

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ**

Ústav strojírenské technologie

**OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU
VÝLOŽNÍKU E26**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Jakub Sobek

Studijní obor:

Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.

Praha 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sobek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **398089**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
 Studijní program: **Strojní inženýrství**
 Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace výrobního procesu výložníku E26

Název diplomové práce anglicky:

Manufacturing process optimization of boom E26

Pokyny pro vypracování:

- Popis řešené problematiky ? výroba svařovaného výložníku, popis technologie, materiálu, problémů vznikajících při výrobě
- Návrh experimentu - Stanovení dosažitelné přesnosti výroby výložníku
- Návrh zlepšení ? změna designu svařence, procesu výroby, optimalizace svařovacího přípravku
- Ekonomické zhodnocení ? porovnání současného stavu s navrhovanými úpravami
- Závěr - doporučení

Seznam doporučené literatury:

- [1] Jeffus, L.: WELDING: PRINCIPLES AND APPLICATIONS, 7th. Edition, Cengage Learning, 2011
- [2] Országh, P., Országh, V.: Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov, 1. vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 8088780365.
- [3] Hudec, Z.: Deformace a napětí při svařování, TU v Liberci, Liberec, 1998, ISBN: 8070833130
- [4] Hänsch, H., Krebs, J.: Deformace a prnutí ve svařovaných konstrukcích, SNTL, Praha, 1964
- [5] Kuncipál, J. a kolektiv.: Teorie svařování, 1. vyd. Praha: SNTL, 1986.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

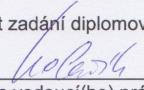
Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

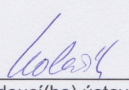
Ing. Alexander Sedláček, DOOSAN BOBCAT Manufacturing s.r.o.

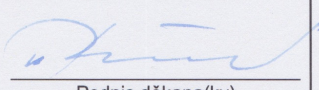
Datum zadání diplomové práce: **21.04.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2017**


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

10.5.2017

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Anotace

<i>Název práce:</i>	Optimalizace výrobního procesu výložníku E26
<i>Autor:</i>	Bc. Jakub Sobek
<i>Druh práce:</i>	Diplomová
<i>Vedoucí práce:</i>	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
<i>Ústav:</i>	Ústav strojírenské technologie, FS, ČVUT v Praze
<i>Vedoucí ústavu:</i>	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.

Diplomová práce je zaměřena na svařovací proces výložníku pomocí metody svařování v ochranném plynu MAG. Cílem je definovat přesnost výrobního procesu svařování a analyzovat příčiny odchylek od stanovených tolerancí v každé fázi svařovacího procesu (stehování, robotické svařování, finální svařování).

V teoretické části je popsána problematika procesu svařování a způsoby řízení kvality včetně hodnocení kvality procesu. Praktická část je zaměřena na svařovací proces výložníku a definování odchylek svařovaného výložníku od výrobní výkresové dokumentace. Vzhledem k zjištěným odchylkám, je volena konstrukční změna svařence, jako jedna z alternativ řešení daného problému.

Závěrem je zhodnocení konstrukční změny z výrobního i tržního pohledu.

<i>Klíčová slova:</i>	Svařování, MAG, kvalita, výložník, výrobní proces
<i>Rozsah práce:</i>	141
<i>Počet obrázků:</i>	80
<i>Počet tabulek:</i>	24
<i>Počet příloh:</i>	10

Annotation

<i>Thesis title:</i>	Manufacturing process optimization of boom E26
<i>Author:</i>	Bc. Jakub Sobek
<i>Type of work:</i>	Master
<i>Supervisor:</i>	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
<i>Institute:</i>	Institute of manufacturing technology, CTU in Prague
<i>Supervisor of institute:</i>	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.

This diploma thesis focuses on the welding process of the boom using the metal active gas welding method. The aim is to define accuracy of the welding process and also analyze the causes of deviations from the set tolerances at each welding process stage (stitching, robotic welding, final welding).

In the theoretical part are described the problems of the welding process and methods of quality control, including process quality evaluation. The practical part focuses on the welding process of the boom and defining the deviations of the welded boom from the production drawing documentation. Due to the deviations found, the constructional change of the weldment is chosen as one of the alternatives to solving the problem.

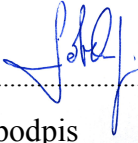
The conclusion of the thesis is the assessment of structural changes from the production and market point of view.

<i>Key words:</i>	Welding, MAG, quality, boom, manufacturing process
<i>Scope of work:</i>	141 pages
<i>Number of pictures:</i>	80
<i>Number of tables:</i>	24
<i>Number of appendix:</i>	10

Prohlášení

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

V Praze dne. 1.8.2017



.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Sedláčkovi, panu Rozsypalovi, panu Ing. Novotnému, paní Ing. Stieberové, Ph.D. a společnosti Doosan Bobcat Emea s.r.o. za cenné rady při řešení této práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1 CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU A DŮVODY ŘEŠENÍ	9
1.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI	9
1.2 ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA – CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	10
2 METODY SVAŘOVÁNÍ	12
2.1 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	13
2.1.1 <i>MIG svařování</i>	13
2.1.2 <i>MAG svařování</i>	14
2.2 ZAŘÍZENÍ PRO SVAŘOVÁNÍ METODAMI MIG/MAG	15
2.2.1 <i>Zdroje proudu</i>	15
2.2.2 <i>Podavače drátu</i>	16
2.2.3 <i>Svařovací hořáky</i>	17
2.3 PŘENOS KOVU U MIG/MAG SVAŘOVÁNÍ	18
2.3.1 <i>Zkratový přenos – krátký oblouk</i>	18
2.3.2 <i>Polozkratový přenos – přechodový oblouk</i>	19
2.3.3 <i>Sprchový bezzkratový přenos – dlouhý oblouk</i>	20
2.3.4 <i>Impulsní přenos</i>	20
2.3.5 <i>Rotující přenos kovu - dlouhý oblouk</i>	21
2.4 OCHRANNÉ PLYNY	22
2.4.1 <i>Ochranné plyny pro MIG svařování</i>	23
2.4.2 <i>Ochranné plyny pro MAG svařování</i>	24
2.5 VLIV NAPĚTÍ A PROUDU NA OSTATNÍ PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ.....	25
2.5.1 <i>Obecný vliv svařovacího napětí</i>	25
2.5.2 <i>Obecný vliv svařovacího proudu</i>	26
2.6 NAPĚTÍ A DEFORMACE PŘI SVAŘOVÁNÍ.....	27
2.6.1 <i>Faktory ovlivňující velikost deformací</i>	28
3 ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ	30
3.1 ZAVEDENÍ ROBOTIZACE.....	30
3.2 MECHANIZACE, AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE VE SVAŘOVÁNÍ	31
3.3 ROBOTY A MANIPULÁTORY VE SVAŘOVÁNÍ	32
3.3.1 <i>Kinematika robotů a manipulátorů</i>	35
3.3.2 <i>Snímače</i>	37
3.4 SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVKY	40
4 PŘESNOST VÝROBNÍHO PROCESU	41
4.1 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU.....	41
4.1.1 <i>Variabilita procesu</i>	41
4.1.2 <i>Regulační diagram</i>	42
4.2 HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU	42

4.2.1	<i>Doporučený postup k určení indexů způsobilosti</i>	43
4.2.2	<i>Atributy s normálním rozdělením</i>	43
4.2.3	<i>Atributy s nenormálním rozdělením</i>	46
4.3	SIX SIGMA	47
4.3.1	<i>Základní termíny Six Sigma</i>	47
5	POPIS VÝROBNÍHO PROCESU VÝLOŽNÍKU	51
5.1	VÝLOŽNÍK E26	51
5.2	SVAŘOVACÍ PROCES VÝLOŽNÍKU	52
5.2.1	<i>Stehování výložníku</i>	53
5.2.2	<i>Robotické svařování výložníku</i>	55
5.2.3	<i>Finální svařování</i>	58
6	MĚŘENÍ VÝLOŽNÍKU	60
6.1	ZPŮSOB VYHODNOCENÍ	61
6.2	MĚŘENÍ PO STEHOVÁNÍ.....	63
6.3	MĚŘENÍ PO ROBOTICKÉM SVAŘOVÁNÍ	66
6.4	MĚŘENÍ PO FINÁLNÍM SVAŘOVÁNÍ.....	68
6.5	SHRNUTÍ	70
6.6	VYHODNOCENÍ	71
7	NÁVRH ŘEŠENÍ	74
7.1	ZMĚNA DESIGNU SVAŘENCE	74
7.1.1	<i>Technologičnost konstrukce odlitku</i>	74
7.1.2	<i>Svařovací proces</i>	76
7.2	OPTIMALIZACE SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU.....	78
8	ZHODNOCENÍ NÁVRHU	82
	ZÁVĚR	84
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM TABULEK	91
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	SEZNAM PŘÍLOH	94
	PŘÍLOHY	95

Úvod

Jeden z hlavních cílů měnící se tržní ekonomiky je zvýšení produktivity a hledání nových úspor ve svařování. Výrobní společnosti, orientující se na svařovací procesy, požadují nejen zvyšování produktivity a její monitorování, ale i zachování kvality výrobního procesu. Tento stav je vyvolán potřebou udržení konkurenceschopnosti a je zaměřený na zvyšování zisku při zachování stávajících lidských i technických zdrojů.

Předkládaná diplomová práce je věnována tématu optimalizace výrobního procesu výložníku (část pracovní skupiny bagru). Je členěna do dvou částí, přičemž první část tvoří teoretické poznatky problematiky procesu svařování a hodnocení kvality procesů. V části druhé je detailně přiblížen výrobní proces výložníku, na který navazuje samotný experiment.

V této práci bude skloňován výraz „kvalita“, jakožto základní princip řízení společností, nástroj jejich rozvoje a zvyšování konkurenceschopnosti. Tento pojem lze definovat jako stupeň splnění požadavků souborem podstatných znaků, které jsou neoddělitelně spjaty s podstatou produktu. Znalost této problematiky bude zásadním krokem pro analýzu naměřených dat po jednotlivých etapách svařovacího procesu výložníku (stehování, robotické svařování, finální svařování). Cílem analýzy bude zjistit, jaká fáze svařovacího procesu nejvíce ovlivňuje výslednou přesnost svařovaného výložníku vzhledem k výrobní výkresové dokumentaci a definovat příčiny případných odchylek od nastavených mezí. Výsledkem má být výstup, obsahující ucelený náhled na výrobní proces výložníku. V návaznosti na výsledek analýzy dat, bude snaha případné odchylky od tolerancí minimalizovat. Hlavní myšlenkou minimalizace těchto odchylek, resp. zlepšení současného stavu bude konstrukční změna svařence. Ta bude představitelem jedné z alternativ řešení daného problému. S konstrukční změnou bude spojena i změna, resp. optimalizace svařovacího přípravku, která bude ovlivněna rozsahem konstrukční změnou svařence výložníku. Zhodnocením současného a navrhovaného stavu se zabývá poslední kapitola této práce.

Cílem práce je stanovit dosažitelnou přesnost výroby svařovaného výložníku. Na základě analýzy naměřených dat definovat části výložníku, ležící mimo nastavené tolerance a stanovit způsobnost jednotlivých etap svařovacího procesu. Z výsledků posoudit současný stav a navrhnout případné zlepšení.

1 Charakteristika problému a důvody řešení

1.1 Představení společnosti

Historie společnosti Bobcat Company sahá až do roku 1947, kdy započala svou činnost pod názvem Melroe Manufacturing Company v Severní Dakotě. Na počátku 21. století ji odkoupil korejský koncern Doosan Infracore Co., Ltd., a tak se společnost stala dceřinou společností Doosan Bobcat Inc. Jednalo se tehdy o největší zámořskou akvizici v korejské historii, společnost spolu s dalšími dvěma divizemi byla prodána za zhruba 98 miliard Kč. Doosan Infracore s tímto krokem zajistil místo mezi sedmičkou největších světových výrobců stavebních strojů.

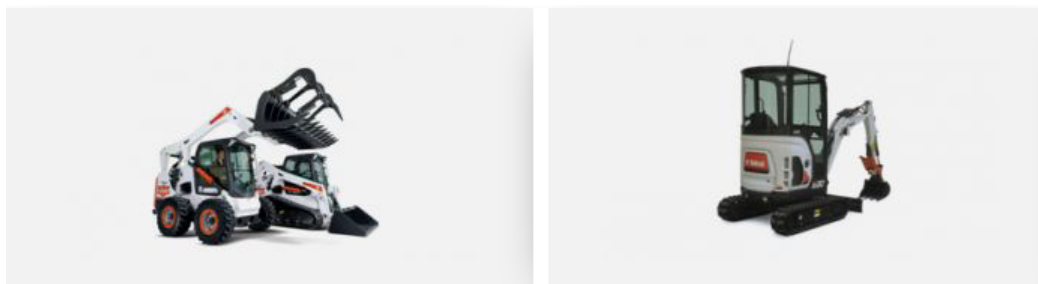
V České republice ve městě Dobříš začala historie pobočky Doosan Bobcat Emea s.r.o. po odkupu společnosti Superstav. V roce 2007 byl v Dobříši vybudován výrobní závod specializující se na výrobu kompaktních bagrů a nakladačů včetně nově postaveného tréninkového centra. Dalším rozvojem firmy na Dobříšské půdě bylo vybudování inovačního centra v roce 2014 (obr.1.1). V inovačním centru probíhá vývoj nových modelů, včetně jejich testování. Jedním z těchto zařízení je i akustická komora na testování hlučnosti jednotlivých strojů.



Obr. 1.1 - Vývojové centrum [38]

Společnost se specializuje na výrobu a vývoj stavebních strojů – smykem řízené nakladače, minibagry v několika výrobních řadách včetně příslušenství. Od roku 2014 došlo k navýšení tonáže bagrů, které podnik vyrábí, z 3 na 5 tun. Všechny stroje jsou zdokonalovány a upravovány dle požadavků zákazníka. Konkurenční výhodou je zde velikost vyráběných strojů, které jsou dokonale uzpůsobeny pro pohyb v omezeném prostoru, otáčení probíhá prakticky na místě či ve velmi těsném kruhu.

V portfoliu společnosti se nachází 7 typů smykem řízených nakladačů – S70, S100, S450, S510, S530, S570 a s 590. Minibagry, též označované jako kompaktní rypadla, se vyrábí v 10 kategoriích – malé a střední E17-19-20-25-26 (do 3tun) a velké E32-35-45-50-55 (do 6tun).

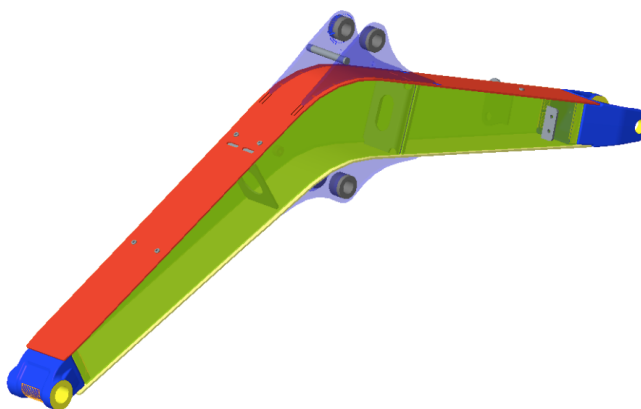


Obr. 1.2 - Nakladač (vlevo) a bagr (vpravo) [38]

Každoročně se vyrábí 11 – 12tis. strojů v poměru zhruba 50/50 %. Hlavním dealerem pro Českou republiku je akciová společnost Bobcat CZ, a.s., která prodává produkty patřícím všem závodům ve světě (z Dobříše, importované z Ameriky i Koreje). Tento dealer tak zabezpečuje prodej, servis a dodávky pro více jak 2000 spotřebitelů prostřednictvím středisek rozmístěných po celé Evropě.

1.2 Řešená problematika – cíl diplomové práce

Jak již bylo zmíněno výše, společnost Bobcat se specializuje na výrobu kompaktních bagrů a smykem řízených nakladačů. Tato práce je soustředěna na jednu součást kompaktního bagru E26, konkrétně na výložník (Obr. 1.3). Jedná se o svařovanou součást z plechů nelegované konstrukční oceli S355J2G3, která patří do pracovní skupiny bagru. Z jedné strany je výložník uložen v otoči bagru, na straně druhé je spojen s násadou. Střed výložníku je opatřen tzv. ušima pro napojení hydraulických válců, které slouží k rozpohybování pracovní skupiny.



Obr. 1.3 - Výložník

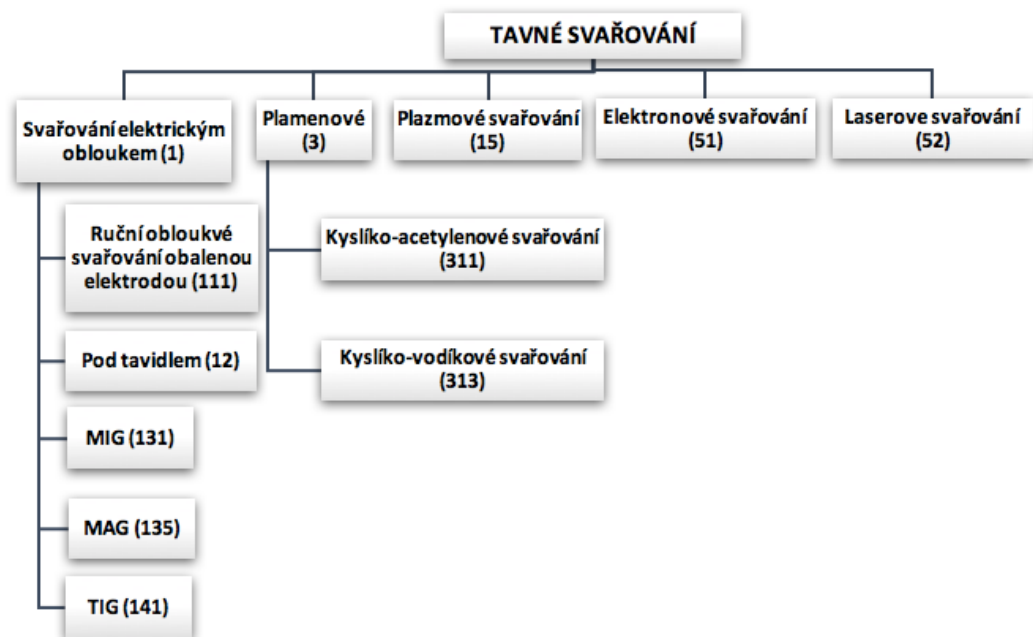


Obr. 1.4 - Kompaktní bagr E26

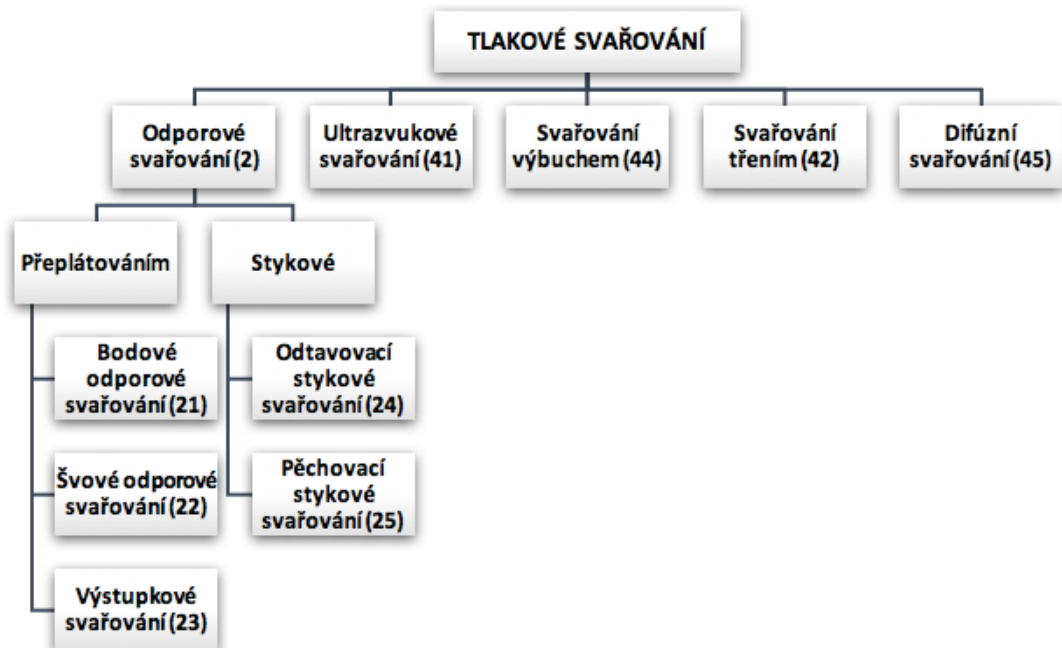
Výrobní svařovací proces výložníků tvoří tři výrobní úseky (stehování, robotické svařování, finální svařování). V každém úseku svařování vznikají ve svařenci díky vnesenému teplu napětí s následnými deformacemi, které mohou negativně ovlivnit rozměry svařence. Nekritičtější oblasti jsou již zmíněné uši svařence a rozteče mezi funkčními otvory. Tyto oblasti jsou také kritickými parametry kvality (Critical To Quality). Pakliže by došlo k rozměrovým odchylkám u parametrů CTQ vzhledem předepsaným rozměrům a tolerancím, ovlivní tím nejen smontovatelnost výložníku s otočí, násadou a hydraulickými válci, ale i funkčnost celé pracovní skupiny. Předmětem této práce je především definovat výrobní přesnost tohoto svařence a určit možné příčiny vzniklých odchylek vůči tolerancím. V návaznosti na zjištěné odchylky bude úkolem navrhnout a zpracovat návrh řešení problému.

2 Metody svařování

Obecně lze používané metody svařování rozdělit na dvě skupiny, a to metody tavného a tlakového svařování. Při tavném svařování je spoj vytvořen přívodem tepelné energie do oblasti svaru a dendritickou krystalizací roztaveného svarového kovu. Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie, která formou makro nebo mikro-deformace přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. Rozdělení metod svařování je uvedeno v normě ČSN EN ISO 4063.



Obr. 2.1 - Rozdělení metod tavného svařování



Obr. 2.2 - Rozdělení metod tlakového svařování

Vzhledem k řešené problematice, se tato práce v následujícím textu bude věnovat pouze obloukovému svařování v ochranné atmosféře, tj. metodám MIG/MAG.

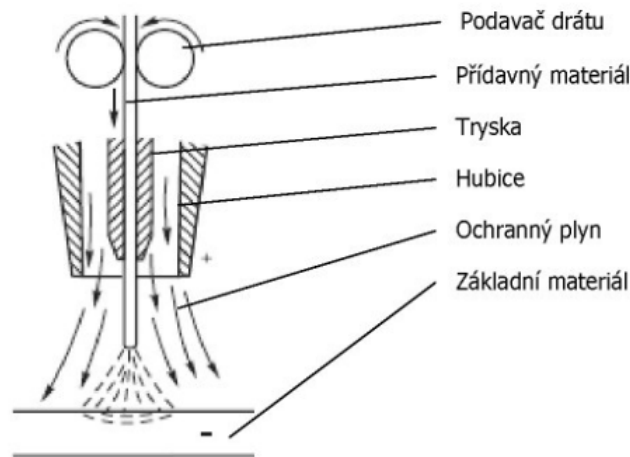
2.1 Obloukové svařování

Při obloukovém svařování v ochranných atmosférách hoří oblouk obklopen atmosférou ochranného plynu, který je přiváděn hořákem. Elektroda, oblouk i tavná lázeň je chráněna ochranným plynem před účinky okolní atmosféry. Jako ochrana se používá aktivní nebo inertní plyn. Ochranná atmosféra je dodávána výhradně externím zdrojem, jímž může být např. plyn z tlakové láhve. Metody obloukového svařování v ochranných atmosférách jsou rozlišovány dle druhu použitého přídavného materiálu a ochranného plynu.

2.1.1 MIG svařování

Jedná se o metodu obloukového svařování kovovou tavící se elektrodou za přítomnosti inertního plynu. „Nekonečná elektroda“ ve formě drátu je podávána konstantní rychlostí do místa svaru pomocí mechanizovaného zařízení ze zásobníku (cívky). To je tvořeno podávacími kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku nebo kombinací obou systémů. Napájení svařovacího drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby délka, která je zatížená elektrickým proudem byla co nejkratší. [1]

Povrch tavné lázně je chráněn inertním plynem, jímž bývá nejčastěji argon nebo helium, či jejich směsi. Jelikož se jedná o inertní plyny, tak nedochází k reakci se základním materiálem, a proto je metoda MIG často využívána ke svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů a jejich slitin. Plyn má při svařování zejména ochrannou funkci, zamezuje přístupu vzduchu do svarové lázně a ovlivňuje mechanické vlastnosti svaru.



Obr. 2.3 - Princip svařování MIG/MAG

2.1.2 MAG svařování

Stejně jako u metody MIG dochází ke svařování kovovou tavící se elektrodou, s tím rozdílem, že ochranné médium tvoří aktivní plyn. Plyn vstupuje do chemických reakcí. Obvykle jím je čistý oxid uhličitý (CO_2), nebo směs argonu (Ar) s CO_2 popřípadě s O_2 . Jakost svarů se zlepšuje použitím elektrod, které jsou legovány křemíkem a manganem, které se slučují s kyslíkem lépe než s železem a tím dezoxidují tavnou lázeň. Oxidy vzniklé na povrchu vytvářejí na povrchu svaru nepatrné množství „strusky“. Plyn musí mít čistotu minimálně 99,5 %. [2]

Oblouk hoří mezi základním materiálem a tavícím se drátem (elektrodou), který je do hořáku podáván rychlostí, která odpovídá jeho průměru a svařovacímu proudu. Svařování MAG se nejčastěji používá ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysokolegovaných ocelí.

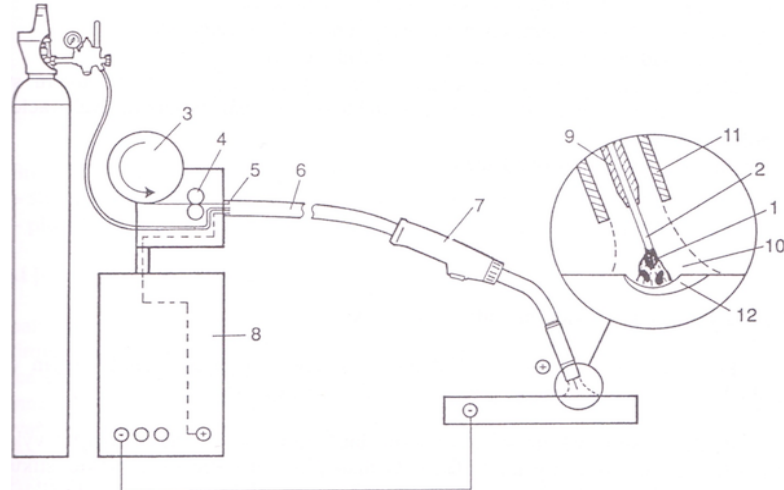
Hlavní výhody MAG svařování:

- *stabilní ochrana z důvodu hustoty a specifické hmotnosti CO_2 ,*
- *velký průvar,*
- *vysoká proudová hustota,*
- *vysoký výkon odtavení,*
- *velká bezpečnost proti vzniku pórů,*
- *možnost robotizace.*

Vzhledem k tomu, že metody MIG a MAG se od sebe moc neliší (mění se ochranný plyn, popřípadě drát), je dále uváděno označení MIG/MAG svařování. [1]

2.2 Zařízení pro svařování metodami MIG/MAG

Zařízení pro svařování metodou MIG/MAG jsou monofunkční a základní schéma je schematicky znázorněno na obrázku 2.2

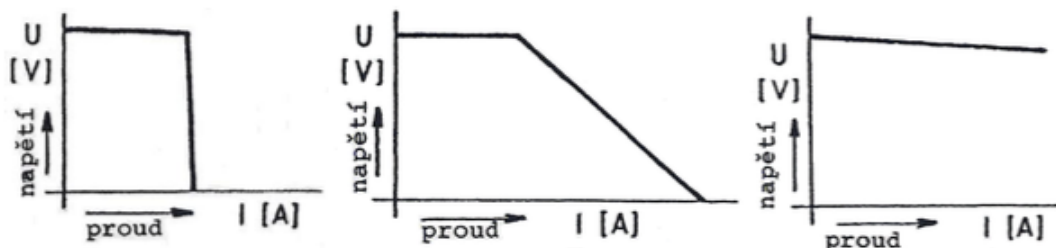


Obr. 2.4 - Základní schéma svařování metodou MIG/MAG [3]

1 – elektrický oblouk, 2 – drátová elektroda, 3 – zásobník drátu, 4 – podávací kladky, 5 – rychloupínací spojka, 6 – hořákový kabel, 7 – svařovací hořák, 8 – zdroj sv. proudu, 9 – kontaktní sv. průvlek, 10 - ochranný plyn, 11 – plynová hubice, 12 – svarová lázeň

2.2.1 Zdroje proudu

Pro svařování v ochranných atmosférách metodou MIG/MAG se používá zdroj se stejnosměrným výstupem proudu s kladným připojením pólu na drátovou elektrodu – nepřímá polarita zapojení. Pro usměrnění proudu se používají převážně invertory různých výkonových vlastností. Pro metodu MIG a MAG se používají zdroje s plochou charakteristikou (konstantní napětí a samoregulační schopnost udržení konstantní délky oblouku).



Obr. 2.5 - Statické charakteristiky svařovacích zdrojů [15]

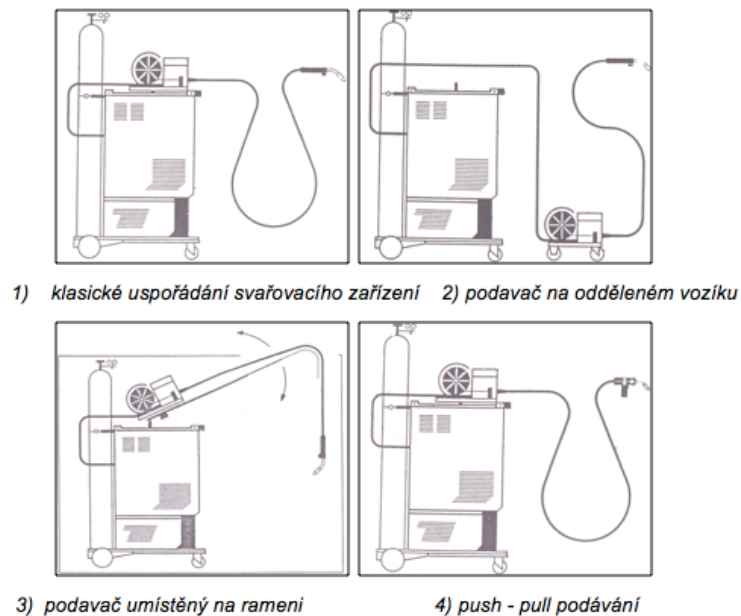
1) Strmá charakteristika 2) mírně klesající (kombinovaná charakteristika) 3) plochá charakteristika

U moderních svařovacích zdrojů patří do výbavy tzv. „horký start“, ten slouží k lepšímu natavení u začátku svaru. Mezi další funkce může patřit řízený zapalovací cyklus MIG/MAG,

funkce pro udržení konstantní délky oblouku a ukončení svařovacího cyklu proudovým impulsem.

Rozdělení zdrojů [3]

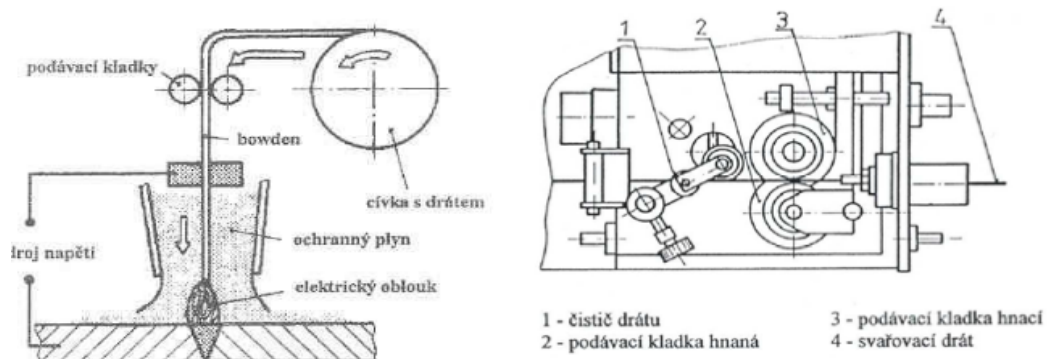
- kompaktní zdroje s integrovaným podavačem drátu
- výkonné zdroje s chladicí jednotkou a odděleným podavačem
- stavebnicové uspořádání s odděleným podavačem drátu
- zdroje s podavačem přímo v hořáku



Obr. 2.6 - Uspořádání svařovacího zařízení [3]

2.2.2 Podavače drátu

Při svařování MIG/MAG je odtavující se elektroda ve formě drátu a je nepřetržitě podávána do hořáku pomocí kladkového podavače. Podávací zařízení může být umístěno uvnitř nebo na zdroji svařovacího proudu. Podávání drátu musí být konstantní, bez deformace drátu nebo poškození povrchu. Tato funkce je zajištěna podávacím mechanismem s pohonem drátu jednokladkovým, dvoukladkovým, čtyřkladkovým nebo s mimoběžnými osami. Ve většině příkladů se podavač skládá z kladek, čističe drátu a dalšího příslušenství zaručující bezproblémový chod.

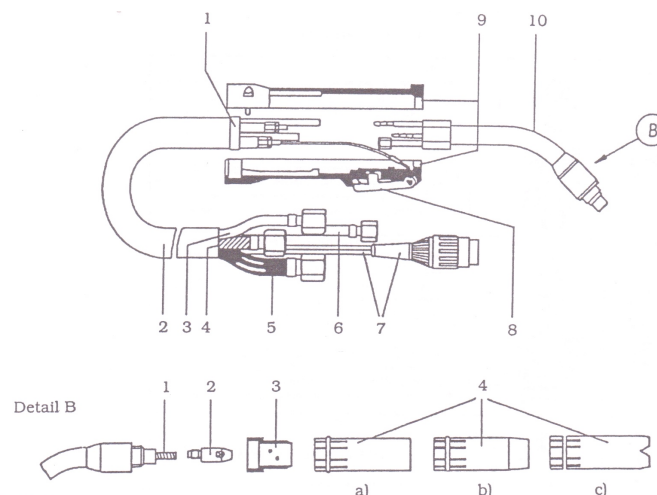


Obr. 2.7 - Schéma podavače drátu [16]

2.2.3 Svařovací hořáky

Svařovacím hořákem je zajištěn přísun drátu do místa svařování, jeho napájení elektrickým proudem a proudění ochranného plynu kolem přídavného drátu. Hořáky jsou chlazeny ochranným plynem nebo při vyšších výkonech vodou, která odvádí přebytečné teplo pryč. Všechny hořáky jsou vybaveny tvarovou koncovkou, na jejím konci je umístěn kontaktní průvlak pro napájení drátu proudem a vyústění pro přívod ochranného plynu včetně plynové hubice.

Pro spuštění procesu, je na rukojeti umístěn spínač. Některé hořáky mají kolem plynové hubice umístěnou další hubici, která lokálně odsává zplodiny přímo z místa svařování. [3]



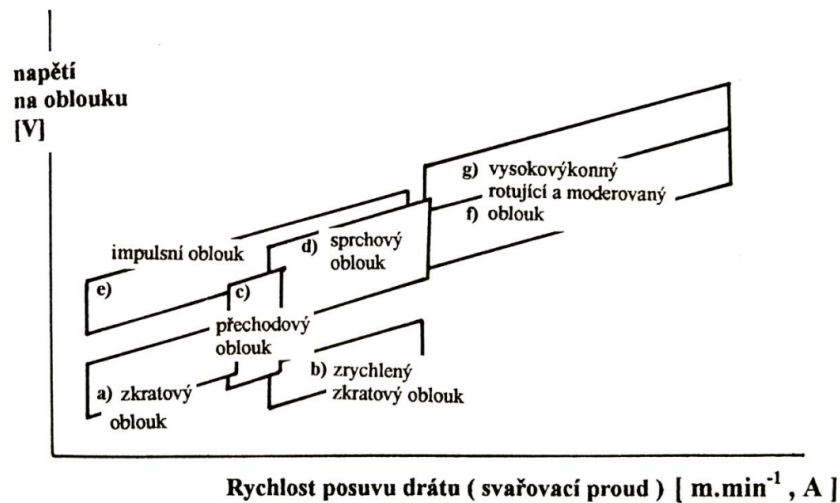
Obr. 2.8 - Svařovací hořák chlazený vodou pro metodu MIG/MAG [3]

1 – pojišťovací kroužek, 2 – sběrné vedení, 3 – vodní hadice, 4 – vedení drátu, 5 – vodní hadice, 6 – plynová hadice, 7 – řízení s konektorem, 8 – spínač, 9 – rukojeť, 10 – nástavec hořáku

DETAIL: 1 – vodící trubička, 2 – napájecí proudová tryska, 3 – pouzdro pro rozvod plynu, 4 – plynové trysky (a – cylindrická, b – kónická, c – pro bodové svařování)

2.3 Přenos kovu u MIG/MAG svařování

Přenosem kovu u obloukového svařování je myšlen proces, kdy dojde k natavení konce přídavného materiálu teplem oblouku a přechod kapek tekutého kovu do svarové lázně. Způsob přenosu svarového kovu patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou a závisí především na svařovacích parametrech jakými jsou proud a napětí, dále ho také silně ovlivňuje složení ochranného plynu, přídavného materiálu a technika svařování. [3]



Obr. 2.9 - Oblasti přenosu kovu v el. oblouku [3]

2.3.1 Zkratový přenos – krátký oblouk

Zkratový přenos, může probíhat v široké škále svařovacích parametrů. Je ho možné dosáhnout, je-li sníženo napětí a rychlost odtavování. Zkratový přenos lze rozčlenit do jednotlivých fází. Na obrázku 2.10 je fáze zkratu označena I, II, III a VI, což je okamžik doteku kapky (z odtavující se elektrody) se základním materiálem. V tomto okamžiku začne prudce narůstat proud, jehož okamžitou hodnotu lze vyjádřit dle Tuthillova vztahu (viz vzorec 1):

$$I = \frac{U_{20}}{R_C} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R_C \cdot t_s}{L_C}}\right) + I_0 \cdot e^{-\frac{R_C \cdot t_s}{L_C}} \quad (1)$$

Kde:

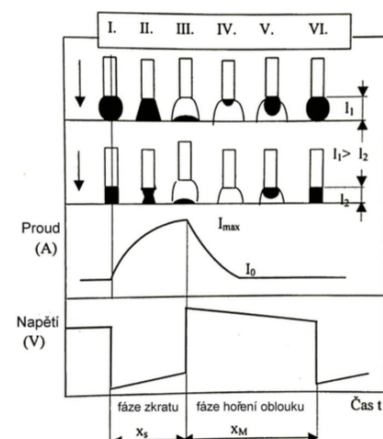
U_{20} [V] – napětí naprázdno,

R_C [Ω] – celkový odpor sv. proudu,

t_s [s] – čas od začátku zkratu,

L_C [H] – celková indukčnost sv. proudu,

I_0 [A] – okamžitá hodnota proudu v čase $t=0$.



Obr. 2.10 - Fáze zkratového přenosu kovu [4]

Tento typ přenosu je uplatněn při velikostech svařovacího proudu v rozmezí od 60 do 180 A a napětí 14 – 22 V. Výkon natavení se pohybuje od 1 až 3 kg·h⁻¹. Při tomto přenosu dochází k přerušení oblouku zkratem a dochází k oddělení části kovu od elektrody. Je ověřeno, že při svařování nízkými proudy a vysokém napětí dochází k velkému rozstříku a malé frekvenci oddělování kapek. Pro drát Ø1,2mm a napětí cca 27 V, je frekvence kolem 5 kapek za sekundu. Se snižujícím se napětím (při napětí 14-18 V) roste počet zkratů na 150-200 za sekundu.

Zmíněný proces souvisí se zkracující se délkou oblouku, kde dojde vlivem posunu drátu ke zkratu s tavnou lázní dříve, a tím se zamezí růstu kapky kovu. Povrchové napětí taveniny způsobí rovnoměrné rozptýlení kapky ve svarové lázni. [3]

Pro zkratový přenos je nezbytná dynamická vlastnost zdroje a je ho možné uskutečnit ve všech ochranných plynech. Největší uplatnění zkratového přenosu kovu je při svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, svařování polohových svarů a pro svařování vysokolegovaných ocelí.

Tabulka 1 - Proudové rozsahy pro svařování zkratovým procesem

<i>Proudové rozsahy</i>			
Průměr drátu [mm]	Nízký proud [A]	Vysoký proud [A]	Průměrný proud [A]
0,8	50	130	90
1	70	160	120
1,2	90	200	150

2.3.2 Polozkratový přenos – přechodový oblouk

Vznik polozkratového přenosu, někdy označovaného jako kapkového, je podmíněn velikostí napětí v rozmezí 22-28 V a proudu 190-300 A. Dochází k tomu, že vlivem vyšších hodnot proudu se na konci elektrody vytvoří kapka o větší velikosti než u zkratového přenosu. Vlivem tlaku z par se kapka vychýlí mimo osu drátu a oblouk putuje po roztaveném konci elektrody, než magnetické síly spojení přeruší. Kapka je vymrštěna do svarové lázně vysokou rychlostí, ale s malou frekvencí (5-40 kapek za sekundu). To může způsobit větší rozstřík. Přechodový oblouk vytváří nestabilní proces, různé velikosti kapek, hrubou svarovou housenku a kvůli velkému rozstříku se nedoporučuje používat. [3, 4]

2.3.3 Sprchový bezzkratový přenos – dlouhý oblouk

Sprchový přenos je realizován v rozmezí 200 – 500 A a při napětí 29 – 40 V. Ochrannou atmosféru tvoří směs plynů argonu a oxidu uhličitého, nebo případně čistým argonem při svařování neželezných kovů. Dochází ke snadné ionizaci plynu a plazma obklopuje i konec tavící se elektrody, zrychlí ohřev drátu a pozitivně ovlivňuje jeho konec – ostrý hrot.

Oblouk nezhasíná a do základního materiálu vnáší velké množství tepla. Toto má vliv na hloubku závaru, která lineárně roste s hodnotou proudu. Použití nachází pro svařování středních a větších tlouštěk. Parametry sprchového přenosu v závislosti na průměru drátu jsou uvedeny v tab.2.3.

Tabulka 2 - Nastavení parametrů pro sprchový proces v závislosti na \varnothing drátu

Průměr drátu [mm]	Nízký proud [A]	Vysoký proud [A]	Průměrný proud [A]
0,8	11	180	26
1	10	220	28
1,2	8	280	30

2.3.4 Impulsní přenos

Jedná se o bezzkratový přenos kovu, kde parametry jsou nastaveny na vyšší hodnoty, než je tomu u zkratového i sprchového přenosu. Průběh svařovacího proudu a napětí v závislosti na čase je řízen mikroprocesorem svařovacího zdroje. Základní svařovací proud je udržován na takové hodnotě, aby probíhala ionizace plynu a tím i vedení elektrického proudu. V řízených intervalech se zvyšuje svařovací proud a napětí, tzv. pulsy. Těmito pulsy se kontrolovaně přenášejí kapky roztaveného kovu elektrody (drátu). Parametry impulsu udává vztah níže.

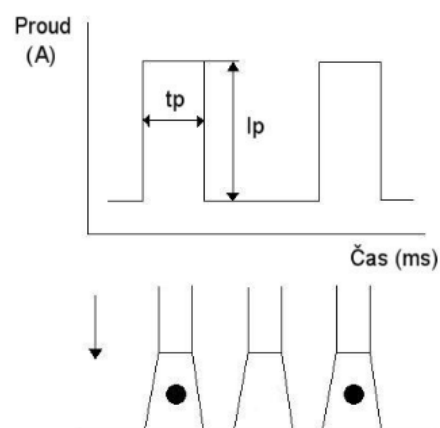
$$I_n^p \cdot t_p = D \quad (2)$$

kde:

I_n^p [A] – proud impulsu,

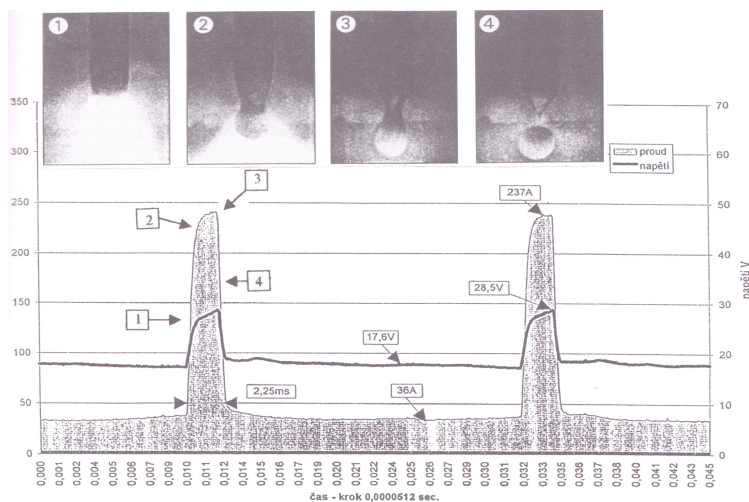
t_p [ms] – čas impulsu,

D [-] – konstanta oddělení kapky.



Obr. 2.11 - Fáze impulzního přenosu kovu [4]

Závislostí frekvence impulsů na proudu se udržuje velikost kapky na konstantní úrovni. Pro nízký svařovací proud musí být i frekvence nízká, tak aby kapka kovu dosáhla optimální velikosti. Při vysokém svařovacím proudu zas musí být frekvence impulsů vysoká. Většinou se pohybuje od 25 do 500 Hz.



Obr. 2.12 - Impulsní forma přenosu kovu v oblouku [3]

Výhody impulsního přenosu kovu:

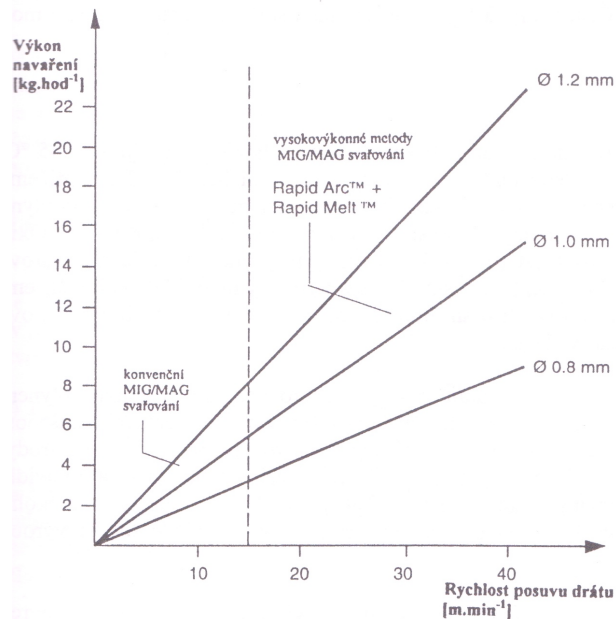
- lze svařovat tenké plechy i polohové svary bezkratovým přenosem,
- vysoký impulsní proud taví dráty větších průměrů, které jsou levnější,
- výkon navaření 2–5 kg · hod⁻¹,
- vzhled povrchu svaru i kořene,
- vhodné podmínky pro svařování hliníku a jeho slitin. [3]

2.3.5 Rotující přenos kovu - dlouhý oblouk

V oblasti obloukového svařování došlo v posledních letech k vývoji T.I.M.E. (Trasfered ionzed motlen energy), který je v současnosti běžně používaným procesem. Jedná se o vysokovýkonný proces s kombinací vhodné charakteristiky zdroje proudu a vysokými proudovými (až 760 A), napěťovými hodnotami (až 50 V) s pevně definovaným složením ochranného plynu. Při dodržení těchto parametrů vzniká stabilní elektrický oblouk s rotací. Čtyřsložkový plyn je tvořen směsí 65% Ar + 26,5% He + 8% CO₂ + 0,5% O₂.

Tímto procesem lze zvýšit hodnotu svařovacího proudu, a tím i výkon odtavení. Pojem rotující oblouk byl znám již dříve, ale díky vysoké nestabilitě oblouku ho nebylo možné využít. Intenzivním silovým magnetickým polem je konec drátu ve vysoce plastickém stavu roztáčen a odtavující se kapky kovu vytváří kuželovou plochu. Rotující oblouk způsobuje velmi dobrý

závar a svar s výrazně miskovitým profilem. V následující obrázku je znázorněna závislost výkonu navaření na rychlosti posuvu a průměru drátu. [1,3]



Obr. 2.13 - Závislost výkonu navaření na rychlosti posuvu drátu [3]

2.4 Ochranné plyny

Ochranné plyny jsou součástí obloukového svařování a jejich základním úkolem je ochrana tavné lázně před vlivy okolní atmosféry. Přítomnost vzduchu má negativní účinek na svařovací proces, a především způsobuje ionizaci a nitridaci svarového kovu, která zhoršuje mechanické vlastnosti svaru. Ochranná atmosféra může být jednosložková (He, Ar, CO₂), dvousložková (Ar + CO₂, Ar + O₂, Ar + He), tříložková (Ar + CO₂ + O₂, Ar + He + CO₂, Ar + He + O₂) nebo čtyřsložková (Ar + He + CO₂ + O₂).

Důsledky působení ochranné atmosféry při svařování: [8]

- tepelný výkon oblouku,
- způsob přenosu kovu (přídavného materiálu,
- chemické složení svarového kovu (oxidační potenciál ochranné atmosféry),
- viskozita svarové lázně,
- velikost, tvar a povrch svaru,
- produktivita a kvalita svařování.

Vhodnou volbou ochranného plynu můžeme docílit nejen dobrých mechanických vlastností, vhodné metalurgické struktury, snadného zapálení a stability el. oblouku, ale zvýší se i rychlost svařování a omezí se rozstřík. Tyto aspekty mohou vést ke zlepšení ekonomiky procesu.

Tabulka 3 - Fyzikální vlastnosti plynů [18]

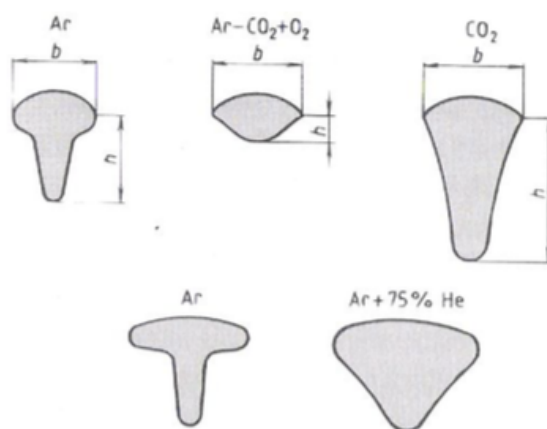
Chemická značka	Argon	Helium	Oxid uhličitý	Kyslík	Vodík	Dusík
Specifická hmotnost [vzduch=1]	1,38	0,14	1,53	1,1	0,07	0,98
Ionizační potenciál [eV]	15,69	24,49	14,4	15,83	13,53	12,85
Disociační energie [eV]	-	-	6,3	8,05	4,48	9,76
Měrná tepelná kapacita (při 20°C, 1,013x10 ⁵ Pa) [kJ/kg K]	0,523	5,230	0,833	0,912	14,189	1,037
Tepelná vodivost (při 0°C) [W/mK]	164x10 ⁻⁴	1,5x10 ⁻⁴	139x10 ⁻⁴	238x10 ⁻⁴	1742x10 ⁻⁴	238x10 ⁻⁴

2.4.1 Ochranné plyny pro MIG svařování

Jak už z názvu vyplývá, ke svařování se používá inertní plyn. Tím nejvíce používaným je čistý argon, ale je možné využít i helium, nebo jejich dvousložkovou směs Ar + He. Čistota těchto plynů je stanovena normou ČSN EN ISO 14175.

- Argon

Inertní plyn, který dobře ionizuje a podporuje klidný a stabilní oblouk. Napomáhá utvářet široký svar na povrchu s hlubokým průvarem (obr. 2.4.1). Často se k argonu přidávají další plyny vytvářející směsi, kde argon je hlavní složkou, zejména kvůli dobrým ionizačním vlastnostem. Argonové směsi mají také vliv na tvar závaru. Především při svařování lehkých kovů se přidává helium, a tím lze dosáhnout většího závaru při snížení porezity. [1]



Obr. 2.14 - Typické tvary svarů při použití čistých a směsných plynů [19]

- Helium

Helium je vzácný plyn, bezbarvý, zcela inertní a je lehčí než vzduch. Proto je třeba dbát na to, aby při svařování ve vodorovné poloze shora správně působilo. Z toho důvodu je spotřeba plynu až 3x větší. Dosahuje se vyšší teploty oblouku než při použití argonu za stejných podmínek.

- Argon + helium

V této směsi je helium obvykle zastoupeno v rozmezí 25–75 %. Aplikace argon-heliové směsi plynů je často používána ke svařování větších tloušťek hliníku nebo mědi (větší tepelná vodivost helia – větší teplota el. oblouku).

2.4.2 Ochranné plyny pro MAG svařování

Pro MAG svařování je nejběžnějším aktivním plynem oxid uhličitý, který jakožto jednosložkový je jediným v praxi využívaným. Ostatní jsou plyny směsné. Vicesložkové směsné plyny jsou často využívány při svařování ocelí. Samotný oxid uhličitý vytváří pravidelný hluboký závar s úzkou a převýšenou svarovou housenkou. Je dále využíván při svařování nelegovaných ocelí.

- Oxid uhličitý

Jedná se o nehořlavý, nejedovatý a bezbarvý plyn s vysokou hustotou příznivě ovlivňující funkci plynové ochrany především v polohách PA, PB a PC. Oxid uhličitý má vysokou tepelnou vodivost (obr. 2.4.2) s vysokým přenosem tepla do svarové lázně. Tento přenos spolu s teplem získaným exotermickými oxidačními reakcemi zajišťuje velmi dobré natavení svarových ploch včetně hlubokého průvaru s oválným profilem svarové housenky a dobrého odplynění svarové lázně.

Oxid uhličitý jakožto samotná složka ochranného plynu způsobuje vysoké povrchové napětí na roztaveném konci elektrody, které drží kapky na elektrodě. Kapky se oddělují s velkým objemem a poloměrem přesahující 0,8mm. Takové kapky se po dopadu na základní materiál nataví a způsobují rozstřík. Proto je vhodné použití směsného plynu, jehož základní složkou bude oxid uhličitý. [3]

- Argon + oxid uhličitý

V tomto směsném plynu je oxid uhličitý zastoupen 10 až 25 % a je vhodný pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Oproti svařování čistým argonem dochází k hlubšímu

závaru, vzniká méně pórů a více „strusky“. Lze svařovat zkratovým, sprchovým i impulzním přenosem. [5,1]

- Argon + kyslík

Velmi často používaný směsný plyn pro MAG svařování s obsahem kyslíku od 1-5 %. Kyslík zvyšuje tekutost svarové lázně (lepší formování „housenky“, stabilnější oblouk) a způsobuje sprchový přenos i při nízkém svařovacím proudu. Svarová housenka bývá široká s povrchem ve tvaru jemných šupinek. Rozstřík vzhledem k bezzkratovému přenosu je minimální. [1]

2.5 Vliv napětí a proudu na ostatní parametry svařování

2.5.1 Obecný vliv svařovacího napětí

Svařovací napětí je udáváno jako potenciální rozdíl mezi elektrodou a základním materiálem. Hodnota napětí se mění s velikostí oblouku, avšak na výkon odtavení elektrody nebo hloubku závaru je vliv napětí malý. Opačně je to s šířkou housenky, kterou napětí silně ovlivňuje. Obecně lze stanovit hodnotu napětí pro metodu MAG z následujícího vztahu dle EN 60974:

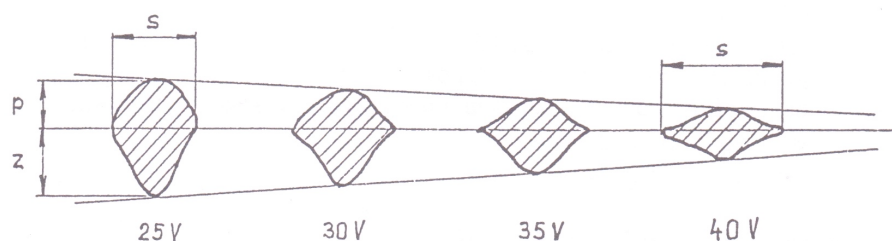
$$U_2 = 14 + 0,05 \times I_2 \quad (3)$$

kde:

U_2 [V] – hodnota pracovního napětí,

I_2 [A] – svařovací proud.

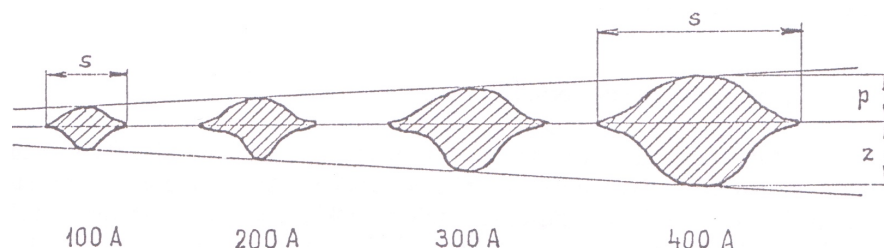
Nastavováním napětí dochází k ustavení pracovního bodu a tím i k regulaci ideální délky oblouku i jeho stability. Jak již bylo zmíněno, napětí ovlivňuje rozměry svarové housenky a tato závislost je schematicky znázorněna na obr. 2.15. Nadměrná hodnota působícího napětí způsobuje prodloužení oblouku, propal některých prvků, pórovitost a rozstřík. Naopak nízké napětí způsobuje nestabilitu procesu svařování, tvorba úzkých svarů s nadměrným převýšením a nedostatečné natavení hran svaru, což může vést k tvorbě studených spojů. [3]



Obr. 2.15 - Vliv napětí na tvar svaru (p -převýšení svaru, z -hloubka průvaru, s -šířka housenky) [3]

2.5.2 Obecný vliv svařovacího proudu

Svařovací proud je hlavním parametrem při přenosu svarového kovu skrze oblouk. S jeho rostoucí hodnotou se zvětšuje velikost a tekutost svarové lázně, odtavovací výkon a proudová hustota. Proudová hustota roste se zmenšujícím se průměrem přídavného materiálu. Vliv svařovacího proudu je znázorněn na obrázku níže (obr. 2.16).



Obr. 2.16 - Vliv proudu na tvar svaru (*p*-převýšení svaru, *z*-hloubka průvaru, *s*-šířka housenky) [3]

Se zvyšující hodnotou proudem roste frekvence průchodu kapek a klesá jejich objem a dochází ke změně intenzity sil působících na kapku. Již zmíněné napětí společně se svařovacím proudem je ovlivňováno vzdáleností kontaktní špičky ve svarové hubici od základního materiálu. Významnější je především změna proudu, kdy na 1 mm změny výběhu elektrody, připadá celková změna intenzity proudu mezi 10-20 A.

Vliv proudu a napětí na ostatní parametry svařování:

- 1) Hodnota vneseného tepla do oblouku – S růstem napětí a proudu dochází ke zvýšení množství generovaného tepla el. Oblouku a tím i vneseného tepla el. oblouku do materiálu, proto u sprchového přenosu s vysokými hodnotami I , U bude hodnota tepelné energie vnesené do materiálu vyšší než u zkratového přenosu. [20]

Tepelný příkon při svařování je definován takto:

$$Q = k \cdot \frac{60 \cdot U_0 \cdot I_s}{1000 \cdot v_s} \quad [\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-1}] \quad (4)$$

kde:

U_0 – napětí [V],

I_s – proud [A],

v_s - rychlost svařování [$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$],

k – souč. účinnosti sv. procesu – dle použité metody; MAG = 0,8 (ČSN EN ISO 1011).

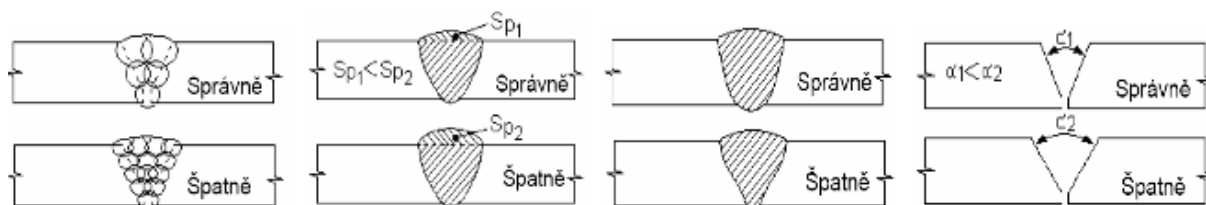
- 2) Velikost průtoku plynu – Napětí a proud také silně ovlivňují velikost průtoku ochranného plynu. S rostoucími hodnotami (U , I) je proto potřeba zvýšit i hodnotu průtoku ochranného plynu. Pro krátký oblouk se zkratovým přenosem bývá průtok plynu volen v rozmezí $8-12 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ a pro dlouhý oblouk se sprchovým i impulzním přenosem je průtok optimálně volen v rozmezí $12-20 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. [20]
- 3) Rychlost podávání elektrody – Při zvýšení hodnoty napětí nebo proudu a konstantní rychlosti podávání svařovacího drátu (elektrody), se dostane pracovní bod mimo pracovní oblast. Pakliže není svařovací zdroj vybaven řídicím systémem, který tuto změnu zaznamená a rychlost podávání zvýší, dojde k tomu, že podavač nestačí dodávat přídatný materiál a dojde k prodloužení oblouku (čímž se opětovně změní hodnota svařovacího proudu v závislosti na statické charakteristice zdroje – je proto nutné u metody MAG svařování použít ploché charakteristiky zdroje, tzv. vnitřní samoregulace svařovacího zdroje). Následkem toho dojde k nestabilitě oblouku, díky čemuž může zvýšit rozstřík a malý průvar. [20]

2.6 Napětí a deformace při svařování

Jak již bylo zmíněno, při svařování vznikají napětí (nejsou viditelná, projevují se ve více směrech, zvláště nebezpečná u krátkých upínacích délek nebo tlustých průřezů), která při přechodu z elastického stavu do plastického způsobují deformace ve svařenci. Napětí můžeme rozlišovat na vnitřní (v objemech průřezu) a vnější (změny tvaru rozměrů) nebo na přechodná a zbytková. Deformace konstrukce nepříznivě ovlivňují dodržení předepsaných rozměrů a tolerancí. Přesnost konstrukce je dána přesností výroby jednotlivých konstrukčních prvků, ze kterých je konstrukce sestavena a svařena. K dosažení nejvyšší přesnosti je nutno zvýšit přesnost přípravy před svařováním. Velký vliv na konečnou přesnost svařené konstrukce mají deformace. Vnitřní napjatost velmi úzce souvisí se vznikem vad, zejména trhlin. K deformaci dochází při překročení meze kluzu, z čehož vyplývá, že nejvyšší hladina vnitřních napětí je určena právě touto mezí. To znamená, že dojde-li k deformaci konstrukce, byla překročena mezní meze kluzu. Obecně lze konstatovat, že čím je hladina napětí při přechodu elastické deformace nižší, tím je například při lineární závislosti i náchylnost ke vzniku vad ve svařované konstrukci menší. Vznik napětí a následné deformace při svařovacím procesu nelze zcela vyloučit, avšak lze je vhodnými opatřeními v konstrukční a technologické přípravě výroby podstatně snížit. [21,22].

2.6.1 Faktory ovlivňující velikost deformací

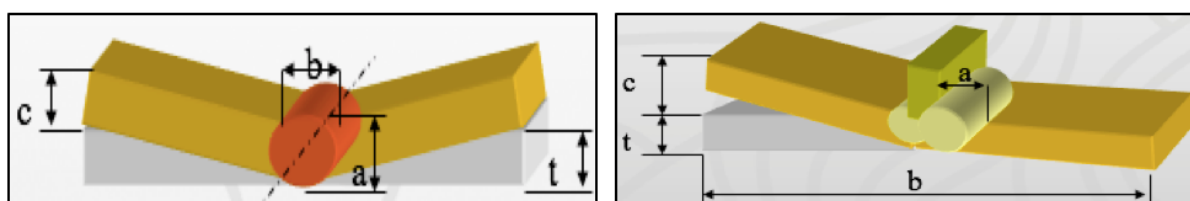
- 1) *Technologie svařování* – množství vneseného tepla, velikost a tvar tepelného zdroje, typ svarového spoje a jeho umístění, svařovací postup



Obr. 2.17 - Vliv technologie svařování na velikost deformací, zleva: počet sv. housenek, převýšení svaru, tvar průřezu svaru, úprava svarových ploch [36]

- 2) *Svařovací přípravek* – vnitřní napětí a tuhost svařovacího přípravku, mez kluzu materiálu přípravku, zbytková napětí v materiálu
- 3) *Vlastnosti materiálu* – tepelná roztažnost a vodivost materiálu, transformační změny, mez kluzu materiálu
- 4) *Ostatní faktory* – speciální přídatný materiál, ovlivnění tepelného pole, předehnutí před svařováním, elastické napětí
 - předehnutí před svařováním především vyžaduje znalost velikosti a směru deformací svařované součásti
 - představuje novou technologickou operaci před svařovacím procesem
 - vyžaduje speciální svařovací přípravek [36]

• předehnutí tupých svarů: $C = \frac{a \cdot b}{30 \cdot t}$ (5) • předehnutí koutových svarů: $C = \frac{a \cdot b}{k \cdot t}$ (6)



Obr. 2.18 - Předehnutí tupého (vlevo) a koutového (vpravo) svaru [36]

kde:

a – výška svaru [mm],

b – šířka svaru [mm],

c – velikost předehnutí [mm],

t – tloušťka plechu [mm],

k – konstanta [-].

Obecně lze konstatovat, že celkové prodloužení a smrštění svarového spoje závisí na součiniteli tepelné roztažnosti, teplotě a volné délce svarového spoje. Prodloužení lze spočítat z následujícího vztahu. [21, 22]

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

kde:

Δl – prodloužení (smrštění) [mm],

l – původní délka [mm],

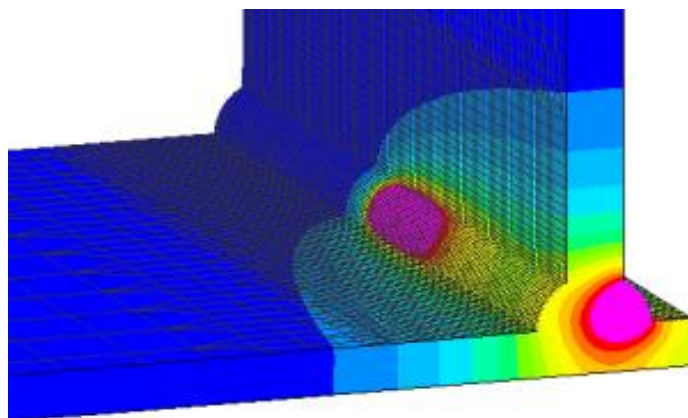
ΔT – rychlost svařování [K, °C],

α – součinitel tepelné roztažnosti [$\text{mm} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$].

Metody pro snížení vnitřních pnutí

- 1) *Předehřev* – zmenšuje teplotní spád, 100-250 °C, resp. 450 °C u legovaných ocelí
- 2) *Prokování svaru* – zejména u šedé litiny – eliminace takových napětí
- 3) *Žihání na snížení vnitřních pnutí* – 500-650 °C/4min/1mm
- 4) *Vibrace* – odstranění mikronapětí, relaxace proběhne posunem dislokací v zrnech, 20 až 100 Hz
- 5) *Přetížení konstrukce* – přetlakem u tlakových nádob, tahové napětí ve svaru, překročení meze kluzu, relaxace plastickou deformací po odlehčení, podmínka: svar bez vad – homogenní

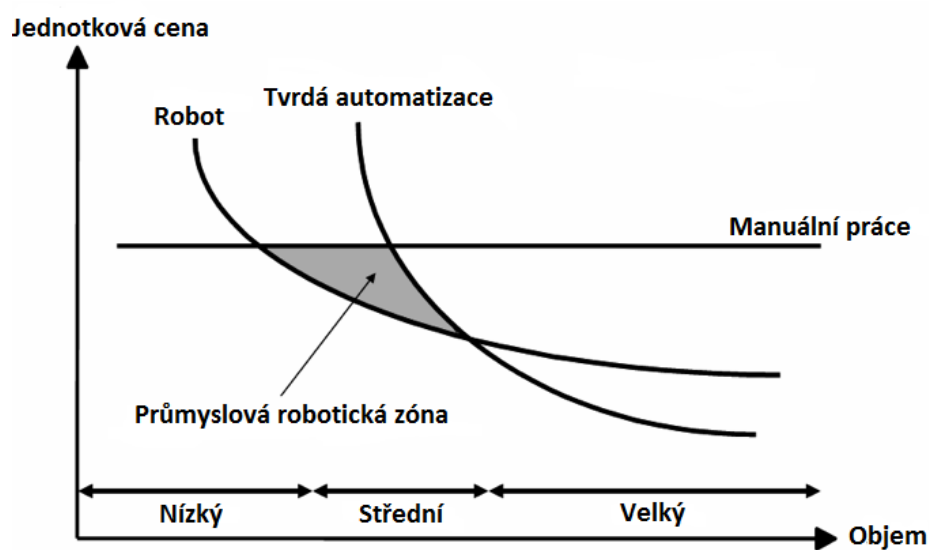
Pro minimalizaci celkových deformací při svařování je potřeba téměř vždy nalézt kompromis mezi jednotlivými faktory, které je ovlivňují. [36]



Obr. 2.19 - Ukázka z numerické simulace svarového spoje v SW Sysweld [36]

3 Robotické svařování

V dnešní době jsou kladeny stále větší nároky na rozvoj technologických procesů, výrobních zařízení a na mechanizaci a automatizaci výroby. Zlepšení výrobních procesů nastává se zaváděním nových technologií, použitím nových strojů včetně jejich automatizace. V případě že nějaká část lidských zdrojů je nahrazena strojem, především jestli se jedná o monotónní činnost, vede to ke zlepšení produktivity práce, snížení chybovosti způsobené lidským faktorem a dochází k plynulému chodu výroby.



Obr. 3.1 - Robotický průmysl v porovnání s automatizací a manuální prací [6]

3.1 Zavedení robotizace

Nedostatečná kvalifikace pracovníků nebo požadavek na zvýšení produktivity práce vede k zavedení robotizace v oblasti svařování. Dalším důvodem rychlého vývoje robotického svařování je nedostatek kvalifikovaných pracovníků. Při implementaci robotického svařovacího pracoviště do výrobního procesu je nutné se soustředit na tyto oblasti:

- a) Geometrická a rozměrová přesnost polotovarů – Pro určení povolených odchylek lze využít informace z normy ČSN EN ISO 13 920, která stanovuje všeobecné tolerance délkových a úhlových rozměrů, tvarů a polohy svařovaných konstrukcí ve čtyřech tolerančních třídách, které jsou založeny na obvyklé výrobní přesnosti. Hlavním kritériem pro výběr toleranční třídy jsou požadavky na funkci, kterou mají konstrukce plnit.

- b) Rozměrové tolerance při sestavení svařence – Rozměrová tolerance svařence zahrnuje vlastní geometrickou přesnost jednotlivých polotovarů, tak i přesnost polohy polotovarů vůči sobě. Ta je zajištěna konstrukcí upínacích přípravků. Je nutné zahrnout vliv tepelných deformací, které vedou k dilataci svařence a posunu svarových spojů.
- c) Pnutí a deformace – Při svařování se do svařence vnáší tepelná energie, která způsobuje pnutí (případě deformace) v materiálu a negativně tak ovlivňuje rozměrovou a tvarovou přesnost. Při volbě strategie svařování je nezbytné zahrnout i vliv tepelného příkonu na svařenec.
- d) Tok materiálu – S ohledem na vysokou produktivitu práce robotizovaného pracoviště oproti ručnímu svařování, dochází k centralizaci toku polotovarů a výrobků do úzkého místa. Při návrhu pracoviště je nutno zahrnout i tok materiálu a mělo by být zajištěno jednoduché uchopení a manipulace s polotovar, co nejkratší vzdálenost k upínacímu přípravku, přepravní trasy s navazujícími operacemi, zásobování polotovary a odvoz hotových výrobků.



Obr. 3.2 - Tok materiálu výložníku ve výrobě

3.2 Mechanizace, automatizace a robotizace ve svařování

Pojem **mechanizace** výroby znamená využití technických prostředků, jejichž vzájemná závislost je zabezpečena lidským faktorem. Jednotlivé výrobní operace jsou prováděny pomocí určité energie (mechanické, hydraulické, elektrické).

Automatizace označuje použití samočinných řídicích systémů k řízení technologických zařízení a procesů. Z pohledu industrializace jde o krok, který následuje po mechanizaci. Při splnění ideálního předpokladu tzv. komplexní automatizace by teoreticky mohlo dojít až k vyřazení člověka z příslušného výrobního procesu, ovšem v praxi je toto utopií. [27]

V posledních desetiletích zasáhla do automatizace svařování výpočetní technika, výkonné svařovací stroje, automatické linky a průmyslové roboty a manipulátory. Robotizace svařovacích procesů nachází uplatnění v hromadných, kusových i malosériových výrobcích.

V porovnání s ručním svařováním nabízí automatizace a robotizace svařovacího procesu tyto zlepšení:

- *zvýšení kvality svarových spojů,*
- *stabilita procesu,*
- *zvýšení produktivity, přesnosti,*
- *snížení výrobních nákladů,*
- *opakovatelnost.*

Z pohledu rozdělení svařovacích výrobních systému je možné je at' částečně nebo komplexně mechanizovat a automatizovat. Podle určitého stupně je lze rozdělit do skupin:

- 0. stupeň – „ruční“ svařování, svařování obalenými elektrodami pomocí jednoduchých upínacích přípravků, svařovací proud konstantní, délka oblouku a rychlost ovlivňována lidským faktorem
- 1. stupeň – „ruční“ svařování s mechanizovaným podáváním drátu (MIG/MAG), tj. poloautomatické svařování
- 2. stupeň – mechanizované svařování ve spojení s mechanizovanými upínacími přípravky a polohovadly, velikost proudu ovlivněna dalšími parametry, svařovací rychlost konstantní, strojní svařování v ochranných atmosférách (MIG/MAG, TIG)
- 3. stupeň – svařování na jednoúčelových automatech, pružné a adaptivní programové řízení

3.3 Roboty a manipulátory ve svařování

Manipulátor, automatická ruka, robot či jiné pojmenování jsou spojeny s univerzálním automatizovaným programovatelným zařízením. Tyto názvy spojené se svařováním znal svět kolem roku 1960, ale k průmyslovému využití došlo až koncem 20. století. S nástupem těchto vymožeností se začaly klást otázky, jak definovat robotiku. Ve snaze poskytnout všeobecně přijatelnou definici, která by byla akceptovatelná pro ostatní, stanovila mezinárodní organizace pro standartizaci definici robota v normě ISO 8373, kde robot je definován jako:

„Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích “

Pro nasazení robotů do průmyslu bylo několik důvodů. První byly *technické* (zlepšení kvality výrobků, snížení zmetkovitosti, pružnost výroby), další *ekonomické* (zvýšení výrobní kapacity) a poslední *sociální důvody* (vyřazení člověka ze zdraví škodlivého prostředí)

- Manipulátor – strojně nebo ručně řízené manipulační zařízení s pevným programem
- Průmyslový robot – volně programovatelné zařízení složené z pohonu, řízení, odměřovacího systému, kin. mechanismu, s technologickou výstupní hlavicí
- Svařovací a průmyslové roboty a manipulátory – možnost pohybu svařovacího nástroje po dané dráze definovanou rychlostí, se správným naklopením hlavice a všemi potřebnými parametry v předepsaném časovém limitu [3]



Obr. 3.3 - Svařovací robot Yaskawa MA2010 [9]

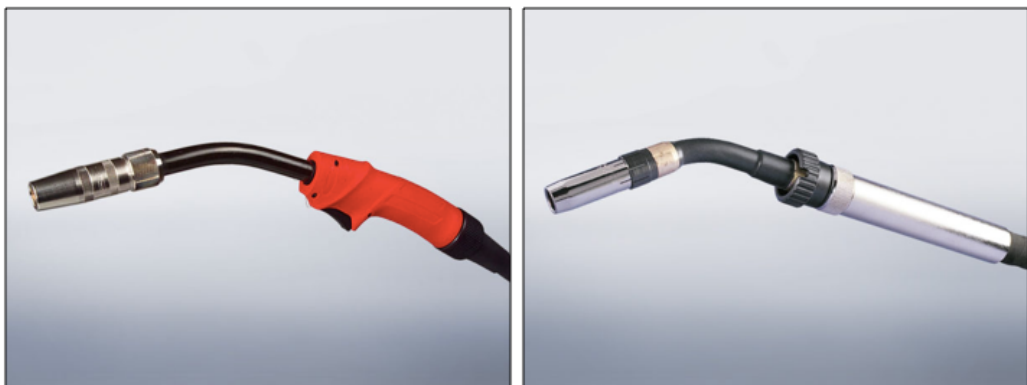
V současnosti je robotizace nedílnou součástí výrobní činnosti. Pomocí různých typů technologických hlavic lze svařovat většinu kovových i nekovových materiálů, a to ve všech polohách. Svařování pomocí robotů našlo uplatnění v bodovém, obloukovém i laserovém svařování.

Technologická hlavice pro bodové svařování je umístěna na poslední ose robota se sériovou kinematickou strukturou. Na obr. 3.4 je znázorněn robot s angulární kinematickou strukturou a hlavicí pro bodové svařování. [10]



Obr. 3.4 - Robot s technologickou hlavicí pro bodové svařování [11]

Pro metody svařování MAG, která je vhodné pro svařování konstrukčních ocelí, korozivzdorných ocelí, obtížně svařitelných materiálů je znázorněn ruční a strojní svařovací hořák.



Obr. 3.5 - Ruční (vlevo) a strojní (vpravo) svařovací hořák pro metodu MAG [12]

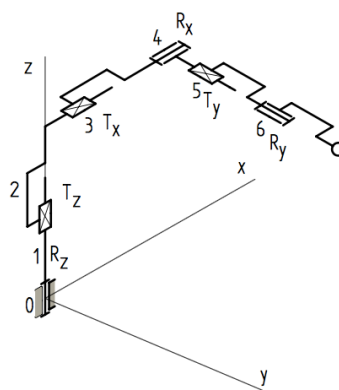
Programovatelné průmyslové roboty a manipulátory s programovacím zařízením jsou rozděleny do 3 základních skupin:

- Průmyslové manipulátory s pevným programem – mají automatický řídicí systém, změna je podstatným zásahem – jednoduchost, spolehlivost, nízká cena
- Průmyslové manipulátory s proměnlivým programem – možnost volby programu, vložený program se upravuje a modifikuje na základě aktuálních informací z čidel
- Kognitivní roboty – umělá inteligence v řídicím systému -> automaticky se generuje program činností na základě vložených algoritmů

3.3.1 Kinematika robotů a manipulátorů

Svařování patří mezi technologie, které lze poměrně dobře automatizovat a robotizovat. A v této souvislosti je třeba rozlišit dva prostory automatizace. První se týká automatizace vlastního procesu, která obsahuje regulaci svařovacího proudu, délku oblouku, podávání přídavného drátu. V druhém prostoru jde o manipulaci (nastavení relativní polohy nebo dráhy a rychlosti pohybu svařovacího nástroje). Manipulace při svařování má vhodné předpoklady pro automatizaci, protože při nastavování relativní polohy při svařování si roboty vystačí s běžnou přesností. Dalším příznivým předpokladem je, že nedochází k přímému kontaktu nástroje s materiálem. [3]

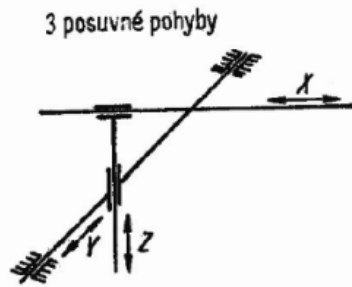
Kinematika pohybových částí průmyslových robotů vychází z umělé reprodukce motorických funkcí lidské ruky. Průmyslové roboty používají ve svých kinematických řetězcích jen dva druhy vazeb – rotační a posuvný. Pro určení polohy tělesa v prostoru je potřeba šest nezávislých souřadnic. [13]



Obr. 3.6 - Kinematický řetězec průmyslových robotů se 6 stupni volnosti [13]

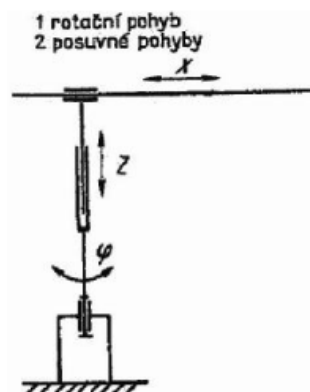
Kinematické struktury robotů lze rozdělit do čtyř základních skupin podle souřadnicového systému:

- Kartézský (pravoúhlý) systém – tři posuvné dvojice, polohovací ústrojí robotů má tři lineární pohyby realizované v pravoúhlých souřadnicích x-y-z, pracovní prostor je kvádr



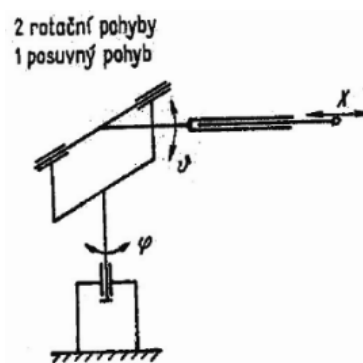
Obr. 3.7 - Kartézská kinematická struktura [13]

- Cylindrický (válcový) systém – tvořen dvěma posuvnými a jednou rotační dvojicí, lineární pohyb realizován v souřadnicích x-y a rotaci kolem z, pracovní prostor je válcový prstenec



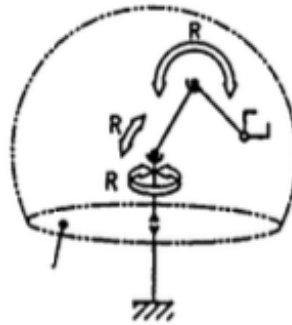
Obr. 3.8 - Cylindrická kinematická struktura [13]

- Sférický systém – tvořen dvěma rotačními a jednou translační dvojicí, lineární pohyb ramene v ose x a rotace v ose z, pracovní prostor je kulový



Obr. 3.9 - Sférická kinematická struktura [13]

- Úhlový systém - složen ze tří rotačních dvojic, pohyb hořáku odvozen od rotačních os, pracovním prostorem je torusový prstenec, v praxi nejpoužívanější



Obr. 3.10 - Úhlová kinematická struktura [13]

Výstupní hlavice robotu

Pracovní hlavice neboli strojní hořák, je funkční částí, kterou průmyslový robot nebo manipulátor působí na své okolí s požadovanými technologickými úkoly. Je výstupem kinematického řetězce robotu nebo manipulátoru. Nastavení polohy a orientace hořáku dle požadavků zajišťuje konstrukce robotu. Vlastní funkce hořáku je zajišťována samostatným systémem. Konstrukce musí umožňovat dobrý přístup do pracovních míst. Pro požadovanou svařovací technologii je navržený příslušný hořák.

Požadavky:

- *snadné upnutí a přesné nastavení hořáku,*
- *snadné upnutí snímačů polohy svarových ploch,*
- *vhodné upnutí kompletů vedení a hadic,*
- *snadné uvolnění hořáku.*

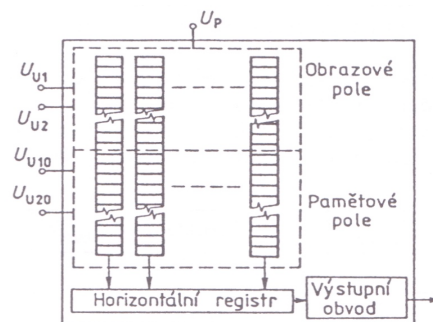
Při obloukovém svařování metodou MIG/MAG může být konstrukce hořáku vybavena systémem pro podávání přídatného materiálu (drátu) s napojením na řídicí systémem, pro udržování optimálních parametrů při svařování. [3]

3.3.2 Snímače

Významným prvkem informačního systému průmyslových robotů jsou snímače – hlavní funkční část vnímacího subsystému. Jedná se o zařízení umožňující sběr a přenos informací o stavu pracovních orgánů průmyslových robotů (odměřování polohy), včetně základních informací o stavu a změnách vnějšího prostředí robota. Snímač je složen z jednoho nebo více čidel. Čidla jsou prvky, na které působí snímané veličiny a které získané informace převádějí na elektrické signály zpracovávané řídicím systémem na výstupní signály, které dále působí na

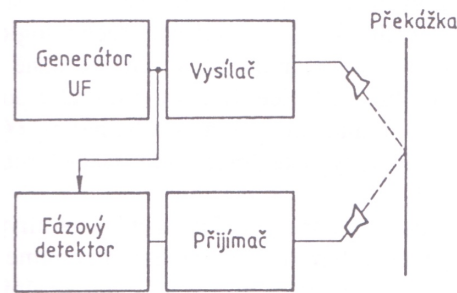
ovládací prvky jednotlivých funkčních částí robotu. Existují dva typy čidel. Prvním typem jsou čidla vnitřní, které slouží ke sledování činnosti samotného robota. Tím je myšleno sledování polohy a změny polohy a rychlost pohybu jednotlivých členů. Druhým typem jsou čidla vnější, která zachycují stav pracovního prostředí. Sledují a zaznamenávají polohu hořáku a předmětu v prostoru. Pomocí nich musí být sledovány i parametry svařování (proud, napětí na oblouku, délka oblouku, vnesené teplo, podávání drátu atp.) [3]. Ke sledování těchto veličin se používají různé typy senzorů např.:

- Vizuální snímače – Patří k nejdůležitějším a pomocí nich lze získat až 80 % dostupných informací. Princip spočívá ve snímání a digitalizaci obrazu. Při snímání provádí vstupní zařízení diskretizaci spojitě dvourozměrné funkce s následným převodem na elektrický signál následně zpracovaný v analogově-digitálním převodníku. Digitalizací obrazového signálu se získá uspořádaný soubor dat, který popisuje digitální obraz.



Obr. 3.11 - Zjednodušené schéma CCD (Charge Coupled Device) snímače [3]

- Proximitní snímače – Jedná se o bezdotykové snímače z hlediska indikace polohy objektu pracující na principu odražené energie (snímače optické, ultrazvukové, laser) nebo reagující na přiblížení předmětu na určitou vzdálenost (snímače indukční, kapacitní). Ultrazvukové snímače pracují na základě registrace signálů odražených od předmětů, které se nachází v citlivém prostoru snímače. Dochází k použití ultrazvukových vln s hodnotou do 50 kHz.



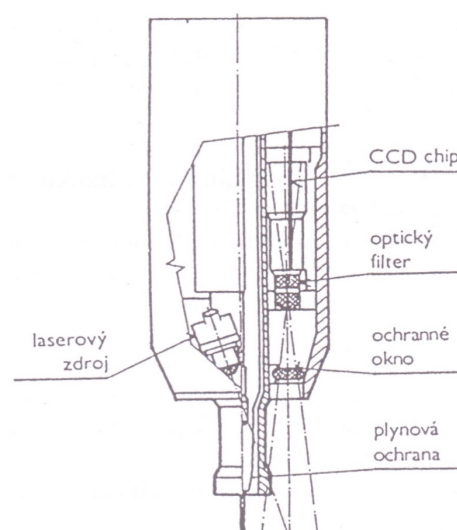
Obr. 3.12 - Schéma ultrazvukového snímače [3]

- *Taktilní snímače* – Tento typ snímá objekty na základě fyzického dotyku s předmětem. Umožňuje ochranu robota, měkké uchopení předmětu, snadný pohyb a přesné měření prostorových souřadnic (sledování spáry). [3]

Pro dosažení jakostního svarového spoje je nutné samočinné vedení hořáků během svařování. Proto je nutné, aby došlo spolehlivě a přesně k odměření polohy svařovacího hořáku během svařovacího cyklu. Toto obstarávají řídicí systémy, jejichž dalšími úkoly je:

- *Vyhledávání začátku i konce svaru včetně prostorové korekce původně naprogramované dráhy,*
- *korekce dráhy svařování prováděná v průběhu pohybu hořáku při vlastním svařovacím cyklu – řídicí systém vyhodnocuje údaje měření a provádí automaticky korekci do rovnovážného stavu – osy svaru. [3]*

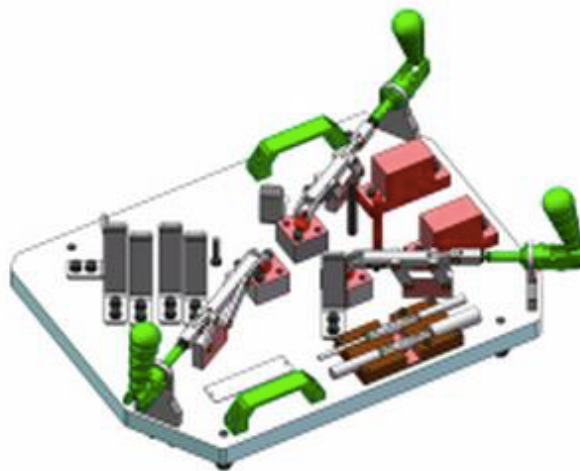
K tomuto účelu jsou používány již zmíněné snímače polohy. Nejnovější systémy vedení svařovacích hlav jsou umístěné přímo v místě hoření oblouku.



Obr. 3.13 - Vizuální navádění systému hořáku [3]

3.4 Svařovací přípravky

Přípravky jsou konstrukčními prvky používanými pro usnadnění výroby, zajištění její větší produktivity, hospodárnosti a bezpečnosti. Upnutí součásti by mělo být rychlé a bezpečné. Přesnost svařovacího přípravku a samotného upnutí přímo ovlivňuje výslednou přesnost svařence (rozměrovou i geometrickou). Umožňují přímé i nepřímé zkracování výrobních časů a zabezpečují plynulou návaznost jednotlivých operací. Upínání polotovarů do přípravku může být automatické nebo ruční pomocí upínek. Svařovací přípravek bývá zpravidla upnut na stole, který může být pevný nebo v případě potřeby vybaven pohonem pro polohování, tj. polohovadlem. Dalším pozitivem aplikací upínacích přípravků je snížení námahy operátora.



Obr. 3.14 - Svařovací přípravek [23]

4 Přesnost výrobního procesu

Přesnost výrobního procesu je definována jako schopnost dodržet technologický či technický postup, týkající se znaků výrobků (počet vad, pevnost materiálu) nebo technologických parametrů (výkonnost balící linky, délka bezporuchového chodu výrobního zařízení). Z hlediska statistického vymezení je to schopnost dodržet parametry polohy (μ) a variability (σ). Každý výrobní proces, činnost se realizuje s určitým cílem. Tomuto cíli je snaha se v praxi co nejvíce přiblížit s minimálními odchylkami. Stoupající požadavky na kvalitu výrobků a tlak na zmenšení výrobních nákladů vedl v poslední době ke značným změnám v přípravě výroby a v zabezpečování kvality ve výrobním procesu.

4.1 Statistická regulace procesu

Statistické řízení procesů představuje preventivní přístup k řízení kvality, neboť na základě včasného odhalování neshod v průběhu procesu od předem stanovené úrovně, umožňuje zásahy do procesu s cílem zachovávat jej na stabilní požadované úrovni. Obecně je statistické řízení realizováno pravidelnou a periodickou kontrolou regulované výstupní veličiny, při níž se určuje, zda tato veličina odpovídá požadované úrovni. V první fázi je minimalizace počtu neshodných jednotek. Po statistickém zvládnutí procesu a dosažení požadované úrovně nastává další fáze – udržování regulované veličiny a celého procesu na této úrovni tak, aby byla zjištěna shoda znaků kvality produktu s požadavky specifikovanými zákazníkem. [29]

4.1.1 Variabilita procesu

Variabilita procesu vyznačuje jeho neopakovatelnost, jde o přirozenou vlastnost jevů, kterou vyvolá řada vlivů a z toho důvodu nelze vyrobit dva stejné výrobky. Vychází z poznatku, že ačkoliv žádný proces není stejný, je možné studovat vlivy, které na něj působí a zjistit jeho stabilitu. Variabilitu lze rozdělit na variabilitu vyvolanou náhodnými nebo vymežitelnými příčinami. Náhodné příčiny lze definovat jako neidentifikovatelné, které z hlediska variability jsou méně podstatné. Pokud vyvolají variabilitu procesu pouze tyto příčiny, lze ho charakterizovat jako:

- Proces reprodukovatelný s předvídatelnou kvalitou výstupu
- Proces je ve statisticky stabilním stavu

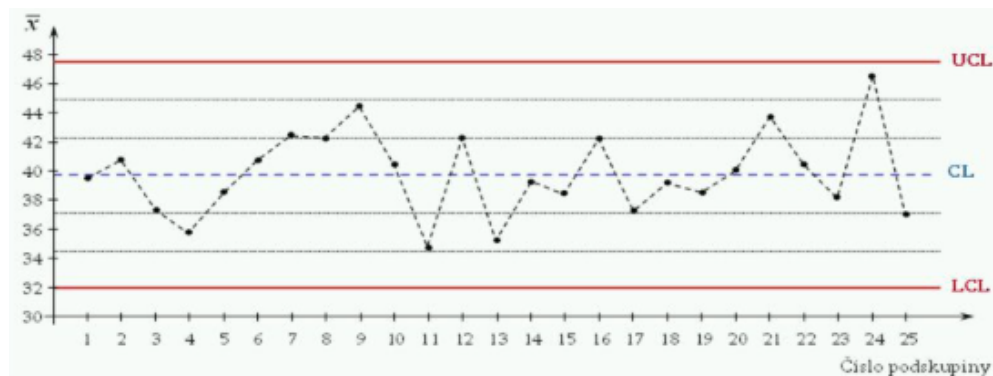
Vymezitelné příčiny jsou takové, které na výrobní proces standardně nepůsobí a jejich výskyt způsobuje kolísání variability. Působí-li na proces i tyto příčiny, lze ho definovat takto:

- Proces není reprodukovatelný s nepředvídatelnou kvalitou výstupu
- Proces není statisticky stabilní [30]

4.1.2 Regulační diagram

Regulační diagram je základním grafickým nástrojem SPC (Statistical Process Control), který slouží k vyobrazení variability procesu a jeho vývoje v čase, využitím statistických hypotéz. Jedná se o preventivní přístup ke kvalitě. Skládá se ze střední přímky (CL), horní regulační meze (USL) a dolní regulační meze (LSL). Mezi těmito mezemi by měly kolísat hodnoty sledovaných faktorů, v případě, že průběh výrobního procesu je uspokojivý, tj. bez působení systematických vlivů, pouze ovlivněný náhodnými příčinami.

Při sledování procesu měření je třeba sledovat nejen hodnotu měřené veličiny, ale také variabilitu naměřených údajů R v požadovaných hranicích. Toho lze dosáhnout použitím regulačních diagramů aritmetických průměrů \bar{X} a variačních rozpětí R . Variační rozpětí představuje rozdíl mezi maximální a minimální měřenou hodnotou. Pro menší počet hodnot je používán regulační diagram pro jednotlivé hodnoty.



Obr. 4.1 - Návrh regulačního diagramu [31]

CL (central line) – střední hodnota, UCL (upper control line) – horní regulační mez, LCL (lower control line) – dolní regulační mez

4.2 Hodnocení způsobilosti procesu

Při prověřování schopnosti strojů, resp. procesů jsou statisticky zjišťovány střední hodnoty a rozptyl charakteristických hodnot výrobků, jež mají být vyráběny. Z polohy křivky rozložené uvnitř přípustného tolerančního pole jsou zjištěny tzv. indexy strojů C_m , resp. indexy

způsobnosti procesů C_p . Proces je považován za schopný, jestliže rozdělení charakteristických hodnot leží v rámci tolerančního pole s rozptylem ± 4 směrodatných odchylek (včetně posunutí střední hodnoty). Výběr ukazatele je ovlivněn tím, zda jde o měřitelný nebo neměřitelný atribut. Pokud je ukazatel kvality měřitelný, může mít normální nebo jiné rozdělení. Normální rozdělení je pro tyto ukazatele zásadní a tento fakt musí být ověřen. Je tedy nutné pracovat s dostatečně velkým datovým souborem a zvolit správný test. [32]

Pro užití ukazatelů způsobnosti je nutné splnění základních předpokladů:

- *stabilizovaný proces – naměřené hodnoty v regulačních mezích (vyhodnocení regulačního diagramu,*
- *vhodně nastavená tolerance.*

4.2.1 Doporučený postup k určení indexů způsobnosti

- 1) Volba znaku jakosti – rozhodující faktor pro zvolený výrobek, který má předepsaná kritéria jakosti
- 2) Analýza systému měření – zvolit takový systém měření, který povede ke správným výsledkům
- 3) Shromáždění údajů – data by měla být naměřena v pravidelných intervalech (časových, dávkových)
- 4) Posouzení statistické zvládnutelnosti procesu
- 5) Ověření normality
- 6) Výpočet indexů způsobnosti a porovnání s požadovanými hodnotami [35]

4.2.2 Atributy s normálním rozdělením

V případě, že data mají normální rozdělení, je možné určit rozptyl, který je základní charakteristikou. Nevýhodou je však jeho závislost na použitých jednotkách, a tedy nelze s určitostí tvrdit, že se jedná o malý nebo velký rozptyl. Proto se vyjadřuje tzv. variační koeficient nebo variační rozpětí. K určení, zda lze rozdělení považovat za normální, slouží testy normality (např. Shapirův-Wilkův, Andersonův-Darlingův test, Q-Q a P-P graf).

Index C_p a C_{pk}

Ukazatelé způsobnosti C_p , C_{pk} (8) byly zavedeny do praxe s účelem jednoznačného určení úrovně, tzv. inherentní variability znaku jakosti a dvojrozměrné polohy, tj. střední hodnoty

sledovaného znaku jakosti. Ovšem prvním problémem, s kterým se lze v praxi setkat, je již stanovení hodnot pro C_p a C_{pk} od konstruktérů či odběratelů produktů z procesu. Mnohdy jsou tyto hodnoty nastaveny takovým způsobem, že výrobce není schopen se stávající technologií tyto požadavky splnit, protože to mnohdy není ani možné. Index C_p obecně vyjadřuje „čeho jsme schopni dosáhnout“, čili míru potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančních mezí. Zatímco index C_{pk} obecně vyjadřuje „čeho jsme ve skutečnosti dosáhli“. Sleduje nejen variabilitu sledovaného znaku, ale i jeho polohu vůči nastaveným tolerancím.

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma}, \quad C_{pk} = \left(\frac{USL-\mu}{3\sigma}, \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \right) \quad (8)$$

kde:

USL – horní toleranční mez [-],

LSL – dolní toleranční mez [-],

μ – střední hodnota [-],

σ – směrodatná odchylka [-].

Vyhodnocení:

$C_p, C_{pk} > 1$ – dosazovaná přesnost vyhovuje požadované přesnosti, tzn. výsledek procesu se nachází v tolerančním intervalu a proces je způsobilý

$C_p, C_{pk} < 1$ – dosazovaná přesnost nevyhovuje požadované přesnosti, tzn. proces není způsobilý

$C_p, C_{pk} = 1$ – dosahovaná přesnost je rovna požadované

Tyto veličiny mohou být ovlivněny různými parametry – rozptylovými vlivy. Náhodné rozptylové vlivy se chovají jako stabilní systém náhodných příčin. Pakliže jsou přítomny pouze příčiny, které se nemění, výstup procesu lze považovat za předvídatelný a za proces „ve stavu statistické regulace“. Mezi náhodné vlivy zejména patří:

- *způsobilost obsluhy,*
- *kolísání teploty,*
- *nastavení parametrů stroje,*
- *vliv technologie,*
- *změny materiálu,*
- *vliv zařízení, měřidel.*

Systematické rozptylové vlivy se nevyskytují na rozdíl od náhodných vlivů v průběhu procesu, ale pouze nepravdělně. Většinou mohou být identifikovány a odstraněny. Jedná se například o tyto vlivy:

- *nesprávně seřízený stroj,*
- *chyba obsluhy,*
- *záměna materiálu,*
- *poškozený nástroj.*

Index C_m a C_{mk}

Jak již bylo zmíněno, dalším ukazatelem hodnocení způsobilosti může být index způsobilosti stroje C_m . Index C_m obdobně jako index C_p vyjadřuje čeho jsme schopni dosáhnout a index C_{mk} vyjadřuje čeho jsme ve skutečnosti dosáhli. Jde tedy pouze o správnou interpretaci těchto ukazatelů kvality. Provádí se pomocí krátkodobých zkoušek, které mají za cíl podchytit vlivy přímo působící na proces a vlivy spojené s výrobním strojem. Jde o způsob kontroly, která neuvažuje vlivy nesouvisející přímo se strojem (opotrebování nástroje, vliv prostředí). Charakteristickým je jednorázový výběr o větším rozsahu za konstantních podmínek. Vhodný soubor pro výpočet těchto ukazatelů by měl mít alespoň 50 hodnot. Cílem je rozhodnout, zda je stroj vhodný pro danou výrobní operaci z hlediska dodržení požadované výrobní tolerance. [28]

Výpočet je analogický s výpočty indexů C_p a C_{pk} , pouze hodnota výsledku je pravidla požadována vyšší (automobilový průmysl). Index využití způsobilosti stroje C_{mk} charakterizuje skutečnou polohu naměřených hodnot, resp. jejich výběrového průměru v tolerančním poli a zároveň je měřítkem správného seřízení stroje. Standartním požadavkem způsobilosti stroje je, aby hodnota $C_m, C_{mk} \geq 1,67$.

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma^M}, \quad C_{mk} = \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma^M}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma^M} \right) \quad (9)$$

kde:

USL – horní toleranční mez [-],

LSL – dolní toleranční mez [-],

μ – střední hodnota [-],

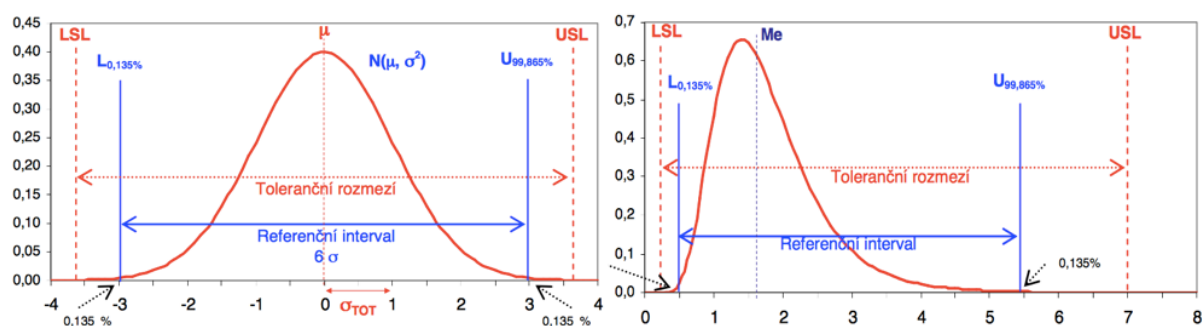
σ^M – směrodatná odchylka [-].

Pokud budou hodnoty získány z měření, které byl uskutečněno hned za sebou idealizujeme tak podmínky měření a minimalizujeme vliv:

- pracovníka,
- materiálu,
- metody,
- prostředí,
- měření. [28]

4.2.3 Atributy s nenormálním rozdělením

Jestliže podle testu normality nebo předpokladu (měření ovality, kolmosti, souososti), jsou data nenormálního rozdělení, je potřeba k jejich vyhodnocení přistupovat odlišným způsobem. Nelze stejným způsobem určit indexy C_p , C_{pk} , C_m , C_{mk} a tzv. sigma hodnotu (kap. 4.3) jako u dat s normálním rozdělením. Zejména z toho důvodu, že tyto ukazatele využívají směrodatnou odchylku inherentní variability. Směrodatná odchylka u těchto nenormálních rozdělení nemá tu vlastnost jako směrodatná odchylka u normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, že interval $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ délky 6σ pokrývá hodnoty normálně rozdělené náhodné veličiny s pravděpodobností 0,9973. Tento interval musí být u nenormálního rozdělení nahrazen něčím jiným, používá se tedy kvantilové rozpětí $U_{0,99865} - L_{0,00135}$ (viz obrázek 4.2). Jednou z možností stanovení způsobilosti je také Box-Coxova transformace. [34]



Obr. 4.2 - Odvození ukazatele pro normálně (vlevo) a nenormálně (vpravo) rozdělený znak kvality [34]

Box-Coxova transformace

Jak bylo zmíněno výše, tato metoda se používá, pokud je při analýze dat zjištěn soubor s nenormálním rozdělením. Box-Coxova transformace zlepšuje symetrii rozdělení a stabilizuje rozptyl.

4.3 Six Sigma

Jedná se o metodiku jejímž tvůrcem je americká společnost Motorola a lze ji považovat za metodiku či nástroj pro zajišťování kvality procesu na základě statistického vyhodnocování jeho způsobilosti. Zabývá se zlepšováním procesu a vychází z naměřených a dále analyzovaných dat. Je vhodná pro zvýšení efektivity práce napříč celou organizací.

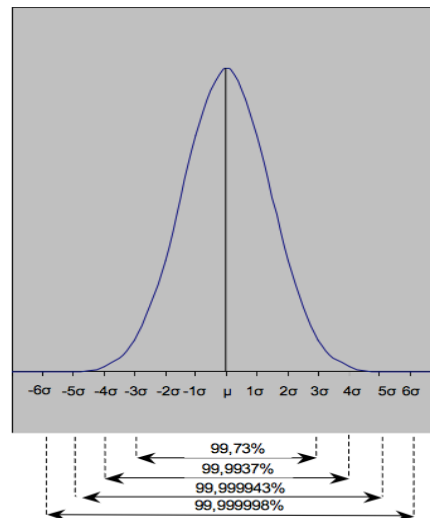
4.3.1 Základní termíny Six Sigma

Pro správné použití metodiky je důležité pochopení jednotlivých termínů s ní spjatých. Odklon od stanovených hodnot je vyjádřen termínem **odchylka**. Měřením těchto odchylek od průměrné hodnoty má větší vypovídající schopnost než samotná průměrná hodnota. Jejich snižováním dochází ke zlepšování způsobilosti. Při správném postupu měření a využití technik lze zjistit, z jaké příčiny odchylka nastala. Poté je možné odchylku redukovat.

Vada je interpretována jako velký odklon od stanovených hodnot. Pro zamezení vzniku těchto vad je základním předpokladem při řízení procesu identifikace vstupů procesu, které přímo ovlivňují jeho výstupy. Výstup může být chápán jako finální výrobek, zisk nebo počet spokojených zákazníků.

Počet vad na milion (DPMO – Defects Per Million Opportunities) je považován za jen ze základních ukazatelů používaných v metodice Six Sigma. Pro stanovení hodnoty DPMO se vychází z normálního rozdělení sledované veličiny, které je popsáno v následujícím textu. [26]

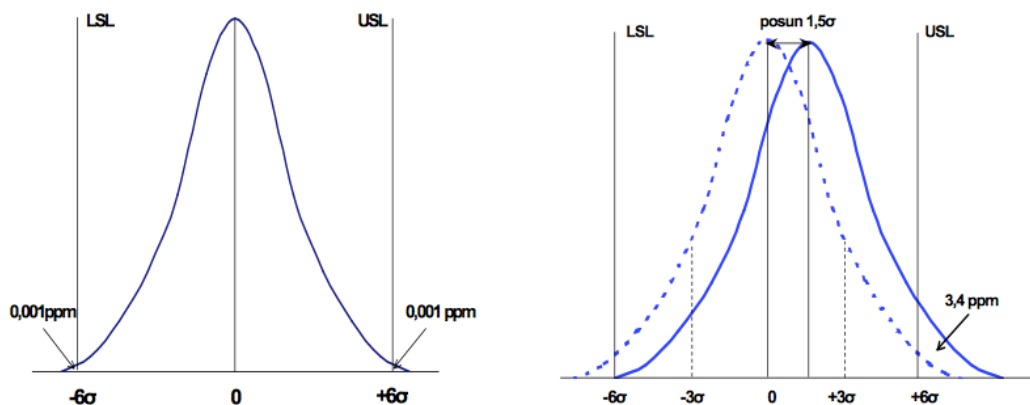
Základním přístupem filosofie Six Sigma je zabezpečování kvality, která se dá vyjádřit jako: „Jakost výrobku dodávaného zákazníkovi je zabezpečována procesy u dodavatele, které jsou tak způsobilé, že pravděpodobnost vzniku neshodného výrobku je zanedbatelně malá“ [24]. Kolísáním některých parametrů mimo toleranční pole má za následek, že realizovaný produkt vykazuje jistý rozptyl (variabilitu) od středu tolerančního pole. Rozložení parametrů vyrobeného produktu od požadované hodnoty, středu tolerančního pole se řídí zákonitostmi matematické statistiky. Ve většině příkladu toto rozdělení odpovídá normálnímu rozdělení. Tvar křivky je určen střední hodnotou μ , která určuje polohu maximální četnosti výskytu sledované veličiny a variabilitou σ (směrodatná odchylka), která definuje „štíhlost“ této křivky.



Obr. 4.3 - Grafické znázornění vlastností Gaussovy křivky [25]

Za uspokojivý a způsobilý byl tradičně považován proces 3σ . To znamená, že horní (USL) a dolní (LSL) specifikační mez charakteristiky procesu je vzdálena 3σ od střední hodnoty (obr.4.3). Plocha Gaussovy křivky mezi oběma mezemi je rovna 99,73 % celkové plochy a představuje podíl výrobků vyhovujícím požadavkům specifikace. Plocha mimo tyto meze je rovna 0,27 % a představuje nevyhovující výrobky. [25]

Cílem každého podniku je mít bezzmetkovou výrobu čili dosáhnout vzdálenosti střední hodnoty od obou tolerančních mezí na úrovni 6σ . Pro úroveň 6σ z vlastností normálního rozdělení plyne, že se nachází 99,99999998 % všech hodnot sledované veličiny uvnitř tolerančního pole. Počet vad na milion pro tento případ je roven hodnotě 0,002. Tento případ platí v krátkém období, kdy se předpokládá, že se střední hodnota nemění. V delším období se připouští posun střední hodnoty μ směrem ke specifikačním mezím o hodnotu $1,5\sigma$. Při posunu střední hodnoty k jedné ze specifikačních mezí se zvýší hodnota DPMO na 3,4. To znamená, že mezi specifikačními mezemi leží 99,99966 % všech hodnot, tj. proces vykazuje 3,4 chyby z milionu. [26]

Obr. 4.4 - Graf způsobilosti procesu na úrovni 6σ základní (vlevo) a při posunu o $1,5\sigma$ (vpravo)

Pomocí metodiky Six Sigma lze snadno srovnávat kvalitu procesu. Každý proces je specifický svými požadavky a odchylka může být doba zpracování nebo jakost, tak z toho důvodu se počítá **hodnota sigma**. Ta srovnává nesourodé procesy a určuje který z nich je lepší. V případě měřitelného výstupu procesu, jehož kolísání je popsáno směrodatnou odchylkou σ , je tato hodnota dána vztahem:

$$\text{hodnota sigma} = \frac{USL - LSL}{2\sigma} \quad (10)$$

kde:

USL – horní toleranční mez [-],

LSL – dolní toleranční mez [-],

σ – směrodatná odchylka [-].

Koeficient k udává, kolikrát by se směrodatná odchylka „vešla“ do poloviny tolerančního pole. Čím vyšší je tato hodnota, tím většího výnosu (procenta hodnot uvnitř tolerančního pole) a nižší hodnoty DPMO proces dosahuje. Metodika Six Sigma udává hodnotu ve výši 6 jako stav, ke kterému by se měl proces přiblížit. V tabulce níže jsou uvedeny hodnoty DPMO i pro další úrovně sigma.

Tabulka 4 - Tabulka hodnot DPMO pro úrovně sigma [26]

Krajní rozměry	Hodnoty s posuvem $\mu \pm 1,5\sigma$		Hodnoty pro vycentrovaný proces	
	Výnos [%]	DPMO	Výnos [%]	DPMO
$\mu \pm 1\sigma$	30,23	697 700	68,27	317 300
$\mu \pm 2\sigma$	69,13	608 700	95,45	45 500
$\mu \pm 3\sigma$	93,32	66 810	99,73	2 700
$\mu \pm 4\sigma$	99,3790	6 210	99,9937	63
$\mu \pm 5\sigma$	99,97670	233	99,999943	0,57
$\mu \pm 6\sigma$	99,99966	3,4	99,999998	0,002

Experimentální část

5 Popis výrobního procesu výložníku

5.1 Výložník E26

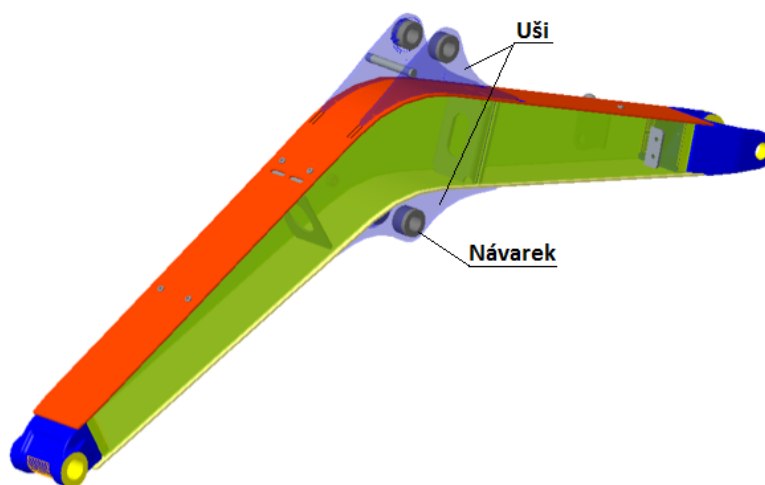
Výložník je součástí pracovní skupiny bagru, kde na jedné straně je uložen v otoči bagru, na straně druhé v násadě. Jedná se o svařovanou konstrukci z nelegované jakostní oceli S355J2G3 (1.0570) a dvou odlitků z oceli na odlitky.

Tabulka 5 - Chemické složení oceli S355J2G3

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni	Al
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	min.
S355J2G3	0,22	0,55	1,60	0,035	0,035	0,30	0,08	0,30	0,48	0,02

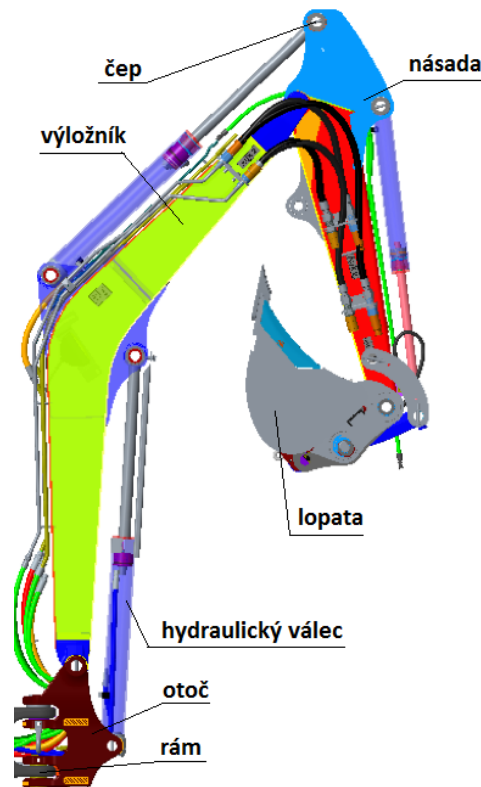
Tabulka 6 - Chemické složení oceli na odlitky MS27

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Cu	Al	B min.
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	
MS27	0,30	1,6	0,04	0,045	0,30-0,70	0,50	0,30	0,30	0,02-0,08	<0,0005



Obr. 5.1 - Výložník E26

Pro rozpořívování pracovní skupiny slouží hydraulické válce. Návarky na horní části výložníku slouží k namontování čepu a hydraulického válce pro ovládání násady. Spodní návarky slouží k namontování čepu a hydraulického válce, který je druhým koncem uložen v otoči stroje a slouží k ovládání výložníku ve směru nahoru-dolu. Pro správné napojení všech dílů pracovní skupiny je důležité, aby byla dodržena přesnost dle výkresové výrobní dokumentace. Lze předpokládat, že nejvíce kritická místa budou v oblasti tzv. „uší“ (viz obrázek 5.1) svařovaného výložníku. Případné rozměrové odchylky v těchto částech by mohly znemožnit správné napojení jednotlivých dílů k sobě.



Obr. 5.2 - Sestavení pracovní skupiny

5.2 Svařovací proces výložníku

Pro eliminaci vnějších vlivů, které by mohly znehodnotit výsledky experimentu, svařování výložníku (stehování, finální svařování) vykonával pouze jeden svářeč, resp. operátor (zohledněn tak byl lidský faktor s ohledem na stejné návyky, produktivitu, pečlivost). Je důležité brát v potaz, že časové prodlevy mezi jednotlivými fázemi svařování jsou minimální. V případě, že by se výložník po každém svařování nechal vychladnout, pozitivně by to ovlivnilo výchozí rozměry svařence. Ovšem vzhledem k vytíženosti výrobního procesu je prodlevou pouze čas zahrnující nutnou manipulaci svařence na další svařovací stanoviště.

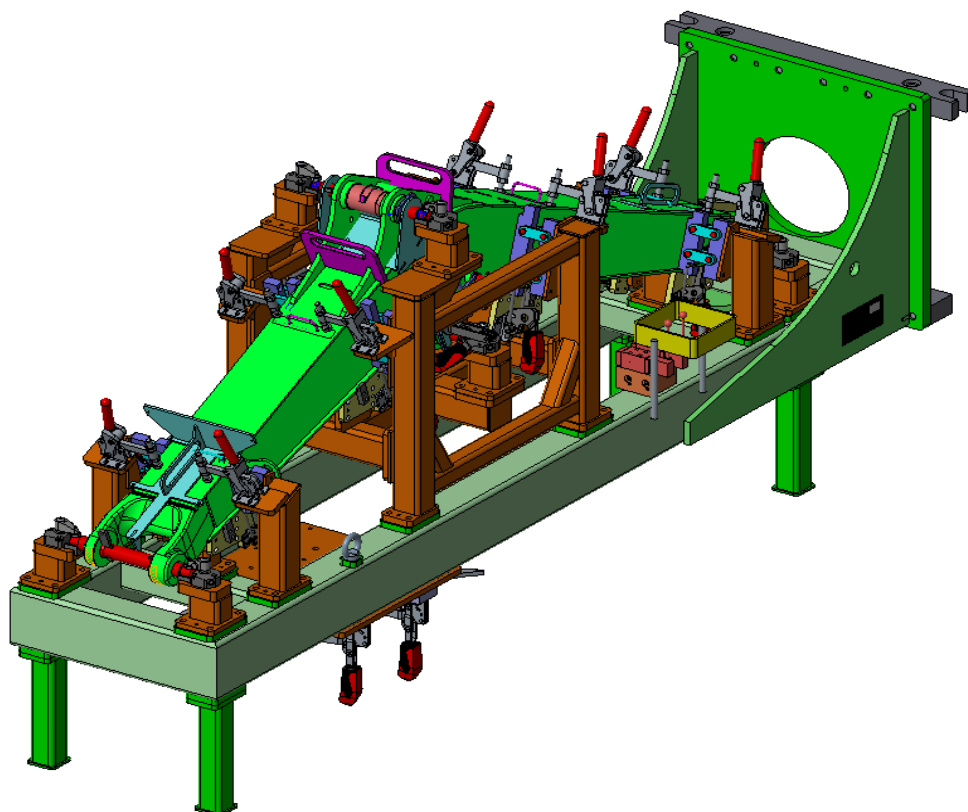
K nejvíce hlídaným rozměrům výložníků patří sousost spodních i horních návarků a rozteče jednotlivých otvorů. Jak již bylo zmíněno, otvory slouží k nasunutí čepu, na který je následně uložen hydraulický válec sloužící pro rozpořbování pracovní skupiny. Je tedy důležité, aby čepy byly v předepsané poloze a mohlo tak dojít k bezproblémové montáži hydraulických válců. Bude se tedy jednat o nejvíce sledované části výložníku a bude se posuzovat jaká etapa svařovacího procesu má zejména na tyto části největší vliv z hlediska vyrobiteľné přesnosti.

5.2.1 Stehování výložníku

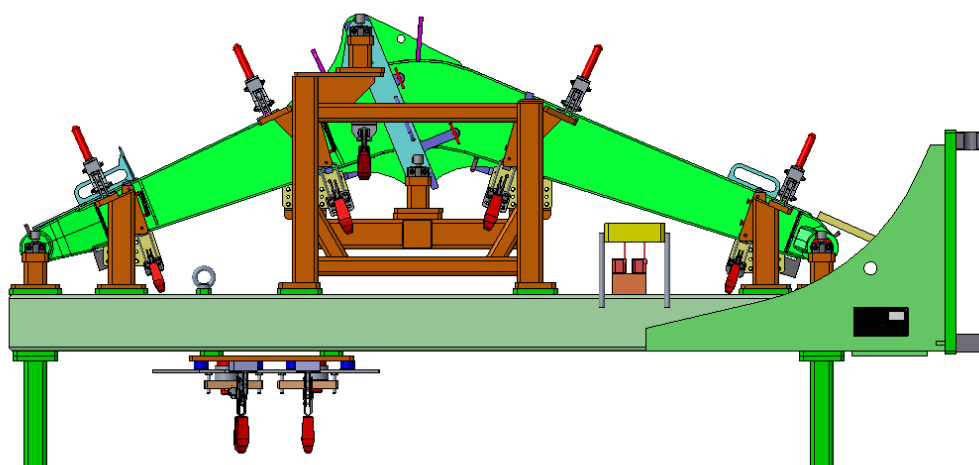
Svařovací proces výroby výložníku začíná nastehováním svařence ve stehovacím přípravku. Upínací přípravek (obr. 5.3-5.5) napomáhá rychle a přesně utvořit výsledný tvar svařence v předepsaných rozměrech a tolerancích. Rozteče funkčních otvorů jsou drženy v přípravku pomocí čepů s vymezovacími vložkami, uloženými v prizmatech a zajištěné hydraulickými upínkami. Ostatní díly svařence (plechy) jsou poskládány do přípravku tak, aby se dotýkaly určených dorazů, stykových ploch, které zaručují požadovaný tvar svařence. Po založení všech dílů dojde ke svaření jednotlivých komponent svařence k sobě krátkými stehovými svary tak, aby byla možná manipulace celého výložníku do robotického pracoviště. Při stehování dojde i ke svaření návarků k „uším“ výložníku pouze v jednom bodě, aby se během svařovacího procesu vlivem vneseného tepla a vzniku možných deformací mohli pohybovat. Jejich konečné svaření v ideální (předepsané) poloze je realizováno až poslední etapě svařování (finální svařování).

Tabulka 7 - Svařovací parametry stehování

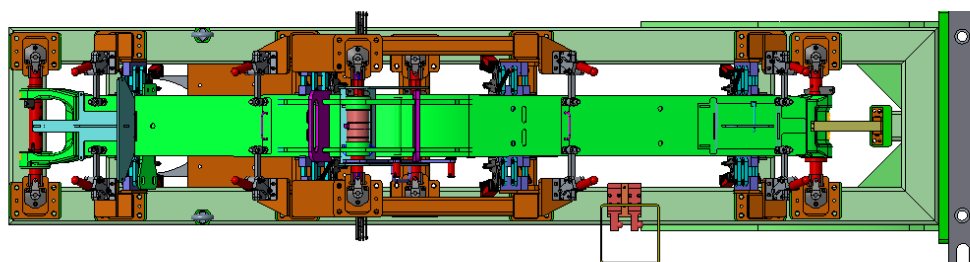
Parametry svařování - stehování	
Napětí	26,2 V
Proud	243 A
Čas svařování	40 min



Obr. 5.3 - Výložník založen do stehovacím přípravku – isometrický pohled



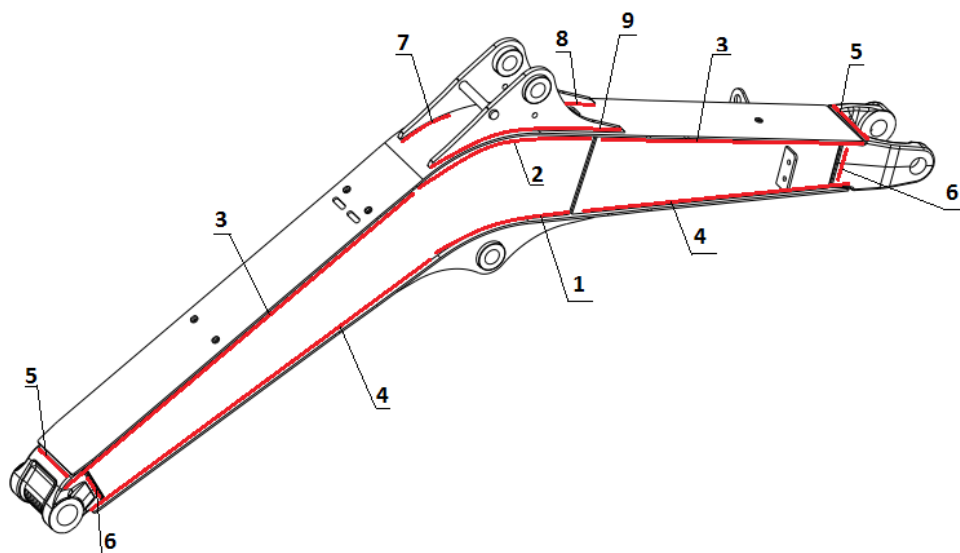
Obr. 5.4 - Výložník založen do stehovacím přípravku – boční pohled



Obr. 5.5 - Výložník založen do stehovacím přípravku – pohled shora

5.2.2 Robotické svařování výložníku

Dalším krokem svařovacího procesu výložníku E26 je svařování roboty. Nastehovaný svařenec je za pomoci mostového jeřábu přemístěn do přípravku robotického pracoviště. Upnutí svařence probíhá za koncové body a mezi tzv. „uší“ výložníku je umístěn čep s rozpěrnými válci. Jelikož vlivem vneseného tepla ze svařování dochází k deformaci figury výložníku, jsou v první řadě svařeny podélné svary, dále příčné svary a „uší“ se svařují až na úplný závěr, aby bylo docíleno požadované sousostí jednotlivých otvorů. „Uši“ výložníku jsou nejprve svařeny z vnitřní strany, a při tzv. finálním svařování se svaří ze strany vnější, kde se vrátí do ideální polohy a lze jednoduše vyjmout rozpěrný čep (průměr čepu o cca 0,1 mm menší než průměr návarku). Svařování celého výložníku probíhá zrcadlově pomocí dvou robotů, to zejména z toho důvodu, aby se jedna strana výložníku nedeformovala více než druhá. Pořadí svarových housenek na výložníku znázorňuje obrázek 5.6.



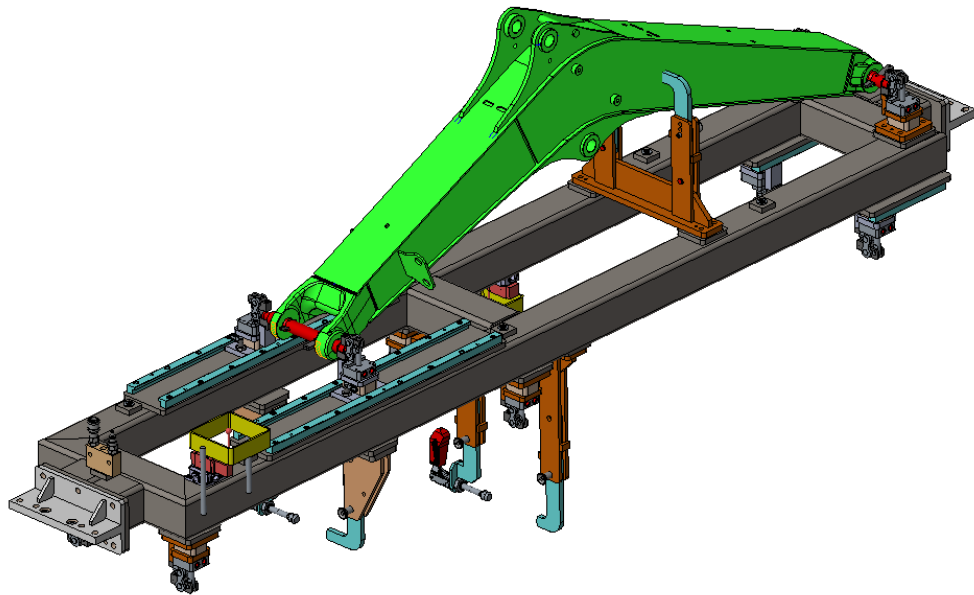
Obr. 5.6 - Pořadí svarových housenek při robotickém svařování

Tabulka 8 - Svařovací parametry robotického svařování

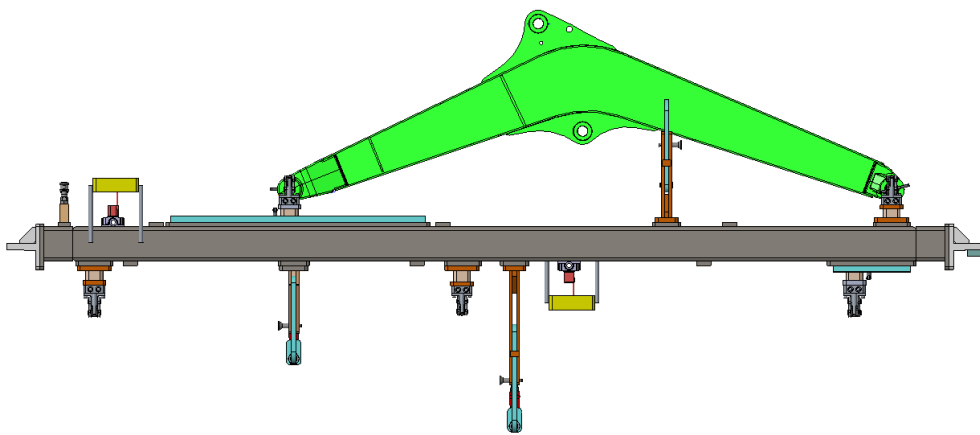
Parametry robotického svařování	
Napětí	27,5 V
Proud	256 A
Svařovací rychlost	40 cm/min
Čas svařování	31 min

Výpočet tepelného příkonu robotického svařování:

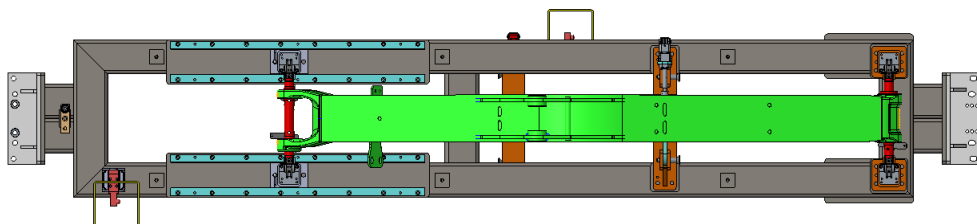
$$Q = k \cdot \frac{60 \cdot U_0 \cdot I_s}{1000 \cdot v_s} = 0,8 \cdot \frac{60 \cdot 27,5 \cdot 256}{1000 \cdot 40} = 10,56 \text{ [kJ} \cdot \text{cm}^{-1}]$$



Obr. 5.7 - Výložník založen do přípravku pro robotické svařování – isometrický pohled

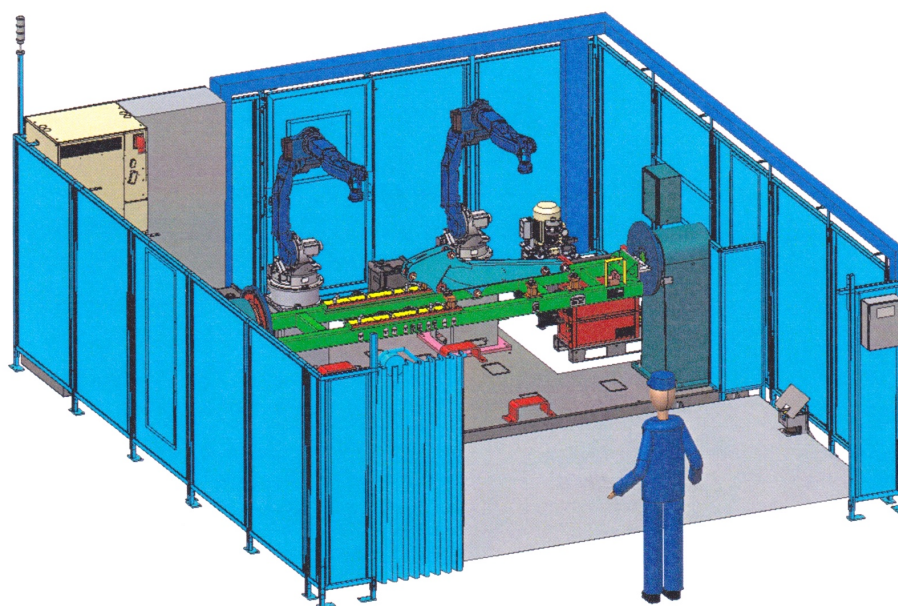


Obr. 5.8 - Výložník založen do přípravku pro robotické svařování – boční pohled



Obr. 5.9 - Výložník založen do přípravku pro robotické svařování – pohled shora

5.2.2.1 Robotické pracoviště



Obr. 5.10 - Robotické pracoviště

Robot Yaskawa MA 2010

Tabulka 9 - Technické údaje svařovacího robota MA 2010 [9]

Technické údaje MA 2010		
Řízené osy	6	
Nosnost (na konci 6 osy)	10 kg	
Maximální dosah	2010 mm	
Opakovatelnost	0,08 mm	
Hmotnost	280 kg	
Požadavky na výkon	2.0 kVA	
Vhodný pro	Obloukové svařování	
Maximální rychlost	S-osa	197°/sec
	L-osa	190°/sec
	U-osa	210°/sec
	R-osa	410°/sec
	B-osa	410°/sec
	T-osa	610°/sec

Svařovací zdroj TPS (TransPuls Synergic) 5000

Tabulka 10 - Technické údaje svařovacích zdrojů robotického pracoviště [9]

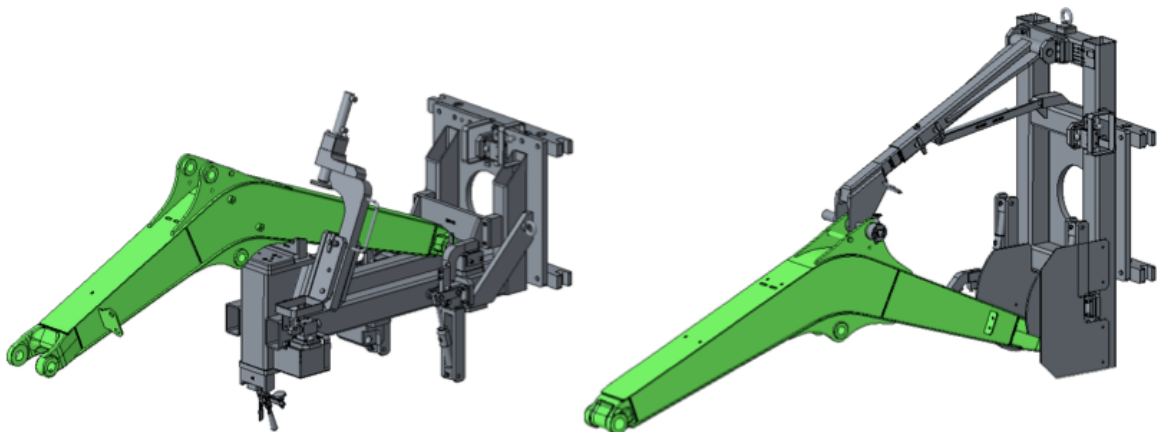
Technické údaje TransPlus Synergic 5000	
Síťové napětí	3x400 V
Tolerance síťového napětí	-1
Frekvence sítě	50/60 Hz
Síťové jištění	35 A
Trvalý primární proud (100%)	18 - 29,5 A
Trvalý primární výkon (kVA)	13,1 kVA
Účinník	0,99
Účinnost	90 %
Rozsah svařovacího proudu MIG/MAG	3 - 500 A
Rozsah svařovacího proudu wig	3 - 500 A
Rozsah svařovacího proudu elektrody	10 - 500 A
Doba zapnutí při 10min/40°C	40 % ED při 500 A
Doba vypnutí při 10min/40°C	100 % ED při 360 A
Napětí naprázdno	70 V
Pracovní napětí MIG/MAG	14,2 - 39,0 V
Pracovní napětí WIG	10,1 - 30,0 V
Pracovní napětí MMA	20,4 - 40,0 V
Stupeň krytí	IP 23
Rozměry: d x š x v	625/290/475 mm
Hmotnost	35,3 kg

5.2.3 Finální svařování

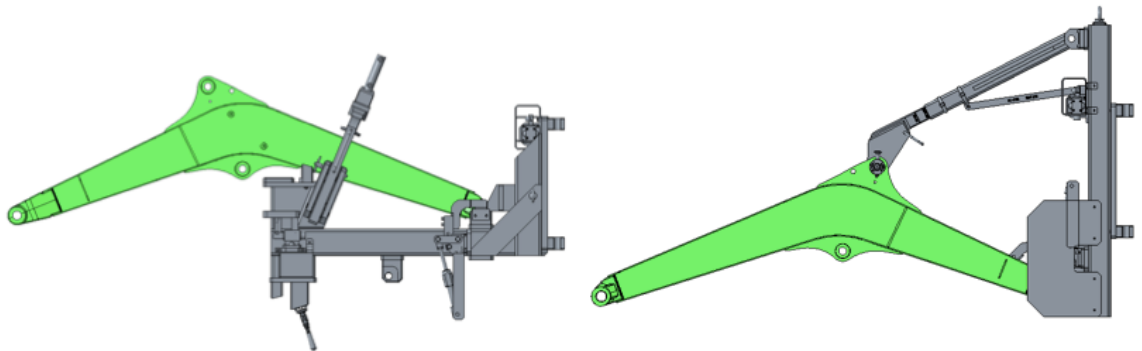
Poslední část svařovacího procesu je finální svařování, které je opět prováděno ručním hořákem (tzn. Poloautomatický způsob svařování). Je rozděleno do dvou pracovišť. Rozdíl mezi nimi je orientace výložníku v upínacím přípravku. Na obou těchto pracovištích se svařují části, které z důvodu nepřístupnosti nemohli být svařeny na robotickém pracovišti. Zejména se jedná o finální svaření „uší“ výložníku z vnějších stran, části z vnitřních stran a děrových svarů.

Tabulka 11 - Svařovací parametry stehování

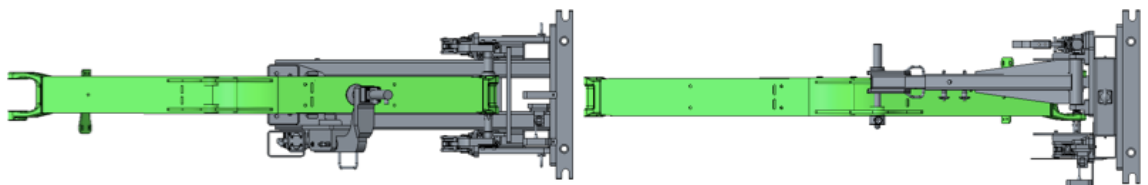
Parametry svařování – finální svařování	
Napětí	26,2 V
Proud	243 A
Čas svařování	30 min



Obr. 5.11 - Výložník založen do upínacího přípravku pro finální svařování – isometrický pohled



Obr. 5.12 - Výložník založen do upínacího přípravku pro finální svařování – boční pohled



Obr. 5.13 - Výložník založen do upínacího přípravku pro finální svařování – pohled shora

6 Měření výložníku

První fáze experimentální části se zabývá určením dosažitelné přesnosti výroby sledované součásti a vyhodnocení způsobilosti svařovacího procesu. Budou definovány rozměrové odchylky vůči předepsaným rozměrům. K měření výložníku je použito 3D měřicí rameno CimCore 7530. Měření výložníku bylo realizováno po každé fázi svařovacího procesu (stehování, robotické svařování, finální svařování) a bude ho opět vykonávat jeden operátor. Výsledkem by měl být jasný výstup definující, která etapa svařovacího procesu má největší vliv na přesnost svařované součásti a jak je nastavená současná výroba. Veškerá měření probíhala v měřicím centru společnosti Bobcat.

CimCore 7530

Jedná se o ruční měřicí zařízení, které převádí pohyb ze šesti rotačních snímačů na klasický výstup XYZ zpracováváný příslušným softwarem. Pracovním prostorem je díky tomuto uspořádání koule. Rameno využívá Wi-Fi bezdrátovou komunikaci a je vyrobeno z uhlíkových komponentů, které mají výbornou teplotní stabilitu a omezuje tak vliv teploty na přesnost měření na minimum.



Obr. 6.1 - Měřicí rameno CimCore

Tabulka 12 - Technické údaje měřicího přístroje CimCore

Technické údaje CimCore 7530	
Rozsah měření	3 m
Opakovatelnost bodu	0,030 mm
Prostorová přesnost	± 0,044 mm
Hmotnost	8,3 kg

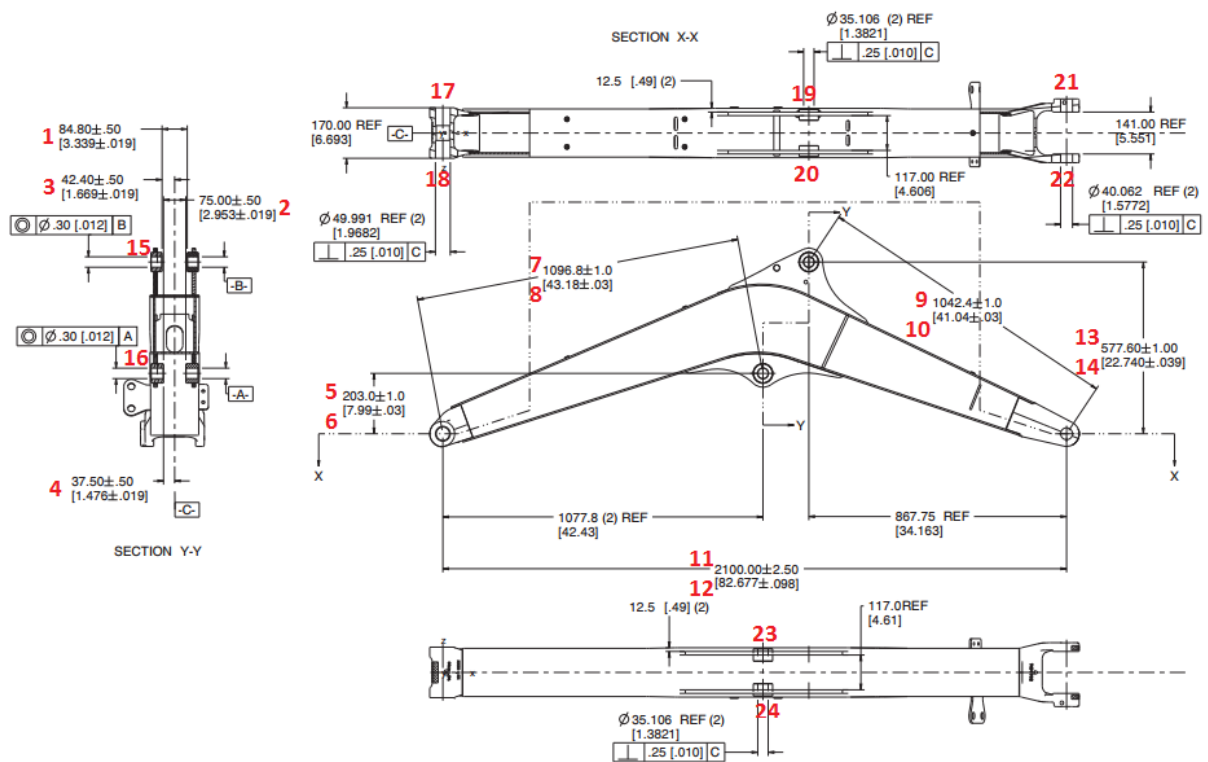
Sledovaný znak jakosti

Na svařenci je sledováno 24 kótovaných rozměrů vyznačených na výkrese (obr.6.2). Jedná se o:

- *délkové rozměry,*
- *geometrické tolerance – kolmosti,*
- *geometrické tolerance – souososti a soustřednosti.*

6.1 Způsob vyhodnocení

Měření probíhalo na všech 10-ti výložnicích a po každé etapě svařování. Na každém svařenci bylo sledováno 24 znaků (měřených rozměrů). Pro zpracování a vyhodnocení dat je použit program Microsoft Excel a MiniTab.



Obr. 6.2 - Výkres výložníku s vyznačením měřených znaků kvality

Data budou vyhodnocována v tomto pořadí:

- 1) Ověření normality dat – Soubor hodnot bude testován, zda-li vykazuje znaky normálního rozdělení. To znamená je-li sledovaný soubor dat symetrický kolem své centrální hodnoty s 50% šancí, že se projeví na její levé nebo pravé straně. Normální rozdělení má zásadní význam v teorii pravděpodobnosti a matematické statistice a řídí se jím mnoho náhodných veličin (chyby měření, způsobené velkým počtem neznámých). K určení normálního rozdělení sledovaného výběru bude použit Anderson-Darlingův test normality. Jeli jeho výsledná P-hodnota $> 0,05$ výběr má normální rozdělení. V případě, že soubor hodnot nebude mít normální rozdělení, dojde k vyhodnocení odlišným způsobem.

- 2) Vyhodnocení způsobilosti – Ukazateli C_m , C_{mk} , P_p , P_{pk} se zjišťuje nejen, zda regulovaná veličina nepřekračuje specifikace (požadavky zákazníka), ale také jaká je rezerva vůči specifikacím, resp. do jaké míry proces nebo stroj odpovídá technickým nebo ekonomickým cílům (kolik zmetků proces, resp. stroj generuje). Pro toto zjištění se určí indexy C_m a C_{mk} , případně P_{pk} . Interní směrnice společnosti Bobcat jsou pro tyto ukazatele nastaveny takto: $C_m(P_p) = 1$ a $C_{mk}(P_{pk}) > 0$.

Vzhledem k množství sledovaných znaků v každé etapě svařovacího procesu, bude přímo v textu DP vybrán a podrobněji vyhodnocen jeden zástupce z délkových rozměrů, geom. tolerancí kolmosti a sousosti. Zbylá vyhodnocená data budou kompletně obsažena v příloze. Tento zástupce, který bude i kritickým parametrem kvality (CTQ – Critical To Quality) bude sledován v každé etapě svařovacího procesu a bude zkoumána jeho změna. Z toho důvodu byly pro vyhodnocení vybrány znaky **10,15** a **20**.

Znak 15 (sousost horních návarků) byl vybrán i za předpokladu, že ve svařovacím procesu stehování a robotickém svařování jsou návarky svařeny k uším pouze v jednom bodě a jejich poloha může být značně vychýlená. K finálnímu svaření návarků obvodovým svarem dojde až v poslední etapě svařovacího procesu. Bude se tedy sledovat a posuzovat jaký vliv a jaké zlepšením tato strategie způsobí.

Dále je třeba podotknout, že vyhodnocení bude provedeno z 10-ti hodnot a nemusí mít zcela stoprocentní vypovídající hodnotu. Vzhledem k vytíženosti výroby nebylo možné provádět experiment na více kusech. Pro index C_m je ideální soubor alespoň 50-ti hodnot. Nicméně i přes tento fakt se vyhodnocení uskuteční a za pomoci výsledku bude možno definovat současný stav výrobního procesu výložníku E26 z hlediska výrobní přesnosti.

Vyhodnocení dat s nenormálním rozdělením

Jak bylo zmíněno výše, v první řadě se ověřuje normalita naměřených dat. V praxi se ovšem lze setkat i s daty které toto rozdělení nemají. Často se jedná např. o ovalitu, házivost, kolmost, velikost úhlu a sílu. Právě do této kategorie spadají znaky 15 až 20 (geom. tolerance kolmosti a sousosti). Je tedy potřeba použít jiné modely vyhodnocení, jako např. logaritmicke-normální rozdělení nebo pokud to lze, transformovat data s nenormálním rozdělením na data s normálním rozdělením (Johnsonova, Box-Coxova transformace).



Obr. 6.3 - Ukázka výložníku v měřícím centru (po stehování)

Je třeba podotknout, že standardně se tolerance svařovaných konstrukcí předepisují normou ČSN EN ISO 13 920. Ovšem zde ve výrobě jsou tyto tolerance řešeny podle výrobní výkresové dokumentace (viz výkres 6.2).

6.2 Měření po stehování

V následující tabulce je znázorněno 14 měřených znaků (délkových rozměrů) na 10-ti kusech výložníku. Zeleně zabarvená pole značí hodnoty, které jsou v tolerančních mezích. Pro detailnější zhodnocení byl vybrán znak 10. Vyhodnoceny byly dle následujících vzorců, kde v případě souboru hodnot s normálním rozdělením byly vyhodnoceny indexy C_m, C_{mk} a v případě nenormálního rozdělení indexy P_p, P_{pk} .

$$C_m = \frac{USL-LSL}{6\sigma^M}, \quad C_{mk} = \left(\frac{USL-\mu}{3\sigma^M}, \frac{\mu-LSL}{3\sigma^M} \right) \quad (9)$$

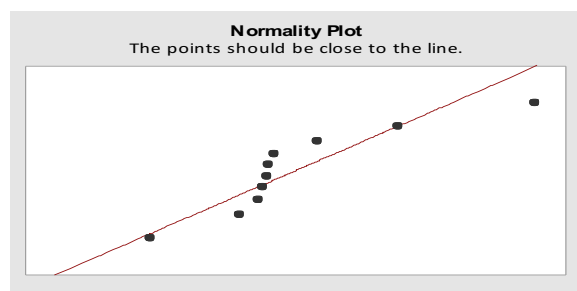
$$P_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma^M} \quad P_{pk} = \left(\frac{USL-M_e}{U_{0,99865}-M_e}, \frac{M_e-LSL}{M_e-U_{0,00135}} \right) \quad (11)$$

Tabulka 13 - Naměřená data po stehování - délkové rozměry

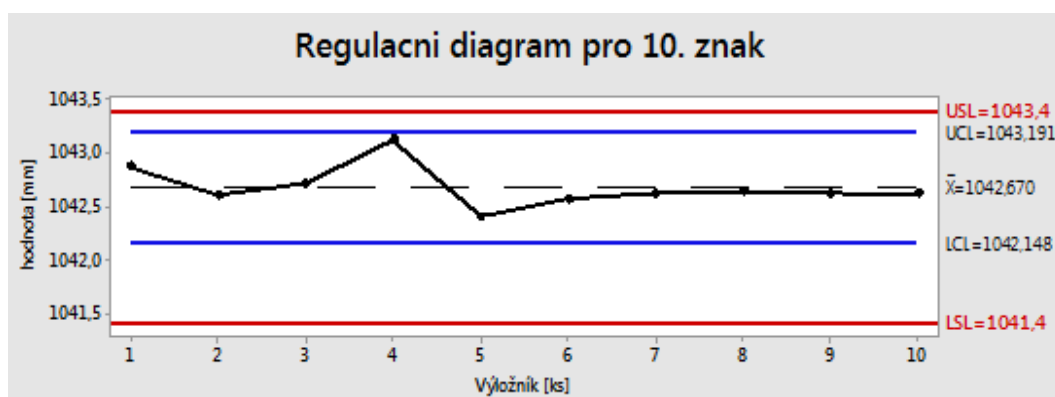
STEHOVÁNÍ		Výložník										Cm (Pp)	Cmk (Ppk)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
S l e d o v a n ý z n a k	1	83,80 ± 0,5	83,657	83,948	84,159	84,654	84,887	84,716	83,697	83,724	84,927	84,428	0,33	-0,01
	2	75 ± 0,5	74,786	75,195	75,526	75,804	75,191	75,185	74,791	74,269	75,426	75,324	0,38	0,26
	3	42,40 ± 0,5	40,76	42,179	42,766	43,508	44,645	44,672	42,463	41,566	43,227	43,501	0,13	-0,001
	4	37,50 ± 0,5	36,641	38,136	38,095	38,574	38,974	38,766	34,636	37,01	37,638	38,274	0,13	0,08
	5	203,0 ± 1,0	204,826	204,36	203,948	204,024	204,234	203,8	204,617	204,422	203,537	203,973	0,85	-0,15
	6	203,0 ± 1,0	204,827	204,479	203,919	204,045	204,374	203,637	204,942	204,573	203,814	204,054	0,76	-0,2
	7	1096,9 ± 1,0	1097,156	1096,394	1096,615	1097,211	1096,903	1096,648	1097,222	1096,734	1096,655	1096,159	0,94	0,91
	8	1096,9 ± 1,0	1097,287	1096,322	1096,74	1097,364	1097,134	1096,978	1097,364	1096,816	1096,771	1096,424	0,9	0,78
	9	1042,4 ± 1,0	1042,688	1042,7	1042,589	1042,764	1042,41	1042,557	1042,909	1042,76	1042,689	1042,662	2,48	1,8
	10	1042,4 ± 1,0	1042,86	1042,596	1042,708	1043,118	1042,394	1042,561	1042,616	1042,627	1042,612	1042,605	1,37	0,97
	11	2100 ± 2,5	2097,558	2097,213	2097,462	2098,243	2097,608	2096,009	2098,1	2097,976	2097,956	2097,111	1,28	0,01
	12	2100 ± 2,5	2097,825	2097,558	2097,815	2098,736	2097,911	2098,322	2098,228	2098,116	2097,93	2097,431	0,14	-0,07
	13	577,6 ± 1,0	578,673	578,789	578,402	578,941	578,388	578,155	578,703	578,666	578,39	579,003	1,23	-0,01
	14	577,6 ± 1,0	578,861	578,901	578,46	578,823	578,165	577,864	578,318	578,454	578,176	578,722	0,95	0,12

Z vypočtených indexů způsobilosti stroje $C_m(P_p)$, které nám posuzují, jaké je dosaženo stability ve výrobě, pouze pro čtyři sledované znaky by způsobilost vyhovovala, u zbylých nikoliv. U indexů $C_{mk}(P_{pk})$, které zohledňují i polohu vůči tolerančnímu poli je stav lepší a vyhovovalo 8 znaků.

Na základě provedení testu normality pro 10. znak dle Andersona – Darlinga, kdy hodnota $P = 0,024 < 0,05$ lze říci, že data nepocházejí ze základního souboru s normálním rozdělením.



Obr. 6.4 - Test normality pro 10. znak po nastehování

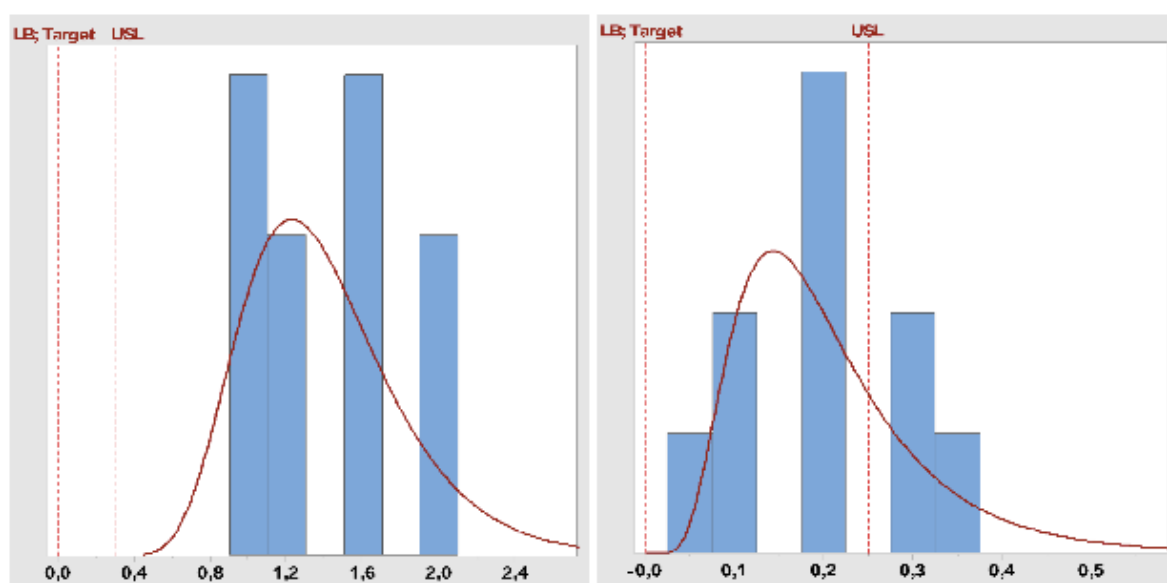


Obr. 6.5 - Regulační diagram pro 10. znak po nastehování

Z regulačního diagramu lze zjistit, že všechny hodnoty jsou v tolerančních i regulačních mezích a proces je tak ve statisticky zvládnutém stavu.

Tabulka 14 - Naměřená data po stehování – geom. tolerance

STEHOVÁNÍ		Výložník										Ppk	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
s l e d o v á n ý z n a k	15		1,582	1,055	2,035	1,107	0,939	1,926	1,668	1,575	0,928	1,122	-1,68
	16		2,663	1,677	1,578	1,29	2,393	1,174	2,911	2,478	2,212	2,944	-1,89
	17		0,003	0,16	0,007	0,014	0,012	0,026	0,038	0,059	0,047	0,027	0,7
	18		0,049	0,023	0,001	0,016	0,02	0,107	0,03	0	0,056	0,007	0,74
	19		0,283	0,11	0,15	0,154	0,077	0,085	0,002	0,071	0,03	0,134	0,31
	20		0,223	0,105	0,194	0,074	0,178	0,326	0,3	0,305	0,121	0,189	0,21
	21		0,134	0,128	0,152	0,17	0,121	0,159	0,094	0,126	0,037	0,145	0,56
	22		0,094	0,102	0,112	0,12	0,091	0,096	0,084	0,077	0,003	0,125	0,38
	23		0,307	0,03	0,261	0,203	0,358	0,159	0,387	0,413	0,044	0,067	0,15
	24		0,377	0,139	0,282	0,253	0,324	0,093	0,336	0,273	0,322	0,464	-0,03



Obr. 6.6 - Log-normální rozdělení vlevo pro 15.znak a vpravo pro znak.20 - stehování

Pro vyhodnocení dat s nenormálním rozdělením (znaky 15-24), bylo použito log-normální rozdělení. Z levého grafu (obr. 6.6) lze vyčíst, že všechny hodnoty pro 15. sledovaný znak leží mimo stanovené meze. Toto tvrzení jen potvrzuje hodnota ukazatele výkonnosti $P_{pk} = -1,68$. Opačný případ je znázorněn na grafu vpravo, kdy většina hodnot leží uvnitř tolerančního pole a index P_{pk} má kladnou hodnotu.

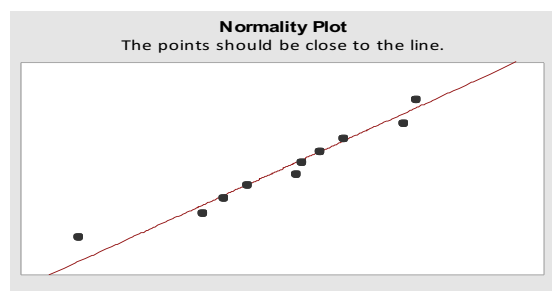
6.3 Měření po robotickém svařování

Tabulka 15 - Naměřená data po robotickém svařování – délkové rozměry

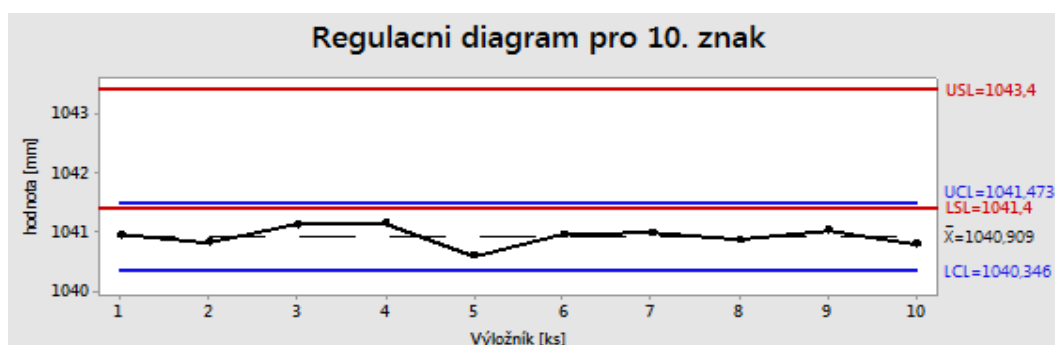
ROBOT		Výložník										Cm (Pp) Cmk (Ppk)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
S l e d o v a n ý z n a k	1	83,80 ± 0,5	84,307	84,802	84,682	84,51	85,085	85,075	83,885	84,575	84,889	84,72	0,46	0,32
	2	75 ± 0,5	74,642	75,412	74,724	75,347	74,826	75,301	74,886	74,652	77,108	74,813	0,23	0,15
	3	42,40 ± 0,5	42,408	43,438	43,746	43,197	45,533	46,182	43,822	42,582	44,678	44,777	0,13	-0,31
	4	37,50 ± 0,5	37,787	38,85	38,472	39,057	39,576	40,641	38,706	38,058	40,765	39,227	0,16	-0,37
	5	203,0 ± 1,0	203,665	203,371	203,201	203,072	203,45	203,176	203,818	203,561	203,348	202,966	1,24	0,79
	6	203,0 ± 1,0	203,75	203,506	203,182	203,094	203,663	203,283	204,198	203,75	203,492	203,181	0,97	0,48
	7	1096,9 ± 1,0	1096,087	1095,14	1095,721	1095,981	1095,822	1095,351	1096,125	1095,654	1093,833	1095,16	0,48	-0,15
	8	1096,9 ± 1,0	1096,56	1095,475	1096,147	1096,492	1096,357	1096,019	1096,619	1096,014	1095,941	1095,842	0,92	0,32
	9	1042,4 ± 1,0	1040,801	1040,781	1040,882	1040,782	1040,571	1040,738	1041,117	1040,832	1040,929	1040,749	2,35	-1,37
	10	1042,4 ± 1,0	1040,931	1040,811	1041,108	1041,128	1040,571	1040,94	1040,97	1040,849	1041,009	1040,777	2,01	-0,98
	11	2100 ± 2,5	2095,194	2094,689	2095,3	2095,633	2094,96	2095,166	2095,421	2095,37	2095,066	2094,868	2,96	-2,76
	12	2100 ± 2,5	2096,199	2095,604	2096,16	2096,766	2095,965	2096,282	2096,263	2096,258	2095,994	2095,809	2,65	-1,45
	13	577,6 ± 1,0	577,255	577,534	577,085	577,609	577,188	577,115	577,663	577,478	577,411	577,427	1,63	1,26
	14	577,6 ± 1,0	577,155	577,581	577,225	577,396	576,691	576,78	577,065	577,071	576,995	576,957	1,25	0,61

Z výsledků měření po robotickém svařování je patrné, že délkové rozměry (znak 9 až 12) jsou zcela mimo toleranční meze. Tento fakt byl zapříčiněn tím, že v této fázi je výložník při svařování nejvíce teplotně namáhán a kvůli tomu došlo k rozměrovým změnám.

Předpoklad normality pro soubor hodnot 10. znaku je splněn. Hodnota $P = 0,770 > 0,05$.



Obr. 6.7 - Test normality pro 10. znak po robotickém svařování



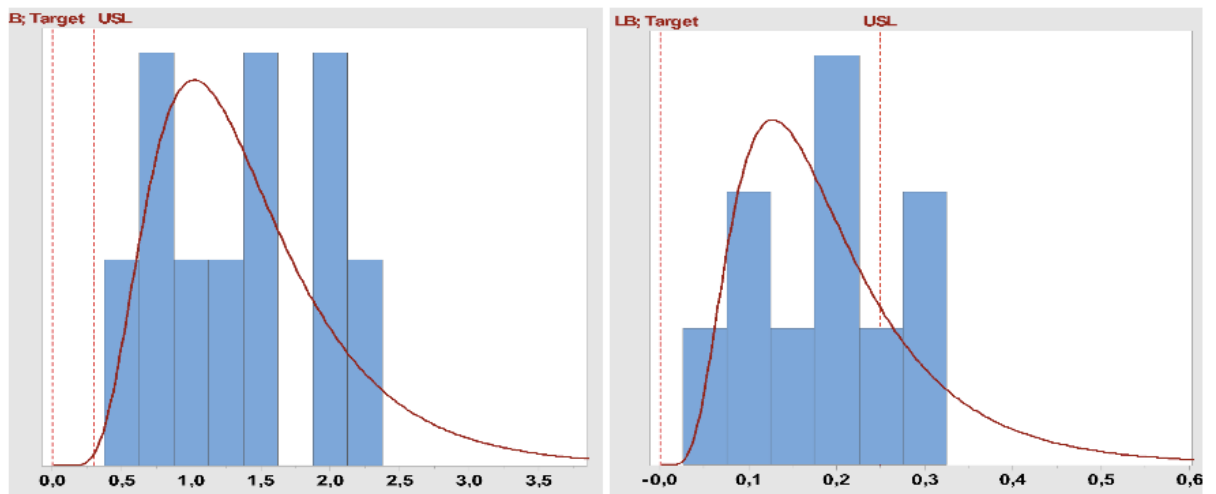
Obr. 6.8 - Regulační diagram pro 10. znak po robotickém svařování

Z výše znázorněného regulačního diagramu pro 10. sledovaný znak je patrné, že ani jeden měřený rozměr není v tolerančních mezích. Proces není ve statisticky zvládnutém stavu.

Tabulka 16 - Naměřená data po robotickém svařování – geom. tolerance

ROBOT		Výložník										Ppk	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
S l e d o v á n ý z n á k	15		1,13	1,997	2,343	2,068	0,802	1,591	1,494	0,554	1,083	0,861	-1,02
	16		2,805	1,699	2,022	1,529	2,593	2,04	2,748	3,018	3,743	3,701	-2,29
	17		0,023	0,012	0,026	0,042	0,016	0,005	0,018	0,013	0,001	0,039	0,88
	18		0,008	0,047	0,026	0,064	0,005	0,009	0,004	0,008	0,052	0,006	0,91
	19		0,026	0,05	0,008	0,126	0,175	0,166	0,022	0,183	0,094	0,079	0,43
	20		0,188	0,097	0,058	0,112	0,223	0,292	0,297	0,149	0,259	0,222	0,24
	21		0,339	0,321	0,195	0,418	0,343	0,147	0,326	0,2	0,037	0,321	0,05
	22		0,196	0,176	0,106	0,115	0,177	0,098	0,208	0,147	0,182	0,183	0,59
	23		0,286	0,386	0,267	0,166	0,425	0,054	0,459	0,309	2,208	0,014	0,02
	24		0,214	0,145	0,119	0,055	0,135	0,293	0,154	0,307	0,056	0,261	0,28

Až na ukazatele P_{pk} vztahených k návarkům (znak 15,16), u nichž výroba ještě nebyla dokončena, jsou všechny hodnoty kladné. Ačkoli se jejich hodnota pohybuje těsně nad stanovenou hranicí $P_{pk} > 0$.



Obr. 6.9 - Log-normální rozdělení vlevo pro 15.znak a vpravo pro znak.20 – robotického svařování

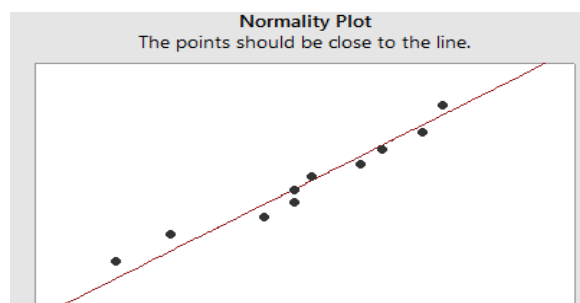
6.4 Měření po finálním svařování

Tabulka 17 - Naměřená data po finálním svařování – délkové rozměry

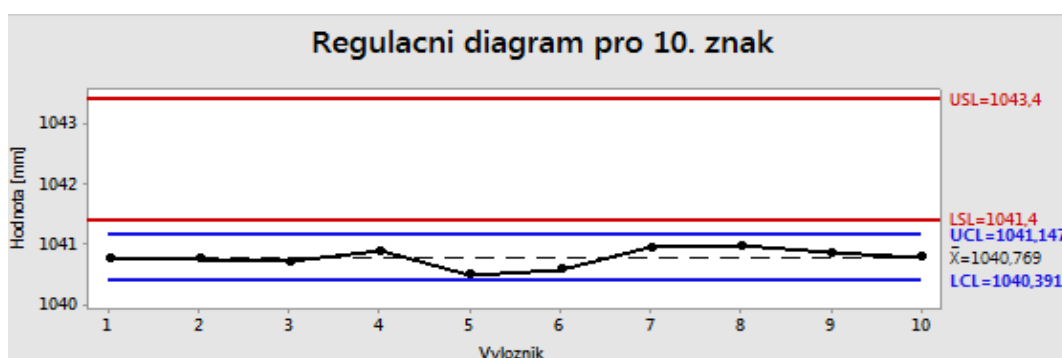
DOVARKA	Výložník											Cm (Pp)	Cmk (Ppk)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
S l e d o v a n ý z n a k	1	83,80 ± 0,5	84,921	85,032	85,165	85,172	84,954	84,904	84,663	84,765	85,057	85,001	1,03	0,69
	2	75 ± 0,5	76,463	76,451	76,627	76,521	76,41	76,603	76,252	76,679	76,754	76,797	1,01	-2,09
	3	42,40 ± 0,5	43,235	44,003	44,866	43,893	46,383	45,699	45,173	43,059	44,745	45,095	0,16	-0,54
	4	37,50 ± 0,5	39,001	39,429	39,789	39,775	41,073	40,42	39,98	39,134	38,972	39,976	0,25	-0,88
	5	203,0 ± 1,0	203,738	203,492	203,176	203,148	203,381	203,417	203,793	203,585	203,181	203,261	1,43	0,83
	6	203,0 ± 1,0	203,768	203,411	203,085	203,039	203,477	203,337	203,978	203,463	203,295	203,535	1,17	0,65
	7	1096,9 ± 1,0	1095,778	1095,222	1095,33	1095,839	1095,473	1095,325	1095,87	1095,781	1095,333	1095,017	1,11	-0,33
	8	1096,9 ± 1,0	1096,112	1095,426	1095,679	1096,102	1096,024	1095,84	1096,269	1096,284	1095,611	1095,342	0,97	0,07
	9	1042,4 ± 1,0	1040,528	1040,76	1040,497	1040,532	1040,323	1040,383	1040,775	1040,682	1040,776	1040,512	2,04	-1,6
	10	1042,4 ± 1,0	1040,753	1040,751	1040,708	1040,88	1040,249	1040,182	1040,728	1040,703	1040,736	1040,599	1,46	-1,12
	11	2100 ± 2,5	2094,965	2094,608	2094,934	2095,377	2094,764	2094,825	2095,248	2095,155	2094,957	2094,549	3,12	-3,2
	12	2100 ± 2,5	2096,002	2095,09	2095,89	2096,563	2095,81	2095,91	2096,216	2096,047	2095,908	2095,519	2,13	-1,36
	13	577,6 ± 1,0	576,8333	577,206	576,667	576,851	576,439	576,41	576,872	576,97	576,962	576,901	1,36	0,29
	14	577,6 ± 1,0	576,843	577,042	576,417	576,439	576,099	575,419	576,598	576,767	576,516	576,636	0,73	-0,09

Mimo znaky 3, 4 a 8 (vzdálenost horních a dolních návarků k ose výložníku) hodnoty indexů C_m říkají, že proces je stabilní, ovšem neleží v tolerančních mezích.

Na základě vypočtené p-hodnoty, která je větší, než daná hodnota 0,05, lze vyslovit předpoklad, že data pochází ze základního souboru s normálním rozdělením. Hodnota $P = 0,531 > 0,05$.



Obr. 6.10 - Test normality pro 10.znak po finálním svařování



Obr. 6.11 - Regulační diagram pro 10.znak po finálním svařování

Regulační digram znázorňuje všech 10 měřených hodnot mimo stanovené meze.

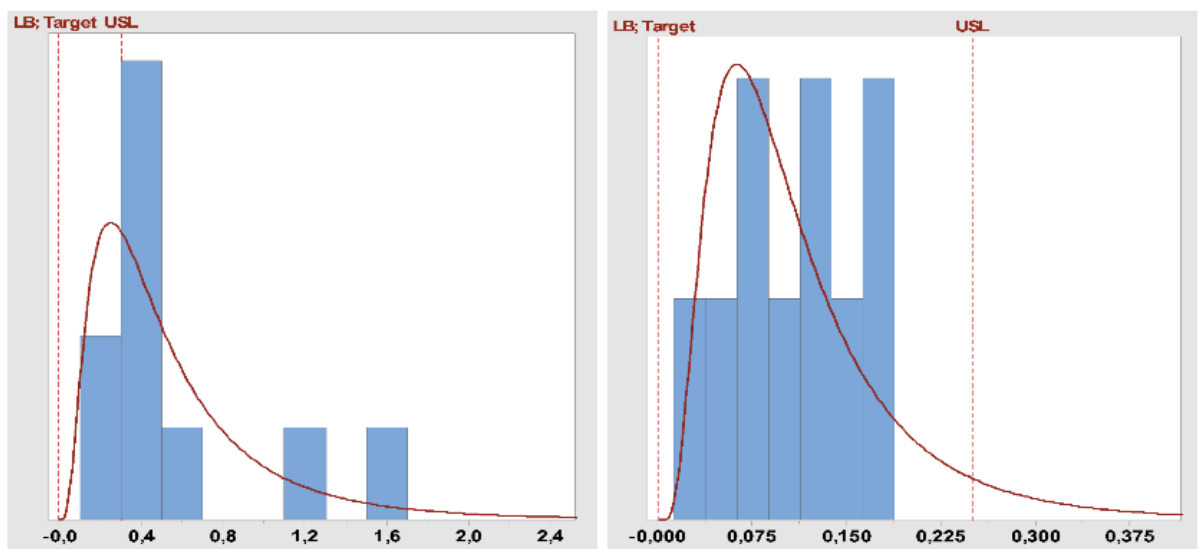
Tyto hodnoty reprezentují konečný stav délkových rozměrů výložníku. Pro tuto část byla stanovena hodnota, jako aritmetický průměr hodnot sigma vztažených k jednotlivým znakům. Celková hodnota $\sigma = 3,8$ dle vztahu (10). Z toho vyplývá, že DPMO je cca 10 000.

$$\text{hodnota sigma pro 10. znak kvality} = \frac{USL - LSL}{2\sigma} = \frac{403,4 - 401,4}{2 \cdot 0,2288} = 4,37$$

Tabulka 18 - Naměřená data po finálním svařování – geom. tolerance

DOVARKA		Výložník										Ppk	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
S i e d o v a n ý z n a k	15		0,416	1,539	1,27	0,391	0,501	0,149	0,494	0,36	0,16	0,368	-0,17
	16		1,215	1,608	1,237	1,538	0,433	0,431	0,987	2,102	2,038	4,921	-0,67
	17		0,063	0,085	0,049	0,039	0,019	0,028	0,041	0,04	0,053	0,041	1,43
	18		0,09	0,013	0,012	0,018	0,004	0,005	0,01	0,007	0,015	0,029	1,09
	19		0,085	0,006	0,217	0,045	0,107	0,122	0,154	0,014	0,066	0,056	0,43
	20		0,102	0,073	0,145	0,022	0,187	0,12	0,177	0,071	0,12	0,061	0,52
	21		0,37	0,327	0,366	0,389	0,377	0,374	0,368	0,346	0,404	0,326	-1,79
	22		0,175	0,153	0,172	0,244	0,185	0,173	0,225	0,194	0,15	0,202	0,64
	23		0,042	0,06	0,061	0,217	0,233	0,092	0,336	0,044	0,128	5,651	0,11
	24		0,305	0,174	0,157	0,24	0,173	0,223	0,158	0,169	0,353	0,302	0,16

V poslední části svařovacího procesu mimo jiné došlo ke svaření návarků k uším výložníku. Z hodnot znázorněných v tabulce je patrné, že se stav návarků po finálním svařování vzhledem k hodnotám naměřeným po robotickém svařování zlepšil o cca 50 %, nicméně stále jsou mimo tolerance. Všechny geometrické tolerance kolmosti mimo 21. znak vyhovují požadavkům.



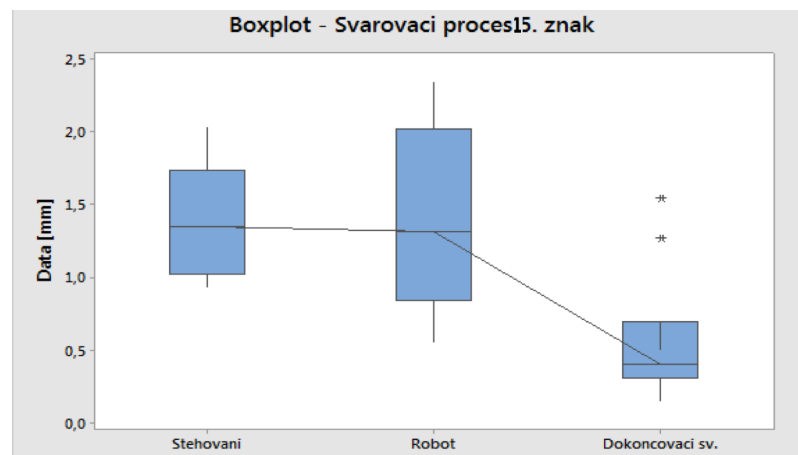
Obr. 6.12 - Log-normální rozdělení vlevo pro 15.znak a vpravo pro znak.20 – fin. svařování

6.5 Shrnutí

V této kapitole bude graficky znázorněn vliv jednotlivých etap svařování na vybraný znak. K tomu poslouží krabicový a regulační diagram.

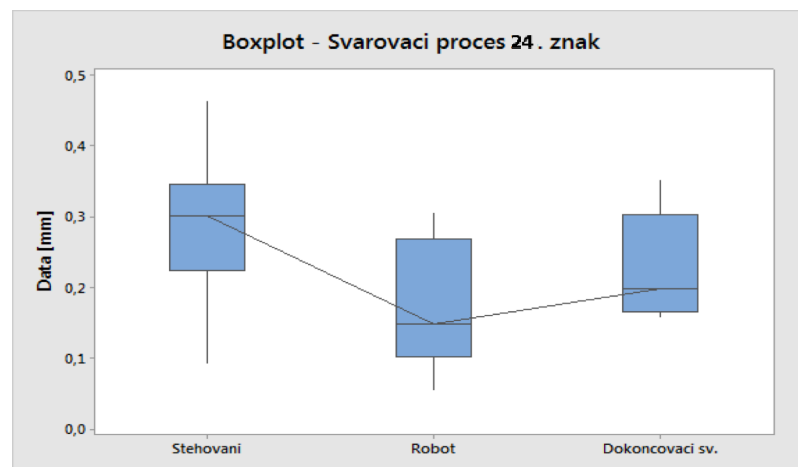
Krabicový diagram

Způsob grafické vizualizace numerických dat pomocí jejich kvartilů. Střední krabicová část diagramu je shora ohraničena 3. kvartilem, zespodu 1. kvartilem a mezi nimi se nachází linie vymezující medián. Linie vcházející ze střední části tzv. vousy, vyjadřují variabilitu pod prvním a nad třetím kvartilem. Odlehlé hodnoty jsou vykresleny jako samostatné body. [33]

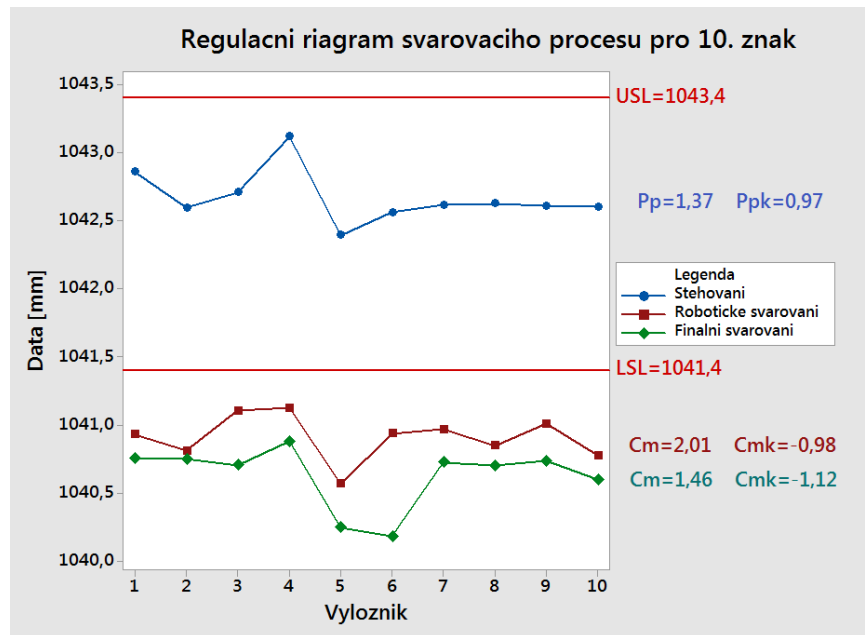


Obr. 6.13 - Krabicový diagram pro 15. znak

Dle krabicového diagramu lze porovnat jednotlivé etapy svařování. Nejvýznamnější statistický rozdíl byl zjištěn mezi 2. a 3. etapou. Tento rozdíl nastal při svaření návarků k „uším“ výložníku. Při finálním svařování byly ve výběru zaznamenány dva odlehlé body – viz obr.6.13.



Obr. 6.14 - Krabicový diagram pro 24. Znak



Obr. 6.15 - Regulační diagram svařovacího procesu pro 10. znak

Z grafu pro 10. znak (vzdálenost horního návarku a konce výložníku pro napojení násady) je vidět, jaký vliv měly jednotlivé svařovací operace na tento rozměr. Největší posun mimo toleranční meze nastal po robotickém svařování. Poloha křivek vůči tolerančním mezím potvrzuje hodnotu indexů C_{mk} , resp. P_{pk} . Tento výsledek mohl být spojen s velkým množstvím vneseného tepla do součásti a z toho plynoucí velké objemové změny.

6.6 Vyhodnocení

Tato kapitola praktické části se zabývala stanovením přesnosti výroby, stability a způsobilosti svařovacího procesu, resp. stroje. Byla provedena analýza naměřených dat po jednotlivých etapách svařování s cílem zjistit, která část nejvíce ovlivňuje jeho výslednou přesnost a zdůvodnit příčiny. Každý větší podnik má snahu řídit kvalitu jeho produktů, s tím souvisí i definice, která je poměrně univerzální a hovoří o tom, že kvalita produktů a služeb organizace je určena schopností uspokojovat zákazníky a také dopadem na všechny zainteresované strany (norma ISO 9000). Tato norma také říká, že: *Proces, u něhož nelze shodu výsledného výstupu snadno a ekonomicky validovat, se často označuje jako „zvláštní proces“*. Za zvláštní proces je považováno i svařování. To znamená, že systém řízení kvality pro výrobu svařovaných součástí je svým způsobem specifický. Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů uvádí norma ČSN EN ISO 3834.

Z naměřených hodnot je patrné, že ani jeden kus (výložník) tohoto experimentu ani v jedné fázi svařování nemá všechny sledované znaky (kótované rozměry) v tolerančních mezích. Lze

konstatovat, že ani jedna fáze svařovacího procesu vzhledem k nastaveným tolerancím není uspokojivá. Z vyhodnocení je zřejmé, že proces stehování není příčinou takových odchylek, jakých je dosaženo na výstupu, což odpovídá malému vnesenému teplu při tvorbě krátkých stehových svarů. Jak již bylo několikrát zmíněno, všechny kóty (délkové rozměry, tolerance) vztažené k horním a spodním návarkům mohly být až do poslední fáze svařování mimo stanovené meze (svaření až při finálním svařování). Z toho důvodu se nemělo smyslu k těmto kótám měřeným po stehování více vyjadřovat.

Ze získaných hodnot po robotickém svařování (tab. 15) je evidentní, že většina délkových rozměrů je mimo stanovené tolerance (hodnoty $C_{mk} < 0$). Hodnoty indexu C_m splňují nastavená kritéria, to ovšem pouze znamená, že hodnoty vůči sobě mají malý rozptyl, ale nezohledňují polohu vůči tolerancím. Dle normy ČSN EN ISO 13 920 (Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí) pro délkové rozměry s nejvyšší toleranční třídou A, by ale všechny tyto naměřené hodnoty byly v tolerančních mezích. Lze tedy říci, že u „méně důležitých rozměrů“, jsou toleranční meze nastavené příliš přísně.

Poslední část vyhodnocení se zabývala zejména kótami spojenými s horními a dolními návarky, které se svařovaly až při finálním svařování. Záměr byl je svařit v poslední části, kdy je svařenec nejméně teplotě namáhán (objemové změny při zahřívání i chladnutí). Tento úmysl sice zlepšil stav po robotickém svařování o cca 50 %, nicméně téměř všechny naměřené hodnoty sousosti horních i dolních návarků byly stále mimo tolerance. Největší odchylka při měření sousosti byla zjištěna u dolních návarků (znak 16), kdy její hodnota byla 4,6 mm nad toleranci. Z naměřených dat je patrné, že oba páry návarků byly vychýleny od střední osy výložníku (znak 3 a 4), přičemž nejvyšší odchylka byla cca 3 mm nad stanovené tolerance (výložník 5 - horní návarek).

Z pohledu čísel, lze při stanovení způsobilosti stroje pro jednotlivé znaky konstatovat, že je ve větší míře stabilní (většina hodnot $C_m \Rightarrow 1$), avšak mimo nastavené tolerance ($C_{mk}, P_{pk} < 0$), což je pro výrobní proces určující. Jelikož většina rozměrů byla vázána k návarkům, které po vyhodnocení vyšly v celém procesu svařování nejhůře, je těžké hodnotit svařovací proces výložníku jako celek. Při stanovení přesnosti výroby, resp. hodnoty σ při svařování výložníku lze ji s jistotou určit pouze pro délkové rozměry, protože hlavním faktorem pro toto vyhodnocení byla normalita dat. Tento předpoklad všechny délkové rozměry na výstupu (po finálním svařování svařování) splnily a bylo možné stanovit hodnotu

sigma $\sigma = 3,8$ (DPMO = cca 10 000), která je jakýmsi měřítkem kvality neboli hodnotou úrovně jakosti vyráběných produktů. Ostatní znaky, tj. geometrické tolerance, předpoklad normality nesplňovaly (viz kap. 4.2.3) a nebylo možné hodnotu sigma určit. Zlepšením toho stavu, se bude zabývat další kapitola praktické části, tj. kap.7 „Návrh řešení“.

7 Návrh řešení

7.1 Změna designu svařence

Z naměřených hodnot byly největší odchylky zjištěny v oblasti uší s návarky v dolní i horní části výložníku. Vzhledem k požadované výrobní přesnosti je nutné tyto odchylky minimalizovat. Jednou z možností je konstrukční změna svařence. Konkrétně nahrazení této části odlitkem. Výhoda odlitku je především v rozměrové fixaci funkčních děr pro uložení čepů pro montáž hydraulických válců. Současný výložník už dva odlitky obsahuje a jak je zřejmé z naměřených hodnot, všechny měřené znaky v těchto částích (17, 18, 21 a 22) jsou v tolerančních mezích, a to je pro výrobní proces určující.

Konstrukční změna je navrhována tak, aby co nejméně ovlivnila současný výrobní proces nebo ho naopak usnadnila. Výhodou je vyřazení zakružování dlouhých plechů na spodní a horní části výložníku. Svařenec bude složen ze tří odlitků a laserem „vypálených“ plechů stejné tloušťky, tj. 5 mm. V další řadě dojde ke snížení množství svarových spojů a nastanou z toho plynoucí menší objemové změny ve svařenci. Předpokladem tohoto návrhu je nejen dosažení rozměrové stálosti během celého procesu svařování při zachování technologie výroby výložníku, ale také snížení svařovacích časů, a to zejména při stehování a dokončovacím svařování.

7.1.1 Technologičnost konstrukce odlitku

Roční plánovaná výroba výložníku E26 a od toho odvíjející se počet kusů odlitků je 3100 ks za rok.

Doporučený stupeň přídavků na obrábění dle normy ISO 8062 byl zvolen st. **F**. Dle následující tabulky (viz tab. č.19, 20) doporučených přídavků pro funkční plochy byl určen přídavek **1 mm**. Tento přídavek bude na vnější straně odlitku v místě napojení bočních plechů, s cílem dosáhnout po obrábění jakosti povrchu, která je předepsaná na výkrese. Toleranční stupeň pro výrobu odlitků je zvolen **CT 10**. Materiál pro výrobu odlitku bude stejný jako u současných koncových odlitků, tj. ocel na odlitky s označením **MS27**.

Nahrazením střední části výložníku odlitkem přibude v konstrukci heterogenních svarů (zvýšený obsah uhlíku v oceli na odlitky, který zhoršuje svařitelnost). Nicméně tento typ spoje už v předchozí výrobě byl použit při svařování koncových odlitků s ocelovými plechy, a tak by svařovací postup měl být odladěn dle nastaveného svařovacího procesu.

Tabulka 19 - Doporučené stupně přídavků na obrábění hrubých odlitků

Metoda	Materiál na odlitky				
	ocel	litiny	slitiny Cu a Zn	slitiny Al a Mg	slitiny Ni a Co
Lití do písku, ruční formování	G až K	F až H	F až H	F až H	G až K
Lití do písku, strojní formování a skořepiny	F až H	E až G	E až G	E až G	F až H
Kovové formy, gravitační a nízkotlaké lití	-	D až F	D až F	D až F	-
Tlakové lití	-	-	B až D	B až D	-
Přesné lití	E	E	E	E	E

Tabulka 20 - Doporučené přídavky na obrábění

Největší celkový rozměr odlitku po konečném obrobení [mm]		Doporučené přídavky na obrábění [mm]									
		Stupně doporučených přídavků na obrábění									
nad	do a včetně	A*)	B*)	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	6,0
160	250	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,5	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10

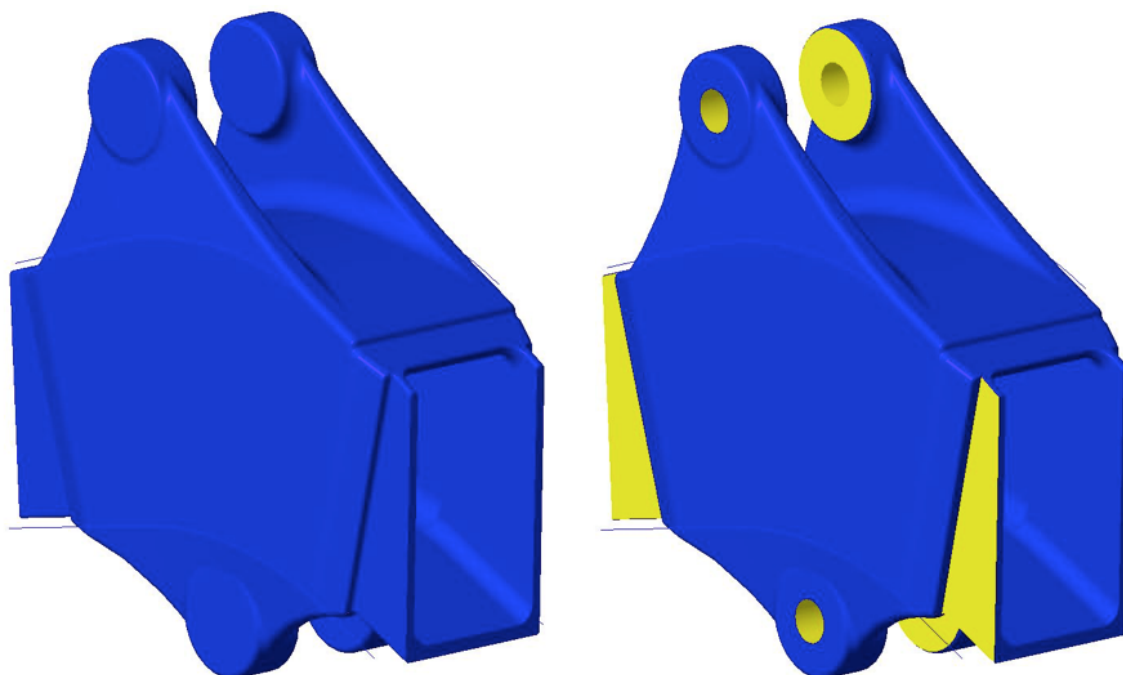
Tabulka 21 - Chemické složení oceli na odlitky

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Cu	Al	B min.
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	
MS27	0,30	1,6	0,04	0,045	0,30-0,70	0,50	0,30	0,30	0,02-0,08	<0,0005

Tabulka 22 - Mechanické vlastnosti oceli na odlitky

	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tvrdość [HBW]
MS27	415	620	187-241

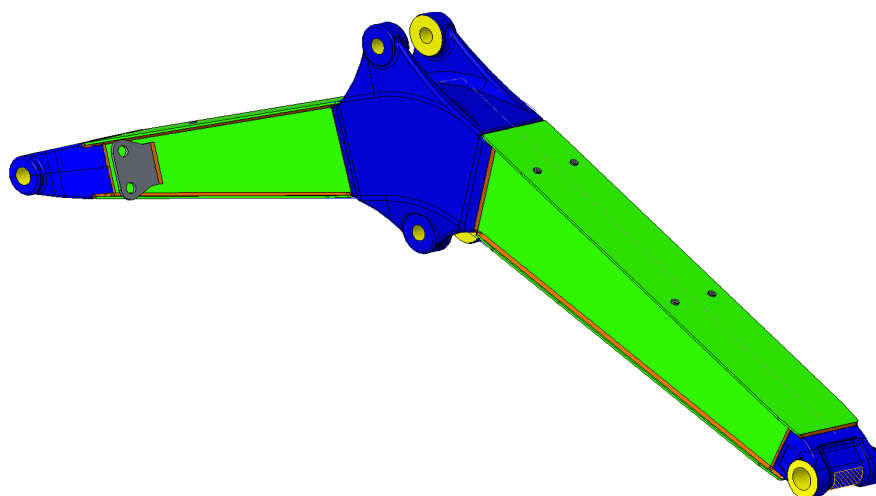
Na obrázku 7.1 je zobrazen návrh odlitku, vlevo před obrobením a vpravo po obrobení funkčních ploch. Účelem obrábění je dosažení požadované kvality (drsnoti) povrchu. Plochy po obrobení jsou žlutě zbarveny.



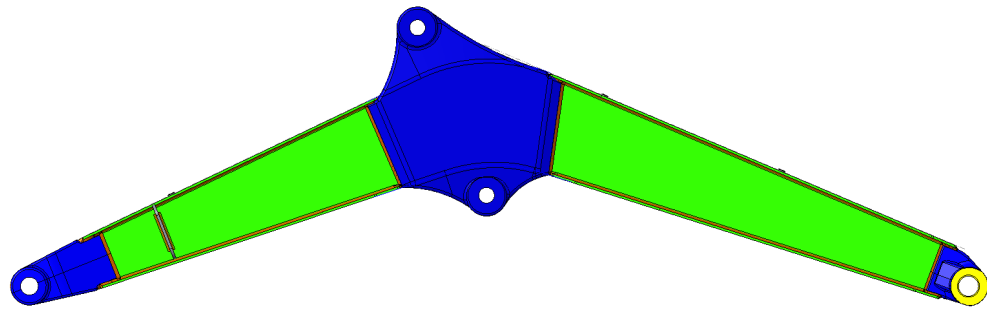
Obr. 7.1 - Návrh odlitku před (vlevo) a po obrobení (vpravo)

7.1.2 Svařovací proces

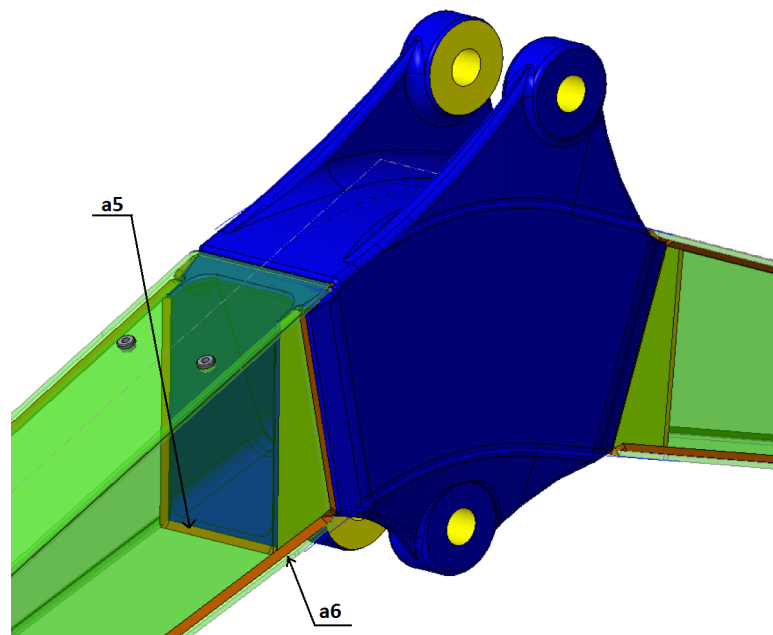
Svařovací proces se nebude výrazně lišit od stávajícího. Stehování proběhne obdobně jak je prováděno v současné výrobě. Vnitřními svary budou svařeny odlitky po celé délce žeber ke spodnímu a bočním plechům. V návrhu došlo ke zrušení výztuh, kde jejich funkce nahradila konstrukce odlitku. Tato změna pozitivně ovlivní délku svařování při stehování. V robotickém pracovišti dále dojde ke svaření všech vnějších svarů výložníku. Velká úspora času nastane při dokončovacím svařování, kde se provede pouze dovaření malého množství svarů s následnou úpravou povrchu – broušením.



Obr. 7.2 - Svařený výložník – ISO pohled



Obr. 7.3 - Svařený výložník – boční pohled



Obr. 7.4 - Detail napojení plechů s odlitkem

Vnitřní svary provede operátor na první stanovišti, tj. při stehování. Bude se jednat o svaření žebér obou krajních a středového odlitku koutovým svarem a5 po celé délce žebra, jak je naznačeno na obrázku 7.4. Všechny vnější svary budou zhotoveny svarem a6.

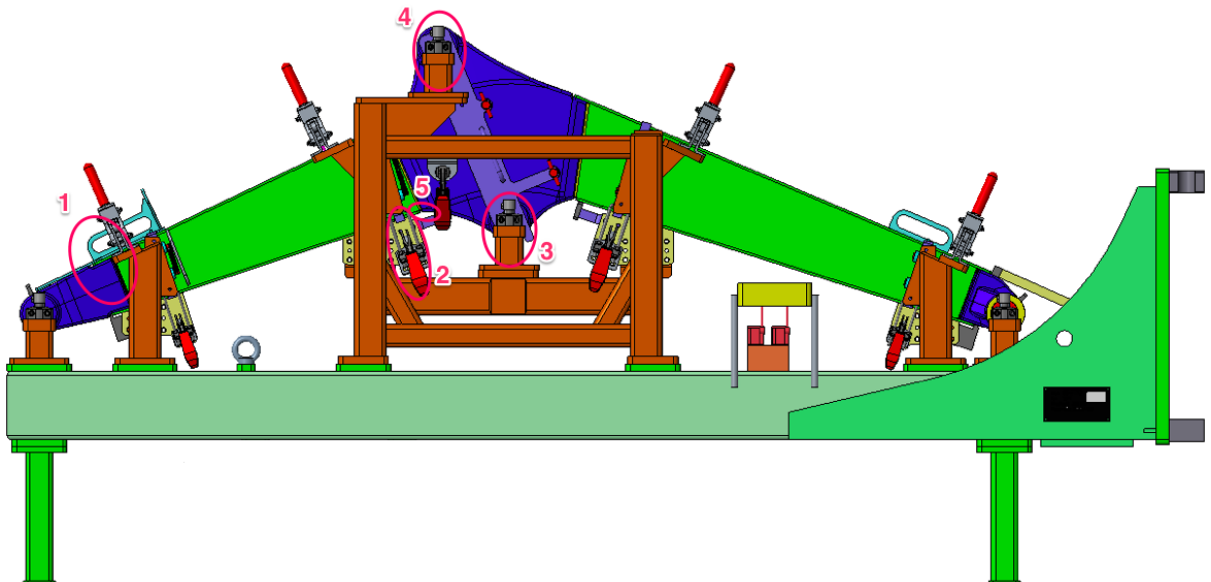
Je důležité podotknout, že takto navržený výložník nebyl podroben žádným statickým výpočtům ani simulacím. Konstrukce a design je navržen ve spolupráci s týmem konstruktérů a technologů. Slouží tedy jako jakýsi návrh možného řešení problému a pro jeho implementaci do výroby by statický výpočet byl nutný.

Pro zhotovení požadovaného množství odlitků byla zhotovena cenová nabídka. Podrobnější informace budou k nalezení v poslední kapitole této práce, tj. kapitole 8 – „Zhodnocení návrhu“.

7.2 Optimalizace svařovacího přípravku

Konstrukční změna svařence byla pouze v jeho střední části (nahrazení kritických míst odlitkem), přičemž se zachovaly základní rozměry a rozteče mezi funkčními otvory. Jak vyplývá z kapitoly 5.2 (svařovací proces výložníku), kde je popsán a znázorněn svařovací proces výložníku, nutná změna svařovacího přípravku je pouze u procesu stehování. V dalších fázích svařovacího procesu, zmíněná konstrukční změna svařence nijak neovlivňuje funkčnost svařovacího přípravku. Všechny tyto změny jsou zaznamenány ve výkresové dokumentaci a jsou k nalezení v příloze.

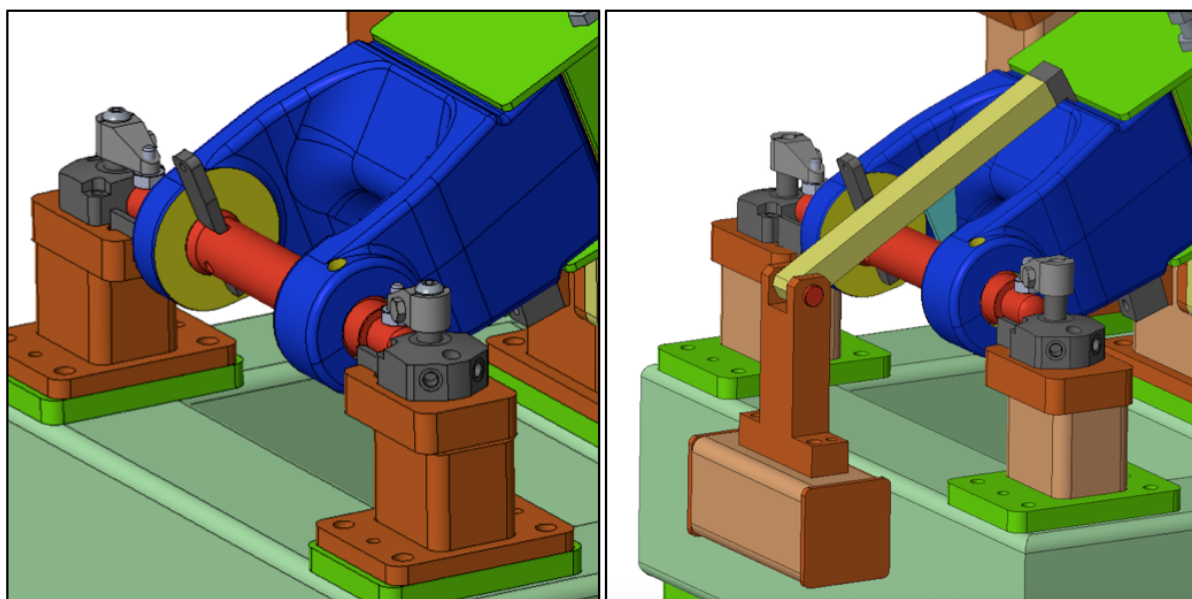
Na obrázku 7.5 jsou schematicky znázorněny kolize nebo místa, které bylo nutno konstrukčně upravit. Zobrazen je zde optimalizovaný výložník uložený do současného svařovacího přípravku.



Obr. 7.5 - Kolize výložníku se stávajícím přípravkem

Úprava č.1

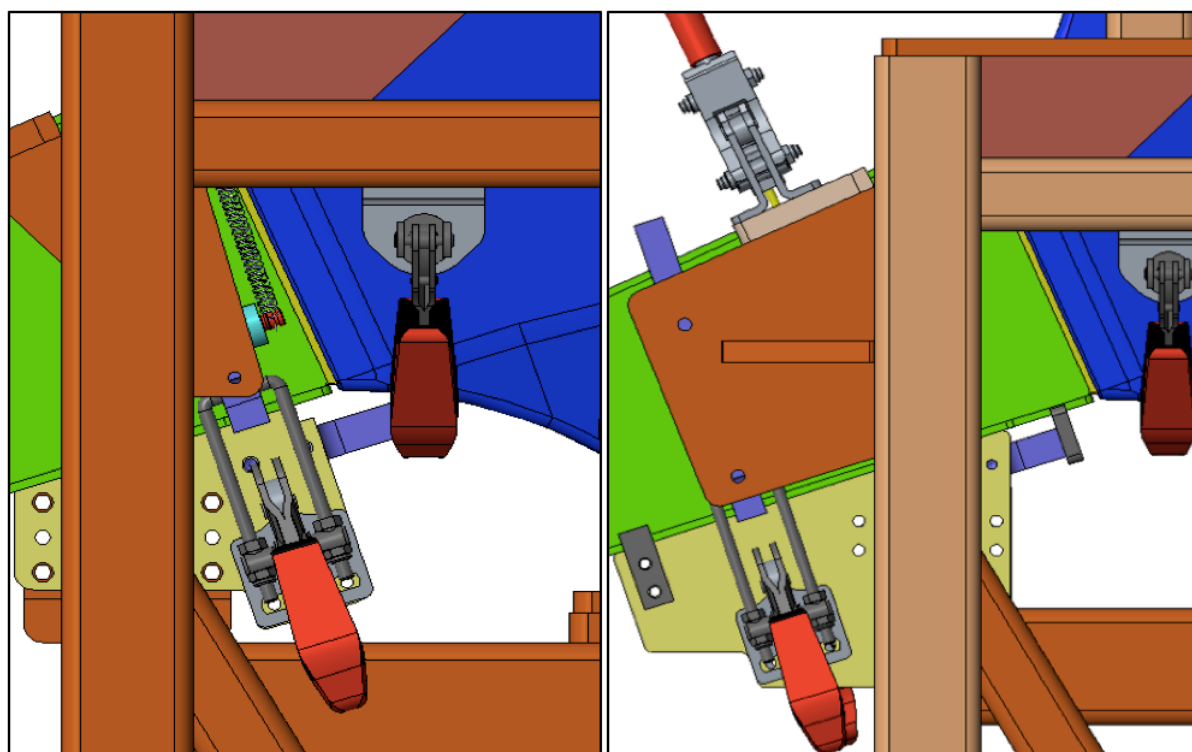
V současném přípravku je koncový doraz horního plechu řešen pouze na jedné straně. Při vložení odlitku je horní část výložníku složena ze dvou plechů, z toho plyne, že poloha levého plechu není nijak definována. Řešení je obdobné jako na druhé straně a dojde k navaření uzavřeného čtvercového profilu na hlavní konstrukci přípravku s otočnou zarážkou, která přesně stanovuje polohu plechu od kraje odlitku. Boční dorazy nebyly ovlivněny změnou svařence a jsou ponechány na stávajícím místě.



Obr. 7.6 - Zajištění dorazu horního plechu – původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)

Úprava č.2

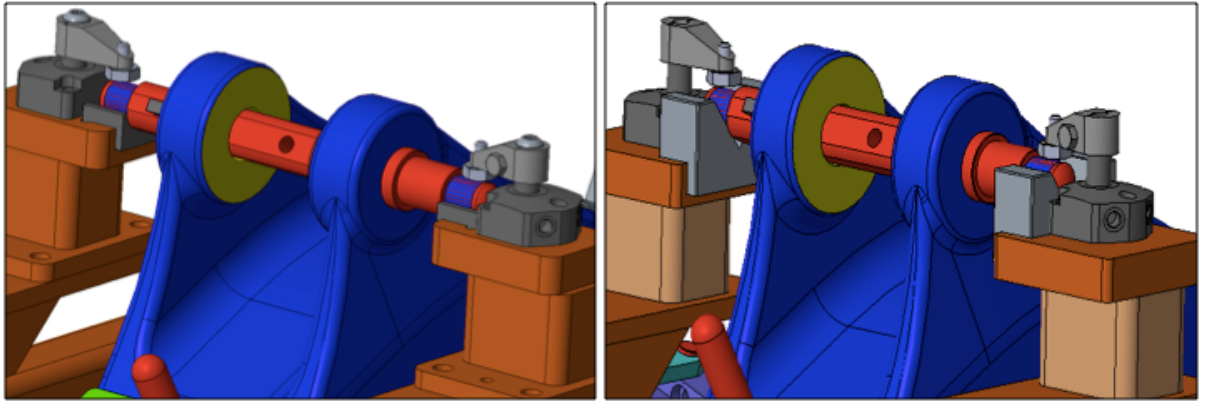
Poloha odlitku těsně zasahuje do boční upínky, která definuje polohu bočního plechu a současně minimalizuje prostor pro vytvoření svaru mezi odlitkem a bočním plechem. Navrhovaná změna zahrnuje novou polohu upínky, která je přesunuta z vnitřní na vnější stranu středové konstrukce přípravku.



Obr. 7.7 - Změna polohy upínky - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)

Úprava č.3

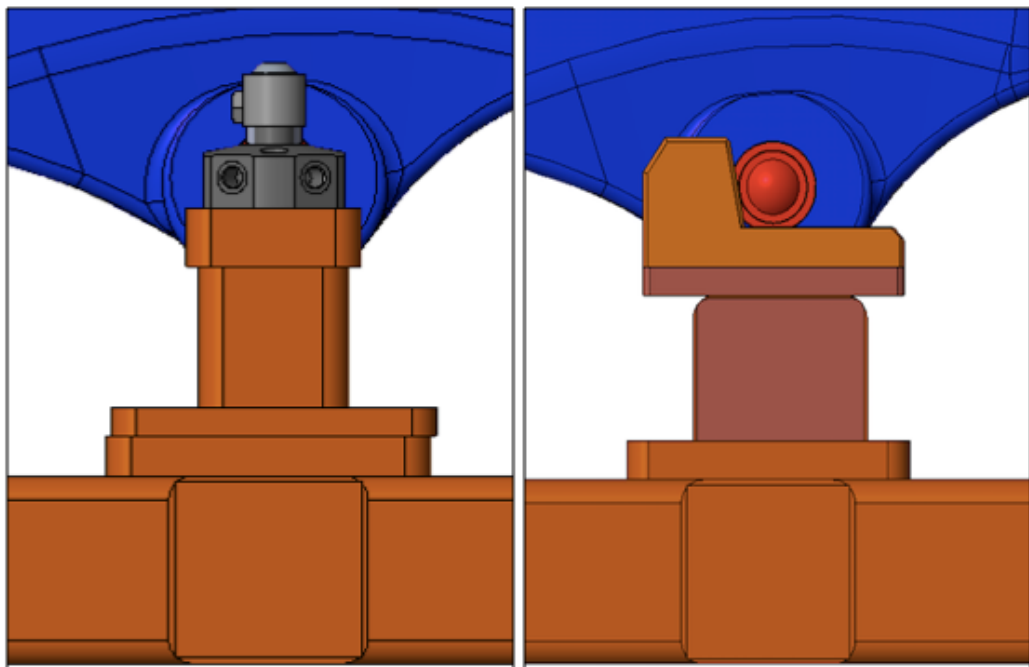
Tato úprava zahrnovala výměnu stávajících prizmat, v kterých je uložen čep prostrčen horními dírami odlitku. Pro lepší a bezpečnější uložení odlitku v přípravku došlo ke zvětšení těchto prizmat.



Obr. 7.8 - Změna prizmatu - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)

Úprava č.4

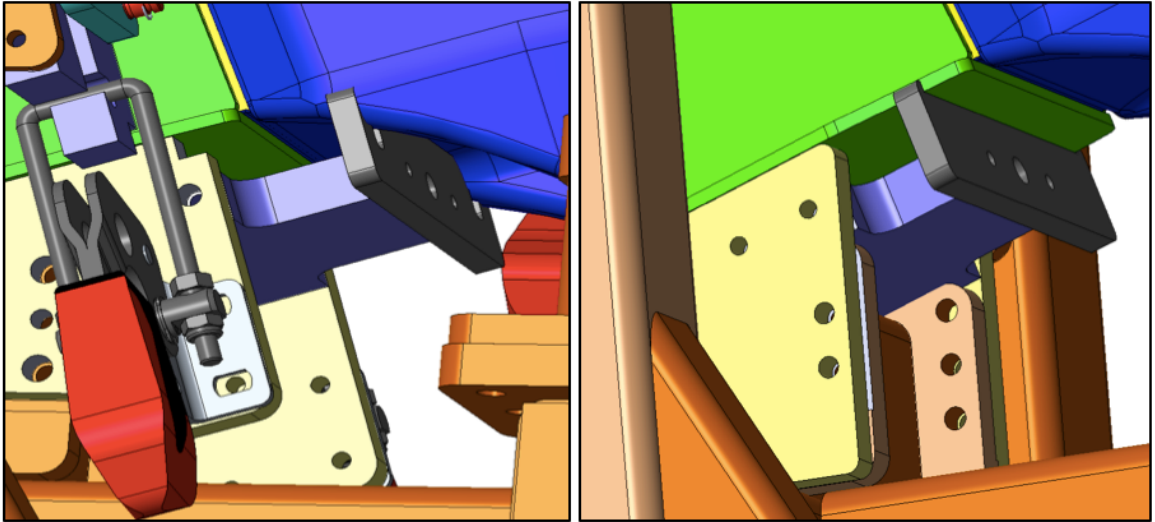
Čtvrtá konstrukční změna stehovacího přípravku zjednodušuje uložení odlitku v přípravku. Pomocí mostového jeřábu je odlitek dopraven k přípravku, kde v první fázi je usazen přes čep do prizmat a v dolní části dorazem o druhé prizma jak znázorňuje obrázek 7.9.



Obr. 7.9 - Změna dorazu čepu odlitku - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)

Úprava č.5

V této úpravě jde zejména o změnu polohy a designu tvarového plechu zajišťující spodní a boční doraz dolního plechu. Stávající sloužil nejen pro doraz plechu, ale také pro definování polohy uší výložníku, to ovšem v navrhovaném stavu není potřeba. Obrázek vpravo znázorňuje posun tohoto plechu, tak aby plnil svou funkci, a navíc uvolnil prostoru operátorovi pro vytvoření svaru mezi plechem a odlitkem.



Obr. 7.10 - Posun tvarového plechu vymezující polohu dolního plechu výložníku - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)

8 Zhodnocení návrhu

Poslední kapitola diplomové práce se zabývala srovnáním výrobních nákladů současného a navrhovaného (upraveného) typu výložníku. Největší změna u navrženého výložníku je nahrazení kritických míst odlitkem, která na výrobní cenu výložníku bude mít největší vliv. Pro tento odlitek byla zhotovena výkresová dokumentace (příloha č. 7) a na základě informací uvedených v tabulce 23 a kapitole 7.1.1 (technologičnost konstrukce odlitku) byla vytvořena cenová nabídka. Tento proces zajišťovalo oddělení strategického nákupu.

Tabulka 23 - Základní informace o odlitku

Středový odlitek	
Produkce	3 100/rok
Minimální délka projektu	3 roky
Materiál	MS 27
Váha	57 kg

V následující tabulce jsou vyčísleny náklady na výrobu současného i navrhovaného výložníku. Cena navrhovaného výložníku je o 60 % vyšší. Tento nárůst ceny je hlavně zapříčiněn nákupem středového odlitku v hodnotě **5 200 Kč**. Nepatrné snížení nákladů je zaznamenáno u mzdových a výrobních nákladů. Toto snížení má za následek vyřazení některých komponent, jejichž funkci nahradil odlitek.

Tabulka 24 - Výrobní náklady současného a navrhovaného výložníku v Kč

	Současný výložník	Navrhovaný výložník
Náklady na materiál	3 700	7 977
Náklady na dopravu	323	665
Mzdové náklady	291	282
Výrobní režie	2 614	2520
Celkem [Kč]	6 928	11 444

Výložník se středovým odlitkem je o cca 4 500 Kč dražší, což v ročním objemu 3100 vyráběných kusů je bezmála 14 000 000 Kč navíc. Je důležité si uvědomit, že inovace jsou nezbytnou činností většiny podniků a jsou důležité pro úspěch. Životní cykly produktů se neustále zkracují a dosavadní přístup se mění z „tlaku na vývoj“ na „tah na trhu“. V této práci je popsána inovace produktu, resp. výložníku, za účelem zlepšení kvality výrobního procesu z hlediska výsledné přesnosti svařence a uspokojení požadavků na finální design.

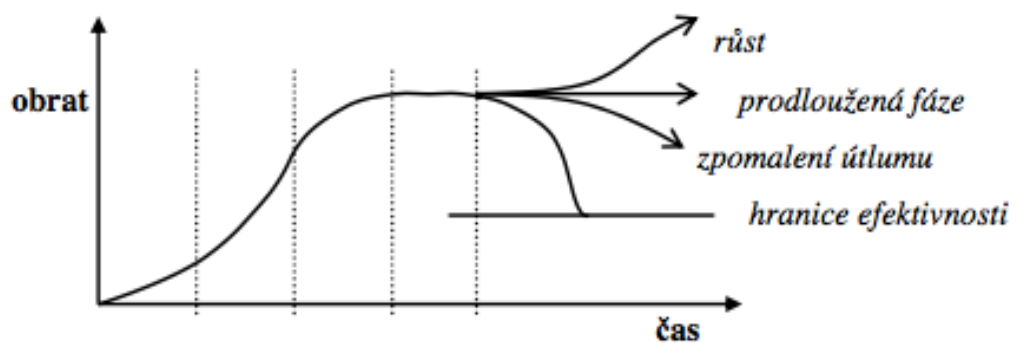
Je třeba podotknout, že tento návrh řešení, resp. konstrukční změna svařence je jednou z více možných alternativ pro řešení dané problematiky. Možné dopady tohoto návrhu jsou popsány v následujícím textu.

Výrobní oblast

Tato změna vycházela z analýzy dat po měření svařovaného výložníku. Jejím cílem byla především rozměrová fixace funkčních otvorů, která především pozitivně ovlivní montáž čepů a hydraulických válců. Nové konstrukční řešení výložníku znamená zrychlení svařovacího procesu, zejména u robotického svařování, kdy je svařováno 11,9 m svaru, namísto předešlých 19,36 m. Tato změna zrychlí proces robotického svařování o 18 minut (je zahrnuta pouze doba pro vytvoření svarové housenky, nikoliv svařování včetně přejezdů svařovacího hořáku) V další řadě by došlo k vyřazení potenciálního obrábění návarků pro dosažení požadované přesnosti dle výrobní výkresové dokumentace. Vyčleněním obráběcích operací by došlo k velké finanční úspoře.

Tržní oblast

S produkty na trhu je spojena definice „životní cyklus produktu“. Tímto pojmem je obecně myšlen časový úsek mezi zrozením a zánikem, zavedením a likvidací určitého produktu (služby). Konstrukční a zároveň designová změna výložníku by mohla jeho životní cyklus prodloužit nebo zpomalit jeho zánik, viz obr.8.1.



Obr. 8.1 - Průběh křivky životního cyklu produktu s následnými modifikacemi [37]

Závěr

Cílem diplomové práce byla optimalizace výrobního procesu výložníku. Tento cíl obsahoval stanovení dosažitelné přesnosti výroby svařovaného výložníku, návrh řešení a zhodnocení návrhu vzhledem k současnému stavu.

Úvod praktické části zahrnoval studii problematiky svařování, bylo nutné porozumět nastavené technologii svařovacího procesu výložníku, aby bylo později možné definovat potenciální příčiny rozměrových odchylek od nastavených tolerancí. Neméně důležitou částí této práce bylo získání znalostí z oblasti řízení kvality. Tyto informace byly základním aspektem pro analýzu naměřených dat po svařovacím procesu výložníku. Zvláštní pozornost byla kladena na kritické parametry kvality (CTQ – Control To Quality) tohoto výložníku. Především se jednalo o rozteče funkčních otvorů, geometrické tolerance souososti a soustřednosti vztažené k horním i dolním návarkům. Správné vzdálenosti funkčních otvorů a poloha návarků předepsané výrobní výkresovou dokumentací ve velké míře ovlivňuje montáž a funkčnost jednotlivých komponent pracovní skupiny (čepy, hydraulické válce, výložník a násada).

Pro stanovení dosažitelné výrobní přesnosti svařovaného kusu výložníku bylo vybráno 10 kusů výložníku, na kterých byl experiment prováděn a byly určeny přípustné hodnoty indexů způsobilosti výrobního zařízení ($C_m, P_p \geq 1$; $C_{mk}, P_{pk} > 0$). Měření bylo realizováno po každé svařovací etapě (stehování, robotické svařování, finální svařování) s cílem zjistit, která část svařovacího procesu nejvíce ovlivňuje výslednou přesnost výložníku. Na každém kusu výložníku bylo měřeno 24 znaků (kótovaných rozměrů). Z vyhodnocení bylo zřejmé, že proces stehování není příčinou takových rozměrových odchylek, jakých bylo dosaženo na výstupu (vhodné konstrukční řešení přípravku a malé množství vneseného tepla které by ovlivnilo rozměry svařence). Z analýzy dat po robotickém svařování byla většina délkových rozměrů bylo mimo nastavené tolerance ($C_{mk} < 0$). Hodnoty indexu C_m splnily nastavená kritéria, to ovšem znamenalo, že naměřené hodnoty mají vůči sobě malý rozptyl, ale nebyla zde zohledněna poloha tolerancí. Tento fakt byl zapříčiněn množstvím vneseného tepla při robotickém svařování. Geometrické tolerance vyjma těch, které byly vztaženy k návarkům (návarky dovařeny až ve finálním svařování), nastavená kritéria splnily. Poslední etapa svařování se zabývala zejména finálním svařením návarků. Hlavním důvodem této strategie byla skutečnost, že svařenec je v této fázi nejméně teplotně namáhán (malé objemové změny svařence). Tento úmysl sice zlepšil stav po robotickém svařování o cca 50 %, nicméně téměř

všechny naměřené hodnoty souososti horních i dolních návarků byly stále mimo tolerance. Největší odchylka při měření souososti byla zjištěna u dolních návarků (znak 16), kdy její hodnota byla 4,6 mm nad toleranci. To by vzhledem k následné montáži čepů s návarky vyžadovalo značnou mechanickou sílu nebo nutnost obrábění těchto otvorů.

Při stanovení přesnosti výroby, resp. hodnoty σ , která je jakýmsi měřítkem kvality neboli hodnotou úrovně jakosti vyráběných produktů, bylo tuto hodnotu možné určit pouze pro délkové rozměry. Hlavním faktorem pro toto vyhodnocení byla normalita souboru dat. Tento předpoklad všechny délkové rozměry na výstupu (po finálním svařování) splnily s hodnotu sigma $\sigma = 3,8$. To znamená, že z milionu vyrobených kusů by bylo cca 10 000 ks zmetků. Ostatní znaky, tj. geometrické tolerance, předpoklad normality nesplňovaly a nebylo možné hodnotu sigma určit. Je důležité podotknout, že dle normy ČSN ISO EN 13 920 (Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí) pro délkové rozměry s nejvyšší toleranční třídou A, by všechny naměřené hodnoty byly v tolerančních mezích. Lze tedy říci, že u „méně důležitých rozměrů“, jsou toleranční meze nastavené příliš přísně. Závěrem této analýzy bylo zjištění, že rozměrová přesnost výložníku byla nejvíce ovlivněna robotickým svařováním, kdy do svařence bylo dodáno velké množství energie (hodnota tepelného příkonu byla $10,56 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$). Dále, že strategie upnutí a svaření návarků, které byly jedním ze zásadních parametrů CTQ, není vhodně řešená. Tato část výložníku byla předmětem konstrukční změny svařence.

Jako možná alternativa řešení byla navrhnutá konstrukční změna, resp. nahrazení střední části svařence odlitkem. Účelem odlitku byla především rozměrová fixace funkčních otvorů, namísto současných návarků. V návaznosti na tuto konstrukční změnu byl optimalizován stehovací přípravek, zejména jeho střední část.

Tato práce se zabývala řešením jedné z alternativ daného problému, kde v první řadě šlo o rozměrovou fixaci funkčních otvorů. Výsledkem navržené konstrukční změny byl způsoben nárůst výrobních nákladů výložníku o cca 60 % (z 6 928 Kč na 11 444 Kč). Vzhledem k roční produkci by výroba výložníku byla o 14 000 000 Kč dražší. Na druhou stranu by vedla ke zrychlení svařovacího procesu. U robotického svařování by se jednalo o 18 min (byl zahrnut čas pro vytvoření svarové housenky, bez přejezdů hořáku). Dalšími pozitivy by bylo vyčlenění potenciálního obrábění funkčních otvorů a prodloužení životního cyklu produktu. Navržený odlitek by mohl být součástí výložníku ostatních typů strojů do 3,5 t a napomohl by tak ke zkvalitnění a sjednocení výrobního procesu.

Tento experiment se zabýval jednou z alternativ, která by nepřesnosti při výrobě výložníku eliminovala na minimum, avšak s vysokým nárůstem výrobních nákladů. Bylo by tedy vhodné ve výzkumu pokračovat a zaměřit se na jinou variantu řešení.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování*. 1. vyd. Praha : Scientia, 2007. 225 str. ISBN 80-7183-080-1
- [2] PILOUS, Václav. *Technologie kovových materiálů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-7082-811-0.
- [3] Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: ZEROSS 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [4] ORSZÁGH, P., ORSZÁGH, V. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo vedeckej literatury a časopisov, 2000. 460 s. ISBN 80-88780-36-5.
- [5] KOPŘIVA R., *Technologia zvarania v ochranných plynov metódou MIG/MAG, zerros ostrava 1993*
- [6] J.NOTBERTO PIRES, ALTINO LOUREIRO, GUNNAR BOLMSJO – *Welding robots, technology – systém issues and application*
- [7] URBÁNEK, Jiří, *Automatizace výrobních procesů – obrábění*. vyd. Brno: VUT Brno, 1990. 1. vyd. 165 s.
- [8] PÍTR, Robert. *Ochranné plyny pro svařování: výběr vhodné ochranné atmosféry*. *Air product* [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2015/11/2015-3_Ochranne.plyny_.pdf
- [9] *Extended-Reach Welding Robot: MA2010. YASKAWA* [online]. [cit. 2017-08-04].
- [10] LANE, J., D.: *Robotic welding, IFS UK 1987*
- [11] *MM průmyslové spektrum – Automatica v mnichově překonala očekávání* [cit. 2017-08-03] dostupné na <http://www.mmspektrum.com/clanek/automatica-v-mnichove-prekonala-ocekavani.html>
- [12] *HTB Weld: Ruční MIG/MAG* [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <http://www.hbt-weld.cz/category-product/svarovaci-horaky/migmag-fronius-svarovaci-horaky/rucni-migmag/>
- [13] SKAŘUPA Jiří, *průmyslové roboty a manipulátory, ostrava 2007, ediční středisko všb-tuo*, dostupné z http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [14] HRIVŇÁK I., 2009: *Zváranie a zvariteľnosť materiálů*, Slovenská technická univerzita, Bratislava, 486 s. ISBN: 978-80-227-3167-6
- [15] MALINA Z., 2010: *Základní kurz svařování MIG/MAG se souborem testových otázek*. ZEROSS, Ostrava, 144s. ISBN: 80-86698-16-5
- [16] ROUBÍČEK, Martin; PILOUS, Václav. *Airliquide* [online]. 2008 [cit. 2017-08] Dostupné z WWW: http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/mag_svarovani49124.pdf
- [17] BLAŠČÍK, F. a kol. *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania*, 1 vyd. ALFA Bratislava 1988, 830s. ISBN 063-563-87
- [18] KAŠPAR, Jan. *Čistota ochranných plynů pro svařování a formování kořene svaru*. *Konstrukce: elektronický časopis pro strojírenství a stavebnictví* [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/cistota-ochrannych-plynu-pro-svarovani-a-formovani-korene-svaru/>

- [19] HLUCHÝ, KOLOUCH, PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2 – 1.díl*. 2.vydání Praha: Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství. 2001 .
- [20] Firemní podklady firmy AGA. [VHS kazeta] Svařování metodami MIG/MAG
- [21] PILOUS V, *Nové metalurgické postupy svařování ocelí*. SNTL 1985
- [22] KRUNCIPÁL J, *Svařování pro konstruktéry a technology*. Praha: SNTL, 1980, ISBN 04-217-80
- [23] Přípravky. *Weld project: welding technology works* [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <http://www.weldproject.cz/reference3.html>
- [24] *Honeywell international: Lean enterprise - training manual*. 2004
- [25] Normal distribution. *Leansigma: Six sigma* [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <http://icpartnership.com/sixsigma.html>
- [26] MONTGOMERY, D. C. *Statistical Quality Control: A Modern Introduction, International Student Version*. 6th ed. Asia: John Wiley & Sons, 2009. ISBN 978-0-470-23397-9.
- [27] HAVLÍČEK, Daniel. *Automatizace. Factory automation* [online]. 2015 [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-termínu-ktere-musíte-znat/>
- [28] PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. *Strojírenská metrologie II*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180s. ISBN 80-214-3338-2.
- [29] FREHR, H. U. *Total quality management*. 1.vyd. Brno: UNIS publishing, 1995. 258 s. ISBN 3-446-17135-5. Dodatek A, Statistické řízení procesů – SPC, s.234.
- [30] TOŠENVSKÝ, J – NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X. Výrobní etapy Kapitola 5.1, Variabilita procesu, s. 166.
- [31] POLENČÁR R., HALAJ M.: *Metrologické zabezpečenie systémov riadenia kvality*, STU Bratislava. 1998.
- [32] PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vyd. Praha: Computer Press, 2001. ISBN 80-7226-543- 1. Kapitola 7.1, Hodnocení způsobilosti procesu, s. 104.
- [33] DUDEK, Martin. *Box plot. Kvalita jednoduše* [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/box-plot/>
- [34] MICHÁLEK Jiří, KRÁL Jiří, *Řešení výkonnosti výrobního procesu při nenormálně rozdělených datech*, [Performance evaluation of a manufacturing process by non-normally distributed data.] Praha: ISQ Praha, 2010, s. 36-48. ISBN 987-80-7265-189-4.
- [35] ALEŠ Zdeněk, LEGÁT Václav, *Analýza způsobilosti procesů a výrobních zařízení*, ČZU Praha.
- [36] KOLAŘÍK L., *Deformace a napětí při svařování* Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Praha 2017
- [37] Životní cyklus produktu. *Pefka: Stránka pro studenty* [online]. [cit. 2017-08-04].
- [38] *Bobcat DOOSAN* [online]. [cit. 2017-08-07] Dostupné z: <http://www.bobcatdobris.cz/bobcat>

Seznam obrázků

Obr. 1.1 - Vývojové centrum [38]	9
Obr. 1.2 - Nakladač (vlevo) a bagr (vpravo) [38]	10
Obr. 1.3 - Výložník	10
Obr. 1.4 - Kompaktní bagr E26	11
Obr. 2.1 - Rozdělení metod tavného svařování	12
Obr. 2.2 - Rozdělení metod tlakového svařování	12
Obr. 2.3 - Princip svařování MIG/MAG	14
Obr. 2.4 - Základní schéma svařování metodou MIG/MAG [3]	15
Obr. 2.5 - Statické charakteristiky svařovacích zdrojů [15]	15
Obr. 2.6 - Uspořádání svařovacího zařízení [3]	16
Obr. 2.7 - Schéma podavače drátu [16]	17
Obr. 2.8 - Svařovací hořák chlazený vodou pro metodu MIG/MAG [3]	17
Obr. 2.9 - Oblasti přenosu kovu v el. oblouku [3]	18
Obr. 2.10 - Fáze zkratového přenosu kovu [4]	18
Obr. 2.11 - Fáze impulzního přenosu kovu [4]	20
Obr. 2.12 - Impulsní forma přenosu kovu v oblouku [3]	21
Obr. 2.13 - Závislost výkonu navaření na rychlosti posuvu drátu [3]	22
Obr. 2.14 - Typické tvary svarů při použití čistých a směsných plynů [19]	23
Obr. 2.15 - Vliv napětí na tvar svaru (p-převýšení svaru, z-hloubka průvaru, s-šířka housenky) [3]	25
Obr. 2.16 - Vliv proudu na tvar svaru (p-převýšení svaru, z-hloubka průvaru, s-šířka housenky) [3]	26
Obr. 2.17 - Vliv technologie svařování na velikost deformací, zleva: počet sv. housenek, převýšení svaru, tvar průřezu svaru, úprava svarových ploch [36]	28
Obr. 2.18 - Předehnutí tupého (vlevo) a koutového (vpravo) svaru [36]	28
Obr. 2.19 - Ukázka z numerické simulace svarového spoje v SW Sysweld [36]	29
Obr. 3.1 - Robotický průmysl v porovnání s automatizací a manuální prací [6]	30
Obr. 3.2 - Tok materiálu výložníku ve výrobě	31
Obr. 3.3 - Svařovací robot Yaskawa MA2010 [9]	33
Obr. 3.4 - Robot s technologickou hlaví pro bodové svařování [11]	34
Obr. 3.5 - Ruční (vlevo) a strojní (vpravo) svařovací hořák pro metodu MAG [12]	34
Obr. 3.6 - Kinematický řetězec průmyslových robotů se 6 stupni volnosti [13]	35
Obr. 3.7 - Kartézská kinematická struktura [13]	36
Obr. 3.8 - Cylindrická kinematická struktura [13]	36
Obr. 3.9 - Sférická kinematická struktura [13]	36
Obr. 3.10 - Úhlová kinematická struktura [13]	37
Obr. 3.11 - Zjednodušené schéma CCD (Charge Coupled Device) snímače [3]	38
Obr. 3.12 - Schéma ultrazvukového snímače [3]	39
Obr. 3.13 - Vizuální navádění systému hořáku [3]	39
Obr. 3.14 - Svařovací přípravek [23]	40
Obr. 4.1 - Náčrtek regulačního diagramu [31]	42
Obr. 4.2 - Odvození ukazatele pro normálně (vlevo) a nenormálně (vpravo) rozdělený znak kvality [34]	46
Obr. 4.3 - Grafické znázornění vlastností Gaussovy křivky [25]	48
Obr. 4.4 - Graf způsobilosti procesu na úrovni 6σ základní (vlevo) a při posunu o $1,5\sigma$ (vpravo)	48
Obr. 5.1 - Výložník E26	51
Obr. 5.2 - Sestavení pracovní skupiny	52

Obr. 5.3 - Výložník založen do stehovacím přípravku – isometrický pohled	54
Obr. 5.4 - Výložník založen do stehovacím přípravku – boční pohled	54
Obr. 5.5 - Výložník založen do stehovacím přípravku – pohled shora.....	54
Obr. 5.6 - Pořadí svarových housenek při robotickém svařování.....	55
Obr. 5.7 - Výložník založen do přípravku pro robotické svařování – isometrický pohled.....	56
Obr. 5.8 - Výložník založen do přípravku pro robotické svařování – boční pohled.....	56
Obr. 5.9 - Výložník založen do přípravku pro robotické svařování – pohled shora.....	56
Obr. 5.10 - Robotické pracoviště	57
Obr. 5.11 - Výložník založen do upínacího přípravku pro finální svařování – isometrický pohled	59
Obr. 5.12 - Výložník založen do upínacího přípravku pro finální svařování – boční pohled ..	59
Obr. 5.13 - Výložník založen do upínacího přípravku pro finální svařování – pohled shora...59	59
Obr. 6.1 - Měřicí rameno CimCore.....	60
Obr. 6.2 - Výkres výložníku s vyznačením měřených znaků kvality	61
Obr. 6.3 - Ukázka výložníku v měřícím centru (po stehování)	63
Obr. 6.4 - Test normality pro 10. znak po nastehování.....	64
Obr. 6.5 - Regulační diagram pro 10.znak po nastehování.....	64
Obr. 6.6 - Log-normální rozdělení vlevo pro 15.znak a vpravo pro znak.20 - stehování.....	65
Obr. 6.7 - Test normality pro 10.znak po robotického svařování	66
Obr. 6.8 - Regulační diagram pro 10.znak po robotickém svařování	66
Obr. 6.9 - Log-normální rozdělení vlevo pro 15.znak a vpravo pro znak.20 – robotického svařování	67
Obr. 6.10 - Test normality pro 10.znak po finálního svařování.....	68
Obr. 6.11 - Regulační diagram pro 10.znak po finálním svařování.....	68
Obr. 6.12 - Log-normální rozdělení vlevo pro 15.znak a vpravo pro znak.20 – fin. svařování	69
Obr. 6.13 - Krabicový diagram pro 15. znak	70
Obr. 6.14 - Krabicový diagram pro 24. Znak	70
Obr. 6.15 - Regulační diagram svařovacího procesu pro 10. znak	71
Obr. 7.1 - Návrh odlitku před (vlevo) a po obrobení (vpravo)	76
Obr. 7.2 - Svařený výložník – ISO pohled.....	76
Obr. 7.3 - Svařený výložník – boční pohled	77
Obr. 7.4 - Detail napojení plechů s odlitkem	77
Obr. 7.5 - Kolize výložníku se stávajícím přípravkem	78
Obr. 7.6 - Zajištění dorazu horního plechu – původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)	79
Obr. 7.7 - Změna polohy upínky - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo).....	79
Obr. 7.8 - Změna prizmatu - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo).....	80
Obr. 7.9 - Změna dorazu čepu odlitku - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)	80
Obr. 7.10 - Posun tvarového plechu vymezující polohu dolního plechu výložníku - původní varianta (vlevo) a upravená varianta (vpravo)	81
Obr. 8.1 - Průběh křivky životního cyklu produktu s následnými modifikacemi [37].....	83

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Proudové rozsahy pro svařování zkratovým procesem.....	19
Tabulka 2 - Nastavení parametrů pro sprchový proces v závislosti na \varnothing drátu.....	20
Tabulka 3 - Fyzikální vlastnosti plynů [18].....	23
Tabulka 4 - Tabulka hodnot DPMO pro úrovně sigma [26].....	49
Tabulka 5 - Chemické složení oceli S355J2G3.....	51
Tabulka 6 - Chemické složení oceli na odlitky MS27.....	51
Tabulka 7 - Svařovací parametry stehování.....	53
Tabulka 8 - Svařovací parametry robotického svařování.....	55
Tabulka 9 - Technické údaje svařovacího robota MA 2010 [9].....	57
Tabulka 10 - Technické údaje svařovacích zdrojů robotického pracoviště [9].....	58
Tabulka 11 - Svařovací parametry stehování.....	58
Tabulka 12 - Technické údaje měřicího přístroje CimCore.....	60
Tabulka 13 - Naměřená data po stehování - délkové rozměry.....	64
Tabulka 14 - Naměřená data po stehování – geom. tolerance.....	65
Tabulka 15 - Naměřená data po robotickém svařování – délkové rozměry.....	66
Tabulka 16 - Naměřená data po robotickém svařování – geom. tolerance.....	67
Tabulka 17 - Naměřená data po finálním svařování – délkové rozměry.....	68
Tabulka 18 - Naměřená data po finálním svařování – geom. tolerance.....	69
Tabulka 19 - Doporučené stupně přídavků na obrábění hrubých odlitků.....	75
Tabulka 20 - Doporučené přídávky na obrábění.....	75
Tabulka 21 - Chemické složení oceli na odlitky.....	75
Tabulka 22 - Mechanické vlastnosti oceli na odlitky.....	75
Tabulka 23 - Základní informace o odlitku.....	82
Tabulka 24 - Výrobní náklady současného a navrhovaného výložníku.....	82

Seznam symbolů a zkratk

<i>Zkratka:</i>	<i>Popis:</i>	<i>Jednotky:</i>
CTQ	Critical to quality	
MIG	Metal inert gas	
MAG	Metal active gas	
CO ₂	Oxid uhličitý	
Ar	Argon	
O	Kyslík	
U	Napětí	[V]
I	Proud	[A]
V	Volt	
A	Ampér	
R _c	Odpor svařovacího proudu	[Ω]
t _s	Čas od začátku zkratu	[s]
L _c	Celková indukčnost svařovacího proudu	[H]
I ₀	Okamžitá hodnota proudu v čase t=0	[A]
U ₂₀	Napětí na prázdko	[V]
I _n ^P	Proud impulzu	[A]
t _p	Čas impulzu	[s]
D	Konstanta oddělení kapky	
T.I.M.E.	Transferred ionized molten energy	
He	Helium	
PA	Poloha svařování – vodorovná shora	
PB	Poloha svařování – vodorovná šikmo shora	
PC	Poloha svařování – vodorovná na svislé stěně	
U ₂	Pracovního napětí	[V]
I ₂	Pracovní proud	[A]
Q	Tepelný příkon	[kJ.cm ⁻¹]
I _s	Svařovací proud	[A]
v _s	Rychlost svařování	[cm/min]
k	Součinitel svařovacího procesu	
C	Velikost předehtutí	[mm]
a	Výška svaru	[mm]

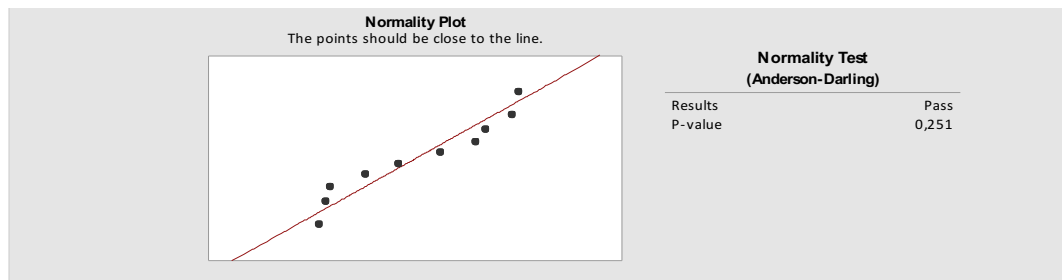
b	Šířka svaru	[mm]
Δl	Prodloužení (smrštění)	[mm]
l	Původní délka	[mm]
ΔT	Rychlost svařování	[K, °C]
α	Součinitel tepelné roztažnosti	[mm · m ⁻¹ · °C ⁻¹]
CCD	Charge coupled device	
μ	Parametr polohy	
SPC	Statistical process control	
CL	Central line	
USL	Upper specification limit	
LSL	Lower specification limit	
σ	Směrodatná odchylka	
C_p	Ukazatel způsobilosti procesu	
C_{pk}	Ukazatel způsobilosti procesu zohledňující tol. meze	
C_m	Ukazatel způsobilosti stroje	
C_{mk}	Ukazatel způsobilosti stroje zohledňující tol. meze	
P_p	Ukazatel výkonnosti	
P_{pk}	Ukazatel výkonnosti zohledňující tol. meze	
DPMO	Defects per million opportunities	

Seznam příloh

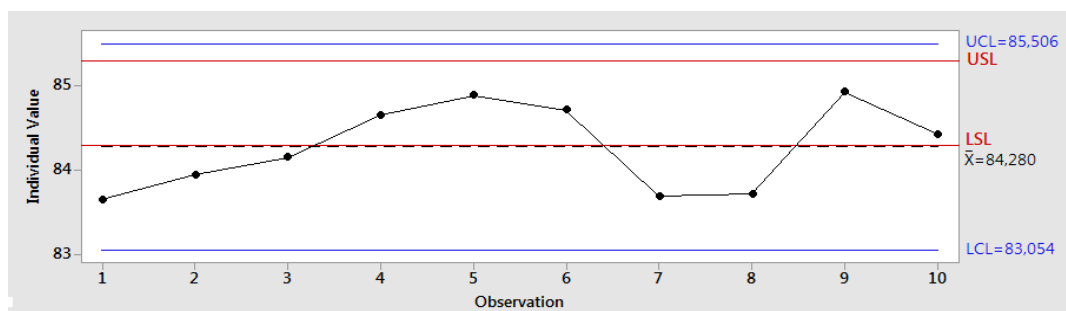
Příloha č. 1 – Vyhodnocení délkových rozměrů po stehování.....	95
Příloha č. 2 – Vyhodnocení geometrických tolerancí po stehování.....	104
Příloha č. 3 – Vyhodnocení délkových rozměrů po robotickém svařování.....	108
Příloha č. 4 – Vyhodnocení geometrických tolerancí po robotickém svařování.....	114
Příloha č. 5 – Vyhodnocení délkových rozměrů po dokončovacím svařování.....	118
Příloha č. 6 – Vyhodnocení geom. tolerancí po finálním svařování.....	126
Příloha č. 7 – Výkres odlitku.....	130
Příloha č. 8 – Výkres odlitku pro obrábění.....	132
Příloha č. 9 – Výkres výložníku.....	133
Příloha č. 10 – Výkres upraveného stehovacího přípravku.....	137

Přílohy

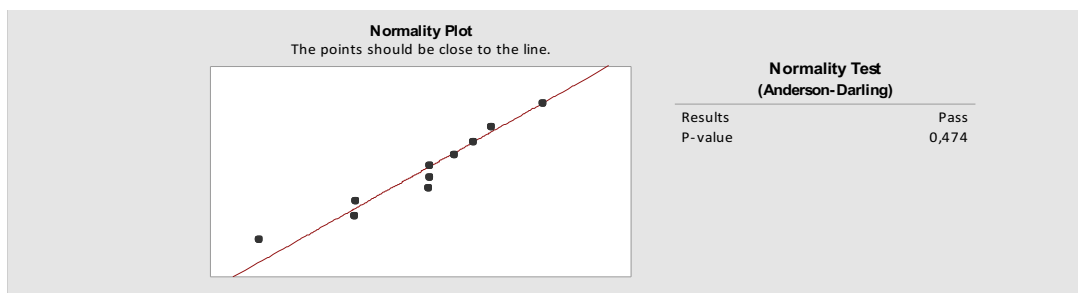
Příloha č. 1 – vyhodnocení délkových rozměrů po stehování



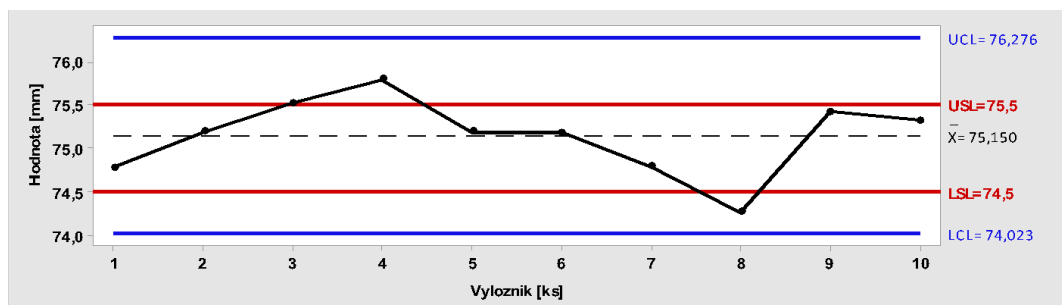
Test normality pro 1.znak – stehování



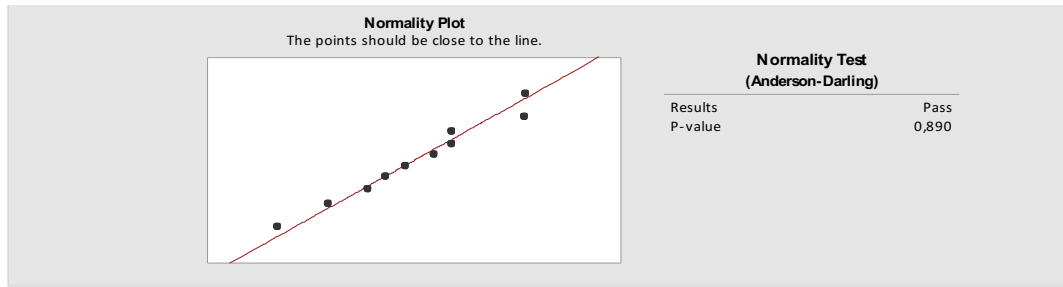
Regulační diagram pro 1. znak - stehování



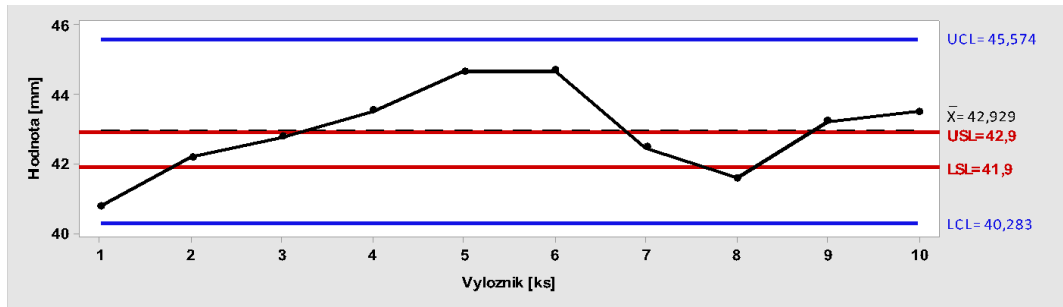
Test normality pro 2.znak – stehování



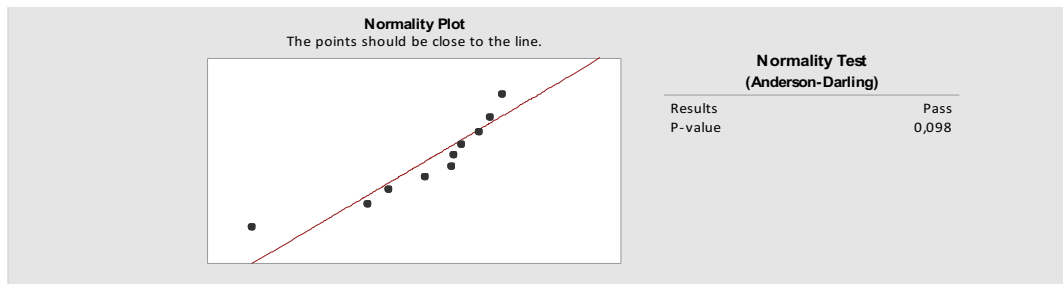
Regulační diagram pro 2. znak - stehování



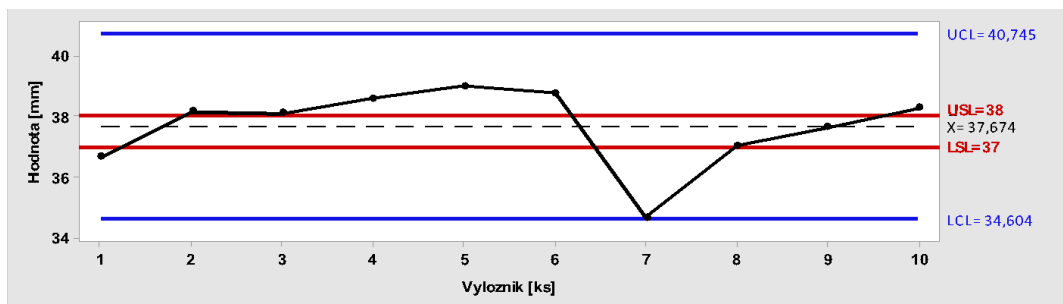
Test normality pro 3.znak – stehování



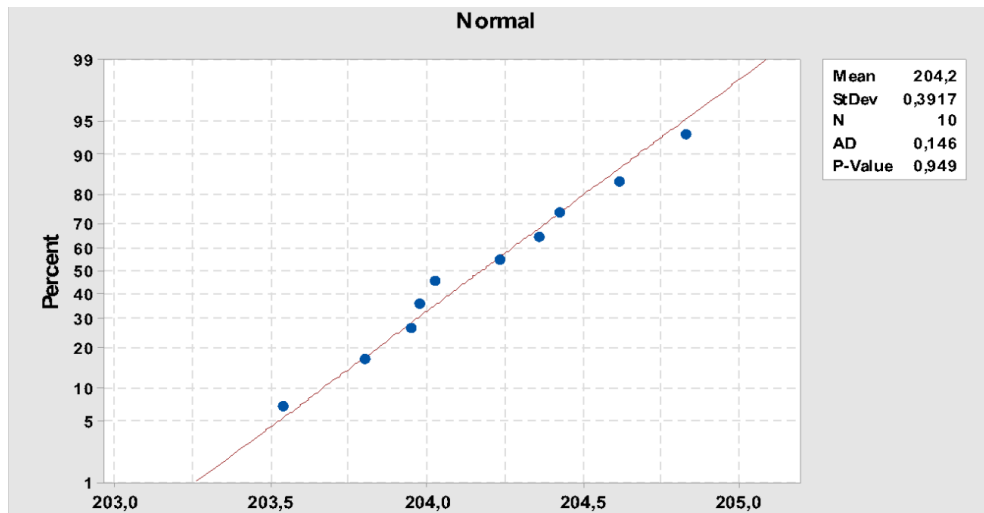
Regulační diagram pro 3. znak – stehování



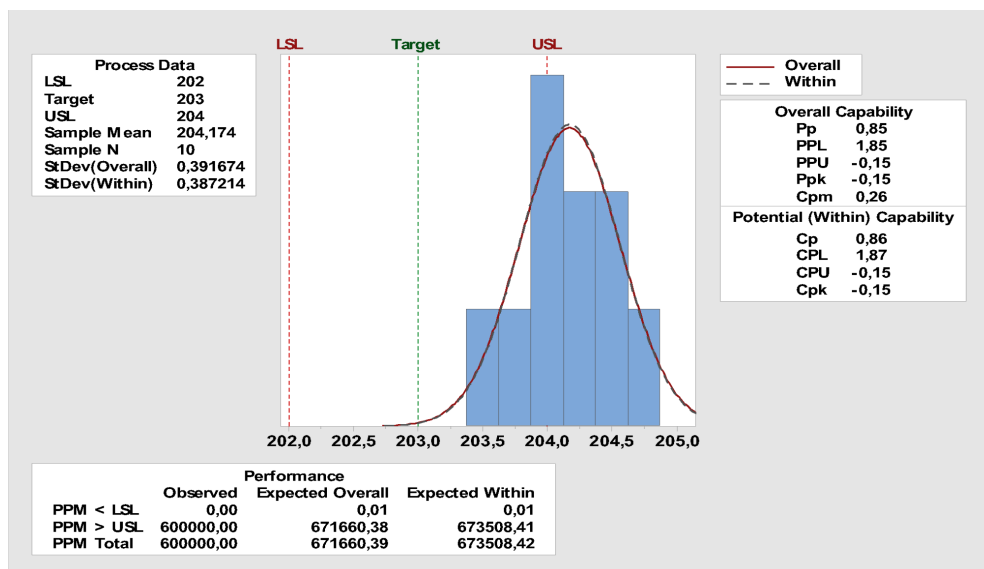
Test normality pro 4.znak – stehování



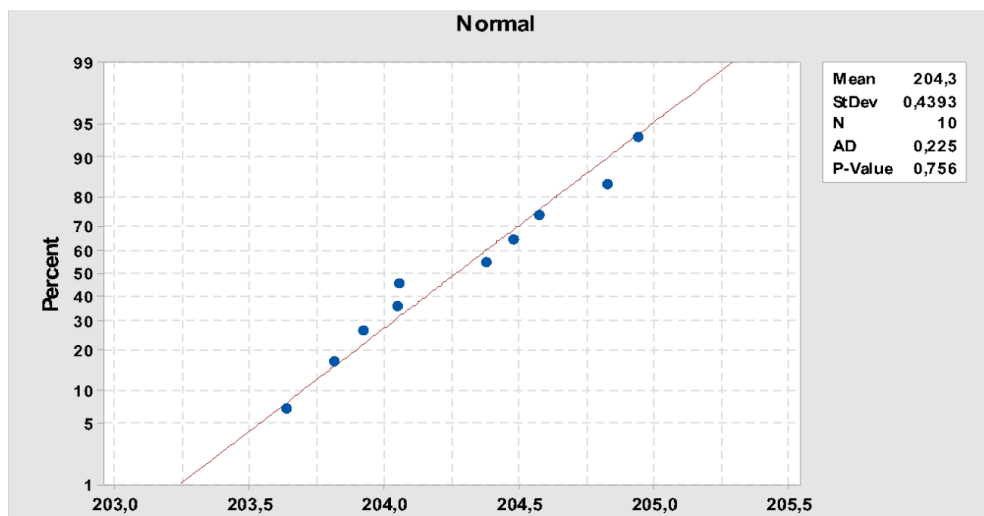
Regulační diagram pro 4. znak - stehování



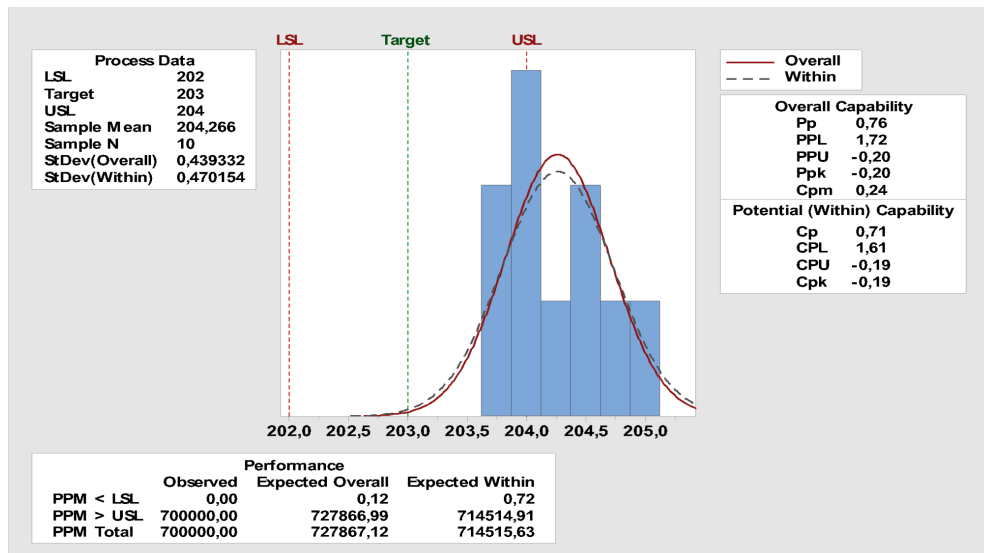
Test normality pro 5.znak – stehování



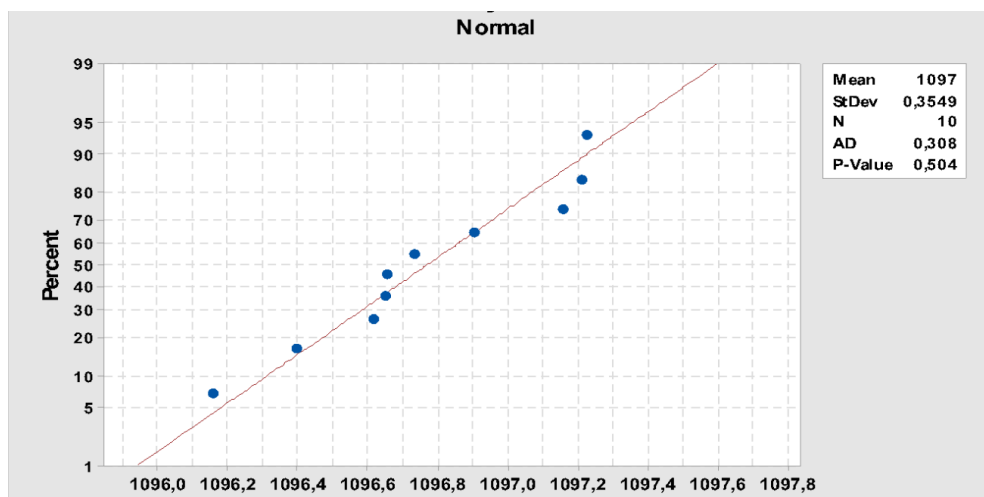
Histogram pro 5.znak – stehování



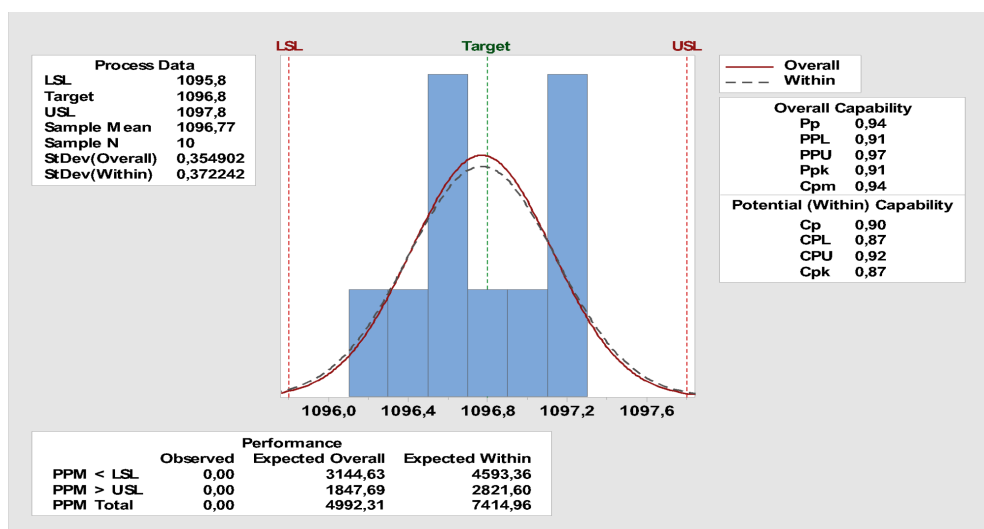
Test normality pro 6.znak – stehování



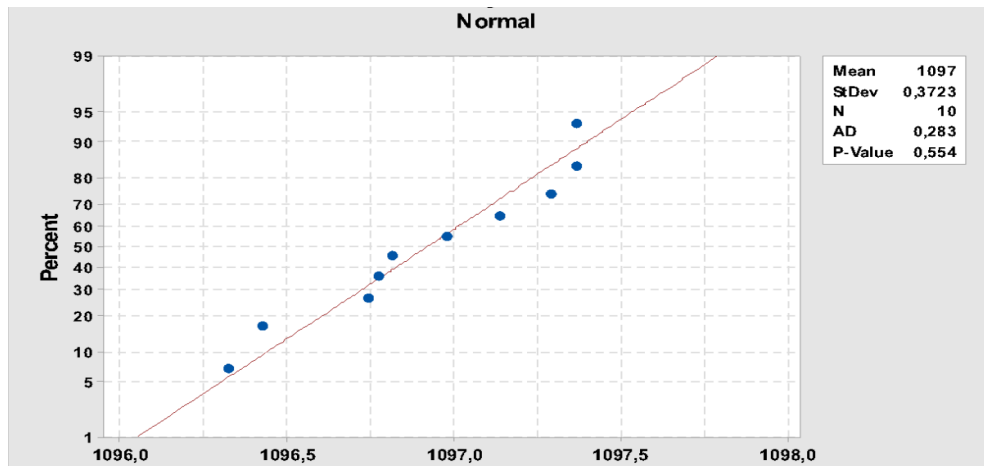
Histogram pro 6.znak - stehování



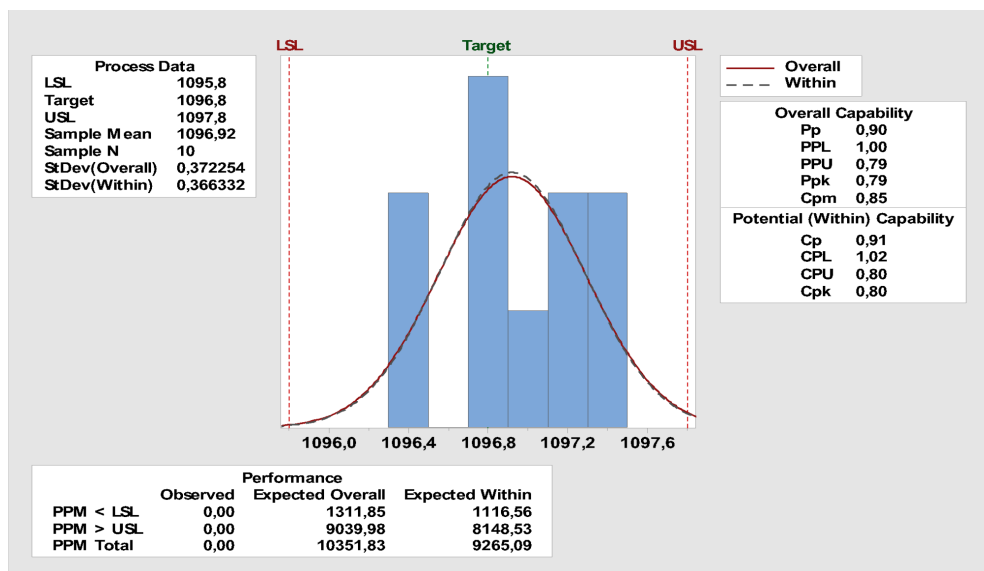
Test normality pro 7.znak – stehování



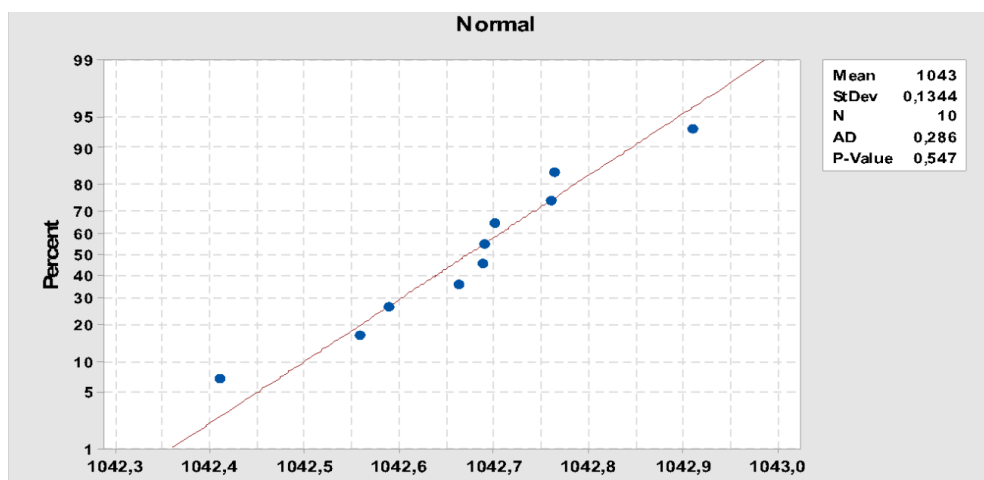
Histogram pro 7.znak - stehování



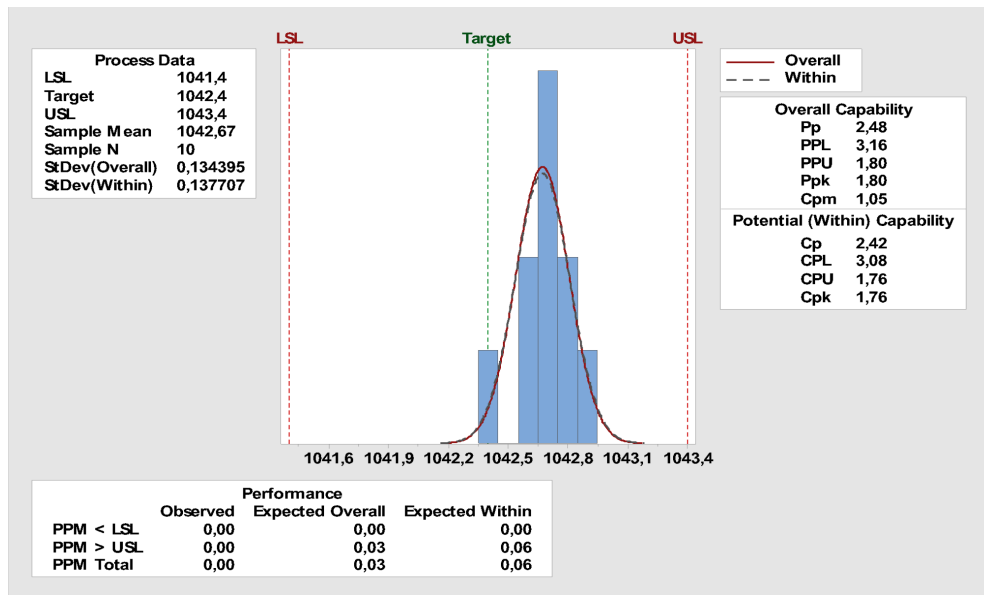
Test normality pro 8.znak – stehování



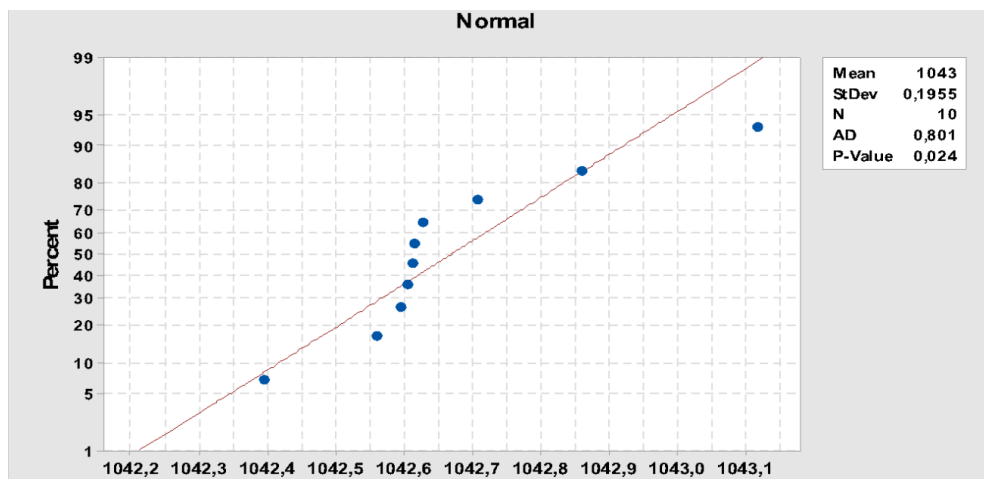
Histogram pro 8.znak - stehování



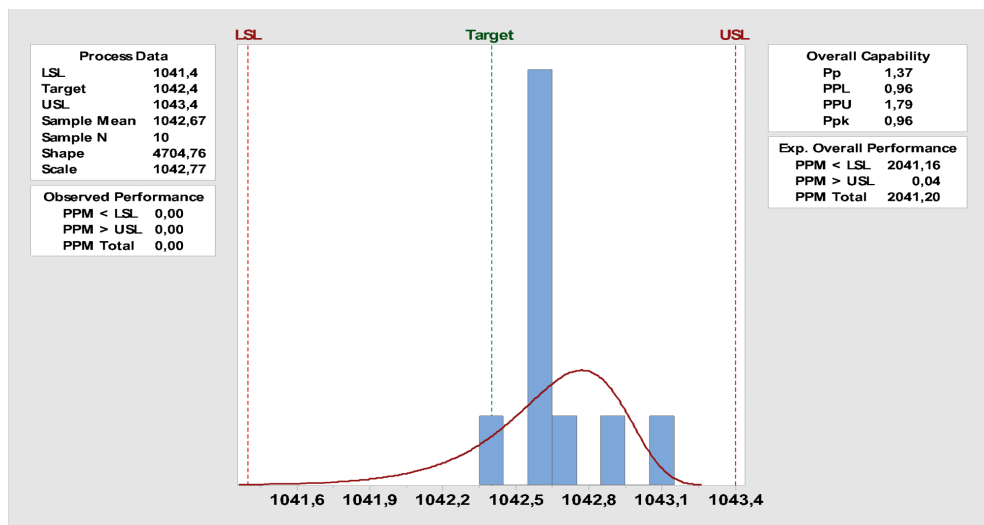
Test normality pro 9.znak – stehování



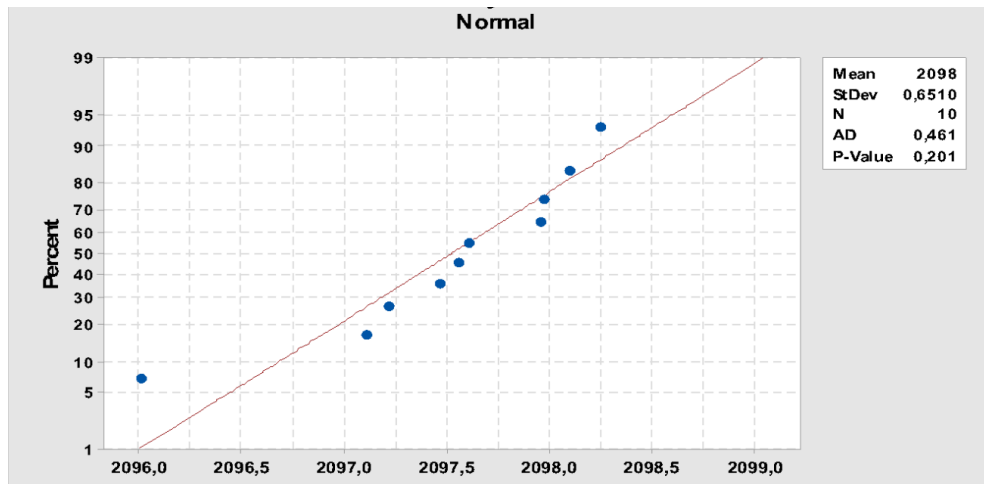
Histogram pro 9.znak - stehování



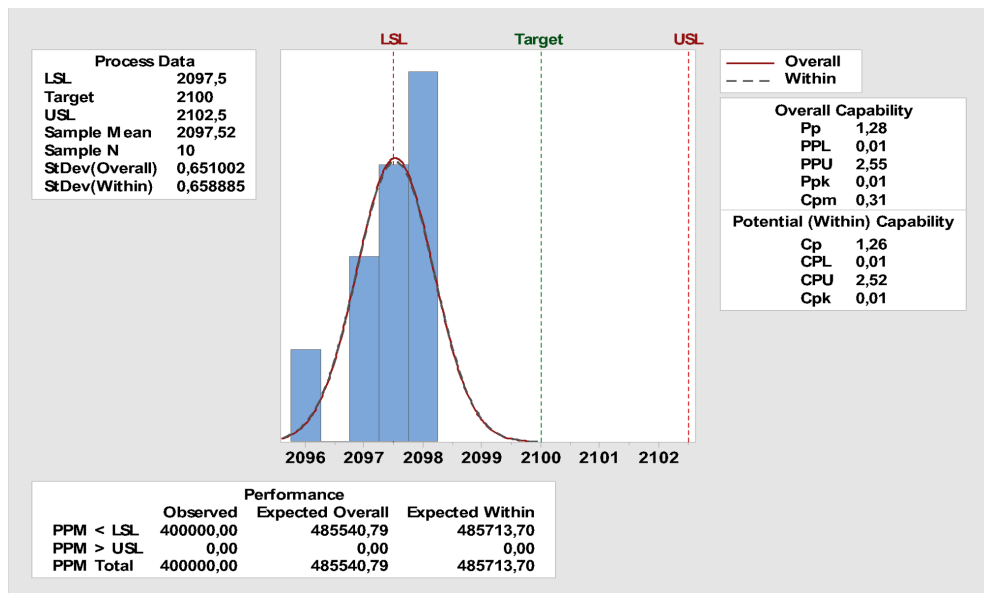
Test normality pro 10.znak – stehování



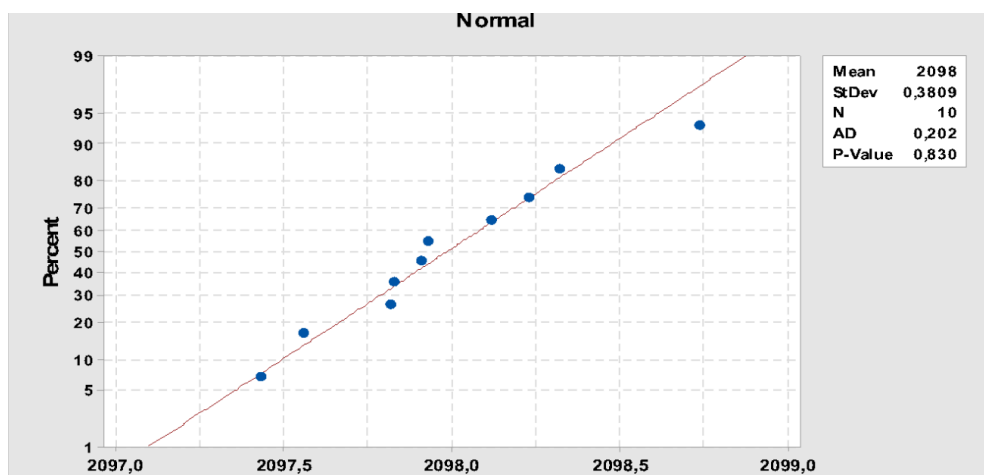
Histogram pro 10.znak - stehování



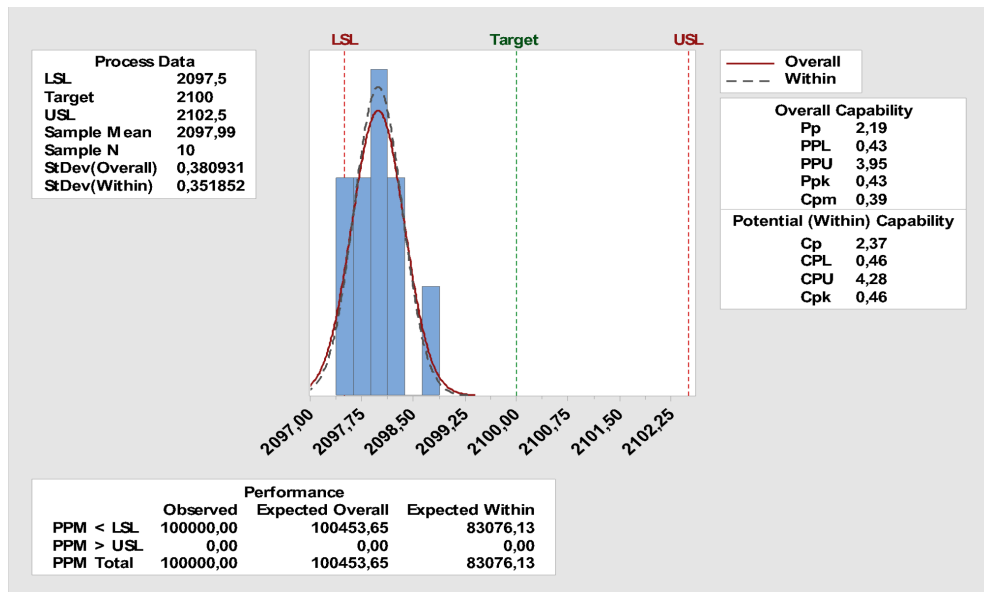
Test normality pro 11.znak – stehování



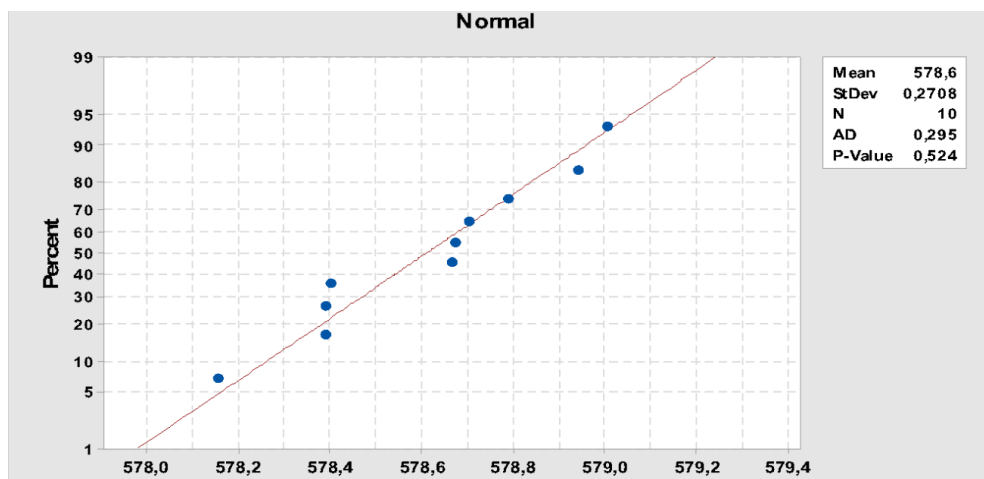
Histogram pro 11.znak - stehování



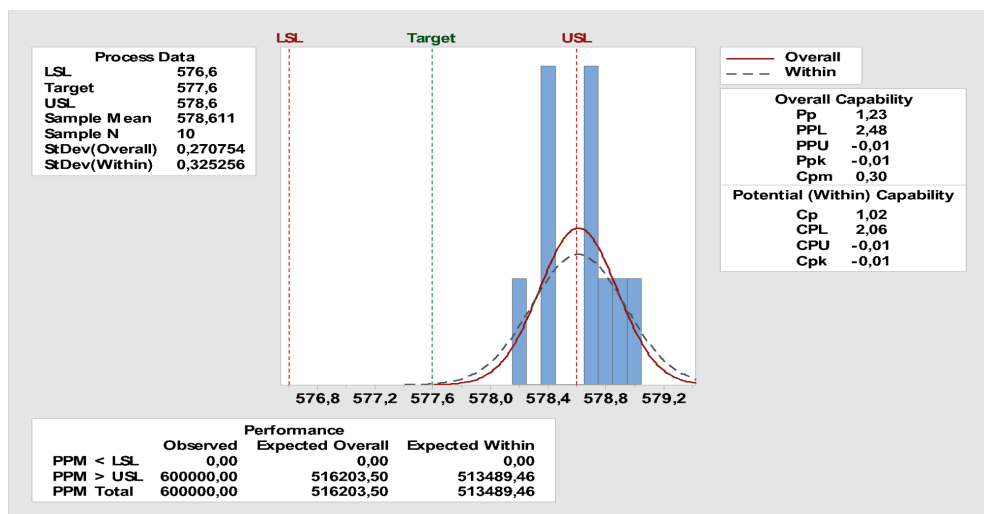
Test normality pro 12.znak – stehování



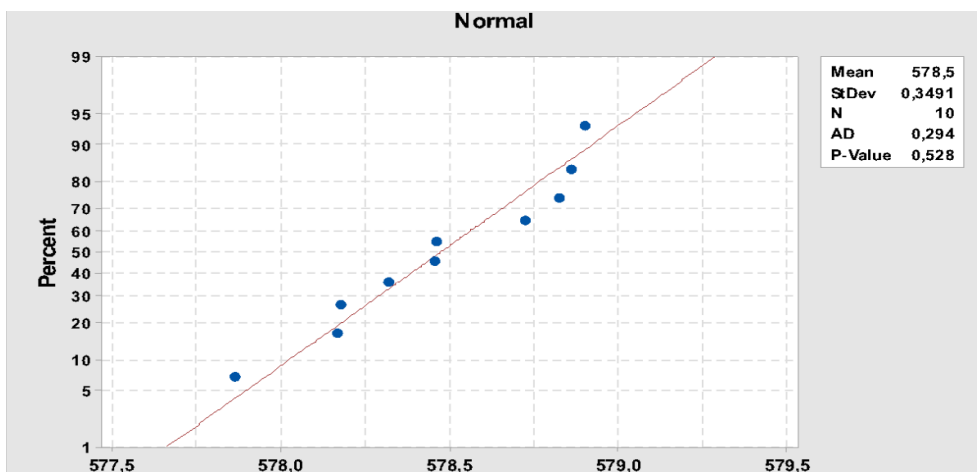
Histogram pro 12.znak - stehování



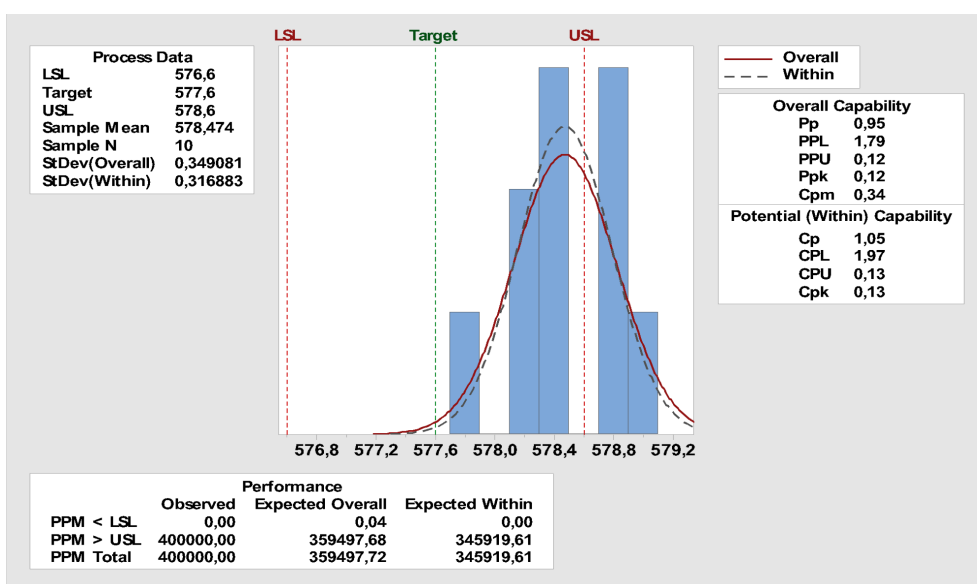
Test normality pro 13.znak – stehování



Histogram pro 13.znak - stehování

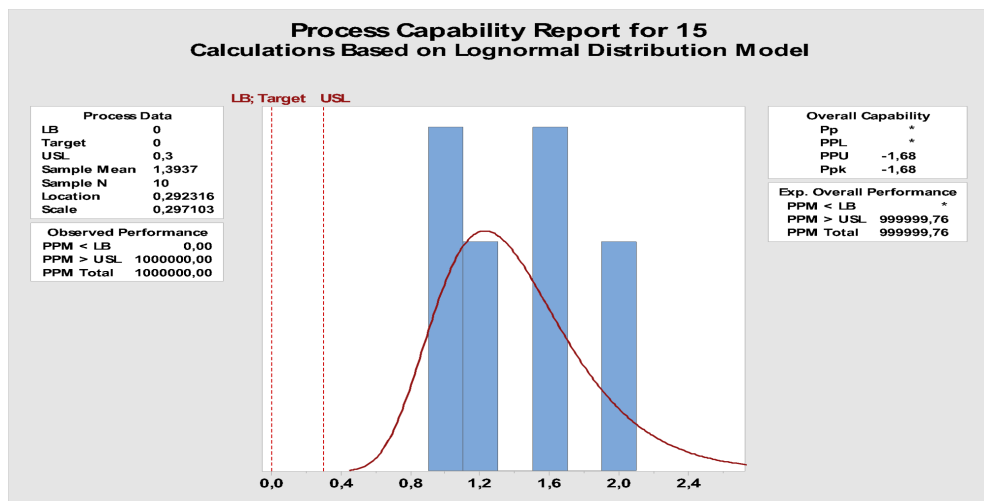


Test normality pro 14.znak – stehování

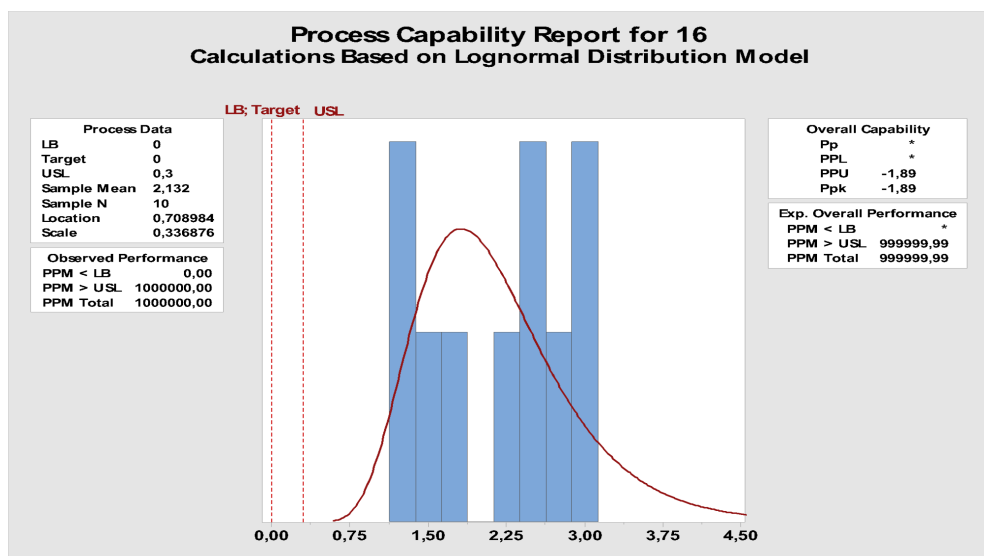


Histogram pro 14.znak – stehování

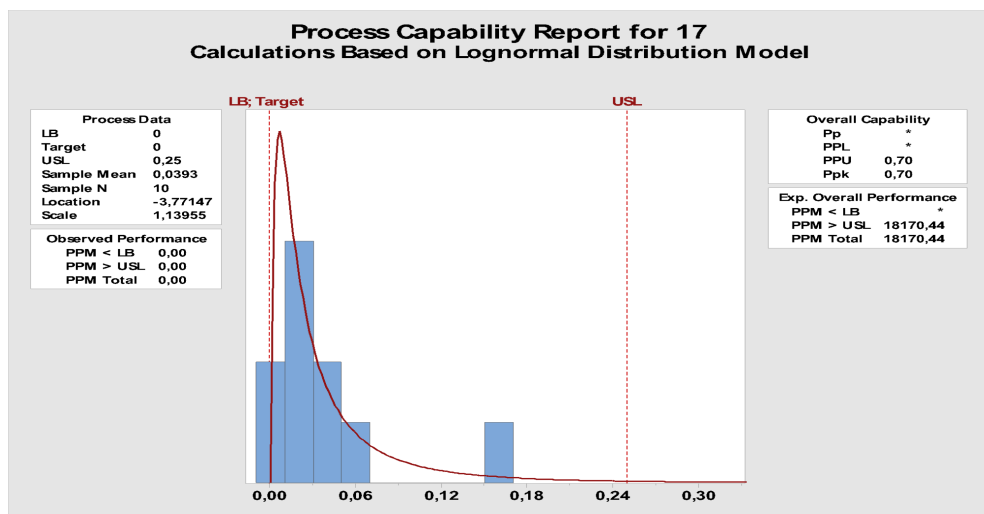
Příloha č. 2 – vyhodnocení geometrických tolerancí po stehování



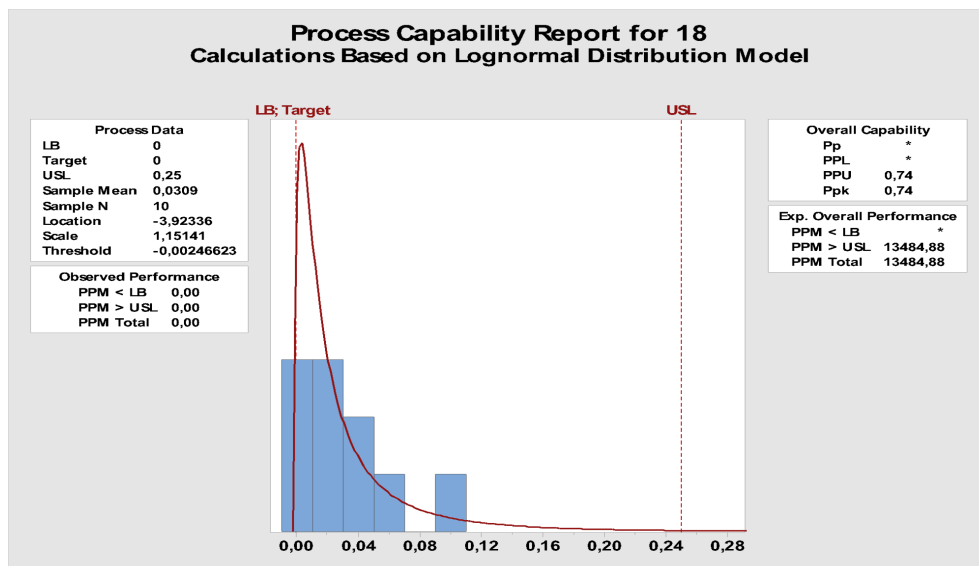
Log-normální rozdělení pro 15.znak - stehování



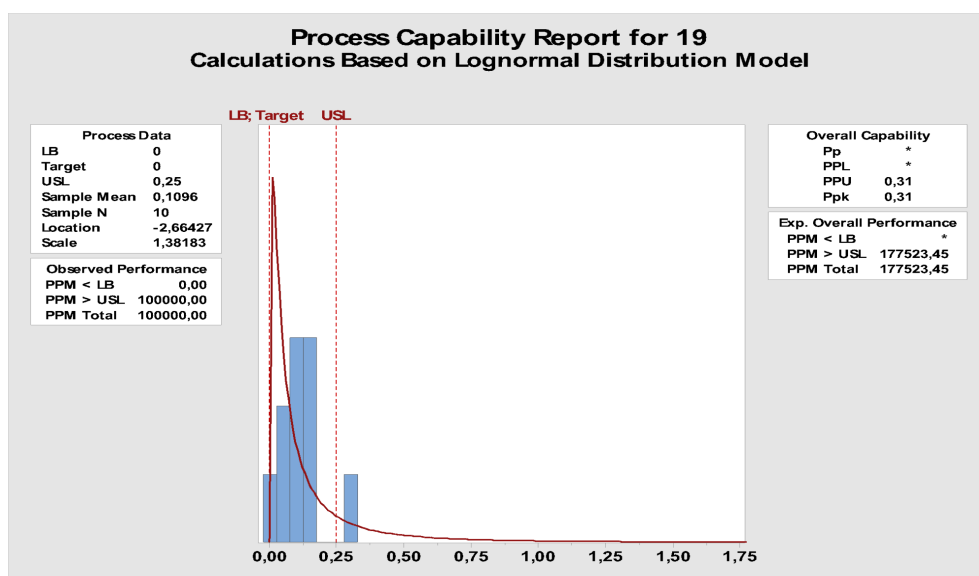
Log-normální rozdělení pro 16.znak - stehování



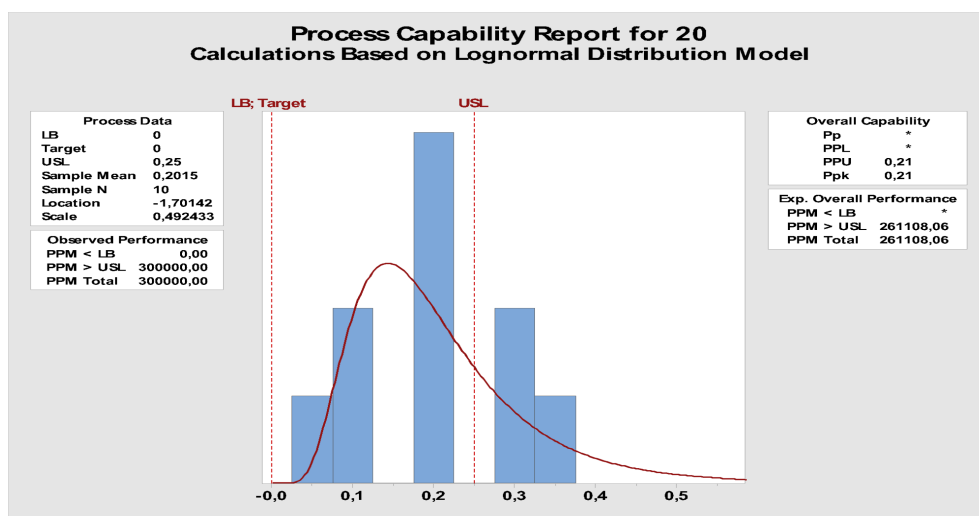
Log-normální rozdělení pro 17.znak - stehování



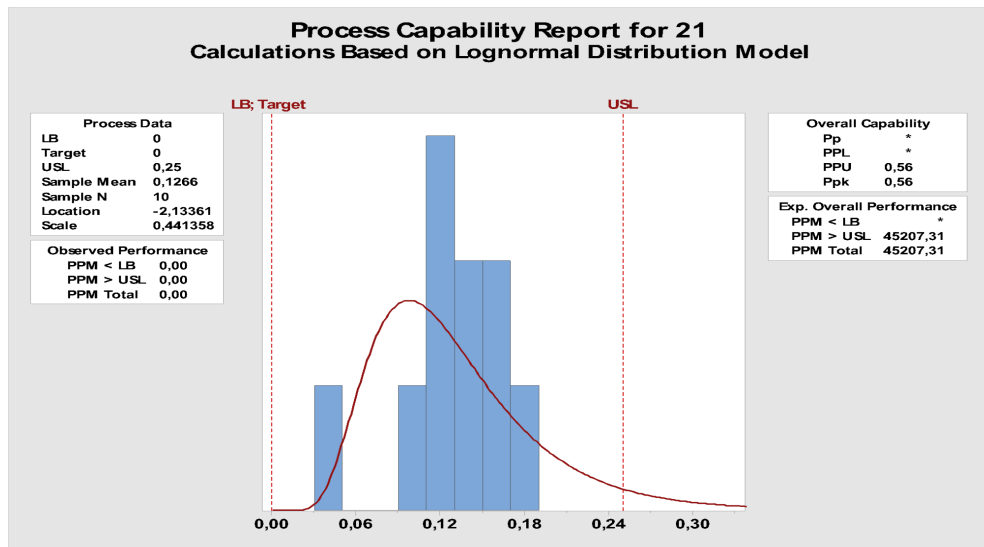
Log-normální rozdělení pro 18.znak - stehování



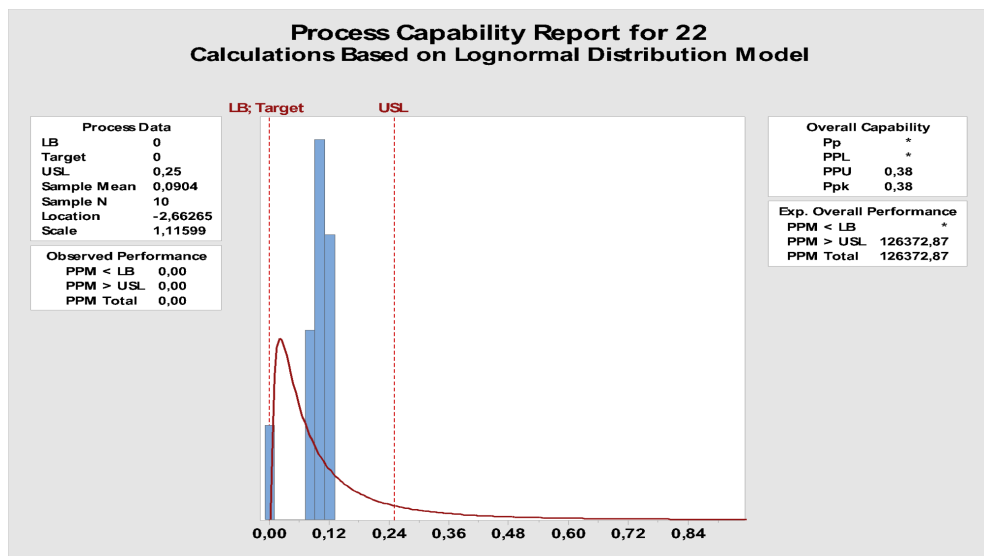
Log-normální rozdělení pro 19.znak - stehování



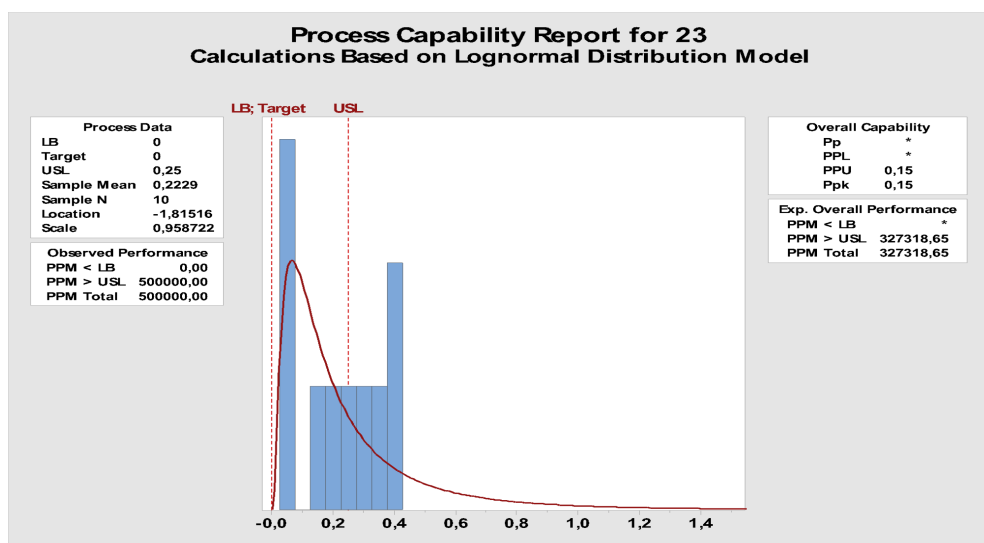
Log-normální rozdělení pro 20.znak - stehování



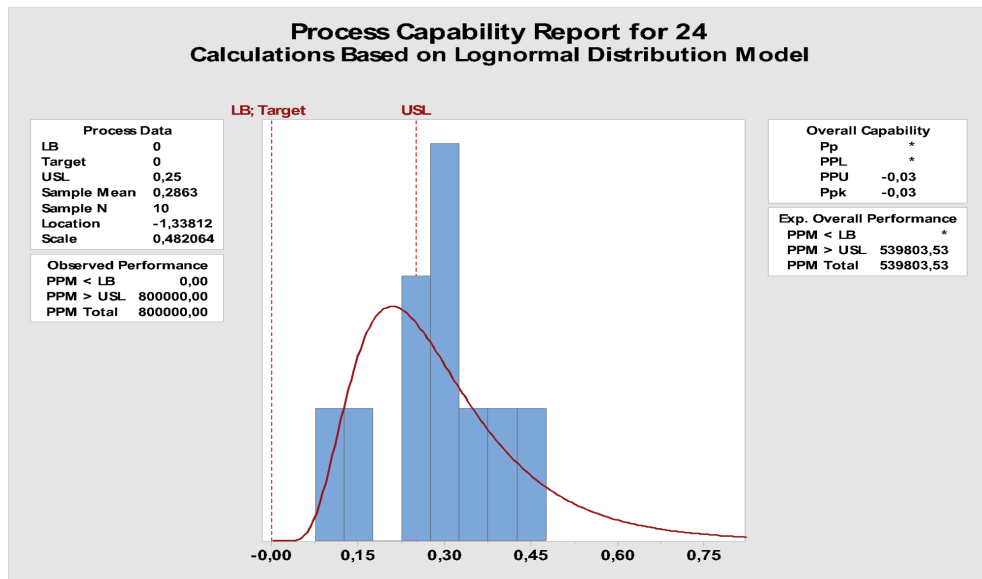
Log-normální rozdělení pro 21.znak - stehování



Log-normální rozdělení pro 22.znak - stehování

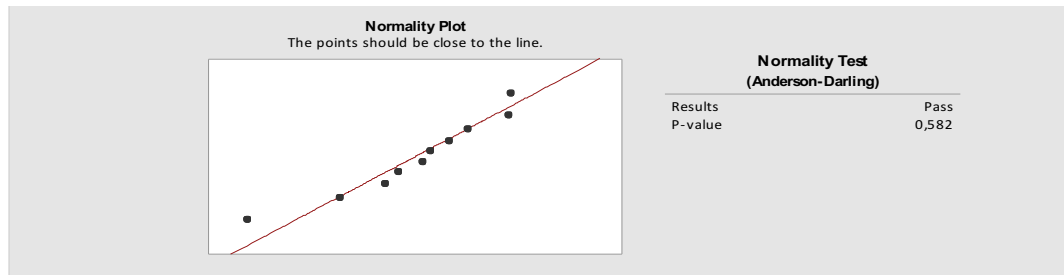


Log-normální rozdělení pro 23.znak - stehování

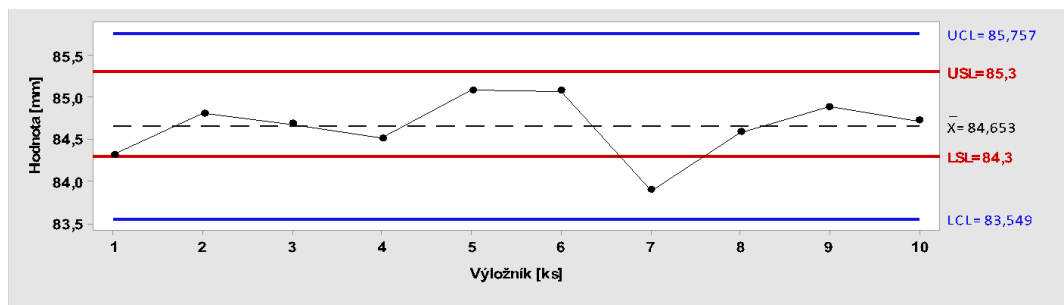


Log-normální rozdělení pro 24.znak – stehování

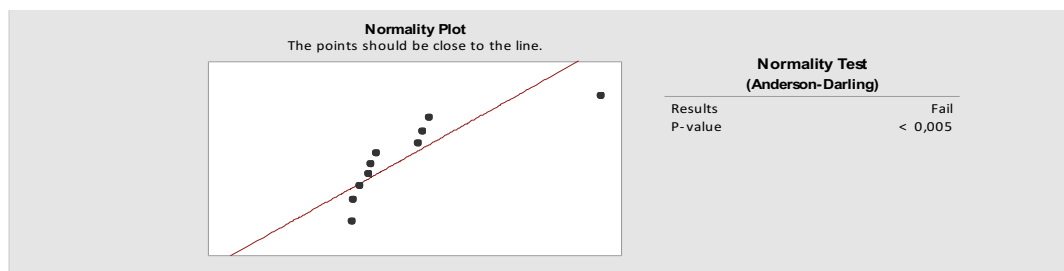
Příloha č. 3 – vyhodnocení délkových rozměrů po robotickém svařování



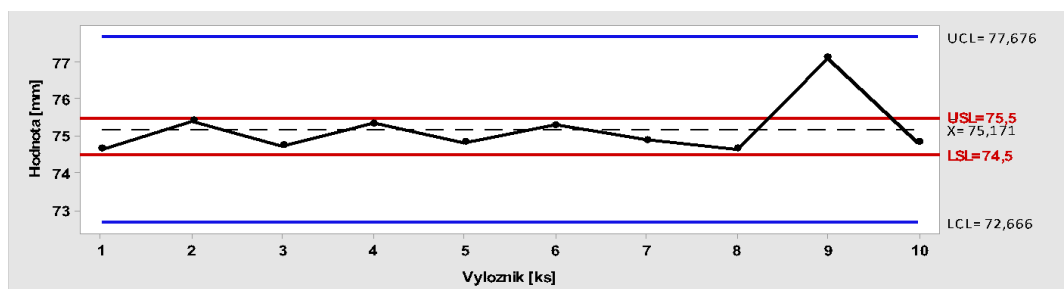
Test normality pro 1.znak – robot



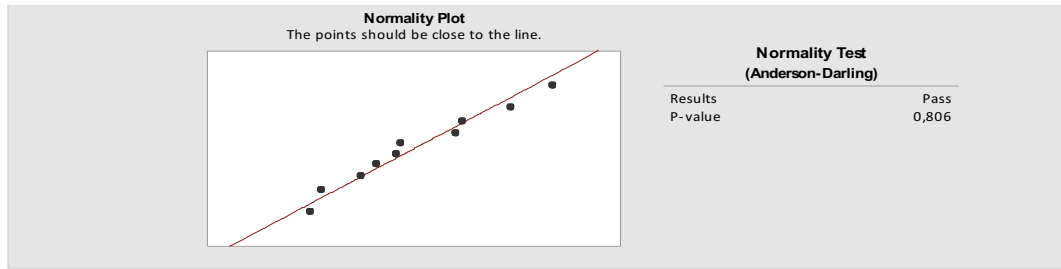
Regulační diagram pro 1. znak – robot



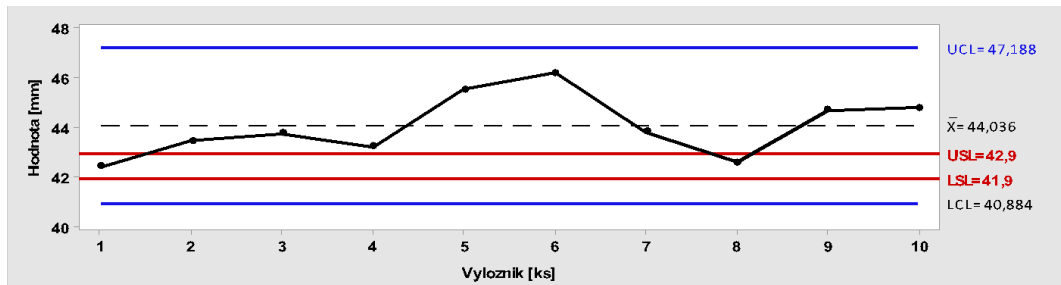
Test normality pro 2.znak – robot



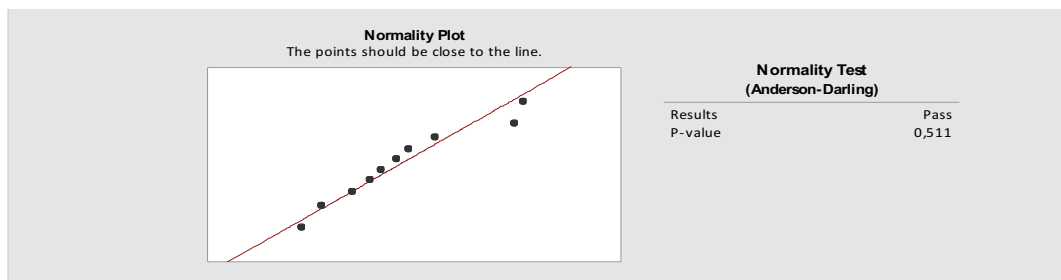
Regulační diagram pro 2. znak – robot



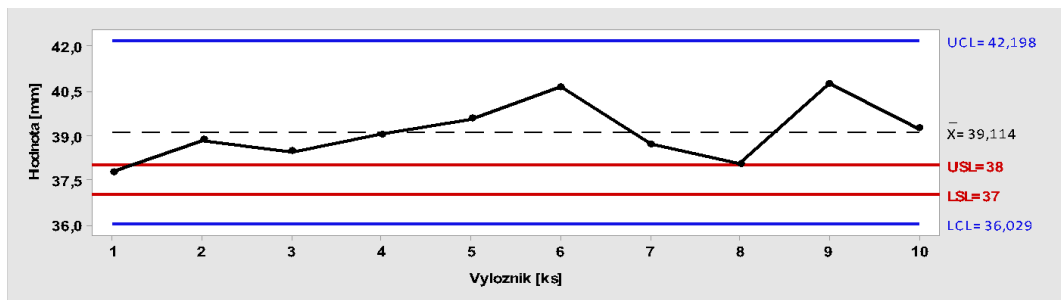
Test normality pro 3.znak – robot



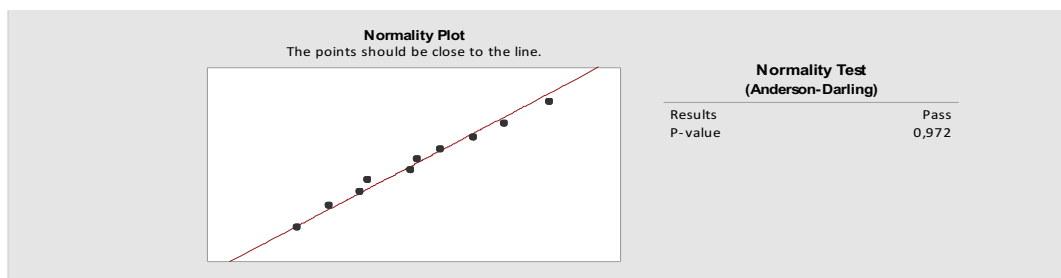
Regulační diagram pro 3. znak – robot



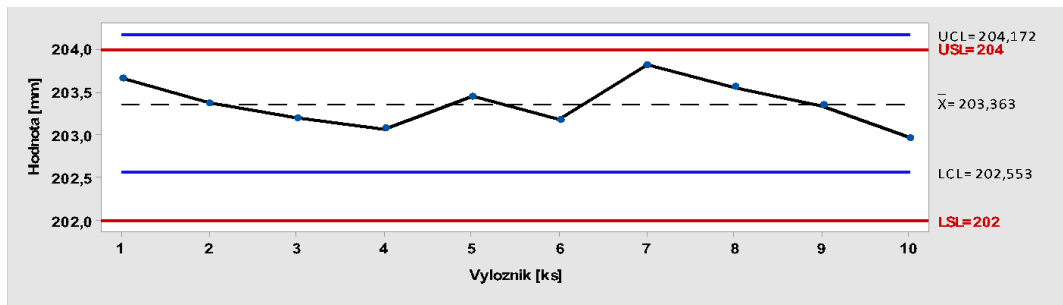
Test normality pro 4.znak – robot



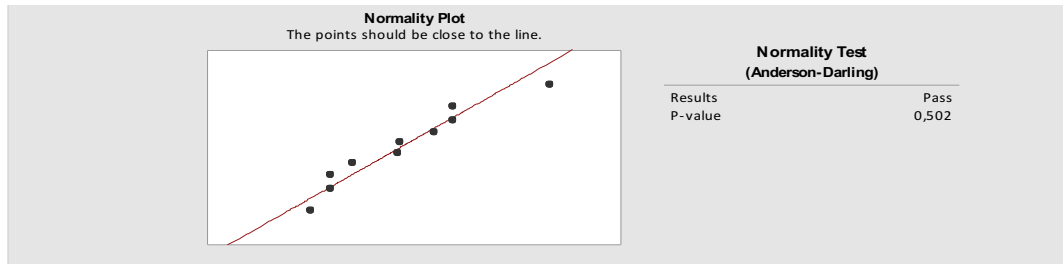
Regulační diagram pro 4. znak – robot



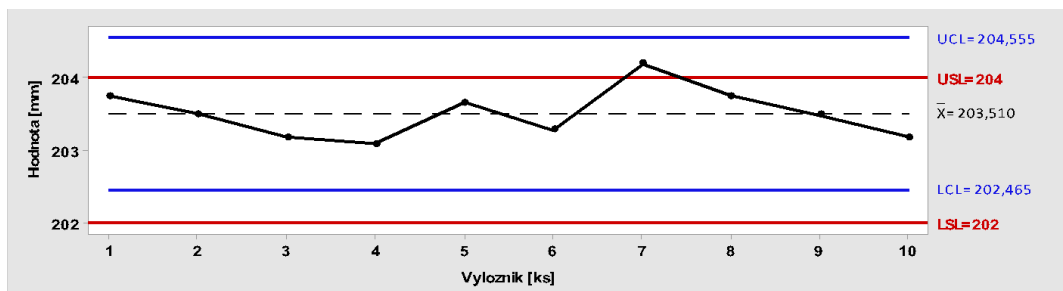
Test normality pro 5.znak – robot



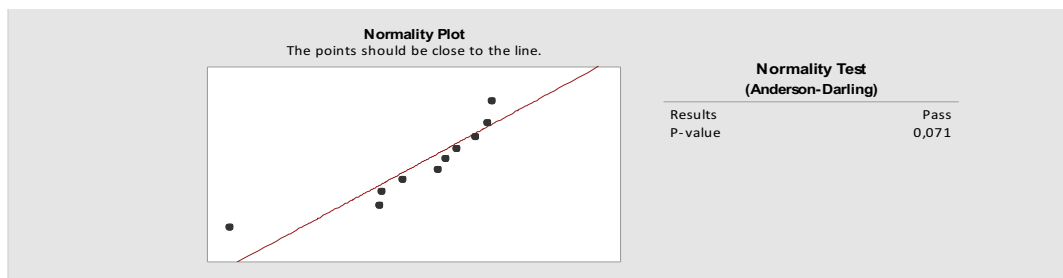
Regulační diagram pro 5. znak – robot



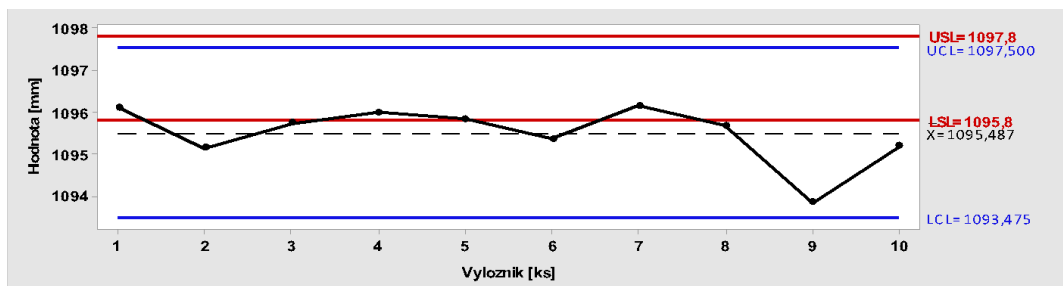
Test normality pro 6.znak – robot



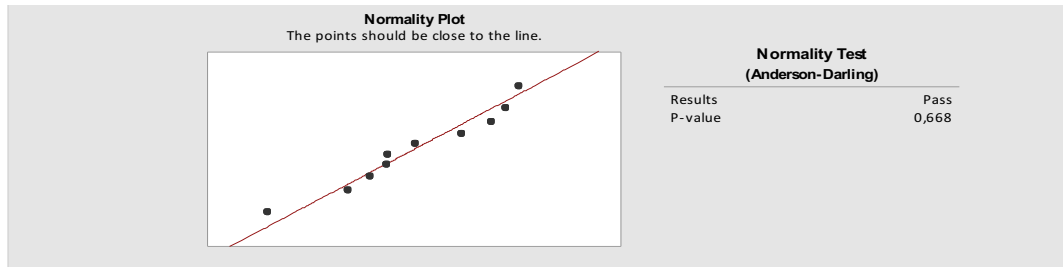
Regulační diagram pro 6. znak – robot



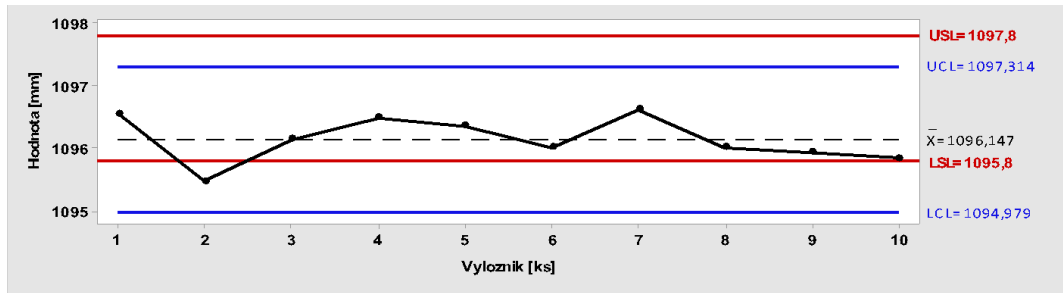
Test normality pro 7.znak – robot



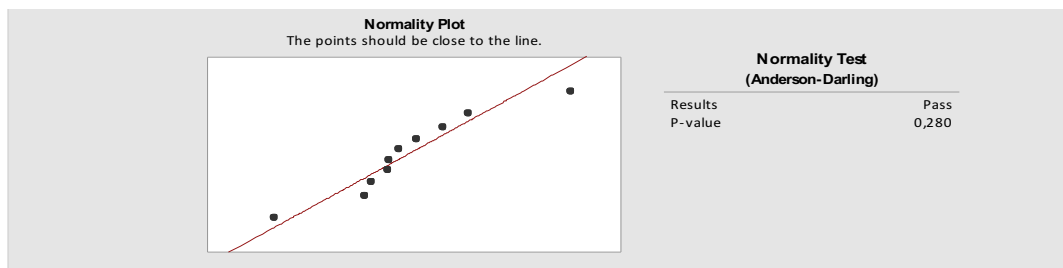
Regulační diagram pro 7. znak - robot



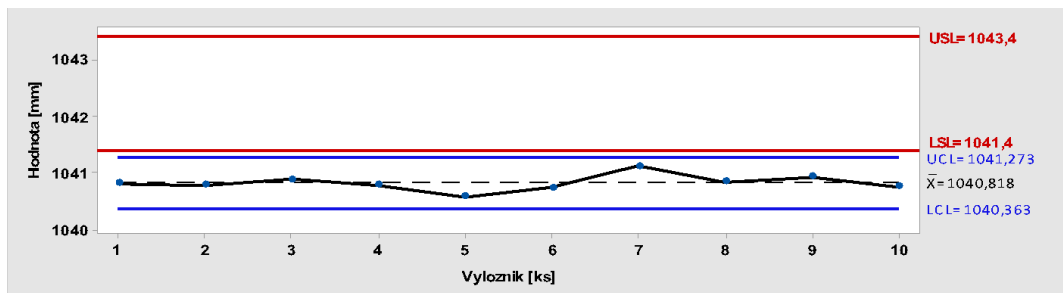
Test normality pro 8.znak – robot



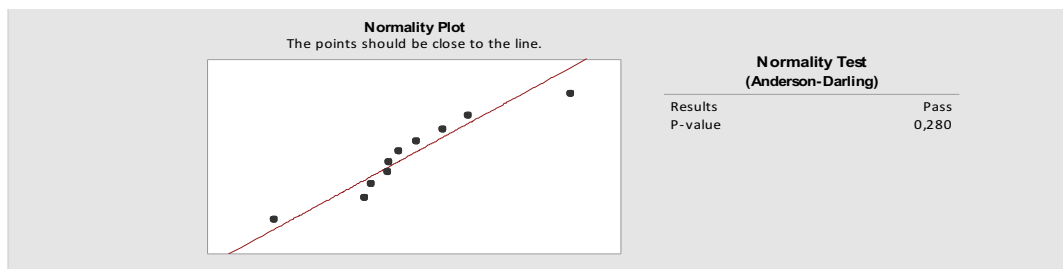
Regulační diagram pro 8. znak – robot



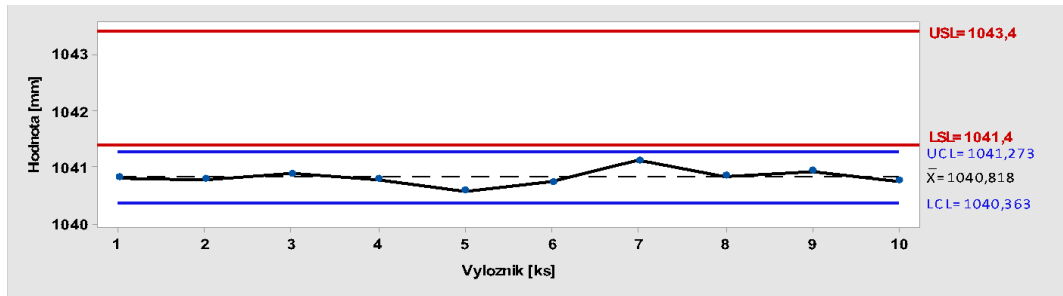
Test normality pro 9.znak – robot



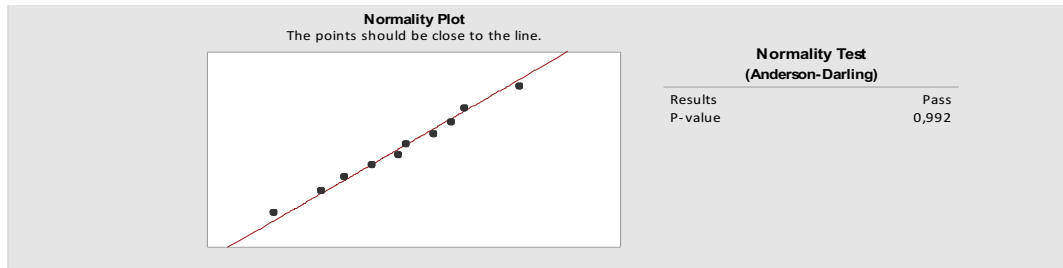
Regulační diagram pro 9. znak – robot



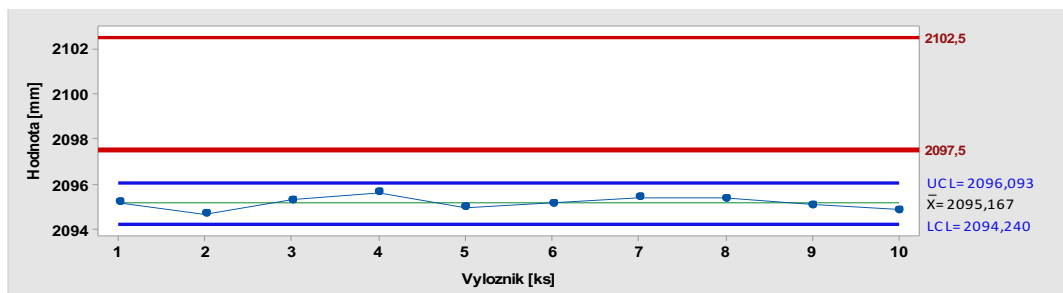
Test normality pro 10.znak – robot



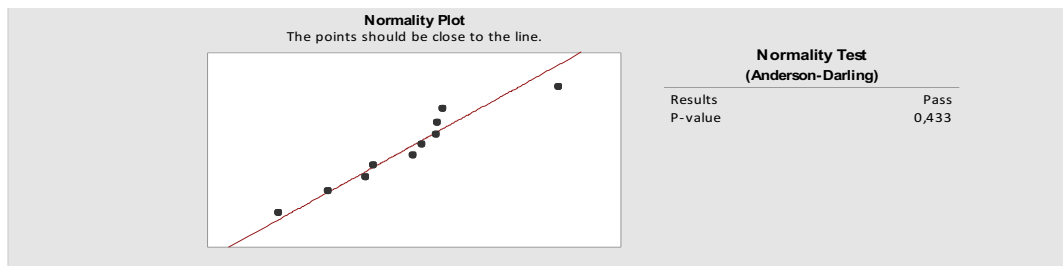
Regulační diagram pro 10. znak – robot



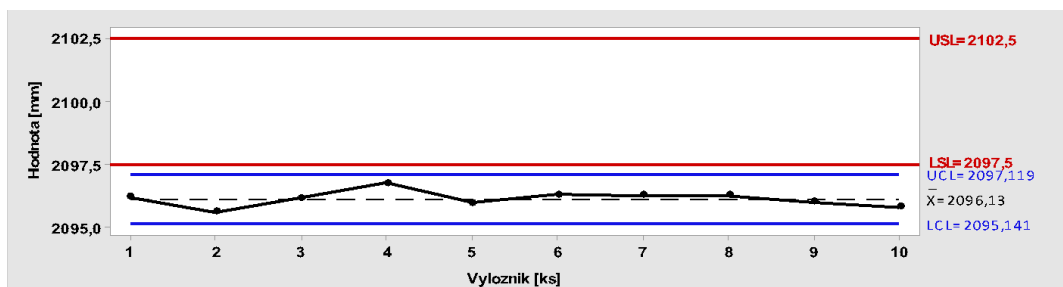
Test normality pro 11.znak – robot



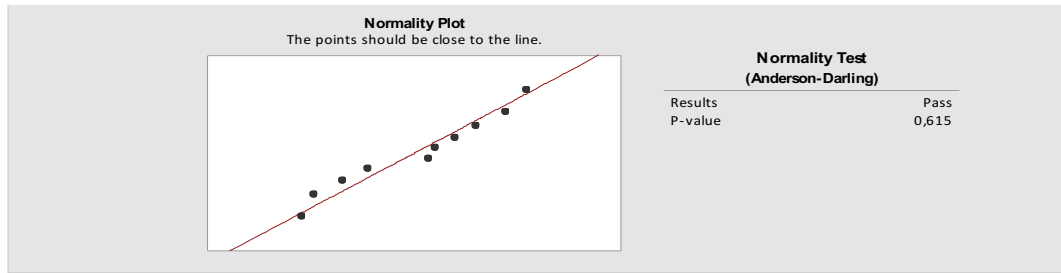
Regulační diagram pro 11. znak – robot



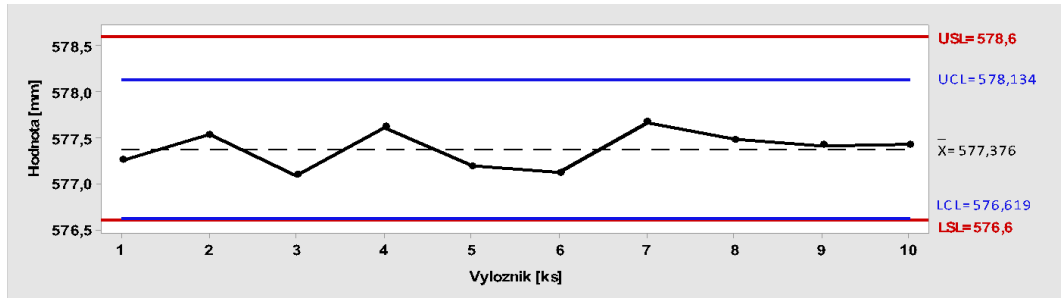
Test normality pro 12.znak – robot



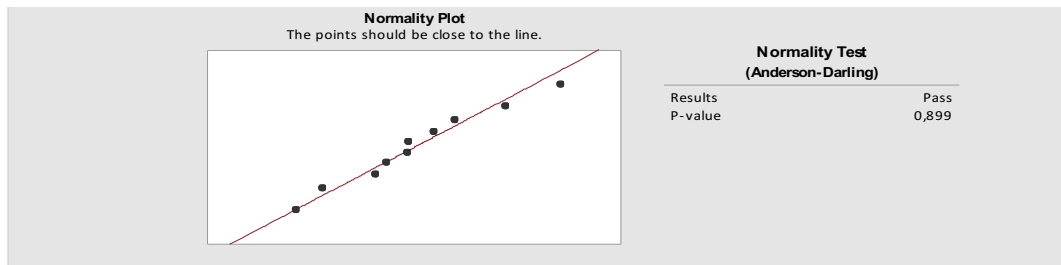
Regulační diagram pro 12. znak - robot



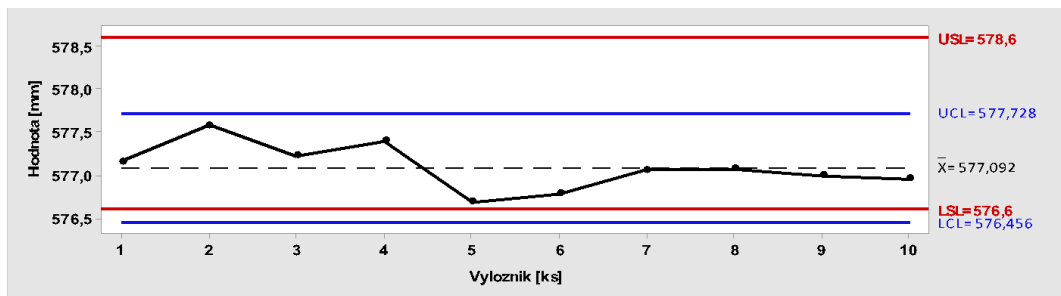
Test normality pro 13.znak – robot



Regulační diagram pro 13. znak – robot

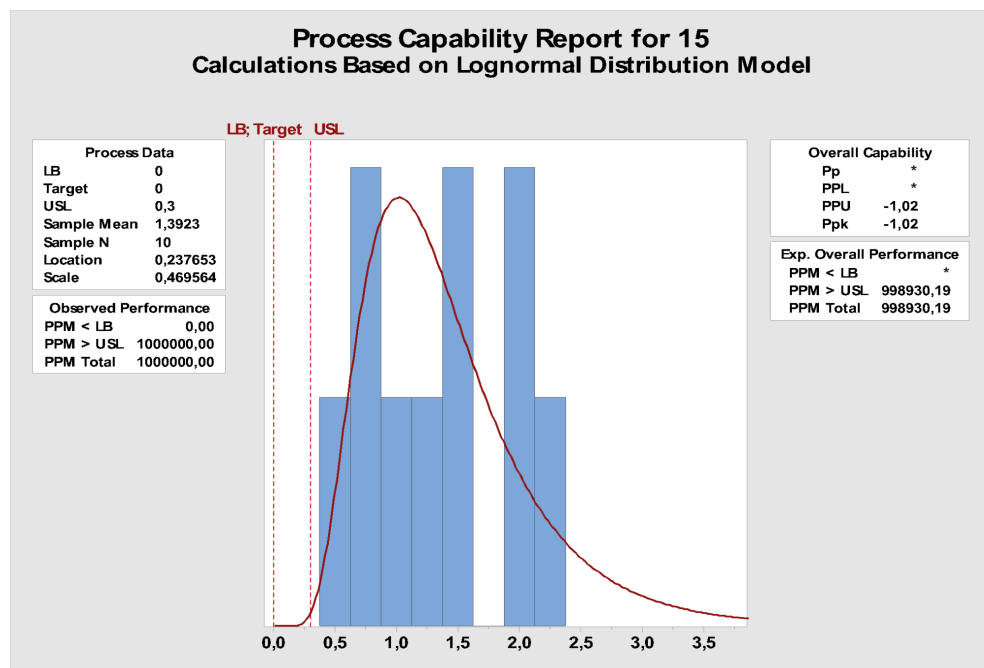


Test normality pro 14.znak – robot

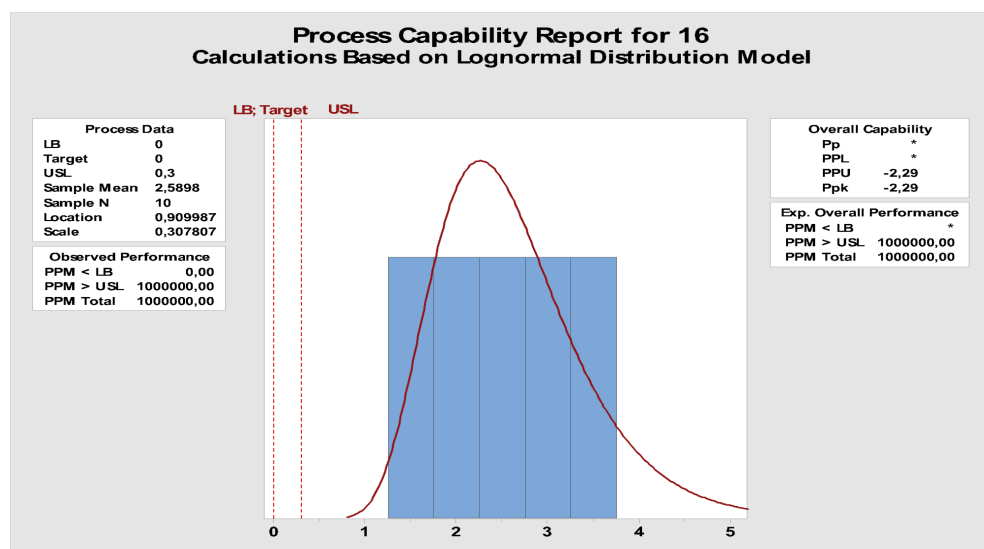


Regulační diagram pro 14. znak - robot

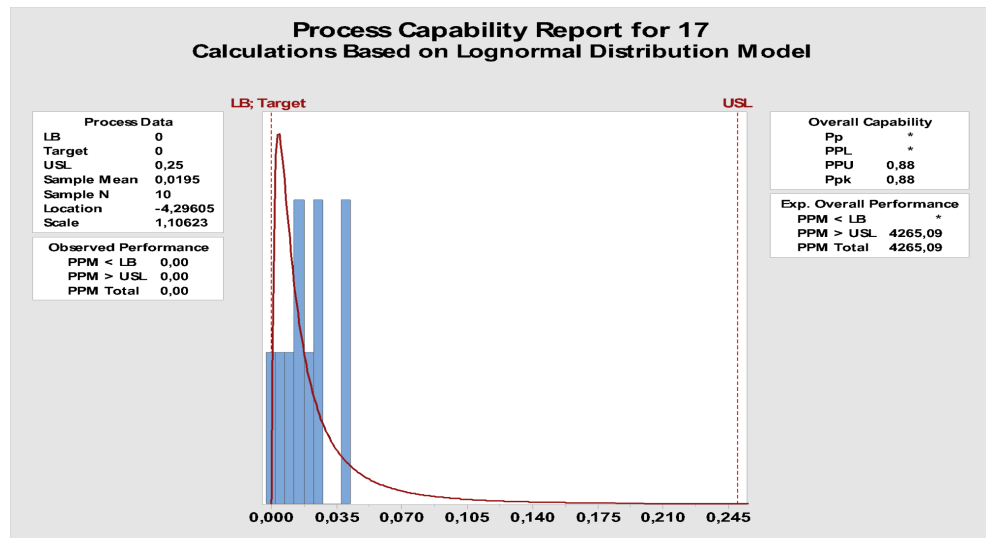
Příloha č. 4 – vyhodnocení geometrických tolerancí po robotickém svařování



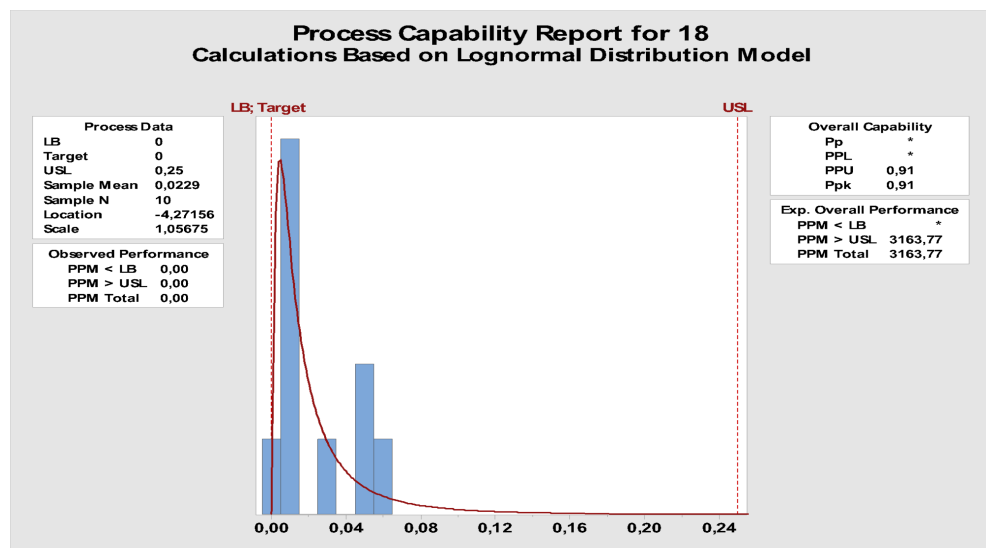
Log-normální rozdělení pro 15.znak - robot



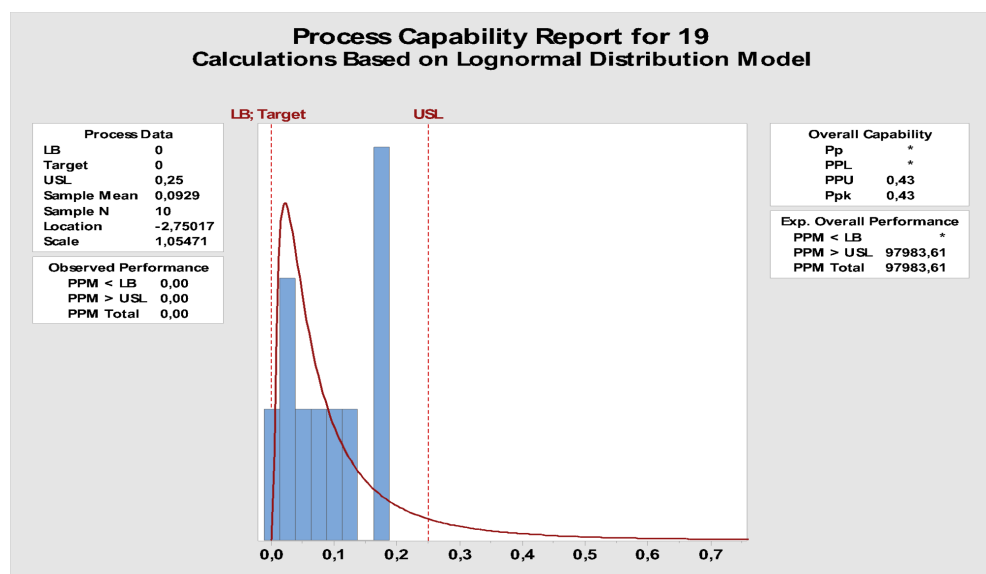
Log-normální rozdělení pro 16.znak - robot



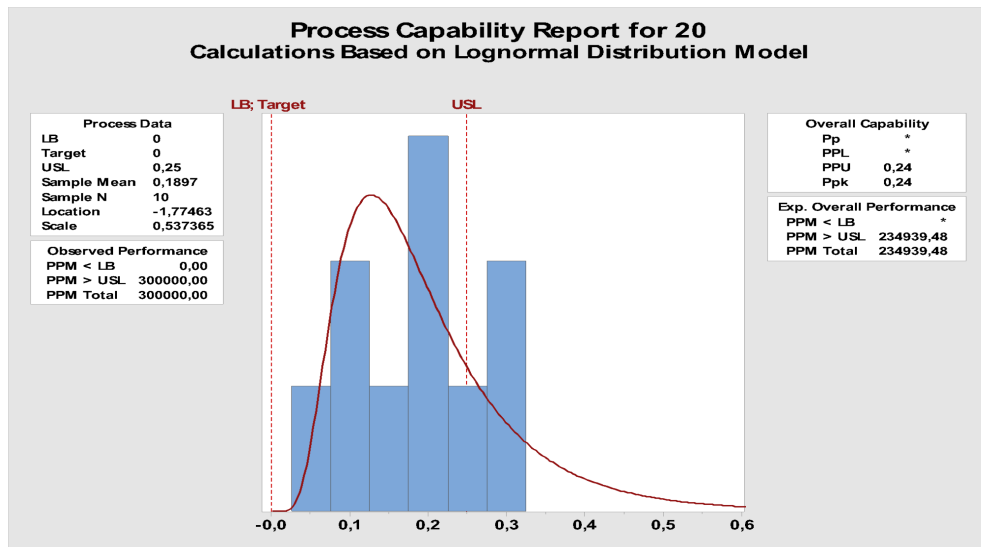
Log-normální rozdělení pro 17.znak - robot



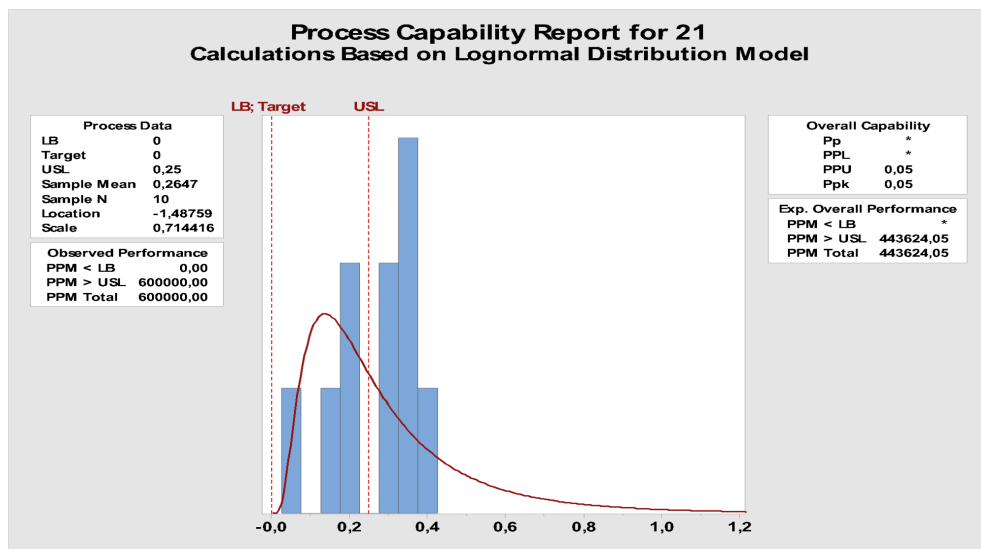
Log-normální rozdělení pro 18.znak - robot



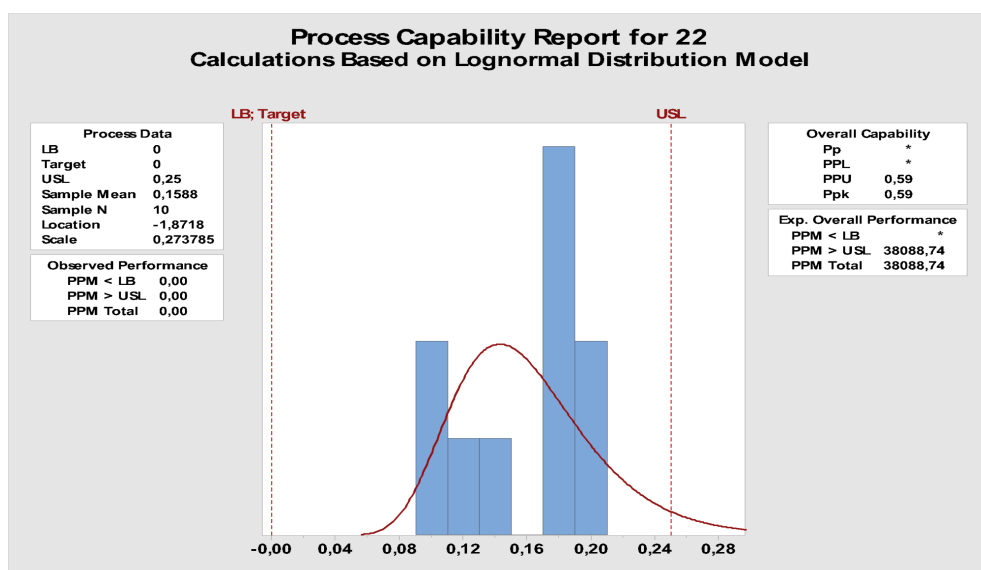
Log-normální rozdělení pro 19.znak - robot



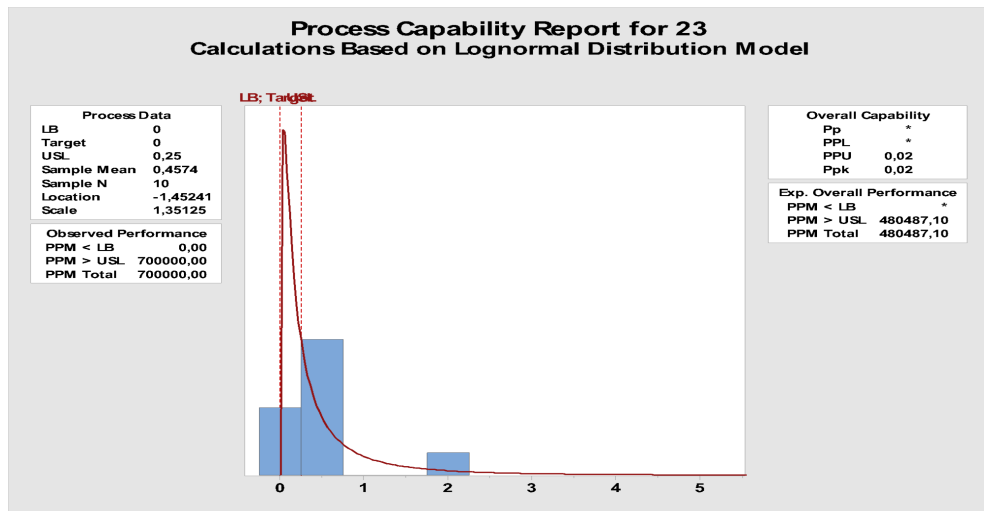
Log-normální rozdělení pro 20.znak - robot



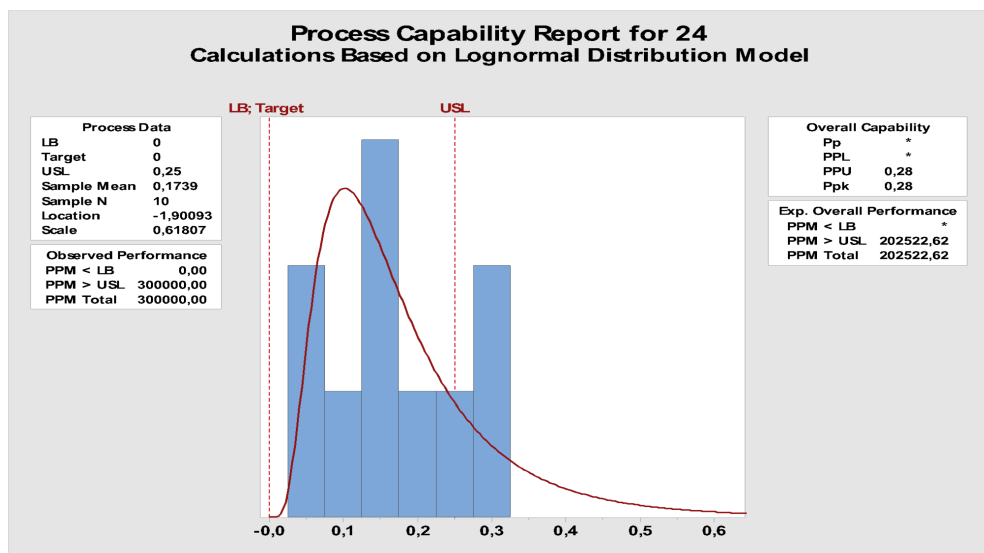
Log-normální rozdělení pro 21.znak - robot



Log-normální rozdělení pro 22.znak - robot

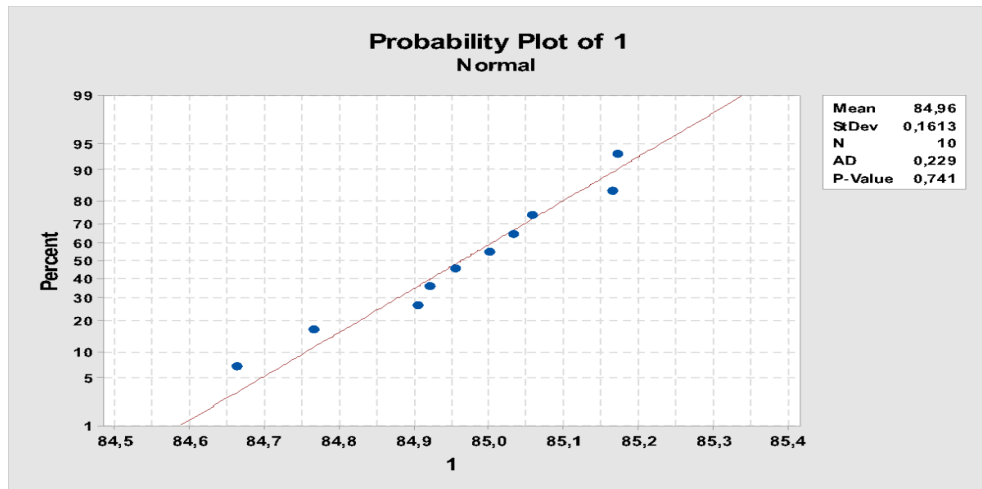


Log-normální rozdělení pro 23.znak - robot

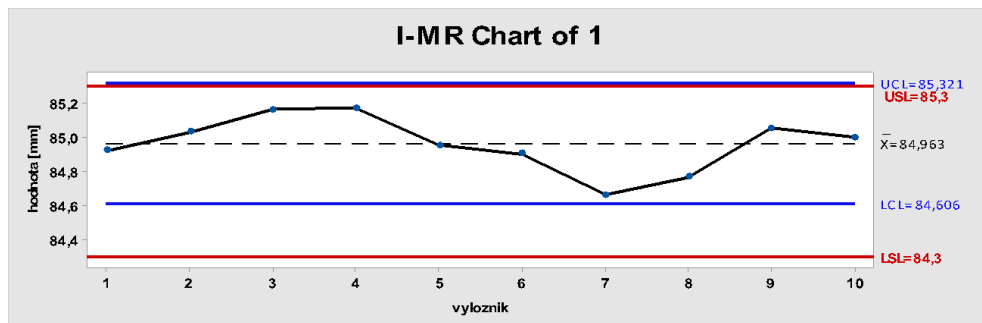


Log-normální rozdělení pro 24.znak – robot

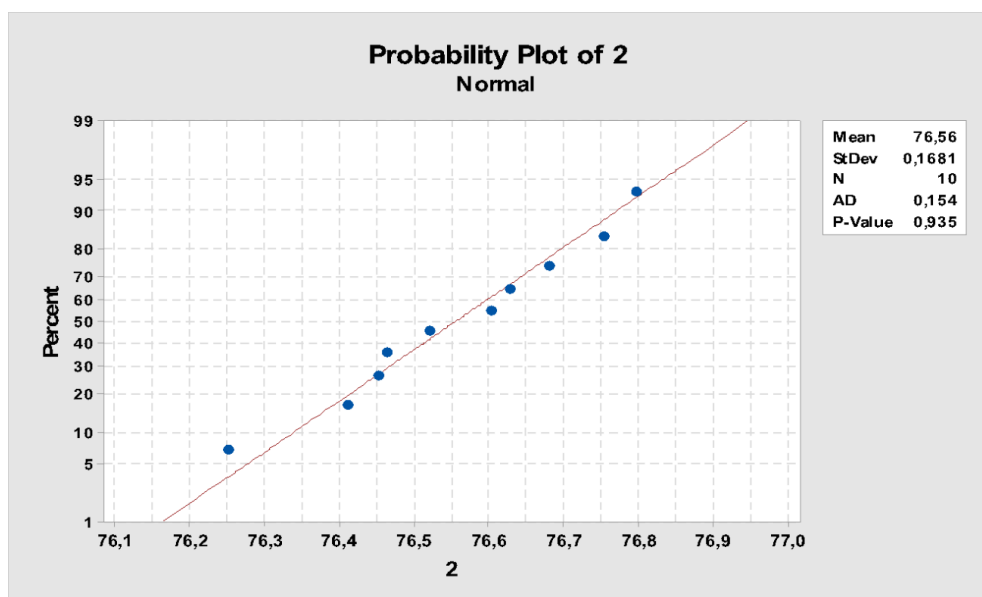
Příloha č. 5 – vyhodnocení délkových rozměrů po dokončovacím svařování



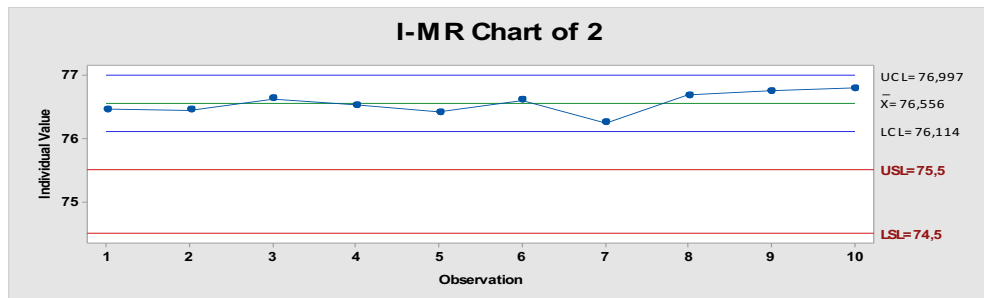
Test normality pro 1.znak – finální svařování



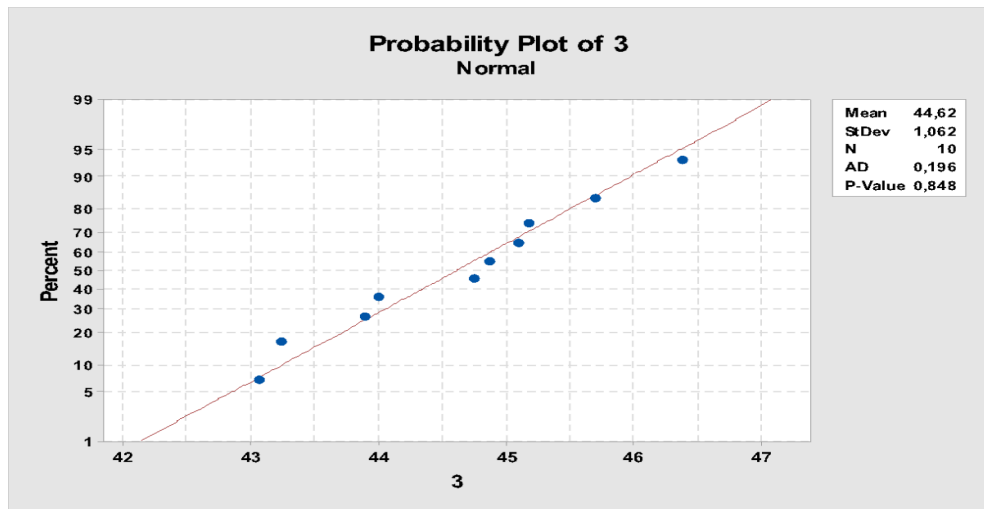
Regulační diagram pro 1. znak – finální



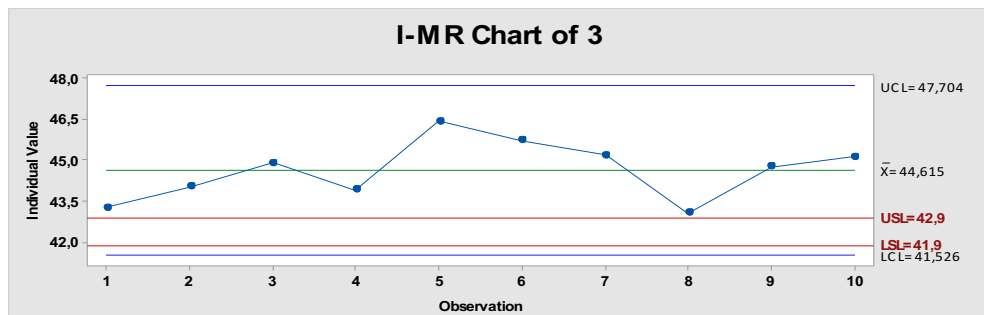
Test normality pro 2.znak – finální svařování



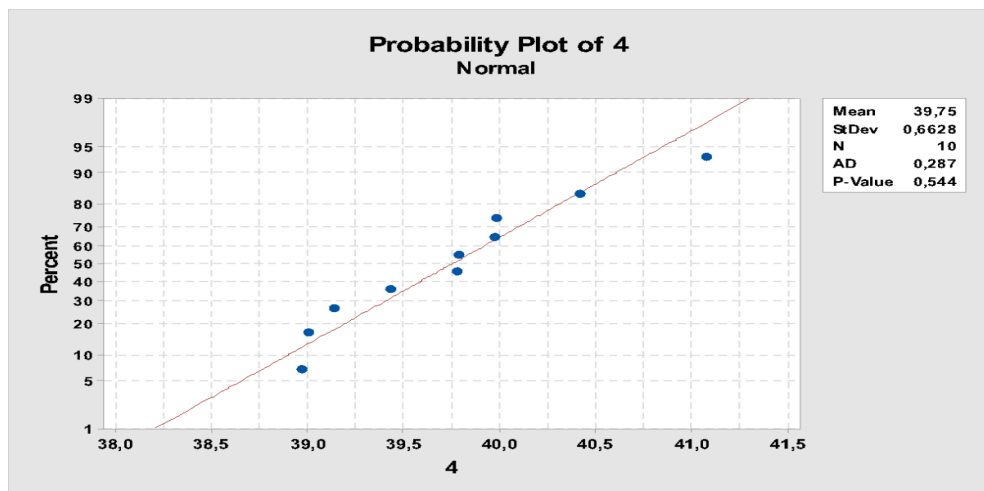
Regulační diagram pro 2. znak – finální



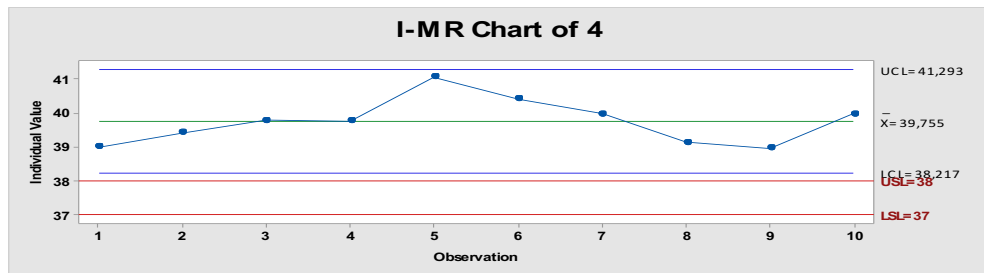
Test normality pro 3.znak – finální svařování



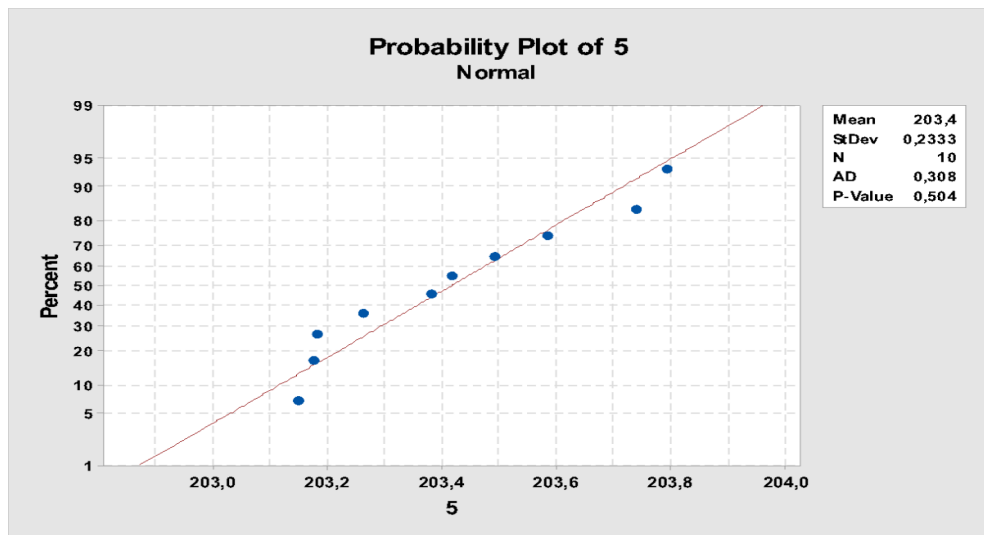
Regulační diagram pro 3. znak – finální svařování



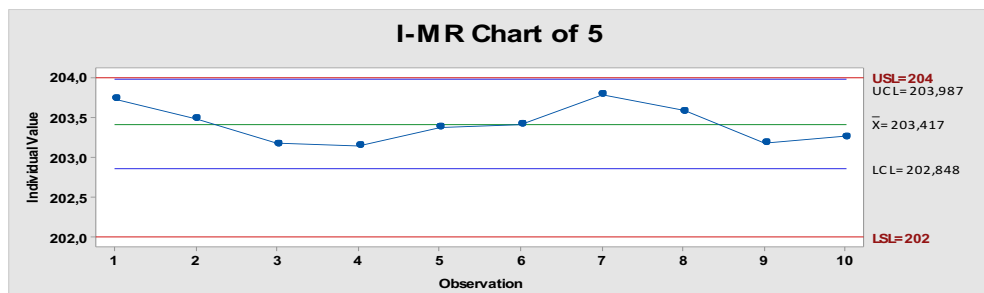
Test normality pro 4.znak – finální svařování



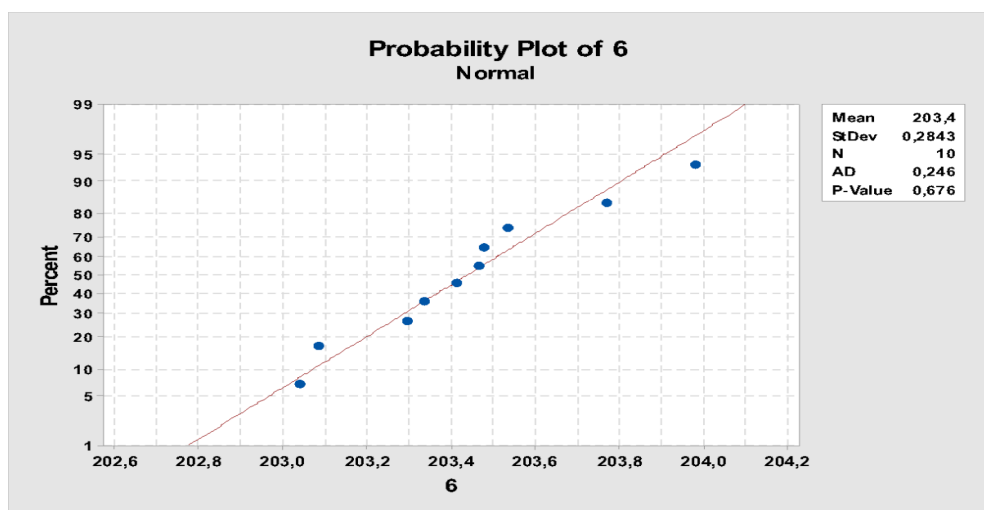
Regulační diagram pro 4. znak – finální svařování



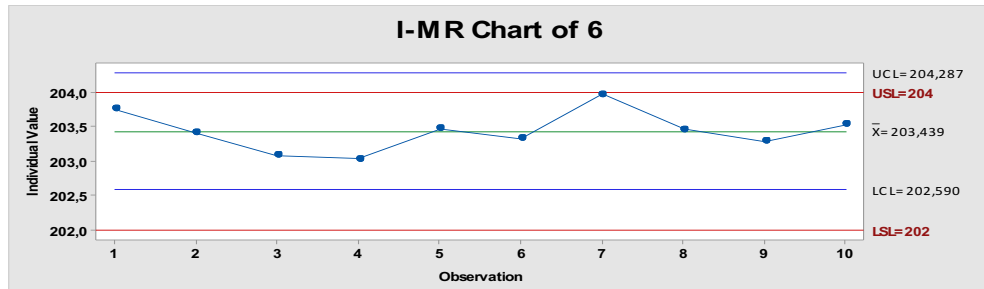
Test normality pro 5.znak – finální svařování



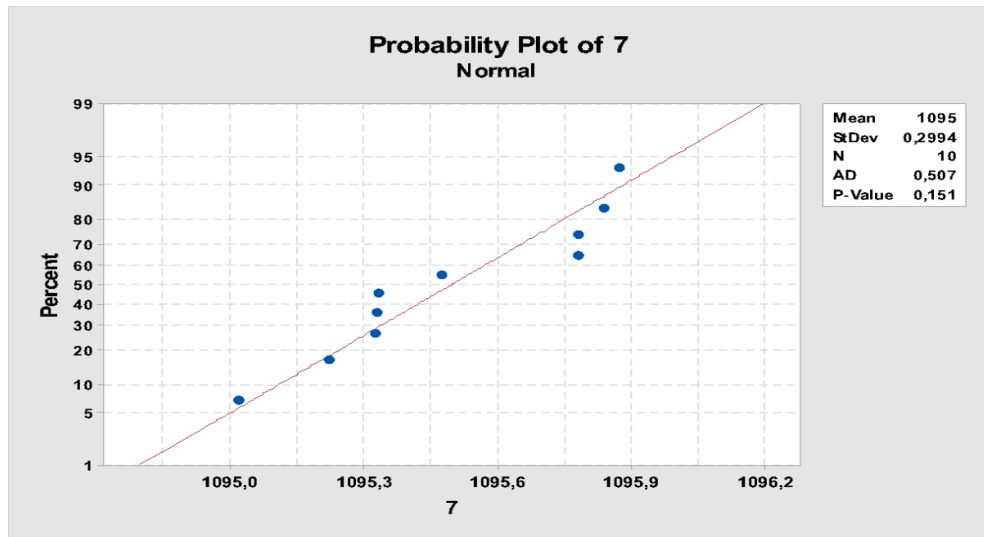
Regulační diagram pro 5. znak – finální svařování



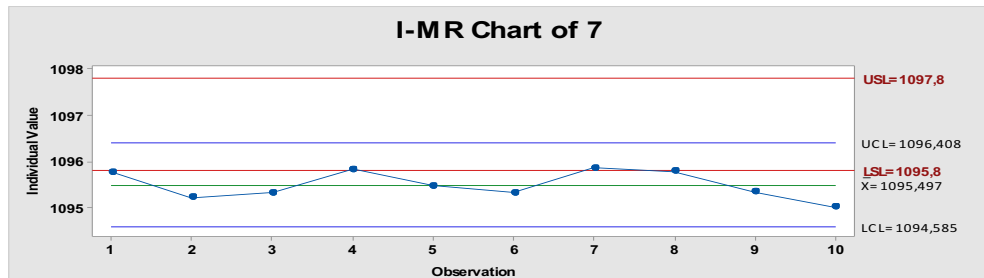
Test normality pro 6.znak – finální svařování



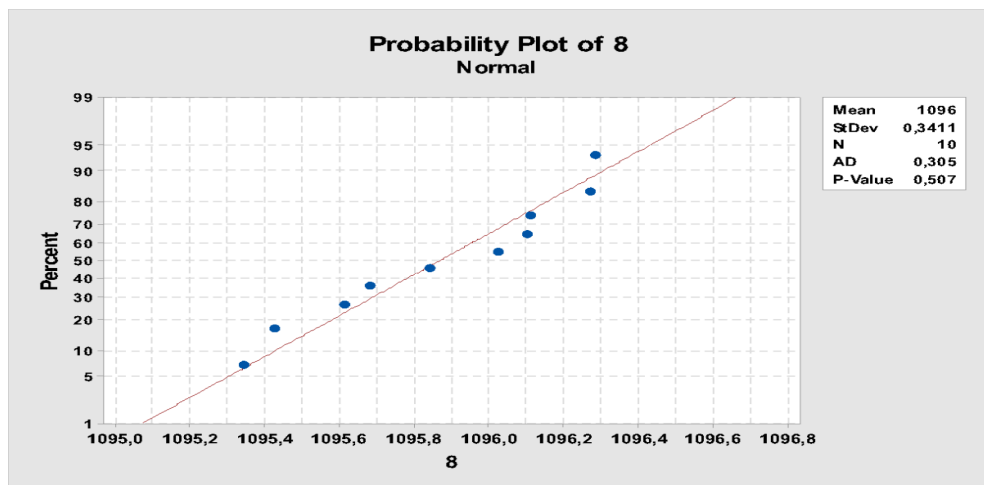
Regulační diagram pro 6. znak – finální svařování



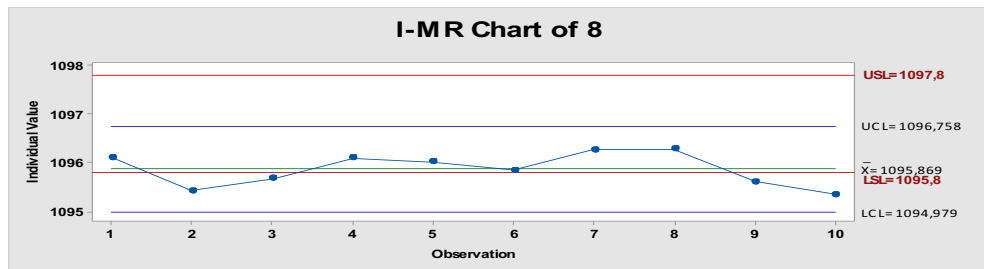
Test normality pro 7.znak – finální svařování



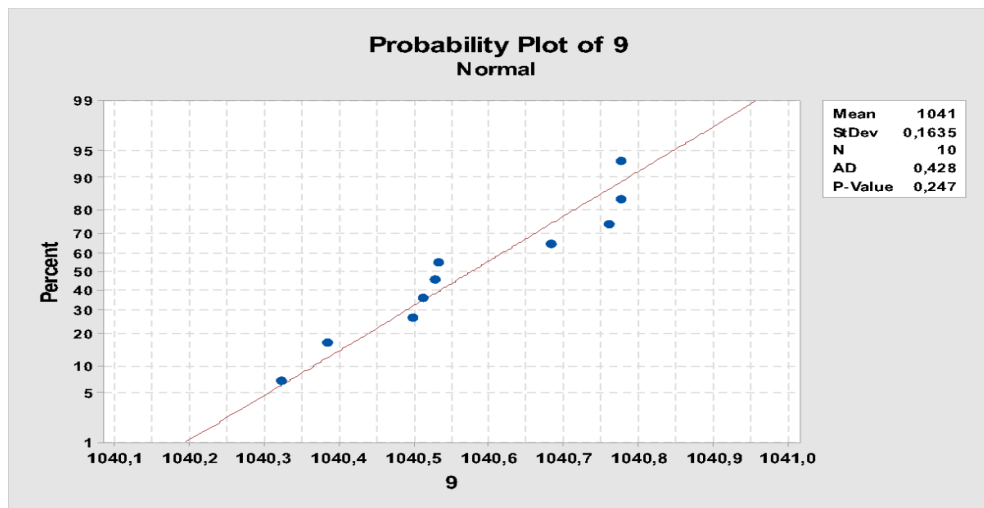
Regulační diagram pro 7. znak – finální svařování



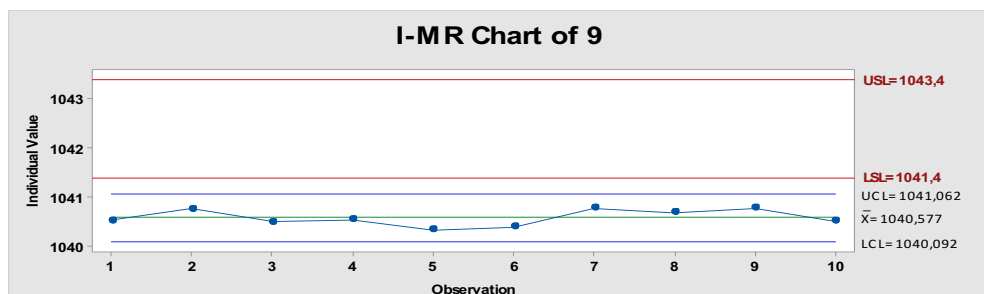
Test normality pro 8.znak – finální svařování



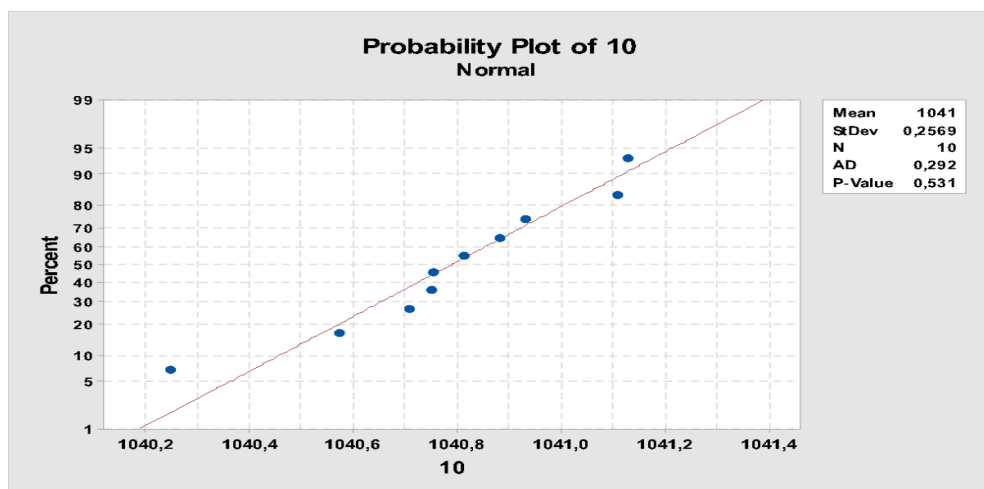
Regulační diagram pro 8. znak – finální svařování



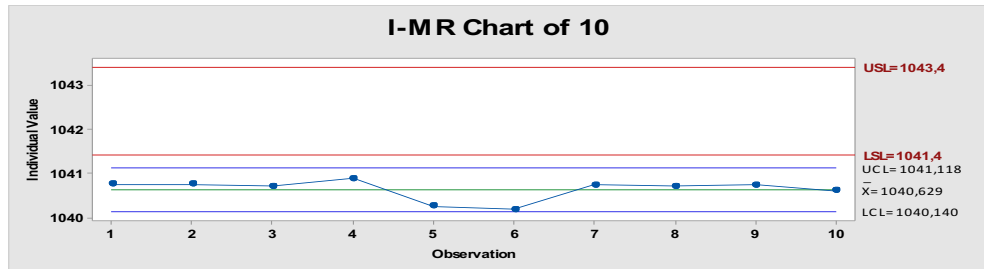
Test normality pro 9.znak – finální svařování



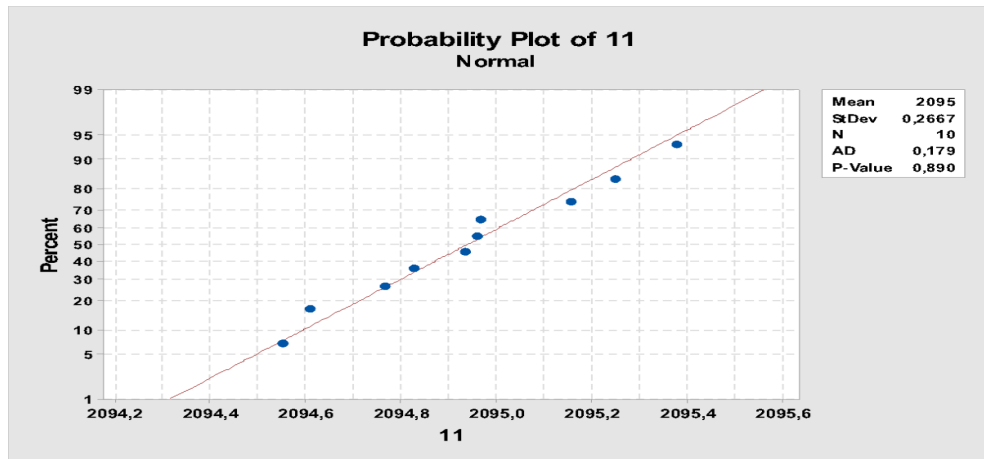
Regulační diagram pro 9. znak – finální svařování



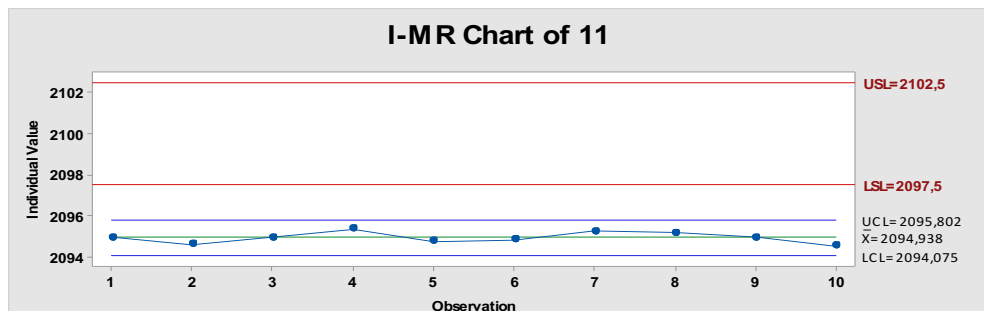
Test normality pro 10.znak – finální svařování



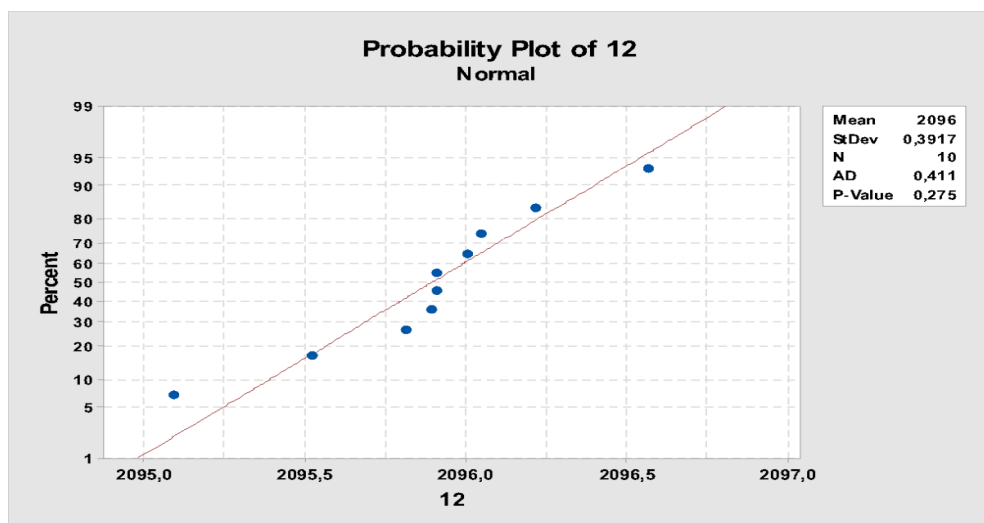
Regulační diagram pro 10. znak – finální svařování



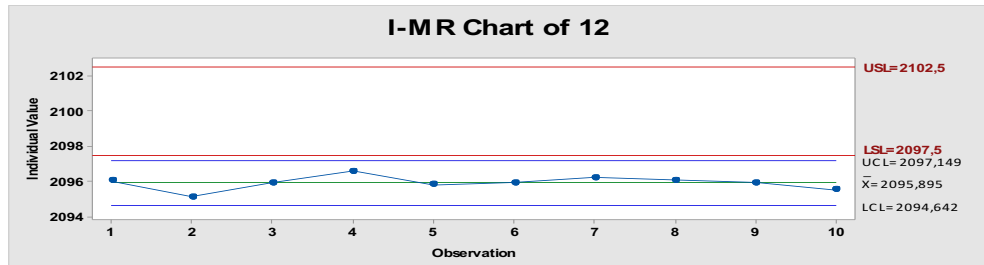
Test normality pro 11.znak – finální svařování



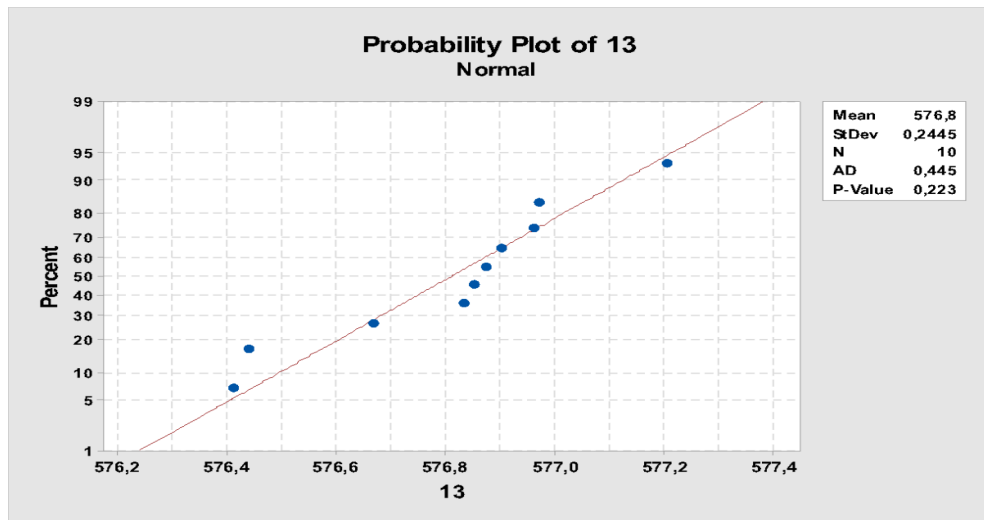
Regulační diagram pro 11. znak – finální svařování



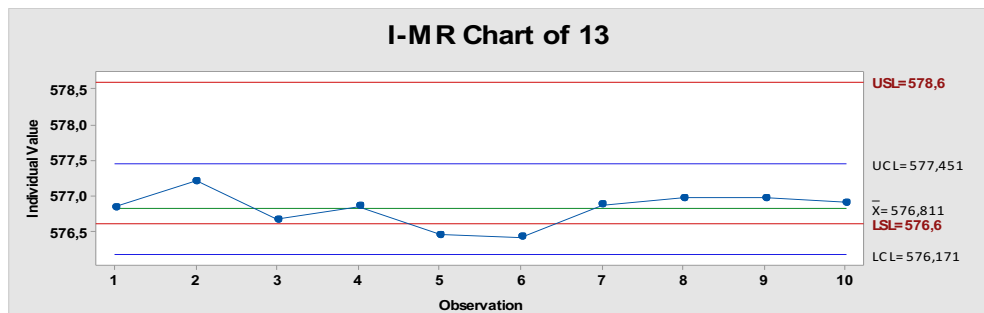
Test normality pro 12.znak – finální svařování



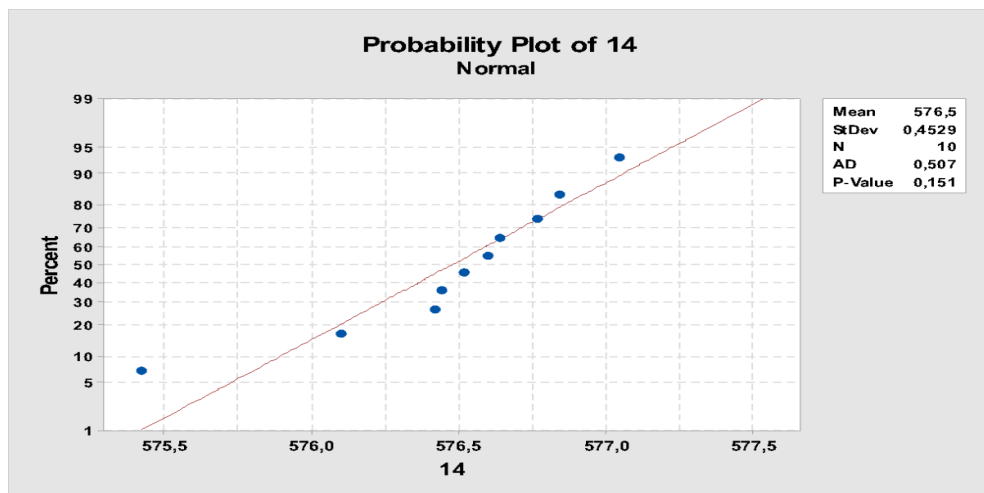
Regulační diagram pro 12. znak – finální svařování



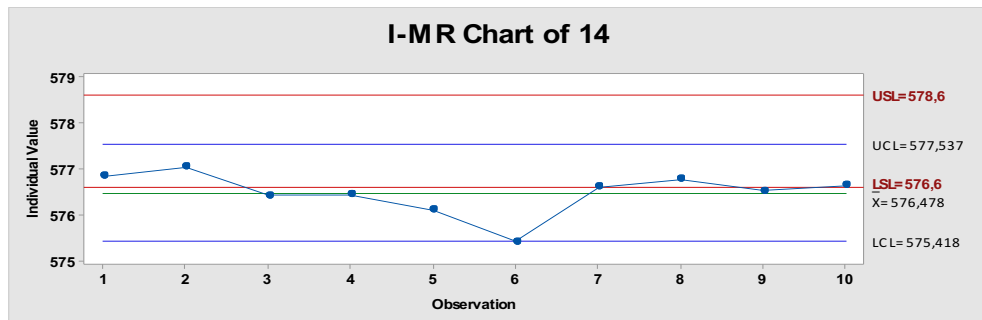
Test normality pro 13.znak – finální svařování



Regulační diagram pro 13. znak – finální svařování

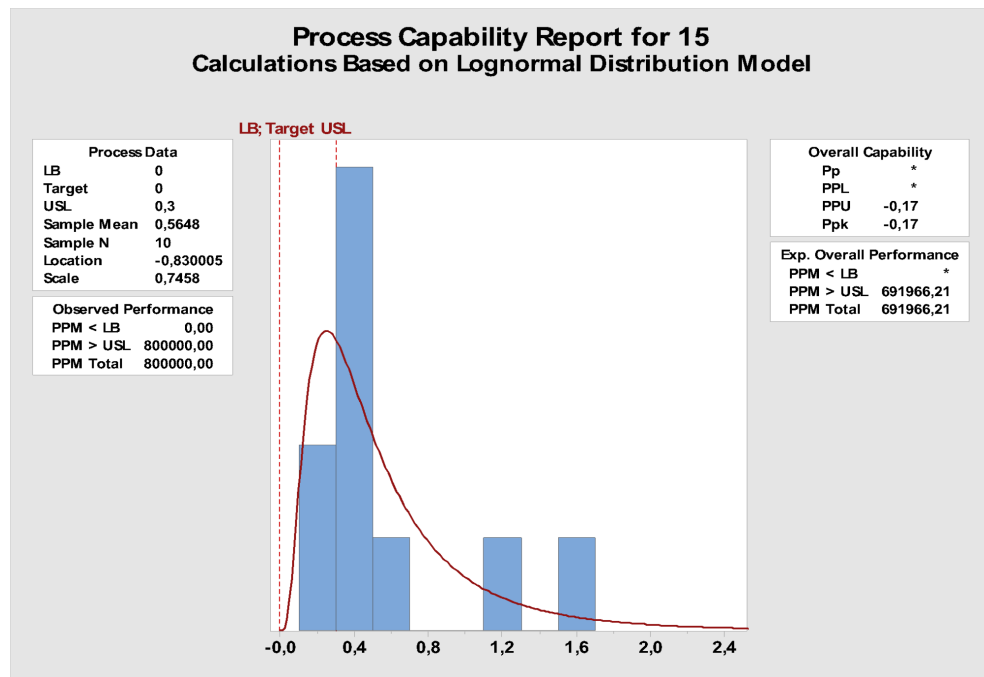


Test normality pro 14.znak – finální svařování

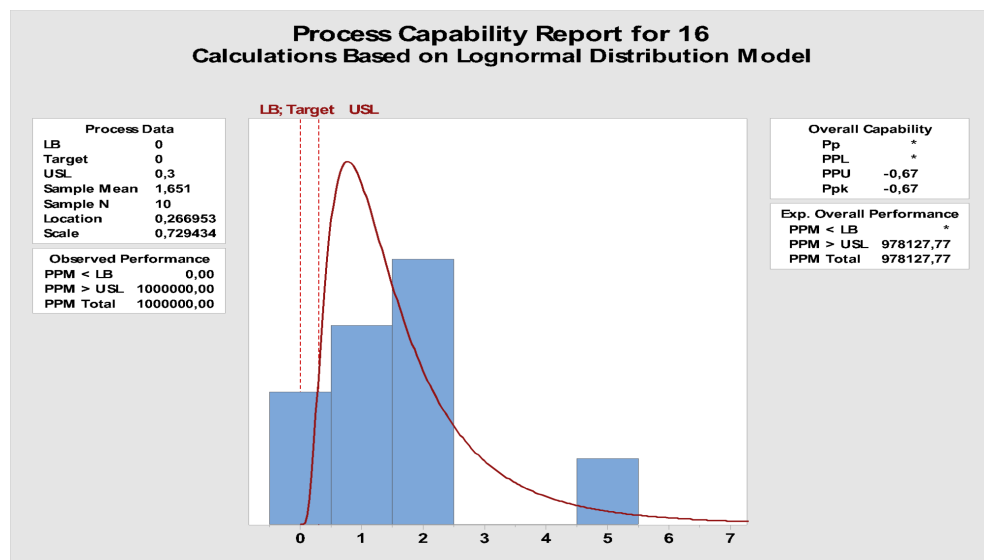


Regulační diagram pro 14. znak – finální svařování

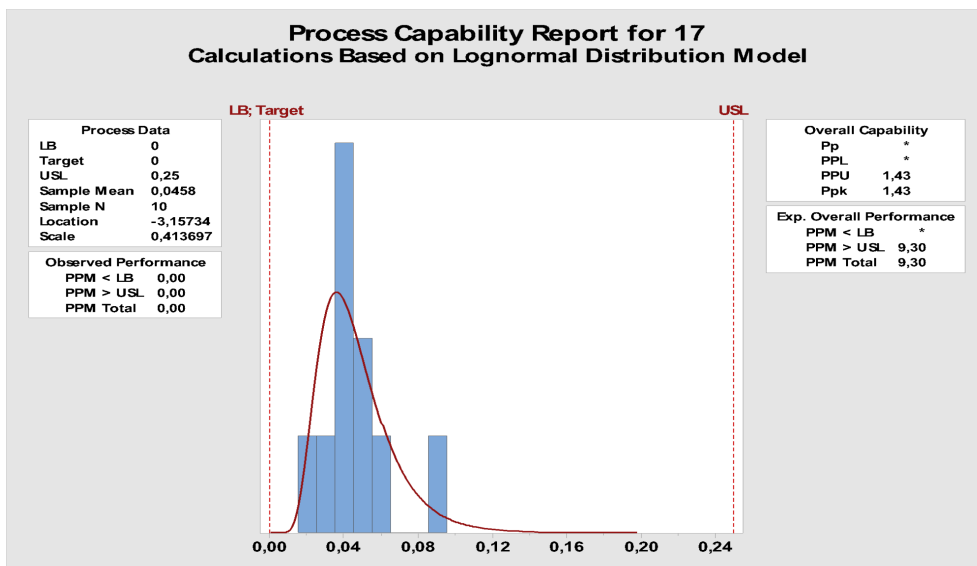
Příloha č. 6 – vyhodnocení geom. tolerancí po finálním svařování



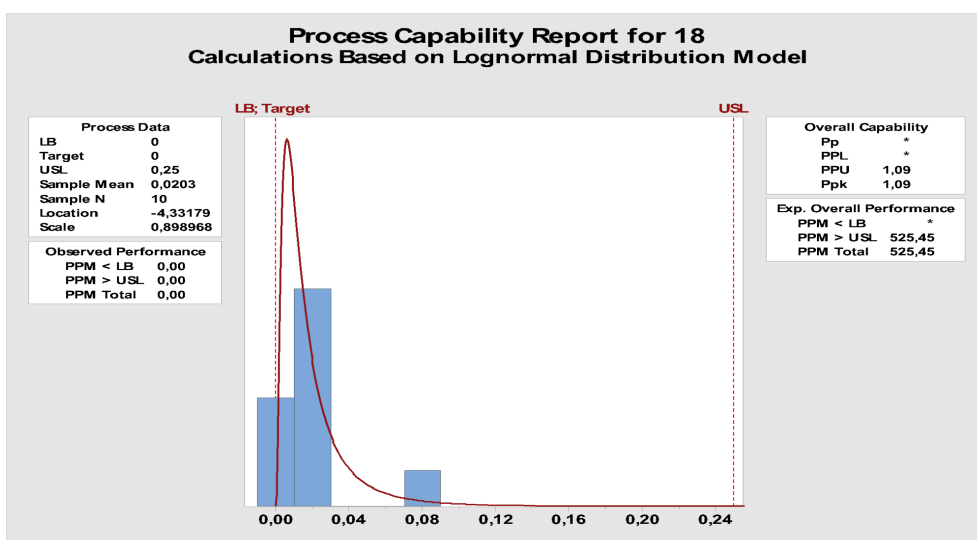
Log-normální rozdělení pro 15.znak – finálním svařování



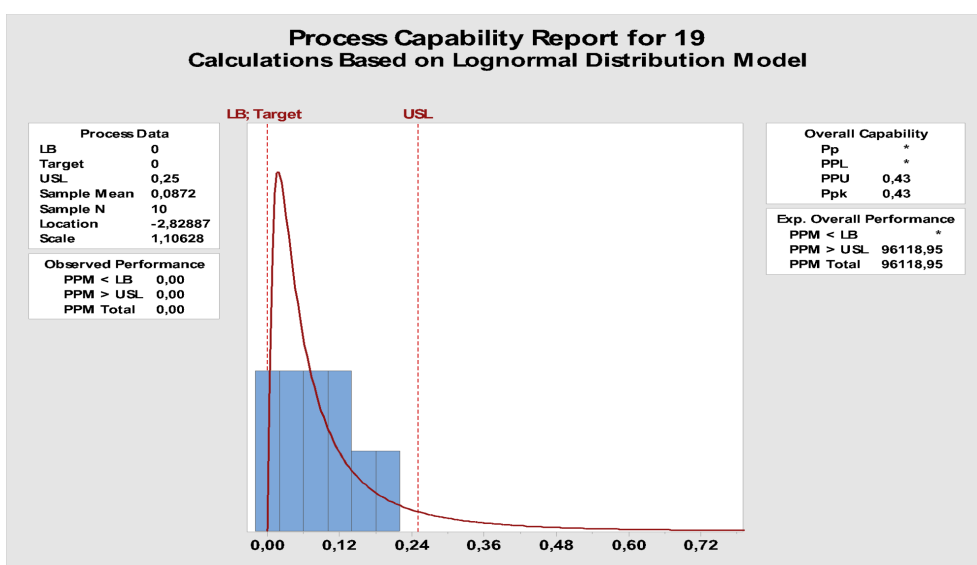
Log-normální rozdělení pro 16.znak – finálním svařování



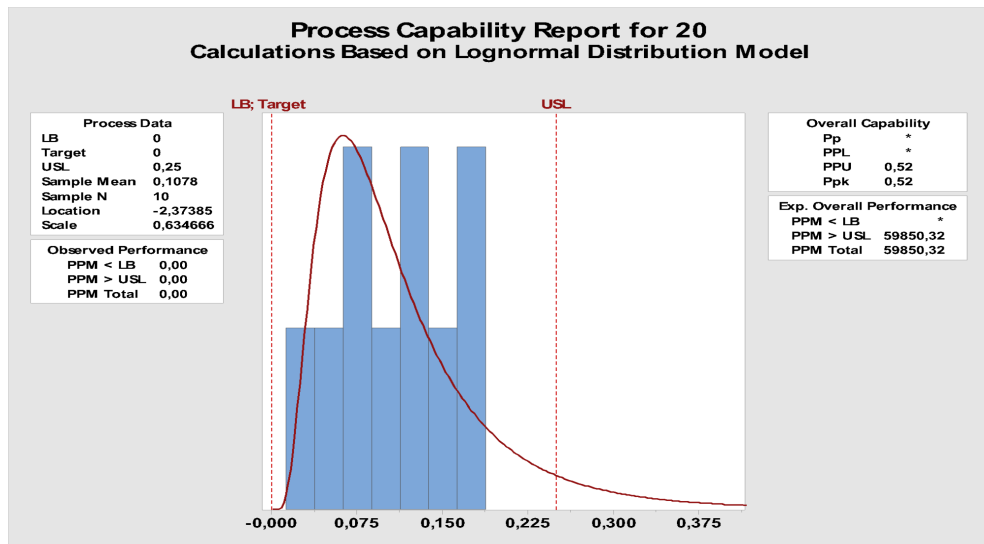
Log-normální rozdělení pro 17.znak – finálním svařování



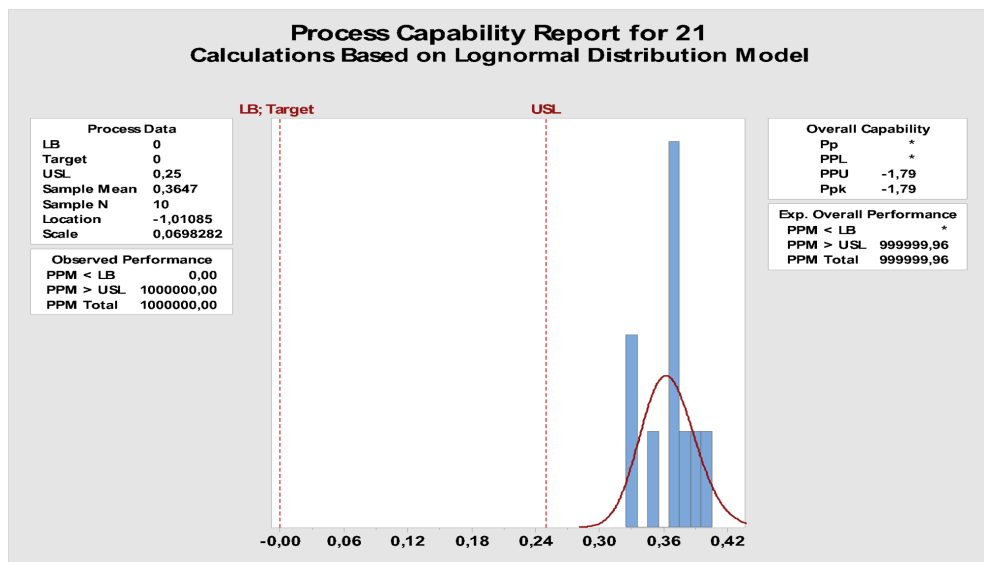
Log-normální rozdělení pro 18.znak – finálním svařování



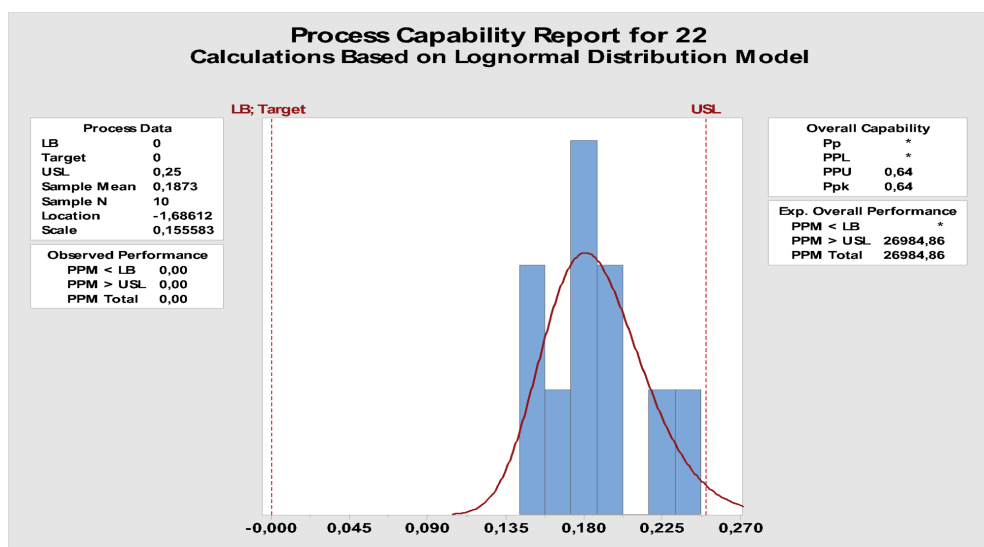
Log-normální rozdělení pro 19.znak – finálním svařování



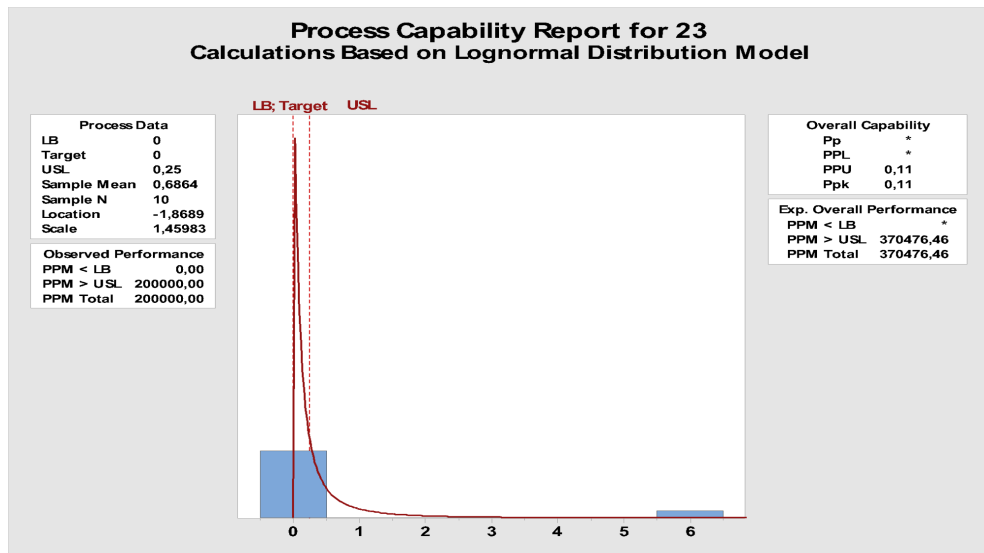
Log-normální rozdění pro 20.znak – finálním svařování



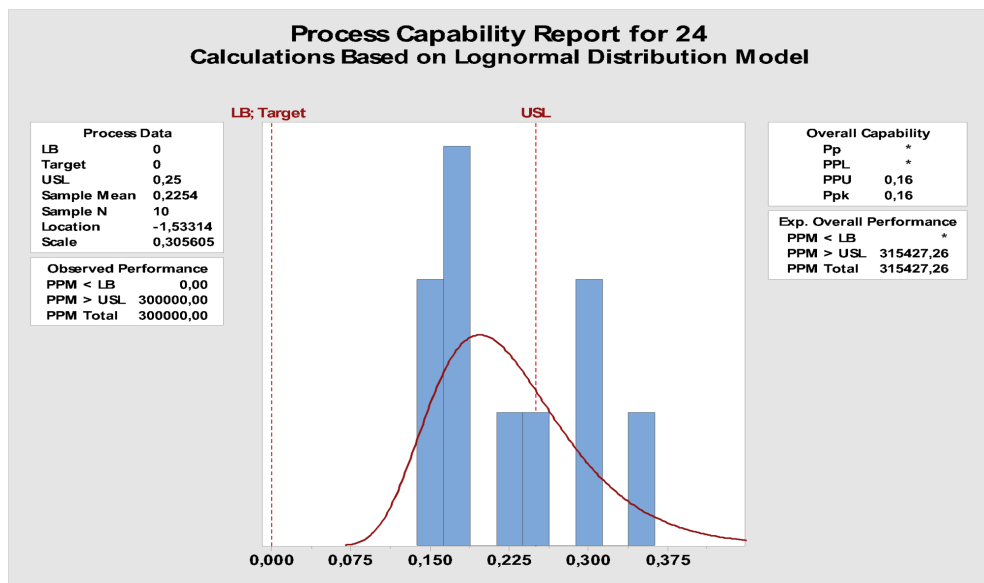
Log-normální rozdění pro 21.znak – finálním svařování



Log-normální rozdění pro 22.znak – finálním svařování

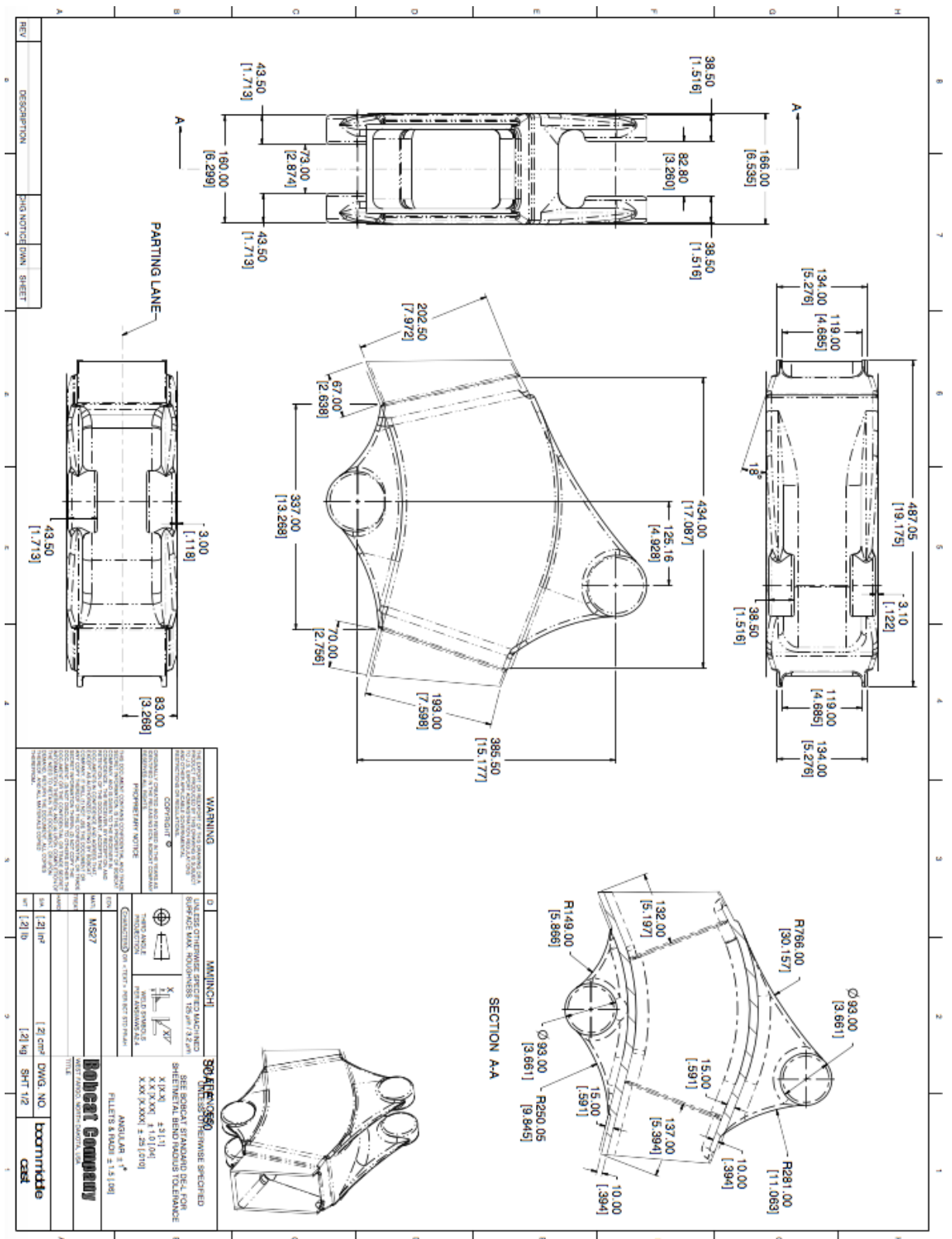


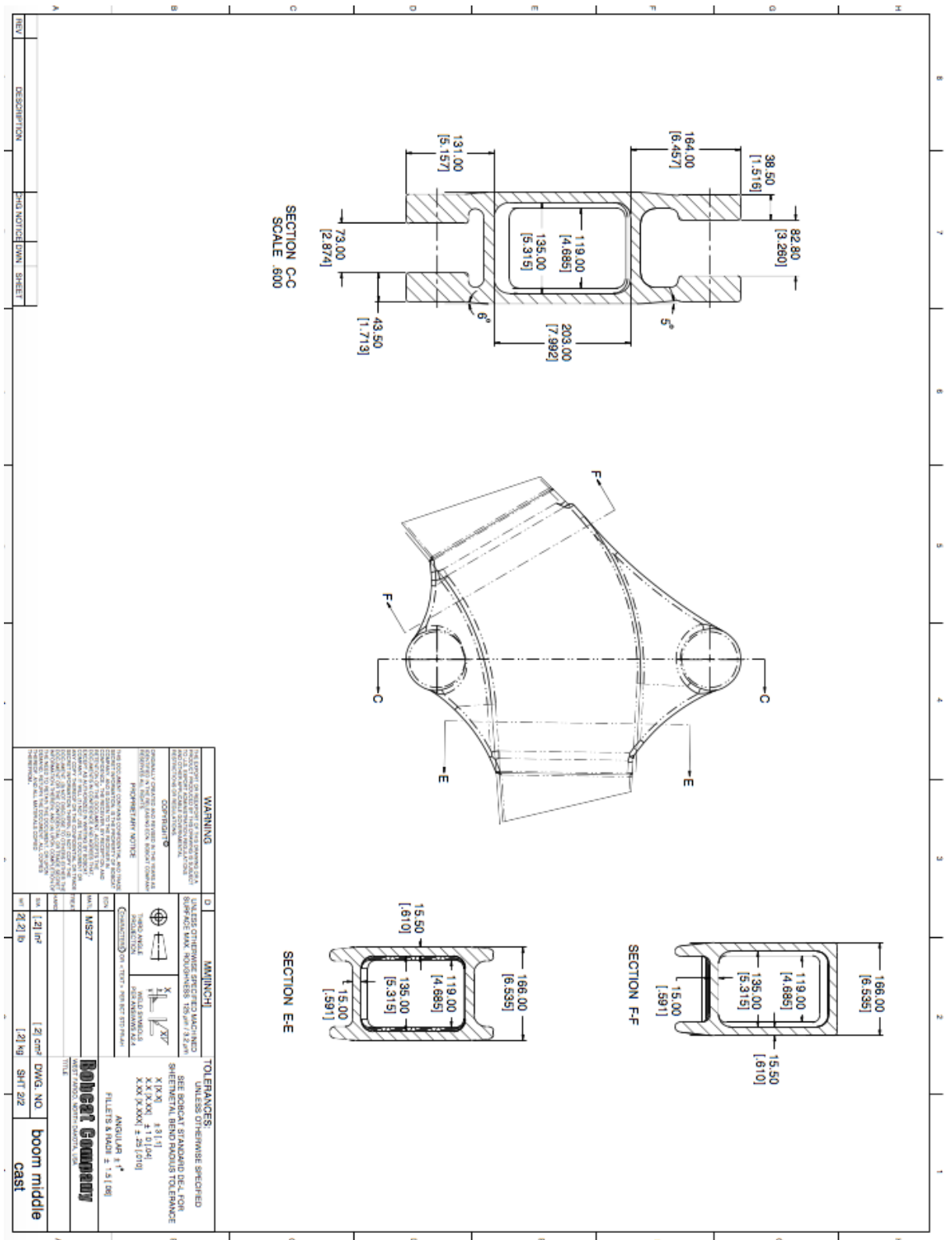
Log-normální rozdění pro 23.znak – finálním svařování



Log-normální rozdění pro 24.znak – finálním svařování

Příloha č. 7 – Výkres odlitku

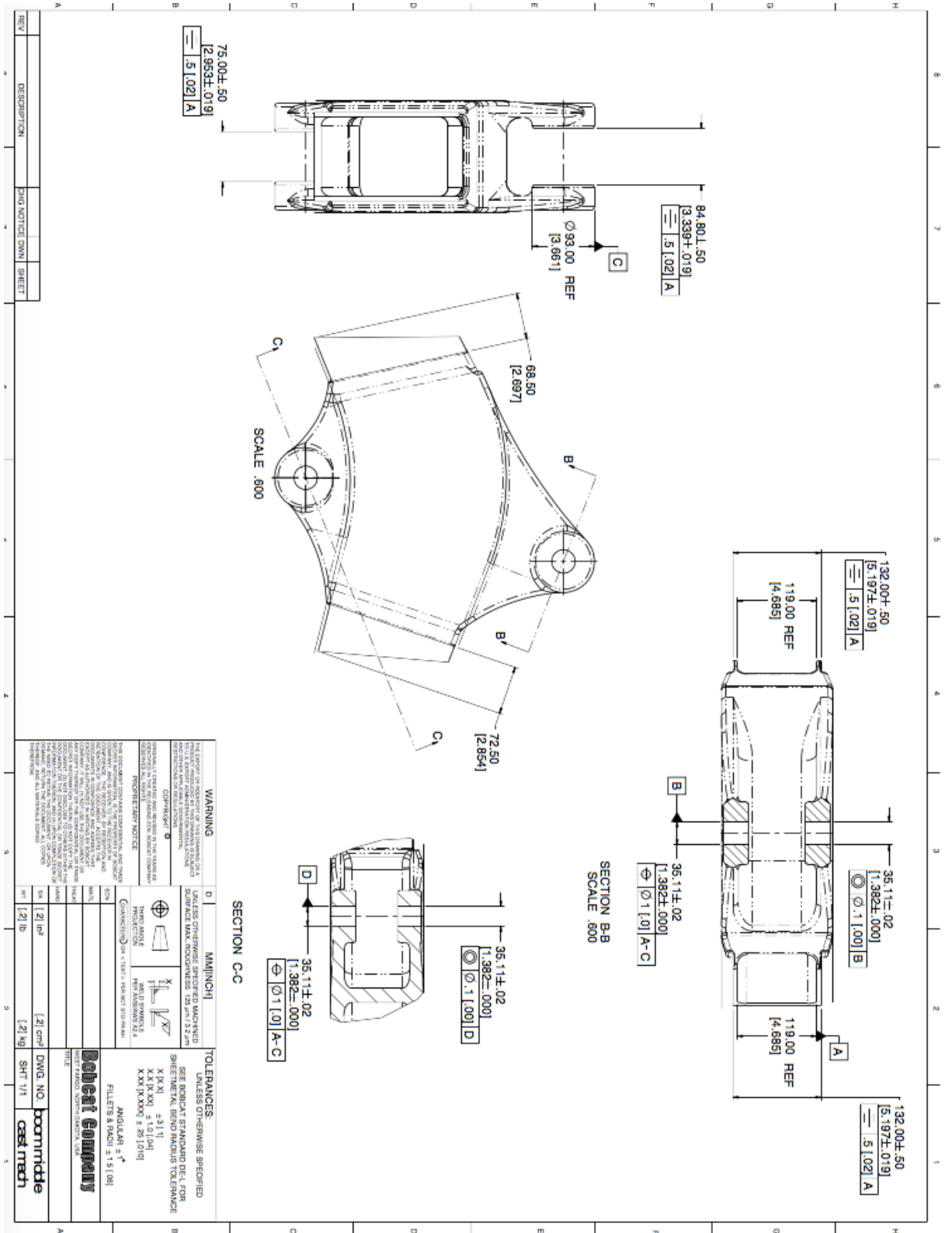




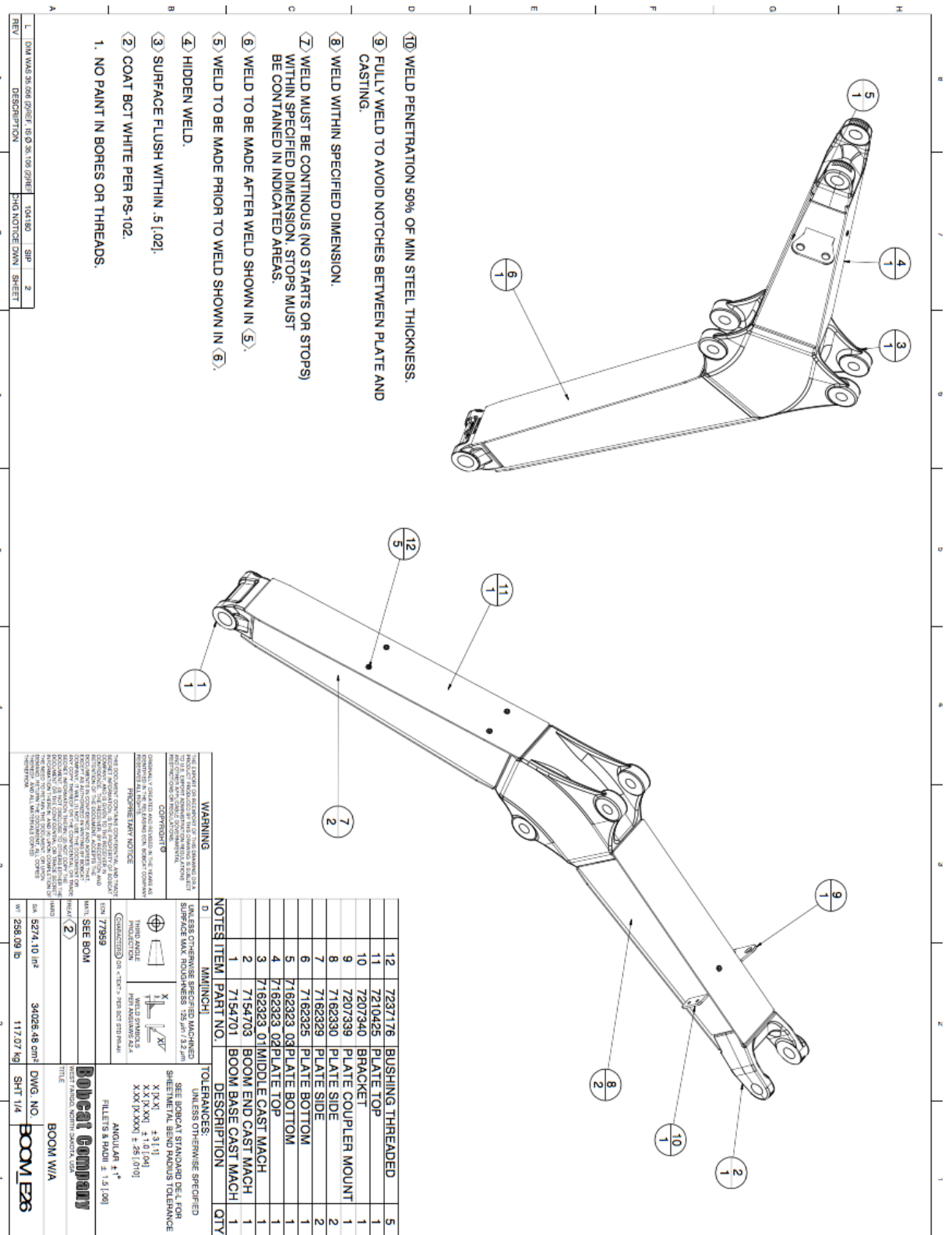
REV	DESCRIPTION	CHG	NOTICE	DRAWN	SHEET
-----	-------------	-----	--------	-------	-------

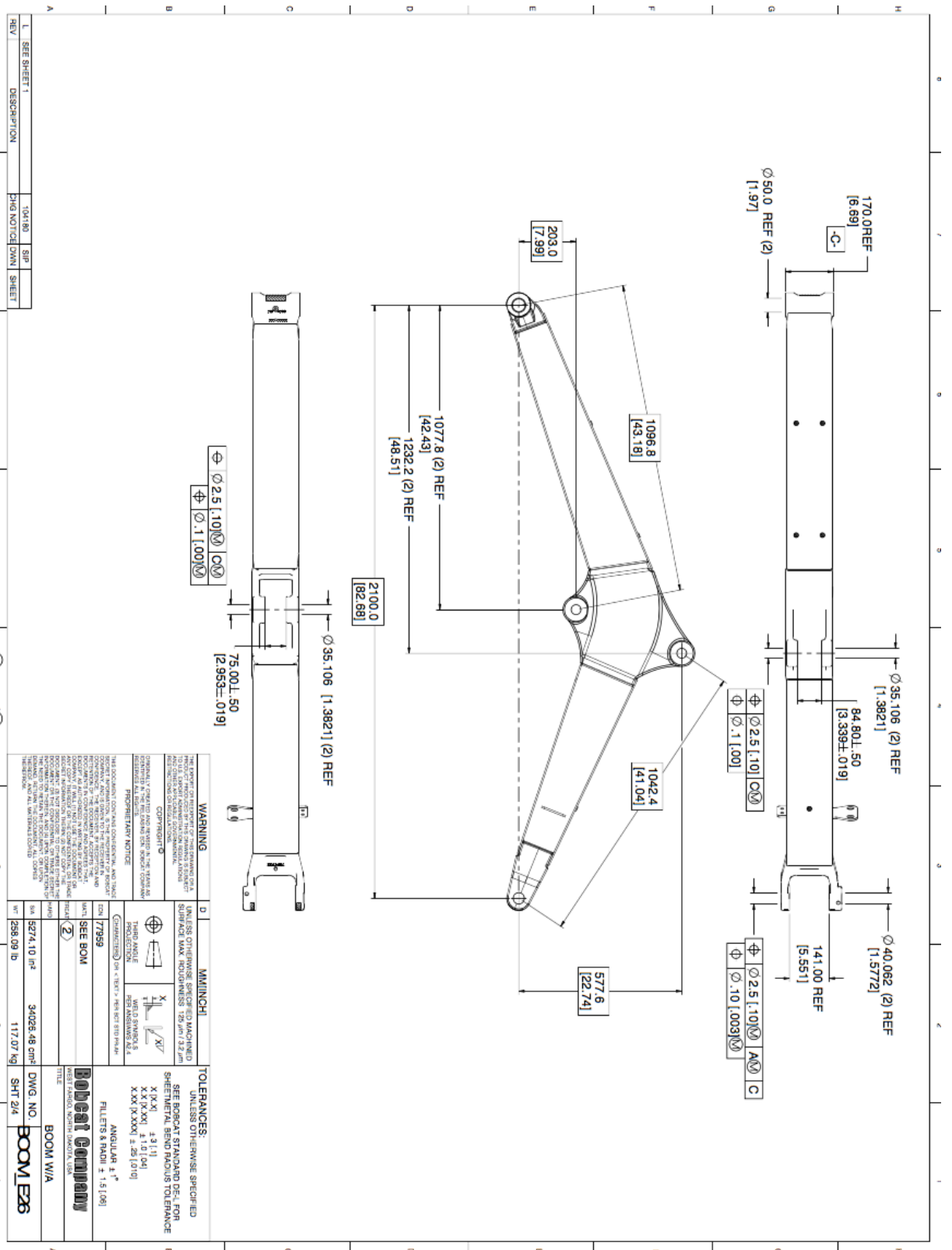
WARNING		MINI-NICH		TOLERANCES	
<p>THE CONTENT OF THIS DRAWING IS A PROPERTY OF ROBERT GORMAN. IT IS TO BE KEPT CONFIDENTIAL AND NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF ROBERT GORMAN.</p>		<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED SEE BOMCAT STANDARD DEL FOR SHEETMETAL BEND RADIIUS TOLERANCE</p>		<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED SEE BOMCAT STANDARD DEL FOR SHEETMETAL BEND RADIIUS TOLERANCE</p>	
COORDINATE		UNIT		SCALE	
<p>COORDINATE SYSTEM: ISO 15926 UNIT: MILLIMETER SCALE: AS SHOWN</p>		<p>UNIT: MILLIMETER SCALE: AS SHOWN</p>		<p>SCALE: AS SHOWN</p>	
PROPRIETARY NOTICE		CONSTRUCTION		ANGULAR	
<p>THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ROBERT GORMAN. IT IS TO BE KEPT CONFIDENTIAL AND NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF ROBERT GORMAN.</p>		<p>CONSTRUCTION: 2D DATE: 11/11/11</p>		<p>ANGULAR: 1° FILLET: R.1000 ± 0.15 (R1)</p>	
DESIGNER		DATE		PROJECT	
MSZT		11/11/11		boom middle	
CHECKER		APP'D		REV	
				[2] 1a	
DATE		SCALE		DWG. NO.	
11/11/11		[2] 1a		SHI 212	
TITLE		PROJECT		REV	
boom middle		boom middle		[2] 1a	
PROJECT		SCALE		DWG. NO.	
boom middle		[2] 1a		SHI 212	
REV		DWG. NO.		SCALE	
[2] 1a		SHI 212		[2] 1a	

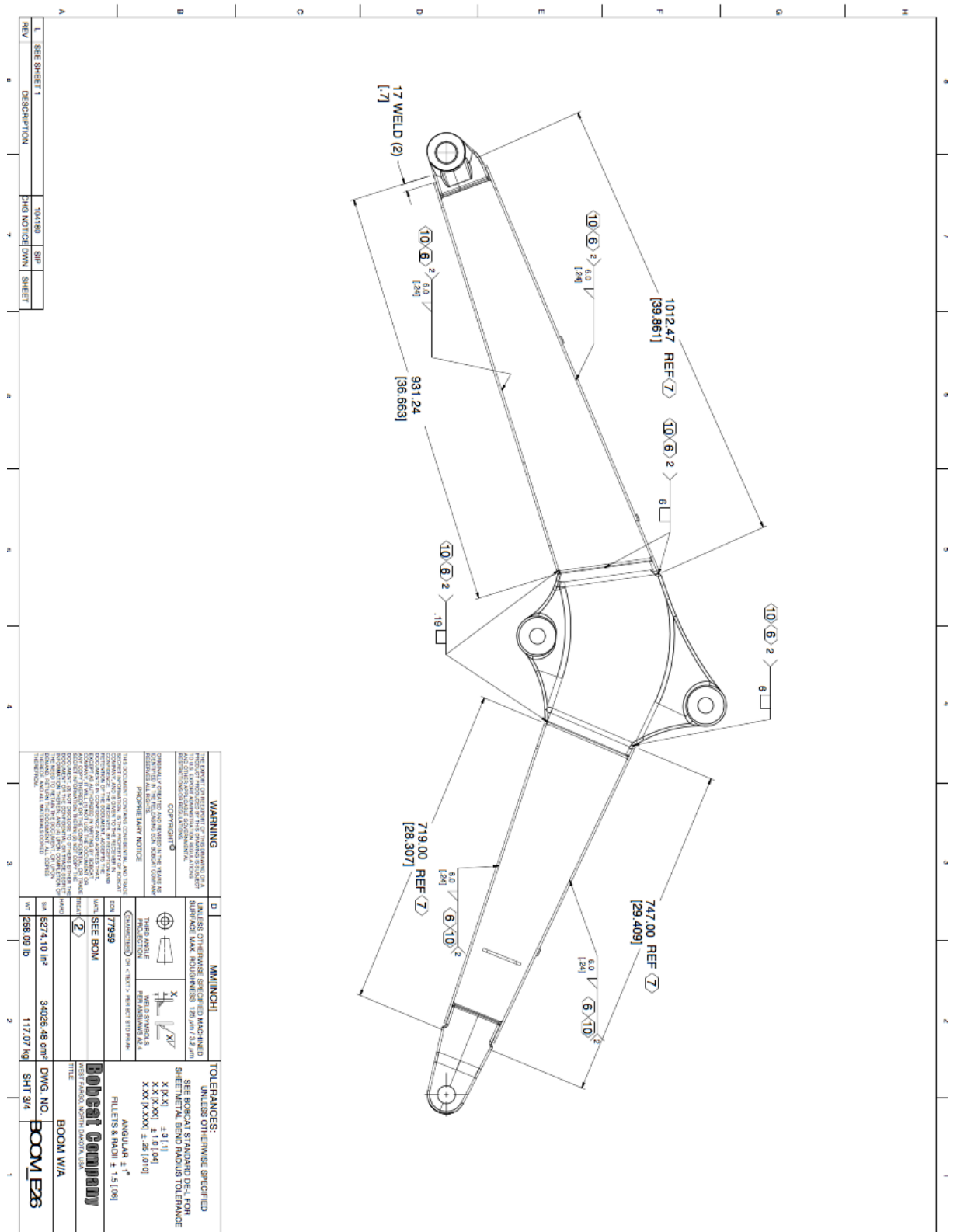
Příloha č. 8 – Výkres odlitku pro obrábění



Příloha č. 9 – Výkres výložníku







REV	DESCRIPTION	104180	SIP	CHG NOTICE	DRAWN	SHEET
L	SEE SHEET 1					

WARNING: THE OPERATOR MUST BE TRAINED AND CERTIFIED TO OPERATE THIS EQUIPMENT. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY BELT AND SEATBELT. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY GLASSES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY SHOES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY GLOVES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY HEADGEAR. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY HEARING PROTECTION. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY RESPIRATORY PROTECTION. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE CLOTHING. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE EQUIPMENT. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE TOOLS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE MATERIALS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE SERVICES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE SUPPLIES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE SYSTEMS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE TECHNOLOGIES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE TRENDS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE TOOLS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE MATERIALS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE SERVICES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE SUPPLIES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE SYSTEMS. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE TECHNOLOGIES. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY PROTECTIVE TRENDS.

MINICHI: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED MACHINED SURFACE MAX. ROUGHNESS 125 μm Rz max.

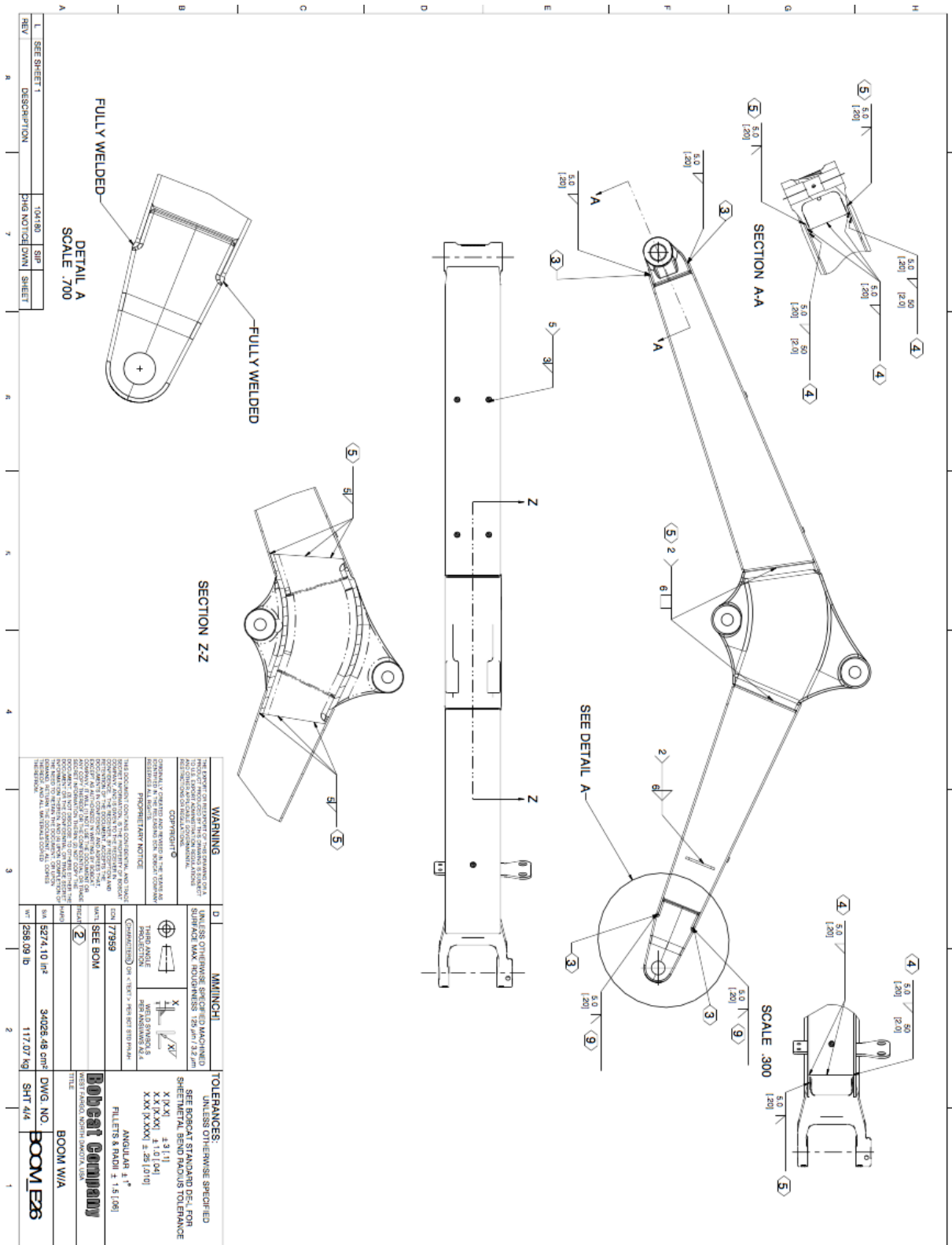
TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED SEE BOBCAT STANDARD DEL. FOR SHEETMETAL BEND RADIUS TOLERANCE X (X) ± 0.1 (0.1) X X X (X) ± 0.1 (0.1) X X X (X) ± 0.1 (0.1)

ANGULAR & 1°
FILLETS & RADIUS ± 1.5 (0.6)

Bobcat COMPANY
BEST PRACTICE NORTH AMERICA, USA

BOOM W/A

DWG NO. 34028-48.cnt
SHT 3/4
117.07 kg
258.09 lb



Příloha č. 10 – Výkres upraveného stehovacího přípravku

