehlé hodnoty ukazují na rozdělení sloupců o min. jeden volný sloupec, to může indikovat vymezitelné příčiny ovlivňující proces (dočasné použití jiného měřidla nebo nástroje, výpadek hodnot...)



Obrázek 14: Tvary histogramů (26)

Při analýze histogramu je tedy třeba se soustředit na tři základní informace:

- Centrování histogramu – určení cílové hodnoty sledovaného znaku
- Šířka histogramu – určení variabilitu kolem cílové hodnoty
- Tvar histogramu – umožňuje odhalit veškeré vymeřitelné příčiny, ovlivňující proces v daných mezích.

Dále je možné vyhodnotit:

- průměrnou hodnotu všech hodnot (Mean)
- minimální hodnotu (Minimum)
- maximální hodnotu (Maximum)
- standardní odchylku (Standard Deviation)
- šířku třídy (Class Width)
- špičatost (Kurtosis)
- zešikmení (Skewness)

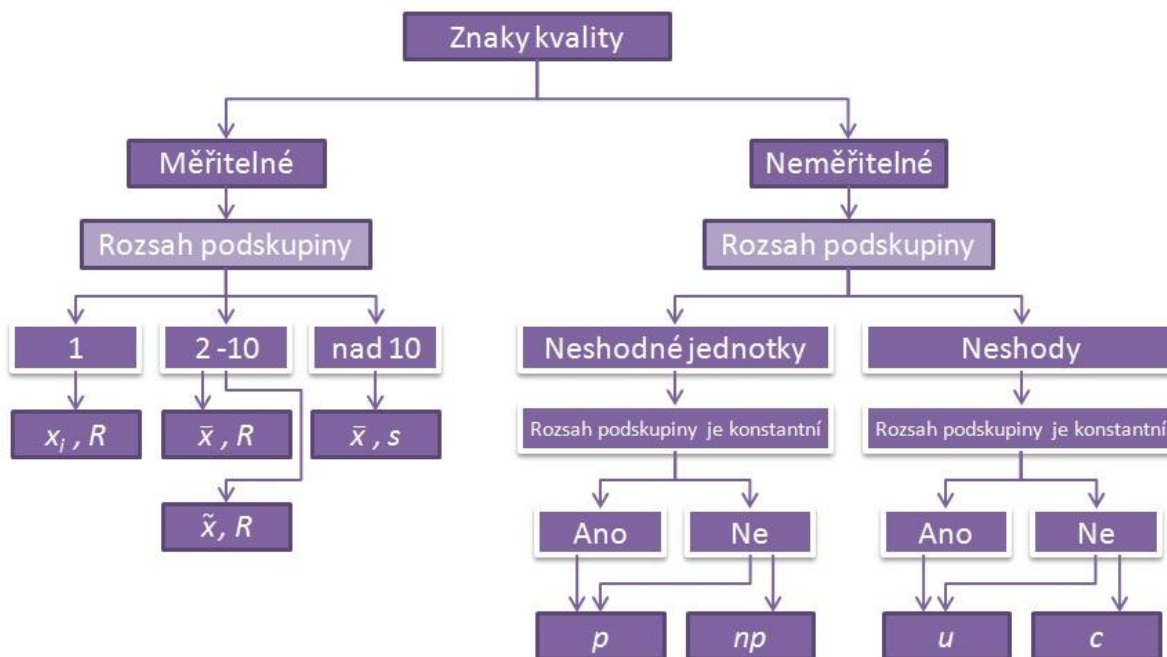
4.2.2 Regulační diagramy

Regulační diagramy jsou jedním ze sedmi základních nástrojů řízení kvality. Jde o nástroj, pomocí kterého lze dlouhodobě sledovat stabilitu daného systému, zda se sledovaný proces chová tak, jak je očekáváno. Lze posoudit, zda je variabilita parametru způsobena náhodným kolísáním, nebo jde o jiné příčiny. Použití je možné všude tam, kde je daný parametr postupně sledován v čase.

Regulační diagramy navrhl W. A. Shewhart z Bell Telephone Laboratory pro posouzení, zda změny sledovaného parametru jsou způsobeny náhodným kolísáním. (27) Proces, jehož přijatelné kolísání je způsobeno pouze náhodnými příčinami, je označován jako „statisticky zvládnutý“. Takový proces je predikovatelný a odpovídá účelu. Pokud se vyskytují v procesu zvláštní příčiny vyvolávající neočekávané změny, je nutné tyto případy identifikovat a eliminovat. Tento proces se pak, s ohledem na zvláštní příčiny, označuje jako „statisticky nezvládnutý“. (28; 9)

Regulační diagramy jsou hlavním nástrojem pro statistickou regulaci procesu (SPC), jež představuje nejčastější způsob mezioperační kontroly hromadné a sériové výroby. SPC je metodou preventivní, která pomáhá včasnými zásahy do procesu udržovat kvalitu na požadované úrovni. (15)

Mezi hlavní přínosy regulačních diagramů patří to, že jsou účinnými nástroji pro poznání kolísání procesu. Umožňují, aby proces dosáhl vyšší kvality při nižších nákladech. Dávají objektivní zprávu o efektu navrženého opatření nebo také poskytují objektivní nástroj pro porovnání výkonů procesů mezi směny, linkami atd. (24)



Obrázek 15: Výběr typu regulačního diagramu dle znaků kvality

4.2.2.1 Regulační diagramy srovnáním

Jedním typem regulačních diagramů jsou regulační diagramy srovnáním. Tento typ je vhodný pro stanovení ukazatelů kvalitativních, lze tedy říci jen to, že proces je ve statisticky zvládnutém stavu nebo není, nebo zda daná hodnota odpovídá či neodpovídá apod. Data získaná při kontrole srovnáním představují pozorování získaná zaznamenáváním přítomnosti nebo nepřítomnosti určité vlastnosti. Data se obecně získávají rychle a poměrně levně.

Regulační diagramy při kontrole srovnáním jsou důležité hned z několika důvodů (29):

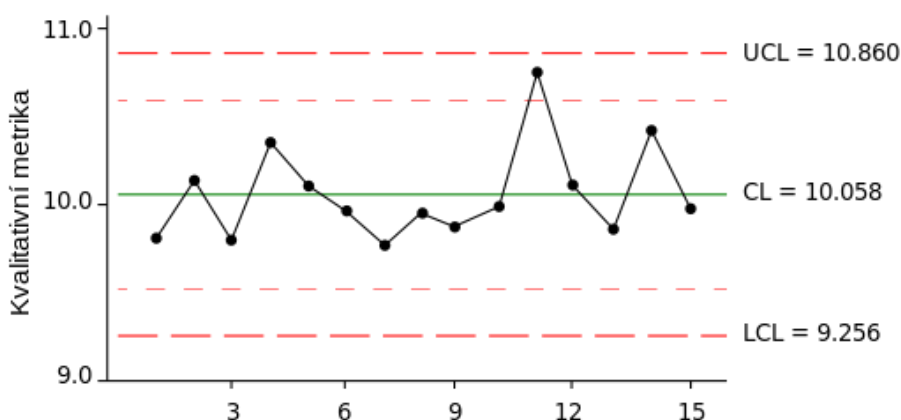
- Kvalitativní údaje se vyskytují v jakémkoliv technickém i netechnickém procesu. Obtížnější je pak vytvořit přesné definice neshod.
- Kvalitativní údaje jsou k dispozici v mnoha situacích a z toho vyplývá, že se nemusí počítat s dodatečnými údaji na získání údajů.
- Získávání těchto údajů je rychlejší a levnější a také nevyžaduje zvláštní kvalifikace.
- Mnohé údaje jsou k dispozici například ve zprávách pro vedení (bezvadný výkon, počet neshod, zamítnutí materiálu...)
- Použití regulačních diagramů srovnáním pro měření celkové kvality může částečně ukázat na další oblasti výroby, kde je třeba podrobnější analýza.

V případě regulačních diagramů měření je běžné konstruovat dvojice diagramů, protože se předpokládá normální rozdělení a to závisí na dvou parametrech. U regulačních diagramů srovnáním to potřeba není, postačí pouze jeden diagram.

Regulační diagramy srovnáním existují 4 typy (30; 29):

- *p - diagram* pro podíl neshodných jednotek (z podskupin, které nemusí být nutně stejného rozsahu)
- *np - diagram* pro počet neshodných jednotek (z podskupin stejného rozsahu)

- c – diagram pro počet neshod (z podskupin stejného rozsahu)
- u – diagram pro počet neshod na jednotku (z podskupin, které nemusí být nutně stejného rozsahu)



Obrázek 16: Regulační diagram srovnáním (29)

Na předchozím obrázku je znázorněn příklad regulačního diagramu, v němž vodorovná osa je časová, ve směru svislé osy se pomocí bodů zakreslují příslušné hodnoty výběrové charakteristiky. Graf je charakterizován centrální přímkou CL (central line), horní regulační mezí UCL(upper control limit) a dolní regulační mezí LCL(lower control limit).

Tabulka 1: Vzorce pro výpočet regulačních mezí (16)

Statistika	Základní hodnoty nejsou stanoveny		Základní hodnoty jsou stanoveny	
	Centrální přímka	UCL a LCL	Centrální přímka	UCL a LCL
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$	p_0	$p_0 \pm 3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$	u_0	$u_0 \pm 3\sqrt{u_0/n}$

4.2.2.2 Regulační diagramy měřením

Druhým typem regulačních diagramů jsou regulační diagramy měřením, které je možné použít, jsou-li k dispozici naměřená data z procesu. Tyto diagramy představují typickou aplikaci při regulaci procesu.

Regulační diagramy měřením jsou užitečné hlavně kvůli těmto důvodům (29):

- Většina procesů má znaky, které jsou měřitelné, a proto je možná aplikace velmi široká
- Kvantitativní hodnota obsahuje více informací než jednoduchá odpověď ano – ne
- Přestože jsou údaje o vyrobeném kusu měřením poměrně hůře dosažitelné a nákladnější na získání, pomocí vhodné analýzy procesu lze zjistit mnohem více informací, které mohou vést ke snížení celkových nákladů
- Na základě analýzy naměřených dat lze zjistit výkonnost procesu a lze kvantifikovat zlepšování

Konstrukce klasických Shewhartových regulačních diagramů je založeno na předpokladu normálně rozdělených dat. Uvažují se následující regulační diagramy měřením (30):

- Diagram pro průměr (\bar{X}) a diagram pro rozpětí (R) nebo pro směrodatnou odchylku (s)
- Diagram pro individuální hodnoty (X) a diagram pro klouzavé rozpětí (R)
- Diagram pro medián (Me) a diagram pro rozpětí (R)

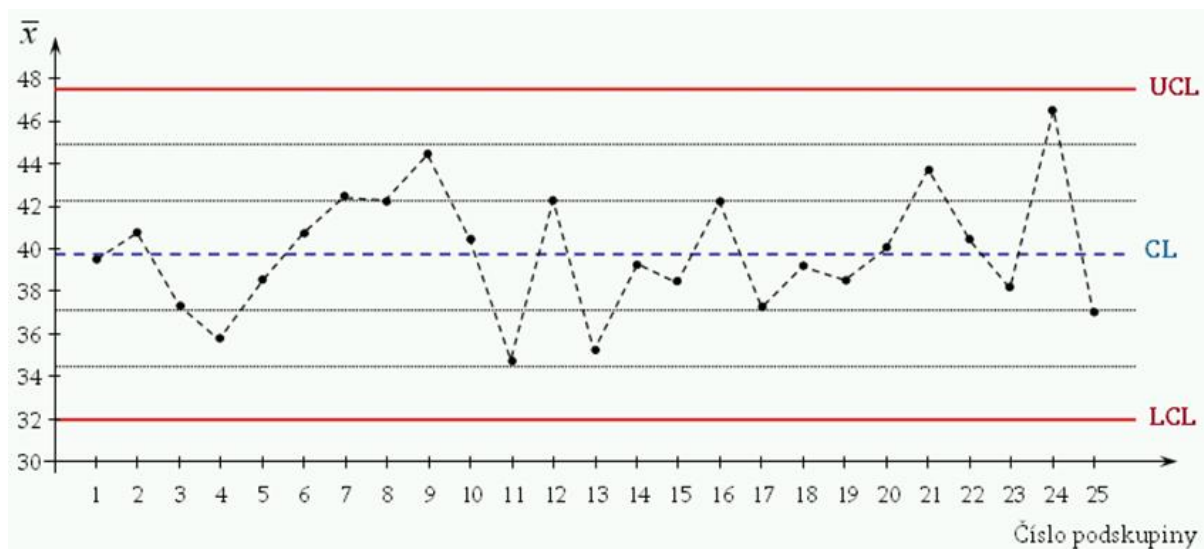
(\bar{X}, R) diagram

Regulační diagramy měřením pomáhají vysvětlit výsledky jak z pohledu rozptýlení procesu (variabilita), tak z pohledu jeho polohy (průměru procesu). **Proto jsou regulační diagramy prezentovány vždy ve dvojicích.** Nejobvyklejší dvojicí diagramů jsou (\bar{X}, R) diagramy. Jde o hodnoty výběrového průměru hodnot získaného z podskupin, který je mírou polohy procesu, a rozpětí hodnot v každé podskupině, což je míra rozptýlení procesu. Tyto diagramy jsou vhodné nástroje pro měření kolísání procesu, rozpětí lze snadno vypočítat a je vydatné pro malé rozsahy podskupin. (29)

(\bar{X}, s) diagram

Další možnou dvojicí diagramů jsou (\bar{X}, s) diagramy. Jde o hodnoty výběrového průměru hodnot získaného z podskupin, který je mírou polohy procesu, a směrodatné odchylky, která je mnohem vydatnější ukazatel variability procesu než rozpětí. Směrodatná odchylka je vhodná pro větší rozsahy podskupin, je však obtížněji vypočitatelná a je méně citlivá na detekci zvláštních příčin kolísání. Proto se používá, když se data zaznamenávají elektronicky v reálném čase. (29; 31)

Konstrukce je obdobná jako u diagramů pro průměr a rozpětí.



Obrázek 17: Ukázka regulačního diagramu pro průměr

4.2.2.3 Konstrukce regulačních diagramů

Konstrukce klasických Shewhartových regulačních diagramů je založena na předpokladu normálně rozdělených dat. Zlepšování procesu pomocí regulačních diagramů je založeno na opakování základních tří činností a to sběr dat o sledovaném znaku kvality, následuje regulace procesu, výpočet regulačních mezí a identifikace náhodných a zvláštních příčin vyvolávajících kolísání. Poslední činností

je analýza a následné zlepšování, případné zavedení nápravných a preventivních opatření, aby došlo ke zlepšení procesu. (29)

Podle charakteru dat je pak možné hovořit o SPC měřeních či SPC srovnáváním. Platí doporučení, pokud lze informaci získat měřeními, je to vždy výhodnější především z pohledu počtu získávaných dat nežli při SPC srovnáváním, i když při srovnávání jsou data získávána obvykle snazším způsobem. (7; 32)

Postup konstrukce Shewhartových regulačních diagramů:

- Příprava dat, kdy je zvolen soubor dat pro hodnocení
- Určení střední hodnoty souboru (průměru) a rozpětí nebo průměru a směrodatné odchylky (po vyloučení odlehlých hodnot)
- Ověření předpokladů pro konstrukci regulačních diagramů
- Samotná konstrukce diagramu, určení CL (central line), UCL (upper control limit) a LCL (lower control limit)
- Zaznamenání dalších dat do diagramů
- Evidence zvláštních případů => odstranění příčin
- Přehodnocení na základě aktualizovaných dat střední hodnotu a regulační meze

Regulační diagramy se tvoří ve dvojicích a to pro vyjádření správnosti s použitím aritmetického průměru a pro vyjádření přesnosti rozpětí. Dále pak je možné sestavit diagram se směrodatnou odchylkou a také pro 100% kontrolu, kdy je použita velikost podskupiny „1“.

Podskupina

Jde o opakovaná měření v jednom časovém okamžiku. Volba podskupin a jejich počtu výrazně ovlivňuje správnou interpretaci dat v regulačním diagramu. Časový rozsah hodnot podskupiny by měl být malý ve srovnání s intervalem mezi jednotlivými podskupinami. Podskupina však musí odrážet variabilitu. Jde tedy o klíčový krok při zavádění statické regulace měřeními.

Obecně 20 nebo více podskupin obsahujících cca 100 a více jednotlivých hodnot dává dobrý test pro stabilitu, pokud existuje tato stabilita, tak i dobré odhady polohy a rozptýlení procesu. (29)

Výpočty nejčastějších výběrových charakteristik:

výběrový průměr

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

výběrové rozpětí

$$R = X_{max} - X_{min}$$

výběrová směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

kde X_i představuje jednotlivé hodnoty a n rozsah podskupiny.

Vzorce pro výpočet mezí regulačních diagramů

Jednotlivé regulační meze v diagramech jsou vypočítávány proto, aby určovaly širší pole, v němž by jednotlivé zaznamenávané hodnoty kolísaly, pokud by byly přítomny jen náhodné příčiny kolísání.

Výpočet horních (UCL) a dolních (LCL) přirozených regulačních mezí a horních (TUCL) a dolních (TLCL) technických regulačních mezí:

Tabulka 2: Vzorce pro výpočet regulačních mezí

Statistika	Základní hodnoty nejsou stanoveny		Základní hodnoty jsou stanoveny	
	Centrální přímka	UCL a LCL	Centrální přímka	TUCL a TLCL
\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$ nebo $\bar{\bar{x}} \pm A_3 \bar{s}$	x_0	$x_0 \pm \sigma_0 A$
R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}; D_3 \bar{R}$	$\sigma_0 d_2$	$\sigma_0 D_2; \sigma_0 D_1$
s	\bar{s}	$B_4 \bar{s}; B_3 \bar{s}$	$\sigma_0 C_4$	$\sigma_0 B_6; \sigma_0 B_5$
Me	\bar{Me}	$\bar{Me} \pm A_4 \bar{R}$		

kde D_4, D_3, A_2, A_3 a $B_4, B_3, A_4, A, d_2, D_2, D_1, B_6, B_5$ jsou konstanty měnící se v závislosti na rozsahu podskupiny. Všechny konstanty jsou z následující přiložené tabulky. (33; 30)

Po vypočtení jednotlivých mezí jsou hodnoty zaznamenávány do diagramu. Následuje analýza regulačních diagramů, kde je cílem identifikovat jakýkoliv důkaz, že určitá charakteristika procesu nepracuje na konstantní úrovni – proces není statisticky zvládnutý, aby mohla být provedena odpovídající opatření.

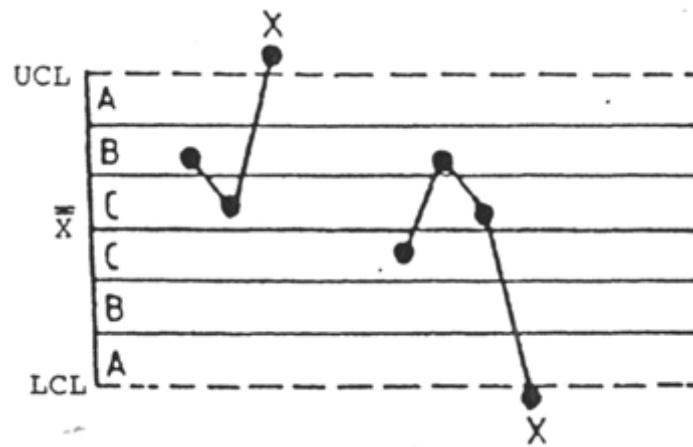
4.2.2.4 *Vyhodnocení regulačního diagramu*

Pro regulační diagramy platí další rozhodná kritéria, na základě kterých se zjišťuje, zda je proces stabilní nebo není. Pro určení stability procesu, tedy potřeby zasáhnout do procesu slouží např. tzv. testy nenáhodných uskupení, zvláštních uskupení bodů. (15)

- Jeden bod je mimo regulační meze (to může znamenat: proces se v tomto bodě změnil, změnil se měřicí systém, regulační mez je špatně vypočtena nebo je bod špatně zakreslen v grafu)
- Hodnoty vykazují určitou tendenci (opotřebením řezných nástrojů, změny v teplotě, změna rychlosti linky, únava operátora...)
- Hodnoty vytváří určitá seskupení (změny v nastavení nástroje, různí operátoři, změna v měřicí metodě...)
- Hodnoty periodicky oscilují mezi dvěma úrovněmi (různé způsoby měření, různé materiály...)
- Proces příliš stabilní tj. většina bodů leží blízko centrální přímky (chybný výběr skupin, chybný měřicí přístroj, zlepšený proces – pozitivní)

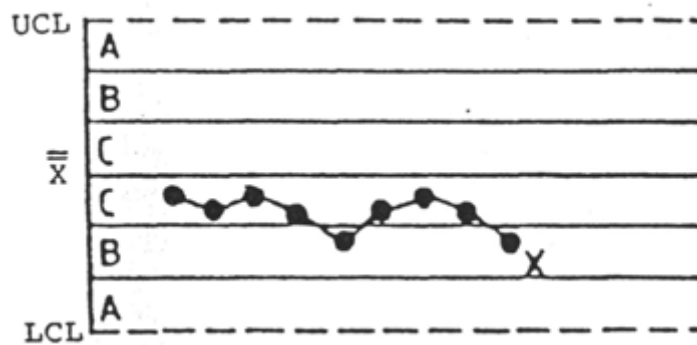
Pravidla pro určování zvláštních případů v diagramu pro průměr z normy ČSN ISO 8258:1991 (30):

- Jedna hodnota je mimo regulační meze



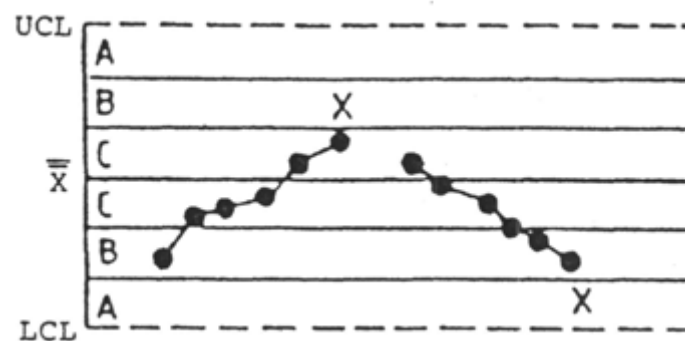
Obrázek 18: Jeden bod leží za zónou A

- 9 hodnot je na téže straně od centrální linie



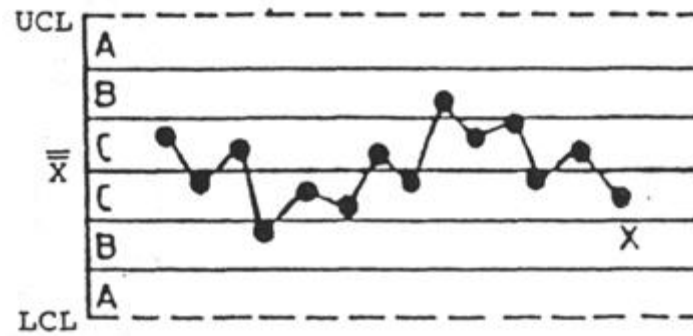
Obrázek 19: Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní

- 6 hodnot monotónně roste či klesá



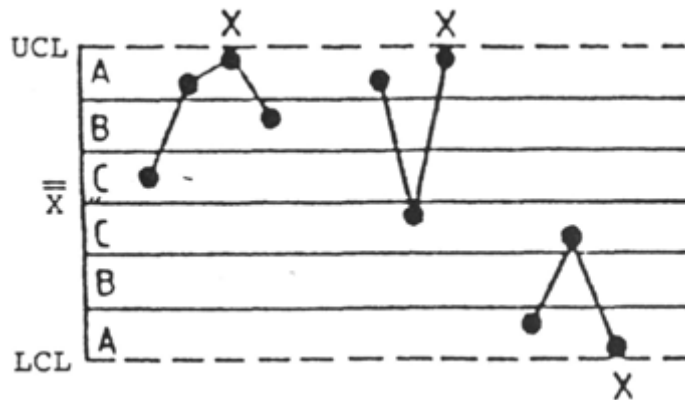
Obrázek 20: Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících

- 14 alternujících hodnot



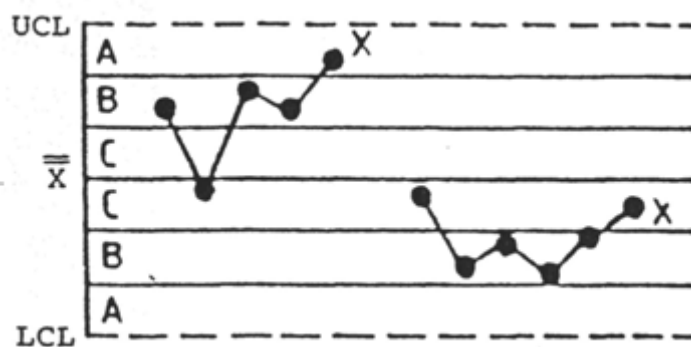
Obrázek 21: Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů

- 2 ze 3 hodnot je mimo interval $\pm 2s$



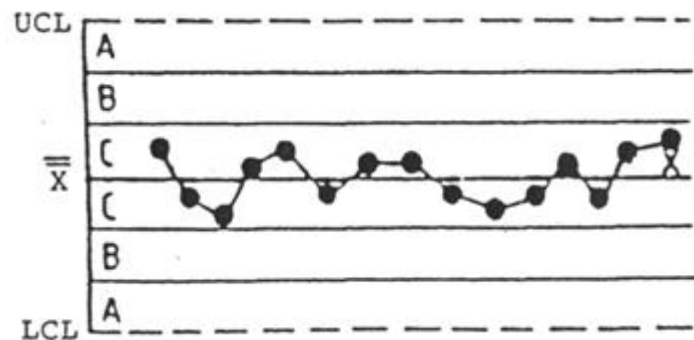
Obrázek 22: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni

- 4 z 5 hodnot mimo interval $\pm s$ na téže straně centrální linie



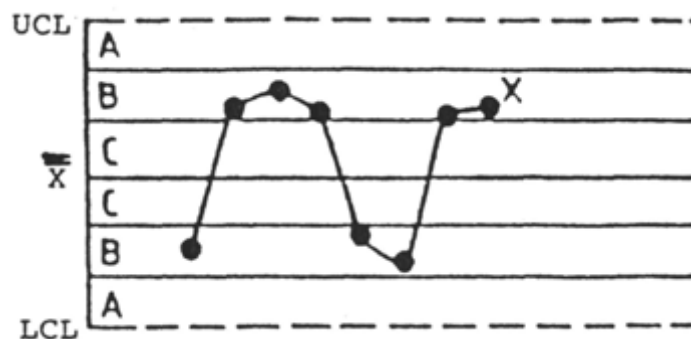
Obrázek 23: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní

- 15 hodnot je uvnitř intervalu $\pm s$ (nad nebo pod centrální linií)



Obrázek 24: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)

- 8 hodnot je mimo interval $\pm s$ na obou stranách centrální linie



Obrázek 25: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou, avšak žádný bod neleží v zóně C

Pokud soubor naznačuje obdobný stav specifikovaný v těchto testech, je určitou pravděpodobností přítomnost vymežitelných příčin kolísání, které musí být diagnostikovány a opraveny. (30)

Implementace počtu bodů se může lišit případ od případu. Příkladem mohou být tzv. Nelsonova pravidla pro regulační diagramy. (34; 35)

4.2.3 Způsobnost procesu (process capability)

Způsobnost procesu lze definovat jako schopnost trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality. Při určování způsobnosti je určeno několik důležitých ukazatelů, které popisují daný proces a jsou založeny na porovnávání přirozeného kolísání skutečného procesu vůči technologickému předpisu. Někdy jsou považovány za „známku“ kvality, kterou odběratel požaduje. Před samotným určováním ukazatelů je třeba přijmout obecně akceptovanou úmluvu, podle níž se meze pro technologický předpis stanovují ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od nominální hodnoty (σ je směrodatná odchylka procesu). Toto koresponduje s mezemi klasických regulačních diagramů, pomocí kterých je proces monitorován a je snaha jej přivést do statisticky zvládnutého stavu. Rozdíl těchto mezí označuje rozsah procesu. Skutečný proces se pak popisuje odhadem střední hodnoty a odhadem směrodatné odchylky, z kterých se pak jednotlivé ukazatele určují. (36; 37; 19)

Stanovení hodnot cílů pro minimálně přijatelnou způsobilost procesu je předmětem, dá se říci, osobního názoru, a obecně přijaté hodnoty závisí na odvětví, podmínkách a rozhodnutí. Například v odvětví automobilového průmyslu jsou vlastnosti procesu pod kritickým dohledem, co se týká kvality. Nejprve jsou tedy vypočteny jednotlivé ukazatele. Z těchto hodnot je pak vybrána minimální hodnota, ta je následně porovnána s hodnotou podle příslušného rozdělení dat. Pro normální rozdělení je uvažována většinou hodnota 1,33. Hodnota 1,33 se zdánlivě jeví jako zakotvené pravidlo, ale pro oblast automobilového průmyslu dnes možno chápat jako nedostačující. Pro tuto oblast se tato hodnota výrazně zvyšuje, což je tedy přísnější kritérium pro způsobilost. (38; 39; 40)

Vyhodnocení způsobilosti je pak následující:

Minimální hodnota $\geq 1,33 \Rightarrow$ způsobilý

Minimální hodnota $< 1,33 \Rightarrow$ nezpůsobilý

Tabulka 3: Volba minimální přijatelné hodnoty dle vlastností procesu (41)

Doporučená minimální způsobilost	Situace / vlastnosti procesu	Počet špatných kusů
1	Hodnota používaná cca před 25 lety	2700 ppm
1,33	Hodnota používaná dnes – pro nekritický existující proces	64 ppm
1,67	Pro bezpečný nebo kritický parametr nového procesu – např. oblast automobilový průmysl	1 ppm
2	Proces kvality – automobilový průmysl	2 ppb

kde ppm je výraz pro jednu miliontinu (celku). Množství neshodných výrobků – „zmetků“ z jedné dávky (nebo za sledované časové období) se vydělí celkovým počtem kusů ve stejné dávce (nebo za sledované období) a následně vynásobí 1 000 000. Označení ppb pak představuje 1 neshodný výrobek z miliardy. (41)

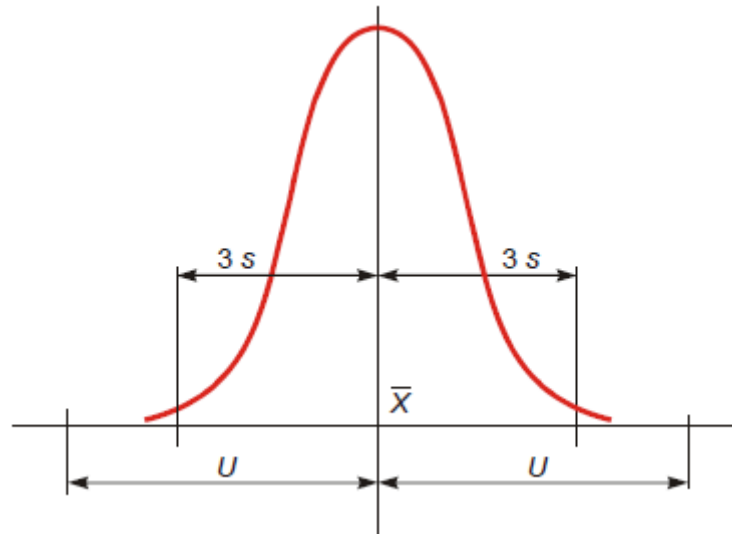
4.2.3.1 Ukazatel Cp

Jde o nejzákladnější a nejpřímější indikátor způsobilosti procesu. Ukazatel Cp (capability index) vyjadřuje obecně “čeho jsme schopni dosáhnout”. Nebo jde o míru potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančních mezí nebo také poměr přípustné a skutečné variability hodnot znaku kvality bez ohledu na umístění v tolerančním poli, čeho je schopen dosáhnout proces nebo zařízení za ideálního centrování, při působení pouze náhodných příčin variability a udržení tohoto stavu v čase. Cp charakterizuje krajní možnost procesu nebo zařízení. Nevýhodou je, že tento index neodráží, jak je proces centrován. (36; 37)

Cp je tedy definován jako poměr specifikačního rozsahu a reálného rozsahu procesu. Tento ukazatel se dá vyjádřit jako:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6s}$$

LSL a USL je dolní a horní specifikační mez, s je odhad směrodatné odchylky vypočítaný z naměřených hodnot.



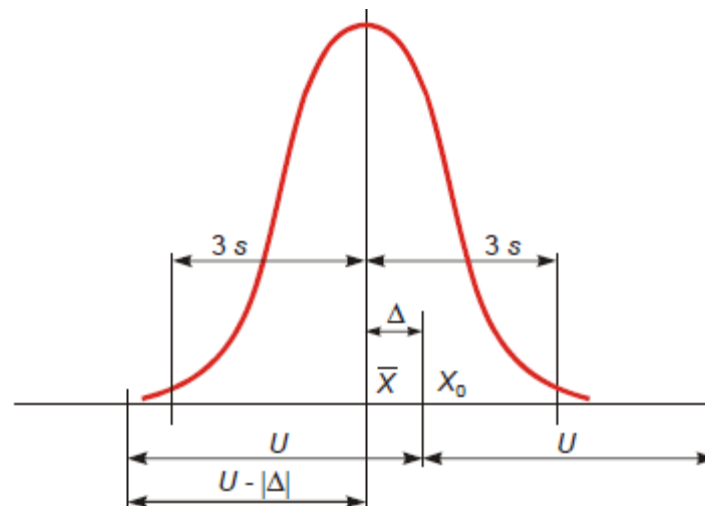
Obrázek 26: Graf pro znázornění výpočtu C_p

kde je U - stanovený požadavek na rozšířenou nejistotu procesu měření.

4.2.3.2 Ukazatel C_{pk}

Ukazatel C_{pk} vyjadřuje obecně "čeho jsme ve skutečnosti dosáhli". Sleduje nejen variabilitu sledovaného znaku kvality, ale i jeho polohu vůči tolerančním mezím. (36; 37)

$$C_{pk} = \frac{\min(USL - \bar{x}; \bar{x} - LSL)}{3s}$$



Obrázek 27: Graf pro znázornění výpočtu C_{pk}

kde je X_0 nominální hodnota etalonu a U stanovený požadavek na rozšířenou nejistotu procesu měření.

4.2.3.3 Ukazatel C_{pm}

Porovnává maximálně přípustnou variabilitu danou šířkou tolerančního pole s jeho skutečnou hodnotou kolem cílové hodnoty T . Výhodou je, že zohledňuje jak variabilitu hodnot sledovaného znaku kvality, tak míru dosažení optimální hodnoty. Zároveň odstraňuje některé nedostatky C_p a C_{pk} např. při zhoršujícím se m a zmenšování s , zaznamenává posun od cílové hodnoty.

Je zde tedy zaměřeno na odstranění vlivu (náhodného) nevycentrování a počítá se směrodatnou odchylkou (s_2), nicméně ta je vypočítána jinak než obvykle – místo průměru se ve vzorci přímo vyskytuje předepsaná hodnota T . Změnou je také to, že se počítá ze všech naměřených dat (celkový počet měření je n). (36; 37)

$$s_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - T)^2}{n - 1}}$$

Poté je možné určit ukazatel C_{pm} jako:

$$C_{pm} = \frac{UCL - LCL}{6 \cdot s_2}$$

Výhodou tohoto indexu je, že oproti ostatním se rozptýl vztahuje ke stanovené referenční hladině a ne k hladině odhadnuté z dat. Při bližším zkoumání chování, je patrné, že s hodnotami blíže T roste index, stejně tak roste, pokud je rozptýlenost okolo T menší. C_{pm} vychází vždy menší než C_p , a proto je přísnější. (37)

4.2.3.4 Požadavky na způsobilost procesu

Požadavky se vztahují na index C_{pk} (sleduje nejen variabilitu sledovaného znaku kvality, ale i jeho polohu vůči tolerančním mezím). S rozvojem techniky se minimální požadovaná hodnota C_{pk} posouvá k vyšším hodnotám. Očekávaný výskyt neshodných výrobků podle metodiky Six Sigma je pouze 34 neshodných výrobků z 10 milionů vyrobených! (36)

Je-li $C_p \geq 2,0$ a $C_{pk} \geq 1,5$... OK

Není-li $C_p \geq 2,0$ a $C_{pk} \geq 1,5$... nutno provést analýzu příčin a nápravu.

4.2.3.5 Vztahy mezi indexy způsobilosti ($C_p \geq C_{pk} \geq C_{pm}$)

$C_p \geq C_{pk}$ rozdíl je tím vyšší, čím je střední hodnota sledovaného znaku vzdálena od tolerančního pole. Rovnosti je dosaženo v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku leží právě ve středu tolerance. Pokud je proces vycentrován, pak je C_{pk} shodné s C_p . Pokud se ovšem proces vzdálí od nominální hodnoty, pak je vždy C_{pk} menší než C_p .

C_{pm} porovnává maximálně přípustnou variabilitu sledovaného znaku kvality danou šířkou tolerančního pole s jeho skutečnou variabilitou kolem cílové hodnoty T . Tento ukazatel by měl být používán pouze tehdy, když cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole. (36)

4.2.3.6 Způsobilost procesu vs. výkonnost procesu

V praxi je možné se setkat se situací, kdy v procesu existuje významná variabilita mezi skupinami vzorků. V takových případech ukazatele způsobilosti velmi často poskytují neobjektivní informaci o způsobilosti procesu za toto dlouhé období. Proto byly zavedeny také ukazatele výkonnosti procesu,

kteří se stanovují stejně jako ukazatele způsobilosti, jen odhad směrodatné odchylky „ s “ vychází z variability za delší časové období. Jde tedy o klasickou směrodatnou odchylku všech pozorování za měřené období a ignoruje se fakt, že data pocházejí z více vzorků. Pokud je tedy použita k výpočtu indexů celková variabilita, říká se výsledným indexům *indexy výkonnosti* (protože popisují vlastní výkon procesu) a značí se analogicky jako indexy způsobilosti, jen s písmenem P, tedy (Pp, Ppk, ...). (37)

4.2.3.7 *Ukazatelé výkonnosti a způsobilosti z pohledu normy ČSN ISO 22514-1 (42)*

Ukazatelé výkonnosti a způsobilosti se používají pro stanovení schopnosti procesu splnit specifikaci. Dále se používají pro odhad množství produktů mimo specifikaci.

Výkonnost a způsobilost mohou být stejným způsobem využity pro odhad stupně shody s požadavky pro každou jednotlivou část procesu, tedy jednotlivý stroj. Analýza „výkonnosti stroje“ může být použita pro vyhodnocení zařízení nebo pro vyhodnocení jeho příspěvku k celkové způsobilosti procesu.

Vysoké hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti jsou používány pro posouzení přijatelnosti jednotlivých částí a podčárí z hlediska dosažení požadované výkonnosti kvality a spolehlivosti.

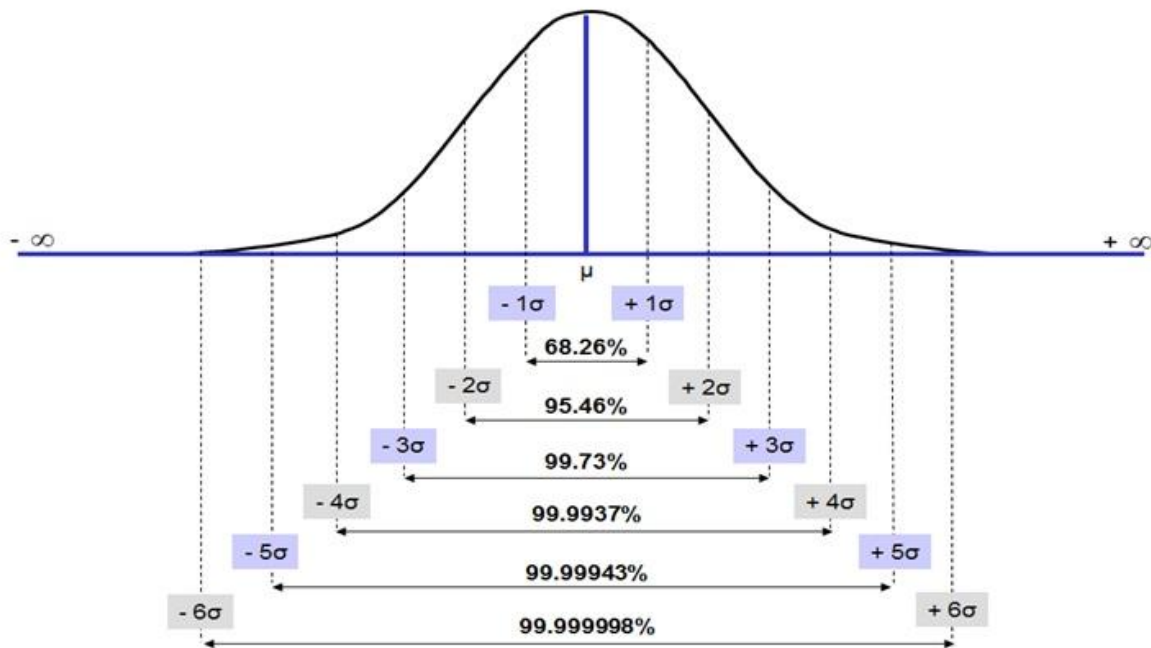
Výkonnost a způsobilost mohou tvořit základ pro sestavení rozumných, vhodně vybraných a odůvodněných specifikací pro vyráběné produkty. Je tomu tak proto, že zajišťují, aby kolísání jednotlivých znaků bylo v souladu s povolenými specifikacemi pro celý produkt. V případech, kdy jsou nezbytné úzké specifikace, musí však výrobce jednotlivých částí splnit požadovanou úroveň a způsobilost procesu.

Výhody použití: analýza způsobilosti procesu poskytuje příležitost získat jak vyhodnocení povahy přirozeného kolísání procesu, tak i odhad očekávaného množství neshodných jednotek. To umožňuje managementu podniku odhadnout náklady související s nevyhnutelnými produkty a může být tedy návodem při rozhodování o změnách za účelem zlepšení výrobního procesu.

Stanovení minimálních požadavků na způsobilost procesu může být managementu podniku návodem při výběru procesů a zařízení, s nimiž bude možné vyrábět uspokojivý produkt. Takové požadavky lze rovněž využít v souvislosti s kupními smlouvami, v nichž může zákazník i dodavatel specifikovat nároky na kvalitu a ve formě minimálních požadavků na ukazatele způsobilosti.

4.2.4 **Počet a míra neshod**

Prvním požadavkem při měření stávající resp. dosažené Sigma-úrovně je, aby využívaný měřicí systém vykazoval dostatečně vysoké rozlišení a tím i přesné odstupňování. Six Sigma vyžaduje měřicí systém vytvořený a nastavený tak, aby vykazoval tu nejmenší odchylku. Požadavky Six Sigma na přesnost měření lze pro představu znázornit na příkladu, kdy se porovnává hmotnost osobního automobilu s hmotností tužky. Přesnost Six Sigma tedy vyžaduje takový měřicí systém, který vyazuje při hmotnosti 1 tuny odchylku o velikosti 3,4 gramů. Zajištění přesnosti a měřitelnosti ve výrobních procesech je mnohdy jednodušší u kvantitativních znaků kvality (např. rozměry), než u kvalitativních znaků, kam se řadí například služby a servis (spokojenost). (43)



Obrázek 28: Gaussova křivka s vyznačením 6 sigma (44)

Specifikace dvou nejdůležitějších pojmů, a to PPM (Parts per Million) a DPMO (Defects per Million Opportunities):

DPMO je ukazatel, který označuje počet neshod ve smyslu chybných možností, to znamená počet všech možných neshod zjištěný početně před vývojem nebo výrobou výrobku. S ukazatelem DPMO je spojený i OFD (Opportunities For Defects), ten nám udává, na kolika místech se mohou neshody objevit. (43)

PPM naopak označuje míru neshod, to znamená skutečně vzniklý a po vyrobení numericky zjištěný počet neshod.

Vztahy pro výpočet PPM a DPMO:

$$PPM = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet vyrobených kusů}} * 1000000 = \text{podíl neshodných kusů} * 1000000$$

$$dpmo = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet příležitostí}} * 1000000$$

$$DPMO = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet kontrolovaných parametrů} * \text{počet kusů}} * 1000000$$

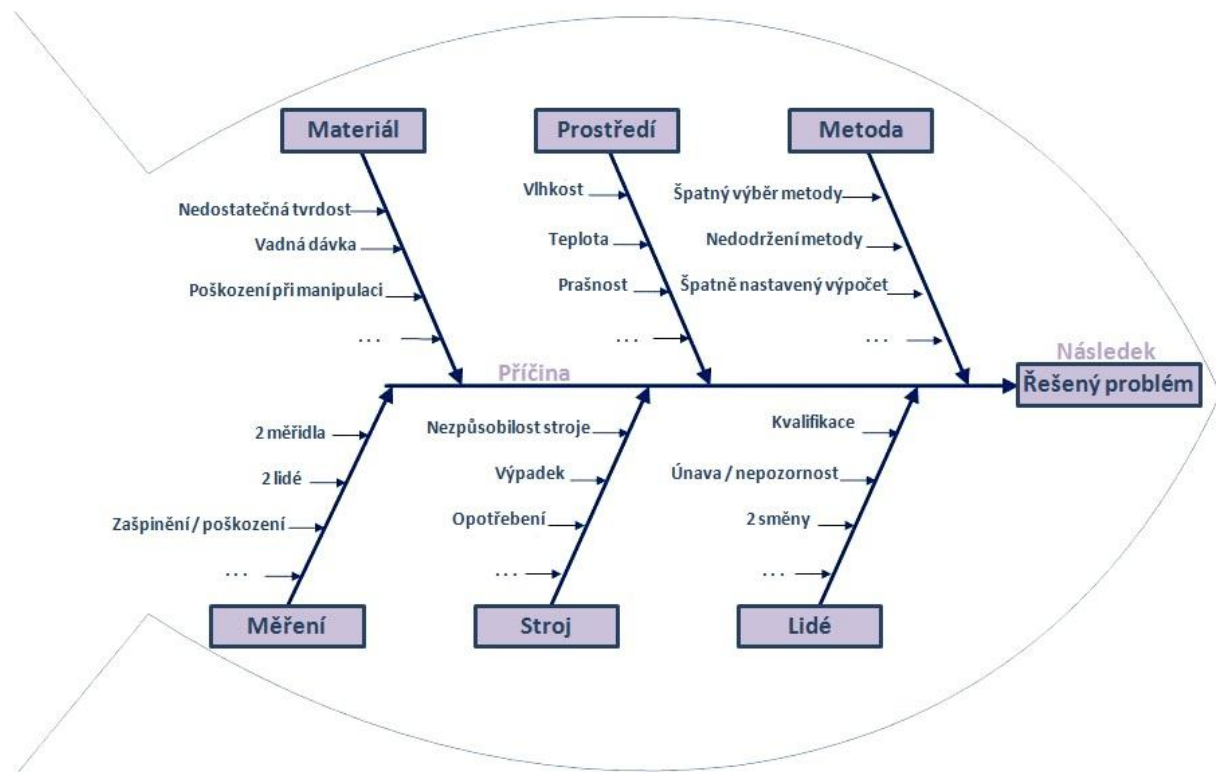
4.2.5 Diagram příčin a následků – Ishikawa diagram

Diagram příčin a následků, Ishikawa diagram nebo též díky vzhledu Diagram rybí kosti (anglicky fishbone diagram), který představil poprvé Kaoru Išikawa, řeší úlohu určení pravděpodobné příčiny problému. Tento nástroj řízení kvality je používán v týmu, kdy pomocí brainstormingu jsou generovány všechny možné, i málo pravděpodobné, příčiny problému, který je řešen.

Jestliže se analyzuje problém s kvalitou výrobku, většinou se využívá 6 oblastí (metodika 6M). Jde o orientační směry zejména pro technický problém, jejichž větve se dále modifikují.

- Man (Lidé),
- Machine (Stroj),
- Material (Materiál),
- Metod (Metoda),
- Management (Řízení příp. prostředí),
- Measurement (Měření).

Tyto větve nesmí účastníky omezovat, ale inspirovat a také slouží moderátorovi k tomu, aby si udržel přehled v záznamech.



Obrázek 29: Ukázka Ishikawa diagramu

4.3 Testování hypotéz

Testování statistických hypotéz patří spolu s metodami teorie odhadu k nejdůležitějším postupům statistického usuzování. Jak již bylo popsáno, ukazatelů a možného hodnocení procesu je celá řada. Stejně tomu je u testování hypotéz. Pro použití parametrických testů je nutno splnit předpoklad normality dat sledovaných veličin. Mezi parametrické testy se řadí především Studentův t -test pro testování rozdílu dvou středních hodnot, F -test pro testování rozdílu dvou rozptylů nebo metoda ANOVA.

V tomto případě je vybrán Fisherův test na porovnání dvou přesností, a také metoda ANOVA, která umožňuje provádět vícenásobné porovnávání středních hodnot.

4.3.1 Fisherův test

Jde o test, kde se porovnají dvě přesnosti, pokud jsou k dispozici data ze dvou přístrojů nebo měření může být realizováno pomocí různých metod. Jde například o testování hypotézy, že na jedné směně je nižší přesnost výroby než na směně druhé nebo že vyrábí s určitým rozptylem a na druhé směně s rozptylem větším.

Za předpokladu, že během měření nepůsobí žádné systematické chyby, je přesnost měření definována parametrem σ . Tedy při porovnání dvou metod měření A a B s určitou hodnotou σ_A a σ_B , platí, že ten s menší hodnotou σ je přesnější. Pokud tyto nejsou známy, lze využít pro porovnání směrodatné odchylky. Náhodné vlivy způsobí kolísání směrodatných odchylek s_A a s_B kolem skutečné hodnoty σ_A a σ_B . Při porovnání se používá statistický test – Fisherův test. (15)

$$\frac{s_A^2}{s_B^2} \text{ nebo } \frac{s_B^2}{s_A^2}$$

V čitateli je vždy větší hodnota a podíl je vždy větší než 1. Na základě kritické hodnoty $F_{1-\alpha/2}(n_A-1; n_B-1)$, kde $n_A = n_B$, se rozhodne o potvrzení nebo zamítnutí hypotézy o stejné přesnosti obou metod:

$$\frac{s_A^2}{s_B^2} > F_{1-\alpha/2}(n_A - 1; n_B - 1)$$

- test potvrzuje hypotézu, že obě metody se od sebe liší a metoda B je přesnější

$$\frac{s_A^2}{s_B^2} < F_{1-\alpha/2}(n_A - 1; n_B - 1)$$

- test potvrzuje hypotézu, že obě metody jsou stejně přesné na hladině významnosti 5%

Testové kritérium za předpokladu hypotézy $H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$ je rovno:

$$F = \frac{s_A^2 \cdot \frac{n_1}{n_1 - 1}}{s_B^2 \cdot \frac{n_2}{n_2 - 1}}$$

a zároveň platí $F_{1-\alpha/2}(f_1, f_2) = \frac{1}{F_{1-\alpha/2}(f_2, f_1)}$.

4.3.2 Metoda ANOVA

Metoda ANOVA nebo také analýza rozptylu (anglicky Analysis of variance - ANOVA) je založena na hodnocení vztahů mezi rozptyly porovnávaných výběrových souborů. Jde o metodu matematické statistiky, která umožňuje tedy ověřit, zda na hodnotu sledované veličiny má statisticky významný vliv hodnota některého ovlivňujícího faktoru. V experimentech se často sledují účinky několika různých podmínek (faktorů), kterým jsou vystaveny různé skupiny pokusných subjektů. Faktory působící na jednotlivé skupiny reprezentují v těchto případech různé pokusné zásahy (z nichž jeden může představovat standardní ošetření, které slouží jako kontrola).

Podstatou této analýzy je rozklad celkového rozptylu na rozptyl vyvolaný vlivem jednotlivých faktorů (známé zdroje variability) a složku náhodnou (neobjasněnou), o níž se předpokládá, že je náhodná. Předmětem testování je statistická významnost poměru mezi rozptylem způsobeným faktorem a náhodným rozptylem. Pokud má vliv 1 faktor, jde o jednofaktorovou ANOVu, jsou-li 2 faktory, jde o dvoufaktorovou ANOVu, apod. (45; 24)

Základní předpoklady pro jednofaktorovou analýzu rozptylu:

- Data popisuje normální rozdělení
- Náhodné veličiny ε_{ij} jsou náhodné chyby s $N(0, \sigma^2)$
- Rozptyly sloupců dat (úrovní faktorů) jsou stejné

Když se označí y_{ij} jako j -té pozorování při i -tém ošetření, pak statistický model pro popis jednofaktorové analýzy je následující (24):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij},$$

pro $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, n_i$. Je-li $n_i = n$ pro všechna $i = 1, 2, \dots, a$, jde o homogenní (vyváženou) analýzu. Parametr μ představuje úroveň společnou pro všechna ošetření, τ_i je parametr představující vliv i -tého ošetření. Náhodné veličiny ε_{ij} jsou náhodné chyby a předpokládá se jejich vzájemná nezávislost a rozdělení $N(0, \sigma^2)$. Parametr σ^2 udává rozptyl a je obecně též neznámý. Cílem je tedy ověřit hypotézy ohledně vlivů faktoru a tyto vlivy odhadnout. Dále se vyžaduje, aby analýza byla prováděna náhodně, to je v náhodném pořadí, čímž se vylučuje nebo eliminuje vliv vnějších podmínek při provádění analýzy.

Aby parametry τ_i a $i = 1, 2, \dots, a$ byly určeny normálními rovnicemi jednoznačně, je nutné provést tzv. re-parametrizaci modelu, která spočívá v požadavku, aby:

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0,$$

když tedy se na τ_i pohlíží jako na odchylky od celkového průměru μ . Zavedené standardní označení je pak:

$$y_{i\cdot} = \sum_{j=1}^n y_{ij} ; \quad \bar{y}_{i\cdot} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij} = \frac{y_{i\cdot}}{n}$$

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} ; \quad \bar{y}_{..} = \frac{1}{a n} y_{..} .$$

Následuje otázka ohledně rovnosti ošetření τ_i a $i = 1, 2, \dots, a$, nebo jejich rozdílnost. Jinými slovy je testována hypotéza $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ proti obecné alternativě $H_1 : \tau_i \neq 0$ alespoň pro jedno $i = 1, 2, \dots, a$. Rozbor se provádí analýzou rozptylu, což je rozklad celkové úrovně variability na jednotlivé části odpovídající jednotlivým ošetřením a náhodným chybám.

Celkový součet čtverců má tvar

$$S_{TOT} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2.$$

Lze snadno ukázat, že

$$S_{TOT} = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{i.j} - \bar{y}_{i.})^2.$$

Dvojná suma představuje součet čtverců odchylek jednotlivých měření y_{ij} od průměru v i -té třídě, to je tedy součet čtverců náhodných chyb a označuje se S_E , kdežto druhý součet označený jako S_H představuje součet čtverců odchylek mezi ošetřeními nebo třídami. Základní vztah tedy je

$$S_{TOT} = S_H + S_E.$$

V této analýze označuje $N = a.n$ celkový počet pozorování. Suma S_{TOT} má $(n-1)$ stupňů volnosti, S_H má $(a-1)$ stupňů volnosti a S_E $(N-a)$. Bude-li σ^2 rozptyl náhodných chyb ε_{ij} , u nichž se předpokládá normální rozdělení, pak veličina S_{TOT}/σ^2 má χ^2 -rozdělení s $(N-1)$ stupni volnosti, rovněž tak S_E/σ^2 má χ^2 -rozdělení s $(N-a)$ stupni volnosti. Pokud platí hypotéza H_0 , pak S_H/σ^2 má rovněž χ^2 -rozdělení s $(N-a)$ stupni volnosti. Dále jsou při platnosti hypotézy H_0 tyto součty navzájem nezávislé. Pokud tedy platí H_0 pak podíl

$$F_0 = \frac{MS_H}{MS_E},$$

kde

$$MS_H = \frac{S_H}{a-1}, \quad MS_E = \frac{S_E}{N-a}$$

a MS_H je průměrným součtem čtverců mezi třídami a MS_E je průměrným čtvercem chyb, má F-rozdělení a $(a-1)$ a $(N-a)$ stupni volnosti.

Tabulka 4: Tabulka analýzy rozptylu

Zdroj variability	Součet čtverců	Stupeň volnosti	Průměrný čtverec	F₀
Mezi třídami	S_H	$a - 1$	MS_H	MS_H / MS_E
Chyby (uvnitř tříd)	S_E	$N - a$	MS_E	
Celkový	S_{TOT}	$N - 1$		

5 Řešení a dosažené výsledky

Základní myšlenkou pro tvorbu této práce je zhodnotit výrobní proces na základě nashromážděných podnikových dat a pomocí stanovených ukazatelů, poté navrhnout metodiku hodnocení procesů v podnicích se sériovou výrobou v prostředí automobilového průmyslu.

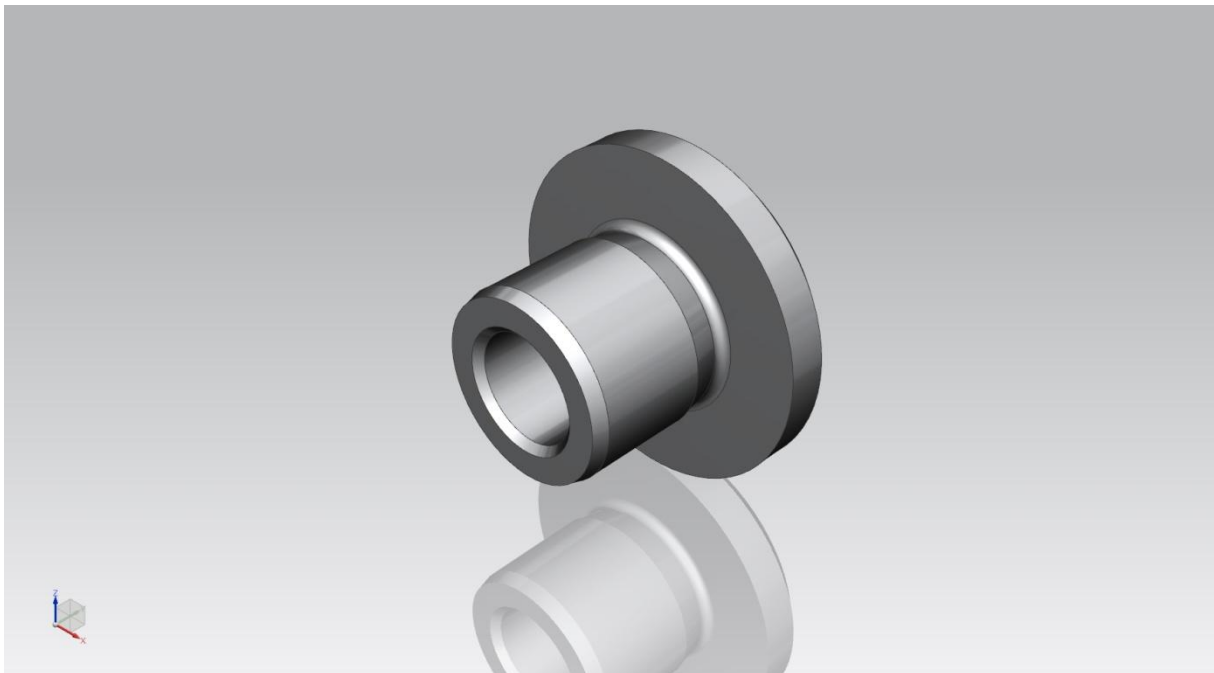
Pro veškeré analýzy, výpočty, modelování a konstrukce grafů jsou použity programy MS Excel s podporou maker a Matlab, interaktivní programové prostředí a skriptovací programovací jazyk.

5.1 Vyhodnocovaná data

Pro účely práce jsou k dispozici data pořízená během výrobního procesu vybrané strojn^í součásti, ze 100% výstupní kontroly. Jde o naměřené hodnoty během několika týdnů v rámci cca čtvrt roku.

Součást

Jde o součást rotačn^ího tvaru ze sestavy ovládací jednotky. Maximální rozměry jsou 28 mm délka a průměr 42,9 mm, viz model.



Obrázek 30: Model měřené součásti

Délka součásti je stanovena po domluvě výrobce se zákazníkem jako kritický rozměr. Snahou celého výrobního procesu je snižování všech tolerančních mezí, a tím zvýšení přesnosti výroby.

Výroba

Výroba součásti probíhá sériově na dvou-vřetenovém soustruhu, viz uvedený rámcový technologický postup. Jde o 3směnný provoz, kdy se při obsluze střídají tři operátoři.

Polotovarem je 3m tyč kruhového průřezu z automatové oceli – materiál ČSN 11 109 (9SMn28k)

Chemické složení:

C max. 0,130%, Mn 0,900 až 1,500%, P 0,100% a S 0,210 až 0,320%

Mechanické vlastnosti (tepelně nezpracované):

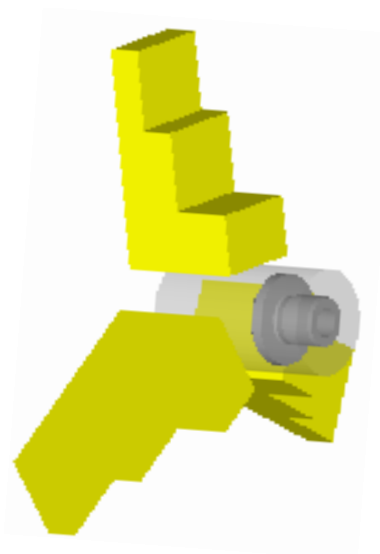
Pevnost v tahu R_m 380 - 520 MPa

Mez kluzu R_e min. 215 MPa

Ocel je velmi dobře obrobitelná a drsnost ploch po obrobení je dobrá.






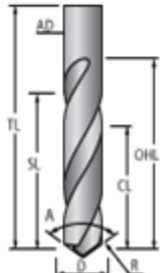
Tabulka 5: Rámcový technologický postup







Č.	Činnost	Operace
1	Dělení materiálu	<ul style="list-style-type: none">○ Vstupní kontrola materiálu○ Příprava polotovaru – řezání○ Vizuelní kontrola polotovaru○ Kontrola délky řezu
2	Nastavení stroje	<ul style="list-style-type: none">○ 100% Kontrola 1.dílu – simulace
3	Obrábění součásti	<p>Strategie obrábění:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Upnutí do tvrdých čelistí s vyložení min. 35 mm○ Sražení čela vnějším soustružnickým nožem○ Podélné hrubování○ Dokončení vnějšího tvaru○ Vrtání vnitřní díry D12,5○ Dokončení vnitřního průměru○ Přeupnutí do protivřetene s vyložení min. 7 mm○ Upíchnutí○ Dokončení díry D16
4	Výstupní kontrola -Měření	<ul style="list-style-type: none">○ Měřicí zařízení Renishaw Equator (Měřicí box)
5	Balení	<ul style="list-style-type: none">○ Skladovací/manipulační předpis
6	Expedice	<ul style="list-style-type: none">○ Vizuelní kontrola před prodejem○ Předávací služba



Obrázek 31: Upnutí do tvrdých čelistí

Použité nástroje

WH-DDNNN-J15		
		Tvar destičky: D (55.00) Úhel příjezdu: N Směr řezné hrany: N Šířka stopky (A): 25mm
MWLNR 2525M-08W		
		Tvar destičky: W (80.00) Úhel příjezdu: L Směr řezné hrany: R Šířka stopky (A): 25mm
VRT-D12.5-5D		
		Průměr=12.5 Počet zubů: 2 AD=14 Vyložení=80 Délka řezné části L=75 Úhel špičky=140
Soustružení vnější - HSK A63WH-DDNNN Soustružení vnější - ID:	Soustružení vnější - ID:	Vrták - KLESTINA ER25 L100 ID:Vrt D12.5

E10M SDUCL-07		
 Soustružení vnitřní - ID:		Tvar destičky: D (55.00) Úhel příjezdu: U Směr řezné hrany: L VYLOŽENÍ MIN: 20
E10M SDUCR-07		
 Soustružení vnitřní - ID:		Tvar destičky: D (55.00) Úhel příjezdu: U Směr řezné hrany: R VYLOŽENÍ MIN: 15
Zapichovací nůž		
 Zápichování vnější - ID:		Tvar destičky: Square Typ stopky: Straight Směr řezu: R A: 25 H: 12

Kontrola

Kontrola součásti je prováděna na robotickém pracovišti v měřicím boxu zařízením Renishaw Equator, jde o přesné měřicí zařízení pracující s unikátní konstrukcí, založenou na funkci paralelní kinematiky. Základní princip procesu měření je založen na komparačním porovnávání měřeného dílu k „zlatému“. „Zlatý“ díl je takový díl, jenž je vyroben jako model pro nastavení parametrů před, anebo v průběhu měření (např. při změně teploty, dosažení limitního počtu kontrolovaných kusů či vyčerpání časového limitu mezi nastavováním atd.) V tomto případě je „re-kalibrace“ prováděna cca po jedné hodině měření.

Zařízení je umístěno v klimatizovaném prostoru uzavřeného boxu v prostoru metrologické laboratoře a díl je zakládán manipulátorem. Díky měřicímu boxu je zajištěna eliminace vlivů prostředí a díky automatizaci také vliv lidského faktoru.

Zařízení umí pouze vyhodnocovat, zda je díl v toleranci nebo mimo toleranci a zobrazit výsledek na displeji. Data jsou tedy ukládána do souboru pro další zpracování, viz ukázka ze souboru naměřených dat.

	A	B	C	D
1	Datum;2015/03/05			
2	Cas;00:00:34			
3	Smena;Ranni			
4	Jmeno operatora;Honza Novak			
5	Soucast;V toleranci			
6	Cislo vykresu;059105329A			
7	Prumer D80;24.032;INTOL			
8	Prumer D30;16.005;INTOL			
9	Prumer D16;-28.043;INTOL			
10	::			
11	Datum;2015/03/05			
12	Cas;00:01:18			
13	Smena;Ranni			
14	Jmeno operatora;Honza Novak			
15	Soucast;V toleranci			
16	Cislo vykresu;059105329A			
17	Prumer D80;24.029;INTOL			
18	Prumer D30;16.006;INTOL			
19	Prumer D16;-28.031;INTOL			
20	::			

Obrázek 32: Ukázka ze souboru naměřených dat exportovaných z měřicího zařízení

Pro zde uvedenou analýzu jsou použita data z jedné směny. Jde o prostý výběrový soubor o rozsahu $n = 224$ hodnot, viz ukázka naměřených dat rozdělených do podskupin.

Tabulka 6: Vzorek naměřených dat uspořádaných do podskupin

Naměřené hodnoty v podskupinách							
J	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	28.044	28.057	28.047	28.050	28.041	28.042	28.041
2	28.048	28.043	28.056	28.028	28.044	28.051	28.037
3	28.055	28.046	28.053	28.061	28.028	28.040	28.037
4	28.064	28.070	28.061	28.020	28.042	28.038	28.057
5	28.051	28.047	28.052	28.049	28.045	28.040	28.049
6	28.049	28.056	28.039	28.019	28.054	28.045	28.049
7	28.050	28.035	28.047	28.051	28.043	28.062	28.051
8	28.032	28.062	28.040	28.047	28.056	28.046	28.051
9	28.078	28.059	28.054	28.037	28.044	28.045	28.069
10	28.073	28.046	28.048	28.054	28.036	28.044	28.040
11	28.055	28.052	28.057	28.045	28.060	28.055	28.052
12	28.047	28.056	28.065	28.058	28.075	28.036	28.049
13	28.064	28.034	28.049	28.058	28.047	28.051	28.062
14	28.069	28.053	28.055	28.053	28.050	28.042	28.042
15	28.027	28.030	28.038	28.042	28.037	28.033	28.044
16	28.061	28.041	28.026	28.035	28.067	28.057	28.056
17	28.058	28.060	28.045	28.054	28.060	28.035	28.024

18	28.039	28.040	28.025	28.046	28.059	28.050	28.046
19	28.046	28.031	28.045	28.031	28.065	28.040	28.050
20	28.038	28.048	28.047	28.035	28.034	28.028	28.028
21	28.050	28.036	28.045	28.049	28.032	28.039	28.062
22	28.036	28.054	28.030	28.043	28.064	28.048	28.059
23	28.056	28.035	28.041	28.040	28.036	28.034	28.035
24	28.034	28.028	28.034	28.029	28.023	28.066	28.035
25	28.040	28.045	28.049	28.054	28.039	28.041	28.062
26	28.033	28.074	28.050	28.036	28.040	28.040	28.055
27	28.042	28.028	28.035	28.042	28.041	28.042	28.010
28	28.061	28.042	28.044	28.038	28.044	28.037	28.039
29	28.056	28.047	28.053	28.064	28.042	28.040	28.065
30	28.079	28.040	28.030	28.061	28.067	28.064	28.036
31	28.074	28.035	28.036	28.060	28.059	28.031	28.060
32	28.037	28.030	28.090	28.031	28.040	28.034	28.064

5.2 Analýza dat

V následujících podkapitolách jsou aplikovány vybrané metody a stanoveny ukazatele pro hodnocení výrobního procesu. Ke každému použitému nástroji či metodě jsou uvedeny podmínky a předpoklady, které je třeba znát, aby výsledky byly objektivní a srozumitelné. Kromě předpokladů pro správnou aplikaci jsou zde uvedeny i příklady vyhodnocení jiných dostupných souborů dat.

5.2.1 Základní popisná statistika

Pro získání základních informací o souboru dat jsou nejprve zjištěny základní výběrové charakteristiky. Ty pomáhají co nejlépe využít informaci obsaženou v naměřených hodnotách. Naměřené hodnoty se charakterizují hlavně parametrem polohy a úrovní variability neboli směrodatnou odchylkou.

Poloha dat na číselné ose se nejčastěji odhaduje výběrovým průměrem. Viz následující vzorec pro výpočet výběrového průměru \bar{x} , kde n je rozsah výběru.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 28.046598 \text{ mm}$$

Druhou nejčastější charakteristikou pro chování dat je úroveň variability. Ta je odhadována na základě dat pomocí výběrové směrodatné odchylky s .

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.011346$$

Jak již bylo zmíněno, vychází se z předpokladu, že pro sériovou výrobu jsou k dispozici velké soubory dat, a data odpovídají normálnímu rozdělení. Normální rozdělení je i podmínkou většiny dalších nástrojů pro zpracování dat. Normální rozdělení je předpokladem hlavně kvůli své symetričnosti, tj. hodnoty se pohybují okolo střední hodnoty a jsou zatíženy pouze náhodnou chybou. Následuje tedy ověření normality.

5.2.2 Ověření normality

Pro ověření, zda data odpovídají normálnímu rozdělení pravděpodobnosti, je použita metoda početní i grafická - histogram, χ^2 - test dobré shody a Kolmogorovův test dobré shody s normálním rozdělením.

Pearsonův χ^2 - test dobré shody

V tomto testu je srovnáváno vypočtené testovací kritérium s kritickou hodnotou, která se určuje v závislosti na zvolené hladině významnosti α . Jestliže hodnota vypočtené testovací statistiky překročí kritickou hodnotu, znamená to, že existuje evidence pro zamítnutí nulové hypotézy (tzn. „že je potvrzen rozdíl“). Naopak, pokud se vypočtená testovací statistika ocitne uvnitř oboru přijetí H_0 , nemusí se zamítnout nulová hypotéza, a je tedy předpoklad, že platí.

Pro analyzovaná data je pro 5% hladinu významnosti kritická hodnota pro $\chi^2_{krit} = 6,244766$ (z tabulek pro χ^2 (46))

Testovací kritérium:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j} = 0,155182574,$$

kde n_j jsou empirické (skutečné) četnosti v intervalu j ($j = 1, 2, \dots, k$) a np_j teoretické četnosti (stanovené na základě pravděpodobnosti) v intervalu j .

Protože **0.155182574 < 6,244766**, z toho vyplývá, že nulová hypotéza **platí = jde o shodu s normálním rozdělením**.

Jde o rozsáhlejší výpočet, proto bylo provedeno ještě ověření správnosti výpočtu v programu Matlab, kde opět nulová hypotéza H_0 předpokládá, že výběrový soubor má rozdělení určitého typu, v tomto případě normální.

```
>> [h,p,st] = chi2gof(x,'NBins',15,'Alpha',0.05)

h =
    0

p =
    0.1797

st =

chi2stat: 10.1589
df: 7
edges: [28.0100 28.0260 28.0313 28.0367 28.0420 28.0473 28.0527 28.0580 28.0633 28.0687 28.0900]
O: [7 16 27 44 32 28 29 19 12 10]
E: [10.9775 13.6780 22.9458 32.1275 37.5450 36.6212 29.8139 20.2583 11.4890 8.5439]
```

Obrázek 33: Ověření platnosti nulové hypotézy v programu Matlab

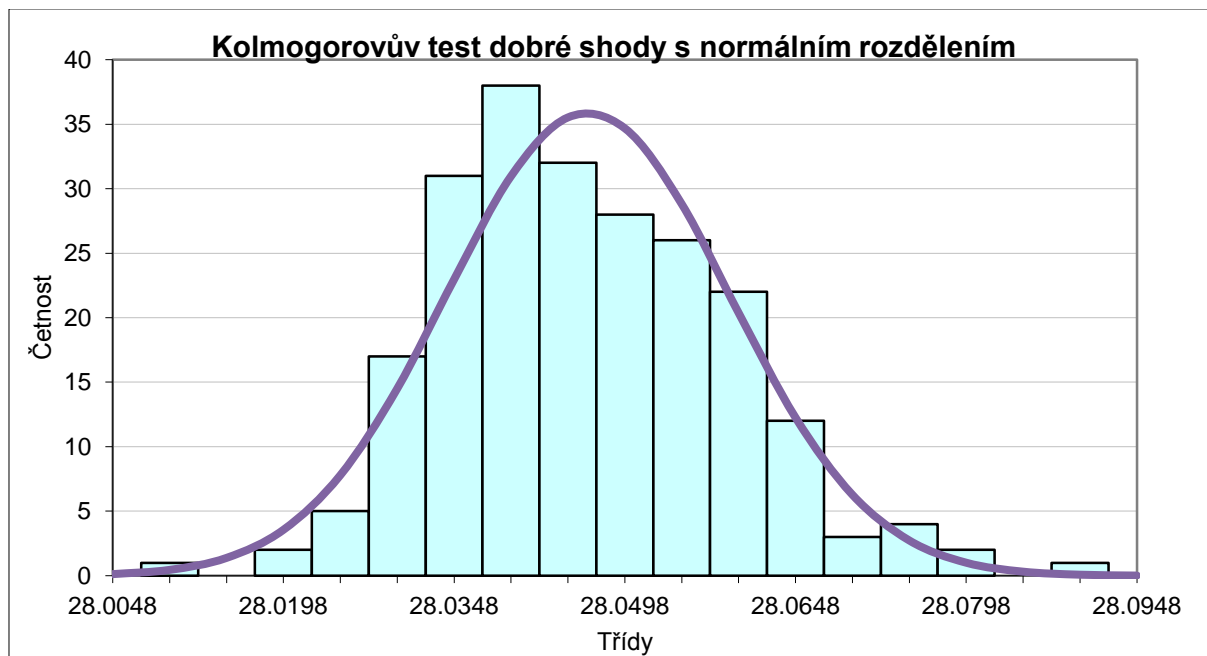
$H=0$ v programu Matlab znamená, že se nulová hypotéza pro 5% hladinu významnosti nezamítá, tzn., **hypotéza platí = jde o shodu s normálním rozdělením**.

Kolmogorovův test dobré shody s normálním rozdělením a histogram

Další možností ověření normality je metoda grafická – sestavení histogramu. Grafická metoda je spíše pro prvotní odhad tvaru dat, proto je využit dále Kolmogorův test, u kterého je histogram proložen Gaussovou křivkou. Histogram je sestaven tak, že data jsou nejprve rozdělena do jednotlivých tříd (intervalů) o stanovené šíři. V grafu jsou pak vynášeny četnosti hodnot v jednotlivých třídách.

Tabulka 7: Výskyt konkrétních hodnot měření

Hranice tříd	Četnosti	Teoretické četnosti
28.005	0	0.129
28.010	1	0.458
28.015	0	1.384
28.020	2	3.559
28.025	5	7.785
28.030	17	14.494
28.035	31	22.964
28.040	38	30.964
28.045	32	35.532
28.050	28	34.699
28.055	26	28.838
28.060	22	20.397
28.065	12	12.277
28.070	3	6.289
28.075	4	2.742
28.080	2	1.017
28.085	0	0.321
28.090	1	0.086
28.095	0	0.020

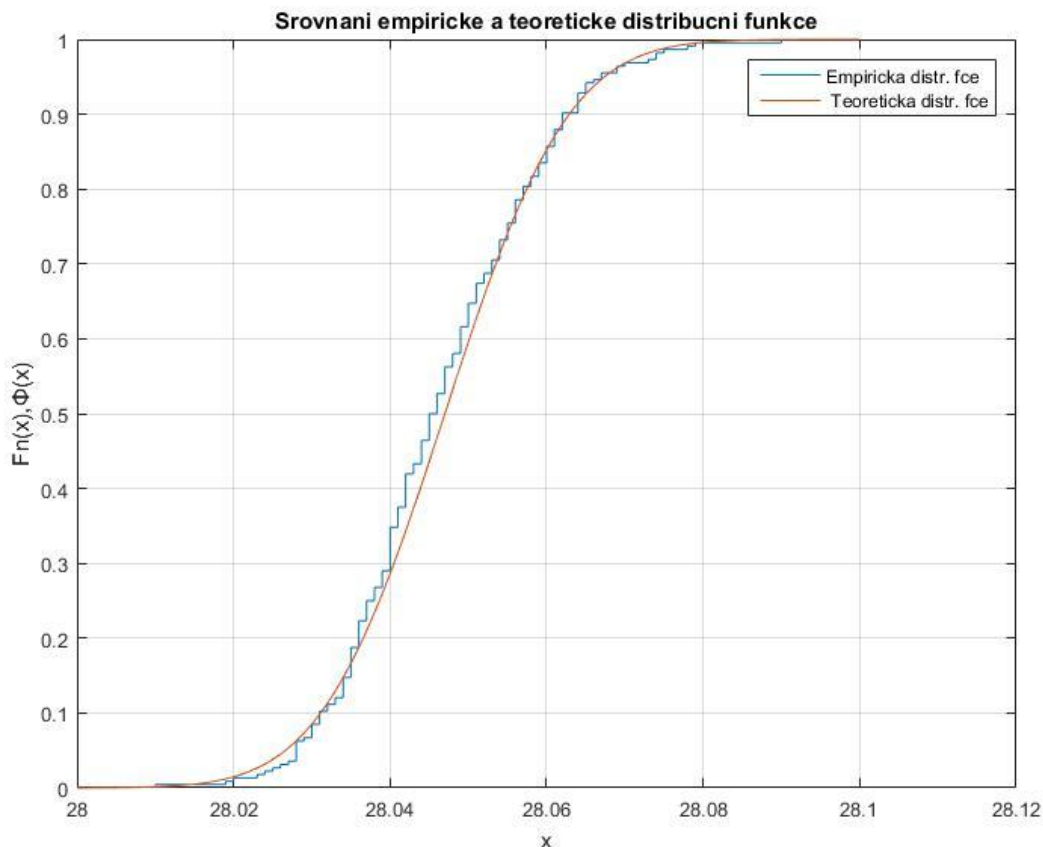


Obrázek 34: Kolmogorovův test – histogram s proloženou křivkou normální hustoty pravděpodobnosti

Z předchozího obrázku (Kolmogorovův test – histogram s proloženou křivkou normální hustoty pravděpodobnosti) nelze jednoznačně říci, že jde o shodu s normálním rozdělením. Proto pro lepší znázornění shody je vhodné sestavit distribuční funkci. Viz vykreslení v programu Matlab.

```
>> cdfplot(x)
>> hold on
>> xx = [28 : 0.0005 : 28.1];
>> plot(xx, normcdf(xx,28.047,0.0124))
>> legend('Empiricka distr. fce',' Teoreticka distr. fce', 2)
>> title('Srovnani empiricke a teoreticke distribucni funkce')
>> ylabel('Fn(x), Φ(x)')
```

Obrázek 35: Vykreslení grafu - porovnání empirické a teoretické distribuční funkce v programu Matlab



Obrázek 36: Srovnání empirické a teoretické distribuční funkce v Matlab

Při srovnání empirické a teoretické distribuční funkce je shoda již patrná.

Početně lze Kolmogorův test vyjádřit obdobně jako Pearsonův χ^2 - test dobré shody, porovnáním testovacího kritéria a kritické hodnoty. V tomto konkrétním případě je pro 5% hladinu významnosti kritická hodnota = 0.090868822 a vypočtená hodnota = 0.063711046.

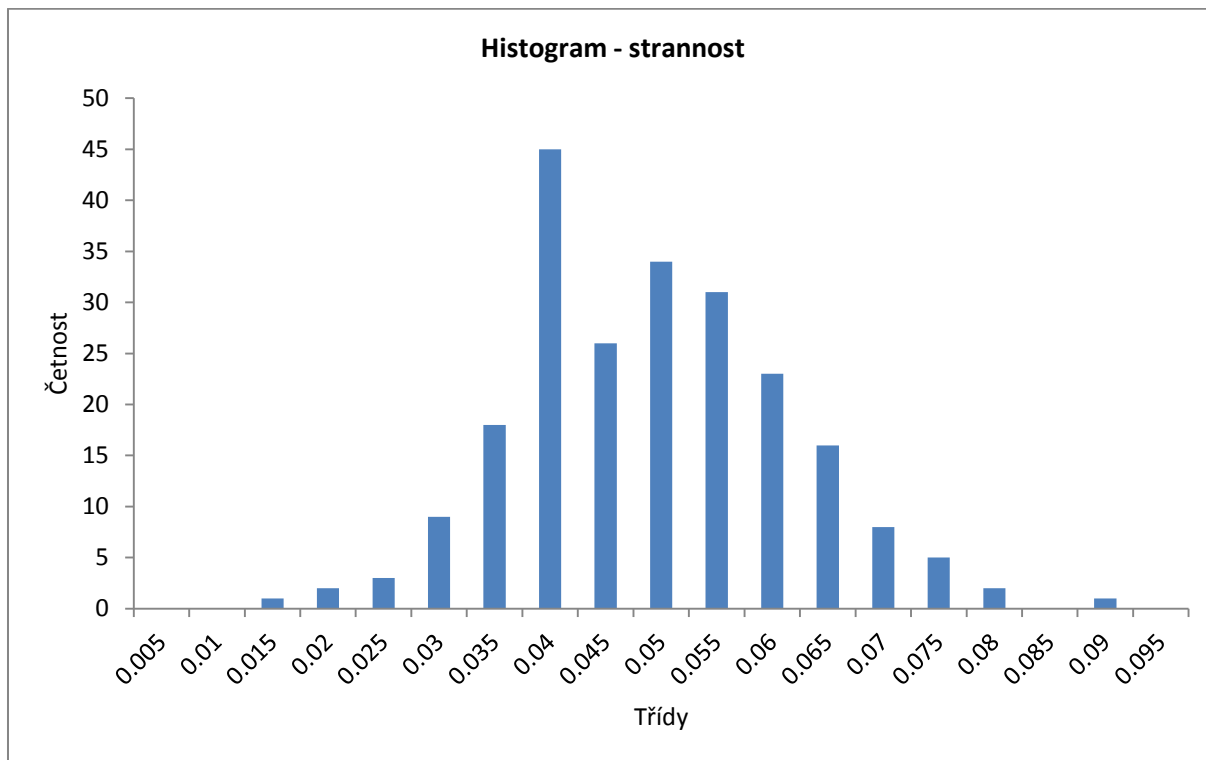
Protože **0.063711046 < 0.090868822**, z toho vyplývá, že hypotéza **platí = jde o shodu s normálním rozdělením**.

Jak na základě vypočtené polohy dat na číselné ose, která se odhaduje nejčastěji výběrovým průměrem \bar{x} , tak u vykresleného histogramu je patrné posunutí od referenční hodnoty. Proto připadá v úvahu další charakteristika souboru - strannost.

5.2.2.1 Strannost

Grafická metoda pro určení strannosti - Pro zvolený soubor dat byl sestaven histogram z četností jednotlivých odchylek, tj. jednotlivých stranností, od referenční hodnoty, viz vzorec:

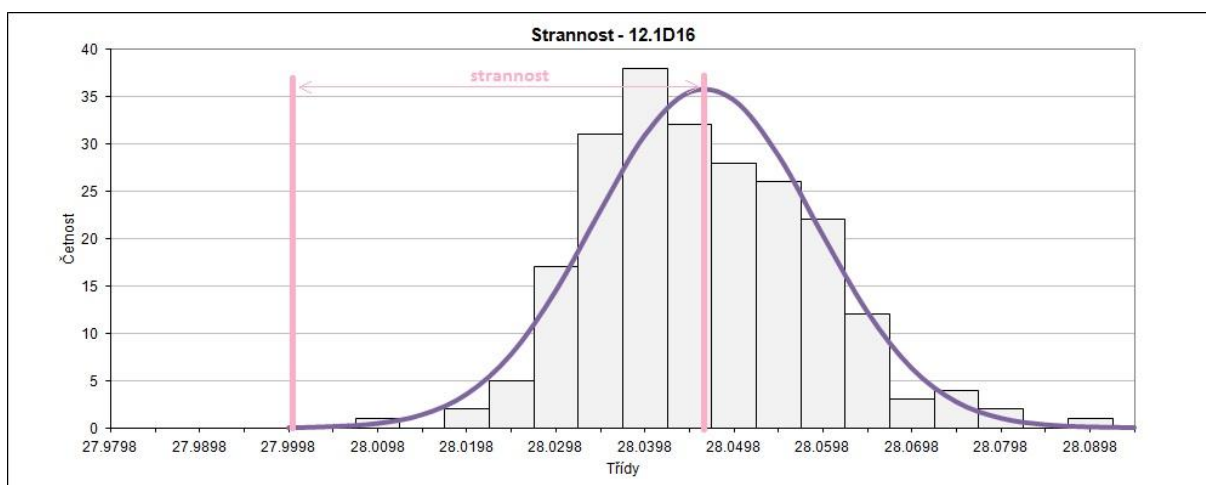
$$\text{strannost}_i = x_i - \text{referenční hodnota}$$



Obrázek 37: Histogram s vynesými četnostmi jednotlivých odchylek od referenční hodnoty

Numerická metoda pro určení strannosti - Výpočet průměrné strannosti n odečtů:

$$\bar{\varnothing} \text{ strannost} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{strannost}_i}{n} = \mathbf{0.046598214 \text{ mm}}$$



Obrázek 38: Grafické znázornění strannosti měření k referenční hodnotě

Z grafu je patrné, že rozměr vyráběného dílu se pohybuje nad referenční hodnotou, tj. vyrábí se rozměr větší. V tomto případě se jedná vzhledem k tolerančním mezím o velmi malou strannost, a pokud dochází k překročení tolerance, tak převážně k té horní. Takovou výrobou se může zamezit vzniku neopravitelných neshodných výrobků, tj. dílů, které by byly menší než je předepsaná tolerance.

5.2.2.2 Špičatost a šikmost

Mezi další popisné charakteristiky lze zařadit tzv. míry tvaru, tj. šikmosti a špičatosti. Tyto charakteristiky pomáhají určovat, jak moc se získané rozdělení dat podobá nebo se naopak odlišuje od normálního rozdělení, tj. Gaussova.

Výpočet koeficientu **šikmosti**:

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 = \mathbf{0.315}$$

Kladná šikmost značí, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vlevo a většina hodnot se nachází vlevo od průměru.

Výpočet koeficientu **špičatosti**:

$$\gamma = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} = \mathbf{0.234}$$

Kladný koeficient značí o něco větší špičatost než normované normální rozdělení, hodnoty jsou tedy více koncentrovány v blízkosti průměru. Lze v tomto případě říci, že jde tedy o přesnější výrobu.

Vzhledem k nízkým hodnotám koeficientů (blízkým nule) se jedná o nepatrnou odlišnost od normálního rozdělení.

5.3 Stanovení vybraných ukazatelů

5.3.1 Histogram

Histogram je vhodné zařadit jako první krok při rozboru dat ještě před statistickými testy, neboť lze podle tvaru zjistit vhodný model rozdělení pravděpodobnosti, tedy popis chování sledované veličiny resp. předběžné ověření normality, což v tomto případě bylo již ověřeno v předchozích podkapitolách.

5.3.1.1 Předpoklady a doporučení

Je důležité mít k dispozici dostatečný objem dat. Minimální počet hodnot pro sestavení histogramu je cca 25 – 30 a počet tříd je od 7 do max. 20, aby byl zřetelný tvar daného souboru.

Co se týká rozdělování do skupin, je doporučeno volit počet skupin následovně:

Počet intervalů $k = 5 \cdot \log n$ nebo dle následující tabulky.

Tabulka 8: Určení počtu intervalů

n – rozsah výběru	k – počet intervalů
< 50	5 - 7
50 - 99	6 - 10
100 - 250	7 - 12
> 250	10 - 20

5.3.2 Regulační diagramy

V uvedeném příkladu jsou z každého dne nashromážděna naměřená data z výstupní kontroly strojní součásti. Velmi důležitým krokem je tvorba logické podskupiny. Je třeba, aby podskupiny byly vytvořeny tak, aby bylo možné do nich začlenit všechny hodnoty souboru, a pro každou hodnotu musí platit zcela jednoznačně, do které skupiny bude hodnota zařazena.

Data jsou v tomto případě rozdělena do podskupin po 7-ti prvcích. Tento rozsah podskupiny je zvolen na základě informací z tabulky s koeficienty pro další výpočty, neboť od 7 prvků již nejsou koeficienty D nulové, což by bránilo výpočtu dalších ukazatelů v budoucnu, např. nelze určit dolní regulační mez rozpětí. V následující tabulce jsou vypočtené statistiky pro aplikaci regulačních diagramů. Je vytvořeno 32 podskupin, což odpovídá jedné celé pracovní směně.

V následujících tabulkách jsou uvedeny vypočtené výběrové charakteristiky, součinitele pro výpočty a vypočtené regulační meze pro regulační diagramy měření.

Tabulka 9: Výběrové charakteristiky pro regulační diagramy

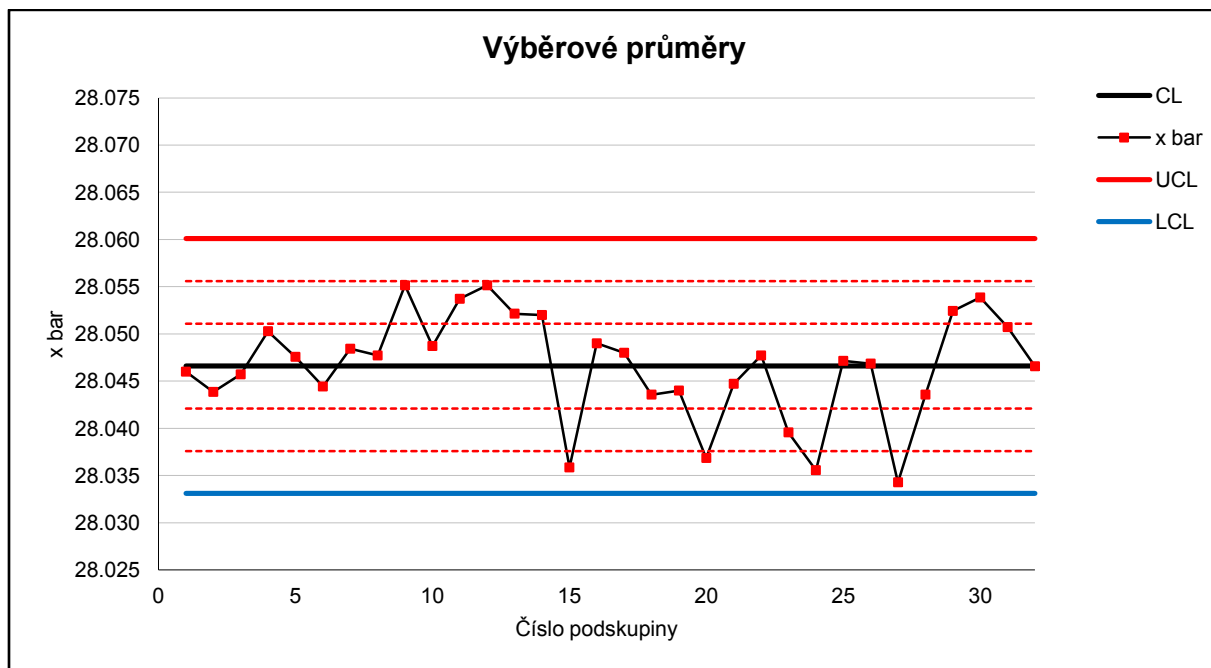
Vypočtené statistiky pro RD		
n_j - rozsah podskupiny		7
k - počet podskupin		32
\bar{x}	$\bar{\bar{X}}$	28.046598
\bar{M}_e	\bar{M}_e	28.047344
\bar{R}	\bar{R}	0.032188
\bar{s}	\bar{s}	0.011346
\bar{s}^2	\bar{s}^2	0.000127
S_{tot}	S_{tot}	0.012449
\bar{s}_x	\bar{s}_x	0.005588

Tabulka 10: Součinitele pro výpočet přímk regulačních diagramů (30)

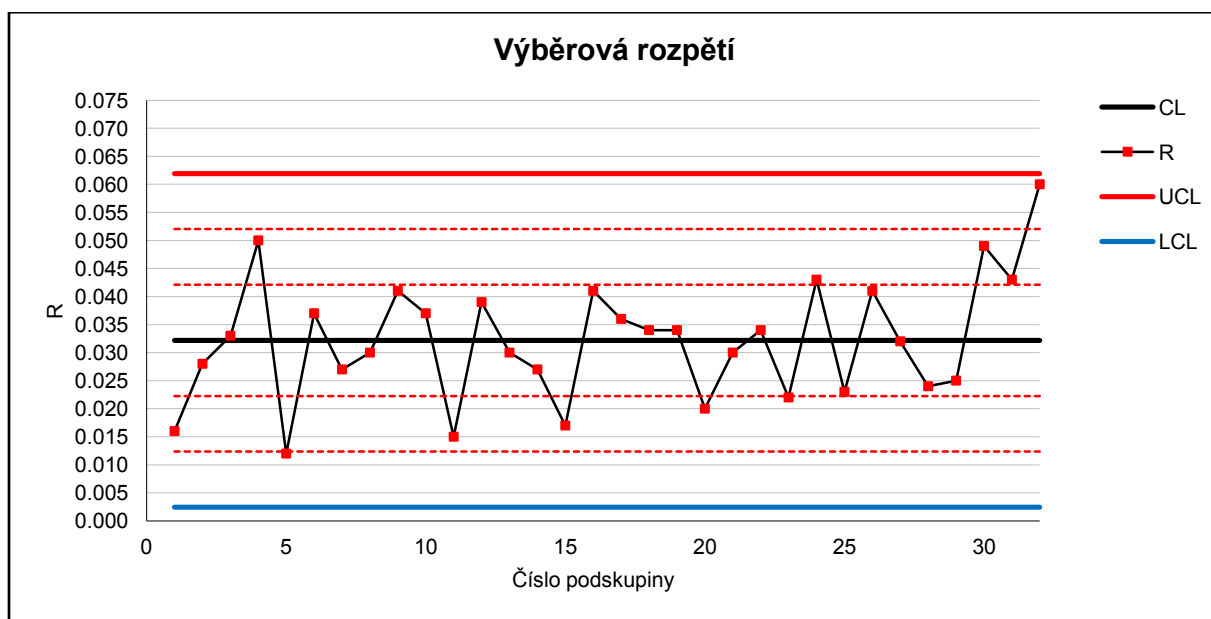
Rozsah podskupiny	Součinitele pro regulační meze												Součinitele pro centrální přímk				
	A	A2	A3	A4	E2	B3	B5	D1	D3	B4	B6	D2	D4	C4	1/C4	d2	1/d2
2	2.121	1.880	2.659	1.880	2.660	0	0	0	0	3.267	2.606	3.686	3.267	0.798	1.253	1.128	0.887
3	1.732	1.023	1.954	1.190	1.772	0	0	0	0	2.568	2.276	4.358	2.574	0.886	1.128	1.693	0.591
4	1.500	0.729	1.628	0.800	1.457	0	0	0	0	2.266	2.088	4.698	2.282	0.921	1.085	2.059	0.486
5	1.342	0.577	1.427	0.690	1.290	0	0	0	0	2.089	1.964	4.918	2.114	0.940	1.064	2.326	0.430
6	1.225	0.483	1.287	0.550	1.184	0.030	0.029	0	0	1.970	1.874	5.078	2.004	0.952	1.051	2.534	0.395
7	1.134	0.419	1.182	0.510	1.109	0.118	0.113	0.204	0.076	1.882	1.806	5.204	1.924	0.959	1.042	2.704	0.370
8	1.061	0.373	1.099	0.430	1.054	0.185	0.179	0.388	0.136	1.815	1.751	5.306	1.864	0.965	1.036	2.847	0.351
9	1.000	0.337	1.032	0.410	1.010	0.239	0.232	0.547	0.184	1.761	1.707	5.393	1.816	0.969	1.032	2.970	0.337
10	0.949	0.308	0.975	0.360	0.975	0.284	0.276	0.687	0.223	1.716	1.669	5.469	1.777	0.973	1.028	3.078	0.325

Tabulka 11: Výpočet regulačním mezí pro regulační diagramy

Vzorce a výpočet regulačních diagramů při kontrole měřením					
Základní hodnoty nejsou stanoveny (přirozené regulační meze):					
Statistika	CL	UCL		LCL	
\bar{x}	\bar{x}	$\bar{x} + A_2 * \bar{R}$		$\bar{x} - A_2 * \bar{R}$	
	\bar{x}	$\bar{x} + A_3 * \bar{s}$		$\bar{x} - A_3 * \bar{s}$	
R	\bar{R}	$\bar{R} * D_4$		$\bar{R} * D_3$	



Obrázek 39: Regulační diagram pro průměr



Obrázek 40: Regulační diagram pro rozpětí

Podle pravidel pro určování zvláštních případů v diagramu pro průměr z normy ČSN ISO 8258:1991 nebo Nelsonových pravidel uvedené regulační diagramy nevykazují žádné trendy, body mimo meze apod. **Lze tedy konstatovat stabilní proces.**

Na základě stability procesu potvrzené z průběhu regulačních diagramů lze vyhodnotit další ukazatele výrobního procesu.

5.3.2.1 Předpoklady a doporučení

Před samotnou konstrukcí regulačních diagramů je třeba ověřit a znát následující (pro výrobní proces):

- I. Předpoklad normálního rozdělení pravděpodobnosti
- II. Dobrý test stability vyžaduje 20 a více podskupin obsahujících kolem 100 a více jednotlivých hodnot (pro podskupiny rozsahu < 7 neexistuje žádná dolní regulační mez pro rozpětí)
- III. Data musí být chronologicky seřazena, tj. je nutno znát posloupnost jednotlivých hodnot – podle času výroby.
Pokud není znám čas výroby každého kusu, lze data setřídít např. po dávkách, u nichž je čas výroby znám. U RD je důležitý čas výroby z důvodu následné reakce na variability, body mimo regulační meze nebo jiné trendy v diagramu. Pokud čas výroby (případně alespoň časy změny směny, operátorů, nástrojů apod.) není znám, je znemožněna následná identifikace příčin.
- IV. Stanovení kontrolních intervalů, tj. pro jaké období se regulační diagramy budou tvořit. Samozřejmě záleží na charakteru výroby a počtu vyráběných kusů. Při dostatečném množství dat se doporučuje například den nebo směna. Kdy je možné rychleji reagovat na případné variability. Při dlouhém časovém období se zpětná vazba prodlužuje a s ní i možnost nápravy nebo nárůstu počtu neshod.

5.3.3 Způsobnost

Na základě stability procesu potvrzené z průběhu regulačních diagramů lze tedy vyhodnotit další ukazatele výrobního procesu, a to způsobnost.

Níže uvedená tabulka udává jednotlivé indexy způsobnosti v závislosti na Sigma - úrovni procesu. O způsobnosti procesu se mluví od $C_p = 1,33$, tedy od úrovně 4σ .

Tabulka 12: Index způsobnosti vztažený k výnosu procesu (43)

Výnos	Toleranční odchylka	Index způsobnosti
99,73	$\pm 3\sigma$	1
99,9937	$\pm 4\sigma$	1,33
99,99994	$\pm 5\sigma$	1,67
99,999996	$\pm 6\sigma$	2

Pro normální rozdělení je uvažována většinou hodnota 1,33. Hodnota 1,33 se zdánlivě jeví jako zakotvené pravidlo, ale pro oblast automobilového průmyslu dnes možno chápat jako nedostačující. Pro tuto oblast se tato hodnota výrazně zvyšuje, což je tedy přísnější kritérium pro způsobnost. Proto je pro tento případ zvolena hodnota 1,67. Z pohledu výrobce je snahou kritérium zvyšovat tj. zpřísnovat.

Vyhodnocení způsobnosti je pak následující:

Minimální hodnota $\geq 1,67 \Rightarrow$ způsobilý

Minimální hodnota $< 1,67 \Rightarrow$ nezpůsobilý

Ukazatel Cp

Ukazatel Cp (capability index) vyjadřuje obecně "čeho jsme schopni dosáhnout". Cp je tedy definován jako poměr specifikovaného rozsahu a reálného rozsahu procesu. Tento ukazatel se dá vyjádřit jako:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6 \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{28,25 - 27,75}{6 \cdot \frac{0,032188}{2,704}} = 7,001$$

LSL a USL je dolní a horní technická mez, \bar{R} je průměr rozpětí vypočítaný z naměřených hodnot a d_2 je konstanta měnící se v závislosti na rozsahu podskupiny.

Ukazatel Cpk

Ukazatel Cpk vyjadřuje obecně „čeho jsme ve skutečnosti dosáhli“. Vypočte se ukazatel Cpk_l a Cpk_u a ten menší je roven Cpk.

$$Cpk = \frac{\min(USL - \bar{\bar{X}}; \bar{\bar{X}} - LSL)}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = 5,695$$

$$Cpk_u = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{28,25 - 28,046598}{3 \cdot \frac{0,032188}{2,704}} = 5,695$$

$$Cpk_l = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{28,046598 - 27,75}{3 \cdot \frac{0,032188}{2,704}} = 8,305$$

V tomto případě tedy je vyhodnocení způsobilosti následující:

*Minimální hodnota $\geq 1,67 \Rightarrow 5,695 \geq 1,67 \Rightarrow$ **Lze tedy konstatovat, že je tento proces způsobilý.***

5.3.3.1 Předpoklady a doporučení

Před samotným určováním ukazatelů je třeba přijmout obecně akceptovanou úmluvu, podle níž se meze pro technologický předpis stanovují ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od nominální hodnoty (σ je směrodatná odchylka procesu). Toto koresponduje s mezemi klasických regulačních diagramů, pomocí kterých je proces monitorován a je snaha jej přivést do statisticky zvládnutého stavu.

Tj. Stanovení způsobilosti předpokládá potvrzení stability procesu, jež potvrdí průběh regulačních diagramů.

5.3.4 Relativní četnost neshod / průměrná zmetkovitost

U těchto ukazatelů jde spíše o interní hodnoty zmetkovitosti před kontrolou-expedicí, která je zejména pro vnitřní potřeby podniku.

PPM označuje míru neshod, to znamená skutečně vzniklý a po vyrobení numerický zjištěný počet neshod.

$$PPM = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet vyrobených kusů}} * 1000000 = \text{podíl neshodných kusů} * 1000000$$

$$PPM = \frac{4}{1300} * 1000000 = 3076$$

DPMO je ukazatel, který označuje počet neshod ve smyslu chybných možností, to znamená počet všech možných neshod zjištěný početně před vývojem nebo výrobou výrobku.

$$DPMO = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet kontrolovaných parametrů} * \text{počet kusů}} * 1000000$$

$$DPMO = \frac{4}{3 * 1300} * 1000000 = 1025$$

V tomto případě jsou výsledky na první pohled značně nevyhovující, je třeba další vysvětlení.

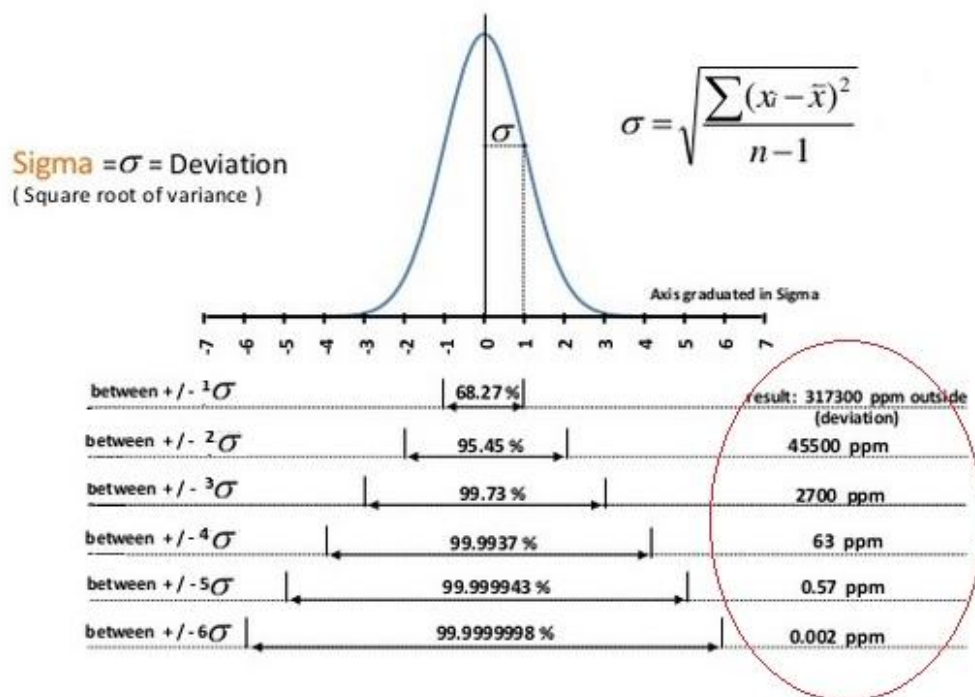
Kontrolují se 3 rozměry a předchozí uvedená analýza způsobilosti se věnuje pouze jednomu z nich, proto nelze toto porovnávat. Pokud je *ppm* vypočteno jen pro tento rozměr:

$$PPM = \frac{0}{224} * 1000000 = 0$$

a pro všechny kusy za den (jeden rozměr):

$$PPM = \frac{1}{1300} * 1000000 = 769$$

Zda jsou hodnoty vyhovující, vysvětluje následující obrázek, kde je ukázáno pravidlo 6 Sigma s uvedením ukazatele *ppm* pro jednotlivá pásma. Kde je zřejmé, že vypočtené *ppm* spadá tedy pod úroveň 3σ , a to je vyhovující.



Obrázek 41: Pravidlo 6 Sigma s uvedením ukazatele ppm (47)

Na základě prostudovaných zdrojů se lze dojít k závěru, že by bylo vhodnější uvést jen relativní četnost neshod neboli průměrnou zmetkovitost za den v procentech, případně jiné časové období:

$$\text{průměrná zmetkovitost za den} = \frac{\text{počet neshodných kusů}}{\text{počet vyrobených kusů}} * 100$$

$$\text{průměrná zmetkovitost za den} = \frac{4}{1300} * 100 = \mathbf{0,3\%}$$

Po těchto výpočtech by ještě měla následovat analýza neshodných kusů (pokud již neproběhla), kdy zhodnocením jednotlivých neshod lze dojít k závěru, že jde o opravitelné kusy a tím průměrná zmetkovitost opět klesne. Zda je procento průměrné zmetkovitosti přijatelné uvádí většinou zákazník. V tomto případě **je průměrná zmetkovitost přijatelná.**

5.3.4.1 Předpoklady a doporučení

Tyto ukazatele je možné určit i bez předchozího ověření normality nebo zjištění stability procesu pomocí regulačních diagramů. Jedná se o ukazatele spíše pro interní potřeby, ale pokud nelze z nějakého důvodu stanovit způsobilost, jde o dostačující závěr.

5.3.5 Diagram příčin a následků – Ishikawa diagram

Při analýze problému s kvalitou výrobku, se většinou využívá 6 oblastí (metodika 6M). Jde o orientační směry zejména pro technický problém, jejichž větve se dále modifikují.

- Man (Lidé),
- Machine (Stroj),
- Material (Materiál),
- Metod (Metoda),
- Management (Řízení popř. prostředí),
- Measurement (Měření).

Vzhledem k uvedené situaci, je v rámci této práce navržen „Registr ovlivňujících faktorů“. Tento registr by měl sloužit jako „inspirace“ pro sestavení Diagramu příčin a následků a také jako podpora vstupní analýzy výrobního procesu, kdy je třeba odhalit slabá místa procesu a na ty se soustředit. Lze říci, že čím větší počet možných voleb a variant, tím více možných ovlivňujících faktorů.

Registr je uveden v příloze č.1, jde o výčet dalších možných faktorů, které ovlivňují výrobní proces včetně procesu kontroly. Proces kontroly – měření je uveden zvlášť, jako samostatný proces, neboť zahrnuje celou řadu oblastí, kde jsou možné negativní vlivy na měření, viz příloha č.2.

Faktory jsou rozděleny dle šesti základních oblastí. Jde o hlavní faktory, které se zpravidla objevují při průmyslové výrobě (vybavení, pracovní síla, prostředí, materiál, metody a management), ty jsou pak dále rozvedeny. Na základě konzultace, doporučení a závěrů z odborné literatury jsou faktory rozvedeny do dvou úrovní. Tedy z pohledu Ishikawova diagramu na příčiny a subpříčiny, viz ukázka.

Co se týká měření, při porovnání procesu výroby a měření, lze konstatovat, že základ je stejný, obecné vlivy jsou podobné, ale je zde mnoho specifických oblastí a faktorů. Proto proces měření a jeho ovlivňující faktory jsou rozebrány samostatně.

Postup sestavení registru faktorů (případně sestavení Ishikawova diagramu)

V každé z šesti oblastí je postupováno dle samotného sledu jednotlivých činností výroby/měření daného produktu. Na začátku analýzy výrobního procesu je nutné definovat součást, která je vyráběna. Pokud se rozebere technologický postup vyráběné součásti, lze vybrat úzká místa, kde je značné množství ovlivňujících faktorů. Každý výběr z možných variant, volba počtu, volba strategie apod. s sebou nese potenciální riziko a vnáší určitý faktor, který může ovlivňovat celý výrobní proces.

Celý tento výčet (Registr ovlivňujících faktorů) je sestaven z několika zdrojů jak z odborné literatury, tak i z praktických zkušeností odborných pracovníků. Přesto lze uvést, že tento výčet není konečný, vlivy na výrobní proces jsou různé a každý má jiné zkušenosti.

prostředí
bezpečnost
zpracování nebezpečných odpadů/látek
značení nebezpečí a rizik
osobní ochranné pomůcky
ochrana proti úrazům
čistota a hygiena
zajištění úklidových služeb
třídění odpadů
dostupnost úklidových prostředků
druh práce
smyslová
s přesnou svalovou koordinací
fyzická statická
fyzická dynamická
duševní
ergonomie pracoviště
příjem a zpracování informací - typy informačních zdrojů
pracovní poloha
plošné a prostorové požadavky
druhy pracovních pohybů
mikroklima
vlhkost
Vibrace
Teplota
Prašnost
Osvětlení
skladování / manipulace
dostatek skladovacích/odkládacích ploch
dopravní značení, komunikace
sociální zázemí
pracovní organizace pracoviště
vliv okolí
ekologické požadavky

Obrázek 42: Ukázka z Registru ovlivňujících faktorů

5.3.5.1 Předpoklady a doporučení

Tento nástroj je vhodný pro určení příčin např. při trendech, bodech mimo meze nebo jiné variabilitě v regulačních diagramech. Kdy se podle času výroby, zjistí, jak byla součást vyrobena, kým, za jakých podmínek, zda nenastala nějaká změna jako změna nástroje, kalibrace, servis apod.

Pro aplikaci tohoto nástroje je zapotřebí tým, různorodý z pohledu profesí i pracovního postavení. Různé pohledy = různé názory a tím pádem i větší pravděpodobnost rychlejšího nalezení příčiny vzniklých neshod.

Při zaměření na výrobní proces, jde o nástroj, který dokáže identifikovat slabá místa v procesu a tím pádem identifikovat možná rizika, tj. predikovat kde by mohla nastat chyba nebo nějaký problém.

5.4 Testování hypotéz

Pro další detailnější analyzování procesu jsou využity hypotézy.

5.4.1 Metoda ANOVA

Jde o ověření hypotézy, že všechny podskupiny pocházejí ze základních souborů se stejnou střední hodnotou (ANOVA). Jsou tedy porovnávány podskupiny mezi sebou v souboru, zda mají stejnou průměrnou výrobu.

Jak je patrné z následující tabulky, testová statistika $F < F_{krit.}$, proto se pro hodnoty z testované směny hypotéza se **nezamítá**, tj. **platí, že všechny podskupiny pocházejí ze souborů se stejnou střední hodnotou**.

Tabulka 13: Vypočtené hodnoty - metoda ANOVA

Test rovnosti středních hodnot (ANOVA)	
celkový průměr =	28.0466
celková sm. odch. =	0.01245
SS mezi výběry =	0.0068
počet st. vol. mezi výběry (f1) =	31
MS mezi výběry =	0.00
SS všechny výběry =	0.0278
počet st. vol. všechny výběry (f2) =	192
MS všechny výběry =	0.000145
SS celkem =	0.0346
počet st. vol. celkem =	223
testová statistika F =	1.510
Zvolená hl. významnosti α =	0.05
α krit. F =	1.51121
(tj. 1- α kvantil F)	
Hypotéza o rovnosti středních hodnot se	NEZAMÍTÁ
P-hodnota =	5.02E-02

5.4.2 Fisherův test

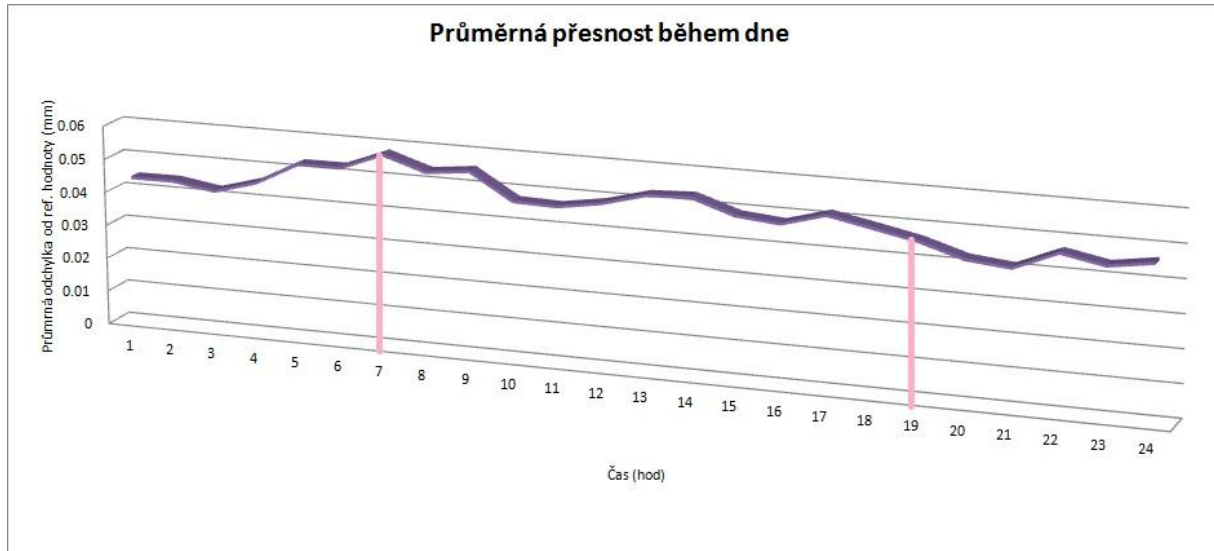
Test pro nezávislé výběry ze dvou normálních rozdělení (shoda rozptylů a shoda středních hodnot). Zde jde o testování hypotézy, že na ranní směně (kolem 7 hodiny) je nižší přesnost výroby než na směně noční (kolem 19 hodiny).

Tabulka 14: Hypotézy - Fisherův test rovnosti rozptylů

Dvouvýběrový F-test pro rozptyl		
	ranní	noční
Rozptyl	0.000228	0.000103
Pozorování	28	28
Spolehlivost	95%	
F	2.2112	
F krit	1.904823	

Kritický obor je $W_{0,05}$: $F \geq F_{krit}(27,27)$, tedy $F \geq 1,904823$ (48). Hodnota testovacího kritéria $F = 2,2112$ spadá do kritického oboru, protože výrok $2,2112 \geq 1,904823$ platí, hypotéza o rovnosti rozptylů tedy se na hladině významnosti 0,05 **zamítá** ve prospěch alternativní hypotézy vyjadřující fakt, že **kolem sedmé hodiny noční je výroba přesnější než kolem sedmé hodiny ranní**.

Přesnější výrobu na noční směně potvrzuje i následující graf, kde je znázorněno kolísání přesnosti během celého dne.



Obrázek 43: Znázornění průměrné přesnosti výroby kolem sedmé hodiny ranní a večerní

5.5 Návrh metodiky hodnocení výrobního procesu

Na základě aplikace teoretických znalostí a zkušeností, získaných během studia dostupné literatury a vlastního výzkumu, a zejména na základě analýzy a zpracování dostupných souborů dat je navržena následující metodika hodnocení výrobního procesu. Ta by podle rešerše dostupné literatury i podle požadavků normy pro oblast automobilového průmyslu měla být dostačující pro základní zhodnocení ukazatelů z výrobního procesu.

Metodika je založena na plnění devíti po sobě jdoucích činností:

5.5.1 Znalost procesu

Každý proces v podniku je třeba podrobně znát. Znalost procesu je první a zároveň nejdůležitější krok, tj. definice vstupů a výstupů, znaků kvality, mezní hodnoty ukazatelů, toleranční meze, potřebné zdroje atd.

Důvod je jednoduchý, čím lépe a do hloubky je proces zmapován a znám, tím lépe se poté reaguje na variability a jiné odchylky. Vzniká tak větší pravděpodobnost rozpoznání počátku problému, protože i malá a špatně odhalitelná odchylka může vyvolat na konci velký problém.

To platí i pro všechny faktory, které proces ovlivňují, viz krok č. 2.

5.5.2 Identifikace ovlivňujících faktorů

V průběhu každého procesu se vyskytují faktory, které proces ovlivňují. Proto je nezbytná identifikace těchto faktorů včetně zdrojů variability a eliminace těch, u kterých je to možné. Identifikace těchto faktorů by mohla již na začátku výroby upozornit na potencionální rizika a negativní vlivy na proces.

S novou revizí normy ISO 9001 přichází nutnost identifikace rizik již v samotném systému řízení kvality, proto se např. diagram příčin a následků nebo metoda FMEA stává užitečnějším než kdykoliv jindy. Je pomocníkem právě pro identifikaci veškerých příčin a slabých míst v procesech.

5.5.2.1 Příklad identifikace ovlivňujících faktorů

V této podkapitole je uveden příklad výrobního postupu vybrané součásti. Ke každé činnosti jsou přiřazeny možné ovlivňující faktory dle navrženého „Registru ovlivňujících faktorů“, s cílem identifikovat veškeré možné nepříznivé vlivy na výrobní proces (viz následující tabulka). K vlivům samozřejmě patří i oblast managementu, kam patří zajištění informačního toku, organizace práce, systém zajišťování zdrojů apod. Tyto vlivy v následující tabulce uvedeny nejsou, patří ale ke všem činnostem v podniku. Oblast managementu je neméně důležitým faktorem a je třeba na něj nezapomínat.

Č.	Činnost	Operace, vstupy, obsluha, vlivy...
1	Dělení materiálu	<ul style="list-style-type: none">• <i>Metody a měření</i><ul style="list-style-type: none">○ <i>Příprava polotovaru – řezání</i>○ <i>Upnutí</i>○ <i>Vstupní kontrola materiálu</i>○ <i>Vizuální kontrola polotovaru</i>○ <i>Kontrola délky řezu</i>

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Materiál</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Druh materiálu nástroje</i> ○ <i>Druh materiálu polotovaru</i> ○ <i>Ostatní zdroje</i> • <i>Vybavení</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Pila</i> ○ <i>Řezné nástroje</i> ○ <i>Skladovací/manipulační prostředky</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor – skladník, obsluha stroje</i>
2	<i>Nastavení stroje</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Metody a měření</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>100% Kontrola 1.dílu – simulace</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor - programátor, obsluha stroje</i>
3	<i>Obrábění součásti</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Metody</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Strategie výroby</i> ○ <i>Programování</i> ○ <i>Chlazení</i> ○ <i>Upnutí</i> ○ <i>Výrobní proces - obrábění</i> • <i>Vybavení</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Stroj</i> ○ <i>Řezné nástroje</i> ○ <i>Požadovaná přesnost</i> ○ <i>Skladování/manipulační prostředky</i> • <i>Materiál</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Druh materiálu nástroje</i> ○ <i>Druh materiálu polotovaru</i> ○ <i>Ostatní zdroje</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor – obsluha stroje</i> • <i>Prostředí</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Výrobní hala</i> ○ <i>Ergonomie pracoviště</i> ○ <i>Bezpečnost</i>
4	<i>Měření</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Vybavení</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Nástroje pro měření</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor</i> • <i>Prostředí</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Výrobní hala</i> ○ <i>Mikroklima</i>
5	<i>Povrchová úprava (kooperace)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Interní dokumentace od dodavatele</i>
6	<i>Vstupní kontrola</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Metody a měření</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Vizuální kontrola mechanického poškození</i>

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor – Skladník</i>
7	Výstupní kontrola - Měření	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Metody</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Statistická kontrola zvoleného počtu</i> • <i>Vybavení</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Měřicí zařízení Renishaw Equator</i> ○ <i>Nástroje pro měření</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Robot</i> ○ <i>Programátor</i> • <i>Prostředí</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Měřicí box</i> ○ <i>Mikroklima</i>
8	Balení	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Vybavení</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Nástroje a pomůcky pro balení</i> ○ <i>Skladovací/manipulační prostředky</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor</i>
9	Expedice	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Metody a měření</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Vizuální kontrola před prodejem</i> • <i>Pracovní síla</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Operátor</i> ○ <i>Předávací služba</i>

Z výše uvedeného technologického postupu lze usoudit, že přesto že jde o oblast automobilového průmyslu a použití velmi přesných obráběcích strojů s progresivní technologií výroby, největší vliv na přesnost má v tomto případě lidský faktor. To vyplývá i ze vstupní analýzy technologického postupu. U většiny činností v uvedeném výrobním postupu je přítomný člověk. Proto se soustředí práce na lidský faktor a jeho vliv na výrobní proces.

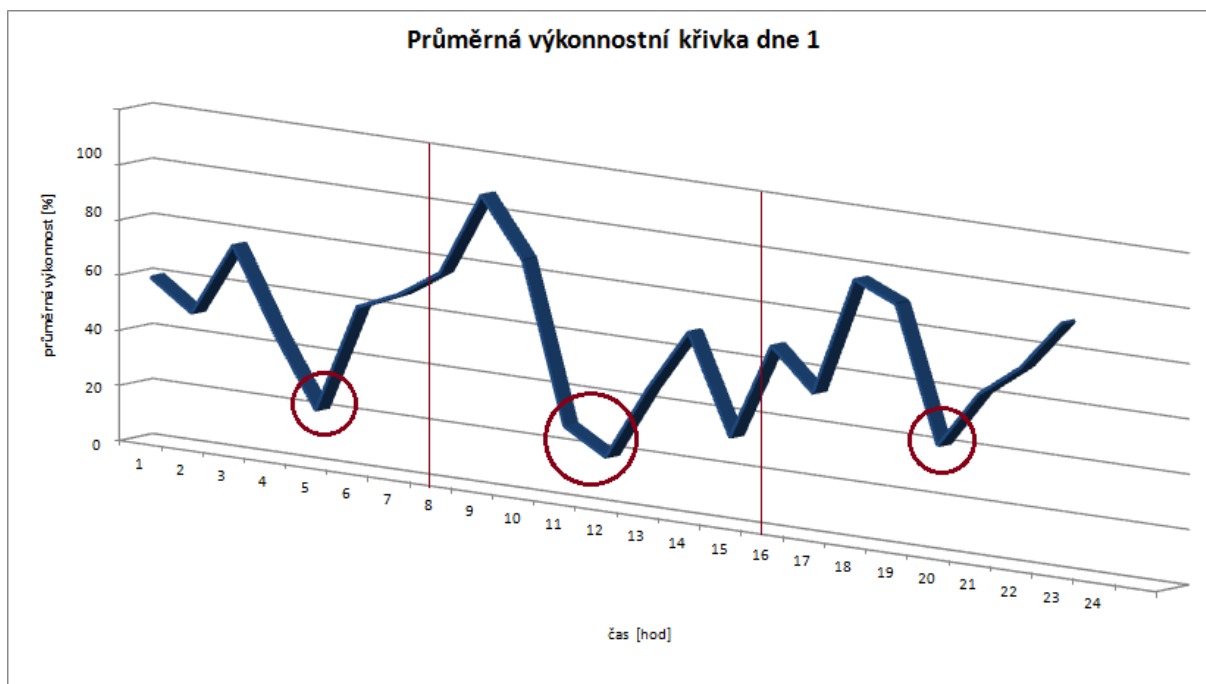
5.5.2.2 *Ovlivňující faktor – pracovní síla*

Při zjišťování míry signifikance vlivu směnnosti na výrobní přesnost obráběcího procesu je v tomto případě kladen důraz na výkonnost v průběhu směny. Podle předpokladu je výkonnost během dne nerovnoměrná. Její kolísání je ovlivněno působením denních biorytmů a nastupující únavou. Po počáteční fázi zapracování, která se opakuje po každém přerušení práce, se výkonnost zvyšuje, pak vlivem únavy klesá. Po odpočinku se opět zvýší, ale pak klesá do konce pracovní směny. Na průběhu pracovní výkonnostní křivky během směny se podílí i emocionální a volní vypětí, které zabraňuje poklesu produktivity zejména při začátečním nástupu únavy. (49) Otázkou tedy je, jak by při objektivním měření vypadala průměrná celodenní výkonnostní křivka velmi přesné výroby strojních součástí pro oblast automobilového průmyslu. (50)

Pro každý den je sestavena výkonnostní křivka. Jde vlastně o křivku poukazující na míru přesnosti výroby. Závisí tedy na schopnostech všech lidí a strojů zapojených do procesu výroby. Za těchto okolností jde hlavně o faktor lidský, který přesnost výroby může ovlivnit. Na základě výkonnostních

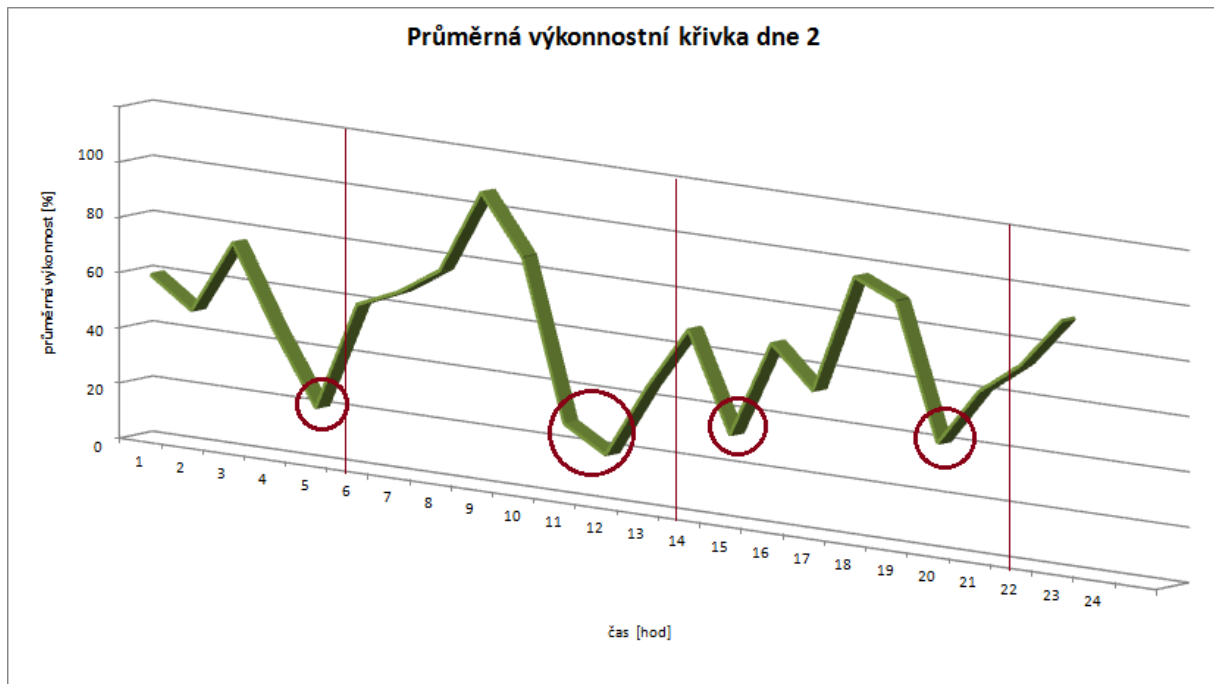
křivek jednotlivých dní jsou vypočteny průměrné hodnoty výkonností za každou hodinu a následně sestavena průměrná výkonnostní křivka dne za celé monitorované období.

Následující graf znázorňuje průměrnou výkonnostní křivku dne. Podle směn lze rozdělit den na tři části po 8 hodinách. V každé části je viditelný výrazný pokles výkonnosti. V první části mezi půlnocí a osmou hodinou, je největší výkonnostní pokles kolem 5 hodiny ranní. Druhá část má velký propad mezi 11 a 12 tou hodinou, kdy je plánovaná i ve většině případů přestávka na oběd. V části třetí je zřetelný pokles výkonnosti kolem 20 hodiny večerní.



Obrázek 44: Průměrná výkonnostní křivka dne 1 (50)

Následující graf znázorňuje opět průměrnou výkonnostní křivku dne, ale rozdělení na tři části po 8 hodinách je posunutě podle začátku směn ve většině podniků. I zde je v každé části viditelný výrazný pokles výkonnosti. V první části mezi 6 a 14 hodinou je velký propad mezi 11 a 12 tou hodinou. Druhá část má zřetelný pokles výkonnosti kolem 15 a 20 hodiny večerní. V části třetí je největší výkonnostní pokles kolem 5 hodiny ranní.



Obrázek 45: Průměrná výkonnostní křivka dne 2 (50)

Lze konstatovat, že u obou grafů je zřetelné, značné kolísání výkonnosti, jak odpolední, tak i u noční směny. Od šesté hodiny ranní výkonnost výrazně stoupá až do přibližně deváté a desáté hodiny, kdy dosahuje nejvyšší hodnoty celého dne.

Velice důležitý a neoddělitelný podíl na celém výrobním procesu mají lidé. Kvalitní práce v této oblasti je velice důležitá. Je však nutné si uvědomit, že kvalitně odvedená práce není přirozeností, ale je o důsledné a kvalitní přípravě, pravidelném školení a zodpovědnosti každého jedince. Výkonnost každého člověka je veličina proměnná, závislá na mnoha faktorech. Existují nejen značné individuální rozdíly mezi lidmi, ale výkon se mění i v průběhu života a dokonce i během pracovního týdne a každého pracovního dne.

Co se týká závěrů k výsledné křivce, je zapotřebí, aby management podniku byl s touto situací obeznámen. Lze poté zajistit např. pravidelné přestávky na odpočinek, po které se pozornost a výkonnost opět zvyšuje. Při správném nastavení délky směn a pracovního rytmu by mělo jít docílit vyrovnané celodenní výkonnostní křivky.

Práce na směny je běžná v mnoha profesích, které přímo ovlivňují zdraví a bezpečnost ostatních, přičemž kvalita života, zdraví, bezpečnosti a ochrany při práci na směny a dojíždění domů může ovlivnit pracovníky v jakémkoli oboru. Lidský faktor má významný podíl na úrovni přesnosti výroby, jde o rizikový faktor, na který je třeba nezapomínat při plánování a řízení strojní výroby, zejména pak v oblasti automobilového průmyslu, kde je přesnost a kvalita výroby na prvním místě. (50)

5.5.3 Stanovení cíle

Před samotným hodnocením je také důležité si říct, jaká data jsou k dispozici anebo jaká data lze získat, a podle toho také vybrat vhodné vyjadřovací prostředky. Veškeré monitorování a měření, které normy vyžadují, by mělo být přiměřené. Nový přístup v řešení systému kvality je o zavedení smysluplného a ne nadbytečného systému, přehlednost a tím třeba i zjednodušení dosavadních činností. Z toho vyplývá, že management podniku by se měl nejprve zamyslet nad tím, *Co chce hodnotit? Jaké výsledky chce prezentovat?*. Neméně důležitou otázkou je *Co lze hodnotit?*, nebo *Pro jaké nástroje je vůbec možné získat data?*. Jsou to důležité otázky pro zhodnocení potřebnosti a možností. Záleží na mnoha okolnostech a samozřejmě zejména na strategii podniku a jeho zákaznících.

Jde o to, aby management podniku nevěnoval obrovské úsilí a času na ohromení množstvím statistik, rozborů, hlášení o stavu kvality a podobných činností, které jsou někdy samotným plýtváním. Je třeba se soustředit nejen na závěry, které budou prospěšné i pro samotný podnik, nejen pro potěchu oka návštěv auditorů či nejvyššího vedení, ale i na to, co vložíme do každého jednoho člověka už od samého počátku spolupráce. Místo, aby končily tyto „papíry“ v zásuvkách a archivech, měly by odhalovat a odstraňovat skutečné příčiny nekvality, čímž poroste úroveň kvality výrobků.

5.5.4 Stanovení plánu pro sběr dat

Pokud je stanoven cíl a žádané závěry, následuje volba, jak bude probíhat kontrola a měření, stanovení velikosti výběru (100% nebo náhodný výběr), kontrolní intervaly, způsob záznamu, zajištění ochrany dat atd.

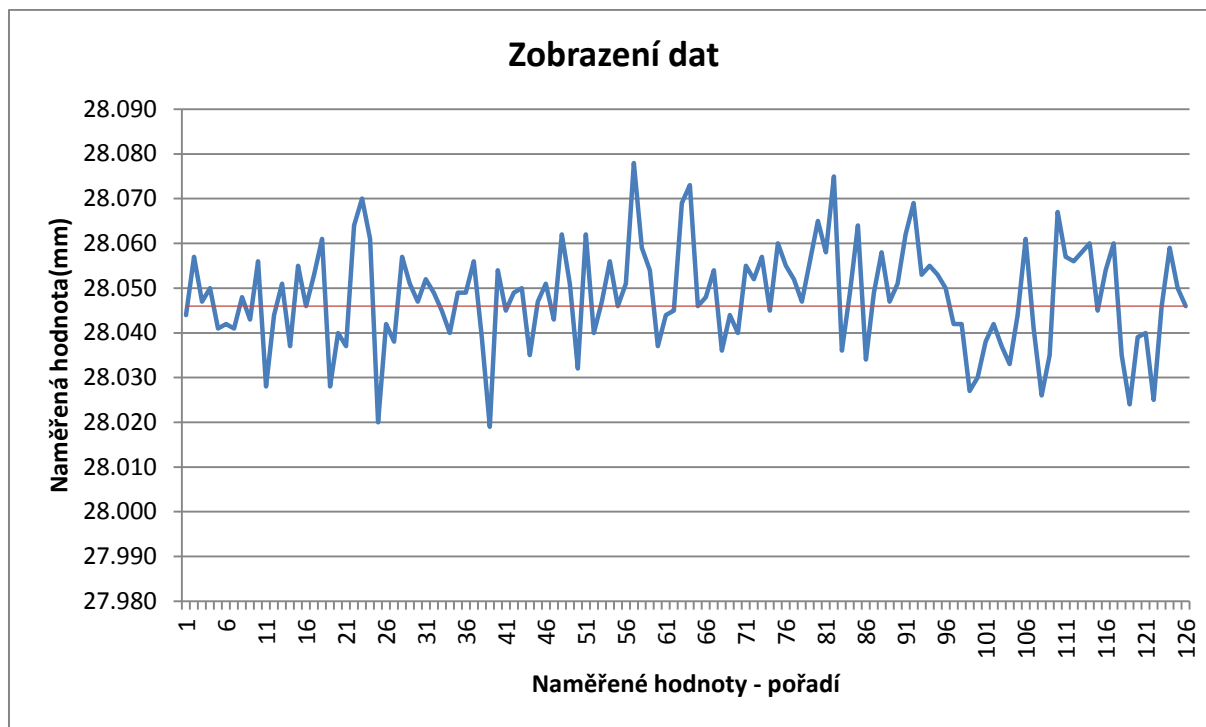
5.5.5 Ověření předpokladů nutných pro aplikaci vybraných metod a stanovení ukazatelů

Každá metoda a stanovení ukazatelů má své předpoklady pro správné použití. Proto stanovení ukazatelů a dalšímu zpracování dat předchází např. ověření normality, stability atd.

5.5.5.1 Příklad ověření normality

Normální rozdělení je podmínkou většiny dalších nástrojů pro zpracování dat.

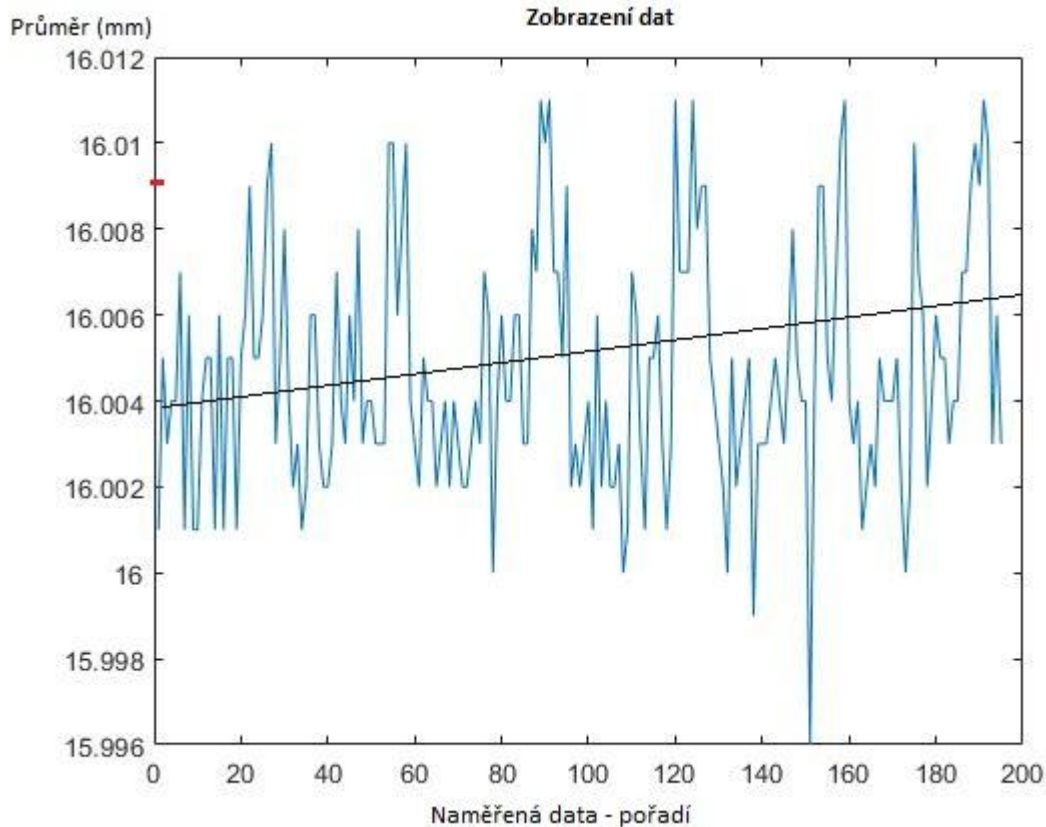
V grafu níže jsou zobrazena analyzovaná data, jejichž rozložení odpovídá normálnímu rozdělení. Je viditelné, že hodnoty se pohybují kolem střední hodnoty.



Obrázek 46: Zobrazení dat - MS Excel

Ukázka nekorektního zobrazení dat

Následující příklad uvádí analýzu jiného souboru dat, který se na první pohled jeví jako soubor s normálním rozdělením. Po detailnějším testování, je zde zřetelná funkční závislost. Jde o data zatížená systematickou chybou. Nepohybují se kolem střední hodnoty jako u normálního rozdělení, nýbrž neustále pomalu hodnota roste. Skoky jsou u tohoto příkladu způsobeny chybou, která se několikrát zopakuje a poté se hodnota opět vyrovná. Při identifikaci příčiny byla tato skutečnost interpretována jako variability způsobené při měření. Měřicí zařízení změní několik součástí a poté se re-kalibruje na referenčním kusu. Je však viditelné, že chyba má rostoucí tendenci.



Obrázek 47: Zobrazení naměřených dat - Matlab

Jak je vidět, už i jen na základě ověření normality a vyhodnocením tvaru dat, je možné vyvodit závěry o možných nežádoucích vlivech na daný proces.

5.5.6 Stanovení vybraných ukazatelů

Při potvrzení normality a dalších potřebných předpokladů lze pokračovat se stanovením vybraných ukazatelů výrobního procesu.

Histogram - znázorňuje rozložení dat, grafická metoda pro ověření normality

Regulační diagramy – umožňují dlouhodobě sledovat stabilitu daného procesu, příp. variabilitu parametru způsobenou náhodným kolísáním, nebo jiné příčiny. Použití je možné všude tam, kde je daný parametr postupně sledován v čase.

Způsobilost – určení ukazatele způsobilosti procesu, tj. schopnosti trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality

Relativní četnost neshod / průměrná zmetkovitost - typický manažerský parametr pro zhodnocení výroby

Diagram příčin a následků - pro stanovení příčin variability a vlivů na výrobní proces

5.5.7 Vyhodnocení

Z provedené analýzy vybraného procesu, lze konstatovat podle výsledků aplikovaných metod hodnocení a hodnot vybraných ukazatelů, zda je proces způsobilý či nezpůsobilý nebo lze říci, zda vyhodnocené ukazatele splňují předpoklady a nepřekračují dané mezní hodnoty.

5.5.8 Reakce na variability

Pokud analýza ukazuje na nezpůsobilý proces, ukazatele jsou mimo stanovené meze nebo průběh procesu není podle očekávání, je třeba na tyto skutečnosti reagovat formou nápravných opatření.

Základem je zjištění skutečné příčiny problému. K tomu je vhodné využít Diagram příčin a následků nebo třeba Paretovu analýzu při větším počtu příčin. Paretova analýza určí hlavní příčiny, které způsobují nejvíce problémů.

5.5.9 Návrhy na další zlepšování

Stanovení preventivních opatření a návrhů na vhodný způsob sledování procesu pro další období. K tomuto kroku lze zařadit i prediktivní údržbu, která vychází z normy TS 16949. Principem prediktivní údržby je předpovídat z údajů o procesu vývoj stavu výrobních zařízení a včas odhalit potenciální problém či poruchu. Pak je možné opravu dané části zařízení provést dříve, než dojde k jeho poškození či havárii.

6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout metodiku hodnocení výrobních procesů v podnicích se sériovou výrobou v prostředí automobilového průmyslu. Metodika je navržena na základě aplikace teoretických znalostí, získaných během studia dostupné literatury, a zejména na základě analýzy a zpracování dostupných souborů dat z výrobního procesu. Je shrnuta do devíti kroků, od seznámení s vybraným procesem, stanovení cílů a plánem sběru dat, přes stanovení vybraných ukazatelů a interpretaci výsledků.

Metodika hodnocení výrobního procesu	
1. Znalost procesu	Definice vstupů a výstupů, znaků kvality, mezní hodnoty, potřebné zdroje atd.
2. Identifikace ovlivňujících faktorů	Identifikace zdrojů variability a eliminace těch, u kterých je to možné
3. Stanovení cíle	Stanovit to, co chceme zjistit, jaké informace o procesu nás nebo zákazníky zajímají, definice mezních hodnot, časový plán hodnocení, finanční zdroje na sběr dat atd.
4. Stanovení plánu pro sběr dat	Jak bude probíhat kontrola a měření, stanovení velikosti výběru (100% nebo náhodný výběr), kontrolní intervaly, způsob záznamu, zajištění ochrany dat atd.
5. Ověření předpokladů nutných pro aplikaci vybraných metod a stanovení ukazatelů	Ověření normality, stability atd. potřebných pro další zpracování dat
6. Stanovení vybraných ukazatelů	Aplikace nástrojů řízení kvality - histogram, regulační diagramy, stanovení způsobilosti a průměrné zmetkovitosti
7. Vyhodnocení	Vyhodnocení zda dané ukazatele splňují předpoklady a nepřekračují dané mezní hodnoty
8. Reakce na variability	Nápravná opatření – Diagram příčin a následků, Paretova analýza
9. Návrhy na další zlepšování	Preventivní opatření a návrhy na vhodný způsob sledování procesu pro další období

V souvislosti se zpracováním dat byl navržen také „REGISTR OVLIVŇUJÍCÍCH FAKTORŮ“. Účinné je využití tohoto seznamu faktorů jako pomoc při hledání příčin vzniklého problému (při aplikaci Diagramu příčin a následků) nebo při hledání možných vlivů na výrobní proces. Z toho následně vyplývá i podnět pro preventivní opatření v jakékoli fázi výrobního procesu. Prevence lze odvodit již z výčtu možných rizik, tj. predikce toho, kde by mohla eventuelně chyba nastat. Není třeba diskutovat o všeobecně známých statistikách, ze kterých plyne, že prevence je méně nákladná než řešení nebo náprava vzniklého problému.

Je pochopitelné, že přístupy k hodnocení se liší zejména podle účelu, který se od hodnocení očekává. Jiné požadavky, předmět zájmu či vypovídací schopnost od hodnocení vyžadují vlastníci, jiné jsou vyžadovány pro účely kontrolních orgánů, jiné volí výkonný management pro účely úspěšného řízení firmy apod.

V současné době se stále více přechází od filosofie „kvality výrobku“ ke „kvalitě organizace“. Kvality organizace může být dosaženo jen vrcholovým managementem organizace s tím, že zahrnuje všechny zaměstnance, zákazníky, procesy a příslušné výsledky. Nedostačují k tomu jen dosavadní systémy řízení kvality, ale mělo by se přibližovat spíše k systému založenému na TQM (Total Quality Management), tj. zajištění kvality ve všech úrovních a procesech v organizaci.

Základním přínosem této práce je navržená a ověřená metodika využívající soudobých vědeckých přístupů k objektivnímu hodnocení ukazatelů výrobního procesu, která umožňuje efektivní implementaci hodnocení v průmyslové praxi, a „Registr ovlivňujících faktorů“, který by měl usnadňovat hledání příčin a potenciálních problémů. Informace získané ze závěru analýzy výrobního procesu může podnik dále prezentovat jako důkaz zvládnutého stavu procesu, čímž dokladuje zákazníkům kvalitu. Může se samozřejmě jednat o kvalitu výrobního procesu a jeho činností, tak i kvalitu jeho produktů.

Během analýzy výrobního procesu a zpracování dat byly identifikovány další možné směry vývoje této práce:

- **FMEA výrobního procesu** - další nástroj, který by mohl využít Registr ovlivňujících faktorů. FMEA je analytická metoda, jejímž cílem je identifikovat místa možného vzniku vad ve výrobě, odhaluje rizika již v rané fázi plánování, tj. úspora času a jeho investice do vývoje produktu a procesu. Díky této metodě by se také důkladně zdokumentoval výrobní postup daného výrobku.
- **Návrh experimentů** - vzhledem k omezeným možnostem zásahů do již probíhajícího výrobního procesu v praxi, připadá v úvahu návrh experimentů ve výzkumném sektoru. Navržené experimenty by sloužily pro detailnější analýzu sledovaného výrobního procesu např. pro analýzu systému měření, jež vychází zejména z požadavků zákazníků. Dále pak ověření strategie výroby, volby podmínek, nebo použití řezných nástrojů včetně začlenění nových progresivních trendů v dané problematice.
- **Vliv jednotlivých faktorů** - po identifikaci ovlivňujících faktorů by připadalo v úvahu vybrat nejčastěji se vyskytující faktor a podrobit jej detailnější analýze (s ohledem na přesnost výroby apod.). Jako například uvedená studie lidského faktoru, kde je sledován vliv denní doby na pracovní výkonnost.

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: Procesní přístup dle ISO 9001 a ISO/TS 16949.....	11
Obrázek 2: Normální rozdělení - Gaussova křivka (11)	17
Obrázek 3: Normální rozdělení - Gaussova křivka (3D) (13)	18
Obrázek 4: Normální rozdělení - stejné směrodatné odchytky a různé střední hodnoty	19
Obrázek 5: Normální rozdělení - různé směrodatné odchytky a stejné střední hodnoty	19
Obrázek 6: Normální rozdělení a některé jeho vlastnosti.....	20
Obrázek 7: Přesnost	24
Obrázek 8: Strannost	25
Obrázek 9: Stabilita	27
Obrázek 10: Linearita	27
Obrázek 11: Různé hodnoty stupně šikmosti (20)	29
Obrázek 12: Různé hodnoty stupně špičatosti (20)	29
Obrázek 13: Histogram s Gaussovou křivkou – normální rozdělení (23)	32
Obrázek 14: Tvary histogramů (26)	33
Obrázek 15: Výběr typu regulačního diagramu dle znaků kvality	35
Obrázek 16: Regulační diagram srovnáním (29)	36
Obrázek 17: Ukázka regulačního diagramu pro průměr	37
Obrázek 18: Jeden bod leží za zónou A	40
Obrázek 19: Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní	40
Obrázek 20: Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících	40
Obrázek 21: Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů.....	41
Obrázek 22: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni.....	41
Obrázek 23: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní	41
Obrázek 24: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)	42
Obrázek 25: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou, avšak žádný bod neleží v zóně C.....	42
Obrázek 26: Graf pro znázornění výpočtu C_p	44
Obrázek 27: Graf pro znázornění výpočtu C_{pk}	44
Obrázek 28: Gaussova křivka s vyznačením 6 sigma (44).....	47
Obrázek 29: Ukázka Ishikawa diagramu.....	48
Obrázek 30: Model měřené součásti	53
Obrázek 31: Upnutí do tvrdých čelistí	54
Obrázek 32: Ukázka ze souboru naměřených dat exportovaných z měřicího zařízení.....	57
Obrázek 33: Ověření platnosti nulové hypotézy v programu Matlab	60
Obrázek 34: Kolmogorovův test – histogram s proloženou křivkou normální hustoty pravděpodobnosti	61
Obrázek 35: Vykreslení grafu - porovnání empirické a teoretické distribuční funkce v programu Matlab	62
Obrázek 36: Srovnání empirické a teoretické distribuční funkce v Matlab	62
Obrázek 37: Histogram s vynesnými četnostmi jednotlivých odchylek od referenční hodnoty.....	63
Obrázek 38: Grafické znázornění strannosti měření k referenční hodnotě.....	63
Obrázek 39: Regulační diagram pro průměr	67
Obrázek 40: Regulační diagram pro rozpětí.....	67

Obrázek 41: Pravidlo 6 Sigma s uvedením ukazatele ppm (47)	71
Obrázek 42: Ukázka z Registru ovlivňujících faktorů.....	73
Obrázek 43: Znázornění průměrné přesnosti výroby kolem sedmé hodiny ranní a večerní	75
Obrázek 44: Průměrná výkonnostní křivka dne 1 (50)	79
Obrázek 45: Průměrná výkonnostní křivka dne 2 (50)	80
Obrázek 46: Zobrazení dat - MS Excel	82
Obrázek 47: Zobrazení naměřených dat - Matlab.....	83
Tabulka 1: Vzorce pro výpočet regulačních mezí (16).....	36
Tabulka 2: Vzorce pro výpočet regulačních mezí	39
Tabulka 3: Volba minimální přijatelné hodnoty dle vlastností procesu (41).....	43
Tabulka 4: Tabulka analýzy rozptylu.....	52
Tabulka 5: Rámcový technologický postup	54
Tabulka 6: Vzorek naměřených dat uspořádaných do podskupin	57
Tabulka 7: Výskyt konkrétních hodnot měření	61
Tabulka 8: Určení počtu intervalů	65
Tabulka 9: Výběrové charakteristiky pro regulační diagramy	66
Tabulka 10: Součinitele pro výpočet přímků regulačních diagramů (30).....	66
Tabulka 11: Výpočet regulačních mezí pro regulační diagramy	66
Tabulka 12: Index způsobilosti vztahený k výnosu procesu (43)	68
Tabulka 13: Vypočtené hodnoty - metoda ANOVA.....	74
Tabulka 14: Hypotézy - Fisherův test rovnosti rozptylů	74

7 Seznam použitých zdrojů

1. **Basl, J., Tůma, M. a Glasl, V.** *Modelování a optimalizace podnikových procesů*. Plzeň : ZČU, 2002. ISBN 80-7082-936.
2. **Kleinová, J.** *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2005. ISBN: 978-8070-433-645.
3. **MSA.** *Analýza systémů měření*. Praha : ČSJ, 2011. ISBN: 978-80-02-02323-5.
4. **Michálek, J.** *Základy statistického myšlení*. Praha : ČSJ, 2011. ISBN: 978-80-02-02327-2.
5. Wikipedie - ISMS. [Online] [Citace: 30. 6 2016.]
https://cs.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A9m_%C5%99%C3%ADzen%C3%AD_bezpe%C4%8Dnosti_informac%C3%AD.
6. **Kolektiv.** *Jak dosahovat podnikatelské úspěšnosti*. Praha : Národní středisko pro podporu jakosti, 2004. ISBN: 80-02-01684-X.
7. **Michálek, J.** Statistické řízení procesů se SW podporou. [Online] [Citace: 13. 6 2014.]
<http://library.utia.cas.cz/separaty/2009/SI/michalek-statistical%20process%20control%20with%20sw%20support.pdf>.
8. **Andersen, B., Fagerhaug, T.** *Analýza kořenových příčin - Zjednodušené nástroje a metody*. Praha : ČSJ, 2011. ISBN: 978-80-02-02356-2.
9. **Tabak, John.** *Probability and statistics: The science of uncertainty*. New York : Fact On File, Inc., 2004. ISBN: 0-8160-4956-4.
10. **Dunnington, G. Waldo.** *The Sesquicentennial of the Birth of Gauss*. místo neznámé : The Scientific Monthly, 1927.
11. **Gibilisco, S.** *Statistika bez předchozích znalostí*. Brno : Computer Press, a.s., 2009. ISBN: 978-80-251-2465-9.
12. Normální rozdělení. [Online] [Citace: 12. 7 2016.] <http://iastat.vse.cz/Normalni.htm>.
13. Normální rozdělení. [Online] [Citace: 22. 11 2014.]
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Norm%C3%A1ln%C3%AD_rozd%C4%9Blen%C3%AD.
14. **Hebák, P., Kahounová, J.** *Počet pravděpodobnosti v příkladech*. místo neznámé : SNTL, 1988.
15. **Kožíšek, J., Stieberová, B.** *Statistika v příkladech*. Praha : Verlag Dashöfer, 2012. ISBN: 978-80-86897-48-6.
16. **Neubauer J., Sedlačík M., Kříž O.** *Základy statistiky - Aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN: 978-80-247-4273-1.
17. Testy normality. [Online] [Citace: 28. 6 2016.]
http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/2006/05_-_12_-_Testy_normality.pdf.

18. **Melichar, M.** Prezentace - vyhodnocení měření a MSA. 2014.
19. **Meran, R., John, A., Roenpage, O., Staudter, Ch.** *Six Sigma + Lean Toolset (Mindset for Successful Implementation of Improvement Projects)*. Berlin : Springer, 2013. ISBN: 978-3-642-35881-4.
20. Šikmost a špičatost. *Wikisofia*. [Online] [Citace: 17. 6 2016.]
https://wikisofia.cz/wiki/%C5%A0ikmost_a_%C5%A1pi%C4%8Datost.
21. **ČSN ISO/TS 16949.** *Systémy managementu kvality - Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2008 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
22. **Zídková, H., Zvoneček, F.** *Jakost - styl života pro třetí tisíciletí*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2003. ISBN 80-7043-243-8.
23. Histogram. [Online] [Citace: 22. 11 2014.] <http://slideplayer.cz/slide/1899225/#>.
24. **Fabian F., Horálek V., Chmelík V., Chodounský J., Král J., Křepela J., Michálek J.** *Statistické metody řízení jakosti*. Praha : ČSJ, 2007. ISBN:978-80-02-01897-1.
25. ikvalita. [Online] [Citace: 29. 11 2014.] <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=24>.
26. Kvalita produkcie. [Online] [Citace: 29. 11 2014.] <http://www.kvalitaprodukcie.info/histogram/>.
27. **Milde, D.** Regulační diagramy. [Online] [Citace: 14. 11 2014.] <http://www.ach.upol.cz/user-files/intranet/rd-1285145679.pdf>.
28. **Kocourek, V.** SPC, regulační diagramy. [Online] [Citace: 14. 11 2014.]
http://web.vscht.cz/~kocourev/files/QA_SPC-print.pdf.
29. **Horálek, V.** *QS - 9000 SPC*. Praha : ČSJ, 1999. ISBN: 80-02-01293-3.
30. **ČSN ISO 8258.** *Shewhartovy regulační diagramy*. Praha : Český normalizační institut, 1998.
31. Regulační diagram srovnáním. [Online] [Citace: 23. 11 2014.]
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/ControlChart_cz.svg/520px-ControlChart_cz.svg.png.
32. **Montgomery, D.** *Introduction to Statistical Quality Control*. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2004. ISBN: 9780471656319.
33. **ASTM.** *Manual on Presentation of Data and control Chart Analysis*. Philadelphia : The Society, 1976.
34. Nelson - technical aids. [Online] [Citace: 23. 11 2014.]
<http://www.public.iastate.edu/~wrstephe/stat495/Nelson.pdf>.
35. Nelsonova pravidla pro regulační diagramy. [Online] [Citace: 23. 11 2014.]
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Poster_-_Control_Charts_for_Nelson_Rules.svg.

36. Hodnocení způsobilosti procesu. [Online] [Citace: 22. 7 2014.]
http://multiedu.tul.cz/~eva.slaichova/multiedu/Rizeni_jakosti/Hodnoceni_zpusobilosti_procesu.pdf.
37. **StatSoft**. Analýza způsobilosti procesu. *StatSoft*. [Online] [Citace: 22. 7 2014.]
http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft_Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf.
38. **Zvoneček, F.** Geometrické přesnosti výrobních strojů - nástroje řízení jakosti. *Strojírenská technologie*. 2002, Sv. VIII , č.4, str. 10-14.
39. **Rainer, Stark**. Achtung Virus - Cpk > 1,33. *QZ*. 2008, 53 s. 22-23.
40. **Michálek Jiří**. Vyhodnocování způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu. [Online] [Citace: 13. 7 2016.] <http://library.utia.cas.cz/separaty/2009/SI/michalek-evaluation%20of%20process%20capability%20and%20performance-kniha.pdf>.
41. Wikipedie. *Parts per million*. [Online] [Citace: 19. 1 2015.]
http://cs.wikipedia.org/wiki/Parts_per_million.
42. **ČSN ISO 22514, 1. část**. *Statistické metody v managementu procesu - Způsobilost a výkonnost*. Praha : UNMZ, 2012.
43. **Töpfer, A.** *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno : Computer Press, 2008. ISBN: 978-80251-1766-8.
44. Six Sigma DMAIC Process. [Online] [Citace: 8. 7 2016.] http://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Measure_Phase_Measurement_System.php.
45. **Milde, D.** Metoda ANOVA. [Online] [Citace: 27. 3 2015.] <http://ach.upol.cz/user-files/intranet/09-anova-2011-1320420399.pdf>.
46. Kvantily pro chí kvadrát. [Online] [Citace: 5. 5 2016.]
http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnise/ruzne/tabchi.htm.
47. Six Sigma Workshop. [Online] [Citace: 29. 6 2016.] <http://www.slideshare.net/nandigama/six-sigma-workshop-for-world-bank-chennai-india>.
48. Tabulky - koeficienty a kritické hodnoty. [Online] [Citace: 9. 5 2016.]
http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnise/tabulky.htm.
49. Ergonomie. [Online] [Citace: 28. 8 2015.]
www.ped.muni.cz/wsedu/zdroj_mat/stud_mat/terminy/ergonomie.doc.
50. *Výrobní přesnost obráběcího procesu s ohledem na nepřetržitý provoz*. **Bícová, K., Melichar, M.** Ústí n/L : FVTM UJEP, 2015. Rizika podnikových procesů. ISBN: 978-80-7414-967-2.
51. **Wagner, J.** *Měření výkonnosti*. Praha : Grada Publishing a.s., 2009. ISBN: 978-80-247-2924-4.

Přílohy

Příloha č.1 – Registr ovlivňujících faktorů - výroba

management
informační tok
informování zaměstnanců
informování zákazníků
informování dodavatelů
informační systém
motivace
motivační program
benefity a odměny
organizace práce
střídání pracovních míst
rozdělení kompetence a odpovědnosti
rotace směn
režim práce a odpočinku
práce na směny
monotonie
limity pracovní zátěže
kooperace ve skupinách
řízení/vedení
způsob kontroly odvedené práce
vyřizování potřeb zákazníků
servisní procesy
pružnost reakce na změny
počet námětů na zlepšování
kooperace
kompetence a pravomoci
systém zajišťování zdrojů/nákup
stroje a zařízení
pracovní pomůcky
nástroje
nářadí
náhradní díly
materiál
finanční zdroje
energie
...
školení
plán školení pracovníků
řízení rizik
připravenost na poruchy, prostoje
preventivní opatření
nápravná opatření

materiál

druh materiálu nástroje

VBD

monolit

druh materiálu součásti

tvrdost

tepelné zpracování

tepelná roztažnost

povrchové úpravy

otěruvzdornost

obrobitelnost

magnetické vlastnosti

korozivzdornost

ostatní zdroje

výtěžnost vstupů

ostatní suroviny a dodávky

informační zdroje

energie

metody

chlazení

vzduch

vnitřní

vnější

procesní kapalina

...

programování

programovací software

programátor

strategie výroby

úroveň automatizace

složitost součásti

požadovaná přesnost

ovládání

upnutí

způsob upnutí součásti

způsob upnutí nástroje

výrobní proces - obrábění

vystružování

vrtání

soustružení

řezání

frézování

broušení

...

pracovní síla

pracovník

zvládání stresu

zručnost

zkušenost

stav smyslových orgánů

schopnost spolupráce

rychlost reakce

psychická kondice

předpokládaná zmetkovitost

produktivita

pečlivost

motivace k výkonu

kvalifikace

fyzická konstituce

fyzická kondice

duševní schopnosti

denní doba

vedoucí

zvládání stresu

volba pracovníků

počet pracovníků

prostředí

bezpečnost

zpracování nebezpečných odpadů/látek
značení nebezpečí a rizik
osobní ochranné pomůcky
ochrana proti úrazům

čistota a hygiena

zajištění úklidových služeb
třídění odpadů
dostupnost úklidových prostředků

druh práce

smyslová
s přesnou svalovou koordinací
fyzická statická
fyzická dynamická
duševní

ergonomie pracoviště

příjem a zpracování informací - typy informačních zdrojů
pracovní poloha
plošné a prostorové požadavky
druhy pracovních pohybů

mikroklima

vlhkost
vibrace
teplota
prašnost
osvětlení

skladování / manipulace

dostatek skladovacích/odkládacích ploch
dopravní značení, komunikace

sociální zázemí

pracovní organizace pracoviště

vliv okolí

ekologické požadavky

vybavení
nářadí
druh upínače
nástroje
seřazení nástrojů
počet
jednotná značka - typ nástrojů
geometrie
ostatní zařízení
skladovací/manipulační zařízení
komunikační prostředky
dopravní zařízení
přesnost nástroje
opotřebení
dosahovaná přesnost
přesnost stroje
opotřebení
dosahovaná přesnost
stroj
ruční
poloautomatické
automatické
produktivita
stroj a zařízení
efektivnost
stroj a zařízení
způsobilost
stroj a zařízení

Příloha č.2 – Registr ovlivňujících faktorů – měření

management
informační tok
informační systém
informování dodavatelů
informování zákazníků
informování zaměstnanců
motivace
benefity a odměny
motivační program
organizace práce
kooperace ve skupinách
limity pracovní zátěže
monotonie
práce na směny
režim práce a odpočinku
rotace směn
rozdělení kompetence a odpovědnosti
střídání pracovních míst
řízení rizik
nápravná opatření
preventivní opatření
připravenost na poruchy, prostoje
řízení/vedení
kompetence a pravomoci
kooperace
počet námětů na zlepšování
pružnost reakce na změny
servisní procesy
vyřizování potřeb zákazníků
způsob kontroly odvedené práce
systém zajišťování zdrojů/nákup
doteky
energie
finanční zdroje
kalibrace/ověření
materiál
náhradní díly
pracovní pomůcky
stroje a zařízení
školení
plán školení pracovníků

materiál

druh materiálu součásti

difúzní vlastnosti s ohledem na laserový paprsek

korozivzdornost

magnetické vlastnosti

otěruvzdornost

povrchové úpravy

příbuznost s hliníkem (afinita)

tepelná roztažnost

transparentnost s ohledem na laserové skenování

druh snímací systému

druh materiálu dotyku

druh materiálu prodloužení

ostatní zdroje

energie

informační zdroje

ostatní suroviny a dodávky

výtěžnost vstupů

metody

programování

programátor

programovací software

strategie měření

požadovaná přesnost

složitost součásti

volba počtu měřených bodů

upnutí

způsob upnutí doteku

způsob upnutí součásti

zpracování výsledků

filtry

grafické metody

matematické metody

statistika a pravděpodobnost

pracovní síla

pracovník

denní doba

duševní schopnosti

fyzická kondice

fyzická konstituce

kvalifikace

motivace k výkonu

pečlivost

produktivita

předpokládaná zmetkovitost

psychická kondice

rychlost reakce

schopnost spolupráce

stav smyslových orgánů

zkušenost

zručnost

zvládnání stresu

vedoucí

počet pracovníků

volba pracovníků

zvládnání stresu

prostředí

bezpečnost

ochrana proti úrazům
osobní ochranné pomůcky
značení nebezpečí a rizik
zpracování nebezpečných odpadů/látek

čistota a hygiena

dostupnost úklidových prostředků
třídění odpadů
zajištění úklidových služeb

druh práce

duševní
fyzická dynamická
fyzická statická
s přesnou svalovou koordinací
smyslová

ergonomie pracoviště

druhy pracovních pohybů
plošné a prostorové požadavky
pracovní poloha
příjem a zpracování informací - typy informačních zdrojů

mikroklima

osvětlení
prašnost
teplota
vibrace
vlhkost

skladování / manipulace

dopravní značení, komunikace
dostatek skladovacích/odkládacích ploch

sociální zázemí

pracovní organizace pracoviště

vliv okolí

ekologické požadavky

vybavení
dle strategie měření
absolutní (odečtení měřené hodnoty přímo)
bezdotykové
dotykové
komparační (porovnávání odchylek od hodnoty kusu, resp. etalonu)
kontinuální
nepřímé (výpočtem zjišťované veličiny)
přímé zjišťování vybrané veličiny
sekvenční (bodové)
efektivnost
stroj a zařízení
justace(seřízení)
automatické
poloautomatické
ruční
kalibrace
dotyk
zařízení
měřicí zařízení
komparační
univerzální
ostatní zařízení
dopravní zařízení
komunikační prostředky
skladovací/manipulační zařízení
produktivita
stroj a zařízení
přesnost nástroje
dosahovaná přesnost
opotřebení
přesnost stroje
dosahovaná přesnost
opotřebení
volba doteku
bodový
čárový
plošný
volba dotyku
dle materiálu
dle tvaru
dle velikosti
způsobilost
stroj a zařízení