



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

STUDIE ZAVEDENÍ STATISTICKÉ METODY SPC PRO KONTROLU TECHNOLOGICKÝCH OPERACÍ

STUDY OF IMPLEMENTATION OF SPC STATISTICAL METHOD FOR CONTROL OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Ondruška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Marie Jurová, CSc.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jan Ondruška
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	prof. Ing. Marie Jurová, CSc.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Studie zavedení statistické metody SPC pro kontrolu technologických operací

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě výsledků analýzy současného stavu kontrolních operací, uvedených v technologickém postupu, implementovat do bodů kontroly použití metody SPC.

Cíle diplomové práce:

Popis podnikání ve vybrané podniku z hlediska:

- výrobního portfolia,
- výrobního procesu,
- zákazníků.

Analýza současného stavu statistické regulace výrobního procesu vybrané technologické operace.

Vytipování teoretických přístupů k zavedení konceptu SPC.

Tvorba koncepce pro realizaci statistické metody SPC.

Podmínky realizace a přínosy.

Seznam doporučené literatury:

JUROVÁ, M. a kol. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: GRADA Publishing, 2016. 256 s. ISBN 978-80-271-9330-1.

KOŠTURIÁK, J. O podnikání s nadhledem. Praha Karmelitánské nakladatelství, 2015. s. 159. ISBN 978-80-7195-862-8.

RASTOGI, M. Production and operation management. Bangalore: University science press, 2010. 168 s. ISBN 978-938-0386-812.

SVOZILOVÁ, A. Projektový management. Praha Grada Publishing 2008. 356 s. ISBN 978-80-2-7-3611-2.

UČEŇ, P. Zvyšování výkonnosti firmy na bázi potenciálu zlepšení. Praha GRADA Publishing, 2008. 190 s. ISBN 978-80-247-2472-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce uvádí postup při zavádění nové metodiky provádění statistické regulace procesu pro obrábění součástí ve zvoleném podniku. Nová metodika je sestavena na základě teoretických poznatků uvedených v první části práce. Výstupem je porovnání výsledků procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky zmíněné statistické metody a zhodnocení vlivu této nové metodiky na daný proces. Porovnání je provedeno pomocí testů hypotéz o shodnosti daných statistických veličin a zhodnocením ukazatelů výkonnosti a způsobilosti procesu popisujících jednotlivé soubory dat. Získané poznatky budou využity pro zavádění statistické regulace procesu i na další procesy v rámci výrobního portfolia daného podniku.

Klíčová slova

statistická regulace procesu, výkonnost procesu, způsobilost procesu, automobilový průmysl, komplexní řízení kvality

ABSTRACT

The master's thesis contains a procedure of implementation of statistical process control for a machining process in a chosen company. The method is based upon knowledge of this topic which are mentioned in the first part of the thesis. The output is a comparison of general process performance before and after implementation of the above-mentioned statistical method and evaluation of the influence of this new method at the process. The comparison is done using hypothesis testing of specific statistical variables and analysis of process performance and capability of both data sets. The acquired knowledge and experience will be used for implementation of statistical process control for other processes in the company's production portfolio.

Key words

statistical process control, process performance, process capability, automotive industry, total quality management

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRUŠKA, Jan. *Studie zavedení statistické metody SPC pro kontrolu technologických operací*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124243>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marie Jurová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Studie zavedení statistické metody SPC pro kontrolu technologických operací** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22. 6. 2020

.....
Datum

.....
Bc. Jan Ondruška

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval mé vedoucí prof. Ing. Marie Jurové, CSc. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při tvorbě této práce a společnosti ZLKL, s. r. o., především pak Ing. Karlu Zemanovi, za jejich čas a ochotu se mnou spolupracovat.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	6
ÚVOD	8
1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU	9
1.1 Produktové portfolio	9
1.1.1 Tváření, svařování a povrchové úpravy	9
1.1.2 Třískové obrábění pro elektrotechnický a vodohospodářský průmysl	10
1.1.3 Třískové obrábění a technické mytí pro automobilový průmysl . .	10
1.2 Zákaznické portfolio	11
2 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU	12
2.1 Příčiny ovlivňující proces	13
2.1.1 Náhodné příčiny	13
2.1.2 Zvláštní příčiny	14
2.2 Regulační diagramy	14
2.2.1 Typy regulačních diagramů	14
2.2.2 Regulační meze	16
2.2.3 Určení regulačních mezí	17
2.2.4 Regulační diagramy pro nenormální rozdělení znaku	24
2.2.5 Další typy diagramů	25
2.3 Aplikace SPC	26
2.3.1 Pracoviště	27
2.3.2 Definice sledovaných znaků	27
2.3.3 Definice systému měření	27
2.3.4 Sběr dat	28
2.3.5 Záznam dat	29
2.4 Hodnocení výsledků	30
2.4.1 Body mimo regulační meze	31
2.4.2 Nenáhodná uskupení a trendy	33
2.5 Způsobilost procesu	34

2.5.1	Ukazatele hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu pro normální rozdělení	36
2.5.2	Ukazatele hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu pro ne-normální rozdělení	39
3	APLIKACE SPC V PODNIKU	41
3.1	Popis součásti	41
3.2	Popis procesu výroby	43
3.3	Analýza současného stavu	44
3.3.1	Studie stability procesu	45
3.3.2	Studie způsobilosti a výkonnosti procesu	49
3.4	Nová metodika SPC v podniku	55
3.4.1	Pracoviště	55
3.4.2	Použitá měřidla	56
3.4.3	SPC software	57
3.4.4	Sběr dat v rámci nové metodiky SPC	61
3.4.5	Vyhodnocení dat	61
4	HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	66
4.1	Statistické hodnocení	67
4.1.1	Test shodnosti rozptylů	68
4.1.2	Hodnocení změny polohy procesu	70
4.2	Hodnocení ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu	72
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	85
	SEZNAM PŘÍLOH	88

ÚVOD

V roce 2019 bylo dle Mezinárodní organizace výrobců motorových vozidel (OICA) celosvětově vyrobeno více než 67 milionů osobních automobilů. Oproti roku 2009 se jedná o více než 40% nárůst. Takto rychlý růst tohoto odvětví s sebou samozřejmě nese velké množství nových výzev a nároků nejen na kvalitu automobilů a jejich komponent, ale i na snižování nákladů na jejich produkci. Stále se zpřísnující požadavky automobilového průmyslu tak vedli k vytvoření standardu, který klade důraz na předcházení a snižování variability a plýtvání v rámci celého dodavatelského řetězce - IATF 16949. Jednou z metod, kterou tento standard zmiňuje jako prostředek ke snížení plýtvání, je tzv. statistická regulace procesu - SPC. [1, 2].

Tato práce se zaměřuje na vytvoření pilotní studie pro zavedení nové metodiky statistické regulace procesu třískového obrábění dané součásti ve zvoleném podniku. Získané poznatky budou využity pro rozšíření aplikace SPC i na další vhodné procesy probíhající v rámci produkce daného podniku.

V teoretické části je popsán charakter podniku z hlediska produktového portfolia a postavení podniku jako dodavatele pro automobilový průmysl. Dále je zde rozebrána metodika SPC, význam provádění statistické regulace a popsáno hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu na základě vypočítaných ukazatelů. Teoretické znalosti poté slouží jako poklady pro tvorbu nové metodiky provádění SPC ve specifickém prostředí podniku.

Praktická část obsahuje analýzu stávajícího stavu provádění statistické regulace procesu a popisuje jeho nedostatky na konkrétním případu procesu probíhajícího v daném podniku. Následně je vytvořena nová metodika provádění statistické regulace procesu a její implementace v procesu samotném. V rámci nové metodiky je využíváno výpočetní techniky s podporou softwaru umožňujícího analýzu získaných dat v reálném čase.

V rámci jednotlivých období, tj. před zavedením nové metodiky provádění SPC a po jejím zavedení, je výstup procesu sledován a získaná data jsou analyzována. Na závěr je provedeno hodnocení výsledků získaných při analýze obou období porovnáním statistických veličin popisujících jednotlivé stavy. Na základě tohoto srovnání je rozhodnuto o přínosu nové metodiky provádění SPC na zlepšení výstupu ze sledovaného procesu.

Je důležité zmínit, že i přestože je statistická regulace procesu silným nástrojem pomáhajícím minimalizovat plýtvání, není tato metoda samospasná. Stejně důležité jako správná metodika je, mimo jiné, také podpora vrcholového managementu v zavádění účinných opatření vedoucích k neustálému zlepšování procesu. Bez této podpory je SPC jen další z požadavků vycházející z mezinárodních standardů a specifických požadavků zákazníka, který nedosahuje svého potenciálu.

1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU

Podnik ZLKL, s. r. o. je rodinný podnik se sídlem v Lošticích v Olomouckém kraji. Podnik provozuje svoji činnost v oblasti strojírenské výroby. Konkrétně se jedná o činnosti z oblasti třískového obrábění, tváření, svařování, povrchových úprav a souvisejícími službami, jako je zabezpečení technické čistoty dodávaných produktů a kontrola kvality na moderních souřadnicových měřících zařízeních. V rámci vlastní výroby se dále věnuje i vývoji a konstrukci.

Jednatelem podniku je Ing. Ladislav Brázdil a jeho dva synové - Ing. Jiří Brázdil a Ing. Ladislav Brázdil ml. Podnik od svého založení v roce 1993 získal řadu významných ocenění, jako je např. Top odpovědná firma (2014), Inovátor roku (2016) a další. [3].

V rámci podniku je využíváno vysoké integrace informačních technologií, ať už se jedná o ERP systém HELIOS Orange či software pro počítačovou podporu řízení kvality Palstat a počítačovou podporu TPM. Následně je využíváno personalizace konkrétních modulů pro jednotlivé produkty na základě potřeb společnosti.

1.1 Produktové portfolio

Převážná většina produktů vyráběných v ZLKL, s. r. o. nachází uplatnění v elektrotechnickém, vodohospodářském a automobilovém průmyslu. Mezi největší zákazníky společnosti patří nadnárodní koncerny jako jsou Emerson, Siemens, Daimler AG a další. Přibližně 60 % výroby poté směřuje na export, kdy mezi hlavní odbytíště patří Francie a Německo [3].

Z hlediska výrobního portfolia lze podnik rozdělit na tři hlavní divize:

1. Tváření, svařování a povrchové úpravy
2. Třískové obrábění pro elektrotechnický a vodohospodářský průmysl
3. Třískové obrábění a technické mytí pro automobilový průmysl

Každá z těchto divizí se nachází v samostatné lokalitě a z hlediska řízení jsou na sobě nezávislé.

1.1.1 Tváření, svařování a povrchové úpravy

Středisko se nachází v Lošticích na ulici Olomoucká. Jeho zaměřením je především tváření a svařování produktů v malých sériích, případně kusové výrobě. Složení produktů je od malých plechových dílců od 0,5 kg, až po velké svařence o hmotnosti desítek kilogramu. Na středisku se také nachází moderní lakovací linka splňující nejvyšší požadavky jak na technologické provedení, tak i ekologičnost provozu (obr. 1.1).



(a) Závěsný dopravník na vstupu do odmašťovací komory.

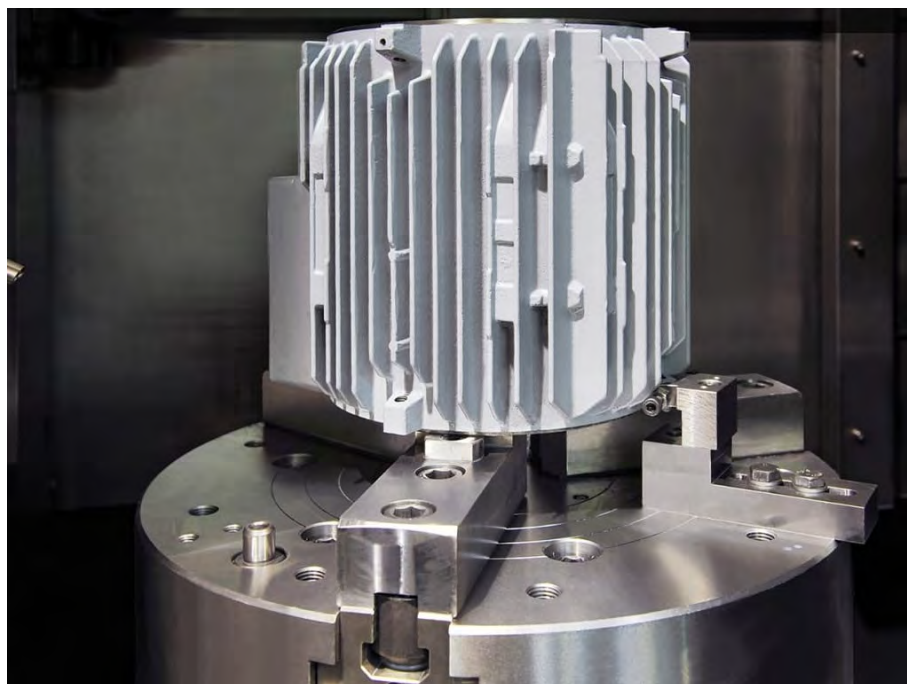


(b) Pohled do pece lakovací linky.

Obr. 1.1 Lakovací linka na středisku divize lisování, svařování a povrchových úprav [4].

1.1.2 Třískové obrábění pro elektrotechnický a vodohospodářský průmysl

Středisko zaštiřující divizi obrábění pro elektrotechnický a vodohospodářský průmysl se nachází v Lošticích na ulici Palackého. Tato divize se zaměřuje především na obrábění hřídelí a koster (obr. 1.2) pro elektromotory a potrubních ventilů pro vodohospodářský průmysl. Nejvýznamnějším odběratelem produktů této divize je společnost Siemens.



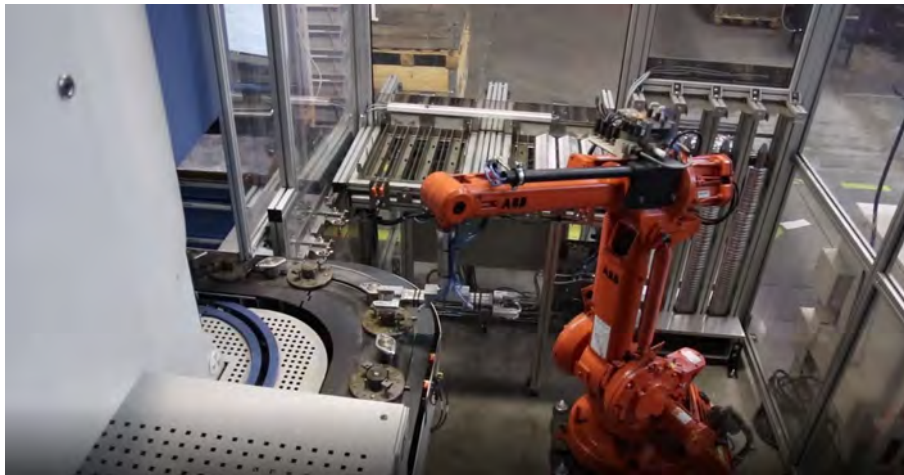
Obr. 1.2 Kostra elektromotoru [5].

1.1.3 Třískové obrábění a technické mytí pro automobilový průmysl

Divize se zaměřením na výrobu pro automobilový průmysl je umístěna v Lošticích na ulici Moravičanská. Vzhledem k významným investicím do zmíněné divize se z hlediska

používaných technologií jedná o jednu z nejmoderněji vybavených výrobních prostor ve střední Evropě [5].

V rámci strojového parku převažují vertikální CNC soustružnická centra Emag. Uplatňuje se zde vysoká míra automatizace (obr. 1.3). Převážnou částí vyráběných produktů jsou součásti do převodových ústrojí a motorů osobních (a to jak spalovacích, tak i hybridních, resp. elektrických) vozidel a nákladních automobilů světoznámých značek.



Obr. 1.3 Automatizované pracoviště pro výrobu komponenty do spalovacího motoru.

1.2 Zákaznické portfolio

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, mezi největší odběratele podniku se řadí Siemens, Emerson a Daimler AG.

Společnost se pohybuje výhradně na B2B trhu. Má vybudováno široké spektrum stálých zákazníků. V oblasti automobilového průmyslu si získala pověst spolehlivého subdodavatele - Tier 2¹ - a v současnosti proniká do pozice přímého dodavatel - Tier 1².

¹Subdodavatel - jejich produkty jsou použity v automobilovém průmyslu, avšak nedodávají přímo pro OEM [6].

²Přímý dodavatel produktů, či sestav produktů pro OEM [6].

2 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU

SPC (statistical process control, resp. statistická regulace procesu) je účinný nástroj využívaný k dosažení stability a zlepšení způsobilosti procesu pomocí snížení jeho variability. Hlavním důvodem pro zavádění SPC je, mimo snižování nákladů za případné neshodné produkty, požadavek na vyšší standard kvality a jeho trvalé udržování. Především výroba neshodných produktů je poté významným zdrojem plýtvání. Náklady vzniklé tímto druhem plýtvání v sobě zahrnují čas potřebný pro provedení případné opravy, mzdu zaměstnanců a další finanční prostředky vzniklé např. při poškození stroje defektním produktem, či náklady spojené s reklamacemi. Základní myšlenku SPC pro zlepšení kvality, resp. výkonnosti, lze aplikovat v mnoha - nejen průmyslových - oblastech. V rámci této práce se jedná o regulaci procesu strojírenské výroby [7, 8, 9].

Metoda statistické regulace procesu je součástí tzv. komplexního řízení kvality (TQM), což je systém řízení procesů orientovaný především na trvalou spokojenost zákazníka [10].

Největší přínos této statistické metody je v případě výroby velkého množství produktů stejného typu, tj. ve velkosériové výrobě. Hlavním cílem SPC je upozornit operátora, resp. zodpovědného pracovníka, v případě, že dojde v procesu ke změně, při které se proces odchýlí od cílové hodnoty nebo se zvýší variabilita procesu. Lze tedy říci, že SPC upozorňuje na zvyšující se riziko výroby neshodných produktů. V případě, že dojde k překročení regulačních mezí (viz kapitola 2.2.2), dochází k signálu pro operátora. Na základě tohoto signálu poté operátor provádí korektivní akci [8].

Všeobecně je proces možné definovat jako uspořádaný sled úkonů či akcí, které z vhodných vstupů vytváří požadované výstupy, přičemž spotřebovávají zdroje. V rámci SPC je proces chápán jako zpětnovazební systém s nastavenými vstupy a výstupy (dodavatelé, materiál, prostředí, zákazníci atd.) a je regulován ve vztahu k parametrům specifikovaným ve fázi vývoje produktu. Mimo tyto parametry je velice důležité identifikovat a pochopit (na základě vysoké znalosti daného procesu) charakteristiky procesu, které pozitivně ovlivňují jeho výkonnost. U těchto parametrů se poté sleduje, jak se proces blíží, či vzdaluje od cílových hodnot [8, 11, 12].

Nezbytnou součástí statistické regulace jsou nápravná opatření, zavedená na základě zkušeností získaných při pozorování procesu. Tato opatření mohou být zaváděna v procesu - působí preventivně, stabilizují proces, jsou hospodárná - nebo na výstupu z procesu - provádí se pouze detekce vad produktu, tudíž jsou tato opatření méně hospodárná [13].

Výše uvedená tvrzení jsou poté blíže popsána v následujících kapitolách. Veškerá data a grafická zhodnocení dat v této kapitole jsou pouze ilustrativní a nesouvisí s žádným skutečným výrobním procesem.

2.1 Příčiny ovlivňující proces

Během výroby libovolné součásti se vždy vyskytují rozdíly mezi jednotlivými vyrobenými kusy. Tyto rozdíly mohou být velice významné, nebo velmi malé, prakticky neměřitelné a jsou způsobeny různými vlivy, ať už se jedná o vlivy prostředí (teplota, napětí v rozvodné síti apod.) nebo o vlivy samotného výrobního zařízení (opotřebení, vůle...). Zároveň se tyto vlivy mohou projevovat krátkodobě, tj. rozdíly mezi dvěma po sobě jdoucími kusy nebo v delším časovém období, např. změna rozměrů v závislosti na opotřebení nástroje.

Přestože se mezi sebou jednotlivé hodnoty sledované charakteristiky liší, v celkovém důsledku mají tendenci vytvářet obrazec, který popisuje rozložení dané charakteristiky (obr. 2.1). Takovéto rozdělení je pak možné charakterizovat několika parametry [9, 14]:

- polohou (střední hodnota),
- rozptylem (rozdíl mezi nejmenší a největší hodnotou),
- a tvarem (symetrické nebo šikmé).



Obr. 2.1 Tvorba rozložení z jednotlivých hodnot znaku sledované charakteristiky [9].

Cílem statistického zhodnocení je poté udržet hodnoty sledované charakteristiky co nejbližší cílové hodnotě s co možná nejmenší variabilitou. První krok k dosažení tohoto stavu je rozlišení a identifikace tzv. náhodných a zvláštních (vymežitelných) příčin [15].

2.1.1 Náhodné příčiny

Náhodné příčiny v sobě zahrnují mnoho jevů působících na proces. Avšak v případě, že na proces působí pouze náhodné příčiny, dochází k časově opakujícímu se a stabilnímu rozdělení pravděpodobnosti hodnot znaků sledované charakteristiky. Takto lze získat proces, který je tzv. statisticky zvládnutý a jehož výstup je předvídatelný [14, 15].

2.1.2 Zvláštní příčiny

Jestliže na proces působí zvláštní (také označované jako vymezitelné) příčiny, pak je proces a výstupy z něj nepředvídatelný a časově nestabilní. V takovémto procesu se poté vyskytují vlivy, které ovlivňují pouze některé, předem časově nepředpověditelné, součásti. Z toho důvodu dochází k výrobě součástí, u kterých je hodnota sledované charakteristiky mimo regulační meze, případně mimo specifikaci, nebo produktů s hodnotami znaků nenáhodně seskupenými uvnitř regulačních mezí [15].

Výše zmíněné však neznamená, že zvláštní příčiny jsou vždy pouze k neprospěchu procesu a jeho výstupů. Zvláštní příčiny mohou proces vést i ke stabilnějšímu, resp. předvídatelnějšímu stavu. Takto působící zvláštní jevy je poté vhodné rozpoznat a zavést je, v rámci nápravného opatření, jako trvalé [14, 15].

2.2 Regulační diagramy

Metoda použití regulačních diagramů pro určení zvláštních příčin je univerzální metodou, hodnotící data závislá na čase, např. souvislá výroba daného produktu. Tuto metodu vyvinul a poprvé aplikoval Walter Shewhart (někdy je tato metoda nazývána Shewhartovy diagramy) ve společnosti Bell Laboratories. Regulační diagramy umožňují rozlišit vlivy na proces způsobené náhodnými příčinami od vlivů způsobených příčinami zvláštními [16].

Jinými slovy lze říci, že regulační diagramy slouží k posouzení, zda je daný proces stabilní a předvídatelný a případně umožňují jednoznačně a přehledně zachytit změny, ke kterým v procesu došlo [17].

2.2.1 Typy regulačních diagramů

Pro analýzu a regulaci procesu lze použít dva hlavní typy regulačních diagramů. Typ zvoleného regulačního diagramu záleží na procesu samotném a vychází z jeho charakteru [16].

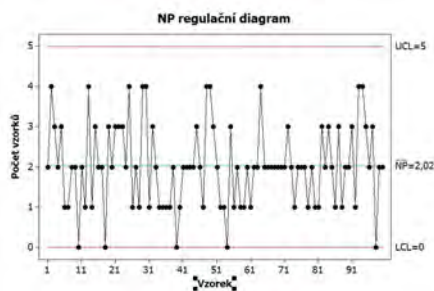
První typ diagramů je používán pro diskrétní data, resp. kvalitativní (atributivní) znaky. Taková data je možné získat např. při kontrole prvku produktu pomocí kalibru. Výstupem je pak pouze informace o tom, zda je kontrolovaný prvek shodný, či neshodný [16, 17].

Druhý typ regulačních diagramů se využívá pro spojitá data, resp. kvantitativní znaky. Tyto data jsou získána pomocí měření sledované charakteristiky, např. hodnota průměru hřídele [16, 17].

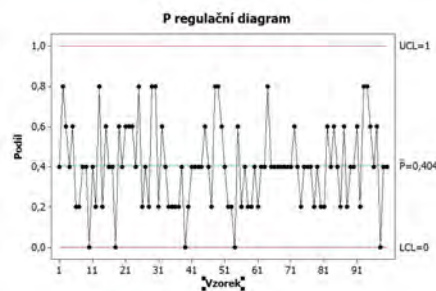
Výše zmíněné typy dále obsahují další typy diagramů, použité dle konkrétního charakteru získaných dat. Mezi nejčastěji používané regulační diagramy patří [15, 16, 17]:

- kvalitativní znaky

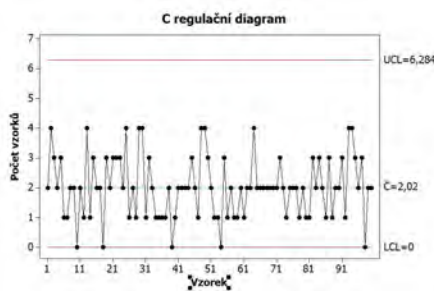
- np diagram - počet neshodných produktů ve výběrech o stejném rozsahu (obr. 2.2a),
 - p diagram - podíl neshodných produktů ve výběrech o různém rozsahu (obr. 2.2b),
 - c diagram - počet neshod na jednotkách stejné velikosti (obr. 2.2c),
 - u diagram - počet neshod na jednotkách různé velikosti (obr. 2.2d).
- kvantitativní znaky
 - $I-MR$ diagram - individuální hodnoty s klouzavým rozpětím,
 - $\bar{X}-R$ diagram - aritmetický průměr s rozpětím,
 - $\bar{X}-S$ diagram - aritmetický průměr se směrodatnou odchylkou.



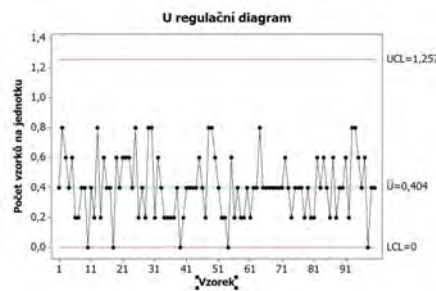
(a) np diagram.



(b) p diagram.



(c) c diagram.



(d) u diagram.

Obr. 2.2 Nejčastěji používané regulační diagramy pro kvalitativní znaky.

Každý regulační diagram musí obsahovat jisté náležitosti tak, aby byl přínosný při hodnocení procesu a byl jasně čitelný. Tyto náležitosti jsou [18]:

- odpovídající stupnice - stupnice musí být taková, aby bylo možné jednoznačně zobrazit průběh procesu a umožňovala potřebnou analýzu procesu,
- regulační meze - UCL a LCL signalizují výskyt zvláštních příčin a jsou vypočteny na základě rozdělení výběrové charakteristiky, viz kapitola 2.2.3,

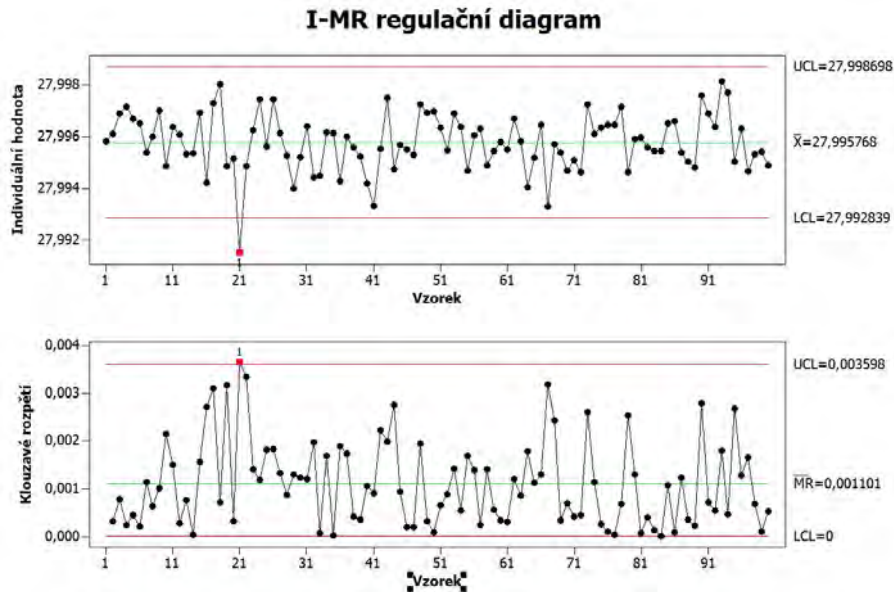
- centrální přímka - obdobně jako v případě regulačních mezí je centrální přímka nezbytná k určení zvláštních příčin vyskytujících se v procesu,
- posloupnost vzorků/podskupin - zobrazení posloupnosti tak, jak byla data sesbírána za účelem identifikace doby výskytu případné zvláštní příčiny,
- identifikace statisticky nezvládnutých bodů - body, které nejsou ve statisticky zvládnutém stavu musí být zobrazeny odlišně od ostatních a následně dostatečně analyzovány,
- prostředky pro záznam událostí - možnosti jak zaznamenat události, které by mohly být potenciálním zdrojem nestability, či významných výkyvů procesu.

2.2.2 Regulační meze

Z ekonomického pohledu na regulaci výrobního procesu může být zavádění opatření na eliminaci vstupujících vlivů značně nákladné. Proto je nutné zavádět pouze taková opatření, která odstraní zvláštní příčinu, jenž má negativní dopad na výstupy procesu. K odhalení takovéto příčiny je použito regulačních diagramů, kdy je porovnána daná výběrová statistika se správně zjištěnými regulačními mezemi [9, 19].

Aby bylo možné posuzovat proces pomocí regulačních diagramů je třeba, aby byl tento proces ve statisticky zvládnutém stavu. Poté je porovnána hodnota výběrového průměru s mezemi, které jsou trojnásobkem směrodatné odchylky tohoto výběru - regulačními mezemi. V případě, že se zmíněný výběrový průměr nachází vně regulačních mezí, je pravděpodobné, že je proces ovlivněn zvláštní příčinou, viz obr. 2.3 [19, 20].

I v případě, že proces již nevykazuje vliv zvláštních příčin, je stále využíváno regulačních diagramů za účelem monitorování procesu a v takovém stavu je možné provést vyhodnocení způsobilosti procesu [9].



Obr. 2.3 Regulační diagram zobrazující jednotlivé hodnoty dané charakteristiky (I-MR), kdy jedna z hodnot leží mimo regulační mez, tj. proces je zřejmě ovlivněn zvláštní příčinou.

2.2.3 Určení regulačních mezí

Následující kapitola pojednává o stanovení přirozených regulačních mezí - jsou odhadovány z procesu. Mimo přirozené regulační meze existují ještě tzv. technické regulační meze. Tyto meze vychází ze základních hodnot, které jsou dány technickou dokumentací [9].

Jak již bylo zmíněno v kapitolách výše, regulační meze omezují prostor, ve kterém se musí pohybovat hodnoty zkoumaného znaku (resp. znaků), pokud je proces statisticky zvládnutý - stabilní. V případě, že je proces stabilní, existuje vysoká pravděpodobnost, že hodnoty sledované charakteristiky budou spadat právě mezi vypočtené regulační meze. Takto lze predikovat výsledky dané charakteristiky, ověřit aktuální stabilitu procesu a stanovit, zda je proces vzhledem k požadavkům zákazníka způsobilý [12].

Níže jsou uvedené matematické vzorce pro výpočet centrální přímky (CL), horní regulační meze (UCL) a dolní regulační meze (LCL) pro jednotlivé typy regulačních diagramů.

Diagram pro aritmetický průměr a rozpětí

- centrální přímka:

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (2.1)$$

kde: $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 \bar{X} - aritmetický průměr
 k - počet podskupin

$$CL_R = \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.2)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

• regulační meze:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} + A_2 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.3)$$

kde: $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 \bar{R} - průměrné rozpětí
 \bar{X} - aritmetický průměr
 A_2 - součinitel \bar{X} , R pro výpočet regulačních mezí pro průměry
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R} = D_4 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.4)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 D_4 - součinitel \bar{X} , R pro výpočet horní regulační meze pro výběrové rozpětí
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} - A_2 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.5)$$

kde: $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 \bar{R} - průměrné rozpětí
 \bar{X} - aritmetický průměr
 A_2 - součinitel \bar{X} , R pro výpočet regulačních mezí pro průměry
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R} = D_3 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.6)$$

- kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 D_3 - součinitel \bar{X} , R pro výpočet dolní regulační meze pro výběrové rozpětí
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

Diagram pro aritmetický průměr a směrodatnou odchylku

- centrální přímka:

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (2.7)$$

- kde: $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 \bar{X} - aritmetický průměr
 k - počet podskupin

$$CL_S = \bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k} \quad (2.8)$$

- kde: \bar{S} - průměrná směrodatná odchylka z podskupin
 k - počet podskupin
 S - směrodatná odchylka podskupiny

- regulační meze:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \cdot \bar{S} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} + A_3 \cdot \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k} \quad (2.9)$$

- kde: \bar{S} - průměrná směrodatná odchylka z podskupin
 \bar{X} - aritmetický průměr
 A_3 - součinitel \bar{X} , S pro výpočet regulačních mezí pro průměry
 k - počet podskupin
 n - počet vzorků v podskupině
 x - individuální hodnota

$$UCL_S = B_4 \cdot \bar{S} = B_4 \cdot \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k} \quad (2.10)$$

- kde: \bar{S} - průměrná směrodatná odchylka z podskupin
 B_4 - součinitel \bar{X} , S pro výpočet horní regulační meze pro výběrovou směrodatnou odchylku
 k - počet podskupin
 S - směrodatná odchylka podskupiny

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \cdot \bar{S} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} - A_3 \cdot \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k} \quad (2.11)$$

- kde: $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 \bar{S} - průměrná směrodatná odchylka z podskupin
 \bar{X} - aritmetický průměr
 A_3 - součinitel \bar{X} , S pro výpočet regulačních mezí pro průměry
 k - počet podskupin
 S - směrodatná odchylka podskupiny

$$LCL_S = B_3 \cdot \bar{S} = B_3 \cdot \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k} \quad (2.12)$$

- kde: \bar{S} - průměrná směrodatná odchylka z podskupin
 B_3 - součinitel \bar{X} , S pro výpočet dolní regulační meze pro výběrovou směrodatnou odchylku
 k - počet podskupin
 S - směrodatná odchylka podskupiny

Diagram pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí

- centrální přímkka:

$$CL_X = \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k}{k} \quad (2.13)$$

- kde: \bar{X} - aritmetický průměr
 k - počet podskupin
 x - individuální hodnota

$$CL_R = \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.14)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

• regulační meze:

$$UCL_X = \bar{X} + E_2 \cdot \bar{R} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k}{k} + E_2 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.15)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 \bar{X} - aritmetický průměr
 E_2 - součinitel I, MR pro výpočet regulačních mezí pro individuální hodnoty
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R} = D_4 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.16)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 D_4 - součinitel \bar{X} , R pro výpočet horní regulační meze pro výběrové rozpětí
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

$$LCL_X = \bar{X} - E_2 \cdot \bar{R} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k}{k} - A_2 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.17)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 \bar{X} - aritmetický průměr
 E_2 - součinitel I, MR pro výpočet regulačních mezí pro individuální hodnoty
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R} = D_3 \cdot \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (2.18)$$

kde: \bar{R} - průměrné rozpětí
 D_3 - součinitel \bar{X} , R pro výpočet dolní regulační meze pro výběrové rozpětí
 k - počet podskupin
 R - rozpětí podskupiny

Diagram pro počet neshodných produktů ve výběrech o stejném rozsahu

- centrální přímka:

$$CL_{np} = \bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k} \quad (2.19)$$

- kde: \bar{np} - průměrný počet neshodných jednotek v podskupinách
 k - počet podskupin
 np - počet neshodných jednotek v podskupinách
 p - podíl neshodných jednotek v podskupině

- regulační meze:

$$UCL_{np} = \bar{np} + 3 \cdot \sqrt{\bar{np} \cdot \left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} \quad (2.20)$$

- kde: \bar{np} - průměrný počet neshodných jednotek v podskupinách
 n - počet vzorků v podskupině

$$LCL_{np} = \bar{np} - 3 \cdot \sqrt{\bar{np} \cdot \left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} \quad (2.21)$$

- kde: \bar{np} - průměrný počet neshodných jednotek v podskupinách
 n - počet vzorků v podskupině

Diagram pro podíl neshodných produktů ve výběrech o různém rozsahu

- centrální přímka:

$$CL_p = \bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (2.22)$$

- kde: \bar{p} - průměrný podíl neshodných jednotek v podskupinách
 k - počet podskupin
 n - počet vzorků v podskupině
 np - počet neshodných jednotek v podskupinách

- regulační meze:

$$UCL_{P_i} = \bar{p} + 3 \cdot \frac{\sqrt{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (2.23)$$

kde: \bar{p} - průměrný podíl neshodných jednotek v podskupinách
 n - počet vzorků v podskupině

$$LCL_{Pi} = \bar{p} - 3 \cdot \frac{\sqrt{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (2.24)$$

kde: \bar{p} - průměrný podíl neshodných jednotek v podskupinách
 n - počet vzorků v podskupině

Diagram pro počet neshod na jednotkách stejné velikosti

- centrální přímkka:

$$CL_c = \bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k} \quad (2.25)$$

kde: \bar{c} - průměrný počet neshod v podskupinách
 c - počet neshod v podskupině
 k - počet podskupin

- regulační meze:

$$UCL_c = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \quad (2.26)$$

kde: \bar{c} - průměrný počet neshod v podskupinách

$$LCL_c = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \quad (2.27)$$

kde: \bar{c} - průměrný počet neshod v podskupinách

Diagram pro počet neshod na jednotkách různé velikosti

- centrální přímkka:

$$CL_u = \bar{u} = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_k}{k} \quad (2.28)$$

kde: \bar{u} - průměrný počet neshod na jednotku v podskupinách
 k - počet podskupin
 u - počet neshod na jednotku výběru v podskupině

- regulační meze:

$$UCL_u = \bar{u} + \frac{3 \cdot \sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n_i}} \quad (2.29)$$

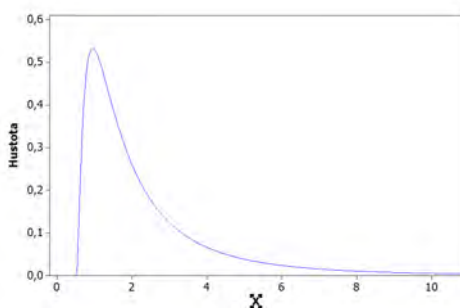
kde: \bar{u} - průměrný počet neshod na jednotku v podskupinách
 n - počet vzorků v podskupině

$$LCL_u = \bar{u} - \frac{3 \cdot \sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n_i}} \quad (2.30)$$

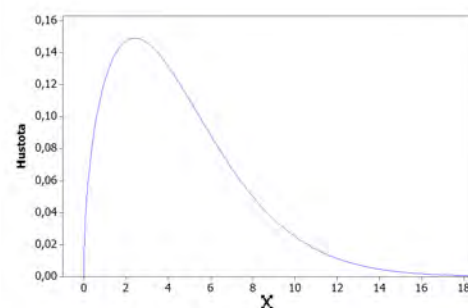
kde: \bar{u} - průměrný počet neshod na jednotku v podskupinách
 n - počet vzorků v podskupině

2.2.4 Regulační diagramy pro nenormální rozdělení znaku

V předchozích kapitolách bylo vycházeno z předpokladu, že sledované znaky mají normální rozdělení pravděpodobnosti. Ne všechny znaky, které se v průmyslové výrobě vyskytují, jsou však normálně rozdělené. Např. různé geometrické tolerance, kdy je jedna z tolerančních mezí zároveň i fyzikální hranicí - skutečná odchylka polohy konkrétního prvku od jeho teoreticky přesné polohy nemůže být menší než nula. V takovýchto případech je žádoucí, aby skutečná odchylka byla co nejmenší a tudíž je normální rozdělení často nežádoucí. Takovéto prvky nejčastěji spadají do rozdělení logaritmicko-normálního, Weibullova, Poissonova atd., viz obrázek 2.4 [12].



(a) Logaritmicko-normální rozdělení pravděpodobnosti.



(b) Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti.

Obr. 2.4 Zobrazení vybraných nenormálních rozdělení pravděpodobnosti.

V případě, kdy je sledovaný znak rozdělen nenormálně, je možné postupovat následovně [9, 16, 21]:

- pokud je možné zajistit dostatečně velký rozsah podskupiny, lze využít na základě tzv. centrálního limitního teorému standardní Shewhartovy regulační diagramy,

- v případě, kdy není možné získat data s velkým rozsahem podskupiny, je možné upravit regulační meze tak, aby byl vliv nenormality vyrušen,
- použití transformace dat, která převede nenormálně rozdělená data na data o normálním rozdělení, např. Johnsonova transformace, Box-Coxova transformace atd.,
- při silně nenormálním rozdělení pravděpodobnosti lze použít i regulační diagramy vycházející přímo z daného rozdělení a pro něj určené regulační meze.

2.2.5 Další typy diagramů

Mimo regulační diagramy uvedené výše existují další skupiny regulačních diagramů s využitím ve specifických případech. V této kapitole je uveden pouze výpis daných diagramů s krátkým popisem využití. Diagramy jsou z podstaty použití omezeny na specifické druhy procesů a v rámci této práce nejsou používány.

Regulační diagramy regresní

Tento typ regulačních diagramů je používán pro regulaci procesu, kdy jsou sledovány dva spolu korelující parametry, resp. proměnné. Na základě odchylek od předpokládaného stavu je pak možné analyzovat vliv zvláštních příčin [9].

Regulační diagramy reziduální

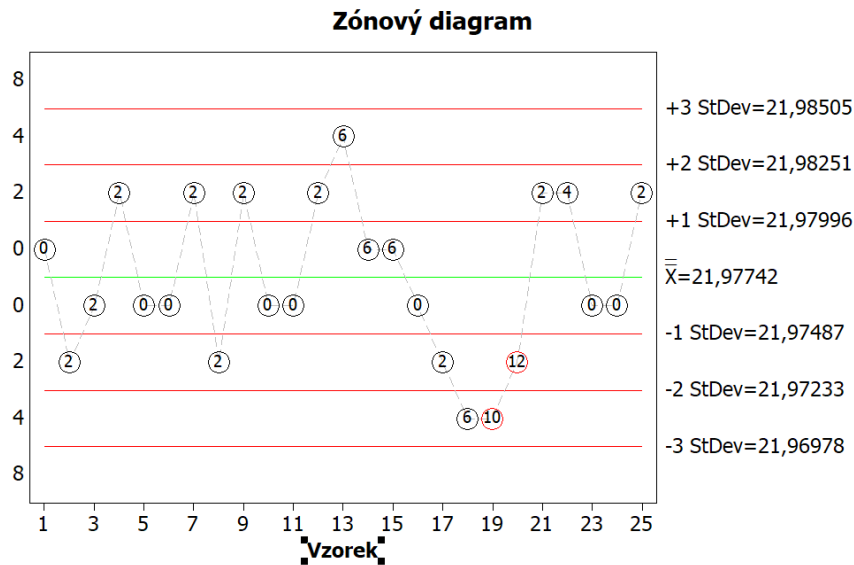
Do regulačního diagramu jsou vynášeny hodnoty reziduí procesu, získaných z regresní rovnice. Tyto diagramy je vhodné použít, jestliže je vztah mezi parametry, resp. proměnnými, složitější [9].

Regulační diagramy autoregresní

Diagramy vhodné pro použití v případě, kdy data vystupující z procesu nejsou vzájemně nezávislá a nemají vždy stejné rozdělení [9].

Regulační diagramy zónové

Principem zónových regulačních diagramů je rozdělení regulačního pásma na šest tzv. sigma zón. Každé z těchto zón je poté přiřazen konkrétní počet bodů. Následně jsou do tohoto diagramu zaneseny sledované hodnoty, kterým jsou poté přiřazovány body na základě protnutých sigma zón. Proces není statisticky zvládnutý, jestliže je kumulativní hodnota získaných dat vyšší nebo rovna hodnotě 8 (obrázek 2.5) [9].



Obr. 2.5 Ukázka zónového regulačního diagramu s vyznačenými kumulativními hodnotami získaných dat.

2.3 Aplikace SPC

Před samotným zavedením regulačních diagramů je třeba provést několik přípravných kroků. Cílem je příprava celého procesu tak, aby do něj bylo vnášeno co nejméně vnějších vymezitelných příčin. Mezi tyto příčiny je možné zařadit například vliv systému měření, nevhodně uspořádané pracoviště atd. Tyto přípravné kroky jsou popsány v následujících kapitolách [18, 22].

Zavedení aplikace SPC, tak jako jakékoli jiné metody, lze považovat za samostatný projekt. Z tohoto důvodu je možné celý proces rozdělit do fází jako v případě plánování jakéhokoli jiného projektu. Těmito fázemi poté jsou [23]:

- Inicace a zahájení - definice, co je cílem a jaké výsledky by měl daný projekt, v tomto případě zavedení statistické regulace procesu, přinést,
- plánování - stanovení postupu jak zajistit dosažení cílů stanovených ve fázi iniciace,
- vlastní řízení, koordinace - realizace naplánovaných kroků,
- monitorování a kontrola - aktivity, které kontrolují, jak je dodržováno plnění stanovených milníků a požadovaných, resp. očekávaných, výsledků,
- uzavření - zhodnocení výsledků, předání projektu zákazníkovi. V případě projektu zavádění SPC se jedná o zhodnocení přínosu, který má tato metoda na daný výrobní proces.

2.3.1 Pracoviště

Jedním z kroků pro přípravu zavedení SPC do procesu je zajistit vhodné prostředí na pracovišti, kde probíhá kontrola pomocí regulačních diagramů. Pracoviště musí být uzpůsobeno tak, aby nedocházelo k ovlivňování výsledků měření hodnot zanášených do regulačních karet. Vhodným řešením je dodržování metody 5S³. Zároveň je nezbytné poskytnout na pracoviště vhodné prostředky pro záznam výsledků. Těmito prostředky jsou myšleny tzv. regulační karty, což jsou formuláře připravené a uzpůsobené pro záznam hodnocení daného procesu, a prostředky k samotnému zápisu - psací potřeby, kalkulátor atd.

Vzhledem k provázanosti informačních technologií s výrobou a následným zpracováním dat různými softwarovými řešeními či ERP systémy, je více než vhodné použít potřebnou výpočetní techniku přímo na pracovišti. Takto je možné měřená data vyhodnocovat přímo v reálném čase a zároveň jsou tato data dostupná v rámci vnitropodnikové počítačové sítě všem zodpovědným osobám.

Další nespornou výhodou je možnost využití výstražných oznámení (překročení regulačních mezí), a tak eliminovat možnost chyb vzniklých z důvodu nepozornosti obsluhy. Použití výpočetní techniky a produktů informatiky obecně, je ve většině případů z ekonomického hlediska tím nejvýhodnějším řešením a zvyšuje potenciál dalšího zlepšování procesu [25].

2.3.2 Definice sledovaných znaků

Při volbě charakteristik produktu, pro které má být použita metoda SPC, je nutné respektovat několik pravidel [22].

Tak jako v každém odvětví, je třeba brát v úvahu požadavky zákazníka. V případě, kdy si zákazník dodává vlastní technickou dokumentaci, ať se již jedná o výkres součásti, resp. sestavy, nebo pouze o konstrukční požadavky na funkci součásti, resp. sestavy, je třeba požadavky na provádění statistické regulace procesu respektovat. Ne vždy jsou tyto požadavky v souladu s metodikou SPC a je tedy nezbytné provést definici provádění statistické regulace s ohledem na sledovaný znak [26].

2.3.3 Definice systému měření

Variabilitu výsledného produktu ovlivňuje nejen proces výroby (rozdíl mezi jednotlivými produkty), ale i použití různých měřidel a měřících strategií. Je tedy velice důležité význam variability měřicího systému odhalit a ověřit, zda je přijatelné míry. Zároveň musí být použitý systém měření předvídatelný, tj. musí být dlouhodobě stabilní. Není možné

³Metoda směřující k vytvoření dobře organizovaného, čistého a efektivního pracoviště s cílem minimalizace plýtvání - Sort (Seiri), Set in order (Seiton), Shine (Seison), Standardize (Seiketsu), Sustain (Shitsuke) [24].

použít pro měření produktu s velikostí tolerančního pole 0,01 mm měřidlo s rozlišitelností 0,1 mm apod. K posouzení, zda je měřidlo vhodné, nebo-li způsobilé, k měření jistého znaku však nestačí pouze provádění pravidelné kalibrace měřidla. Je nutné provést tzv. analýzu systému měření (MSA) [9].

V případě, že je použito měřidlo nevhodné k měření, resp. kontrole, daného znaku, hrozí, že bude zvolená metoda nebo postup považován za neefektivní a jeho přínos bude nulový. Provádění analýzy systému měření však není součástí této práce a tudíž se v následujícím textu předpokládá, že je systém měření daného znaku vyhovující. V případě, že tomu tak není, je tato skutečnost uvedena [27].

2.3.4 Sběr dat

Aby regulační diagramy, resp. statistická regulace procesu, plnili svoji funkci, je třeba zajistit, aby byl odběr vzorků prováděn systematicky a v logických podskupinách. Touto podskupinou je myšleno jeden nebo několik produktů - vzorků - který jsou odebrány tak, aby se eliminovalo kolísání způsobené zvláštními příčinami uvnitř podskupiny. Zároveň je třeba zajistit to, aby se maximalizovala šance na odhalení případného kolísání vyvolaného zvláštními příčinami mezi jednotlivými podskupinami. Jednotlivé podskupiny tvoří jedna, či více po sobě vyrobených produktů. Obecně lze říci, že čím více vzorků podskupina obsahuje, tím snazší je odhalení malých výkyvů v procesu [9, 15].

Změny výsledného produktu v rámci podskupiny představují změny procesu v relativně krátkém čase (v závislosti na časovém cyklu výroby daného produktu). Změny mezi jednotlivými podskupinami poté představují změny, které musí být vyšetřeny z hlediska vlivu zvláštních příčin a na základě tohoto šetření dále zavedena případná nápravná opatření [9].

Rozsah podskupiny

Velikost podskupiny závisí převážně na povaze sledovaného procesu. V případě, že se předpokládá malý rozdíl mezi vzorky v podskupině, volí se větší rozsah podskupiny, než v případě velkých rozdílů mezi produkty v jedné podskupině [26].

Počet vzorků podskupiny by měl být konstantní. V případě, že se v průběhu sledování procesu počet vzorků v podskupině změní, je třeba přepočítat regulační meze a provést s tím související kroky. V praxi se nejčastěji používá rozsah podskupiny o jednom, dvou, třech nebo pěti vzorcích [9, 15, 22].

Frekvence odběru vzorků

Vzorky, resp. jednotlivé podskupiny jsou odebírány v průběhu procesu výroby. Jednotlivé časové intervaly mohou být libovolně dlouhé, v závislosti na typu výroby a procesu samotném. Přesto by však mělo být zajištěno, aby byly vzorky odebírány v takových

intervalech, že bude možné zachytit případné změny procesu včas a aplikovat odpovídající opatření. Stanovení frekvence odběru vzorků by tedy mělo být založeno na rozhodnutí osoby, případně osob, která je za sledovaný proces odpovědná a má s daným procesem dostatečné zkušenosti. Dále je důležité zohlednit vlivy jako je střídání pracovní směny, střídání operátorů, změna dávky či šarže materiálu apod. [9, 15].

Množství podskupin

Počet podskupin, které je potřeba odebrat, musí být stanoveno tak, aby bylo zajištěno, že dojde k projevení se všech možných zvláštních příčin vstupujících do procesu. Běžně používané množství podskupin je 25, každá po pěti vzorcích. Takovéto množství jednotlivých čtení ($25 \cdot 5 = 125$) je dostatečný počet hodnot pro ověření a posouzení stability sledovaného procesu. Zároveň poskytuje dobrý odhad polohy a rozptylu procesu, a tak minimalizuje možnost výskytu extrémních hodnot v rozpětí nebo směrodatné odchylce [18].

2.3.5 Záznam dat

Záznam dat musí probíhat až poté, co dojde k vytvoření jasné definice schéma odběru vzorků, viz kapitola 2.3.4 [9].

V této kapitole je uveden postup záznamu a interpretace výsledků získaných dat v případě záznamu bez použití počítačové podpory, tj. specializovaného programu pro provádění SPC.

Předpokladem je správně a úplně vyplněný průvodní list pro záznam dat. Takto je zajištěno, že nedojde k mylné interpretaci dat (záměna s jiným typem produktu) a dohledatelnosti případných zvláštních příčin při následné analýze. Hodnoty zjištěné při kontrole jednotlivých vzorků jsou poté zapsány do odpovídajících políček tzv. SPC karty, a to včetně identifikace jednotlivých podskupin. Příklad podoby SPC karty je zobrazen na obr. 2.6 [18].

Následně se ze získaných dat vypočítají příslušné výběrové charakteristiky jednotlivých podskupin, např. výběrový průměr, výběrový medián, výběrová směrodatná odchylka atd. Výpočet je prováděn v závislosti na typu použitého regulačního diagramu [18].

V dalším kroku se vypočítané charakteristiky zakreslí do regulačního diagramu a z důvodu lepší přehlednosti a názornosti se spojí čarou. Ihned po zakreslení charakteristik je třeba provést kontrolu dat, zda nedošlo k chybě při výpočtu či zakreslení [9, 18].

Při grafické analýze je potřeba zakreslit i tzv. centrální přímkou, což je poloha procesu, a regulační meze, viz kapitola 2.2.2 [18].

V současnosti je vzhledem k možnostem použití počítačové podpory uvedený postup již nevhodný a zbytečně zatěžující. V případě použití informačních technologií zadává operátor, resp. osoba provádějící statistickou regulaci procesu, pouze zjištěné

Název dílu:	Číslo výkresu:						
Název znaku:	JH:	HT:	DT:				
Četnost odběru:							
Kontrolor							
Podskupina							
Čas							
X1							
X2							
X3							
X4							
X5							
\bar{X}							
R							
S							

Obr. 2.6 Příklad možné podoby SPC karty pro záznam měřených hodnot vybrané charakteristiky.

hodnoty a další kroky jsou provedeny automaticky, bez nutnosti jeho zásahu. Takto je možné pružně reagovat na případně zvláštní příčiny ovlivňující sledovaný proces.

2.4 Hodnocení výsledků

V případě, kdy je proces statisticky zvládnutý, jsou všechny hodnoty výběrových statistik použitých pro statistickou regulaci daného procesu uvnitř regulačních mezí. Pokud se v procesu vyskytují zvláštní (nenáhodné) příčiny, mohou ovlivnit výsledky polohy procesu (průměr, medián), kolísání (rozpětí, směrodatná odchylka), případně obojí. V následujících odstavcích bude popsána analýza regulačního diagramu pro rozpětí (R -diagram) a průměr (\bar{X} -diagram) [9].

R -diagram

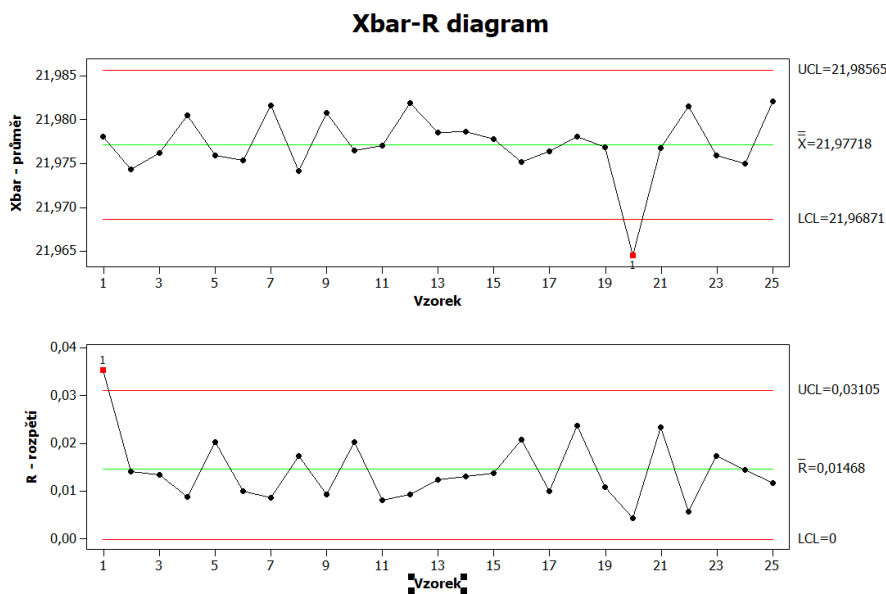
Diagram rozpětí ukazuje odhad proměnlivosti prvního produktu od následujícího. Musí být analyzován z hlediska, zda některé body neleží mimo regulační meze diagramu nebo se zde nevyskytují nenáhodná seskupení. Toto by mohlo signalizovat výskyt zvláštních příčin [9].

Pro správnou analýzu regulačního diagramu je nezbytné zachovat časovou posloupnost výroby sledované součásti. Zároveň je neméně důležité zaznamenávat jakékoli změny v procesu, které by mohli mít dopad na výsledky. Zaznamenávat možné vlivy je nutné i v případě, kdy k žádné změně nebo zásahu ze strany operátora nedošlo, ale regulační diagram, resp. zkoumané hodnoty, vykazuje zvláštní příčinu [22].

Na obr. 2.7 je z diagramu pro rozpětí patrné, že v první podskupině se vyskytuje bod mimo regulační meze a přesto je výběrový průměr první podskupiny v diagramu průměru uvnitř regulačních mezí a dokonce je velice blízko centrální přímce. Z uvede-

ného příkladu lze vyvodit, že charakteristika polohy procesu (průměr, medián atd.) není jedinou statistickou veličinou charakterizující stabilitu procesu a je naprosto nezbytné analyzovat i charakteristiku kolísání (rozptyl, směrodatná odchylka atd.).

Sběr dat a vyhodnocení regulačního diagramu je pouze prvním krokem při statistické regulaci procesu. Následné určení příčiny vzniku této odchylky je významným úkolem, na kterém je nutná spolupráce nejen osob zodpovídajících za proces, ale i operátorů, kteří jsou s procesem v každodenním úzkém kontaktu a mohou poskytnout významný vhled do komplexního fungování procesu.



Obr. 2.7 Ilustrační \bar{X} -R diagram.

\bar{X} -diagram

Po analýze diagramu rozpětí a případném odstranění zvláštních příčin je možné přistoupit k analýze diagramu průměrů. Na obr. 2.7 je vidět jeden bod mimo regulační meze, konkrétně se jedná o výběrový průměr podskupiny 20. Je třeba tuto podskupinu analyzovat a zjistit vlivy způsobující tento stav. Pokud je zjištěna zvláštní příčina, je nutné zavést nápravná opatření, která tuto zvláštní příčinu eliminují. Opět je vhodné využití zkušeností všech osob potkávající se s vyšetřovaným procesem. Také je možné využít i dalších analytických metod, jako je např. Paretova analýza, diagram rybí kost (Ishikawa) apod. [13, 22].

V tab. 2.1 jsou uvedeny hodnoty zanesené do regulačního diagramu na obr. 2.7, včetně vyznačení hodnot, které jsou mimo regulační meze.

2.4.1 Body mimo regulační meze

V případě, kdy se jeden či více bodů nachází mimo regulační meze diagramu, je velmi pravděpodobné, že je proces, resp. byl, ovlivněn zvláštní příčinou. Pokud je proces

Tab. 2.1 Tabulka hodnot měření konkrétního znaku zanesených v \bar{X} - R diagramu na obr. 2.7..

Podskupina	1	2	3	4	5	6	7	8
X1	21,959	21,974	21,972	21,977	21,988	21,972	21,978	21,968
X2	21,974	21,965	21,982	21,982	21,978	21,972	21,987	21,983
X3	21,977	21,977	21,972	21,976	21,967	21,978	21,978	21,977
X4	21,995	21,979	21,985	21,985	21,971	21,982	21,982	21,977
X5	21,985	21,976	21,971	21,983	21,976	21,972	21,984	21,966
Průměr	21,978	21,974	21,976	21,981	21,976	21,975	21,982	21,974
Rozptyl	0,035	0,014	0,014	0,009	0,020	0,010	0,009	0,017

Podskupina	9	10	11	12	13	14	15	16
X1	21,977	21,963	21,974	21,985	21,985	21,978	21,972	21,979
X2	21,978	21,981	21,981	21,987	21,972	21,973	21,977	21,968
X3	21,977	21,972	21,973	21,980	21,976	21,980	21,976	21,988
X4	21,986	21,983	21,976	21,980	21,977	21,986	21,986	21,968
X5	21,985	21,983	21,980	21,977	21,982	21,977	21,977	21,973
Průměr	21,981	21,976	21,977	21,982	21,979	21,979	21,978	21,975
Rozptyl	0,009	0,020	0,008	0,009	0,012	0,013	0,014	0,021

Podskupina	17	18	19	20	21	22	23	24
X1	21,979	21,991	21,975	21,965	21,966	21,982	21,969	21,972
X2	21,972	21,974	21,980	21,967	21,990	21,979	21,970	21,976
X3	21,980	21,967	21,983	21,965	21,971	21,982	21,981	21,976
X4	21,971	21,981	21,972	21,963	21,977	21,980	21,986	21,983
X5	21,981	21,978	21,974	21,964	21,980	21,985	21,974	21,968
Průměr	21,976	21,978	21,977	21,965	21,977	21,981	21,976	21,975
Rozptyl	0,010	0,024	0,011	0,004	0,023	0,006	0,017	0,015

Podskupina	25
X1	21,981
X2	21,976
X3	21,988
X4	21,983
X5	21,982
Průměr	21,982
Rozptyl	0,012

statisticky zvládnutý, a tudíž by se body mimo regulační meze měly objevovat pouze ve velmi výjimečných případech, je vždy nutné provést analýzu procesu z hlediska výskytu zvláštních příčin. Výskyt bodu mimo regulační meze je obvykle způsoben některým (některými) z následujících jevů [22]:

- špatný výpočet či zakreslení výběrových charakteristik, případně regulačních mezí,
- rozdíl mezi jedním a následujícím produktem se významně zvětšil (zmenšil), a to buď v jednom časovém bodě - podskupině - nebo v rámci jistého trendu,
- došlo ke změně systému měření,
- nezpůsobilý měřicí systém.

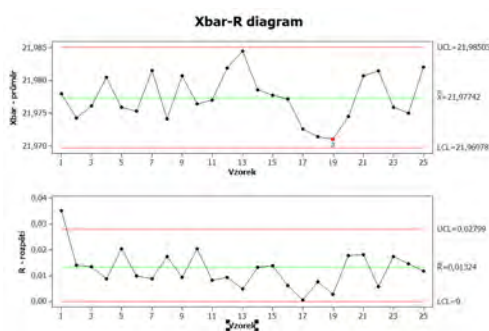
2.4.2 Nenáhodná uskupení a trendy

Proces může být ovlivňován zvláštními příčinami i v případě, kdy všechny body regulačního diagramu leží uvnitř regulačních mezí. V tomto případě se vliv zvláštních příčin projeví vznikem tzv. nenáhodných uskupení, případně trendů. Opět platí, že tato uskupení a trendy mohou mít i pozitivní vliv na proces a poté by měly být dané příčiny zavedeny do procesu natrvalo. V následujících odstavcích jsou popsány kritéria pro určení nenáhodných uskupení a trendů [9].

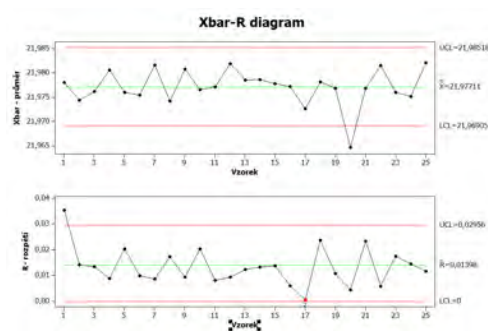
Iterace

Počátek působení trendu je charakterizován některým z následujících uskupení [14, 15, 16]:

- sedm bodů za sebou vyskytujících se na jedné straně centrální přímky (obrázek 2.8a),
- šest bodů za sebou, které mají všechny rostoucí, resp. klesající charakter (obrázek 2.8b).



(a) Iterace pro sedm po sobě jdoucích bodů vyskytujících se pod centrální přímkou - podskupiny 12-19.



(b) Iterace pro sedm po sobě rostoucích bodů - podskupiny 11-17.

Obr. 2.8 Trend iterace v regulačním diagramu.

Iterace vyskytující se nad centrální přímkou nebo iterace rostoucí může signalizovat některý z těchto jevů [16]:

- velké rozptýlení ve sledovaných hodnotách, což může být způsobeno např. uvolněním upínacího přípravku, poruchou výrobního zařízení či vysokou variabilitou vstupního materiálu,
- vliv systému měření, např. nové měřidlo či nový operátor provádějící měření.

Iterace vyskytující se pod centrální přímkou nebo iterace klesající signalizuje, že mohlo dojít k vlivu následujících jevů [16]:

- malé rozptýlení ve sledovaných hodnotách, což je stav žádoucí. Takovýto stav by měl být vyšetřen a trvale zaveden do procesu,
- vliv systému měření, který by mohl zkreslovat výsledky skutečné výkonnosti procesu.

Nenáhodná uskupení

Mimo body vně regulačních mezí a iterace, které byly popsány v předchozím odstavci, může zvláštní příčiny signalizovat i podezřelé uskupení bodů v rámci regulačního diagramu či podskupiny [9].

Mezi nenáhodné uskupení patří takový výskyt bodů, kdy není splněn některý z následujících předpokladů [16]:

- dvě třetiny bodů zanesených v regulačním diagramu leží v prostřední třetině pásma mezi regulačními mezemi,
- zbývající třetina bodů je rozložena ve vnějších dvou třetinách pásma mezi regulačními mezemi.

V případě, že tyto předpoklady nejsou dodrženy, je třeba analyzovat proces na výskyt některých jevů. Mezi těmito jevy může být chybný výpočet regulačních mezí, neopodstatněná úprava vstupních dat, případně nevhodná metoda odběru vzorků, kdy jsou vzorky odebírány z různých výrobních dávek (např. různá vřetena obráběcího centra, různé materiálové šarže apod.) [9].

V tabulce 2.2 je uveden přehled možných kritérií pro analýzu regulačního diagramu s cílem odhalení výskytu zvláštních příčin.

2.5 Způsobnost procesu

Na schopnost procesu zajistit výstupy, které budou shodné se specifikací a požadavky zákazníka, má významný vliv poloha procesu a jeho variabilita. V případě, že dochází k posunu rozdělení zkoumaného parametru od střední hodnoty daného rozdělení, dochází k výraznému zmenšení prostoru pro případnou variabilitu mezi jednotlivými pozorovanými vzorky, resp. skupinami pozorovaných vzorků. Jestliže dochází k posunu polohy procesu, změně jeho variability nebo oběma těmito jevům, je zde významné riziko, že výstupem procesu budou produkty nesplňující technickou specifikaci [26].

Z tohoto důvodu se zavádí pojem způsobnost, resp. výkonnost, procesu [22].

Způsobilý proces je takový proces, při kterém dochází k vlivu pouze náhodných veličin. Proces je statisticky zvládnutý (opakovaně tvoří stejné rozložení pravděpodobnosti), avšak ne nutně respektuje specifikaci sledované charakteristiky, resp. požadavky zákazníka [16].

Tab. 2.2 Přehled možných kritérií pro analýzu regulačního diagramu z hlediska výskytu zvláštních příčin [15, 16, 28].

	Testovací kritérium
1	jeden bod se nachází ve vzdálenosti více jak tři směrodatné odchylky od centrální přímky
2	sedm bodů za sebou leží na jedné straně centrální přímky
3	sedm bodů za sebou má rostoucí, nebo klesající tendenci
4	čtrnáct bodů za sebou střídavě klesá a roste
5	dva ze tří bodů se nachází ve vzdálenosti větší než dvě směrodatné odchylky od centrální přímky (jedna strana)
6	čtyři z pěti bodů se nachází ve vzdálenosti větší než jedna směrodatná odchylka od centrální přímky (stejná strana)
7	patnáct bodů za sebou se nachází uvnitř prostřední třetiny regulačního pásma
8	osm bodů za sebou se nachází ve vnějších dvou třetinách regulačního pásma

Druhý z pojmů je výkonnost procesu. Pod tímto pojmem je myšlen celkový výstup z procesu, včetně toho, zda tento výstup odpovídá specifikacím definovaným technickou dokumentací, požadavkům zákazníka a dalším omezením [22].

Z výše uvedených definic termínů způsobilost a výkonnost procesu lze tedy odvodit, že v případě, kdy je proces ve statisticky zvládnutém stavu - je stabilní - je hodnota způsobilosti téměř stejná, jako hodnota výkonnosti. Oproti tomu, pokud se jednotlivé hodnoty významně liší, lze usuzovat, že se ve sledovaném procesu projevují zvláštní příčiny [9].

V tabulce 2.3 jsou uvedeny možné stavy z hlediska způsobilosti procesu a jeho stability.

Tab. 2.3 Schéma znázorňující možné stavy procesu z hlediska způsobilosti a statistické regulace [9].

		Statistická regulace	
		Stav statisticky zvládnutý	Stav statistický nezvládnutý
Způsobilost	Přijatelná	Stav 1	Stav 3
	Nepřijatelná	Stav 2	Stav 4

- Stav 1 představuje ideální stav, kdy je proces jak stabilní (ve statisticky zvládnutém stavu), tak i přijatelný z hlediska způsobilosti, tj. splňuje požadavky specifikace [9].
- V případě stavu 2 je proces stabilní, ale vyskytují se v něm náhodné vlivy způsobující významnou variabilitu. Tyto vlivy musí být analyzovány a eliminovány [9].
- Výstupy z procesu ve stavu 3 jsou v rámci specifikace, ale proces není stabilní - vyskytují se v něm vlivy zvláštních příčin [9].
- Stav 4 představuje proces, který není stabilní a zároveň nespĺňuje požadovanou specifikaci [9].

Ve strojírenské výrobě, především pak v oblasti třískového obrábění, se nejčastěji objevuje stav 3. Do tohoto stavu spadají např. procesy, kdy dochází k časově závislému opotřebení činných částí nástroje. Tento jev je však zvláštní příčina, která je trvalá a jednoznačně predikovatelná a tudíž je pro zákazníka tento stav akceptovatelný [9].

2.5.1 Ukazatele hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu pro normální rozdělení

V této kapitole jsou uvedeny nejčastěji používané ukazatele k hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu za předpokladu, že je sledovaná charakteristika normálně rozdělená. Ukazatele lze rozdělit dle toho, zda popisují způsobilost, resp. výkonnost, charakteristiky s oboustrannou tolerancí, tj. ani jedna z tolerančních mezí není mezí fyzikální (např. charakteristika průměru hřídele), a charakteristiky s jednostrannou tolerancí (např. geometrická tolerance polohy) [26].

Oboustranná tolerance

- C_p - jedná se o ukazatel způsobilosti a vyjadřuje schopnost procesu plnit požadavky na variabilitu. Z toho vyplývá, že nezahrnuje vliv polohy procesu [26].

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma_c} \quad (2.31)$$

kde: σ_c - směrodatná odchylka pro způsobilost
 USL - horní toleranční mez
 LSL - dolní toleranční mez

Platí, že jestliže je variabilita procesu vysoká, hodnota ukazatele C_p je poté nízká a proces je tak označen za nezpůsobilý [29].

- C_{pk} - jedná se taktéž o ukazatel způsobilosti a vyjadřuje jak schopnost procesu plnit požadavky variability, tak i požadavky polohy procesu. Hodnota C_{pk} je vždy menší nebo nejvýše rovna hodnotě C_p , tj. $C_p \geq C_{pk}$ [26].

$$C_{pk} = \min \{CPU; CPL\} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \cdot \sigma_c}; \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \sigma_c} \right\} \quad (2.32)$$

kde: σ_c - směrodatná odchylka pro způsobilost
 $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 USL - horní toleranční mez
 LSL - dolní toleranční mez
 CPU - horní ukazatel způsobilosti
 CPL - dolní ukazatel způsobilosti

- P_p - jedná se o ukazatel výkonnosti. Obdobně jako v případě ukazatel C_p posuzuje proces pouze z hlediska variability a nezahrnuje vliv polohy procesu [9, 22].

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma_p} \quad (2.33)$$

kde: σ_p - směrodatná odchylka pro výkonnost
 USL - horní toleranční mez
 LSL - dolní toleranční mez

- P_{pk} - jedná se o druhý ukazatel výkonnosti, který uvažuje mimo variability i vliv polohy procesu. Hodnota P_{pk} je, obdobně jako v případě způsobilosti, vždy menší nebo nejvýše rovna hodnotě P_p , tj. platí, že $P_p \geq P_{pk}$ [9, 22].

$$P_{pk} = \min \{PPU; PPL\} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \cdot \sigma_p}; \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \sigma_p} \right\} \quad (2.34)$$

kde: σ_p - směrodatná odchylka pro výkonnost
 $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 USL - horní toleranční mez
 LSL - dolní toleranční mez
 PPU - horní ukazatel výkonnosti
 PPL - dolní ukazatel výkonnosti

Jednostranná tolerance

V případě, kdy má zkoumaný znak pouze jednu toleranční mez, resp. jedna z tolerančních mezí je zároveň i mezí fyzikální (např. v případě geometrických tolerancí) nemá význam použití indexů C_p a P_p . To je dáno tím, že tyto ukazatele srovnávají způsobilost, resp. výkonnost procesu s celým tolerančním polem ve smyslu - čím blíže ke jmenovité hodnotě, tím lépe. U charakteristik, které mají pouze jednu toleranci je však žádoucí, aby byly měřené hodnoty ve smyslu čím méně, resp. čím více, tím lépe v závislosti na tom, zda se jedná o horní, nebo dolní toleranční mez [30].

Pro výpočet způsobilosti charakteristiky s jednostrannou tolerancí se poté využívají ukazatele C_{pl} pro charakteristiky čím větší, tím lepší a C_{pu} pro charakteristiky čím menší, tím lepší [30].

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \cdot \sigma_c} \quad (2.35)$$

kde: σ_c - směrodatná odchylka pro způsobilost
 $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 USL - horní toleranční mez

$$C_{pl} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \sigma_c} \quad (2.36)$$

kde: σ_c - směrodatná odchylka pro způsobilost
 $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 LSL - dolní toleranční mez

Obdobně lze vypočítat i ukazatele výkonnosti procesu P_{pl} a P_{pu} .

$$P_{pu} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \cdot \sigma_p} \quad (2.37)$$

kde: σ_p - směrodatná odchylka pro výkonnost
 $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 USL - horní toleranční mez

$$P_{pl} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \sigma_p} \quad (2.38)$$

kde: σ_p - směrodatná odchylka pro výkonnost
 $\bar{\bar{X}}$ - celkový průměr
 LSL - dolní toleranční mez

Vzhledem k charakteru ukazatele C_{pk} , resp. P_{pk} , je tento ukazatel roven hodnotě ukazatele C_{pu} , nebo C_{pl} , resp. P_{pu} , nebo P_{pl} , v závislosti na tom, která z tolerančních mezí je dané charakteristice předepsána výkresovou dokumentací [9].

V současnosti se za způsobilý považuje takový proces, jehož hodnoty ukazatelů

způsobilosti C_p , C_{pk} (C_{pu} , C_{pl}) jsou větší nebo rovny 1,67 a hodnoty ukazatelů výkonnosti procesu P_p , P_{pk} (P_{pu} , P_{pl}) jsou větší nebo rovny 1,33 [17].

2.5.2 Ukazatele hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu pro nenormální rozdělení

Ne všechny procesy v průmyslové praxi lze popsat pomocí normálního rozdělení pravděpodobnosti. Příkladem mohou být geometrické tolerance, kdy je požadováno, aby odchylka byla co nejbližší fyzikální mezi, tj. hodnotě ve většině případů 0. Výstupy z takového procesu poté (až na výjimky) neodpovídají normálnímu rozdělení pravděpodobnosti. V případě hodnocení způsobilosti takového procesu s mylným předpokladem normálního rozdělení, poté dochází k chybným výsledkům, které nekorespondují se skutečným stavem (způsobilostí, resp. výkonností) procesu [9].

U nenormálního rozdělení se neuvažují ukazatele způsobilosti a pracuje se pouze s ukazateli výkonnosti procesu [22].

V případě, kdy jsou data nenormálně rozdělena, je možné postupovat tak, že jsou daná data transformována pomocí vhodné metody na data „přibližně“ normální. Další možností je využití výpočtu indexů výkonnosti pro konkrétní typ nenormálních rozdělení. Tato metoda lze použít pouze v případě, kdy získaná data odpovídají konkrétnímu rozdělení [9].

Transformace dat

Jak již bylo zmíněno výše, pomocí transformací jsou získaná nenormálně rozdělená data transformována na data, která přibližně odpovídají rozdělení normálnímu. Při této operaci je nezbytné provést zároveň i transformaci tolerančních mezí dané charakteristiky, a to pomocí stejného druhu transformace, jako v případě dat. Ukazatele způsobilosti a výkonnosti jsou poté vypočteny stejně jako v případě normálního rozdělení dat [9].

Mezi nejběžněji používané transformace patří [22]:

- Box-Coxova transformace a
- Johnsonova transformace.

Dle typu nenormálního rozdělení

Pro stanovení ukazatelů výkonnosti procesu P_p a P_{pk} obecně platí, že se jedná o podíl neshodných jednotek, tj. počet jednotek ležících mimo specifikaci daného znaku. Tento podíl lze vypočítat jako obsah plochy ležící pod křivkou daného rozdělení nacházející se mimo toleranční meze znaku [22].

Pro ukazatel P_{pk} platí, že jestliže je křivka nenormálního rozdělení znaku definována jako $f(x)$ poté:

$$P_{pk} = \frac{\min(z_L, z_U)}{3}, \quad (2.39)$$

kde tzv. z-hodnoty z_L a z_U lze získat pomocí inverzního normálního rozdělení pomocí vztahů $p_L = \phi(z_L)$ a $p_U = 1 - \phi(z_U)$. Hodnoty p_L a p_U lze vypočítat ze vztahů 2.40 a 2.41 [9].

$$p_L = \int_{-\infty}^{LSL} f(x) dx \quad (2.40)$$

$$p_U = \int_{USL}^{\infty} f(x) dx \quad (2.41)$$

Ukazatel P_p předpokládá, že rozmezí procesu je dáno jako interval $\pm 6\sigma$, tj. interval pokrývající 99,73 % rozdělení dané charakteristiky. Dolní mez je poté dána 0,135% kvantilem a horní mez 99,865% kvantilem. Ukazatel výkonnosti P_p se poté vypočítá dle následujícího vztahu [9]:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{Q_{99,865} - Q_{0,135}} \quad (2.42)$$

Na závěr je třeba uvést, že žádný z výše zmíněných ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu nelze považovat za důležitější než ostatní ukazatele. Vždy je třeba pohlížet na proces jako na celek a vyhodnocovat jak všechny dostupné ukazatele, tak i grafické hodnocení. Jen takto lze zajistit správnou interpretaci výstupu procesu a zavést taková nápravná opatření, která budou mít skutečný pozitivní dopad na konkrétní proces.

Při používání metody statistické regulace procesu je třeba uvažovat tak, že nám tato metoda může pomoci s naším procesem a zajistit konkurenční výhodu. V žádném případě se nesmí SPC provádět jen proto, že ji požaduje zákazník. Takový přístup nepřinese žádná pozitiva vycházející z metody SPC. Právě naopak způsobí špatnou interpretaci procesu a může přinášet falešný pocit, že „vše je v pořádku“. Dříve nebo později se tak objeví skutečný problém a s ním spojená nespokojenost zákazníka a nemalé finanční náklady.

3 APLIKACE SPC V PODNIKU

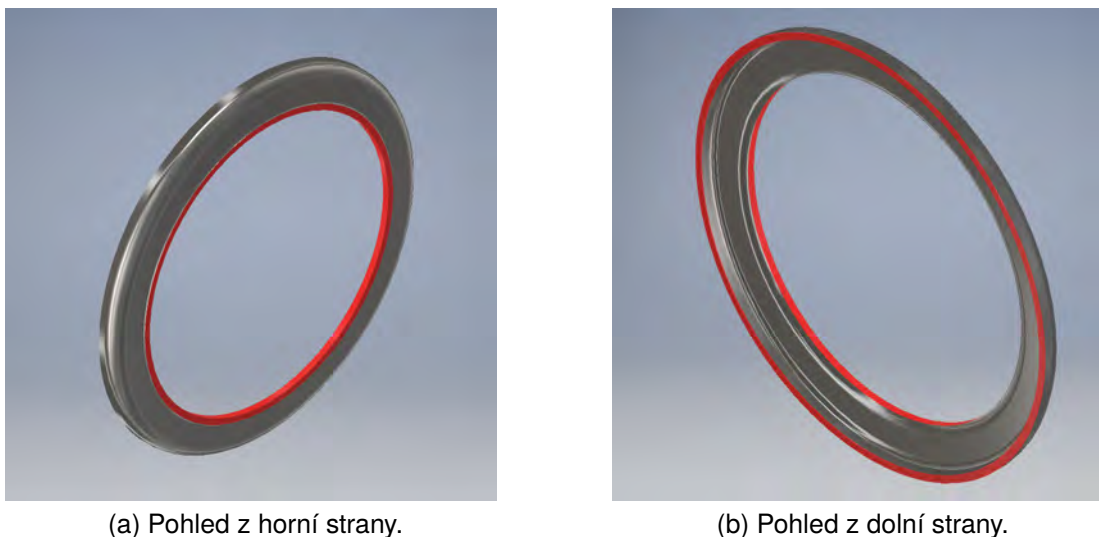
V této kapitole je provedeno zavedení statistické regulace procesu při výrobě součásti v podniku popsáném v kapitole 1.

V rámci aplikace je provedeno zhodnocení původního stavu metodiky provádění hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu. Toto zhodnocení zahrnuje i provedení studie stability procesu.

Následně je zavedena nová metodika. Na základě zpětné vazby získané z procesu, jsou porovnány výstupy procesu před zavedením změny a po zavedení změny, a to z hlediska několika různých měřítek. Na základě tohoto srovnání je zhodnocena účinnost zavedení statistické regulace procesu pro danou výrobu.

3.1 Popis součásti

Součást s označením Konzola, pro jejíž výrobní proces je v této studii SPC zaváděno (obrázek 3.1), plní svoji funkci v sestavě hydrodynamického měniče točivého momentu mezi hnací hřídelí a automatickou převodovkou osobního automobilu s pohonem plug-in hybrid. Konkrétně se jedná o součást zajišťující vymezení vůle pro pohyb lamel měniče.



Obr. 3.1 Součást Konzola s vyznačením obráběných ploch.

Jedná se o lisovaný polotovár z oceli určené ke tváření za studena S420MC (EN 10149-2-1.0980).

V podniku jsou poté obráběny funkční plochy, které jsou zobrazeny na výkrese součásti v příloze 1⁴.

⁴Ve výkrese součásti byly některé údaje záměrně vynechány tak, aby bylo zamezeno identifikaci konkrétního výrobce automobilu.

Na výkrese součásti jsou také vyznačeny charakteristiky, které jsou svojí funkcí velmi významné a pro něž je požadováno provádění statistické regulace. Tyto charakteristiky jsou uzavřeny v oválu, viz obrázek 3.2. Na výkrese součástí se takové charakteristiky vyskytují čtyři.



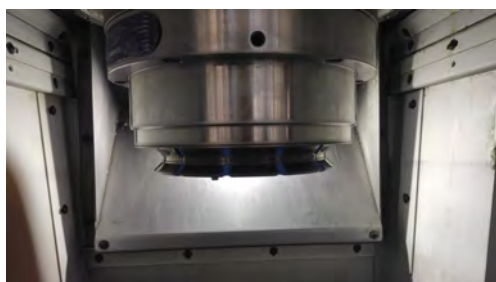
Obr. 3.2 Značení významných charakteristik na výkrese součásti Konzola.

Výroba součásti probíhá na vertikálním soustružnickém centru Emag VL5i (obrázek 3.3) s paletkovým dopravníkem s celkovým počtem dvanácti paletek.



Obr. 3.3 Emag VL5i použitý pro výrobu součásti Konzola.

Kompletní obrábění je prováděno v jedné operaci. Pro upnutí obrobku je využíván magnetický upínací systém navržený společností Schunk. Zobrazení upínacího systému je uvedeno na obrázku 3.4.



(a)



(b)

Obr. 3.4 Pohled na upínací systém pro obrábění součásti Konzola.

3.2 Popis procesu výroby

Na obrázku 3.5 je uvedena procesní mapa výroby součástí. Vzhledem k tomu, že se tato práce zabývá zavedením statistické regulace procesu pro operaci obrábění, je v procesní mapě detailněji rozebrána pouze tato operace. Jednotlivými kroky procesu jsou poté:

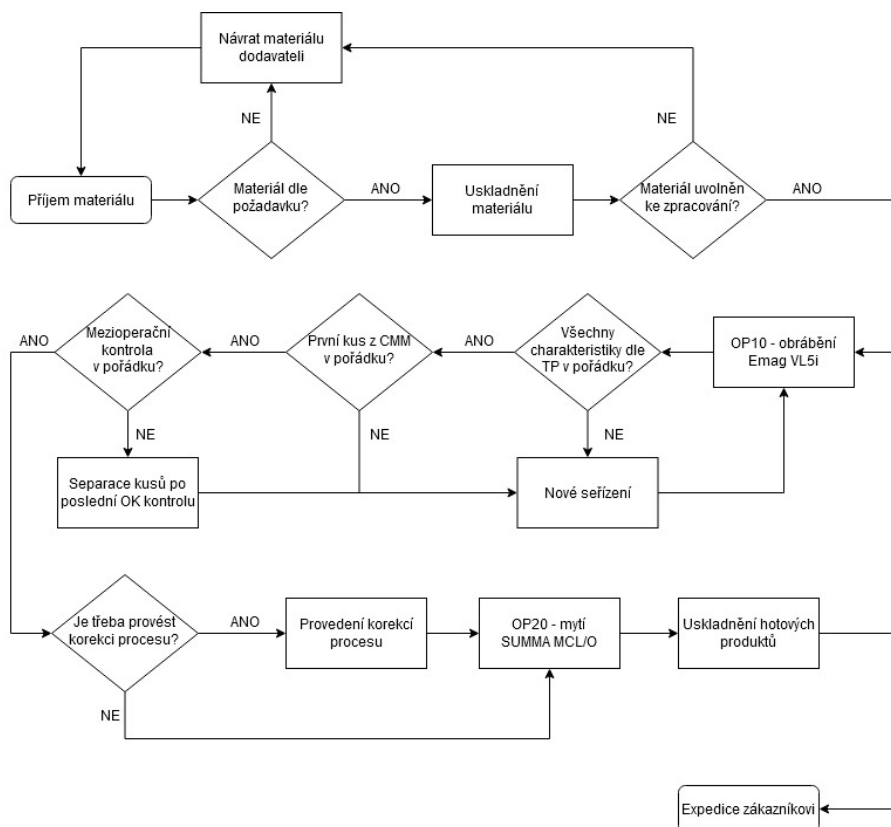
1. příjem vstupního materiálu (polotovaru),
2. uskladnění vstupního materiálu,
3. operace obrábění součásti,
4. operace mytí součásti,
5. uskladnění hotových součástí,
6. expedice.

Každý z výše uvedených kroků má své vlastní návodky pro provádění daného úkonu, včetně definice četnosti a parametrů mezi-krokových (mezi-operačních) kontrol. V uvedené procesní mapě však nejsou tyto četnosti a kontrolované charakteristiky popsány. Toto je součástí jednotlivých pracovních návodků a technologických postupů.

V rámci operace obrábění je kladen důraz především na uvolnění výroby na začátku každé směny. Jde o proces, kdy operátor provede samokontrolu prvního kus, tj. změří charakteristiky, které jsou v podmínkách pracoviště měřitelné. V případě, kdy jsou všechny měřené charakteristiky v pořádku, předá tento první kus laboratoři 3D měření, kde jsou vyhodnoceny všechny charakteristiky součásti. V opačném případě provede seřízení, resp. korekce nástrojů a proces opakuje.

První - uvolňovací - kus je vždy přítomen na pracovišti až do začátku další směny, kdy je vyměněn za nový uvolňovací kus.

Během výroby jsou poté prováděny další mezi-operační kontroly, a to jak formou samokontroly, tak i pomocí CMM. Na základě výsledků jsou poté prováděny korekce daného procesu. Četnost jednotlivých kontrol je uvedena v odpovídajícím technologickém postupu.



Obr. 3.5 Procesní mapa výroby součásti Konzola.

3.3 Analýza současného stavu

Tak, jak bylo zmíněno v kapitole 3.2, probíhá v rámci operace obrábění pravidelná kontrola významných charakteristik součásti a jednotlivé měřené hodnoty jsou zapisovány (v případě měření pomocí CMM jsou výsledné měrové protokoly ukládány na sdílené úložiště). Získané hodnoty jsou však vyhodnocovány z hlediska způsobilosti zpětně. To znamená, že nedochází ke statistické regulaci v pravém slova smyslu, protože systém kontroly ztrácí preventivní (prediktivní) funkci a pouze upozorňuje na vliv, který již však nelze regulovat.

Tato situace může nastat v případě, kdy dojde k nepozornosti operátora a ten neprovede po měření korekci tak, aby byl proces dostatečně centrován. Důvodem je to, že pro operátora mají význam pouze dvě meze, a to dolní a horní toleranční mez, tj. kontrolovaná součást je vyhodnocena jako shodná, či neshodná.

Zároveň nemá operátor k dispozici grafické zobrazení vývoje procesu a tudíž může být orientace v měřených hodnotách komplikovaná.

Studie způsobilosti, resp. výkonnosti jsou poté prováděny dle požadavků na jejich četnost, které jsou stanoveny zákazníkem.

V tabulce 3.1 je uvedena matice odpovědností, na základě které jsou přiřazeny úkony spojené s prováděním statistické regulace procesu jednotlivým pracovním pozicím.

I přes to, že se matice odpovědností používá především v projektovém řízení, je možné tuto metodu aplikovat i na popsany případ [23].

Tab. 3.1 Matice odpovědností pro provádění statistické regulace procesu.

Úkon	Operátor	Technik 3D měření	Inženýr kvality	Projektový manažer
Záznam dat získaných pomocí dílenských měřidel	O		I	
CMM měření	S	O		
Záznam dat získaných pomocí CMM měření		O	I	
Vyhodnocení dat			O	I

Pozn.: O - odpovídá za úkol, S - spolupracuje, I - informován o výsledku, resp. průběhu úkolu

Před samotným získáváním dat byla provedena analýza systému měření pro všechna použitá měřidla. Na základě MSA poté byla všechna měřidla vyhodnocena jako způsobilá. Analýza systému měření není součástí této práce.

3.3.1 Studie stability procesu

Pro to, aby mohla být vyhodnocena způsobilost, resp. výkonnost procesu, je třeba ověřit, zda je proces stabilní, tj. ve statisticky zvládnutém stavu. Toto ověření bylo provedeno ještě před započítím hodnocení způsobilosti a výkonnosti původního stavu procesu.

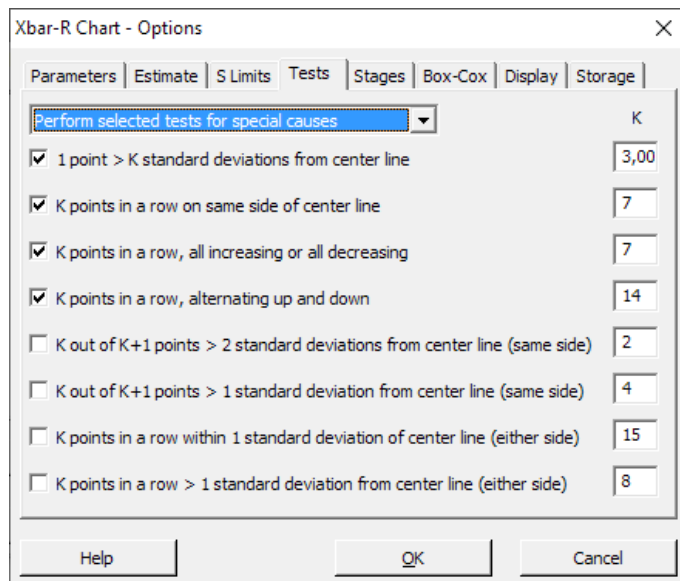
Software Palstat CAQ, který je v podniku používán pro provádění SPC, resp. hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu, umožňuje provedení hodnocení stability, avšak až jako jeden z kroků hodnocení způsobilosti. Z tohoto důvodu byl k ověření stability využit software Minitab.

Ke studii stability procesu bylo přistoupeno po odstranění všech známých zvláštních příčin ovlivňujících daný proces. Data pro ověření stability procesu byla získána během sedmi po sobě jdoucích směn. Vzorky byly odebírány v podskupinách, každá po dvou vzorcích, v intervalech jedné hodiny. Celkově bylo tedy odebráno a zkontrolováno 112 vzorků v 56 podskupinách.

K ověření byly použity čtyři testy zvláštních příčin, viz kapitola 2.4.2:

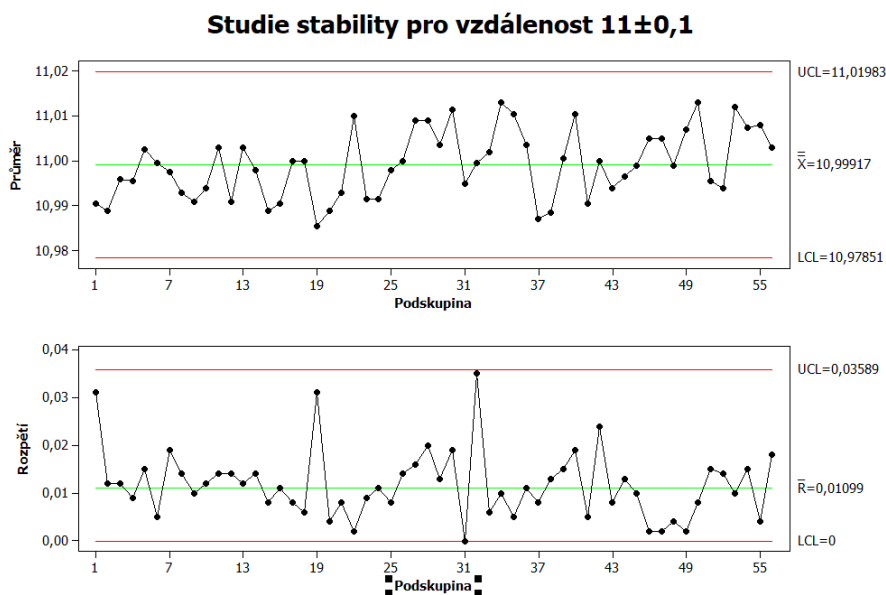
1. jeden bod se nachází ve vzdálenosti více jak tři směrodatné odchylky od centrální přímky,
2. sedm bodů za sebou leží na jedné straně centrální přímky,
3. sedm bodů za sebou má rostoucí, nebo klesající tendenci,
4. čtrnáct bodů za sebou střídavě klesá a roste.

Ke studii stability procesu byl použit regulační diagram typu $\bar{X}-R$, viz kapitola 2.2.1. Na obrázku 3.6 je zobrazeno použité nastavení pro testování stability v SW Minitab.



Obr. 3.6 Panel pro nastavení testů stability procesu v SW Minitab.

Výsledky stability pro zvláštní charakteristiku vzdálenost $11 \pm 0,1$ jsou zobrazeny na obrázku 3.7. Z regulačního diagramu je patrné, že je proces ve statisticky zvládnutém stavu - nevyskytují se v něm žádné zvláštní příčiny. Pro srovnání je možné použít obrázek 2.3, kde je vyznačen červený bod značící selhání jednoho z testů stability. V diagramu pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ k žádnému selhání některého z použitých testů uvedených výše nedochází.

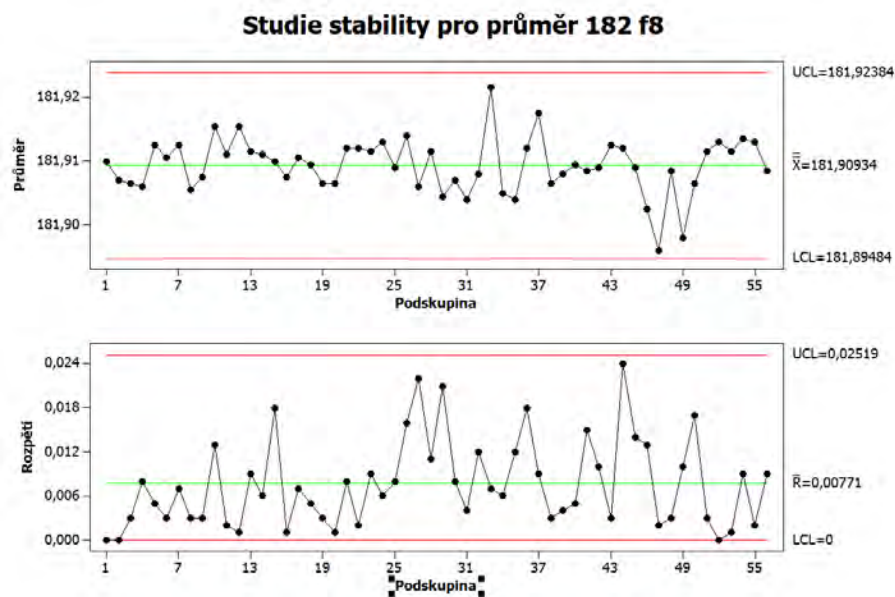


Obr. 3.7 Studie stability procesu pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ bez výskytu zvláštní příčiny.

Na obrázku 3.8 je zobrazen výsledný regulační diagram pro ověření stability charakteristiky průměr 182 f8. Stejně jako v případě vzdálenosti $11 \pm 0,1$ (viz výše) je i v tomto

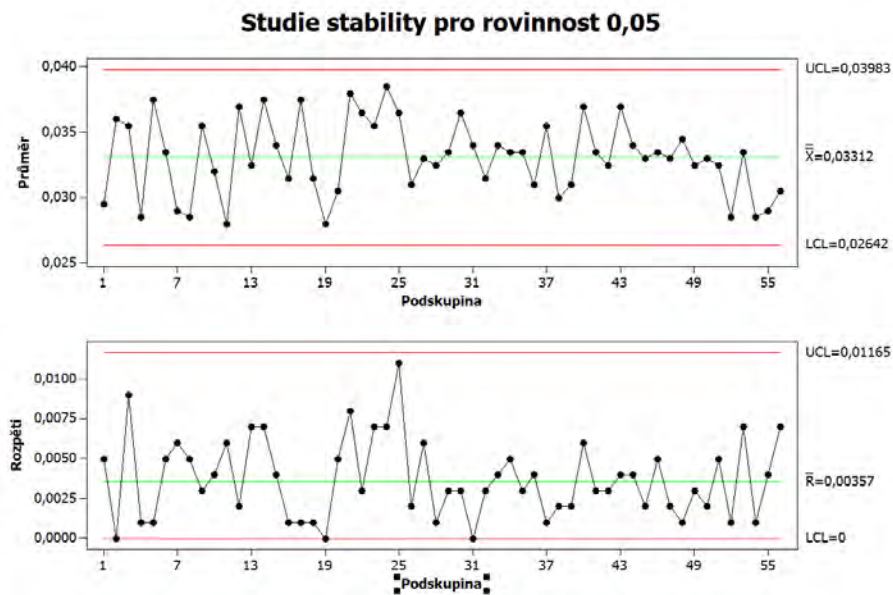
případě proces ve statisticky zvládnutém stavu.

Z diagramu pro rozpětí je možné vidět občasnou skokovou změnu výstupních hodnot v rámci podskupiny. I přes to, že u těchto skokových změn nedochází k selhání některého z použitých testů stability, je v případě provádění SPC vhodné tyto výskyty dále analyzovat. Vzhledem k tomu, že uvedené ověření stability bylo prováděno ještě před zavedením nové metodiky provádění statistické regulace procesu a případné nutné zásahy, resp. změny procesu (např. výměna nástrojů apod.), nebyly operátorem zaznamenávány, není možné další analýzu provést. Pro účel ověření stability procesu jsou však získaná data postačující.



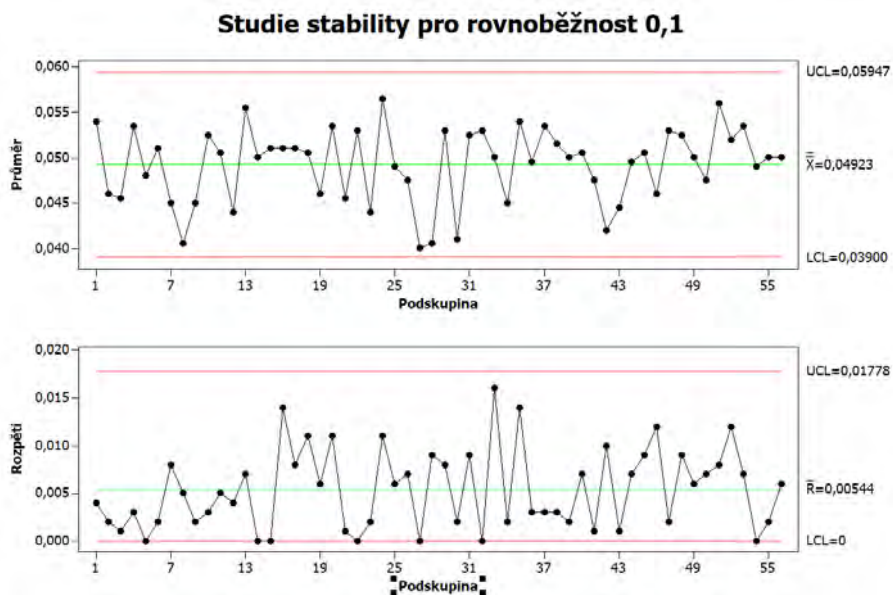
Obr. 3.8 Studie stability procesu pro průměr 182 f8 bez výskytu zvláštní příčiny.

Obrázek 3.9 zobrazuje výsledky ověření stability pro charakteristiku rovinnost 0,05. Jak diagram průměru, tak i diagram rozpětí nevykazují žádné podezřelé body, resp. podskupiny, a lze tedy říci, že stejně jako v předchozích případech je i proces pro rovinnost ve statisticky zvládnutém stavu.



Obr. 3.9 Studie stability procesu pro rovinnost 0,05 bez výskytu zvláštní příčiny.

Poslední charakteristikou, u které je požadováno provádění statistické regulace, je rovnoběžnost 0,1 se základnou A. Výsledek ověření stability této charakteristiky je uveden na obrázku 3.10. Proces nevykazuje chování značící vliv zvláštních příčin a lze jej tedy považovat za statisticky zvládnutý.



Obr. 3.10 Studie stability procesu pro rovnoběžnost 0,1 bez výskytu zvláštní příčiny.

Všechny výše uvedené regulační diagramy ověřující stabilitu procesu na základě měřených dat jednotlivých charakteristik ukazují, že je proces stabilní, ve statisticky zvládnutém stavu, resp. nevykazuje vlivy zvláštních příčin působících na proces.

Tímto je splněna nutná podmínka pro úspěšnou aplikaci metody statistické regulace procesu. Dále je možné přejít k samotné regulaci a hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu. Toto je popsáno v následujících kapitolách.

3.3.2 Studie způsobilosti a výkonnosti procesu

Studie analyzující způsobilost a výkonnost procesu v původním stavu, tj. před zavedením nové metodiky SPC, byla provedena v rámci výrobní dávky 3000 kusů z jedné materiálové šarže. Podnětem pro provedení této analýzy byl požadavek zákazníka na ověření způsobilosti procesu.

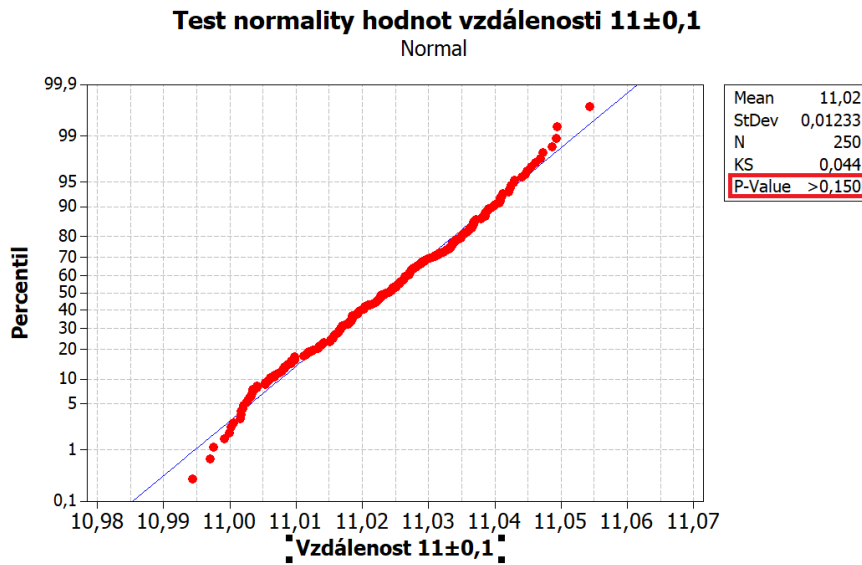
Z výrobní dávky bylo náhodně vybráno 125 podskupin po dvou vzorcích. Četnost odběru vzorků nebyla nijak stanovena a závisela pouze na volných kapacitách laboratoře 3D měření. Proces nebyl regulován na základě zpětné vazby z laboratoře, pouze v rámci samokontroly operátora. Během výroby zmíněné dávky obsluhovali soustružnické centrum dva operátoři ve dvousměnném režimu. Proces byl tak ovlivňován různými vlivy typickými pro podobné výrobní procesy, jako jsou např. odstávky stroje, změna operátora, různé směny, výměna nástrojů apod. Tudíž lze tuto analýzu, co se posíhnutí různých výrobních scénářů týče, považovat za dostatečně reprezentující standardní proces.

Výsledky analýz způsobilosti a výkonnosti procesu ve vztahu k jednotlivým charakteristikám jsou uvedeny níže. Při měření vzorků byla opět použita pouze měřidla, která prošla analýzou systému měření jako způsobilá.

Vzdálenost $11 \pm 0,1$

Před samotným hodnocením způsobilosti a výkonnosti procesu je třeba ověřit, jakému rozložení pravděpodobnosti měřené hodnoty odpovídají. Software Palstat je schopen hodnotit pouze čtyři rozložení pravděpodobnosti, a to normální, Weibullovo, Rayleighovo a logaritmicke-normální. Z tohoto důvodu je ověření rozdělení daných hodnot prováděno opět v SW Minitab.

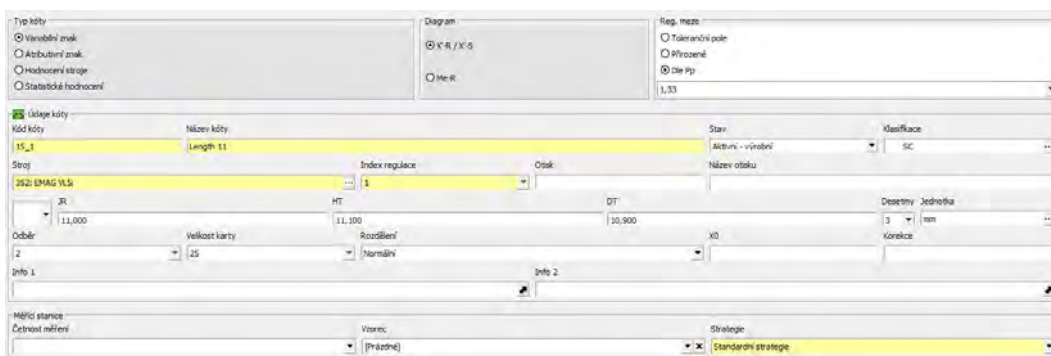
Vzhledem k charakteru prvku vzdálenosti lze předpokládat, že hodnoty této charakteristiky jsou rozděleny normálně. Z tohoto důvodu byl proveden test normality, konkrétně poté Kolmogorov-Smirnov. Výsledky testu normality pro charakteristiku vzdálenost $11 \pm 0,1$ jsou na obrázku 3.11.



Obr. 3.11 Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro vzdálenost 11±0,1.

Z výsledku je patrné, že p-hodnota je větší než 0,05 (testování na hladině významnosti 5 %), a tudíž nezamítáme nultou hypotézu (H_0 : hodnoty mají normální rozdělení) a lze tedy s naměřenými hodnotami pracovat jako s normálně rozdělenými. S tímto zjištěním je možné přejít ke studii způsobilosti a výkonnosti procesu.

Naměřené hodnoty byly zadány do SW Palstat, modul SPC. Nastavení programu pro analyzovanou charakteristiku je zobrazeno na obrázku 3.12. Obdobné nastavení je použito i v případě dalších charakteristik, a tudíž není opakovaně uváděno. Základní popis uživatelského rozhraní a práce s programem je poté detailněji rozebrána v kapitole 3.4.



Obr. 3.12 Nastavení kóty vzdálenost 11±0,1 pro hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu v SW Palstat.

Protokol s výsledky studie způsobilosti a výkonnosti pro vzdálenost 11±0,1 je uveden v příloze 2. Na obrázku 3.13 jsou zobrazeny pouze výsledné hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti a základní statistické veličiny daného procesu.

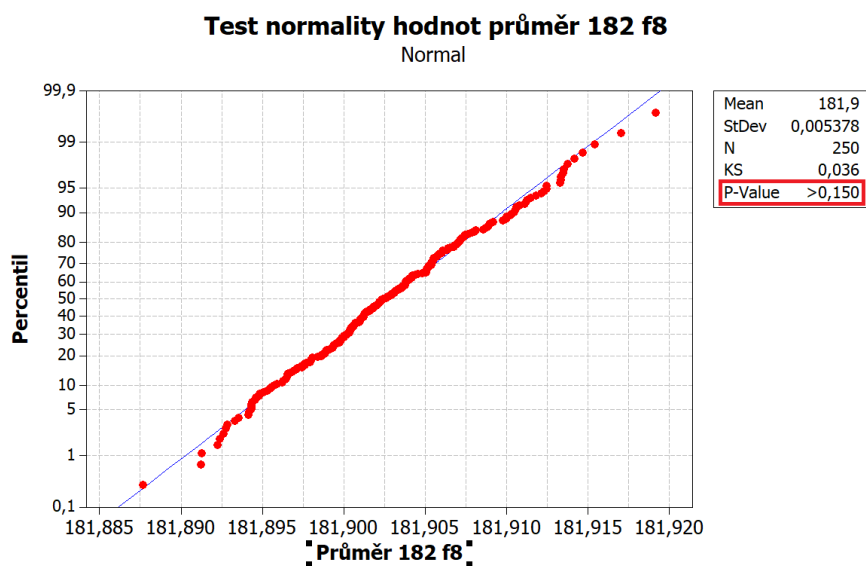
Pp	2,70	Cp	2,95	X:	11,0235	Nad HT:	0	PE:	0
Ppk	2,07	Cpk	2,26	R:	0,0599	Pod DT:	0	Předp. procento chyb:	0
				S:	0,0123				

Obr. 3.13 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro vzdálenost $11 \pm 0,1$, včetně uvedených základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.

Na základě těchto výsledků lze rozhodnout, že proces je způsobilý (hodnoty ukazatelů způsobilosti i výkonnosti procesu jsou větší, než hodnoty minimální, viz kapitola 2.5.1). Zároveň je však patrné, že proces není ideálně centrován ($\bar{X} = 11,0235$) a je zde tedy prostor ke zlepšení. Toto může být způsobeno absencí jakéhokoli grafického zobrazení výstupu měřených hodnot dostupného operátorovi.

Průměr 182 f8

Stejně jako v případě vzdálenosti $11 \pm 0,1$, tak i u průměru 182 f8 lze předpokládat, že získané hodnoty budou odpovídat normálnímu rozdělení pravděpodobnosti. Proto byl proveden test normality. Výsledek je zobrazen na obrázku 3.14.



Obr. 3.14 Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro průměr 182 f8.

Testování bylo provedeno na hladině významnosti 5 % a z výsledné p-hodnoty, která je větší než 0,05, se nezamítá nulová hypotéza a lze tedy říci, že data jsou normálně rozdělená.

Následně byla provedena studie způsobilosti a výkonnosti procesu pro danou charakteristiku. Výsledky analýzy v podobě protokolu SW Palstat jsou v příloze 3. Na následujícím obrázku 3.15 jsou zobrazeny výsledné hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti a základní statistické veličiny pro průměr 182 f8.

Pp 2,23	Cp 2,49	X: 181,9028	Nad HT: 0	PE: 0,00
Ppk 1,54	Cpk 1,71	R: 0,0310	Pod DT: 0	Předp. procento chyb: 0
		S: 0,0054		

Obr. 3.15 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8, včetně uvedených základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.

Na základě uvedených ukazatelů lze rozhodnout o procesu jako o způsobilém. Proces však opět není ideálně centrováný, což dokazuje i významný rozdíl mezi ukazateli C_p a C_{pk} , resp. P_p a P_{pk} . V případě, že by došlo k lepšímu centrování procesu by došlo i k významnému zlepšení způsobilosti i výkonnosti procesu, a to až na hodnoty, které jsou rovny hodnotám C_p , resp. P_p .

Špatné centrování opět může souviset s absencí grafického zobrazení výsledných hodnot operátorovi, kdy operátor při samokontrolě zjistí, že výroba probíhá v pořádku a hotové součásti jsou ve specifikaci, avšak již těžko posoudí centrování procesu.

Rovinnost 0,05

U geometrické tolerance rovinnosti, resp. u geometrických toleranci obecně, již nelze předpokládat normální rozdělení měřených hodnot, a tudíž není vhodné použití Kolmogorov-Smirnov (resp. jakýkoli jiný) test normality, ale je třeba zjistit, v jakému konkrétnímu rozdělení hodnoty odpovídají.

K identifikaci rozdělení naměřených hodnot je použit tzv. test dobré shody. K testu bylo opět využito SW Minitab (Palstat test rozdělení neumožňuje). Výsledky testu dobré shody pro charakteristiku rovinnosti jsou na obrázku 3.16.

```

Goodness of Fit Test

Distribution      AD      P      LRT P
Normal           2,823  <0,005
Box-Cox Transformation  0,168  0,936
Lognormal        0,168  0,936
3-Parameter Lognormal  0,151  *      0,635
Exponential      59,702 <0,003
2-Parameter Exponential 31,660 <0,010  0,000
Weibull          4,561  <0,010
3-Parameter Weibull  1,352  <0,005  0,000
Smallest Extreme Value 19,369 <0,010
Largest Extreme Value  0,165  >0,250
Gamma            0,537  0,189
3-Parameter Gamma  0,239  *      0,026
Logistic         1,565  <0,005
Loglogistic      0,354  >0,250
3-Parameter Loglogistic 0,325  *      0,434
Johnson Transformation 0,140  0,974
    
```

Obr. 3.16 Výsledky testu dobré shody pro rovinnost 0,05.

Z výsledků vychází několik možných variant. Testování bylo prováděno na hladině významnosti 5 %, a tudíž dané hodnoty odpovídají testovanému rozdělení, jestliže je p-

hodnota větší než 0,05. Tuto podmínku splňuje několik možných rozdělení, konkrétně: Box-Coxova transformace, logaritmicko-normální rozdělení, největší extrémní hodnoty, gamma rozdělení, logaritmicko-logistické rozdělení a Johnsonova transformace.

Vzhledem k tomu, že SW Palstat pracuje pouze s několika nejčastějšími rozděleními (viz text výše) a použití transformací je vhodné až v případě, kdy ostatní rozdělení selhávají, lze říci, že naměřená data odpovídají rozdělení logaritmicko-normálnímu. V tomto případě je zároveň p-hodnota pro dané rozdělení značně vysoká (0,936), tudíž data tomuto rozdělení odpovídají s vysokou pravděpodobností.

Na obrázku 3.17 jsou uvedeny ukazatele výkonnosti a základní statistické veličiny pro rovinnost 0,05. Vzhledem k tomu, že se jedná o charakteristiku, jejíž jedna toleranční mez je zároveň i mezí fyzikální, ukazatele způsobilosti nejsou hodnoceny, viz kapitola 2.5.2. Kompletní protokol o výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05 je uveden v příloze 4.

Pp	1,75	Cp	X:	0,0152	Nad HT:	0	PE:
Ppk	1,74	Cpk	R:	0,0375	Pod DT:	0	Předp. procento chyb:
			S:	0,0047			0

Obr. 3.17 Ukazatele výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05, včetně základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.

Z výsledků je patrné, že proces je pro charakteristiku rovinnost 0,05 způsobilý. Z diagramu \bar{X} si lze všimnout, že dvě z měřených hodnot padly mimo regulační meze. Toto však nemá za následek nezpůsobilost procesu, ale ukazuje na podezřelé body, které by měly být vyšetřeny z hlediska přítomnosti zvláštních příčin ovlivňujících proces. Vzhledem k tomu, že však statistická regulace v původním stavu není statistickou regulací, ale spíše zpětnou vazbou popisující způsobilost a výkonnost procesu a operátor tak nezaznamenává případné zásahy do procesu, není analýza skutečné příčiny vzniku těchto odchylek možná, resp. šance na nalezení této příčiny je velice malá.

Rovnoběžnost 0,1 A

Tak, jako v případě rovinnosti 0,05 i u rovnoběžnosti 0,1 nelze předpokládat normální rozdělení a je tedy nutné provést test dobré shody i pro tuto charakteristiku. Výsledky testu jsou na obrázku 3.18.

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	1,212	<0,005		
Box-Cox Transformation	0,224	0,821		
Lognormal	0,601	0,117		
3-Parameter Lognormal	0,240	*	0,106	
Exponential	55,517	<0,003		
2-Parameter Exponential	32,628	<0,010	0,000	
Weibull	2,041	<0,010		
3-Parameter Weibull	0,641	0,088	0,000	
Smallest Extreme Value	12,967	<0,010		
Largest Extreme Value	0,707	0,067		
Gamma	0,205	>0,250		
3-Parameter Gamma	0,246	*	0,642	
Logistic	0,692	0,043		
Loglogistic	0,557	0,106		
3-Parameter Loglogistic	0,376	*	0,272	
Johnson Transformation	0,178	0,919		

Obr. 3.18 Výsledky testu dobré shody pro rovnoběžnost 0,1 A.

Z výsledků lze vidět, že se opět vyskytuje několik možných variant rozdělení, která daná data splňují. Z možných alternativ bylo zvoleno opět logaritmicko-normální rozdělení, data byla zadána do SW Palstat a byla vyhodnocena výkonnost. Výsledný protokol je uveden v příloze 5 a na obrázku 3.19 jsou uvedeny hodnoty ukazatelů výkonnosti procesu.

Pp	1,47	Cp	X:	0,0316	Nad HT:	0	PE:
Ppk	1,42	Cpk	R:	0,0726	Pod DT:	0	Předp. procento chyb:
			S:	0,0102			0

Obr. 3.19 Ukazatele výkonnosti procesu pro rovnoběžnost 0,1 A, včetně základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.

Z výsledků v protokolu hodnocení způsobilosti rovnoběžnosti 0,1 (příloha 5) lze označit proces za způsobilý. Hodnota $P_{pk} = 1,42$ je však velice blízko hraniční hodnotě $P_{pk} = 1,33$. Je tedy vhodné hledat možnosti zlepšení procesu pro danou charakteristiku, avšak proces již mohl dosáhnout svého potenciálu a zlepšení by tak mohlo být technologicky náročné či ekonomicky velmi nákladné.

V této kapitole byla provedena studie způsobilosti, resp. výkonnosti pro charakteristiky, pro které je požadováno provádění statistické regulace procesu. Z výsledků lze označit proces za způsobilý, avšak je nutné zmínit, že hodnocení způsobilosti nebylo prováděno správnou metodikou a nelze tak posoudit potenciál procesu (nebyly zaznamenávány zásahy do procesu provedené operátorem). V případě, že by došlo k vyhodnocení způsobilosti s výsledkem nezpůsobilý, by tak nebylo možné analyzovat a případně vyloučit body, které by neodpovídaly standardnímu běhu procesu (např. měření po výměně nástrojů, odstávka výroby, porucha stroje apod.), a tudíž by mohlo jít o výsledek bez jakékoli vypovídající hodnoty.

Zavedení a následná analýza způsobilosti procesu dle metodiky uvedené v kapitole 2 je rozebráno v následující kapitole.

3.4 Nová metodika SPC v podniku

V této kapitole je popsáno zavedení nové metodiky provádění statistické regulace procesu pro výrobu dané součásti.

Nová metodiky splňuje požadavky na provádění SPC a zároveň poskytuje dostatečně rychlou zpětnou vazbu pro efektivní regulaci procesu v rámci výrobní operace. Veškerá získaná data jsou poté ukládána online a pravidelně analyzována. Takto je zajištěn požadavek zákazníka na provádění statistické regulace procesu pro významné znaky součásti.

V následujících kapitolách jsou popsány kroky provedené pro zajištění úspěšného zavedení.

3.4.1 Pracoviště

V rámci zavádění nové metodiky bylo třeba provést úpravu pracoviště tak, aby splňovalo dané požadavky, mimo jiné poté digitalizaci sběru dat získaných během výroby dané součásti.

Pracoviště odpovídá všeobecnému podnikovému standardu pro 5S. Operátor tak má k dispozici pouze a jen ta měřidla, které jsou potřeba k provádění samokontroly popsané v rámci technologické instrukce.

Dalším nezbytným vybavením pracoviště je technická dokumentace vztahující se k vyráběné součásti. Mezi tuto dokumentaci patří:

- aktuální výkres součásti s vyznačenými zvláštními znaky,
- technologická instrukce s informacemi k četnosti kontrol a výrobě samotné,
- katalog vad pro provádění vizuální kontroly součásti,
- pracovní instrukce k provádění SPC v modulu Palstat CAQ,
- další dokumentace vztahující se k výbavě a čistotě pracoviště a údržbě strojního zařízení.

Veškerá měřidla a měřicí přípravky na pracovišti jsou s platným datem kalibrace (v případě, že podléhají pravidelné kalibraci) a měřidla jsou, dle požadavku normy IATF 16949:2016, kalibrována v akreditované laboratoři.

Dále bylo nutné provést instalaci počítačové stanice umožňující přístup k SW Palstat a podnikovému intranetu. Stanici je možné ovládat jak pomocí klávesnice a myši,

tak i přes dotykovou obrazovku, která urychluje práci při zadávání náměrů a zlepšuje ergonomii ovládání stanice.

Zobrazení pracoviště je na obrázku 3.20.



Obr. 3.20 Zobrazení pracoviště pro výrobu součásti Konzola.

3.4.2 Použitá měřidla

Měřidla použitá při provádění samokontroly a SPC jsou stejná, jako v případě provádění měření před zavedením nové metodiky statistické regulace procesu. Na všechna měřidla je provedena analýza systému měření s výsledkem způsobilé.

Seznam měřidel a jejich použití je uvedeno v tabulce 3.2. Na obrázku 3.21 jsou poté zobrazena daná měřidla.

Tab. 3.2 Seznam měřidel a jejich použití pro měření charakteristik součásti Konzola.

Měřidlo	Měřicí rozsah	Rozlišitelnost	Kontrolovaná charakteristika
Hloubkoměr	0-300 mm	0,01 mm	11 ±0,1
Třmenový mikrometr	175-200 mm	0,001 mm	∅182 f8
CMM Zeiss Prismo	1200 × 1800 × 1000 mm	0,0001 mm	rovinnost 0,05
			rovnoběžnost 0,1 A



(a) Hloubkoměr.



(b) Třmenový mikrometr.



(c) CMM Zeiss Prismo.

Obr. 3.21 Měřidla použitá k samokontrolě a SPC součásti Konzola.

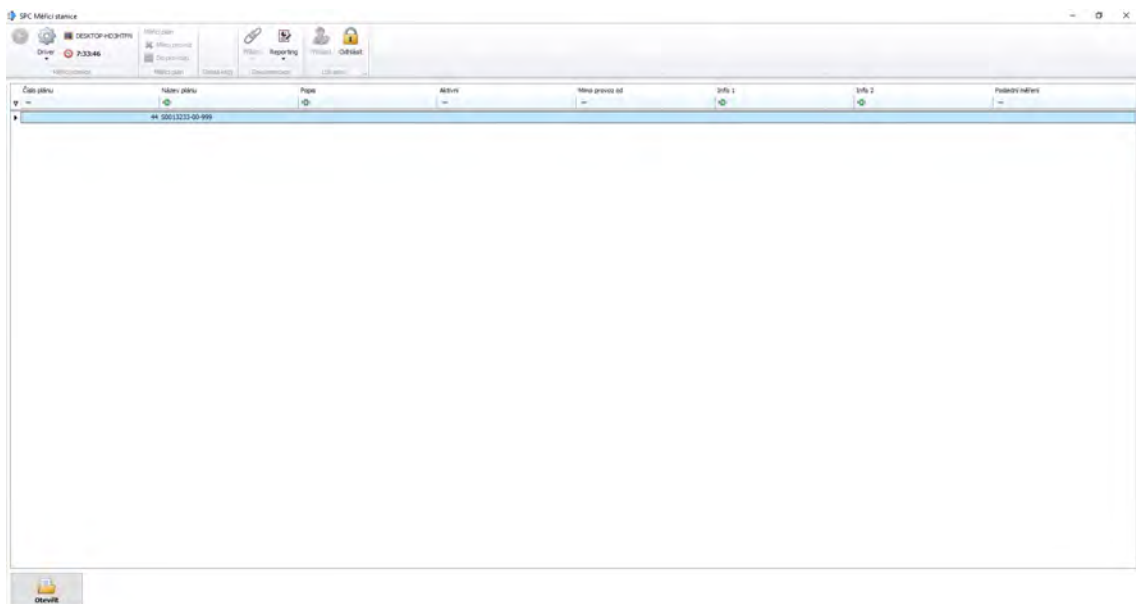
3.4.3 SPC software

Pro zadávání dat v rámci provádění statistické regulace procesu dané součásti je využíváno CAQ software Palstat. Konkrétně se jedná o modul Měřicí stanice. V rámci tohoto modulu je operátor vizuálně upozorněn na povinnost zadání náměrů odebraných vzorků dle přenastaveného měřicího plánu. Vzhledem k nutnosti měření významných charakteristik - rovinnost 0,05 a rovnoběžnost 0,1 A - pomocí CMM zařízení, má k danému měřicímu plánu přístup i technik 3D měření, a to nezávisle na operátorovi výroby.

Každý operátor má poté vlastní přístupové údaje a tak je možné v rámci SPC monitorovat i případný vliv způsobený operátorem. Obsluha modulu Měřicí stanice je popsána vnitropodnikovou směrnicí a tato směrnice je dostupná přímo na pracovišti.

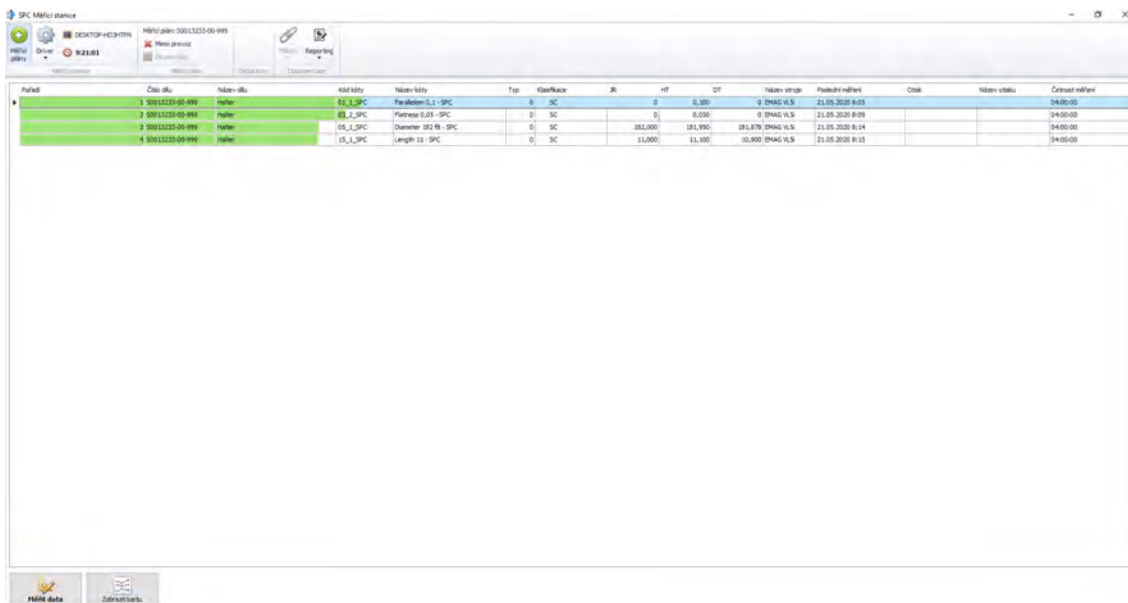
Operátor má přístup ke zmíněnému modulu přímo z prostředí počítačové stanice na pracovišti, viz obrázek 3.22.

hled všech mu přiřazených měřicích plánů - v tomto případě je zde pouze jeden (obrázek 3.24).



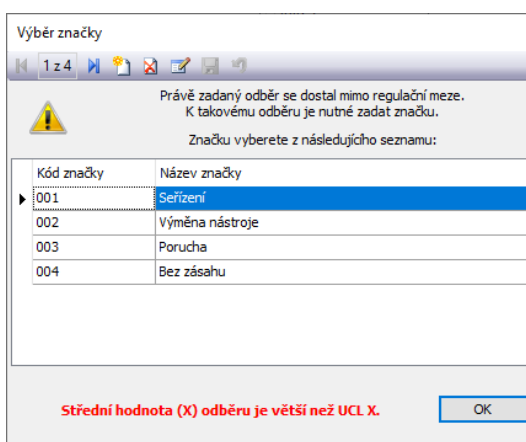
Obr. 3.24 Přehled měřicích plánů přiřazených danému uživateli (operátorovi) v modulu Měřicí stanice.

Po otevření měřicího plánu je dostupná obrazovka se zobrazením jednotlivých kontrolovaných charakteristik s přístupem ke zobrazení aktuálního regulačního diagramu a možností zadání měřených hodnot (obrázek 3.25). Pro jednodušší orientaci v termínech pro provedení měření je zde dostupné také grafické zobrazení časového průběhu od posledního zadání měřených hodnot, viz obrázek 3.25.



Obr. 3.25 Přehled charakteristik přiřazených danému měřicímu plánu včetně zobrazení průběhu měření.

V nastavených intervalech je tak operátor upozorněn na povinnost zadat další data. Upozornění probíhá taktéž i v případě, kdy se měřené hodnoty vyskytnou mimo regulační, resp. toleranční meze. V tomto případě dojde k chybovému hlášení a operátor je vyzván k zadání důvodu vzniku této odchylky (např. seřízení, výměna nástroje apod.). Na základě těchto poznámek je během analýzy dat možné dané body vyřadit z hodnocení tak, aby nedocházelo k ovlivnění způsobilosti procesu stavy, které vznikají předvídatelně, pravidelně a do jisté míry i nezbytně. Příklad chybového hlášení je uveden na obrázku 3.26.



Obr. 3.26 Chybové hlášení po zadání hodnot nacházejících se mimo regulační meze.

Obdobný postup provádí i technik 3D měření při vyhodnocování geometrických tolerancí součástí. Za poskytnutí vzorků pro 3D měření je však zodpovědný operátor výroby, který na základě časového rozvrhu odběru vzorků pro provádění SPC předloží dané vzorky laboratoři 3D měření.

Každý operátor, včetně techniků 3D měření, který se účastní procesu obrábění dané součásti, je proškolen v metodice SPC a obsluhy jak počítačové stanice na pracovišti, tak i používání modulu Měřicí stanice v SW Palstat. Seznámení a pochopení instrukcí obsluha stvrzuje svým podpisem do formuláře přiloženého ke každému konkrétnímu dokumentu.

3.4.4 Sběr dat v rámci nové metodiky SPC

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4.3, četnost odběru vzorků je stanovena na dva kusy každé čtyři hodiny. Tato četnost tedy odpovídá odběru na začátku směny (po uvolnění výroby), v polovině směny a na konci směny. Takto je i zajištěna případná dohledatelnost a identifikovatelnost dílců v případě, kdy by během kontroly pro účely provádění statistické regulace procesu byla zjištěna neshoda a bylo by nezbytné provést třídění potenciálně neshodných produktů.

Data použitá pro hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu po zavedení nové metodiky provádění SPC byla získána v období od 2. 3. 2020 do 14. 5. 2020. Během tohoto časového rozmezí bylo vyrobeno 6029 kusů z toho 12 bylo neshodných. Neshodné kusy byly vyrobeny v rámci seřizování výroby. Toto seřízení bylo prováděno za účelem uvolnění výroby, případně při výměně opotřebovaných nástrojů. Během uvedené výroby bylo odebráno 162 vzorků pro kontrolu v rámci SPC, z nichž vzniklo 81 podskupin.

Na základě zpětné vazby z měření byl proces regulován tak, aby nedocházelo k překročení regulačních, resp. tolerančních mezí a proces byl co nejlépe centrován.

Veškerá získaná data byla na týdenní bázi analyzována a diskutována v rámci pravidelných porad managementu řízení kvality. Na základě výstupů procesu, viz kapitola 3.4.5, nebylo nutné zavádět nápravná opatření, která by zajišťovala stabilnější výstup z procesu obrábění součásti Konzola.

3.4.5 Vyhodnocení dat

Vzhledem k tomu, že v rámci procesu výroby součásti Konzola došlo pouze ke změně přístupu ke četnosti odběru vzorků a ostatní vlivy (systém měření, technologie výroby, technologický postup atd.) zůstaly nezměněny, je i pro novou metodiku provádění SPC předpokladem studie stability procesu provedená v kapitole 3.3.1.

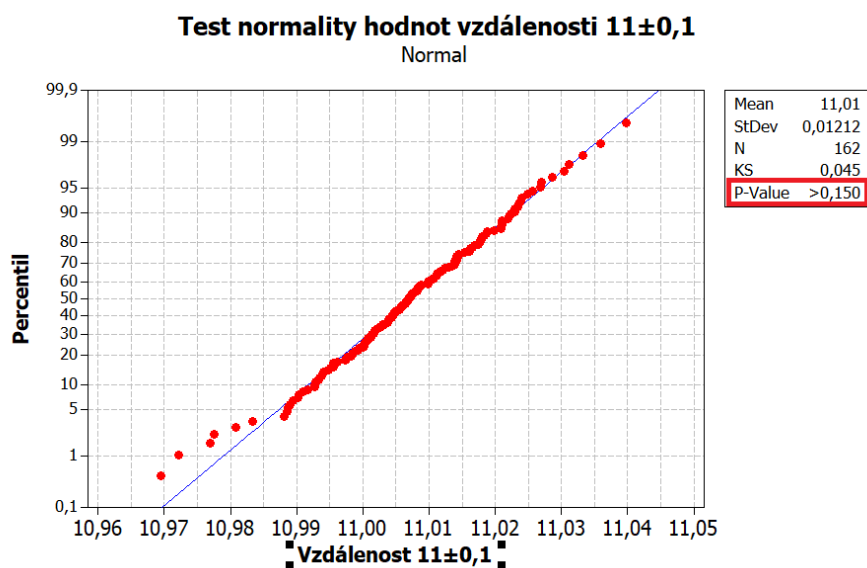
Jak již je uváděno v kapitole 3.3.2, prvním krokem studie způsobilosti a výkonnosti je provést ověření rozdělení sledované charakteristiky. Toto však v případě kontinuálního provádění statistické regulace (alespoň na počátku) není možné. Tudíž je pro každou charakteristiku stanoven předpoklad rozdělení na základě předchozích výsledků. Tento předpoklad byl poté ověřen při týdenních analýzách procesu a případně bylo dané rozdělení upraveno na základě aktuálních výsledků procesu. U každé z charakteristik je uvedeno testování rozdělení získaných hodnot za celé hodnocené období, tj. od 2.

3. 2020 do 14. 5. 2020.

V následujícím textu jsou poté, obdobně jako v kapitole 3.3.2, provedeny studie způsobilosti a výkonnosti procesu pro jednotlivé zvláštní znaky po zavedení nové metodiky SPC.

Vzdálenost 11±0,1

U prvku typu vzdálenost opět předpokládáme normální rozdělení pravděpodobnosti a je tedy proveden test normality Kolmogorov-Smirnov na hladině významnosti 5 %. Výsledky testu normality jsou na obrázku 3.27.



Obr. 3.27 Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro vzdálenost 11±0,1 po zavedení nové metodiky SPC.

P-hodnota je větší než 0,05 a tudíž se nultá hypotéza nezamítá, tj. testovaná data jsou normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu získané z dat měřených v uvedeném období jsou na obrázku 3.28. Kompletní protokol výsledků je poté přiložen jako příloha 6.

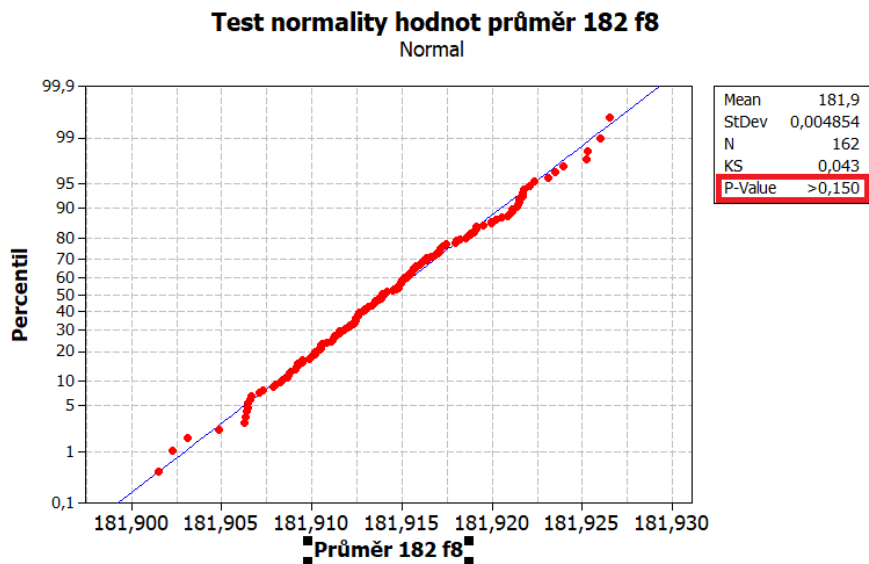
Pp	2,75	Cp	2,73	X:	11,0072	Nad HT:	0	PE:	0
Ppk	2,55	Cpk	2,54	R:	0,0704	Pod DT:	0	Předp. procento chyb:	0
				S:	0,0121				

Obr. 3.28 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro vzdálenost 11±0,1, včetně uvedených základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.

Při pohledu na ukazatele způsobilosti a výkonnosti lze říci, že je proces způsobilý - hodnoty způsobilosti, resp. výkonnosti, jsou větší než 1,67, resp. 1,33. Podrobné srovnání výsledků před zavedením nové metodiky pro provádění SPC a po jejím zavedení je uvedeno v kapitole 4.

Průměr 182 f8

U průměru je taktéž očekáváno normální rozdělení pravděpodobnosti, a tudíž je proveden přímo test normality. Na obrázku 3.29 jsou uvedeny výsledky testu normality pro danou charakteristiku.



Obr. 3.29 Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro průměr 182 f8 po zavedení nové metodiky SPC.

Dle výsledku jsou hodnoty dané charakteristiky rozděleny normálně a splňují tak uvedený předpoklad. Výsledky hodnocení způsobilosti a výkonnosti v SW Palstat jsou uvedeny na obrázku 3.30. Celý protokol je přiložen v příloze 7.

Pp 2,46	Cp 2,57	X: 181,914	Nad HT: 0	PE: 0
Ppk 2,44	Cpk 2,55	R: 0,0250	Pod DT: 0	Předp. procento chyb: 0
		S: 0,0049		

Obr. 3.30 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8, včetně uvedených základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.

Jak hodnoty způsobilosti, tak i hodnoty výkonnosti procesu jsou vysoce nad minimálními požadovanými hodnotami. Lze tedy říci, že proces výroby je z hlediska charakteristiky průměr 182 f8 způsobilý.

Rovinnost 0,05

Na základě výsledků z kapitoly 3.3.2 bylo charakteristice rovinnost 0,05 i po zavedení nové metodiky provádění SPC přiřazeno rozdělení logaritmickeo-normální. Již během pravidelných analýz výsledků způsobilosti a výkonnosti procesu však bylo zjištěno, že tomuto rozdělení nová data neodpovídají a vyhodnocování tak bylo prováděno podle rozdělení Weibullova, viz obrázek 3.31.

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	0,630	0,099		
Box-Cox Transformation	0,400	0,359		
Lognormal	3,327	<0,005		
3-Parameter Lognormal	0,623	*	0,000	
Exponential	44,836	<0,003		
2-Parameter Exponential	36,418	<0,010	0,000	
Weibull	0,535	0,186		
3-Parameter Weibull	0,540	0,105	0,665	
Smallest Extreme Value	1,573	<0,010		
Largest Extreme Value	4,561	<0,010		
Gamma	2,055	<0,005		
3-Parameter Gamma	0,920	*	0,000	
Logistic	0,415	>0,250		
Loglogistic	1,345	<0,005		
3-Parameter Loglogistic	0,415	*	0,000	
Johnson Transformation	0,362	0,440		

Obr. 3.31 Výsledky testu dobré shody pro rovinnost 0,05 po zavedení nové metodiky SPC.

Z výsledků je patrně, že nejlépe hodnoty splňují rozdělení logistické (p-hodnota >0,250), toto rozdělení však Palstat nepodporuje. Z tohoto důvodu volíme druhé nejvhodnější rozdělení, a to je Weibullovo (p-hodnota = 0,186).

Na obrázku 3.32 jsou uvedeny ukazatele výkonnosti procesu a základní statistické veličiny pro charakteristiku rovinnost 0,05. Celý protokol hodnocení výkonnosti procesu pro danou charakteristiku je v příloze 8.

Pp	2,19	Cp	X:	0,0198	Nad HT:	0	PE:
Ppk	1,53	Cpk	R:	0,0214	Pod DT:	0	Předp. procento chyb: 0
			S:	0,0038			

Obr. 3.32 Ukazatele výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05, včetně základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.

Ukazatel výkonnosti procesu splňuje požadavek na minimální hodnotu (1,33) a proces lze tudíž považovat za způsobilý.

Rovnoběžnost 0,1 A

Pro rovnoběžnost 0,1 se základnou A bylo jako předpoklad na základě předchozích výsledků zvoleno rozdělení logaritmicke-normální. Během analýzy poté bylo zjištěno, že nová data taktéž odpovídají zmíněnému rozdělení (p-hodnota = 0,656), viz obrázek 3.33.

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT P
Normal	0,706	0,064	
Box-Cox Transformation	0,275	0,656	
Lognormal	0,275	0,656	
3-Parameter Lognormal	0,242	*	0,669
Exponential	47,622	<0,003	
2-Parameter Exponential	22,035	<0,010	0,000
Weibull	2,004	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,491	0,200	0,000
Smallest Extreme Value	5,591	<0,010	
Largest Extreme Value	0,752	0,049	
Gamma	0,253	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,253	*	0,518
Logistic	0,501	0,167	
Loglogistic	0,306	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,298	*	0,852
Johnson Transformation	0,227	0,812	

Obr. 3.33 Výsledky testu dobré shody pro rovnoběžnost 0,1 A po zavedení nové metodiky SPC.

Výsledky hodnocení výkonnosti procesu pro charakteristiku rovnoběžnost 0,1 A jsou na obrázku 3.34. Kompletní protokol je v příloze 9.

Pp 2,77	Cp	X: 0,0299	Nad HT: 0	PE:
Ppk 2,56	Cpk	R: 0,0353	Pod DT: 0	Předp. procento chyb: 0
		S: 0,0063		

Obr. 3.34 Ukazatele výkonnosti procesu pro rovnoběžnost 0,1 A, včetně základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.

Na základě uvedených hodnot ukazatelů výkonnosti pro charakteristiku rovnoběžnost 0,1 A je proces způsobilý.

Výsledky výkonnosti a způsobilosti procesu po zavedení nové metodiky provádění SPC pro všechny sledované charakteristiky jsou vyhovující. Konkrétní ukazatele dosahují alespoň minimálních hodnot a proces tak lze označit za způsobilý. Pouze na základě těchto ukazatelů a statistických veličin získaných z daných výběrů vzorků však nelze rozhodnout o tom, zda došlo ke zlepšení celkového výstupu procesu. Ověření vlivu nové metodiky provádění statistické regulace procesu je provedeno v následující kapitole.

4 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V tabulce 4.1 je uveden souhrn ukazatelů výkonnosti a způsobilosti procesu a základních statistických veličin (průměr podskupin, rozptyl, směrodatná odchylka) pro proces před zavedením nové metodiky SPC. V tabulce 4.2 jsou poté uvedeny ty samé charakteristiky, pouze pro proces po zavedení nové metodiky provádění SPC.

Tab. 4.1 Ukazatele výkonnosti a způsobilosti procesu a základní statistické veličiny pro proces před zavedením nové metodiky statistické regulace procesu.

	X	R	S	C _p	C _{pk}	P _p	P _{pk}
vzdálenost 11±0,1	11,024	0,060	0,012	2,95	2,26	2,70	2,07
průměr 182 f8	181,903	0,031	0,005	2,49	1,71	2,23	1,54
rovinnost 0,05	0,015	0,038	0,005	-	-	1,75	1,74
rovnoběžnost 0,1 A	0,032	0,073	0,010	-	-	1,47	1,42

Tab. 4.2 Ukazatele výkonnosti a způsobilosti procesu a základní statistické veličiny pro proces po zavedení nové metodiky statistické regulace procesu.

	X	R	S	C _p	C _{pk}	P _p	P _{pk}
vzdálenost 11±0,1	11,007	0,070	0,012	2,73	2,54	2,75	2,55
průměr 182 f8	181,914	0,025	0,005	2,57	2,55	2,46	2,44
rovinnost 0,05	0,020	0,021	0,004	-	-	2,19	1,53
rovnoběžnost 0,1 A	0,030	0,035	0,006	-	-	2,77	2,56

Pouhé porovnání jednotlivých hodnot v uvedených tabulkách může poskytnou jistý pohled na zlepšení, resp. zhoršení výstupu procesu, avšak nelze o případném posunu procesu rozhodnout jednoznačně. Zároveň je třeba ověřit změny z hlediska několika ukazatelů tak, aby bylo možné říci, jak se proces chová po změně metodiky provádění SPC. Posuzování procesu na základě pouze jednoho z ukazatelů či charakteristik, může vést k mylným závěrům.

V této kapitole je provedena vzájemná analýza obou stavů, tj. stavu před zavedením nové metodiky a stavu po zavedení nové metodiky provádění SPC. Analýza je provedena formou testování hypotéz o shodnosti průměrů a rozptylů jednotlivých výběrů dat. Zároveň je provedena analýza konkrétních ukazatelů výkonnosti a způsobilosti procesu a interpretace výsledných hodnot.

Vzhledem k tomu, že v rámci jednotlivých analýz měřených hodnot (před a po zavedení nové metodiky SPC) byly odebrány různé rozsahy vzorků, je třeba stanovit, které

hodnoty budou při statistickém porovnání daných výběrů použity. V rámci této kapitoly jsou tedy použity všechny hodnoty měřené po zavedení nové metodiky, tj. 162 náměrů. K těmto hodnotám je poté porovnáno posledních 162 náměrů z měření prováděného před zavedením nové metodiky SPC.

4.1 Statistické hodnocení

Statistické hodnocení vlivu zavedení nové metodiky provádění SPC na výstup procesu je prováděno pomocí testů nulté hypotézy:

Zavedení nové metodiky provádění SPC v podniku nemá vliv na variabilitu výstupu dané charakteristiky.

pro rozptyl a

Zavedení nové metodiky provádění SPC v podniku nemá vliv na polohu výstupu dané charakteristiky.

pro průměr jednotlivých výběrů.

Dle konkrétní charakteristiky musí být zvolen i konkrétní test. Jednotlivé testy se mohou mezi posuzovanými charakteristikami lišit. Vzhledem k tomu, že je posuzována poloha a variabilita, je vhodné použít následující testy hypotéz:

- dvouvýběrový t-test pro hodnoty splňující předpoklad normálního rozdělení pravděpodobnosti,
- Mann-Whitney test pro hodnoty, u nichž nelze předpokládat normální rozdělení pravděpodobnosti a
- test shodnosti rozptylů pro posouzení variability jednotlivých výběrů - F-test pro normální rozdělení a Levenův test pro data pocházející z nenormálního rozdělení pravděpodobnosti.

Dalším předpokladem pro provedení dvouvýběrového t-testu je posouzení, zda mají jednotlivé výběry dat stejný, či rozdílný rozptyl. Toto je ověřeno pomocí testu shodnosti rozptylů, který je však proveden pro všechny charakteristiky za účelem hodnocení získaných dat. Výsledek tohoto hodnocení je poté použit právě při provádění dvouvýběrového t-testu.

Veškeré testování bylo provedeno s pomocí SW Minitab a na hladině významnosti 5 %.

4.1.1 Test shodnosti rozptylů

Test o shodnosti rozptylů poskytuje informace o variabilitě výstupu z procesu obrábění součásti Konzola před zavedením a po zavedení nové metodiky statistické regulace procesu. Na obrázku 4.2 jsou uvedeny výsledky testů o shodnosti rozptylů pro všechny sledované charakteristiky. U charakteristiky vzdálenost $11 \pm 0,1$, průměr 182 f8 a rovinnost 0,05 je p-hodnota testu větší než 0,05 - nezamítá se nulová hypotéza, tudíž je rozdíl mezi rozptylem před a po zavedení nové metodiky SPC statisticky nevýznamný. Lze tedy říci, že proces dosahuje z hlediska variability (zmíněných charakteristik) svého potenciálu a další zlepšování v této oblasti by již zřejmě vedlo k výrazným zásahům do procesu a odpovídající finanční zátěži.

U charakteristiky rovnoběžnost 0,1 A je p-hodnota naopak menší než 0,05. Ve variabilitě výstupu před zavedením a po zavedení nové metodiky SPC této charakteristiky tedy existuje statisticky významný rozdíl. Z tohoto důvodu byl proveden výpočet rozptylu pro oba z porovnávaných výběrů. Výsledky jsou na obrázku 4.1.

Test and CI for One Variance: Rovnoběžnost 0,1 A - po; Rovnoběžnost 0,1 A - pře

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Rovnoběžnost 0,1 A - po	162	0,00627	0,000039
Rovnoběžnost 0,1 A - pře	162	0,0104	0,000109

Obr. 4.1 Hodnoty rozptylu pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.

Z výsledků je patrné, že došlo k výraznému zlepšení (snížení) variability v případě hodnot po zavedení nové metodiky SPC. Jedná se tudíž o vliv, který má pozitivní dopad na výstup procesu. Je vhodné proces dále monitorovat a analyzovat, zda se jedná o trvalý vliv, případně odhalit změnu, která tento posun zapříčinila a následně ji trvale implementovat do procesu obrábění. Tato analýza však není součástí této práce.

**Test and CI for Two Variances: Vzdálenost 11±0,1 - před;
Vzdálenost 11±0,1 - po**

Tests

Method	DF1	DF2	Test	
			Statistic	P-Value
F Test (normal)	161	161	0,97	0,867
Levene's Test (any continuous)	1	322	0,07	0,789

(a) Test shodnosti rozptylů pro vzdálenost 11±0,1.

**Test and CI for Two Variances: Průměr 182 f8 - před;
Průměr 182 f8 - po**

Tests

Method	DF1	DF2	Test	
			Statistic	P-Value
F Test (normal)	161	161	1,01	0,961
Levene's Test (any continuous)	1	322	0,01	0,916

(b) Test shodnosti rozptylů pro průměr 182 f8.

**Test and CI for Two Variances: Rovinnost 0,05 - před;
Rovinnost 0,05 - po**

Tests

Method	DF1	DF2	Test	
			Statistic	P-Value
F Test (normal)	161	161	1,00	0,999
Levene's Test (any continuous)	1	322	0,04	0,851

(c) Test shodnosti rozptylů pro rovinnost 0,05.

**Test and CI for Two Variances: Rovnoběžnost 0,1;
Rovnoběžnost 0,1**

Tests

Method	DF1	DF2	Test	
			Statistic	P-Value
F Test (normal)	161	161	2,77	0,000
Levene's Test (any continuous)	1	322	27,69	0,000

(d) Test shodnosti rozptylů pro rovnoběžnost 0,1 A.

Obr. 4.2 Test shodnosti rozptylů sledovaných charakteristik před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.

Po porovnání změny výstupu procesu z pohledu variability jednotlivých výběrů a zároveň splnění jedné z podmínek dvouvýběrového t-testu, je možné přejít k analýze posunu výstupu procesu z hlediska jeho polohy. Tato analýza je provedena v následující kapitole.

4.1.2 Hodnocení změny polohy procesu

Poloha procesu má, stejně jako variabilita procesu, významný vliv na hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu. Pro testování hypotéz hodnotících polohu procesu před zavedení a po zavedení nové metodiky provádění SPC byly použity dva testy, a to dvouvýběrový t-test pro charakteristiku vzdálenost $11 \pm 0,1$ a průměr 182 f8 a Mann-Whitney test pro charakteristiku rovinnost 0,05 a rovnoběžnost 0,1 A.

Vzdálenost $11 \pm 0,1$

Jak již bylo zmíněno, nulová hypotéza o rovnosti průměrů jednotlivých výběrů dat pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ je ověřena pomocí dvouvýběrového t-testu. Při provádění testování je třeba vzít v potaz rovnost rozptylů, která byla prokázána v předcházející kapitole. Výsledky testu jsou uvedeny na obrázku 4.3.

Two-Sample T-Test and CI: Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - před; Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - po

Two-sample T for Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - před vs Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - po

	N	Mean	StDev	SE Mean
Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - před	162	11,0238	0,0120	0,00094
Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - po	162	11,0072	0,0121	0,00095

Difference = mu (Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - před) - mu (Vzdálenost $11 \pm 0,1$ - po)
 Estimate for difference: 0,01665
 95% CI for difference: (0,01402; 0,01928)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 12,44 P-Value = 0,000 DF = 322
 Both use Pooled StDev = 0,0120

Obr. 4.3 Výsledky dvouvýběrového t-testu vzdálenosti $11 \pm 0,1$ pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.

Výsledná p-hodnota je rovna 0,000, což je menší než 0,05 a tudíž lze říci, že rozdíl v poloze jednotlivých výběrů - před a po zavedení nové metodiky SPC - je statisticky významný. Při pohledu na konkrétní hodnoty průměru pro výběr před zavedením ($\bar{X}_0 = 11,0238$) a po zavedení nové metodiky ($\bar{X}_1 = 11,0072$) je patrné, že došlo k posunu výstupu procesu blíže ke středu tolerančního pole sledované charakteristiky (11 mm).

Z výše uvedeného plyne, že zavedení nové metodiky SPC v podniku mělo pozitivní vliv na zlepšení polohy výstupu procesu pro charakteristiku vzdálenost $11 \pm 0,1$.

Průměr 182 f8

Stejně jako v případě vzdálenosti $11 \pm 0,1$, tak i u průměru 182 f8 je provedeno testování nulové hypotézy pomocí dvouvýběrového t-testu při uvažování shodného rozptylu. Výsledky jsou uvedeny na obrázku 4.4.

Two-Sample T-Test and CI: Průměr 182 f8 - před; Průměr 182 f8 - po

Two-sample T for Průměr 182 f8 - před vs Průměr 182 f8 - po

	N	Mean	StDev	SE Mean
Průměr 182 f8 - před	162	181,90241	0,00487	0,00038
Průměr 182 f8 - po	162	181,91427	0,00485	0,00038

Difference = mu (Průměr 182 f8 - před) - mu (Průměr 182 f8 - po)

Estimate for difference: -0,011855

95% CI for difference: (-0,012918; -0,010792)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -21,94 P-Value = 0,000 DF = 322

Both use Pooled StDev = 0,0049

Obr. 4.4 Výsledky dvouvýběrového t-testu průměru 182 f8 pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.

P-hodnota testu je rovna 0,000 - zamítá se nulová hypotéza a rozdíl v poloze sledované charakteristiky je statisticky významný. Při porovnání posuzovaných průměrů ($\bar{X}_0 = 181,90241$ a $\bar{X}_1 = 181,91427$) je zřejmé, že zavedením nové metodiky a jejím prováděním došlo k posunu výstupu procesu dané charakteristiky směrem ke středu tolerančního pole (181,914 mm). U této charakteristiky došlo k takovému zlepšení polohy procesu, že dosáhlo svého potenciálu a je tedy vhodné pokračovat za stejných podmínek, jako při kterých bylo hodnocení po zavedení nové metodiky prováděno.

Z hlediska průměru 182 f8 tudíž, stejně jako v případě vzdálenosti $11 \pm 0,1$, došlo ke zlepšení polohy výstupu procesu v důsledku zavedení nové metodiky provádění SPC.

Rovinnost 0,05

Pro hodnocení rovinnosti 0,05, vzhledem k nenormálnímu rozdělení analyzovaných dat, je použit neparametrický Mann-Whitney test, jenž je obdobou dvouvýběrového t-testu pro nenormálně rozdělená data. Výsledky testování jsou uvedeny na obrázku 4.5.

Mann-Whitney Test and CI: Rovinnost 0,05 - před; Rovinnost 0,05 - po

	N	Median
Rovinnost 0,05 - před	162	0,01441
Rovinnost 0,05 - po	162	0,01925

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,00480

95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,00570; -0,00384)

W = 19192,0

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0000

Obr. 4.5 Výsledky Mann-Whitney testu rovinnosti 0,05 pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.

P-hodnota Mann-Whitney testu je rovna 0,000 a tudíž lze říci, že rozdíl v poloze zkoumaných výběrů je statisticky významný. Mann-Whitney test vyhodnocuje místo průměru sledovaných souborů dat jejich medián. Proto, jestliže je poloha procesu posuzována z hlediska průměru, je třeba porovnávat hodnoty z tabulek 4.1 a 4.2. V tomto

případě, je však průměr před zavedením $\bar{X}_0 = 0,015$ blíže požadované hodnotě (0 mm), než průměr hodnot po zavedení nové metodiky SPC $\bar{X}_1 = 0,020$. Z toho plyne, že u výstupu procesu v rámci charakteristiky rovinnost 0,05 po zavedení nové metodiky došlo ke zhoršení. Z pohledu výkonnosti procesu se toto zhoršení projeví zhoršením ukazatele výkonnosti P_{pk} , viz kapitola 4.2. Na základě tohoto zjištění je vhodné provést analýzu z hlediska vlivů, které toto zhoršení mohly zapříčinit a tyto vlivy eliminovat.

Rovnoběžnost 0,1 A

Vzhledem k prokázanému nenormálnímu rozdělení hodnot rovnoběžnosti 0,1 A je, stejně jako v případě rovinnosti 0,05 k testování hypotézy o rovnosti průměrů jednotlivých výběrů použit Mann-Whitney test. Na obrázku 4.6 jsou poté uvedeny výsledky tohoto testování.

Mann-Whitney Test and CI: Rovnoběžnost 0,1 A - před; Rovnoběžnost 0,1 A - po

	N	Median
Rovnoběžnost 0,1 A - před	162	0,03024
Rovnoběžnost 0,1 A - po	162	0,02906

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,00123
 95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,00071;0,00305)
 W = 27379,0
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,2114

Obr. 4.6 Výsledky Mann-Whitney testu rovnoběžnosti 0,1 A pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.

Testování s výsledkem p-hodnoty 0,2114 říká, že rozdíl v poloze výstupu procesu pro charakteristiku rovnoběžnost 0,1 A není statisticky významný, tj. zavedení nové metodiky provádění SPC nemělo významný vliv na zlepšení, resp. zhoršení výstupu procesu z hlediska polohy sledované charakteristiky. Je tedy možné předpokládat, že výstup procesu je pro tuto charakteristiku na svém potenciálu. Vzhledem k tomu, že je obrobek upínán na ploše, která je předlisována, a tudíž je do procesu vnášena variabilita procesu výroby polotovaru, se tento předpoklad jeví jako reálný. S přihlédnutím k ukazatelům výkonnosti procesu (kapitola 4.2) tak není zásah do procesu s cílem zlepšení polohy analyzované charakteristiky nutný.

4.2 Hodnocení ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu

Na základě výsledků porovnání variability a polohy výstupu procesu je možné rozhodnout o tom, zda došlo k významné změně v procesu. Zmíněná analýza samotná však neumožňuje posoudit, jaký vliv má dané zlepšení, resp. zhoršení, výstupu na hodnocení způsobilosti a výkonnosti konkrétního procesu. Ze znalosti statistických veličin obou výběrů je sice možné vyvodit jisté závěry, avšak pouze zmíněné ukazatele s jistotou informují o stavu procesu z hlediska jeho způsobilosti a výkonnosti. V následujícím textu jsou tyto ukazatel analyzovány pro jednotlivé charakteristiky.

Vzdálenost $11 \pm 0,1$

Porovnání ukazatelů způsobilosti a výkonnosti před a po zavedení nové metodiky provádění SPC je v tabulce 4.3. Hodnoty jsou převzaty z tabulky 4.1 a 4.2 a pro přehlednost jsou uvedeny pouze v jedné tabulce.

Tab. 4.3 Hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku vzdálenost $11 \pm 0,1$.

	před zavedením nové metodiky SPC	po zavedení nové metodiky SPC
C_p	2,95	2,73
C_{pk}	2,26	2,54
P_p	2,70	2,75
P_{pk}	2,07	2,55

Na první pohled je patrné, že došlo ke značnému zlepšení všech ukazatelů vyjma ukazatele způsobilosti C_p , jehož hodnota se naopak snížila. Toto je dáno tím, že tento ukazatel posuzuje proces pouze z hlediska variability, která se však mezi stavem před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC významně neliší, avšak mírně na proces působí stále. Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu hodnotící jak jeho variabilitu, tak i polohu se zvýšili, což odpovídá výsledkům statistického hodnocení z kapitoly 4.1.

Průměr 182 f8

V tabulce 4.4 je zobrazeno shrnutí ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8.

Tab. 4.4 Hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku průměr 182 f8.

	před zavedením nové metodiky SPC	po zavedení nové metodiky SPC
C_p	2,49	2,57
C_{pk}	1,71	2,55
P_p	2,23	2,46
P_{pk}	1,54	2,44

Stejně jako v případě vzdálenosti $11 \pm 0,1$, došlo po zavedení nové metodiky SPC k významnému zlepšení jak způsobilosti, tak i výkonnosti procesu, a to především pro ukazatele uvažující polohu procesu. Toto souhlasí se statistickými výsledky, kdy u variability procesu nebyla prokázána významná změna, avšak poloha procesu dosáhla

svého potenciálu. Toto lze vyvodit i z blízkosti hodnot ukazatelů způsobilosti a výkonnosti uvažujících polohu procesu (C_{pk} a P_{pk}) a ukazatelů polohu neuvažujících (C_p a P_p). Jediné další zlepšení procesu je tak možné pouze pomocí snížení variability. Toto však, jak již bylo zmíněno, může být velice náročně nejen technologicky, ale i ekonomicky.

Rovinnost 0,05

Jako v předchozích případech byly hodnoty ukazatelů pro přehlednost vypsány do tabulky 4.5. Pro rovinnost 0,05 jsou však dostupné pouze ukazatele výkonnosti, a to z důvodu nenormálního rozdělení dat.

Tab. 4.5 Hodnoty ukazatelů výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku rovinnost 0,05.

	před zavedením nové metodiky SPC	po zavedení nové metodiky SPC
P_p	1,75	2,19
P_{pk}	1,74	1,53

U ukazatele P_{pk} , který uvažuje jak variabilitu, tak i polohu procesu, došlo k mírnému zhoršení. To je dáno tím, že u této charakteristiky došlo po zavedení nové metodiky provádění SPC ke zhoršení polohy procesu, viz kapitola 4.1.2. Jak již bylo zmíněno v uváděné kapitole, tuto skutečnost je třeba analyzovat a nalézt její příčinu.

I přes toto zhoršení je však proces z pohledu požadavků zákazníka způsobilý.

Rovnoběžnost 0,1 A

Jelikož i charakteristika rovnoběžnost 0,1 A nemá data normálně rozložena, v tabulce 4.6 jsou opět uvedeny pouze ukazatele výkonnosti procesu.

Tab. 4.6 Hodnoty ukazatelů výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku rovnoběžnost 0,1 A.

	před zavedením nové metodiky SPC	po zavedení nové metodiky SPC
P_p	1,47	2,77
P_{pk}	1,42	2,56

Z pohledu procesu došlo k výraznému zlepšení výkonnosti, což opět souhlasí s výsledky statistického hodnocení z kapitoly 4.1, kdy sice nedošlo ke zlepšení polohy procesu, ale bylo potvrzeno významné snížení variability procesu obrábění součásti pro tuto charakteristiku.

Způsobilst procesů je třeba hodnotit jako celek, tzn. vycházet jak ze statistického hodnocení souborů dat, tak využívat i ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu. V případě analyzovaného procesu došlo, až na výjimku u charakteristiky rovinnost 0,05, k významnému zlepšení výstupu procesu, a to ať již vlivem zlepšení polohy (vzdálenost $11 \pm 0,1$ a průměr 182 f8) nebo vlivem snížení variability výstupu (rovnoběžnost 0,1 A). I přes mírné zhoršení u rovinnosti 0,05 je však u všech sledovaných charakteristik výsledek z pohledu zákazníka způsobilý.

Na základě výsledků je poté vidět především velký pokrok u charakteristik, které je operátor schopen regulovat pomocí programových korekcí, tj. charakteristika vzdálenosti $11 \pm 0,1$ a průměru 182 f8. U těchto prvků došlo k úspěšné regulaci, kdy se průměr měřených hodnot posunul do polohy velmi blízké cílovým hodnotám - středům tolerančního pole daných charakteristik. Zbývající dvě charakteristiky - rovinnost 0,05 a rovnoběžnost 0,1 A - je obtížné regulovat, a to především z toho důvodu, že jejich výstup je významně vázán na variabilitu polotovaru a materiál tohoto polotovaru. Tudíž je možnost regulace těchto charakteristik (i přestože probíhá) značně omezená.

ZÁVĚR

Cílem této závěrečné práce bylo zavést statistickou regulaci procesu pro proces třískového obrábění konkrétní součásti ve zvoleném podniku a zhodnotit vliv nové metodiky ve srovnání s původním stavem provádění statistické regulace procesu.

V kapitole 1 je popsáno rozdělení podniku na konkrétní strategické obchodní jednotky a rozebrána charakteristika podniku z hlediska produktového a zákaznického portfolia.

Kapitola 2 obsahuje teoretické poznatky o problematice statistické regulace procesu a využití této statistické metody. Jsou zde uvedeny základní veličiny a ukazatele, na základě kterých lze rozhodnout o způsobilosti procesu z hlediska zákazníka. Tato kapitola taktéž obsahuje matematické vzorce, kterou jsou využívány pro výpočet již zmíněných ukazatelů.

Analýza původního stavu, stavu po zavedení nové metodiky provádění statistické regulace procesu a vyhodnocení získaných souborů dat pro oba stavy je provedena v kapitole 3. Na základě této analýzy byly pomocí CAQ software Palstat vygenerovány SPC protokoly pro každou sledovanou charakteristiku dané součásti. Tyto protokoly jsou uvedeny jako přílohy této práce.

V kapitole 4 jsou pomocí testů o shodnosti rozptylů, dvouvýběrových t-testů a Mann-Whitney testů porovnány statistické veličiny získané u obou hodnocených stavů pro každou sledovanou charakteristiku. Na základě zmíněných testů a posouzení ukazatelů výkonnosti a způsobilosti procesu bylo zjištěno, že zavedení nové metodiky provádění statistické regulace procesu má statisticky významný pozitivní vliv na výstupy daného procesu. Významné zlepšení bylo sledováno především u charakteristik, které jsou pro operátora výrobního zařízení snadno regulovatelné - vzdálenost $11 \pm 0,1$ a průměr 182 f8. U těchto charakteristik došlo k posunu polohy procesu k hodnotám velmi blízkým hodnotám požadovaným (11 mm pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ a 181,914 mm pro průměr 182 f8). Takovéto zlepšení polohy procesu lze přisuzovat především grafickému zobrazení měřených hodnot v rámci statistické regulace, které je dostupné operátorovi přímo na pracovišti a proškolení personálu o významu statistické regulace procesu jako celku.

I přes to, že v jednom případě, konkrétně u charakteristiky rovinnost 0,05, došlo ke zhoršení hodnocení způsobilosti procesu, lze při komplexním posouzení změn ve výstupu procesu říci, že zavedení nové metodiky bylo úspěšné a systém provádění statistické regulace procesu tak lze aplikovat i na další výrobní procesy v rámci daného podniku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] 2019 PRODUCTION STATISTICS. *International Organization of Motor Vehicle Manufacturers: OICA is the voice speaking on automotive issues in world forums* [online]. Paris: OICA, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/>
- [2] FONSECA, Luis Miguel a José Pedro DOMINGUES. Reliable and Flexible Quality Management Systems in the Automotive Industry: Monitor the Context and Change Effectively. *Procedia Manufacturing* [online]. 2017, 11, 1200-1206 [cit. 2020-05-12]. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.245. ISSN 23519789. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978917304535>
- [3] O společnosti. *ZLKL: Závody lehkých konstrukcí Loštice* [online]. Loštice: ZLKL, 2011 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/o-spolecnosti>
- [4] Povrchové úpravy. *ZLKL: Závody lehkých konstrukcí Loštice* [online]. Loštice: ZLKL, 2011 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/povrchove-upravy>
- [5] Obrábění. *ZLKL: Závody lehkých konstrukcí Loštice* [online]. Loštice: ZLKL, 2011 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/obrabeni>
- [6] OEMs, Tier 1, 2 & 3 - The Automotive Industry Supply Chain Explained. *Amatech: Custom designed packaging professionals* [online]. Erie: Amatech, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.amatechinc.com/resources/blog/tier-1-2-3-automotive-industry-supply-chain-explained>
- [7] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.
- [8] ŠKULJ, Gašper, Rok VRABIČ, Peter BUTALA a Alojzij SLUGA. Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study. *Procedia CIRP* [online]. 2013, 7, 401-406 [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.006. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827113002758>
- [9] *Statistická regulace procesů (SPC): příručka*. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN isbn80-02-01810-9.
- [10] BARKER, R. L. SPC and Total Quality Management. *Total Quality Management* [online]. 1990, 1(2), 183-196 [cit. 2020-01-06]. DOI: 10.1080/09544129000000023. ISSN 0954-4127. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09544129000000023>

-
- [11] HNÁTEK, Jan, Otakar HRUDKA, Ondřej HYKŠ, Miroslav JEDLIČKA, Miroslav STANĚK, Elena STIBŮRKOVÁ, Marie ŠEBESTOVÁ a Milan TRČKA. *Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001:2016: systémy managementu kvality - Požadavky*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02642-6.
- [12] ZÍDKOVÁ, Helena a František ZVONEČEK. *Jakost - styl života pro třetí tisíciletí*. 2. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2003. ISBN 80-7043-243-8.
- [13] RUNGTUSANATHAM, Manus, John C. ANDERSON a Kevin J. DOOLEY. Conceptualizing organizational implementation and practice of statistical process control. *Journal of Quality Management* [online]. 1997, 2(1), 113-137 [cit. 2020-02-19]. DOI: 10.1016/S1084-8568(97)90024-9. ISSN 10848568. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1084856897900249>
- [14] LEI, Xue a Cameron A. MACKENZIE. Distinguishing between common cause variation and special cause variation in a manufacturing system: A simulation of decision making for different types of variation. *International Journal of Production Economics* [online]. 2020, 220 [cit. 2020-02-25]. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.07.019. ISSN 09255273. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527319302567>
- [15] BALATKA, Sláva a Olga KUTNOHORSKÁ. *Inženýrská statistika pro ekonomy*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014. ISBN 978-80-7080-894-8.
- [16] KROPÁČ, Jiří. *Statistika C: statistická regulace, indexy způsobilosti, řízení zásob, statistické přejímky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2008. ISBN 978-80-214-3591-9.
- [17] BEDNÁŘ, Josef. *Aplikovaná statistika v průmyslu*. Brno, 2012. Dostupné také z: http://www.mat.fme.vutbr.cz/download.aspx?id_file=3236
- [18] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-7043-247-0.
- [19] MOTORCU, Ali a Abdulkadir GÜLLÜ. Elimination of the Quality Problems Encountered in Mass Production by Using Statistical Quality Control. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* [online]. 2003, (23), 83-93 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/761e/68d3e69b45100c2928448b4b1c3bf222a3af.pdf>
- [20] FLOTT, Leslie. What is SPC? In: *Metal Finishing* [online]. 2002, s. 112-114 [cit. 2020-02-19]. DOI: 10.1016/S0026-0576(02)80166-0. ISSN 0026-0576.
-

-
- [21] Data transformations for capability analysis. *Minitab 18 Support* [online]. Pennsylvania: Minitab, LLC., 2019 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/distributions-and-transformations-for-nonnormal-data/data-transformations/>
- [22] FABIAN, František. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01897-1.
- [23] SVOZILOVÁ, Alena. *Projektový management: systémový přístup k řízení projektů*. 3., aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-0075-0.
- [24] FILIP, F C a V MARASCU-KLEIN. The 5S lean method as a tool of industrial management performances. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2015, 95 [cit. 2020-01-06]. DOI: 10.1088/1757-899X/95/1/012127. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/95/i=1/a=012127?key=crossref.e57f5d8b1085344f2a3dc4f142b3b8ac>
- [25] UČEŇ, Pavel. *Zvyšování výkonnosti firmy na bázi potenciálu zlepšení*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2472-0.
- [26] MOTORCU, Ali Rıza a Abdulkadir GÜLLÜ. Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials & Design* [online]. 2006, 27(5), 364-372 [cit. 2020-02-25]. DOI: 10.1016/j.matdes.2004.11.003. ISSN 02613069. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306904002997>
- [27] *Analýza systémů měření: příručka*. Čtvrté vydání. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02326-5.
- [28] Using tests for special causes in control charts. *Minitab Express™ Support* [online]. Pennsylvania: Minitab, LLC., 2019 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/control-charts/supporting-topics/basics/using-tests-for-special-causes/>
- [29] AVAKH DARESTANI, Soroush a Mina NASIRI. Statistical process control. *International Journal of Quality & Reliability Management* [online]. 2016, 33(1), 2-24 [cit. 2020-02-25]. DOI: 10.1108/IJQRM-08-2013-0130. ISSN 0265-671X. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJQRM-08-2013-0130/full/html>
-

- [30] CHEN, Kuen-Suan, Hsi-Tien CHEN a Tsang-Chuan CHANG. The construction and application of Six Sigma quality indices. *International Journal of Production Research* [online]. 2016, 55(8), 2365-2384 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1080/00207543.2016.1246763. ISSN 0020-7543. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2016.1246763>

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1	Tabulka hodnot měření konkrétního znaku zanesených v \bar{X} - R diagramu na obr. 2.7..	32
Tab. 2.2	Přehled možných kritérií pro analýzu regulačního diagramu z hlediska výskytu zvláštních příčin [15, 16, 28].	35
Tab. 2.3	Schéma znázorňující možné stavy procesu z hlediska způsobilosti a statistické regulace [9].	36
Tab. 3.1	Matice odpovědností pro provádění statistické regulace procesu. . . .	45
Tab. 3.2	Seznam měřidel a jejich použití pro měření charakteristik součásti Konzola.	56
Tab. 4.1	Ukazatele výkonnosti a způsobilosti procesu a základní statistické veličiny pro proces před zavedením nové metodiky statistické regulace procesu.	66
Tab. 4.2	Ukazatele výkonnosti a způsobilosti procesu a základní statistické veličiny pro proces po zavedení nové metodiky statistické regulace procesu.	66
Tab. 4.3	Hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku vzdálenost $11 \pm 0,1$	73
Tab. 4.4	Hodnoty ukazatelů způsobilosti a výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku průměr 182 f8.	73
Tab. 4.5	Hodnoty ukazatelů výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku rovinnost 0,05. . . .	74
Tab. 4.6	Hodnoty ukazatelů výkonnosti procesu před zavedením a po zavedení nové metodiky provádění SPC pro charakteristiku rovnoběžnost 0,1 A. . . .	74

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Lakovací linka na středisku divize lisování, svařování a povrchových úprav [4].	10
Obr. 1.2	Kostra elektromotoru [5].	10
Obr. 1.3	Automatizované pracoviště pro výrobu komponenty do spalovacího motoru.	11
Obr. 2.1	Tvorba rozložení z jednotlivých hodnot znaku sledované charakteristiky [9].	13
Obr. 2.2	Nejčastěji používané regulační diagramy pro kvalitativní znaky.	15
Obr. 2.3	Regulační diagram zobrazující jednotlivé hodnoty dané charakteristiky (I-MR), kdy jedna z hodnot leží mimo regulační mez, tj. proces je zřejmě ovlivněn zvláštní příčinou.	17
Obr. 2.4	Zobrazení vybraných nenormálních rozdělení pravděpodobnosti.	24
Obr. 2.5	Ukázka zónového regulačního diagramu s vyznačenými kumulativními hodnotami získaných dat.	26
Obr. 2.6	Příklad možné podoby SPC karty pro záznam měřených hodnot vybrané charakteristiky.	30
Obr. 2.7	Ilustrační \bar{X} -R diagram.	31
Obr. 2.8	Trend iterace v regulačním diagramu.	33
Obr. 3.1	Součást Konzola s vyznačením obráběných ploch.	41
Obr. 3.2	Značení významných charakteristik na výkrese součásti Konzola.	42
Obr. 3.3	Emag VL5i použitý pro výrobu součásti Konzola.	42
Obr. 3.4	Pohled na upínací systém pro obrábění součásti Konzola.	42
Obr. 3.5	Procesní mapa výroby součásti Konzola.	44
Obr. 3.6	Panel pro nastavení testů stability procesu v SW Minitab.	46
Obr. 3.7	Studie stability procesu pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ bez výskytu zvláštní příčiny.	46
Obr. 3.8	Studie stability procesu pro průměr 182 f8 bez výskytu zvláštní příčiny.	47
Obr. 3.9	Studie stability procesu pro rovinnost 0,05 bez výskytu zvláštní příčiny.	48
Obr. 3.10	Studie stability procesu pro rovnoběžnost 0,1 bez výskytu zvláštní příčiny.	48
Obr. 3.11	Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro vzdálenost $11 \pm 0,1$	50
Obr. 3.12	Nastavení kóty vzdálenost $11 \pm 0,1$ pro hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu v SW Palstat.	50

Obr. 3.13	Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro vzdálenost $11\pm 0,1$, včetně uvedených základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.	51
Obr. 3.14	Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro průměr 182 f8. . .	51
Obr. 3.15	Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8, včetně uvedených základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.	52
Obr. 3.16	Výsledky testu dobré shody pro rovinnost 0,05.	52
Obr. 3.17	Ukazatele výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05, včetně základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.	53
Obr. 3.18	Výsledky testu dobré shody pro rovnoběžnost 0,1 A.	54
Obr. 3.19	Ukazatele výkonnosti procesu pro rovnoběžnost 0,1 A, včetně základních statistických veličin před zavedením nové metodiky SPC.	54
Obr. 3.20	Zobrazení pracoviště pro výrobu součásti Konzola.	56
Obr. 3.21	Měřidla použitá k samokontrolě a SPC součásti Konzola.	57
Obr. 3.22	Rozhraní pro výběr modulů Palstat na pracovišti pro výrobu součásti Konzola.	58
Obr. 3.23	Rozhraní pro zadávání měřených hodnot průměru 182 f8 pomocí integrovaného vzorce.	58
Obr. 3.24	Přehled měřicích plánů přiřazených danému uživateli (operátorovi) v modulu Měřicí stanice.	59
Obr. 3.25	Přehled charakteristik přiřazených danému měřicímu plánu včetně zobrazení průběhu měření.	60
Obr. 3.26	Chybové hlášení po zadání hodnot nacházejících se mimo regulační meze.	60
Obr. 3.27	Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro vzdálenost $11\pm 0,1$ po zavedení nové metodiky SPC.	62
Obr. 3.28	Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro vzdálenost $11\pm 0,1$, včetně uvedených základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.	62
Obr. 3.29	Výsledky testu normality Kolmogorov-Smirnov pro průměr 182 f8 po zavedení nové metodiky SPC.	63
Obr. 3.30	Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8, včetně uvedených základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.	63

Obr. 3.31	Výsledky testu dobré shody pro rovinnost 0,05 po zavedení nové metodiky SPC.	64
Obr. 3.32	Ukazatele výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05, včetně základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.	64
Obr. 3.33	Výsledky testu dobré shody pro rovnoběžnost 0,1 A po zavedení nové metodiky SPC.	65
Obr. 3.34	Ukazatele výkonnosti procesu pro rovnoběžnost 0,1 A, včetně základních statistických veličin po zavedení nové metodiky SPC.	65
Obr. 4.1	Hodnoty rozptylu pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.	68
Obr. 4.2	Test shodnosti rozptylů sledovaných charakteristik před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.	69
Obr. 4.3	Výsledky dvouvýběrového t-testu vzdálenosti $11 \pm 0,1$ pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.	70
Obr. 4.4	Výsledky dvouvýběrového t-testu průměru 182 f8 pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.	71
Obr. 4.5	Výsledky Mann-Whitney testu rovinnosti 0,05 pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.	71
Obr. 4.6	Výsledky Mann-Whitney testu rovnoběžnosti 0,1 A pro výběr dat před a po zavedení nové metodiky provádění SPC.	72

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

$\bar{\bar{X}}$	celkový průměr
\bar{c}	průměrný počet neshod v podskupinách
\bar{np}	průměrný počet neshodných jednotek v podskupinách
\bar{p}	průměrný podíl neshodných jednotek v podskupinách
\bar{R}	průměrné rozpětí
\bar{S}	průměrná směrodatná odchylka
\bar{u}	průměrný počet neshod na jednotku v podskupinách
\bar{X}	aritmetický průměr
A_2	součinitel průměr-rozpětí pro výpočet regulačních mezí pro průměry
A_3	součinitel průměr-směrodatná odchylka pro výpočet regulačních mezí pro průměry
B_3	součinitel průměr-směrodatná odchylka pro výpočet dolní regulační meze pro výběrovou směrodatnou odchylku
B_4	součinitel průměr-směrodatná odchylka pro výpočet horní regulační meze pro výběrovou směrodatnou odchylku
D_3	součinitel průměr-rozpětí pro výpočet dolní regulační meze pro výběrové rozpětí
D_4	součinitel průměr-rozpětí pro výpočet horní regulační meze pro výběrové rozpětí
E_2	součinitel průměr-směrodatná odchylka pro výpočet dolní regulační meze pro výběrovou směrodatnou odchylku
c	počet neshod v podskupině
k	počet podskupiny
np	počet neshodných jednotek v podskupinách
n	počet vzorků v podskupině

p	podíl neshodných jednotek v podskupině
R	rozpětí/rozpětí podskupiny
S	směrodatná odchylka
u	počet neshod na jednotku výběru v podskupině
x	individuální hodnota
σ_c	směrodatná odchylka procesu pro způsobilost
σ_p	směrodatná odchylka procesu pro výkonnost
C_p	index způsobilosti procesu neuvažující vliv polohy procesu
C_{pk}	index způsobilosti procesu uvažující vliv polohy procesu
C_{pl}	index způsobilosti procesu jednostranně tolerované charakteristiky typu čím větší, tím lepší
C_{pu}	index způsobilosti procesu jednostranně tolerované charakteristiky typu čím menší, tím lepší
P_p	index výkonnosti procesu neuvažující vliv polohy procesu
P_{pk}	index výkonnosti procesu uvažující vliv polohy procesu
P_{pl}	index výkonnosti procesu jednostranně tolerované charakteristiky typu čím větší, tím lepší
P_{pu}	index výkonnosti procesu jednostranně tolerované charakteristiky typu čím menší, tím lepší

Zkratky

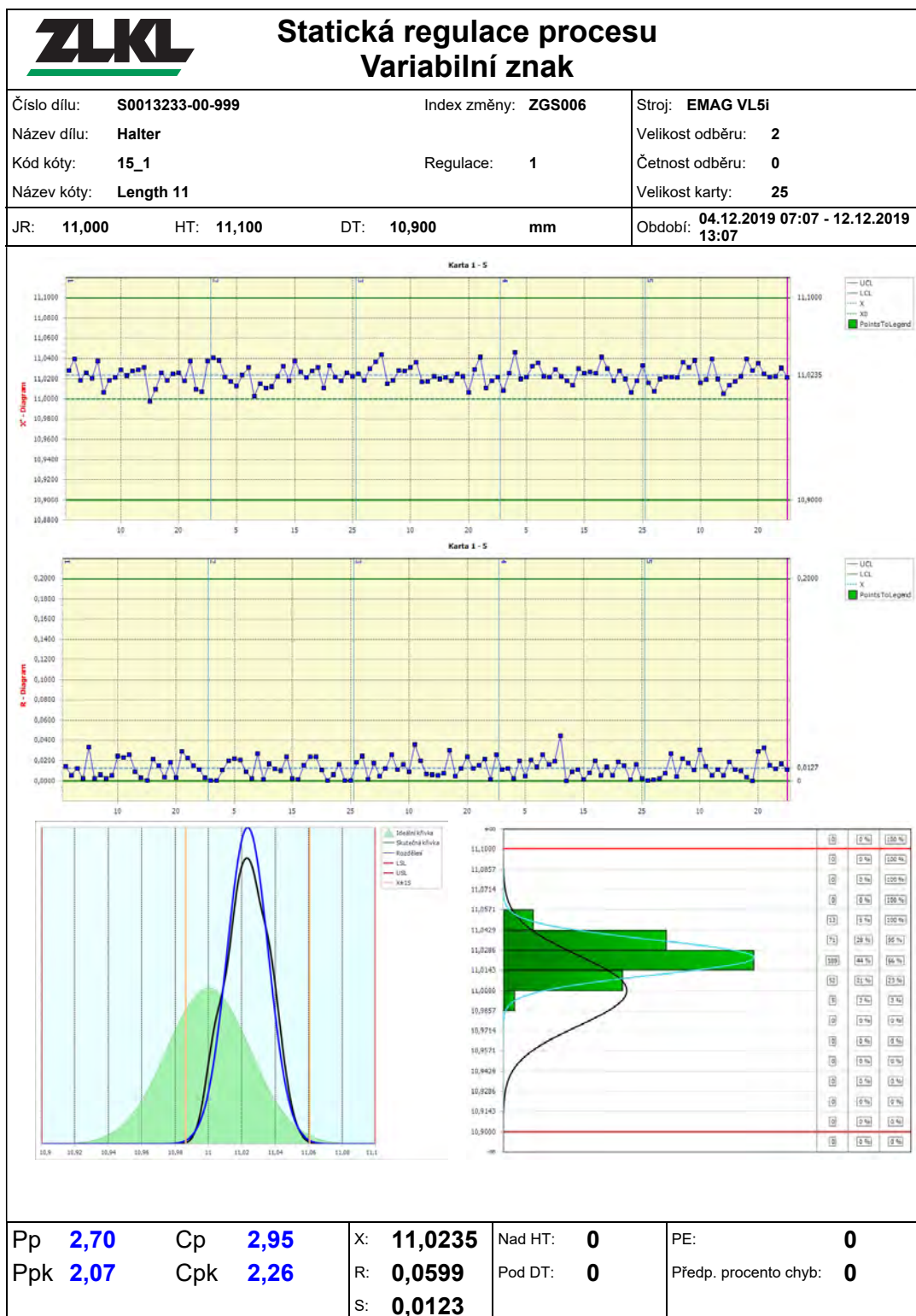
5S	metoda organizace pracoviště s cílem minimalizace plýtvání
B2B	Business to Business
CAQ	Computer Aided Quality; počítačová podpora řízení kvality
CL	Central Line; centrální přímka
CMM	Coordinate Measuring Machine; souřadnicový měřicí stroj
CPL	dolní ukazatel způsobilosti
CPU	horní ukazatel způsobilosti

ERP	Enterprise Resource Planning; plánování podnikových zdrojů
LCL	Lower Control Limit; dolní regulační mez
LSL	Lower Specification Limit; dolní toleranční mez
MR	klouzavé rozpětí
MSA	Measurement System Analysis; analýza systému měření
OEM	Original Equipment Manufacturer
OICA	Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles; Mezinárodní organizace výrobců motorových vozidel
SPC	Statistical Process Control; statistická regulace procesu
TPM	Total Productive Maintenance; komplexní produktivní údržba
TQM	Total Quality Management; komplexní řízení kvality
UCL	Upper Control Limit; horní regulační mez
USL	Upper Specification Limit; horní toleranční mez

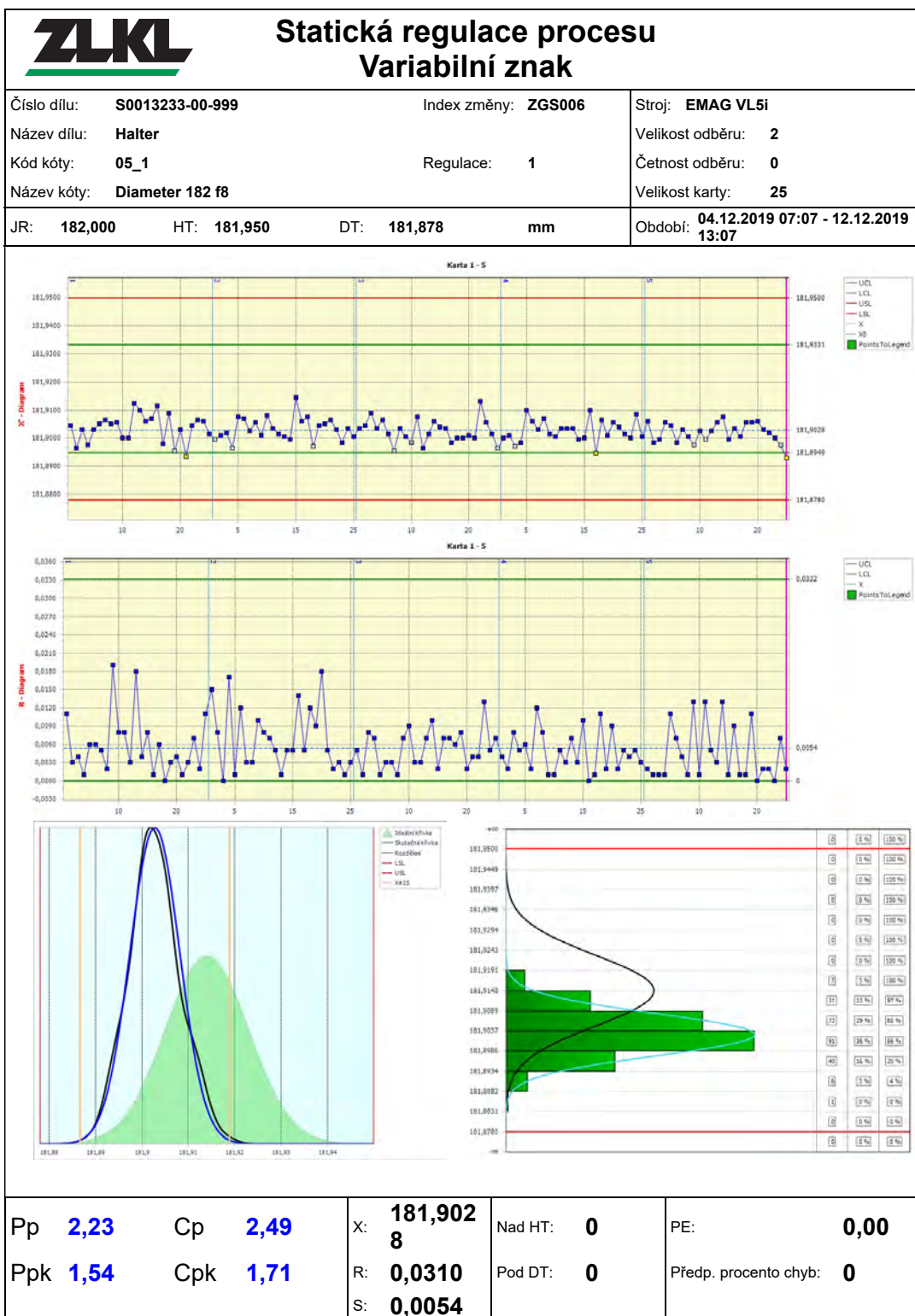
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti Konzola
- Příloha 2 Protokol o způsobilosti a výkonnosti procesu pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ před zavedením nové metodiky SPC
- Příloha 3 Protokol o způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8 před zavedením nové metodiky SPC
- Příloha 4 Protokol o výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05 před zavedením nové metodiky SPC
- Příloha 5 Protokol o výkonnosti procesu pro rovnoběžnost 0,1 A před zavedením nové metodiky SPC
- Příloha 6 Protokol o způsobilosti a výkonnosti procesu pro vzdálenost $11 \pm 0,1$ po zavedení nové metodiky SPC
- Příloha 7 Protokol o způsobilosti a výkonnosti procesu pro průměr 182 f8 po zavedení nové metodiky SPC
- Příloha 8 Protokol o výkonnosti procesu pro rovinnost 0,05 po zavedení nové metodiky SPC
- Příloha 9 Protokol o výkonnosti procesu pro rovnoběžnost 0,1 A po zavedení nové metodiky SPC

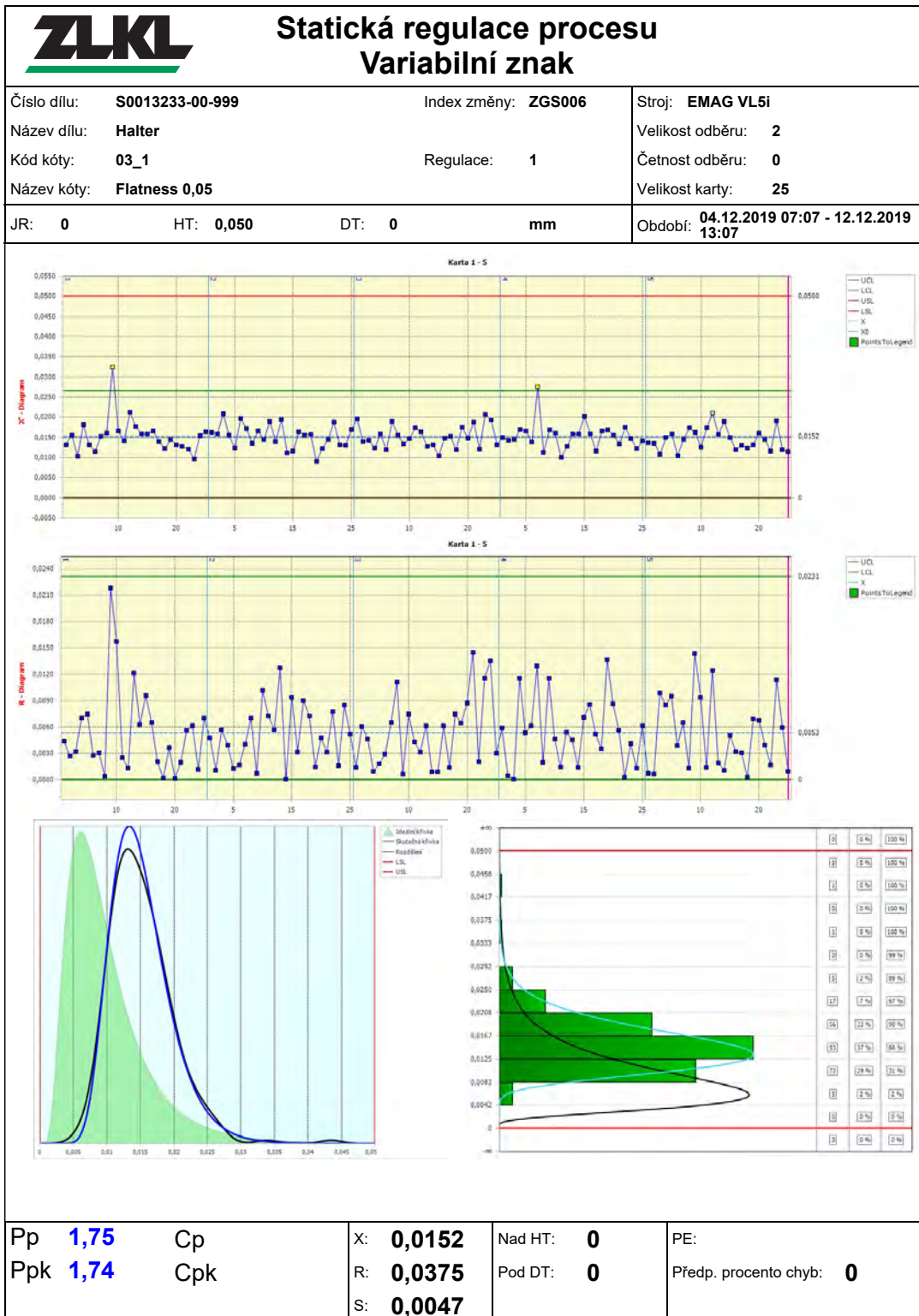
PŘÍLOHA 2



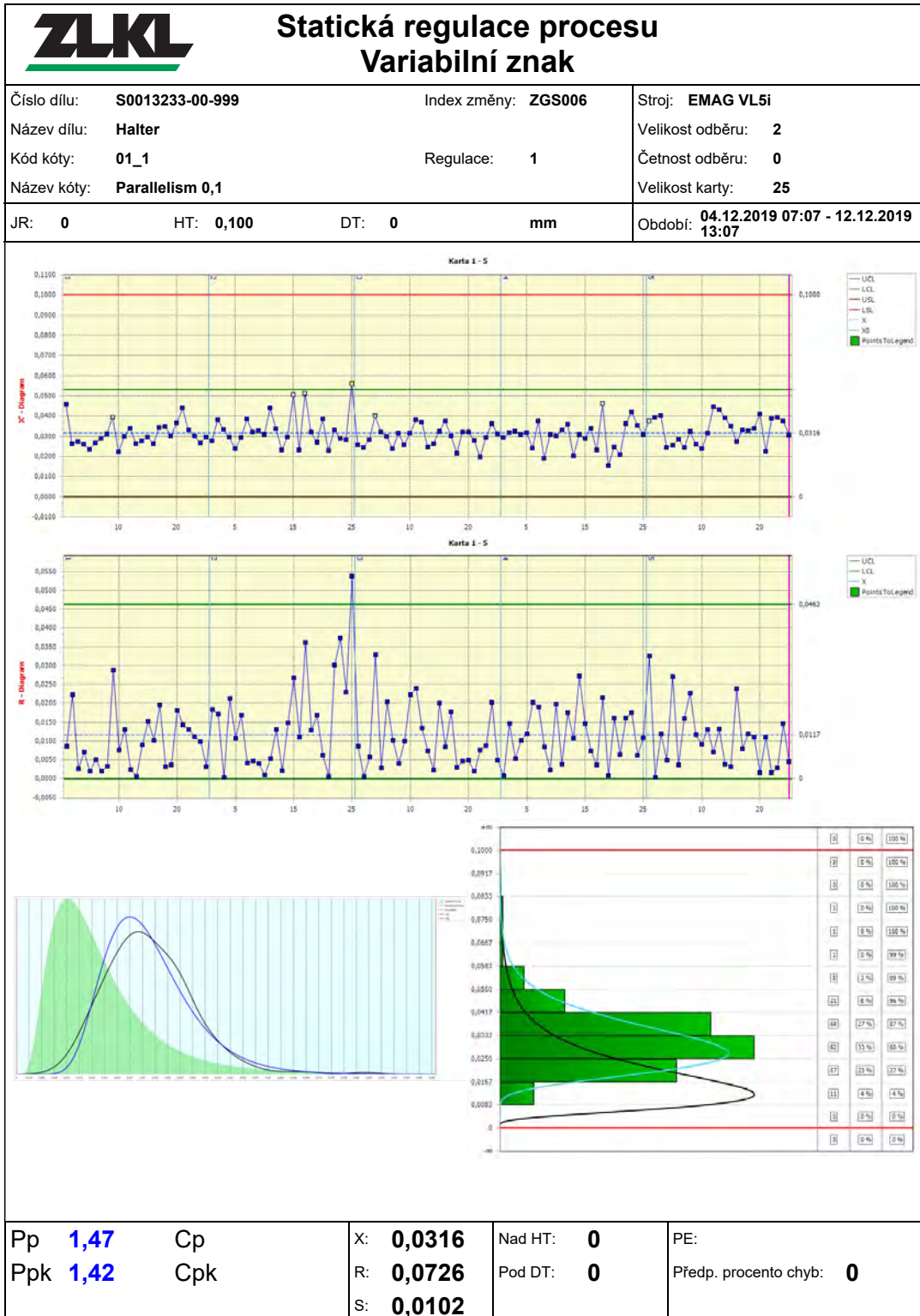
PŘÍLOHA 3



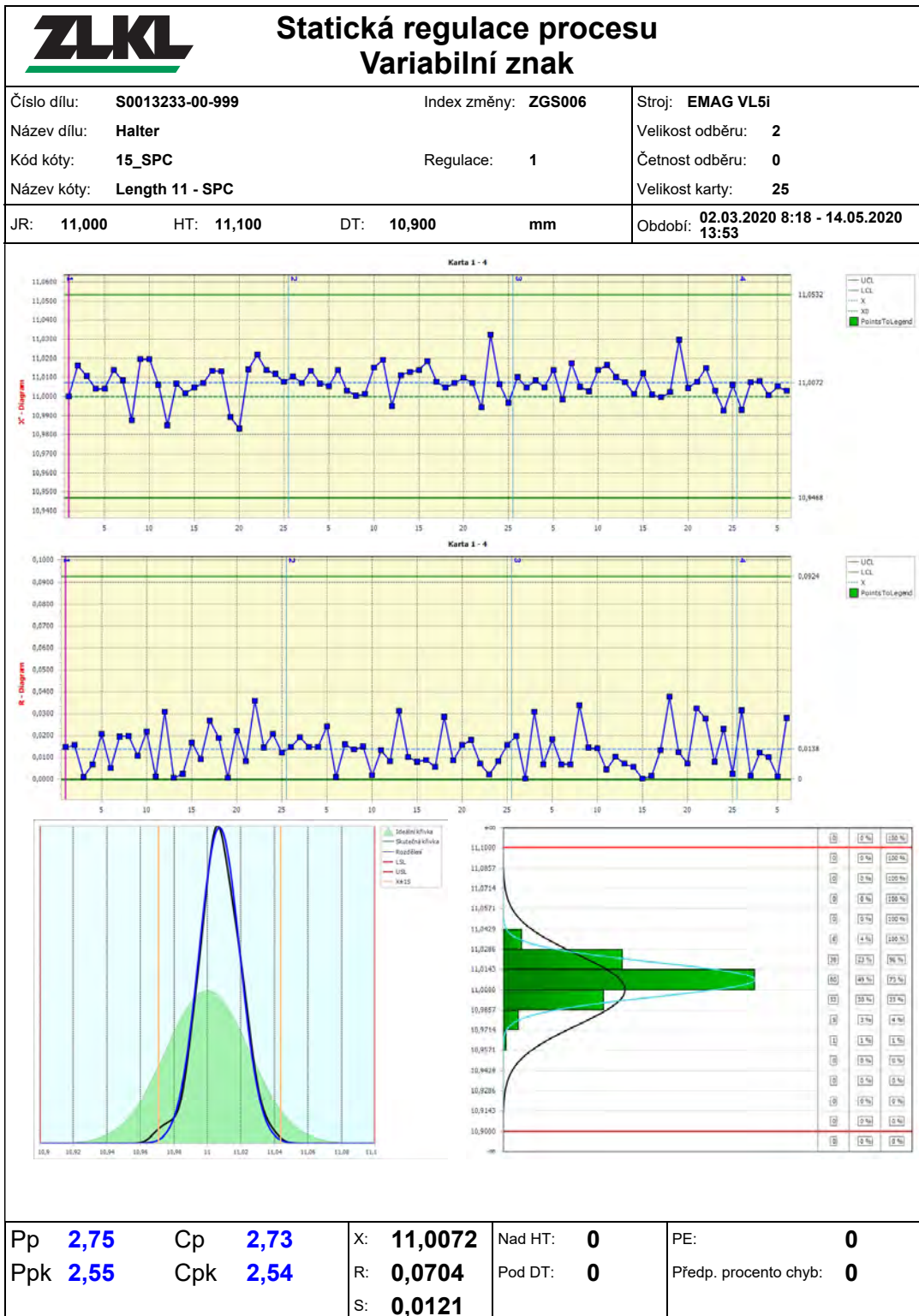
PŘÍLOHA 4



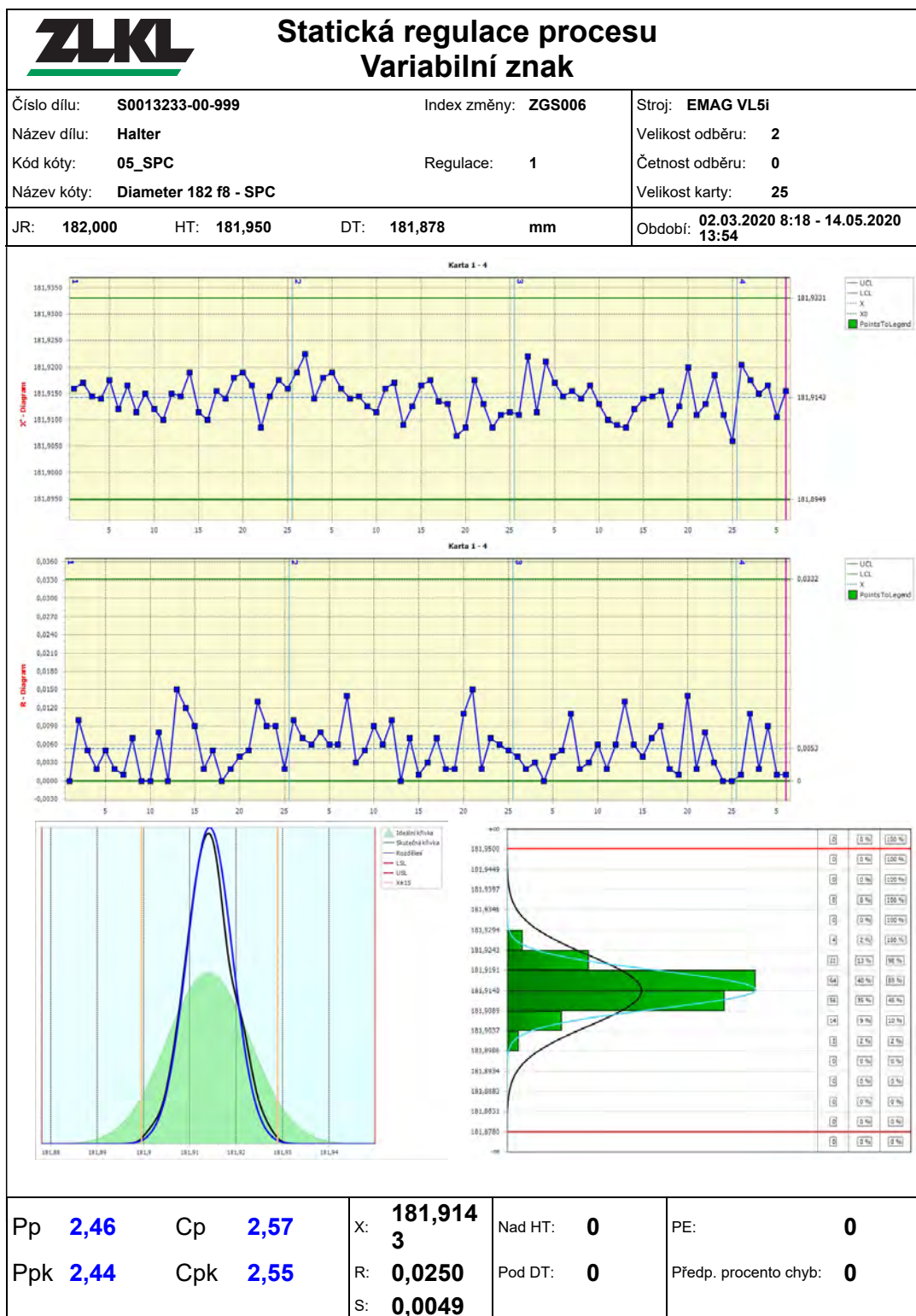
PŘÍLOHA 5



PŘÍLOHA 6



PŘÍLOHA 7

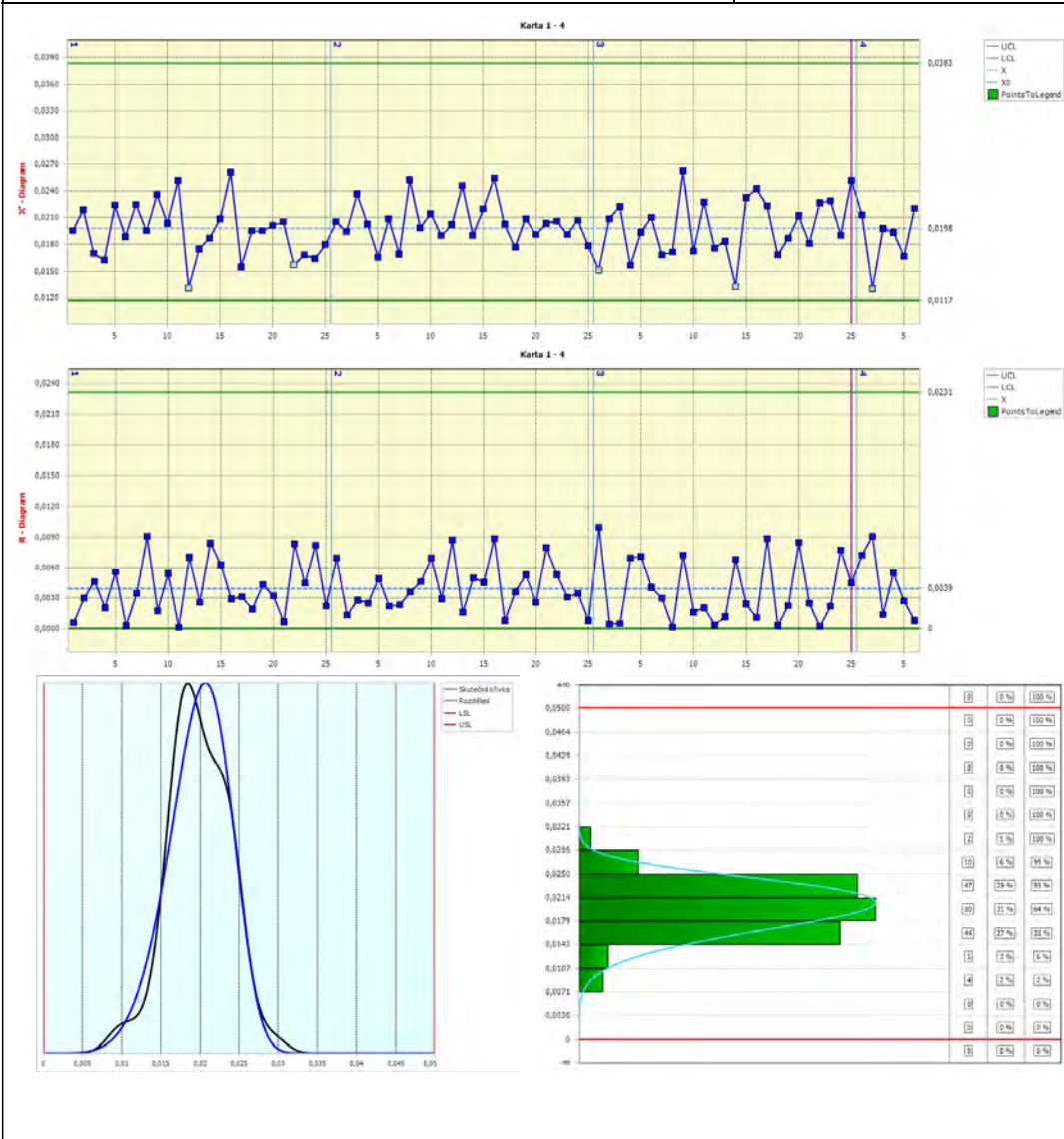


PŘÍLOHA 8



Statická regulace procesu Variabilní znak

Číslo dílu: S0013233-00-999	Index změny: ZGS006	Stroj: EMAG VL5i		
Název dílu: Halter	Regulace: 1	Velikost odběru: 2		
Kód kóty: 03_SPC		Četnost odběru: 0		
Název kóty: Flatness 0,05 - SPC		Velikost karty: 25		
JR: 0	HT: 0,050	DT: 0	mm	Období: 02.03.2020 8:25 - 14.05.2020 14:05



Pp 2,19	Cp	X: 0,0198	Nad HT: 0	PE:
Ppk 1,53	Cpk	R: 0,0214	Pod DT: 0	Předp. procento chyb: 0
		S: 0,0038		

PŘÍLOHA 9

