

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

**Optimalizace procesu výroby výložníku a násady
kompaktního bagru**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Dan Pertlík

Studijní obor:

Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pertlík** Jméno: **Dan** Osobní číslo: **395189**
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 procesu výroby výložníku a násady kompaktního bagru

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of the production process of boom and arm compact excavator

Pokyny pro vypracování:

- Popis řešené problematiky, výroba výložníku a násady zemního rypadla, popis technologie výroby, použitých materiálu, problémů vznikajících při výrobě
- Rozbor technologie svařování, popis robotického pracoviště
- Návrh experimentu, rozbor a funkčnost svařenců, výroba vzorků a změření vznikajících deformací
- Statistické vyhodnocení naměřených dat
- Závěr - Návrh optimalizovaného řešení výroby

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

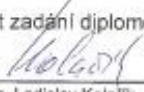
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

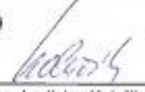
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


Datum zadání diplomové práce: **31.10.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2019**


doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

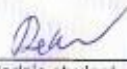

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústav/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis otkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

8.11.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Anotace

Název práce:	Optimalizace procesu výroby výložníku a násady kompaktního bagru
Autor:	Bc. Dan Pertlík
Druh práce:	Diplomová
Vedoucí práce:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Ústav:	Ústav strojírenské technologie, FS, ČVUT v Praze

Diplomová práce je vypracována dle zadání firmy Doosan Bobcat EMEA s.r.o., kde je úvod práce věnován teorii a metodice obloukového svařování a s ním souvisejícími jevy. V jednotlivých kapitolách jsou rozebrány základní principy metod svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách, zdroje a zařízení potřebné ke svařování, parametry svařování a možnosti automatizace či robotizace svařování. Další důležitou kapitolou je část zabývající se vneseným teplem od svařování a jeho vlivem na základní materiál, zejména vznikem napětí a deformací při svařování. Vnesené teplo a vznik napětí či deformací hrají klíčovou roli ve finální konstrukci výrobku, neboť je zde riziko změny konstrukčních rozměrů. S přesností konstrukčních rozměrů je spjato samotné měření a statistické vyhodnocení, které navazuje na předchozí technologické procesy a je popsáno v následujících kapitolách. Experiment spočíval ve vyhodnocení naměřených rozměrů 31 ks výložníku a 55 ks násad během celého procesu svařování a navrhnutí optimalizace výrobního procesu, konstrukčního řešení sestavy nebo zvolit vhodnou technologii výroby.

Klíčová slova:	<i>Svařování, MAG, Deformace, Metrologie, Statistika, Výrobní proces</i>
Rozsah práce:	103
Počet obrázků:	78
Počet tabulek:	27
Počet příloh:	2

Annotation

Thesis title:	Optimalization of the production proces of boom and arm compact excavator
Author:	Bc. Dan Pertlík
Type of work:	Master
Supervisor:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Institute:	Institute of manufacturing technology, CTU in Prague

The thesis has been formed as per the Doosan Bobcat EMEA s.r.o.'s instructions. Theory of arc welding and relating effects are described in the introduction part. Basic method principles of electric arc welding in a protective atmosphere, welding sources and devices, welding parameters, and a possibility of automation or robotization are described in individual chapters. Another important chapter is the part dealing with welding-generated heat and its effect on basic material, particularly due to a voltage and deformation during the welding process. The generated heat and voltage or deformation play a key role in the final product creation process as there is a risk of the construction dimensions being changed. Measuring and statistical evaluation are bound directly to the construction dimensions accuracy which is linked to previous technological processes as described in the following chapters; the experiment aimed to evaluate a total of 31 measured units of boom and 55 measured units of arm throughout the entire welding process, and subsequently proposes an optimisation of the manufacturing process, a construction design or an appropriate production technology.

Key word:	<i>Welding, MAG, Deformation, Metrology, Statistics, Production process</i>
Scope of work:	103
Number of pictures:	78
Number of tables:	27
Number of appendix:	2

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

Optimalizace procesu výroby výložníku a násady kompaktního bagru

vypracoval samostatně pod vedením určeného vedoucího práce a odborných konzultantů s využitím zdrojů a literárních pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii v závěru práce.

V Praze dne 8.1.2019

.....

Podpis

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D. IWE za poskytnuté cenné informace, připomínky, podklady a odborné vedení k celkovému řešení diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Alexandru Sedláčkovi za odborné konzultace a spolupráci při řešení experimentální části diplomové práce. Poděkování patří také společnosti DOOSAN Bobcat EMEA s.r.o. za poskytnutí potřebných dokumentů, licencí a softwarů nutných k vypracování práce.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A JEDNOTEK	14
SEZNAM PŘÍLOH.....	16
1 ÚVOD	17
2 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	18
3 CHARAKTER ŘEŠENÉ ZÁVADY.....	19
4 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	21
4.1 Metody svařování	21
4.2 Svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách.....	23
4.2.1 <i>MIG svařování.....</i>	<i>23</i>
4.2.2 <i>MAG svařování.....</i>	<i>23</i>
4.3 Elektrický oblouk	24
4.4 Přenos kovu z elektrody do svarové lázně u obloukového svařování	25
4.4.1 <i>Krátký oblouk se zkratovým přenosem</i>	<i>26</i>
4.4.2 <i>Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem.....</i>	<i>27</i>
4.4.3 <i>Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty.....</i>	<i>28</i>
4.4.4 <i>Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem</i>	<i>28</i>
4.4.5 <i>Impulzní bezzkratový oblouk</i>	<i>29</i>
4.4.6 <i>Moderovaný bezzkratový přenos</i>	<i>31</i>
4.4.7 <i>Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu</i>	<i>31</i>
4.5 Ochranné atmosféry.....	33
4.5.1 <i>Ochranné plyny pro svařování metodou MIG.....</i>	<i>34</i>
4.5.2 <i>Ochranné plyny pro svařování metodou MAG.....</i>	<i>35</i>
4.6 Vliv procesních parametrů na geometrii svaru.....	36
4.6.1 <i>Vliv svařovacího proudu.....</i>	<i>37</i>
4.6.2 <i>Vliv svařovacího napětí</i>	<i>38</i>
4.7 Vznik napětí a deformací vlivem svařování.....	39
4.7.1 <i>Příčné deformace.....</i>	<i>40</i>
4.7.2 <i>Podélné deformace</i>	<i>40</i>

4.7.3	Úhlové deformace	41
4.8	Svařovací zdroje	41
4.8.1	<i>Statická charakteristika</i>	42
4.8.2	<i>Dynamická charakteristika</i>	44
4.9	Svařovací agregáty pro metodu svařování MIG/MAG	44
4.9.1	<i>Uspořádání svařovacích zdrojů</i>	45
4.9.2	<i>Podavače drátu</i>	47
4.9.3	<i>Svařovací hořák</i>	47
5	METROLOGIE	49
5.1	Souřadnicové měřicí stroje	49
5.1.1	<i>Princip souřadnicového měření</i>	49
5.1.2	<i>Druhy souřadnicových měřicích strojů</i>	50
6	STATISTICKÁ REGULACE PROCESU	51
6.1	Variabilita procesu.....	51
6.1.1	<i>Náhodné příčiny</i>	51
6.1.2	<i>Vymezitelné příčiny</i>	52
6.2	Principy regulačního diagramu.....	53
7	HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI	54
7.1	Ukazatele způsobilosti a výkonnosti s atributy normálního rozdělení	54
7.2	Ukazatele způsobilosti a výkonnosti s atributy nenormálního rozdělení	56
	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	57
8	VÝROBNÍ POSTUP VÝLOŽNÍKU	58
8.1	Stehování výložníku	58
8.2	Robotické svařování výložníku	61
8.3	Finální operace výroby výložníku	62
9	VÝROBNÍ POSTUP NÁSADY	65
9.1	Stehování násady	65
9.2	Robotické svařování násady	67
9.3	Finální operace výroby násady	67
10	MĚŘENÍ VÝLOŽNÍKU A NÁSADY	70
	Výkresová dokumentace výložníku	72
10.1	Výkresová dokumentace násady.....	73
10.2	Značení měřených částí výložníku a násady.....	74

10.3	Naměřené hodnoty výložníku.....	75
10.3.1	Měření bodu BA v ose x.....	75
10.4	Naměřené hodnoty násady.....	78
10.4.1	Měření bodu ACBU v ose x.....	78
10.4.2	Měření bodu AL v ose x.....	79
10.4.3	Měření bodu ABU v ose x.....	80
10.5	Shrnutí.....	81
11	NÁVRH ŘEŠENÍ.....	83
11.1	Nastavení přípravku výložníku.....	83
11.2	Nastavení přípravku násady.....	84
11.3	Kontrolní měření po úpravě přípravku výložníku.....	85
11.4	Kontrolní měření po úpravě přípravku násady.....	86
11.5	Vizuální kontrola hotového výrobku.....	89
12	ZÁVĚR.....	92
13	POUŽITÁ LITERATURA.....	94
	PŘÍLOHY.....	96

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Campus výrobního závodu v Dobříši [1].....	18
Obr. 2: Ukázka vyráběných strojů [1].....	18
Obr. 3: Schéma vyosení lžice bagru.....	19
Obr. 4: Detail znázorňující odklon lžice bagru od země.....	19
Obr. 5: Schéma modelu E20 s vyznačenou skupinou „násada výložník“	20
Obr. 6: Schéma koncové části svařovacího hořáku [8].....	24
Obr. 7: Schéma teplotních rozsahů jednotlivých fází elektrického oblouku, který se dělí na: A) anodovou oblast, B) obloukový sloupec, C) katodovou oblast [9].....	24
Obr. 8: Dělení přenosu kovu v oblouku v závislosti napětí na proudu [7]	26
Obr. 9: Zkratový přenos kovu [8]	27
Obr. 10: Přejížděný dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty [8].....	28
Obr. 11: Sprchový bezzkratový přenos kovu [8]	29
Obr. 12: Impulsní bezzkratový přenos kovu [8]	30
Obr. 13: Impulsní forma přenosu kovu v oblouku [7]	30
Obr. 14: Moderovaný bezzkratový přenos [8]	31
Obr. 15: Oblouk s rotujícím přenosem kovu [8].....	32
Obr. 16: Porovnání výkonů navaření pro konvenční a vysokovýkonné metody [7]	32
Obr. 17: Vliv obsahu helia na intenzitu průvaru při MIG svařování [11]	35
Obr. 18: Vliv proudu na tvar svarové housenky [8]	37
Obr. 19: Vliv napětí na tvar svarové housenky [8].....	38
Obr. 20: Schéma statických charakteristik svařovacích zdrojů [14]: a) strmá charakteristika, b) mírně klesající charakteristika (polostrmá), c) plochá charakteristika	43
Obr. 21: Schéma popisující vznik pracovního bodu průsečíkem strmé a ploché charakteristiky [8]	43
Obr. 22: Svařovací zařízení MIG/MAG [15].....	44
Obr. 23: Klasické stavebnicové uspořádání [7,16]	45
Obr. 24: Uspořádání push-pull [7,16]	46
Obr. 25: Uspořádání s odděleným podavačem drátu [7]	46
Obr. 26: Uspořádání s podavačem na rameni [7].....	46
Obr. 27: Schéma podavače drátu na pravé straně-1) Čistič drátu, 2) Podávací kladka hnaná, 3) Podávací kladka hnací, 4) Svařovací drát, na levé straně je základní schéma principu MIG/MAG svařování [7]	47
Obr. 28: Schéma vodou chlazeného hořáku pro MIG/MAG svařování, 1- kroužek, 2- sběrné vedení, 3-vodní hadice, 4-vedení drátu, 5-vodní hadice, 6-plynová hadice, 7- řízení s konektorem, 8-spínač hořáku, 9-rukojeť [7]	48
Obr. 29: Detailní rozbor hořáku zobrazeného na Obr. 28 (detail B), 1-vodící drátová nebo teflonová trubice, 2-napájecí průvlak, 3-pouzdro na rozvádění plynu, 4-plynové trysky: a) cylindrická, b) kónická, c) pro bodové svařování [7]	48
Obr. 30: Schéma souřadnicového systému stroje [18].....	50
Obr. 31: Druhy souřadnicových měřicích strojů: 1) Mostové CMM, 2) Portálové CMM, 3) Sloupové CMM s vodorovným ramenem, 4) Konzolové CMM [19].....	50

Obr. 32: regulační diagram s vyznačenými charakteristikami [21]: UCL-Horní regulační mez, CL – Střední hodnota, LCL-Dolní regulační mez	53
Obr. 33: Normálně rozdělený znak kvality [23]	55
Obr. 34: Nenormálně rozdělený znak kvality [23]	56
Obr. 35: Zobrazení vnitřních svarů na výložníku před zakrytím horního plechu při stehování	59
Obr. 36: Boční pohled na stanoviště 1, krátký výložník-horní strana a dlouhý výložník-spodní strana	59
Obr. 37: ISO pohled na stanoviště 1	60
Obr. 38: Spojené (uši) příruby čepem s rozpěrným válcem, zajištěný závlačkou a klínem.....	60
Obr. 39: Robotická stanoviště pro násady na levé straně robot Clooss včetně polohovacího přípravku a na pravé straně je vyfotografována dvojice robotů Yaskawa	61
Obr. 40: Boční pohled na stanoviště 3	63
Obr. 41: ISO pohled na stanoviště 3	63
Obr. 42: Boční pohled na stanoviště 4	64
Obr. 43: ISO pohled na stanoviště 4	64
Obr. 44: Sestavená podsestava bočnic spojená čepy s rozpěrnými válci.....	65
Obr. 45: Boční pohled na stanoviště 1, horní poloha - dlouhá a krátká násada, spodní poloha - Cairo násada.....	66
Obr. 46: ISO pohled na stanoviště 1-výroba násady.....	66
Obr. 47: Robotická stanoviště pro násady na levé straně robot Closs včetně polohovacího přípravku a na pravé straně je vyfotografována dvojice robotů Yaskawa	67
Obr. 48: Boční pohled na stanoviště 3-broušení zadní části	68
Obr. 49: ISO pohled na stanoviště 3-broušení zadní části	68
Obr. 50: Boční pohled na stanoviště 4-broušení přední části	69
Obr. 51: ISO pohled na stanoviště 4-broušení přední části.....	69
Obr. 52: Mostový SMS stroj firmy HEXAGON manufacturing intelligence[28]....	70
Obr. 53: Ruční měřicí stroj CimCore 7530 [29]	71
Obr. 54: Důležité rozměry výložníku E20 (celková výkresová dokumentace viz příloha)	72
Obr. 55: Důležité rozměry násady E20 (celková výkresová dokumentace viz příloha)	73
Obr. 56: Značení návarků výložníku (dlouhý) E20	74
Obr. 57: Značení návarků Násady (dlouhé) E20.....	75
Obr. 58: Histogram bodu BA 1, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 1 v mm	76
Obr. 59: Histogram bodu BA 2, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 2 v mm	76
Obr. 60: Histogram bodu BA 3, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 3 v mm	77

Obr. 61: Histogram bodu BA 4, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 4 v mm	77
Obr. 62: Graf znázorňující křivky naměřených bodů BA v tolerančním poli	78
Obr. 63: Graf znázorňující křivky naměřených bodů ACBU v tolerančním poli.....	79
Obr. 64: Graf znázorňující křivky naměřených bodů AL v tolerančním poli.....	80
Obr. 65: Graf znázorňující křivky naměřených bodů ABU v tolerančním poli	81
Obr. 66: Vyznačení posuvu měřeného bodu ve směru x u výložníku, kdy zelená barva označuje tolerovaný rozměr a červená netolerovaný	81
Obr. 67: Vyznačení posuvu měřených bodů ve směru x u násady, kdy červená barva označuje rozměr mimo toleranci	82
Obr. 68: Pohled na sestavu násada-výložník a celková deformace sestavy.....	82
Obr. 69: Přenastavení přípravku výložníku – červeně vyznačená upínací místa k přenastavení a šipkou směr posuvu upínacího prizmatu.....	83
Obr. 70: Přenastavení přípravku násady – červeně vyznačená upínací místa k přenastavení a šipkou směr posuvu upínacího prizmatu.....	84
Obr. 71: Umístění tvarových podložek do přípravku násady	84
Obr. 72: Naměřené hodnoty bodu BA výložníku po úpravě stehovacího přípravku	86
Obr. 73: Naměřené hodnoty bodu ACBU násady po úpravě stehovacího přípravku	87
Obr. 74: Naměřené hodnoty bodu AL násady po úpravě stehovacího přípravku.....	88
Obr. 75: Naměřené hodnoty bodu ABU násady po úpravě stehovacího přípravku..	89
Obr. 76: Vizuální kontrola vyosení s ramenem, kdy je násada i náběrová plocha lžice kolmo k zemi (poloha 1)	90
Obr. 77: Vizuální kontrola vyosení s ramenem, kdy je lžice bagru v nejdále možné pracovní poloze s náběrovou plochou lžice kolmé k zemi (poloha 2)	90
Obr. 78: Měřicí klín se stupnicí od 1 mm až do 18 mm	90

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení tlakových metod svařování dle normy ČSN EN ISO 4063 [4] ...	21
Tab. 2: Rozdělení tavných metod svařování dle normy ČSN EN ISO 4063 [4].....	22
Tab. 3: Proudové rozsahy pro svařování zkratovým procesem [7].....	27
Tab. 4: Proudové rozsahy pro svařování sprchovým procesem [7].....	29
Tab. 5: Hlavní skupiny a klasifikace plynů dle normy ČSN EN ISO 14175 [10]	33
Tab. 6: Vlastnosti plyných složek dle normy ČSN EN ISO 14175 [10].....	34
Tab. 7: Rozdělení skupin oxidačních směsí plynů a jejich procentuální zastoupení jednotlivých složek [10].....	36
Tab. 8: Typ přenosu kovu a ochranné atmosféry v závislosti na napětí svařování [7].....	39
Tab. 9: Tabulka možných dosažených hodnot a jejich vyhodnocení [9].....	55
Tab. 10: Chemické složení materiálu S355J2.....	58
Tab. 11: Chemické složení materiálu MS27.....	58
Tab. 12: Nastavené parametry svařování výložníku na stanovišti 1.....	59
Tab. 13: Nastavené parametry svařování na stanovišti 2.....	61
Tab. 14: Technické údaje robotů Cloos a Yaskawa [26,27].....	62
Tab. 15: Nastavené parametry svařování násady na stanovišti 1.....	65
Tab. 16: Nastavené parametry svařování na stanovišti 2.....	67
Tab. 17: Technické údaje DEA ALPHA [28].....	71
Tab. 18: Technické údaje CimCore 7530 [30].....	71
Tab. 19: Naměřené hodnoty pro body BA 1-4 v rovině X s barevným rozlišením, zda průměrná hodnota splňuje toleranční pole = zelená/nesplňuje=červená).....	75
Tab. 20: Naměřené hodnoty pro body ACBU 1-4 v rovině X.....	78
Tab. 21: Naměřené hodnoty pro body AL 1-2 v rovině X.....	79
Tab. 22: Naměřené hodnoty pro body ABU 1-2 v rovině X.....	80
Tab. 23: Celkové naměřené hodnoty pro body BA 1/2/3/4 v rovině X.....	85
Tab. 24: Celkové naměřené hodnoty pro body ACBU 1/2/3/4 v rovině X.....	87
Tab. 25: Celkové naměřené hodnoty pro body AL 1/2 v rovině X.....	88
Tab. 26: Celkové naměřené hodnoty pro body ABU 1/2 v rovině X.....	89
Tab. 27: Tabulka porovnávací vyosení mezi pravou a levou stranou lžice pro polohu 1/2.....	91

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A JEDNOTEK

<i>Zkratka</i>	<i>Popis</i>	<i>Jednotky</i>
ČSN	Česká soustava norem (Česká technická norma)	
EN	Evropská norma	
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International organization for standardization)	
MAG	Metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v aktivní atmosféře (Metal active gas)	
MIG	Metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v inertní atmosféře (Metal inert gas)	
TIG	Metoda obloukového svařování neodtavující se elektrodou v inertní atmosféře (Tungsten inert gas)	
CMM	Souřadnicově měřící stroje (Coordinate Measuring Machines)	
SPC	Statická regulace procesu (Statistical Process Control)	
UCL	Horní toleranční mez (Upper Control Limit)	
CL	Střední přímka (Central Line)	
LCL	Dolní toleranční mez (Lower Control Line)	
DTM	Dolní toleranční mez	
HSM	Horní specifikační mez	
c	Úhlová deformace	
C_p	Index způsobilosti procesu	
C_{pk}	Index způsobilosti procesu zahrnující variabilitu	
σ	Směrodatná odchylka	
C_m	Index způsobilosti stroje ukazující, čeho jsme schopni dosáhnout	
C_{mk}	Index způsobilosti stroje ukazující, čeho bylo reálně dosaženo	
Ar	Argon	
He	Helium	
CO ₂	Oxid uhličitý	
O ₂	Kyslík	
N ₂	Dusík	
H ₂	Vodík	

<i>Zkratka</i>	<i>Popis</i>	<i>Jednotky</i>
I	Proud (I_s – Svařovací proud)	[A]
U	Napětí (U_{EO} – Napětí elektrického oblouku)	[V]
T_p	Doba trvání impulsu	[s]
f	Frekvence	[Hz]
T	Teplota zvoleného místa	[°C]
T_0	Počáteční hodnota teploty	[°C]
q	Tepelný výkon svařovacího zdroje	[J · A ⁻¹]
c	Tepelná kapacita	[J · g ⁻¹ °C ⁻¹]
ρ	Měrná hmotnost	[g · cm ⁻³]
λ	Koeficient tepelné vodivosti	[Wcm ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹]
v_s	Rychlost svařování	[m · s ⁻¹]
s	Tloušťka materiálu	[cm]
t	Čas	[s]
Q_v	Vnesené teplo	[J/mm]
Δl	Prodloužení/Smrštění	[mm]
α	Teplotní součinitel délkové roztažnosti	[°C ⁻¹]
l_0	Původní délka svarového spoje	[mm]
l	Délka svarového spoje	[mm]
Δt	Gradient teploty	[°C]
$l_{př}$	Délka příčného smrštění	[mm]
S_{SV}	Plocha příčného průřezu svaru	[mm ²]
b_s	Střední šířka svaru	[mm]
pod_I	Podélné smrštění jednovrstvého svaru	[mm]
n	Počet vrstev ve svaru	
a	Výška svaru	[mm]
b	Šířka svaru	[mm]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výkresová dokumentace výložníku E20.....	96
Příloha 2: Výkresová dokumentace násady E20.....	100

1 ÚVOD

V dnešní době jsou na materiály, strojní součásti a samotné stroje kladeny velké nároky, a proto je nutný neustálý vývoj. Materiály dosahují stále lepších vlastností, a to v širokém spektru průmyslu. Technologie se neustále rozvíjí vlivem nových, nebo modifikovaných materiálů. Tento trend hnací síly průmyslu si žádá časté inovace, nebo optimalizace výroby pro dosažení vyšší kvality, kapacity výroby, nebo úspory materiálu. Kvalita a bezvadná funkčnost strojů je dána právě vhodným výběrem materiálu, optimální konstrukcí a zvolenou technologií výroby. Všechny již zmíněné oblasti výroby od návrhu materiálu, přes konstrukci až po samotnou výrobu, se navzájem ovlivňují a mají vliv na výsledný výrobek.

Diplomová práce vznikla na základě reklamací zemního rypadla typu E20, kde se vyskytuje závada nevyhovující souososti pracovního ramene. Rameno se skládá z výložníku, násady, hydraulických válců a daným příslušenstvím od různých tříd pracovních lžic až po speciální polohovadla, frézky i hydraulická kladiva. Pozornost byla věnována zejména výložníku a násadě. V první části diplomové práce byla zkoumána výkresová dokumentace a funkčnost stroje. Dále byl zhotoven návrh měření válcových návarů a jejich vzájemné polohy pro cca 30 ks výložníku a 50 ks násad, kde bylo cílem zjistit dané odchylky od výkresové dokumentace. Ze získaných výsledků byl zjištěn nežádoucí vliv svařování na finální rozměry soustavy svařenců. Důraz na dodržení tolerancí je kladen nejen kvůli jednoduché montáži jednotlivých součástí do sestavy, ale také kvůli trvanlivosti komponentů. Zejména u sestavy „násada – výložník“ je kladen důraz na souosost návarů pro správný chod hydraulických válců.

Cílem diplomové práce bylo navrhnout řešení na eliminaci změn výsledných rozměrů, nebo optimalizovat výrobu tak, aby případné deformace byly minimalizovány. Následně tuto inovaci zkontrolovat a vyhodnotit.

2 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Vznik společnosti Bobcat se datuje do roku 1947, kdy byla založena E. Gideonem Melrouem pod tehdejším názvem Melroe Manufacturing company sídlícím v Severní Dakotě ve městě Gwinner. V roce 2007 byla společnost koupena korejskou společností Doosan Infracore za 4,9 miliardy dolarů (asi 98 miliard Kč). Jednalo se o jednu z největších zámořských akvizic v korejské historii a Doosan Infracore se tak dostal mezi sedm největších světových výrobců stavebních strojů [1].

Dobříšský campus vznikl v České republice od roku 2001 po odkupu společnosti Superstav, která se zabývala výrobou středních nakladačů traktorového typu. V roce 2003 bylo otevřeno vývojové centrum Doosan Bobcat EMEA s.r.o., ke kterému v následujících letech přibyl výrobní závod pro výrobu kompaktních bagrů a nakladačů včetně školícího centra [1].



Obr. 1: Campus výrobního závodu v Dobříši [1]



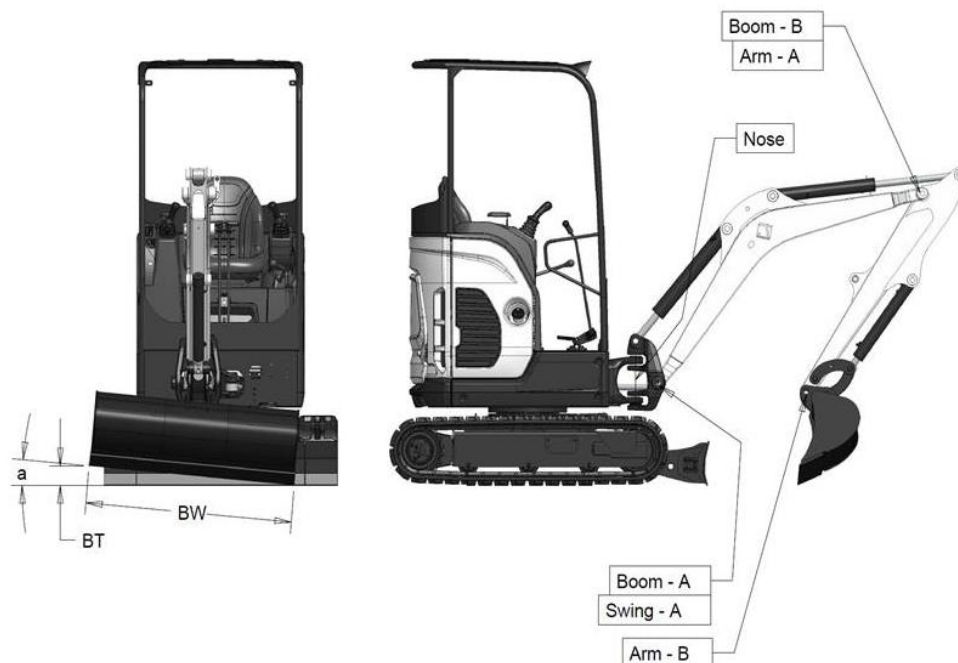
Obr. 2: Ukázka vyráběných strojů [1]

Campus v Dobříši se zabývá inovací a výrobou smykem řízených stavebních strojů v několika velikostních řadách včetně příslušenství. Smykem řízené stroje umožní otočení stroje téměř na místě a dovolují tak pohyb stroje i v omezeném prostoru. Společnost nabízí 7 typů nakladačů s označením – S70, S100, S450, S510, S530, S570 a S590. Bagry neboli kompaktní rypadla společnost nabízí v deseti kategoriích – malé a střední do 3 tun E17, E19, E20, E25, E26 a velké do 6 tun E32, E35, E45, E50, E55 [1].

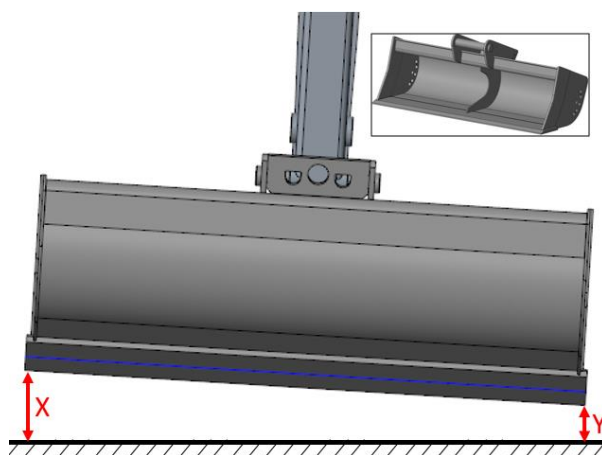
Roční produkce výroby je 11-12 tis. strojů ve stejném poměru nakladačů i kompaktních rypadel. Akciová společnost Bobcat a.s. dále zprostředkovává prodej produktů vyrobených nejen v České republice, ale i importovaných z jiných závodů po světě. Společnost zprostředkovává prodej a servis pro více jak 2000 spotřebitelů po celé Evropě [1].

3 CHARAKTER ŘEŠENÉ ZÁVADY

Na základě reklamace vyrobeného stroje, kdy lžice zemního rypadla nebyla v ose s půdou (viz **Obr. 3**), byla zkoumána možná příčina tohoto problému. Vliv špatné sousosty má také negativní vliv na funkci hydraulických válců, kde nedokonalou trajektorií chodu dochází k většímu opotřebení a tím ke snižování životnosti.



Obr. 3: Schéma vyosení lžice bagru

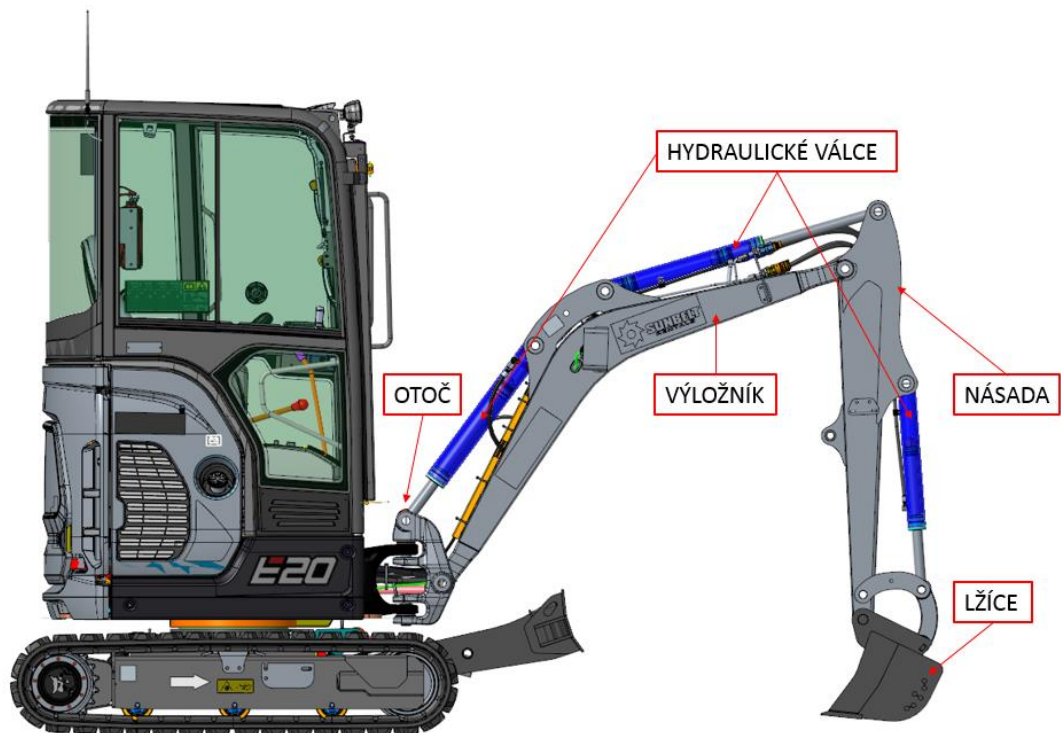


Obr. 4: Detail znázorňující odklon lžice bagru od země

Ohnisko závady zahrnovalo velké množství komponentů, které mohly být výrobního i montážního charakteru. Bylo však rozhodnuto zabývat se sestavou „násada – výložník“, která přímo navazuje na lžici bagru.

Proto se diplomová práce soustředí na rameno kompaktního bagru, které se skládá z výložníku, násady a hydraulických válců viz **Obr. 5**. Výložník je uložen v základním rámu bagru a z druhé strany upevněn k násadě s volitelným příslušenstvím.

Výložník i násada jsou vyrobeny z nelegovaných jakostních plechů z oceli S355J2, které jsou vypáleny laserem do požadovaných tvarů určených ke svařování.



Obr. 5: Schéma modelu E20 s vyznačenou skupinou „násada výložník“

Proces svařování je rozdělen do několika fází. V první řadě probíhá upínání jednotlivých dílců do upínacího přípravku, dílce jsou následně ručně stehovány a vnitřní plochy jsou dále svařovány. Následující fází je svařování robotem a finální dokončovací svařování. Veškeré svařovací operace jsou prováděny metodou svařování MAG, tzn. metodou 135 podle normy ČSN EN ISO 4063. Vlivem vneseného tepla z jednotlivých operací vznikají ve svařencích napětí a následné deformace, které negativně ovlivňují konstrukční rozměry, funkčnost svařence a nejsou tak tolerovány kvalitativními požadavky ani zákazníkem. Z tohoto důvodu se práce zabývá nejvíce svařovacími operacemi, které mají na výsledné rozměry (deformace) rozhodující vliv. Díly sestavy jsou po procesu svařování dopraveny k dalším operacím výroby, jako jsou např. povrchové úpravy až k samotné finální montáži a kontrole kvality před exportem hotového výrobku zákazníkovi.

Jak bylo uvedeno v úvodní kapitole, cílem diplomové práce je analyzovat rozměrové odchylky a jejich příčiny, kdy řešením dané problematiky je eliminovat případné rozměrové nepřesnosti změnou technologického postupu, nebo změnou konstrukce ramene výložníku a násady.

4 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

Cílem svařování je zhotovení nerozebíratelného spoje dvou či více součástí, které musí splňovat požadované vlastnosti vyhovující provozním podmínkám. Metody svařování lze rozdělit do dvou základních skupin. Na svařování tlakové a tavné, kdy jejich rozdělení i značení se řídí podle normy ČSN EN ISO 4063. Jednotlivé metody svařování jsou vždy závislé na dodaném nebo vytvořeném teple, na tlaku a čase. Ze známých experimentů je patrné, že teplota je velmi významným faktorem, neboť i při svařování tlakem dochází k přeměně části mechanické energie na tepelnou energii [2].

4.1 Metody svařování

V následujících schématech jsou znázorněny metody tavného i tlakového svařování, které mají široké spektrum uplatnění v průmyslové výrobě. Nejčastěji se využívají svařovací operace ke konstrukci sestav dílů vyrobených z polotovaru hromadné hutní výroby, ale také k renovaci či rekonstrukci havarovaných součástí [3].

Tab. 1: Rozdělení tlakových metod svařování dle normy ČSN EN ISO 4063 [4]

TLAKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	
Číslo metody	Název metody
2	Odporové svařování
21	<i>Odporové bodové svařování</i>
211	<i>Nepřímé bodové svařování</i>
212	<i>Přímé bodové svařování</i>
22	<i>Odporové švové svařování</i>
221	<i>Švové svařování s přeplátováním</i>
23	<i>Odporové výstupkové svařování</i>
24	<i>Odtavovací stykové svařování</i>
25	<i>Stlačovací stykové svařování</i>
27	<i>Vysokofrekvenční odporové svařování</i>
4	Tlakové svařování
41	<i>Ultrazvukové svařování</i>
42	<i>Třecí svařování</i>

Tab. 2: Rozdělení tavných metod svařování dle normy ČSN EN ISO 4063 [4]

TAVNÉ SVAŘOVÁNÍ	
Číslo metody	Název metody
1	Obloukové svařování
11	<i>Obloukové svařování tavící se elektrodou bez ochranného plynu</i>
111	<i>Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou</i>
12	<i>Svařování pod tavidlem</i>
121	<i>Svařování pod tavidlem drátovou elektrodou</i>
125	<i>Svařování pod tavidlem plněnou elektrodou</i>
13	<i>Obloukové svařování tavící se elektrodou</i>
131	<i>Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu: MIG</i>
135	<i>Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu: MAG</i>
14	<i>Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu</i>
141	<i>Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu: WIG, TIG svařování</i>
15	<i>Plazmové svařování</i>
151	<i>Plazmové MIG svařování</i>
3	Plamenové svařování
31	<i>Plamenové svařování s kyslíkem</i>
311	<i>Kyslíko-acetylenové svařování</i>
5	Svařování svazkem paprsků
51	<i>Elektronové svařování</i>
52	<i>Laserové svařování</i>

4.2 Svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách

Svařování elektrickým obloukem patří mezi dnes nejpoužívanější tavné metody svařování, a to zejména metody svařování MIG/MAG, které jsou podrobněji rozepsány v následujících kapitolách. Pro správnou volbu svařovacích parametrů, stabilizace elektrického oblouku, šířku svaru a hloubku průvaru je nutné znát základní principy dějů probíhajících v elektrickém oblouku rozepsané v kapitole 4.3. Dalšími neméně důležitými faktory na proces svařování jsou statické charakteristiky elektrického oblouku a svařovacího zdroje, ochranné atmosféry, svařovací zdroje se specifickým příslušenstvím a samotné nastavení svařovacích parametrů [3].

4.2.1 MIG svařování

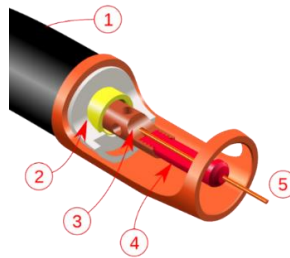
Metoda svařování kovovou tavící se elektrodou, která je ve formě drátu (= přídavný materiál) navinutá na cívce a plynule dodávána pomocí kladkového podavače svařovacího zdroje do místa svařování (tavné lázně). Zdrojem tepla je u této metody elektrický oblouk, který hoří mezi drátem (elektrodou) a základním svařovaným materiálem (katodou), a také který je chráněn inertní atmosférou argonu, helia, nebo jejich směsí. Tzn., že se využívá stejnosměrného proudu, kdy se elektroda připojuje na plus pól svařovacího zdroje (tzn. nepřímá polarita zapojení). Ochranná atmosféra chrání také tavnou lázeň, kde v případě inertního plynu nevyvolává žádné chemické reakce. Metoda svařování MIG se nejvíce využívá na svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů [6].

Metodou lze svařovat plechy o tloušťce základního materiálu 0,8 mm až cca 40 mm ve všech polohách svařování. Přenos přídavného materiálu je závislý na parametrech proudu, napětí a základním rozdělení, které se dělí na: zkratový ($I_s = 40\text{--}190\text{ A}$, $U_{eo} = 16\text{--}21\text{ V}$) a sprchový ($I_s = 120\text{--}500\text{ A}$, $U_{eo} = 20\text{--}36\text{ V}$). [5].

4.2.2 MAG svařování

Metoda MAG využívá stejně jako předchozí metoda kovovou tavící se elektrodu ve formě drátu s totožným svařovacím zdrojem a příslušenstvím. Už z názvu metody (Metal active gas) je patrný rozdíl v použití ochranné atmosféry, která chrání elektrický oblouk. K ochraně svarové lázně se používají tzv. aktivní ochranné atmosféry (podle ČSN EN ISO 14175). Nejčastěji se používá oxid uhličitý nebo směsí argonu s oxidem uhličitým nebo s kyslíkem (bližší popis viz kapitola 4.5). Ochranná atmosféra chrání elektrický oblouk i svarovou lázeň před účinky okolní atmosféry a má funkci přenosu tepelné energie do svarové lázně. Plyn vystupuje ze svařovacího hořáku, obklopuje svarovou lázeň a elektrický oblouk. Pro zachování své funkce je nutné, aby plyn vystupoval z hořáku bez turbulencí kvůli zabránění přisávání okolní atmosféry do oblasti svaru (závisí na správně nastaveném průtočném množství vzhledem k použitým svařovacím parametrům). Dalším faktorem je vliv vysoké teploty elektrického oblouku, kdy dochází k termické disociaci a částečné ionizaci prvků a sloučenin, které se nacházejí ve sloupci elektrického oblouku. Disociační a ionizační energie se vyskytuje při rekombinaci na

poměrně chladném povrchu svarové lázně a má za následek zvýšení hloubky průvaru. Tato funkce je plněna plyny, jejichž molekuly jsou zastoupeny více atomy (CO_2 , O_2 , H_2). Průměry elektrod pro obě metody MIG/MAG jsou stejné, používají se následující: 0,8 – 1 – 1,2 – 1,6 – 2 – 2,4 mm. Svařovací metoda se vlivem stabilní ochrany aktivních plynů používá na široké pole materiálů od nelegovaných/nízkolegovaných ocelí až po vysokolegované oceli. Svařování zajišťuje velký průvar, vysokou proudovou hustotu, vysoký výkon odtavení, bezpečnost proti vzniku pórů a možnost robotizace [9].

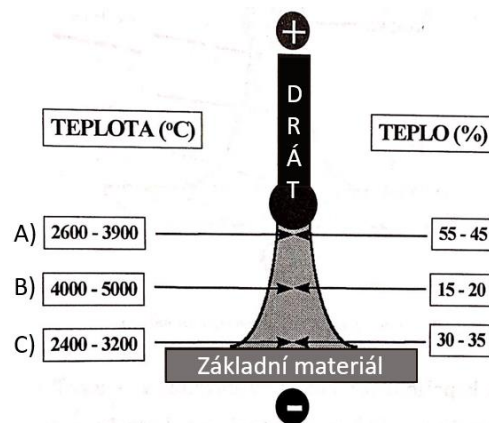


Obr. 6: Schéma koncové části svařovacího hořáku [8]

Na **Obr. 6** je schematicky znázorněn řez hubice hořáku, kdy č. 1 znázorňuje rukojeť hořáku, č.2 izolaci přívodu proudu a závitovou maticovou vložku (žlutá), č.3 trysku ochranného plynu, č.4 kontaktní průvlak hořáku a č.5 čelo hubice [8].

4.3 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk vzniká mezi anodou a katodou v zapojeném elektrickém obvodu a je charakterizován elektrickým výbojem kruhového průřezu, který prochází ionizovaným plynem. Pro udržení plazmy v ionizovaném stavu je nutný dostatečný proud a napětí, které je vyšší než ionizační napětí. Hodnota napětí je v rozmezí 10 až 50 V a proud 10 až 2000 A (podle metody svařování). Elektrický oblouk funguje na principu uvolňování elektronů z katody. Jejich pohyb ke kladnému pólu prochází skrz vodivou plazmu oblouku až po absorpci do materiálu v místě anody. Oblouk dosahuje teploty až okolo 5000 °C v závislosti na použité metodě a dalších faktorech. Rozsah teplot elektrického oblouku je popsán na **Obr. 7** [6].



Obr. 7: Schéma teplotních rozsahů jednotlivých fází elektrického oblouku, který se dělí na: A) anodovou oblast, B) obloukový sloupec, C) katodovou oblast [9]

Elektrický oblouk lze teoreticky rozdělit na následující části [6]:

- a) **Katodová skvrna** – část žhavé katody, která se podle geometrie a teploty katody po povrchu přemísťuje, nebo je stabilní v jednom bodě.
- b) **Oblast katodového úbytku napětí** – jedná se o prostor v blízkosti katody o délce přibližně 0,1 mm, kde nastává ztráta napětí až o 16 V.
- c) **Sloupec oblouku** – největší část elektrického oblouku kuželovitého charakteru, nacházející se mezi katodovou a anodovou oblastí. Sloupec oblouku je tvořen plazmou neboli ionizovaným plynem. Napětí je přímo úměrné vzdálenosti mezi elektrodami, kdy s rostoucí vzdáleností napětí klesá.
- d) **Oblast anodového úbytku** – oblast nacházející se v blízkosti anody, kde dochází k prudkému úbytku napětí.
- e) **Anodová skvrna** – oblast, kde jsou absorbovány elektrony (při přímé polaritě stejnosměrného proudu se nachází na základním materiálu).

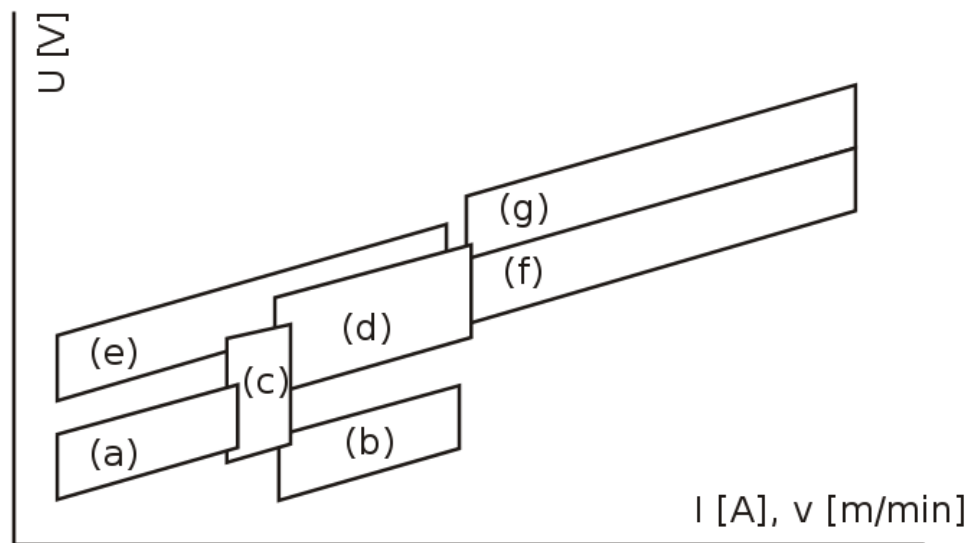
U elektrického oblouku dosaženého pomocí stejnosměrného proudu, lze svařovat obloukem o tzv. přímé polaritě, nebo nepřímé polaritě. Přímá polarita nastává při zapojení elektrody na záporný pól, zatímco základní materiál je připojen na kladný pól. Naopak nepřímá polarita nastává při zapojení elektrody na kladný pól a základního materiálu na záporný [6].

4.4 Přenos kovu z elektrody do svarové lázně u obloukového svařování

Během obloukového svařování pomocí tavící se elektrody (zejména při aplikaci metod svařování v ochranných atmosférách) je přenos svarového kovu závislý na souhrnu sil, které působí na konec tavící se elektrody a svařovacích podmínkách, nastavených svařovacích parametrech, na volbě ochranné atmosféry a charakteristice svařovacího zdroje [7].

Základní dělení přenosů svarového kovu se zvýrazněnými názvy dle normy ČSN EN ISO 4063 viz Obr. 8:

- a) *Krátký oblouk se zkratovým přenosem (**Zkratový přenos**)*
- b) *Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem*
- c) *Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (**Kapkový přenos**)*
- d) *Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem (**Sprchový přenos**)*
- e) *Impulzní bezzkratový oblouk (**Impulsní přenos**)*
- f) *Moderovaný bezzkratový přenos*
- g) *Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu*



Obr. 8: Dělení přenosu kovu v oblouku v závislosti napětí na proudu [7]

4.4.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem

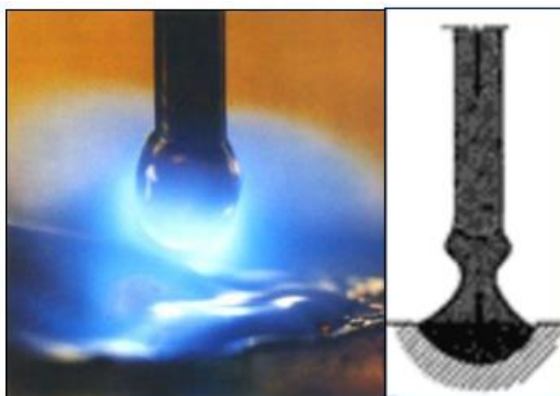
Jak je již patrné z názvu přenosu, dochází k přerušování elektrického oblouku zkratem, během kterého se kov odděluje od elektrody. Obecně se zkratový přenos uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu od 60 do 180 A a napětí od 14 až 22 V. Výkon navaření je v rozmezí 1-3 kg.hod⁻¹. Frekvence kapek a míra rozstříku je přímo závislá na nastavených parametrech svařování. Bylo dokázáno, že při nízkých hodnotách proudu a vysokém napětí je malá frekvence kapek, ale značně velký rozstřík. Počet zkratů lze zvýšit snížením napětí až na 150-200 za sekundu při 14-18 V. Pravidelný zkrat elektrického oblouku má za následek menší tepelné ovlivnění a tím snížení tepelně deformačního účinku na svařovanou součást. Při zkratu v podstatě oblouk zanikne a tím dojde k ochlazení tavné lázně, zároveň se zvýší elektromagnetické Lorenzovy síly, působící kolmo na kapku – čímž dojde k jejímu odtržení (PINCH EFEKT). Tím vznikne opět mezera, prostředí je pořád silně ohřáté a zionizované, a proto dojde k znovu zapálení oblouku a celý proces se opět opakuje [7].

Zkratový přenos je docílen dynamickými vlastnostmi zdroje, které umožňují proudovou špičku vhodné velikosti. Zvuk zmíněného typu přenosu kovu je ovlivněn nastaveným proudem a napětí, kde je optimální rovnoměrný jemný praskavý tón. Známkou vysokého proudu je drsné a nepravidelné praskání, a naopak u vysokého napětí je dosaženo hlubokého měkkého tónu. Přenos kovu lze provádět ve všech ochranných atmosférách za výše uvedených parametrů. Například při užití oxidu uhličitého je nastaveno napětí elektrického oblouku o 2-3 V vyšší než u použití směsi argonu s oxidem uhličitým a naopak o 1-2 V nižší u směsi argonu a kyslíku. Přehled proudových rozsahů pro jednotlivé průměry drátů je zobrazen v **Tab. 3** [7].

Tab. 3: Proudové rozsahy pro svařování zkratovým procesem [7]

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

Zkratový přenos kovu je používán hlavně v oblasti svařování malých tlouštěk základních materiálů, kořenových vrstev tupých svarů, překlenutí širších mezer, svařování polohových svarů a vysokolegovaných ocelí. Na **Obr. 9** je reálný záběr elektrody a svarové lázně spolu se schématickým provedením procesu [7].



Obr. 9: Zkratový přenos kovu [8]

4.4.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Zrychlený zkratový přenos se vyznačuje odlišnými parametry, a to zejména nastavením proudu, které je vyšší (až 200 A) a rychlostí podávání drátu. Napětí odpovídá konvenčnímu zkratovému přenosu (14-25 V). Přenosem je dosažena vyšší hodnota navaření, která činí 3-10 kg.hod⁻¹. Tento přenos je někdy nazýván jako proces RAPID ARC.

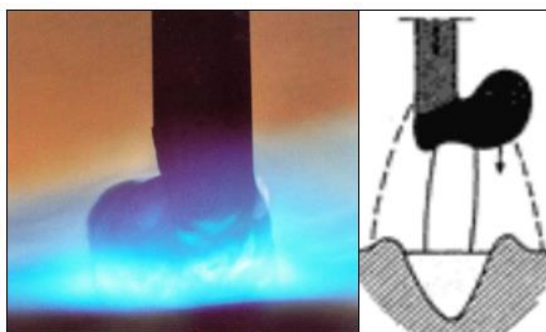
Během procesu je drát tlačěn do svarové lázně vysokou rychlostí a pod relativně velkým úhlem. Vysoká frekvence zkratů má za následek zabránění tvorbě velkých kapek, jak je tomu u konvenčního zkratového přenosu. Z důvodů velké vzdálenosti plynové hubice a malého úhlu od svařovaného materiálu je nutné zvýšit průtok plynu na 20–30 l.min⁻¹. Svařování se zmíněným přenosem kovu umožňuje velký výkon navaření i vysokou rychlost při svařování základního materiálu od tlouštěk 1 mm, kořenových i polohových svarů. Nejvhodnější ochrannou atmosférou je směs Ar+8% CO₂, kde je

dosaženo malého rozstříku bez ulpívání kapek na povrchu svařovaného materiálu a dobrým profilem svarové housenky [7].

4.4.3 Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty

Přenos kovu nazýván také jako kapkový přenos vzniká za nastavených průměrných svařovacích parametrů, kdy se napětí pohybuje v rozmezí od 22-28 V a proud od 190-300 A. během přenosu kovu je konec elektrody (vlivem vysokého proudu) nataven do velké kapky, která je vlivem reakčního tlaku par vydouvána mimo osu drátu. Elektrický oblouk je veden až na konec elektrody, kde je přerušen vlivem magnetických sil. Přerušení má za následek vymrštění kapky kovu do svarové lázně vysokou rychlostí, avšak malou frekvencí kolem 5-40 kapek za sekundu.

Nejvýrazněji se přechodový oblouk projevuje v atmosféře CO_2 , kde dosahuje velkého povrchového napětí, které brání odtržení kapek a tím vlastně znesnadňuje přenos. To má za následek tvorbu nepravidelně velkých kapek a způsobuje velký rozstřík. Zmíněný typ přenosu je vhodný ke svařování středních tlouštěk je však nutné počítat se značným rozstříkem a hrubou svarovou housenkou. Na **Obr. 10** je reálný záběr elektrody a svarové lázně spolu se schématickým provedením procesu [7].



Obr. 10: *Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty [8]*

4.4.4 Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

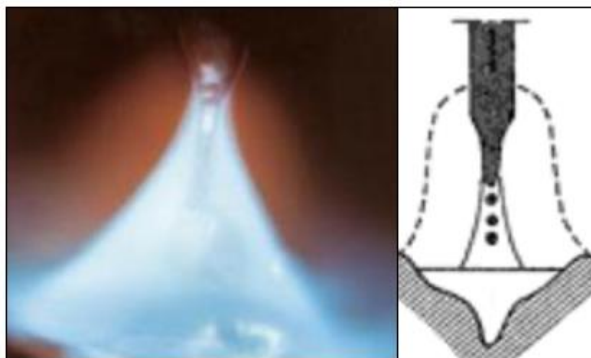
Pro sprchový přenos zobrazený na **Obr. 11** jsou typické hodnoty svařovacího proudu od 200-500 A a napětí 28-40 V. Přenos se realizuje nejčastěji ve směsích plynů Ar + CO_2 , případně v samotných plynech, nejčastěji v Ar při svařování neželezných kovů. V ochranné atmosféře tvořené pouze CO_2 nelze tento typ přenosu realizovat vlivem vysokých hodnot povrchového napětí, které jsou nepříznivé k dosažení drobných kapek kovu. Drobné kapky jsou pro sprchový přenos charakteristické. Tvoří se účinkem magnetického pole, kdy jsou silami ustříženy z elektrody a osově urychleny ve vysoké frekvenci 150-350 Hz směrem do tavné lázně.

Proud je během procesu oddělování kapky konstantní, až na okamžik přerušení můstku, kde je vyzorován mírný nárůst proudu. Oblouk oproti předešlým přenosům kovu nezhasíná, tzn., že nedochází ke zkratům, a tak je vneseno větší teplo do

svařovaného materiálu. Vlivem množství tepla vneseného do materiálu je pro zmíněný přenos charakteristický hluboký závar, který lineárně roste s hodnotou proudu a hladkým povrchem svarové housenky s plynulým přechodem do základního materiálu s téměř žádným rozstříkem. A zároveň má housenka větší šířku. Sprchový přenos dosahuje vysoký výkon navaření od 3-12 kg.hod⁻¹. Elektrický oblouk během svařování vydává pravidelný syčící zvuk. Využití přenosu je u svařování středních a velkých tloušťek, zejména pro tzv. výplňové housenky. Vlivem velikosti tavné lázně je upřednostňováno svařování v základních polohách: ve vodorovné poloze shora (PA podle ČSN EN ISO 6947) pro tupé svary, vodorovné šikmo shora (PB) pro koutové svary a omezeně v dalších polohách. Přehled proudových rozsahů pro jednotlivé průměry svařovacích drátů je zobrazen v **Tab. 4** [7].

Tab. 4: Proudové rozsahy pro svařování sprchovým procesem [7]

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

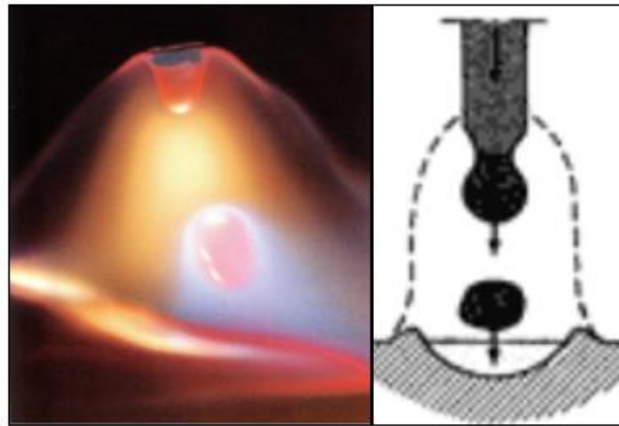


Obr. 11: Sprchový bezzkratový přenos kovu [8]

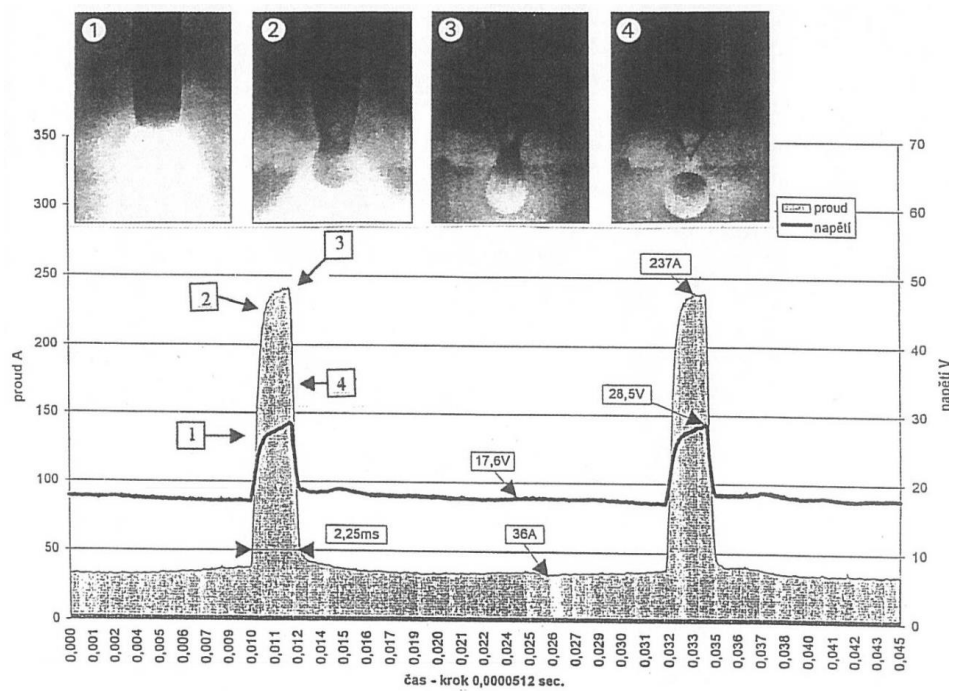
4.4.5 Impulzní bezzkratový oblouk

Zvláštní formou bezzkratového přenosu kovu je svařování impulsním proudem, jehož průběh je zobrazen na **Obr. 12**. Z **Obr. 8** je patrné překrytí oblasti zkratového a sprchového přenosu (ale při vyšších napětích, resp. délkách el. oblouku). Pro impulsní přenos je charakteristické periodické střídání dvou hladin proudu. K udržování ionizace sloupce elektrického oblouku a k vedení proudu je charakteristický nízký proud od 20-50 A. Nastavený impulsní proud (na vyšší úrovni, než je sprchový přenos) je tvarově i časově řízený a v konečné fázi amplitudy dochází k odtavování přídavného materiálu. Elektrický

oblouk tak hoří v celém průběhu amplitudy impulsního proudu a ohřívá tak svarovou lázeň i přídavný materiál [7].



Obr. 12: Impulsní bezzkratový přenos kovu [8]



Obr. 13: Impulsní forma přenosu kovu v oblouku [7]

Impulsní formy proudu patrné z Obr. 13 mohou být pravoúhlé, oblé, nebo zejména u moderních digitálních zdrojů amplitudy proudu různě tvarované v závislosti na druhu přídavného materiálu. Udržení konstantní velikosti kapky kovu je závislé na frekvenci impulsů a nastaveném proudu. Pro optimální velikost kapky za nízkého proudu musí být i frekvence impulsů nízká. Naopak při svařování vysokým proudem je nutná vysoká frekvence impulsů. Správná volba šířky impulsů a frekvence je dána vztahem:

$$f = l/T_p \quad (1)$$

Kde T_p vyjadřuje dobu trvání impulsu a f je frekvence. Z toho plyne, že při frekvenci 500 Hz dosahuje šířka impulsu maximálně 2 ms. Pokud se šířka impulsu zvětší, frekvence se musí snížit. Oblast pohybu frekvence impulsů je nejčastěji od 25-500 Hz, výjimečně 1000 Hz [7]. Ideální je nastavení takové, aby se při každém jednom pulsu odtavila právě jedna kapka tekutého kovu z elektrody, pak jsme schopni přesně definovat množství odtaveného kovu a tím i správně redukovat vnesené teplo do základního materiálu.

4.4.6 Moderovaný bezzkratový přenos

Jak je patrné z **Obr. 8**, moderovaný bezzkratový přenos vzniká za vysokých hodnot napětí a proudu kde dosahuje vysokých výkonů svařování. Proces se vyskytuje i pod obchodním názvem RAPID MELT nebo RAPID ARC. Hodnoty proudu se pohybují od 450-750 A, při napětí od 40-50 V. Vysokému proudu a napětí odpovídá také vysoká rychlost posuvu drátu (20-45 $m \cdot min^{-1}$), zvýšení výkonu odtavení až na 25 $kg \cdot hod^{-1}$. Ochrannou atmosférou je nejčastěji směs $Ar+8\%CO_2$ při průtoku plynu v rozmezí 18-25 $l \cdot min^{-1}$ [7].



Obr. 14: Moderovaný bezzkratový přenos [8]

Na **Obr. 14** je schematicky zobrazen přenos, který je tvořen relativně velkými kapkami kovu, kdy velikost kapky je téměř shodná s průměrem drátu. Kapky jsou odtrhovány s vysokou frekvencí z dlouhého volného konce elektrody velkou rychlostí do tavné lázně. Lázeň je plazmou elektrického oblouku i samotným dopadem kapek tvarována do hlubokého a úzkého závaru. Vlivem vysokých svařovacích parametrů lze svařovat s vysokou rychlostí při velké tloušťce svařovaného materiálu [7].

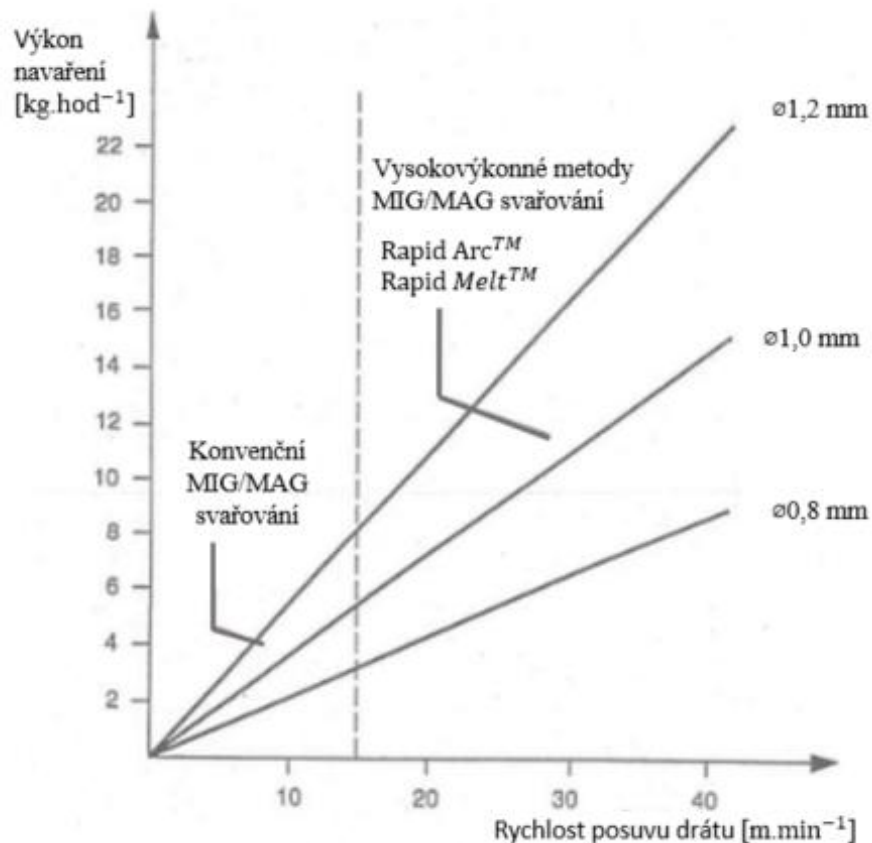
4.4.7 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu je zobrazen na **Obr. 15** a od předešlého způsobu se liší zvýšeným napětím elektrického oblouku za stejné hodnoty proudu. Hodnoty proudu jsou od 450-750 A, avšak napětí může dosáhnout až 65 V a dosahuje se větší volné délky drátu nad 20 mm. U takto vysokých svařovacích proudů musí být nastaveny nejen velké rychlosti podávání, ale i velké rychlosti svařování tzn., že tyto procesy lze obvykle realizovat jenom v kombinaci s automatizací procesu svařování [7].



Obr. 15: Oblouk s rotujícím přenosem kovu [8]

Vlivem velké délky volného konce a vysoké hodnoty intenzity proudu je drát vystaven značnému přehřevu odporovým teplem téměř na teplotu tavení. Intenzivní magnetické pole svými silovými účinky roztáčí konec drátu, který je vlivem odporového tepla ve vysoce plastickém stavu. Odtavující se kapky roztaveného kovu blížící se souvislému proudu taveniny, vytvářejí kuželovou rotující plochu vlivem elektromagnetických sil. Účinky rotujícího oblouku mají vliv na velmi dobrý závar a větší šířku svarové housenky. Vytváří se hluboký a široký svar s miskovitým profilem. Na **Obr. 16** je zobrazeno porovnání výkonu navaření v závislosti na rychlosti posuvu a průměru drátu [7].



Obr. 16: Porovnání výkonů navaření pro konvenční a vysokovýkonné metody [7]

4.5 Ochranné atmosféry

Při svařování metodou MIG/MAG plní ochranné plyny hlavně tyto základní funkce:

- Zabezpečují ochranu konce tavící se elektrody, z té odtavené a elektrickým obloukem přenesené kapky tekutého kovu, svarové lázně a tepelně ovlivněné oblasti v okolí svaru před škodlivými vlivy okolní atmosféry (oxidace, naplynění atd.).
- Vytvářejí vhodné podmínky pro zapálení a samotné hoření elektrického oblouku, přenos kovu v oblouku a stabilitu svařovacího procesu všeobecně [9].

Dalšími vlivy ochranného plynu použitého při svařování MIG/MAG jsou hloubka závaru, šíře (vlivem působení na přenos tepla) a samotný vliv na povrch svaru. Vhodnou volbou ochranné atmosféry lze dosáhnout dobrých mechanických vlastností, metalurgickou strukturu, zvýšit rychlost svařování a také zmenšit rozstřík kovu na minimum, což snižuje náklady pro další technologické úpravy po svařování [6]. Dělení používaných ochranných plynů je znázorněno v **Tab. 6.** a jejich klasifikování v **Tab. 5.**

Tab. 5: *Hlavní skupiny a klasifikace plynů dle normy ČSN EN ISO 14175 [10]*

Označení	Charakteristika plynu
I	<i>Inertní plyny a inertní směsi plynů</i>
M	<i>Oxidační směsi obsahující kyslík a/nebo oxid uhličitý</i>
C	<i>Vysoce oxidační plyny a vysoce oxidační směsi</i>
R	<i>Redukční směsi plynů</i>
N	<i>Plyn s malou reaktivitou nebo redukční směsi plynů obsahující dusík</i>
O	<i>Kyslík</i>
Z	<i>Směs plynů obsahující neuvedené složky</i>

Tab. 6: *Vlastnosti plynných složek dle normy ČSN EN ISO 14175 [10]*

Druh plynu	Chemická značka	Hustota ^a [kg/m ³]	Poměrná hustota ke vzduchu	Bod varu při 0,101 MPa [°C]	Reaktivita při svařování
Argon	Ar	1,784	1,380	-185,9	Inertní
Helium	He	0,178	0,138	-268,9	Inertní
Oxid uhličitý	CO ₂	1,977	1,529	-78,5 ^b	Oxidační
Kyslík	O ₂	1,429	1,105	-183,0	Oxidační
Dusík	N ₂	1,251	0,968	-195,8	Málo reaktivní ^c
Vodík	H ₂	0,090	0,070	-252,8	redukční

^a – Stanoveno při 0 °C a 0,101 MPa (1,013 barů)

^b – Teplota sublimace (teplota přeměny z pevné do plynné fáze)

^c – Reakce dusíku je různá podle různých materiálů

4.5.1 Ochranné plyny pro svařování metodou MIG

Ochranné plyny používající se při MIG svařování jsou inertní plyny: argon, helium, nebo jejich směsi. Argon je plyn dobře ionizovatelný podporující klidný a stabilní oblouk. Další vlastností argonu je tvorba větší šířky svaru na povrchu s postupným zúžením do hloubky průvaru, což není úplně optimální. To je dáno tím, že Ar má nejhorší tepelnou vodivost ze všech plynů, které se používají pro ochranu při svařování. Nicméně má nejnižší ionizační energii (proto se používá jako základ většiny směsných plynů) – což z něj činí nejpoužívanější ochranný plyn obecně. Pro úpravu tvaru svaru se používá směs argonu a helia, nebo argonu a oxidu uhličitého. Vliv helia spolu s argonem je znázorněn na **Obr. 17**.

Tab. 7: Rozdělení skupin oxidačních směsí plynů a jejich procentuální zastoupení jednotlivých složek [10]

Skupina	Číslo	Obsah CO ₂	Obsah O ₂	Obsah Ar	Obsah H ₂
<i>M1</i>	1	0,5-5%		Zbytek	0,5-5%
	2	0,5-5%		Zbytek	
	3		0-3%	Zbytek	
	4	0,5-5%	0-3%	Zbytek	
<i>M2</i>	0	5-15%		Zbytek	
	1	0-25%		Zbytek	
	2		3-10%	Zbytek	
	3	0,5-5%	3-10%	Zbytek	
	4	5-15%	0,5-3%	Zbytek	
	5	5-15%	3-10%	Zbytek	
	6	15-25%	0,5-3%	Zbytek	
	7	15-25%	3-10%	Zbytek	
<i>M3</i>	1	25-50%		Zbytek	
	2		10-15%	Zbytek	
	3	25-50%	2-10%	Zbytek	
	4	5-25%	10-15%	Zbytek	
	5	25-50%	10-15%	Zbytek	

4.6 Vliv procesních parametrů na geometrii svaru

Svařovací parametry jsou charakteristické možností nastavení před procesem svařování a v samotném průběhu procesu. Nastavení parametrů je z velké části závislé na konstrukci zdroje a na zvolené statické a dynamické charakteristice zdroje. Nejvýznamnějšími svařovacími parametry jsou: Svařovací proud I [A] (proudová hustota), svařovací napětí U [V] a rychlost svařování v_S [m/s]. Nastavení těchto parametrů musí být vůči sobě v patřičném souladu.

Zmíněnými parametry lze ovlivnit hodnotu měrného vneseného tepla Q_V do základního materiálu, která vychází ze vztahu [13]:

$$Q_V = \eta_0 \cdot \frac{U \cdot I}{v_s} \text{ [J/mm]} \quad (2)$$

Z výpočtu lze usuzovat velikost tepelně ovlivněné oblasti a velikost deformačních i napěťových oblastí. Měrné vnesené teplo určuje limitní hodnoty při svařování různých typů materiálů. Vyjádřit vnesené teplo lze ze zjednodušeného tvaru rovnice [13]:

$$T - T_0 = \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho}} \cdot \frac{q}{v \cdot s} \cdot \frac{1}{t} \quad (3)$$

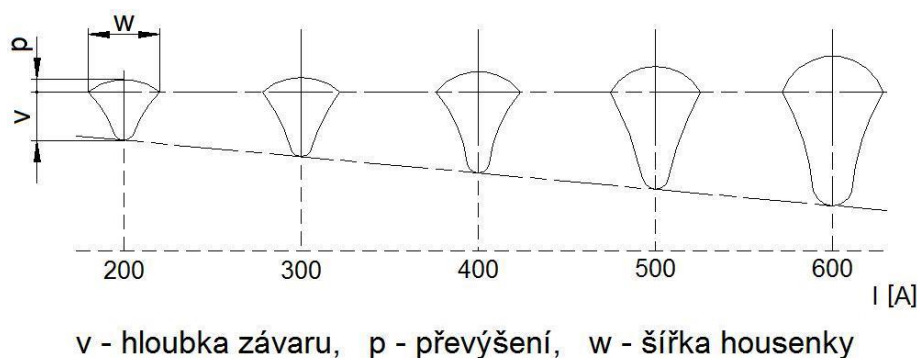
Kde T je teplota zvoleného místa [°C], T_0 počáteční hodnota [°C], q tepelný výkon svařovacího zdroje [$J \cdot A^{-1}$], c tepelná kapacita [$J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$], ρ měrná hmotnost [$g \cdot cm^{-3}$], λ koeficient tepelné vodivosti [$W \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$], v rychlost svařování [$cm \cdot s^{-1}$], s tloušťka materiálu [cm], t čas [s]

Další parametry ovlivňující tvar a rozměry svarové lázně:

- Rychlost podávání drátu
- Polarita elektrody
- Výlet drátu
- Sklon hořáku
- Průtokové množství ochranného plynu
- Tvar a rozměr svarových ploch
- Poloha svařování

4.6.1 Vliv svařovacího proudu

Vliv svařovacího proudu je na tvar průřezu svarové housenky prokazatelně největší. S nárůstem proudu roste také proudová hustota, součinitel roztavení, výkon odtavení a tekutost i samotná velikost svarové lázně. Průběh zvyšujícího proudu ovlivňující tvar svarové housenky je zobrazen na Obr. 18 [7].



Obr. 18: Vliv proudu na tvar svarové housenky [8]

Při zvyšování hodnoty svařovacího proudu za konstantní hodnoty napětí je docíleno výrazného růstu hloubky závaru s relativně malým růstem šířky housenky i převýšení [7]. Důležité je však nepřekročit kritickou hodnotu svarového proudu, kdy nastane nadměrný rozstřík kovu a dále možnost nebezpečí protavení svařovaného materiálu [8].

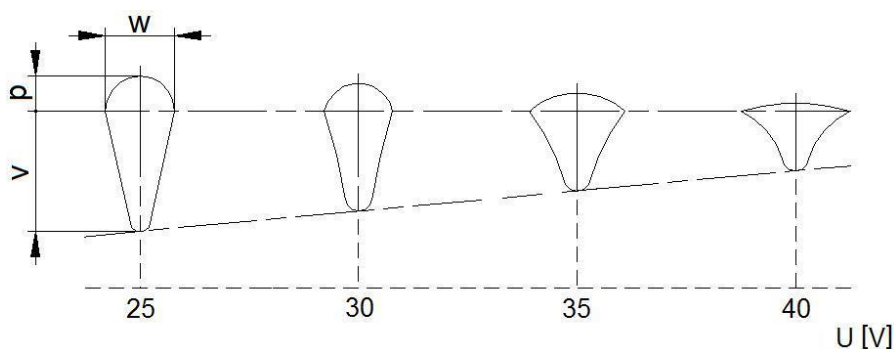
Ovlivnění charakteru přenosu kovu vlivem změny svařovacího proudu [7]:

- *Růst proudu zapříčiní nárůst frekvence kapek kovu*
- *Intenzita proudu ovlivňuje síly, které působí na kapky kovu*
- *U běžných typů přenosů kovů se růstem svařovacího proudu zmenšuje objem kapek kovu*

Volba průměru drátu přidavného materiálu odpovídá faktorům kvality, ekonomiky, případně směrové stability výletu drátu. Menší průměry elektrod mají největší vliv na kvalitu svarové housenky, která je velmi dobrá. Naopak větší průměry elektrod mají nižší pořizovací cenu, tudíž jsou ekonomicky přijatelnější [8].

4.6.2 Vliv svařovacího napětí

Napětí na oblouku je potenciálním rozdílem mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně. Je přímo úměrné délce oblouku, kdežto na výkon odtavování to nemá téměř žádný vliv. Na **Obr. 19** je vidět výrazný vliv napětí na šířku svarové housenky. Hloubka závaru je samotnou hodnotou napětí jen málo ovlivněna [7].



v - hloubka závaru, p - převýšení, w - šířka housenky

Obr. 19: *Vliv napětí na tvar svarové housenky [8]*

Obecná hodnota napětí pro svařování ve směsi plynů je udána ze vztahu:

$$U = 14 + 0,05 \cdot I \text{ [V]} \quad (4)$$

Kde U je pracovní napětí a I_s je svařovací proud. Pro svařování v čistém oxidu uhličitém je nutné hodnotu napětí nastavit o 2-3 V více [7]. Dále má napětí vliv na dosažení optimálních podmínek samoregulace délky oblouku, ustálení pracovního bodu, kontrakční účinky oblouku, které mají vliv na tvar a rozměry oblouku. Hodnotu napětí lze měnit jen v omezeném rozsahu [7].

Tab. 8: Typ přenosu kovu a ochranné atmosféry v závislosti na napětí svařování [7]

Hodnota napětí [V]	Typ přenosu kovu a ochranného plynu
14 – 21	- <i>Zkratový proces v oxidu uhličitém i ve směsných plynech</i>
nad 21	- <i>Bezzkratový proces</i>
22 – 27	- <i>Bezzkratový přenos ve směsi plynů a částečně zkratový přenos s velkými kapkami kovu v oxidu uhličitém</i>
nad 27	- <i>Sprchový přenos kovu ve směsi plynů</i>

Nepřípustně **vysoká hodnota napětí** zvětšuje délku oblouku a propal prvků, roste náchylnost k pórovitosti a rozstřík. Svarová lázeň je značně široká, ale mělká, kdy může růst nebezpečí předbíhání svarové lázně před oblouk. V nucených polohách svaru je velmi obtížná kontrola tavné lázně. Naopak **nízké hodnoty napětí** bývají činitelem nestabilního procesu, vzniku úzkých housenek s velkým převýšením hlavně ve vysokých rychlostech svařování. Nízkým napětím je zamezeno dokonalému natavení svarových hran a při vícevrstevném svařování dochází k častým studeným spojům [7].

4.7 Vznik napětí a deformací vlivem svařování

U všech technologií svařování je působeno soustředěným zdrojem tepla na svařovaný základní materiál, kde dochází k intenzivnímu krátkodobému místnímu ohřevu na vysoké teploty. Vneseným teplem je nataven malý objem kovu, avšak důsledkem tepelné vodivosti je ovlivněna i okolní oblast základního materiálu. Tyto rychlé změny v základním materiálu mají za následek [5]:

- **Fázové přeměny** – tavení základního a přídavného materiálu, tuhnutí a změny modifikace v tuhém stavu
- **Fyzikálně-chemické přeměny** – probíhající ve svarové lázni
- **Změny struktury v oblasti svarového spoje**
- **Změny objemu** – vyvolávající značné vnitřní napětí a deformace

Zmíněné změny jsou silně ovlivňovány druhem základního materiálu (chemické složení, fyzikální vlastnosti, geometrické vlastnosti) a zvolenou technologií svařování (způsob, parametry, postup, metalurgie svařování) [5].

Právě zmíněné vnesené teplo do svařované konstrukce zapříčiní vznik napětí, které při přechodu z elastického stavu do plastického způsobí deformace. Vznik deformací, které vznikají při překročení meze kluzu oceli, má nepříznivý vliv na dodržení předepsaných rozměrů svařenců. S neustále vzrůstajícím tlakem na kvalitu výrobku je nutné co nejvíce snížit výskyt vad svarových spojů. Proto bylo vyzorováno, že čím nižší je hladina napětí při přechodu elastické deformace na plastickou, tím je náchylnost ke vzniku vad ve svařované konstrukci menší. Dalším hlavním vlivem na velikost napětí a deformace je

konstrukční uspořádání svařence (tuhost, tvar a velikost použitých svarových spojů, umístění svarů, parametry svařování a použitá technologie svařování). Obecně lze celkové prodloužení a smrštění svarového spoje vyjádřit vzorcem [5]:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t \quad (5)$$

Kde Δl [mm] je prodloužení nebo smrštění, α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] je teplotní součinitel délkové roztažnosti, l_0 [mm] je původní délka svarového spoje, Δt [$^{\circ}\text{C}$] je gradient teploty.

Materiál, který není tepelně ovlivněn svařovacím procesem, zabraňuje volnému prodloužení ovlivněné části materiálu, kde po ochlazení vznikají ve svarovém spoji velká napětí, dosahující až hladiny napjatosti mezi elastickým a plastickým stavem za teploty 20 $^{\circ}\text{C}$. Vznikající deformace se dělí na deformace příčné, podélné a úhlové [5].

4.7.1 Příčné deformace

Příčinou příčné deformace je smrštění v rovině plechu, která je kolmá k ose svaru. Velikost deformace je závislá na několika faktorech svařování – tepelný příkon, způsob svařování, tloušťka plechu a na tvaru a tuhosti svarového spoje. Příčné smrštění tupých svaru lze vypočítat ze vztahu [5]:

$$l_{př} = 0,1716 \cdot \frac{S_{SV}}{s} + 0,0121l_0 \cdot b_s \quad (6)$$

Kde $l_{př}$ [mm] je délka příčného smrštění, S_{SV} [mm^2], je plocha příčného průřezu svaru, s [mm] je tloušťka svařovaných desek, b_s [mm] je střední šířka svaru.

Se zvětšujícím se úhlem, který spolu svarové plochy svírají, se příčné deformace rovněž zvětšují. Operaci stehování je také nutno věnovat dostatečnou pozornost. Je nutné, aby stehy měly dostatečný průřez, kvůli zamezení poruchy dalším svařováním a zaručily minimální smrštění. Minimalizaci smrštění lze dosáhnout přerušovaným svařováním. U ocelí se zaručenou svařitelností se kvůli zmenšení smrštění zvyšuje rychlost svařování při dostatečném průřezu navařené housenky. Oproti tupým svarům jsou koutové svary vystaveny menšímu příčnému smrštění, kvůli menšímu natavení základního materiálu. Velikost smrštění je závislá na poměru velikosti svaru a tloušťce plechu. Z toho vyplývá, že čím je hodnota poměru nižší, tím jsou smrštění menší [5].

4.7.2 Podélné deformace

Deformace podélné vznikají smrštěním svarového spoje ve směru osy svaru. Princip vzniku je obdobný jako u příčné deformace, kdy volnému prodloužení svarového kovu v podélném směru brání materiál, který nebyl tepelně ovlivněn a po ochlazení na 20 $^{\circ}\text{C}$ dosahuje mezní hranice přechodu elastické deformace deformaci plastickou. Velikost podélných deformací na 1 m jednovrstvého svarového spoje lze vyjádřit vzorcem [5]:

$$l_{pod\tau} = 0,12 \cdot \frac{I l}{100 s} \quad (7)$$

Kde I [A] je intenzita svařovacího proudu, l [mm] je délka svařového spoje, s [mm] je tloušťka svařovaného materiálu. Pro vícevrstvé svařování nutno počítat celkové podélné smrštění dle vztahu [5]:

$$l_{pod} = l_{pod\tau} \cdot \frac{n l_{podI}}{10} \quad (8)$$

Kde pod_I [mm] je podélné smrštění jednovrstvého svaru spoje, n je počet vrstev ve svaru.

4.7.3 Úhlové deformace

Úhlová deformace je velmi podobná příčné deformaci, respektive jejímu speciálnímu typu. Jedná se o příčné smrštění s odchýlením roviny jedné z desek svařového spoje od původní roviny. K tomuto typu deformace dochází nejčastěji u svarů typu V, U a u koutových svarů. Důvod výskytu deformace spočívá v množství navařeného kovu v horních místech svařového spoje, které je větší než množství v kořenové části. Úhlové deformace jsou závislé na úhlu rozevření svařových ploch tupého svařového spoje a na počtu vrstev svaru. U koutových svařových spojů závisí deformace na poměru tloušťky svařového spoje a tloušťky plechu pásnice. Velikost úhlové deformace lze získat ze vztahu [5]:

$$c = l_{pod\tau} \cdot \frac{a b}{30 s} \quad (9)$$

Kde a [mm] je výška svaru, b [mm] je šířka svaru a s [mm] je tloušťka plechu.

4.8 Svařovací zdroje

Na svařovací zdroje jsou kladeny vysoké požadavky dle normy ČSN ISO 60974-1 ve smyslu funkčnosti a hlavně bezpečnosti. Konstrukce musí splňovat platné bezpečnostní normy a předpisy, dále statické a dynamické charakteristiky musí odpovídat danému způsobu svařování a zajistit rychlý nárůst svařovacího napětí po zkratu. Dle potřeby je pro obloukové svařování využíván jak stejnosměrný, tak i střídavý proud, avšak je patrný úpadek zdrojů střídavého proudu ve prospěch zdrojů generujících stejnosměrný proud [6].

Druhy zdrojů stejnosměrného proudu [6]:

- Svařovací agregáty (točivé zdroje)
- Svařovací usměrňovače:
 - s transduktorem
 - s tyristorovým řízením
 - sekundárně taktované
- Inventory

Dané charakteristiky svařovacích zdrojů jsou v největší míře určeny elektromagnetickými stavebními prvky, jako jsou tlumivky (transduktory), rozptylová jádra a různá propojení vinutí transformátorů, nebo tlumivek [6].

Elektromagneticky řízené usměrňovače:

- Transduktorové svařovací usměrňovače
- Svařovací usměrňovače s mechanicky nastavovaným magnetickým jádrem

Charakteristiky plně elektronických svařovacích zdrojů jsou určeny především elektronickými stavebními prvky [6].

Elektronicky řízené usměrňovače [6]:

- Tyristorové svařovací usměrňovače s tyristory v sekundárním obvodu
- Tranzistorové analogové usměrňovače s tranzistory v sekundárním obvodu
- Usměrňovače s taktováním tranzistorů v sekundárním obvodu
- Invertoři s tranzistory, nebo tyristory taktovanými v primárním obvodu

4.8.1 Statická charakteristika

Jedná se o charakteristiku zdroje, která je tvořena závislostí pracovního napětí zdroje na svařovacím proudu za ustáleného stavu a určitém nastavení regulačního stupně zdroje. Hodnoty napětí a proudu jsou získány měřením v elektrickém obvodu včetně zapojeného regulačního zařízení. Koncové body zatěžovací statické charakteristiky určují dva stavy [7].

Prvním stavem je stav *naprázdno*, kdy svařovacím obvodem neprotéká žádný proud a napětí zdroje dosahuje nejvyšších hodnot – napětí naprázdno. S rostoucím proudovým zatížením napětí zdroje klesá [7].

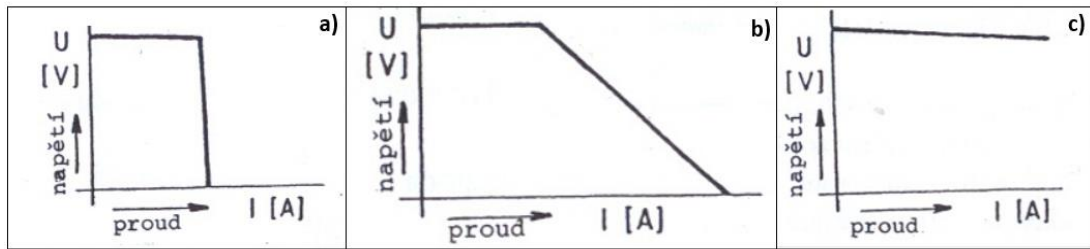
V druhé řadě se jedná o stav *nakrátko*. Elektroda je v kontaktu se svařovacím materiálem a svařovacím obvodem protéká nejvyšší proud (zkratový) za téměř nulového napětí [7].

Charakteristické vlastnosti svařovacích zdrojů se vyhodnocují podle průběhu statické charakteristiky v okolí pracovního bodu, respektive podle strmosti charakteristiky [7].

Dělení zdrojů a jejich charakteristiky [7]:

- *S konstantním napětím* – (tvrdé zdroje), s rostoucím svařovacím proudem se nepatrně mění napětí zdroje, jedná se o plochou charakteristiku viz **Obr. 20 c)**
- *S konstantním proudem* – (měkké zdroje), změna napětí na elektrickém oblouku nemá téměř žádný vliv na svařovací proud. Zmíněný zdroj má strmou zatěžovací charakteristiku viz **Obr. 20 a)**

- **S konstantním výkonem** – s nárůstem svařovacího proudu je znatelný pokles napětí takový, že součin $U \cdot I$ (výkon) lze považovat za konstantní. Zatěžovací charakteristika je mírně klesající (polostrmá charakteristika) viz **Obr. 20 b)**



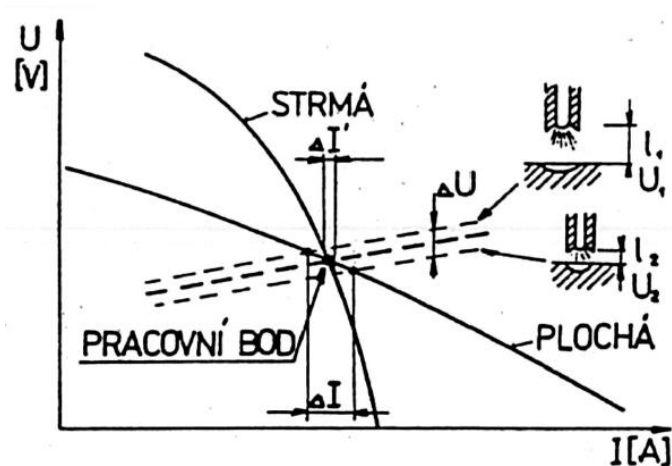
Obr. 20: Schéma statických charakteristik svařovacích zdrojů [14]:
 a) strmá charakteristika, b) mírně klesající charakteristika (polostrmá),
 c) plochá charakteristika

Pomocí regulačního rozsahu lze měnit statické zatěžovací charakteristiky jednotlivých zdrojů. Nastavení charakteristik lze realizovat stupňovitým nebo plynulým přepínáním. Normalizované napětí na elektrickém oblouku je určeno polohou pracovního bodu dané zatěžovací charakteristiky. Pracovní bod (zobrazen na **Obr. 21**) vznikne jako průsečík statické charakteristiky zdroje s přímkou normalizovaných pracovních napětí (resp. statickou charakteristikou oblouku) viz rovnice [7]:

$$U = 10 + 0,04 \cdot I \quad (10)$$

U – Normalizované napětí na oblouku [V]

I – Pracovní svařovací proud [A]



Obr. 21: Schéma popisující vznik pracovního bodu průsečíkem strmé a ploché charakteristiky [8]

Ruční svařování elektrickým obloukem se vyznačuje nejčastěji strmou statickou charakteristikou, kdy velká strmost zatěžující charakteristiky zdroje v okolí pracovního bodu zajišťuje nepatrné změny svařovacího proudu za relativně velkých výchylek napětí na oblouku. Teoreticky by se při dosažení strmosti hodnoty 90° a za kolísání délky oblouku hodnota svařovacího proudu vůbec nezměnila, což se v praxi nevyskytuje [7].

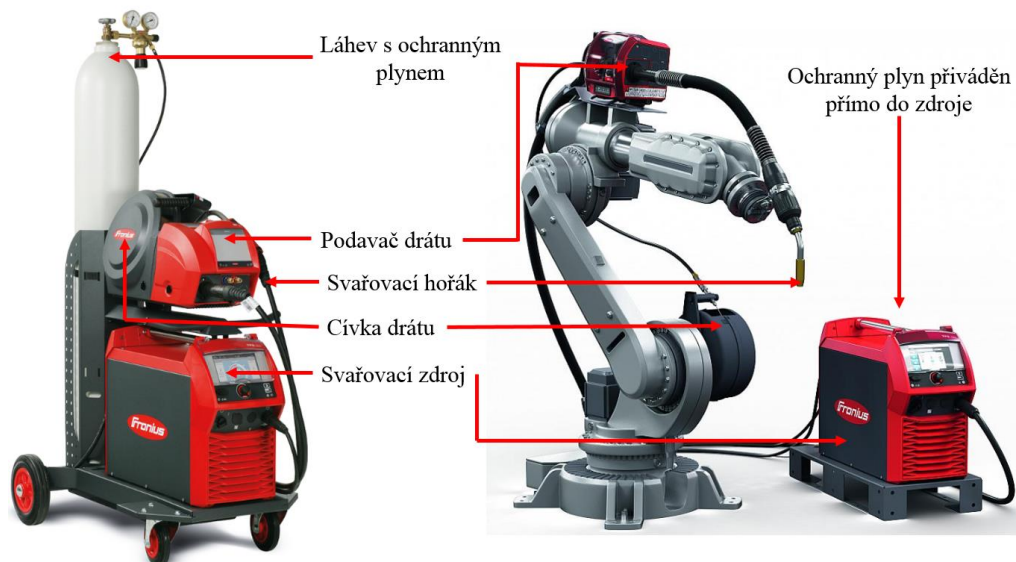
Pro automatické svařování pod tavidlem a poloautomatické svařování v ochranných atmosférách je používána k regulaci délky oblouku zdroje svařovacího proudu plochá statická charakteristika. Délka elektrického oblouku zůstává neměnná od nastavené hodnoty za předpokladu, že rychlost podávání drátu je shodná jako rychlost odtavování. Rychlost podávání drátu je konstantní, kdežto rychlost odtavování elektrody je úměrné velikosti svařovacího proudu. V případě náhlé zkrácení délky oblouku a tím snížení napětí na oblouku, je plochou zatěžovací charakteristikou zajištěno zvýšení svařovacího proudu a tím i samotné rychlosti odtavování elektrody. Tento typ samoregulace funguje i v opačném případě náhlého zvětšení délky oblouku [7].

4.8.2 Dynamická charakteristika

Jak již z názvu vyplývá, dynamická charakteristika zdroje svařovacího proudu promítá náhlé změny hodnot napětí a proudu v průběhu svařování, tedy v závislosti na čase (ne v ustáleném okamžiku jako u statické charakteristiky). Jedná se na příklad o zapalování elektrického oblouku, zkraty nebo přerušení zkratu [7].

4.9 Svařovací agregáty pro metodu svařování MIG/MAG

Metody svařování jsou přizpůsobovány typu výroby svařenců, proto u metod MIG/MAG jsou používány ruční hořáky v poloautomatické i strojové v plně automatizovaném procesu. Každé metodě svařovacího procesu se musí přizpůsobit také konstrukční řešení svařovacího zařízení. Bez ohledu na konstrukci, musí každé svařovací MIG/MAG zařízení obsahovat základní komponenty zobrazené na Obr. 22.



Obr. 22: Svařovací zařízení MIG/MAG [15]

4.9.1 Uspořádání svařovacích zdrojů

V první řadě se svařovací zdroje dělí podle výkonu. Zdroje s nízkým a středním výkonem dosahující 250-300 A jsou kompaktní zdroje s integrovaným podavačem drátu umístěným ve stejné skříni se zdrojem a hořákem chlazeným proudícím plynem. Druhou variantou jsou výkonné zdroje, kde se výkon zdroje pohybuje až do 500 A. Vodní chladič jednotka je umístěna ve stejné skříni včetně zdroje a externě uložený podavač drátu [7].

Dalšími variantami uspořádání jsou zdroje:

- **Stavebnicové uspořádání s odděleným podavačem drátu Obr. 23:** komponenty jsou sestavovány s ohledem na snadnou přístupnost a výměnu. Skládá se ze zdroje (nejčastěji invertorového typu), podavače drátu, chladič jednotky u výkonnějších zdrojů. Sestava je umístěna na pojízdném vozíku pro zajištění větší mobility celého zařízení i s příslušenstvím. Zdroj je propojen s podavačem drátu kabeláží v délkách 1,5/6/10 m. Standartě se však používá kabelové vedení do 4,5 m. Na větší vzdálenosti je podávání pomocí jednoho tlačného podavače obtížné. Podavač drátu je umístěn na zdroji. Kabel k ručnímu hořáku je v rozmezí od 3-5 m [7].



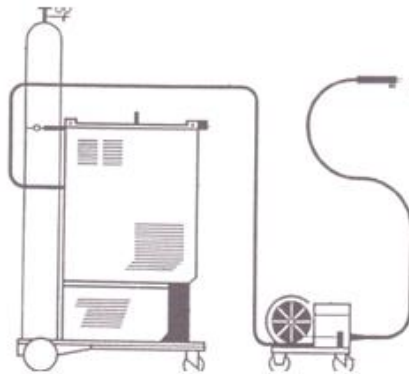
Obr. 23: Klasické stavebnicové uspořádání [7,16]

- **Push-pull uspořádání Obr. 24:** Užití systému PUSH-PULL nastává při požadavku větší délky kabelu k hořáku (6-10 m), nebo při použití drátu nižší tvrdosti (Al a ocel 0,8 -1 mm). Systém podávání drátu je synchronizován mezi podavačem a elektrickým posuvem drátu v hořáku, což zajišťuje rovnoměrnou rychlost podávání, a je uzpůsobeno tak, aby první podavač na zdroji byl tlačný a druhý umístěn ve svařovací pistolí jako tažný. Zmíněný typ uspořádání se nejčastěji používá v uzavřených prostorech a v automobilovém průmyslu [7].



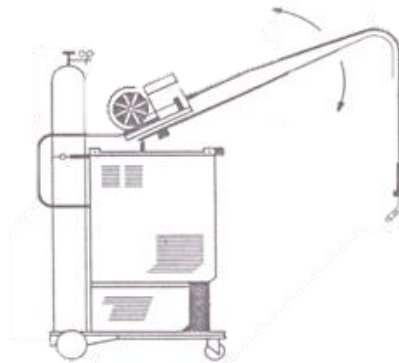
Obr. 24: Uspořádání push-pull [7,16]

- **Zdroj s podavačem na odděleném vozíku nebo užití mezi pohonu Obr. 25:** je používán v případě, kdy je potřeba svařovat ve velké vzdálenosti od zdroje a podavač drátu je tedy umístěn na pojízdný vozík, kterým lze dosáhnout až 40 m od zdroje, jedná-li se o hořák chlazený plynem. V případě hořáku chlazeného vodou je tato vzdálenost zhruba poloviční [7].



Obr. 25: Uspořádání s odděleným podavačem drátu [7]

- **Zdroj s podavačem umístěným na rameni Obr. 26:** Použitím podavače s výkyvným a otočným ramenem je docílena jednodušší manipulace s hořákem a vlivem „narovnání“ kabelového vedení nedochází k velkým ohybům způsobující otěr a zanášení vodícího bowdenu. Typ uspořádání je vhodný ke svařování rozměrných svařenců. [7]



Obr. 26: Uspořádání s podavačem na rameni [7]

4.9.2 Podavače drátu

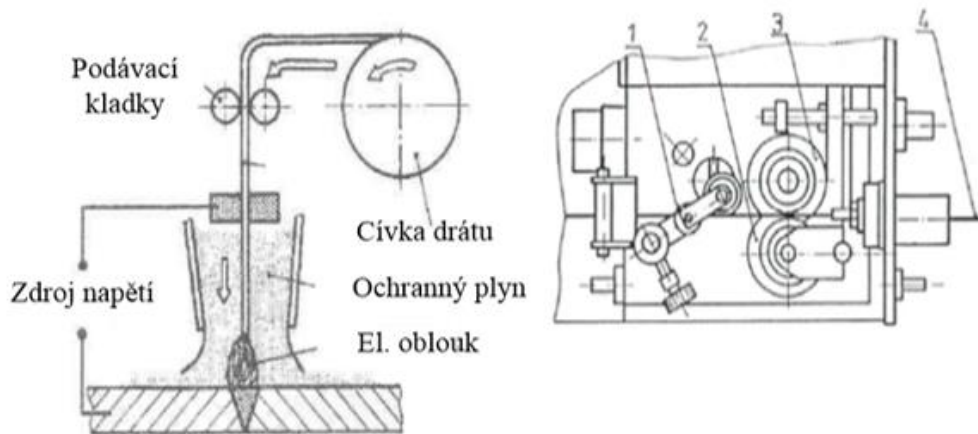
Během svařování metodou MIG/MAG je kladen důraz na nepřetržitý, rovnoměrný přísun materiálu podavačem bez deformací a poškození povrchu. To je zajištěno různými typy podávacích mechanismů. Dělí se podle typu pohonu drátu a podle profilu drážky podávací kladky. Nejčastěji se podavače (viz **Obr. 27**) skládají z uzavřené skříně s čističem drátu zamezující průnik nečistot, kladek a dalšího příslušenství zaručující optimální chod [7].

Druh pohonu drátu:

- Dvoukladkový
- Čtyřkladkový
- S mimoběžnými osami

Profil podávací kladky:

- Lichoběžníková
- Hladká polokulatá
- V drážka
- Vroubkovaná polokulatá

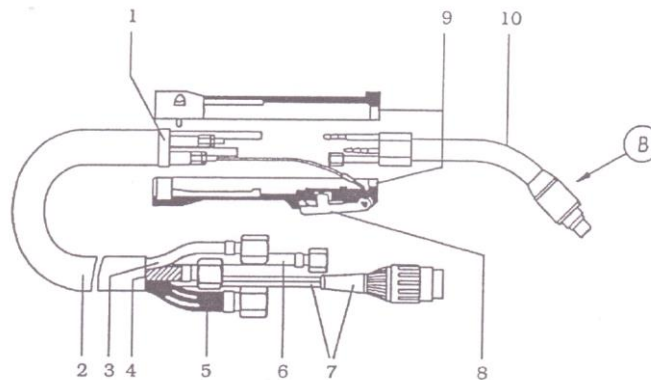


Obr. 27: Schéma podavače drátu na pravé straně-1) Čistič drátu, 2) Podávací kladka hnáná, 3) Podávací kladka hnací, 4) Svařovací drát, na levé straně je základní schéma principu MIG/MAG svařování [7]

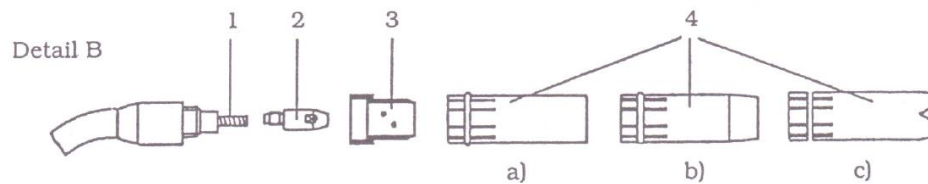
4.9.3 Svařovací hořák

Svařovacím hořákem na **Obr. 28** je zajištěn přívod drátu do místa svaru, napájení drátu elektrickým proudem a je zajištěno proudění ochranné atmosféry pomocí hubice hořáku. Ochranný plyn je zároveň chladicí medium pro svařovací hořáky používané při nízkých výkonech. Naopak za vysokých výkonů je zapotřebí použít nucené chlazení proudící kapalinou v uzavřeném oběhu. Hořák je vybaven tvarovou trubkou, kde na konci je umístěn kontaktní průvlak pro napájení drátu proudem, vyústění trubky pro přívod ochranného plynu a plynová tryska. Kontaktní proudový průvlak je výměnná část, která má za účel rovnoměrné napájení drátové elektrody proudem. Materiál pro výrobu průvlaků je z důvodů dobré elektrické vodivosti slitina mědi, legována chromem pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. Plynová tryska je vyrobena z galvanicky pochromované mědi a její funkcí je usměrnit ochranný plyn kolem oblouku a svarové

lázně. Hořáky se dělí dle užití na strojní s válcovou upínací částí a ruční s rukojetí pro dobrou manipulaci [7].



Obr. 28: Schéma vodou chlazeného hořáku pro MIG/MAG svařování, 1- kroužek, 2-sběrné vedení, 3-vodní hadice, 4-vedení drátu, 5-vodní hadice, 6-plynová hadice, 7-řízení s konektorem, 8-spínač hořáku, 9-rukojeť [7]



Obr. 29: Detailní rozbor hořáku zobrazeného na Obr. 28 (detail B), 1-vedicí drátová nebo teflonová trubice, 2-napájecí průvlak, 3-pouzdro na rozvádění plynu, 4-plynové trysky: a) cylindrická, b) kónická, c) pro bodové svařování [7]

Rukojeť hořáku nese spínač ke spuštění elektrického proudu a u moderních zdrojů ovládání intenzity svařovacího proudu spínačem nebo potenciometrem. Některé svařovací hořáky mají uzpůsobené odsávací trysky kolem plynové hubice pro lokální odsávání zplodin z místa svařování [7].

5 METROLOGIE

Metrologie je technická věda, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, které se týkají měření v širokém spektru průmyslu. V případě strojírenského průmyslu je na kvalitu měření kladen zvláště velký důraz, neboť v dnešní době vedené ke globalizaci hospodářství a velkému využití kooperace, je výroba jednotlivých součástí rozdělena do několika výrobních závodů. Tyto finální výrobky by pak byly bez dodržení kvality a rozměrové přesnosti velmi obtížně zkompletovány.

5.1 Souřadnicové měřicí stroje

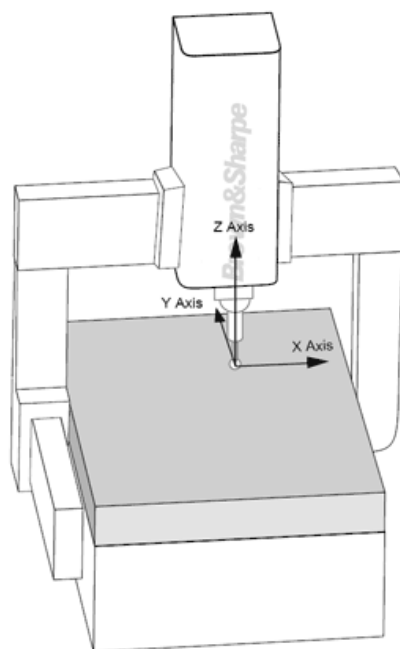
Souřadnicové měřicí stroje jsou jednou z nejrychleji se rozvíjející oblastí strojírenské metrologie. Lze pomocí vhodných aparátů a nastavení měřit velmi přesně složité výrobky v relativně krátkém čase. Zvyšují kvalitu výroby a tím i konkurenceschopnost strojírenských produktů. Neustálé zrychlování výrobních procesů klade stále větší nároky na měřicí techniku. Například průměrný nárůst přesnosti výroby za každých 10 až 15 let je 1 stupeň IT [17].

Souřadnicové měřicí stroje (Coordinate Measuring Machines – dále jen CMM) jsou z hlediska metrologie odvozeny od měřících mikroskopů, ale z hlediska konstrukce od NC frézek. Vývoj CMM musel projít úskalím nepříznivých dílenských podmínek jako je kolísání okolní teploty, chvění a otřesy či vliv chladicí kapaliny, což mělo za následek vznik jednodušších CMM, které mohou obsluhovat i operátoři výrobních strojů. Samotný způsob snímání měřených rozměrů prochází neustálým vývojem. První CMM byly vybaveny dotykovým snímačem. Optické snímací hlavy se začaly prosazovat později. Optika navýšila rychlost měření, avšak snížila přesnost. Tento fakt vedl ke vzniku kategorie multisenzorových CMM [17].

S rozvojem CMM se vyvíjí i samotné využití, kdy už nebylo nutné znát pouze rozměry nového výrobku a vzniklo například odvětví tzv. reverzního inženýrství. Tento obor využívá snímání prostorových souřadnic reálného objektu neznámých rozměrů (opotřebované lisovací formy) k převedení měřené hodnoty po jejich transformaci do digitálního modelu objektu. Uvedené vývojové trendy vedly k zařazení CMM nejen do velkých strojírenských organizací, ale i do středních či malých podniků [17].

5.1.1 Princip souřadnicového měření

Principem měření jsou dva souřadnicové (kartézské) systémy. Jedná se o souřadnicový systém *stroje a dílu*. V první řadě systému stroje se jedná o souřadnice X, Y, Z, kdy X, Y jsou horizontální souřadnice a Z vertikální. Schéma souřadnicového systému je zobrazeno na **Obr. 30** [18].



Obr. 30: Schéma souřadnicového systému stroje [18]

V druhé řadě se jedná o souřadnicový systém dílu. Osy systému jsou totožné se systémem stroje, avšak jejich orientace je vztažena k dílu [18].

5.1.2 Druhy souřadnicových měřících strojů

Jednotlivé typy CMM se dělí podle požadavků výroby od dílenského prostředí až po velké výroby. Dalšími faktory jsou rozměry a hmotnost měřených výrobků. Na **Obr. 31** jsou zobrazeny jednotlivé modifikace CMM.



Obr. 31: Druhy souřadnicových měřících strojů: 1) Mostové CMM, 2) Portálové CMM, 3) Sloupové CMM s vodorovným ramenem, 4) Konzolové CMM [19]

6 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU

Tradičně je kvalita zabezpečena kontrolou výstupních výrobků, kdy jsou nevyhovující jednotky vytrženy z procesu. Jedná se o zabezpečování jakosti velmi neekonomické, neboť je kontrola prováděna tzv. ex post, kdy zdroje na výrobu daného produktu již byly vyčerpány a v případě nevyhovujícího produktu byly vynaloženy zbytečně. Moderním přístupem zabezpečení jakosti je získávání informací během procesu a jejich analyzování s cílem působit na proces tak, aby výsledný produkt měl vyhovující vlastnosti i funkce.

Tento postoj statické regulace procesu (SPC-Statistical Process Control) představuje prevenci výskytu nevyhovujících produktů, neboť na základě včasného odhalení odchylek v procesu od očekávaných hodnot je stále možné realizovat zásahy do procesu s cílem udržení dlouhodobé a přípustné úrovně, nebo celý proces zlepšit [20].

6.1 Variabilita procesu

Neschopnost vyprodukovat dva zcela totožné produkty je dána řadou vlivů působící na proces za relativně stálých podmínek, které nelze ovlivnit. Je možné tyto vlivy analyzovat, studovat a vytvářet takové podmínky, aby se variabilita procesu pohybovala ve svých přirozených mezích, byla stabilní a aby bylo možné předvídat chování procesu i v budoucnu na základě znalostí variabilních mezí. Snížením variability procesu pak nastává [20]:

- Stejnoměrnější výroba
- Menší pravděpodobnost výskytu neshodných prvků
- Menší rozsah kontroly a nižší náklady na kontrolu i zkoušení
- Nižší náklady vyvolané poruchami procesu, produkováním odpadu a jednotek vyžadující přepracování
- Více spokojených zákazníků

Variabilita procesu se dělí na dva druhy, a to na variabilitu vyvolanou *náhodnými příčinami (přirozenými)* a *příčinami vymežitelnými (identifikovatelnými)* [20].

6.1.1 Náhodné příčiny

Příčiny vytvářející široký komplex jednotlivě neidentifikovatelných příčin, které jednotlivě k celkové variabilitě přispívají pouze malou měrou. Pokud je variabilita procesu vyvolána pouze těmito příčinami, lze proces charakterizovat následovně [20]:

- Je reprodukovatelný a jakost jeho produktů je předvídatelná
- Je ve statisticky stabilním stavu (dle normy ČSN ISO 7873 je proces ve statisticky zvládnutém stavu), to znamená, že typ a parametry rozdělení znaků jakosti či parametru procesu, podle kterých hodnotíme variabilitu procesu, jsou známé a neměnné.

Příklady náhodných příčin [20]:

- Chvění stroje
- Vlhkost v ovzduší
- Nestejnorodost materiálu
- Kolísání teploty chladící kapaliny
- Nestejnoměrnost otáčení obrobku

6.1.2 Vymežitelné příčiny

Příčiny, které představují vliv zdrojů variability nepůsobící na proces za běžných podmínek. Vyvolávají reálné změny procesu, jsou patrné v nepřírozeném kolísání údajů, které je pro variabilitu hodnotícím faktorem. Nastanou-li zmíněné příčiny, lze proces popsat jako [20]:

- Nereprodukovatelný s nepředvídatelnou jakostí produktu
- Statisticky nestabilní (není statisticky zvládnutý) to znamená, že typ a parametry rozdělení znaků jakosti či parametru procesu, podle kterých je hodnocena variabilita procesu se v čase mění.

Vliv těchto příčin lze odstranit pouze lokálním zásahem osoby přímo zodpovědné za provádění činností v rámci daného procesu [20].

Vymežitelné příčiny se dále dělí na příčiny *sporadické* a *přetrvávající*. Sporadické příčiny mají náhlý výskyt a zapříčínují krátkodobé změny procesu. Následně se ztrácejí a v budoucnu opět objevují. Změny procesu vyvolány tímto způsobem bývají větší. Příčiny přetrvávající zapříčiní odchylky v parametrech rozdělení regulované veličiny (znaku jakosti nebo technologického parametru) na určitou dobu, podle které lze sledovat a hodnotit chování procesu.

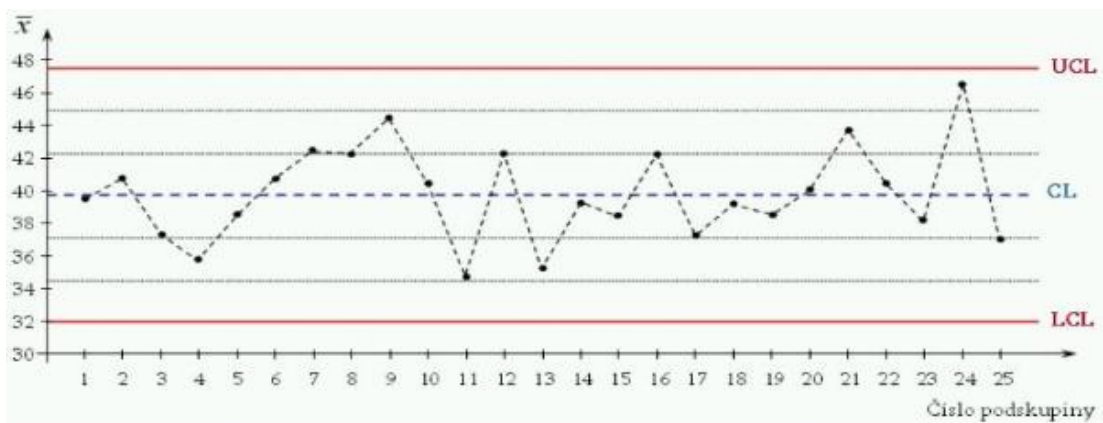
Příklady vymežitelných příčin jsou [20]:

- Poškození nástroje
- Změna seřízení stroje či nástroje
- Změna materiálu
- Nezaškolená obsluha stroje

Realizace neustálého zlepšování procesu spočívá v permanentním monitorování procesu s cílem dosažení a udržení statisticky zvládnutého stavu formou analyzování a odstraňování působení vymežitelných příčin. Chování procesu a jakost produktů jsou tak předvídatelné, tím je možné objektivně hodnotit schopnost plnění očekávání zákazníka a snižovat tak přirozenou variabilitu procesu. Z toho plyne zlepšování výrobního procesu [20].

6.2 Principy regulačního diagramu

Regulační diagram je základním nástrojem statistické regulace, který graficky zobrazuje vývoj variability procesu v čase, využívající principů testování statistických hypotéz. Informace o statistickém zvládnutí procesu jsou dány základními čarami grafu. Jedná se o přímky UCL – horní regulační mez (Upper Control Limit), CL – střední přímka (Central Line), LCL – dolní regulační mez (Lower Control Line). Regulační mez diagramu je základním rozhodovacím kritériem pro provedení regulačního zásahu na základě působení pouze náhodných příčin variability. Hodnoty bodů ležící v poli regulačních mezí dokazují statisticky zvládnutý proces bez nutnosti zásahu do procesu. Pokud jsou naměřené hodnoty bodů mimo regulační mez, jedná se o proces statisticky nezvládnutý a je nutné identifikovat příčiny odchylky a regulovat proces tak, aby došlo k eliminaci vymežitelného vlivu [20].



Obr. 32: regulační diagram s vyznačenými charakteristikami [21]:
UCL-Horní regulační mez,
CL – Střední hodnota, LCL-Dolní regulační mez

7 HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI

Hodnocení způsobilosti procesu poskytuje informace, které jsou pro plánování a samotné řízení jakosti velmi důležité. Používají se indexy způsobilosti, které srovnávají maximálně přípustnou variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti s jeho skutečnou variabilitou dosaženou statisticky zvládnutým procesem. Vyhodnocení způsobilosti procesu musí splňovat určité podmínky. V první řadě musí být proces ve statisticky zvládnutém stavu a další podmínkou je rozdělení sledovaného znaku odpovídající normálnímu rozdělení pro výpočet indexů způsobilosti. Nejčastěji jsou využívány indexy C_p a C_{pk} , což jsou indexy vyjadřující míru potenciální nebo reálné schopnosti procesu. Pomocí již zmíněných indexů lze posoudit potenciál a skutečnou schopnost trvalé distribuce produktů procesu, které vyhovují tolerančním mezím [22].

7.1 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti s atributy normálního rozdělení

Splňuje-li proces podmínky normálního rozdělení, lze proces charakterizovat průměrem a rozptylem, kdy rozptyl je pro posuzování kvality základním činitelem a používá se samostatně. Metoda vyjadřuje rozptýlenost hodnot kolem průměru nebo lze rozptyl počítat vzhledem k mediánu. Velikost rozptylu je velmi obtížné stanovit, neboť závisí na použitých jednotkách. Je tedy nutné počítat variační koeficient, což je podíl směrodatné odchylky a průměru, nebo variační rozpětí, které vyjadřuje rozdíl extrémů [20].

Index způsobilosti C_p

Index vyjadřující míru potenciální schopnosti procesu, jak zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Stanovení indexu je možné pouze tehdy, jsou-li určité oboustranné toleranční meze. Hodnota indexu je vyjádřena poměrem mezi variabilitou hodnot maximálně přípustnou a skutečnou, bez ohledu na umístění v tolerančním poli. Charakterizuje potenciální možnosti procesu, tedy schopnost umístění sledovaného znaku v tolerančním poli. Index způsobilosti C_p lze vyjádřit ze vztahu [22]:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (11)$$

Kde USL vyjadřuje horní toleranční mez, LSL je dolní toleranční mez a σ směrodatná odchylka.

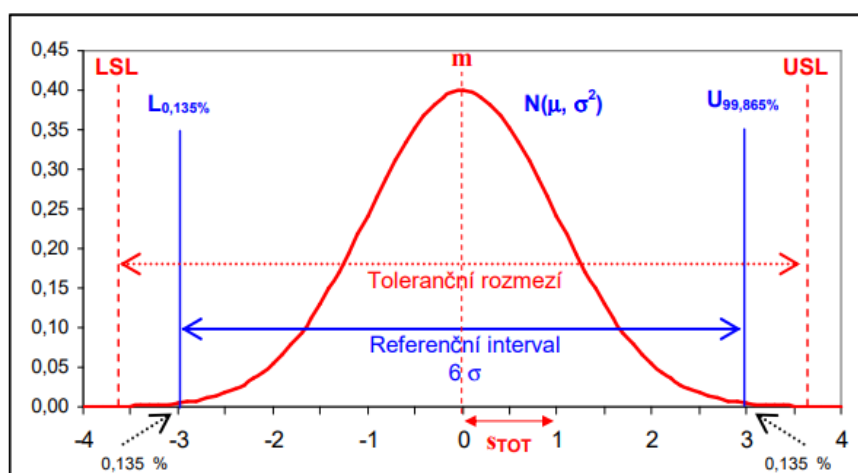
Index způsobilosti C_{pk}

Od již zmíněného indexu C_p se index C_{pk} liší zohledněním variability sledovaného znaku jakosti i jeho polohou vůči tolerančním mezím. Charakterizuje skutečnou způsobilost procesu a také dodržení předepsané toleranční meze. Index lze vyjádřit ze vztahu [22]:

$$C_{pk} = \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma} \right) \left(\frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \quad (12)$$

Kde USL vyjadřuje horní toleranční mez, LSL je dolní toleranční mez, σ je směrodatná odchylka a μ (\bar{x}) je střední hodnota sledovaného znaku.

Na Obr. 33 je schematicky zobrazeno normální rozdělení s vyznačenými tolerančními mezemi a referenčním intervalem 6σ .



Obr. 33: Normálně rozdělený znak kvality [23]

Tab. 9: Tabulka možných dosažených hodnot a jejich vyhodnocení [24]

C_p, C_{pk}	$>$	1	- Proces je způsobilý, neboť výsledek procesu je v tolerančním poli
C_p, C_{pk}	$<$	1	- Proces není způsobilý
C_p, C_{pk}	$=$	1	- Dosazovaná přesnost se rovná požadované přesnosti

Index způsobilosti C_m a C_{mk}

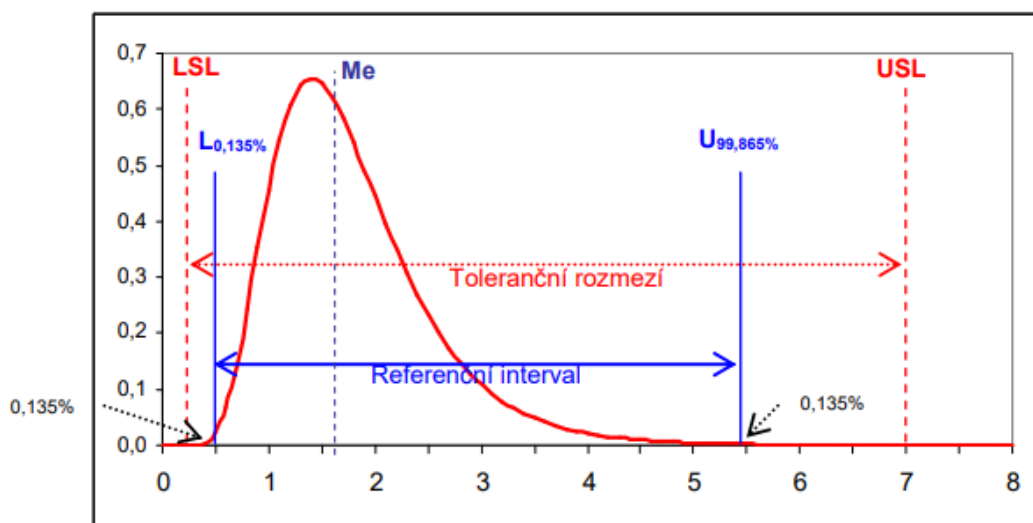
Jedná se o indexy způsobilosti stroje, kdy index C_m vyjadřuje, čeho jsme schopni dosáhnout obdobně jako index C_p . Index C_{mk} ukazuje, čeho bylo ve skutečnosti dosaženo. Cílem zavedení těchto indexů způsobilosti je podchycení vlivů působících na proces a vlivy spojené s výrobním strojem. To znamená, že metoda vyhodnocuje, zda je stroj vhodný pro určitou výrobní operaci k dodržení požadovaných výrobních tolerancí. Vypočet indexů je obdobný jako u indexů C_p a C_{pk} :

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad C_{mk} = \left(\frac{USL - T_0}{3\sigma} \right) \left(\frac{T_0 - LSL}{3\sigma} \right) \quad (13)$$

Kde USL vyjadřuje horní toleranční mez, LSL je dolní toleranční mez, σ je směrodatná odchylka a T_0 je střední hodnota tolerance sledovaného znaku. Stroj je považován za způsobilý, jsou-li indexy způsobilosti \geq požadované hodnotě [25].

7.2 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti s atributy nenormálního rozdělení

Nenormálně rozdělený znak kvality zobrazen na **Obr. 34** je od normálního rozdělení odlišný a je nutno ve vyhodnocování dat postupovat jinak. Indexy způsobilosti C_p , C_{pk} , C_m a C_{mk} nelze získat stejným výpočtem, neboť směrodatná odchylka nenormálního rozdělení nemá vlastnost tzv. inherentní variability, kdy je interval $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ na délce 6σ a pokrývá hodnoty normálního rozdělení s pravděpodobností 0,9973. Interval je tak nahrazen tzv. kvantilovým rozpětím ($U_{0,99865} - L_{0,00135}$). Pro stanovení způsobilosti procesu jsou nejčastěji používány metody Johnsonových transformací, Box-Coxovy transformace a metoda empirických percentilů. Tyto metody přesahují rámec této diplomové práce, ale podrobněji jsou popsány v odborných literaturách [23].



Obr. 34: Nenormálně rozdělený znak kvality [23]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

8 VÝROBNÍ POSTUP VÝLOŽNÍKU

Výložník se skládá z částí vyrobených z nelegované oceli (S355J2) a částí z oceli na odlitky (MS27). Plechy z nelegované oceli jsou řezány a tvářeny ohýbáním do požadovaných rozměrů, které se následně zakládají do přípravku na stehování spolu s odlitky, které jsou používány k uložení do otoče (Swing, zobrazené na **Obr. 5**) a násady. Výrobní proces se skládá ze čtyř stanovišť, na kterých jsou prováděné jednotlivé fáze výroby: stehování, svařování metodou MAG, ať již ruční nebo robotické a dále broušení i čištění.

Tab. 10: Chemické složení materiálu S355J2

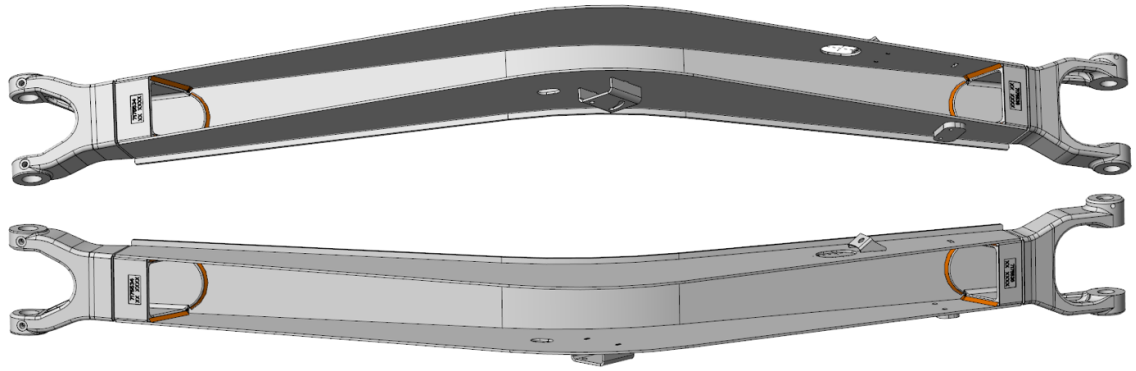
S355J2	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni	Al
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	min.
[%]	0,22	0,55	1,60	0,035	0,35	0,3	0,08	0,30	0,48	0,02

Tab. 11: Chemické složení materiálu MS27

MS27	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Cu	Al	B
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	min.
[%]	0,30	1,6	0,04	0,045	0,3- 0,7	0,50	0,30	0,30	0,02- 0,08	<0,0005

8.1 Stehování výložníku

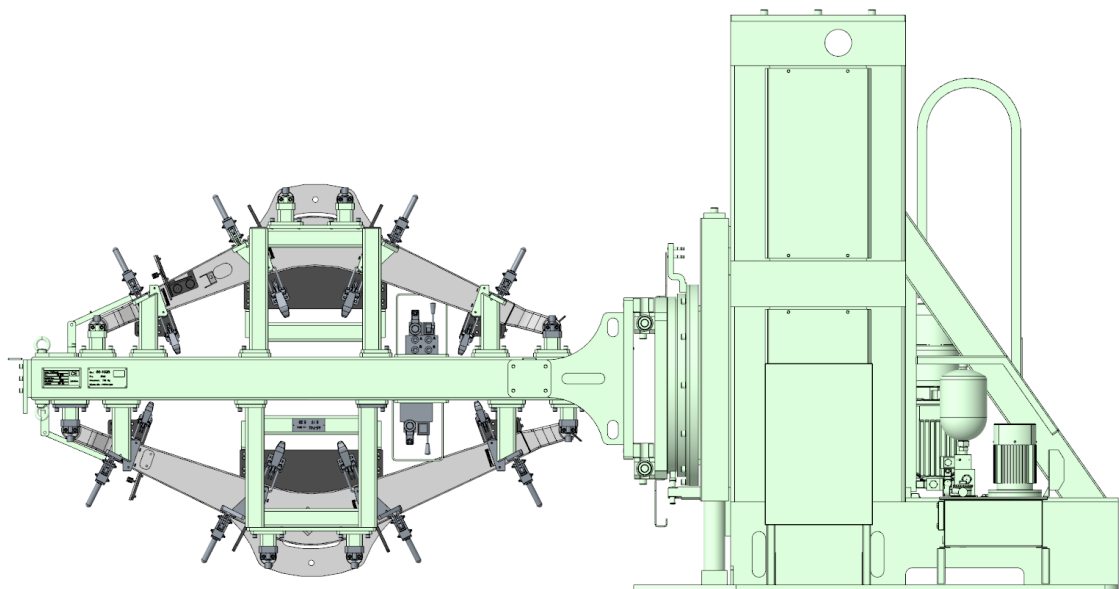
První stanoviště zahrnuje sestavení součástí a podsestav výložníku do přípravku, kde následně probíhá operace stehování, což je druhá výrobní fáze. Na **Obr. 36** je ukázáno polohovadlo s upnutým přípravkem, který zajišťuje dodržení zadaných rozměrů a tolerancí výrobku (výložníku). Otočný stůl obsahuje dvě polohy pro upnutí dvou variant výložníku. Jednotlivé díly jsou upevněny mechanickými rychloupínkami. Příruby jsou upevněny pomocí nastrčených čepů, které jsou uloženy v prizmatech a upevněny hydraulickými upínkami. Nejvýraznější vliv vneseného tepla byl zjištěn z předešlých experimentů v oblasti takzvaných „uší“, což je místo, kde se na výložníku instalují hydraulické válce (viz **Obr. 38**), a proto jsou na kolíky do prostoru mezi „uší“ upevněny rozpěrné válce, které zajišťují správnou polohu návarků „uší“. Po upnutí všech dílů sestavy následuje operace stehování, kdy vznikne celek, kterým lze manipulovat po vyjmutí z přípravku. Stehování se provádí ručním svařováním metodou MAG. Během operace stehování je také nutné svařovat místa v dutině výložníku, která jsou po celkové operaci na stanovišti nedostupná. Vnitřní svary jsou zobrazeny na **Obr. 35**.



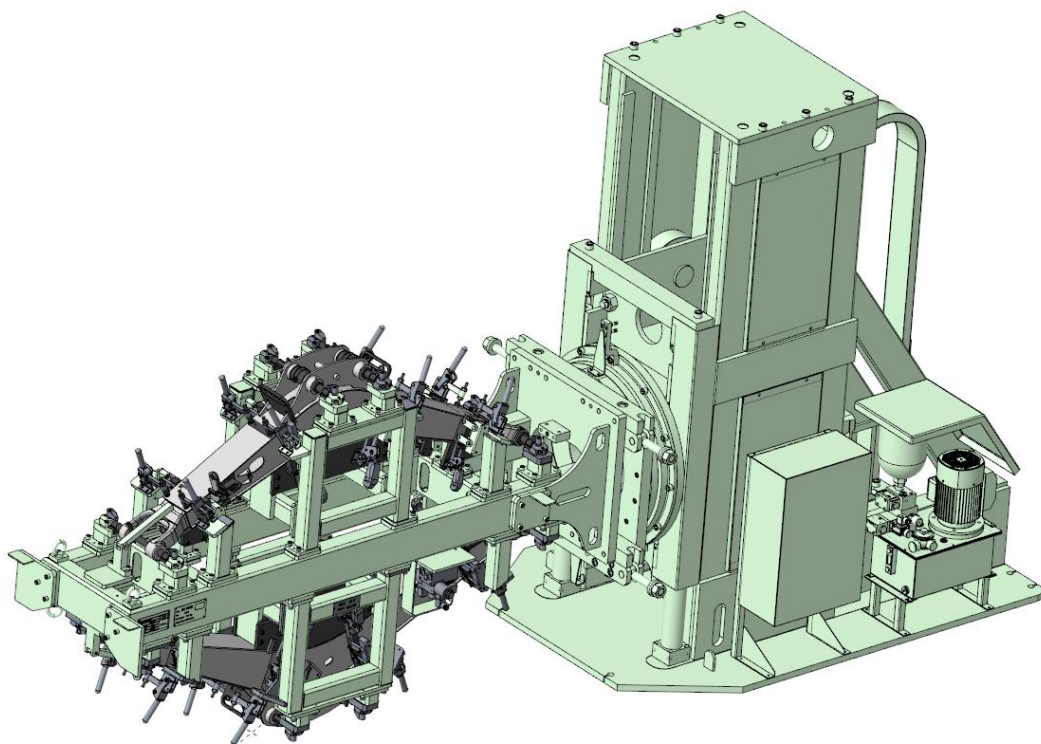
Obr. 35: Zobrazení vnitřních svarů na výložníku před zakrytím horního plechu při stehování

Tab. 12: Nastavené parametry svařování výložníku na stanovišti 1

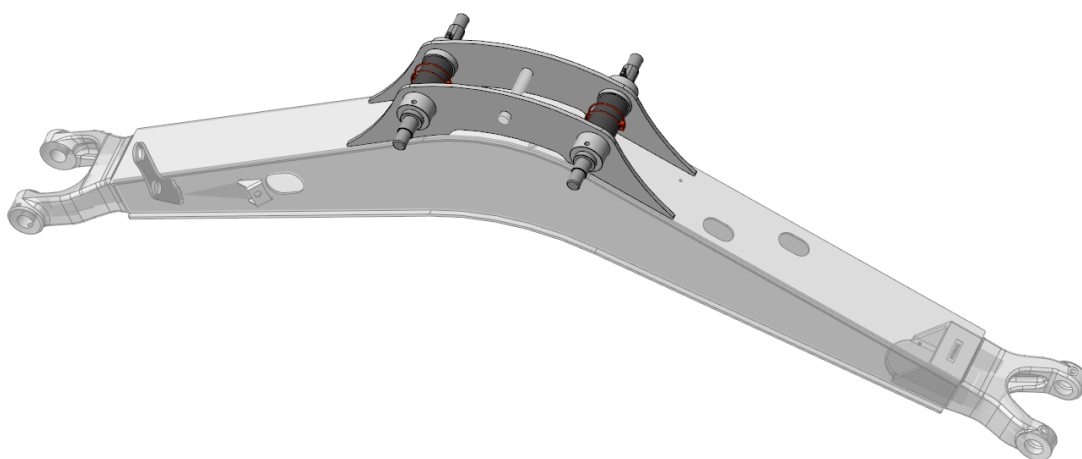
Parametry svařování	
Napětí	26,2 V
Proud	243 A
Čas svařování	16,5 min



Obr. 36: Boční pohled na stanoviště 1, krátký výložník-horní strana a dlouhý výložník-spodní strana



Obr. 37: ISO pohled na stanoviště 1



Obr. 38: Spojené (uši) příruby čepem s rozpěrným válcem, zajištěný závlačkou a klínem

8.2 Robotické svařování výložníku

Následující fáze výrobního procesu je prováděna na stanovišti č. 2, kde je výložník upnut do polohovacího přípravku robota. Robotická buňka disponuje dvěma robotickými pracovišti od dvou různých výrobců. Modernější robotizované pracoviště od firmy Cloos a starší robotizované stanoviště s dvojicí robotů Yaskawa. Roboti zde svařují již nastehované sestavy výložníku. V první řadě jsou svařovány podélné svary, dále příčné, a nakonec „uši“ výložníku, kvůli dodržení co nejlepší sousostí jednotlivých otvorů.

Tab. 13: *Nastavené parametry svařování na stanovišti 2*

Parametry svařování	
Napětí	26,2 V
Proud	243 A
Celkový čas operace pro robotota Cloos	29,5 min
Celkový čas operace pro robotota Yaskawa	18,4 min



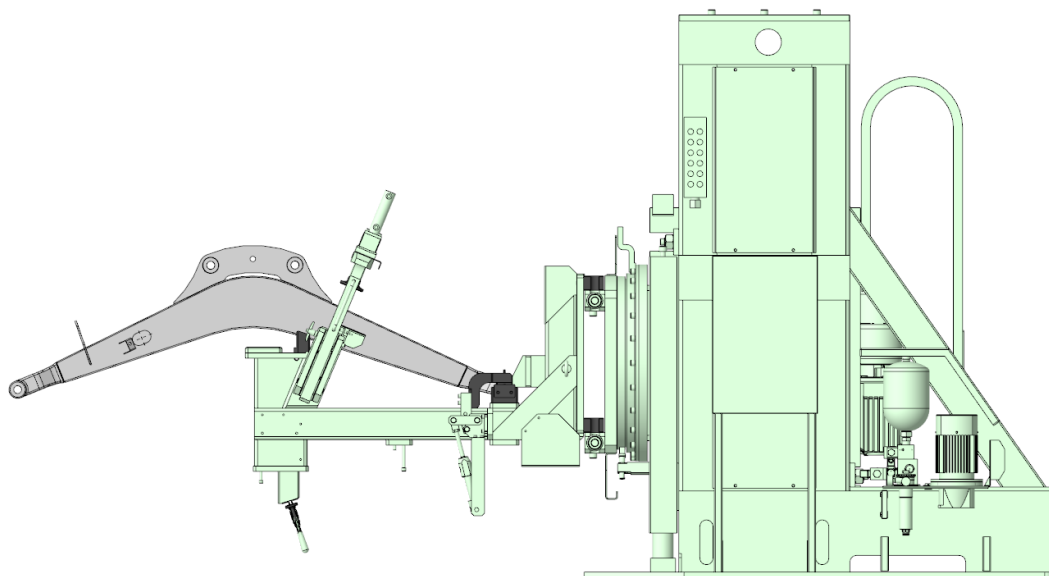
Obr. 39: *Robotická stanoviště pro násady na levé straně robot Cloos včetně polohovacího přípravku a na pravé straně je vyfotografována dvojice robotů Yaskawa*

Tab. 14: Technické údaje robotů Cloos a Yaskawa [26,27]

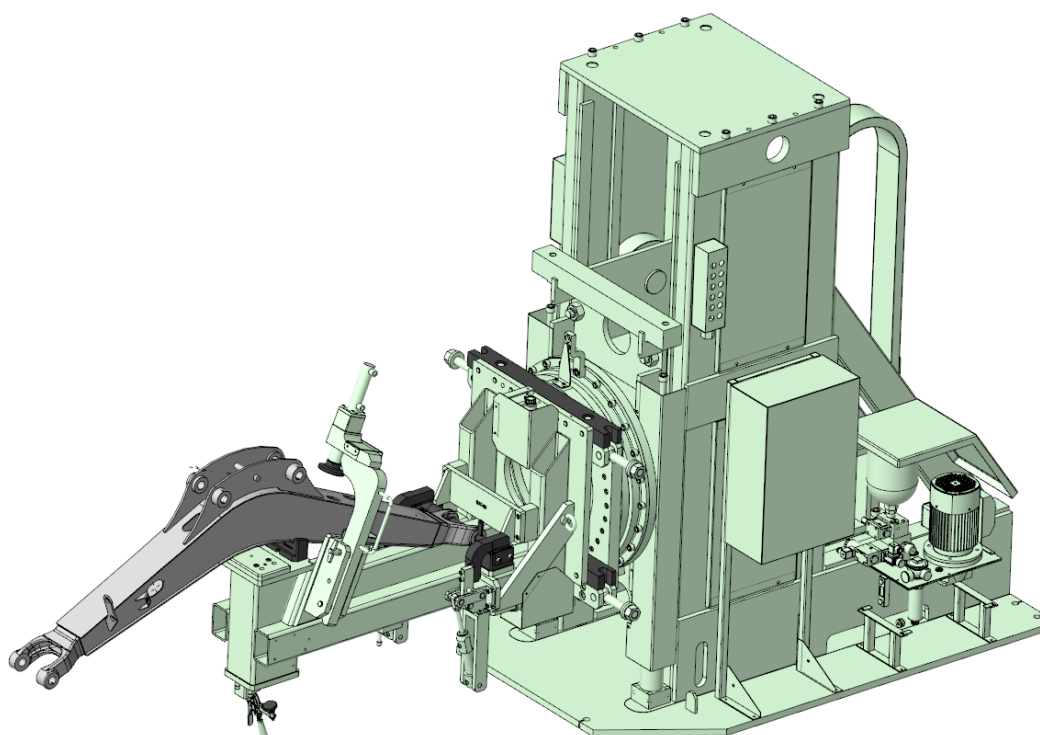
	Cloos QRH 360	Yaskawa MA 2010
<i>Řízené osy</i>	6	6
<i>Nosnost (krajní polohy)</i>	15 kg	10 kg
<i>Maximální dosah</i>	4570 mm	2010 mm
<i>Opakovatelnost</i>	$\Delta \leq s \pm 0,1 \text{ mm}$	0,08 mm
<i>Hmotnost</i>	345 kg	280 kg
<i>Požadavky na výkon</i>	/	2,0 kVA
<i>Vhodnost pro metodu</i>	Obloukové svařování	
<i>Maximální rychlost</i>	Osa 1: 184 °/sec	Osa-S: 197°/sec
	Osa 2: 184 °/sec	Osa-L: 190°/sec
	Osa 3: 177 °/sec	Osa-U: 210°/sec
	Osa 4: 497 °/sec	Osa-R: 410°/sec
	Osa 5: 542 °/sec	Osa-B: 410°/sec
	Osa 6: 528 °/sec	Osa-T: 610°/sec

8.3 Finální operace výroby výložníku

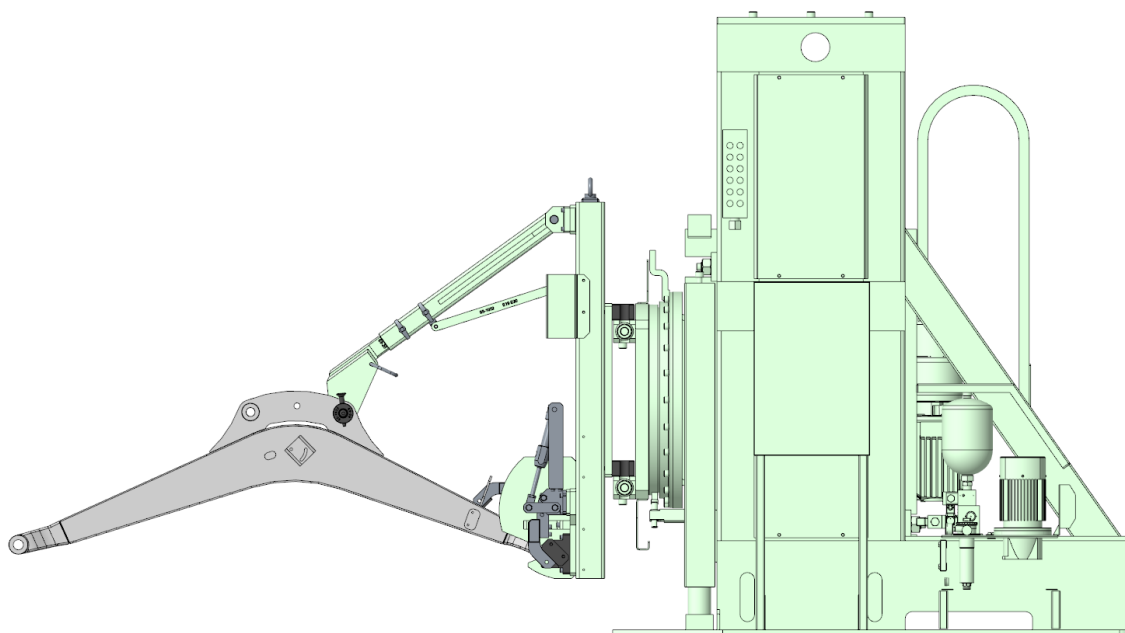
Stanoviště 3 a 4 jsou pracoviště pro dokončovací operace. Finalizuje se konečný celek svařence ručním svařováním menších částí (vedení kabeláže atd.) nebo oprava svaru neodpovídající požadavkům kvality po vizuální kontrole vedoucího operátora. Operátor vkládá pouzdra do přírub a čistí se povrch svařence broušením. Je zde vizuálně ověřena kvalita výrobku a příprava exportu k dalším operacím (lakování, montáž). Na **Obr. 40** a **Obr. 41** jsou zobrazeny schémata stanoviště 3 a na **Obr. 42** a **Obr. 43** jsou zobrazeny schémata stanoviště 4.



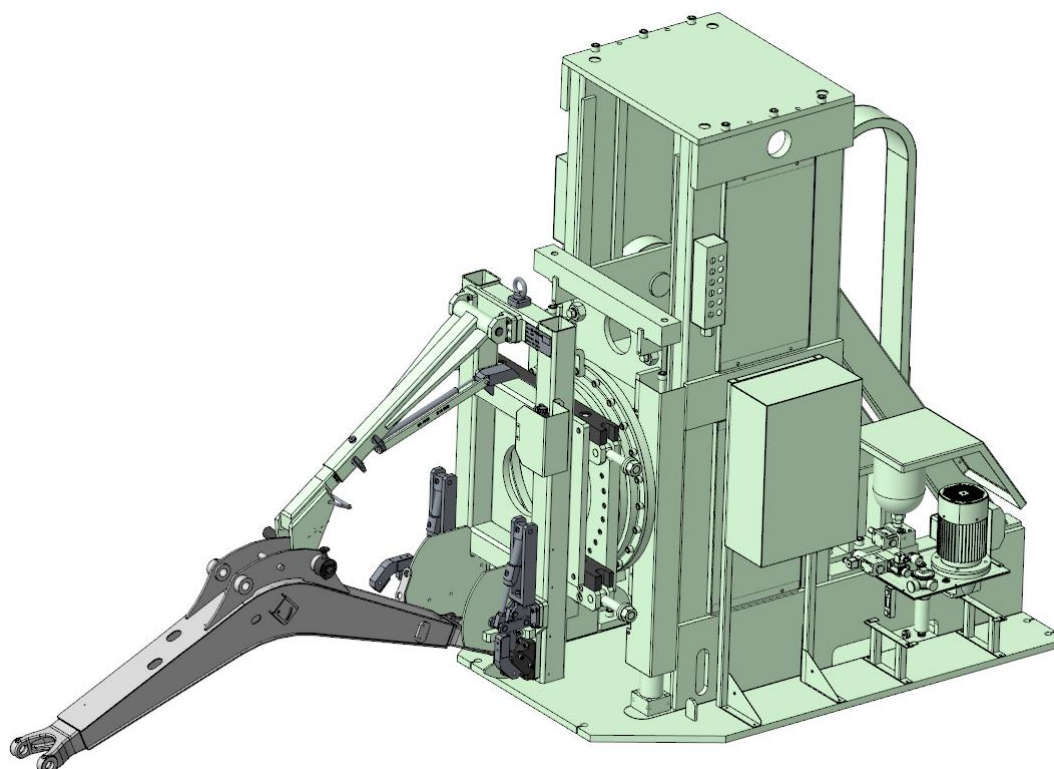
Obr. 40: *Boční pohled na stanoviště 3*



Obr. 41: *ISO pohled na stanoviště 3*



Obr. 42: *Boční pohled na stanoviště 4*



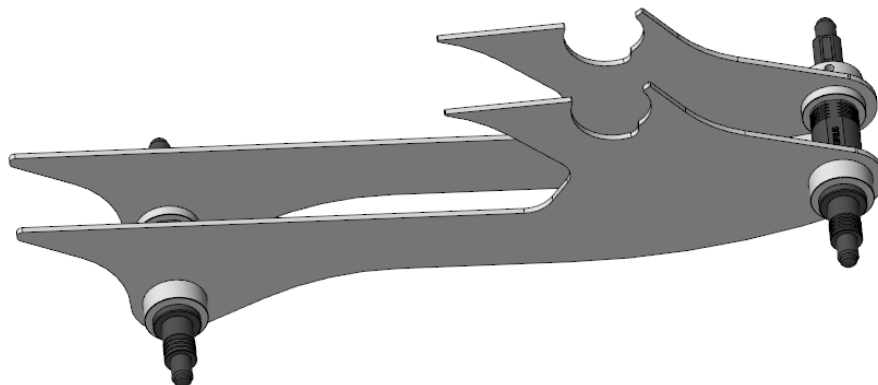
Obr. 43: *ISO pohled na stanoviště 4*

9 VÝROBNÍ POSTUP NÁSADY

Dalším dílem řešené sestavy je „násada“, která je oproti „výložníku“ méně ohybově namáhána, je to však nezbytná součást k dosažení žádoucí kinematiky stroje. Skládá se z plechů z nelegované oceli S355J2 (s chemickým složením viz **Tab. 10**). Násada projde během svařovacích operací čtyřmi stanovišti. Jedná se o pracoviště pro sestavení jednotlivých plechů do přípravku a jejich následné stehování. Dále robotizované pracoviště a poslední dvě finální pracoviště na dovařování a úprava povrchu broušením. Stehování a svařování probíhá ručně i roboticky metodou svařování MAG.

9.1 Stehování násady

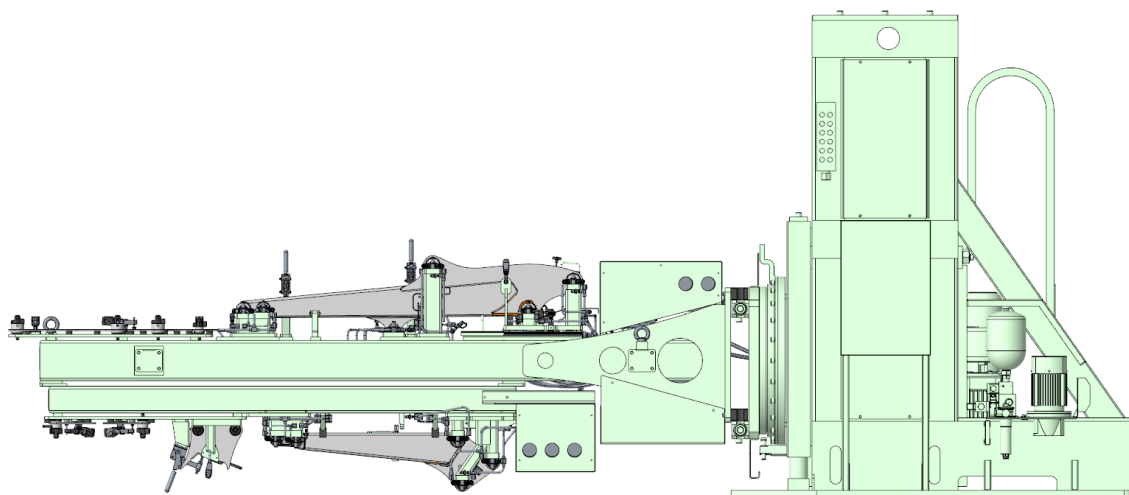
Na prvním stanovišti dochází k zakládání plechů a sestavování podsestav (viz **Obr. 44**) pomocí upínacích čepů, které se uloží do polohovacího přípravku ke stehování (viz **Obr. 46**). Stehováním vznikne jednotný díl, který je následně přemístěn na stanoviště dvě.



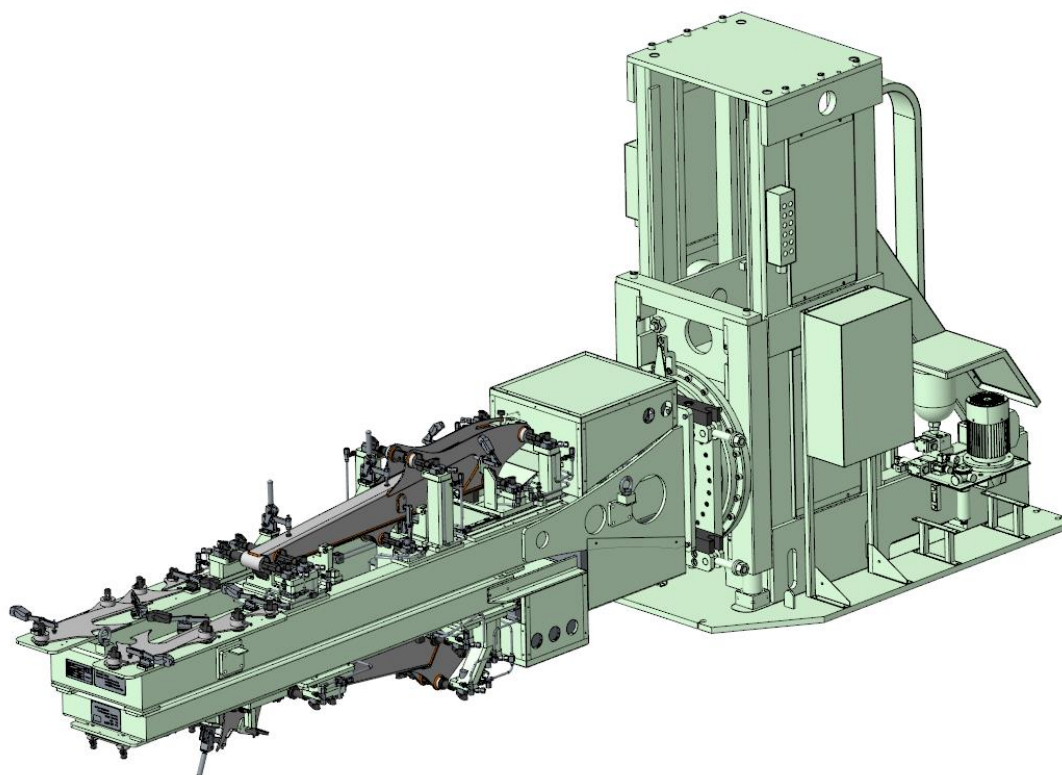
Obr. 44: Sestavená podsestava bočnic spojená čepy s rozpěrnými válci

Tab. 15: Nastavené parametry svařování násady na stanovišti 1

Parametry svařování	
Napětí	26,2 V
Proud	243 A
Celkový čas operace	16,4 min



Obr. 45: *Boční pohled na stanoviště 1, horní poloha - dlouhá a krátká násada, spodní poloha - Cairo násada*



Obr. 46: *ISO pohled na stanoviště 1-výroba násady*

9.2 Robotické svařování násady

Stanoviště 2 je vybaveno dvěma roboty obdobně jako u svařování výložníku. Novým robotem Cloos a dvojicí robotů Yaskawa. Technické specifikace a typy robotů jsou totožné s roboty pro výrobu výložníků (viz **Tab. 14**). Proces robotického svařování je také stejný jako u svařování výložníku. Nejprve dochází ke svařování podélných svarů a následně příčných svarů, aby došlo k eliminaci rozměrových změn vlivem vneseného tepla.

Tab. 16: Nastavené parametry svařování na stanovišti 2

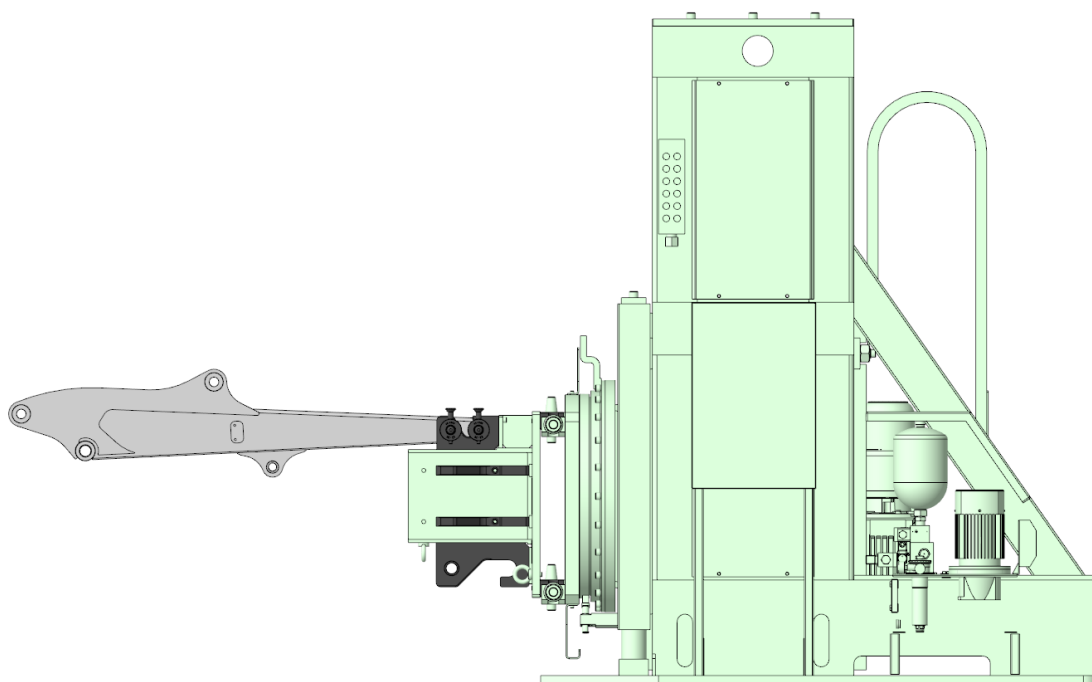
Parametry svařování	
Napětí	26,4 V
Proud	244 A
Celkový čas operace pro robota Cloos	23 min
Celkový čas operace pro robota Yaskawa	14,4 min



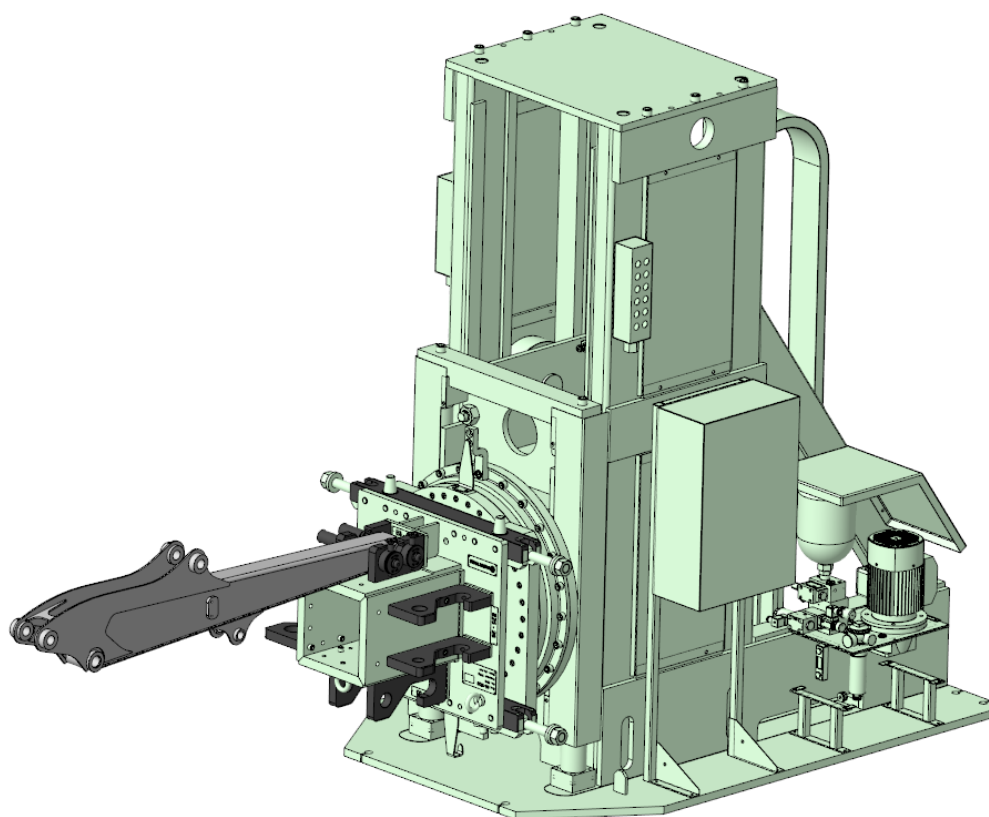
Obr. 47: Robotická stanoviště pro násady na levé straně robot Cloos včetně polohovacího přípravku a na pravé straně je vyfotografována dvojice robotů Yaskawa

9.3 Finální operace výroby násady

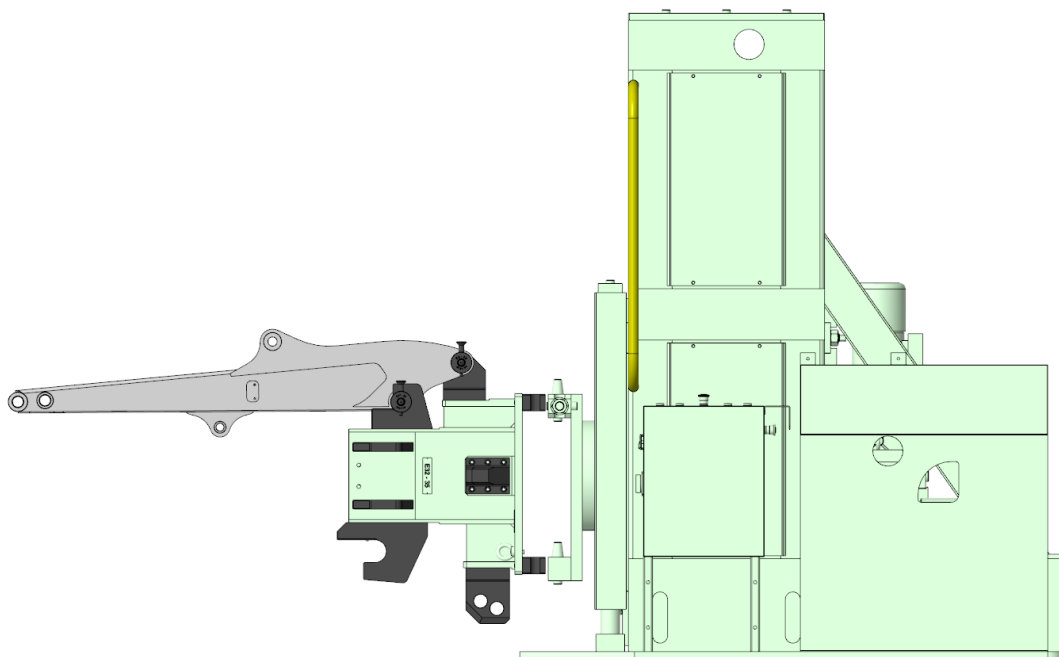
Poslední stanoviště 3 a 4 jsou dokončovací pracoviště (viz **Obr. 48-Obr. 51**). Provádějí se zde dokončovací operace svařování a oprava svarů, které neodpovídají požadavkům kvality, povrchové úpravy broušením, montáž pouzder a dalších komponent. Před expedicí svařence součást projde vizuální kontrolou kvality. Následuje přemístění svařence k dalším technologickým operacím.



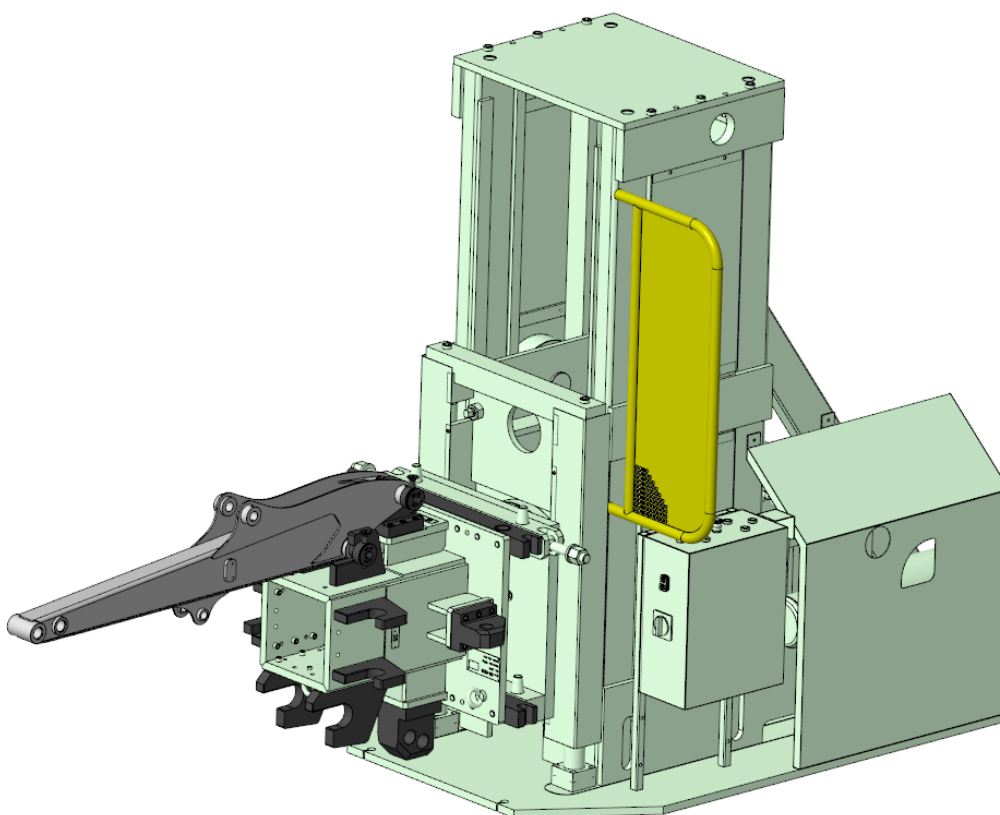
Obr. 48: *Boční pohled na stanoviště 3-broušení zadní části*



Obr. 49: *ISO pohled na stanoviště 3-broušení zadní části*



Obr. 50: *Boční pohled na stanoviště 4-broušení přední části*



Obr. 51: *ISO pohled na stanoviště 4-broušení přední části*

10 MĚŘENÍ VÝLOŽNÍKU A NÁSADY

K experimentu bylo vyčleněno k měření 50 kusů „násad“ a 26 kusů „výložníků“, které byly po svařovacích operacích dopraveny k náměrům pomocí měřicí stanice a 3D ramene.

DEA ALPHA:

Jedná se o flexibilní souřadnicově měřicí stroj (SMS) viz **Obr. 52** pro 3D kontrolu větších rozměrů. Stroj je dodáván s volitelným příslušenstvím jako je vysoce výkonná 3D laserová skenovací sonda a snímací hlava s kontinuálně přestavitelným zápěstím se servomotory a tímto je možné rychlé získání až milionů datových bodů ze složitých tvarů. Součástí stroje je také množství ochranných prvků, které zajišťují ochranu stroje před kontaminací nečistotami ze vzduchu [28].



Obr. 52: Mostový SMS stroj firmy HEXAGON manufacturing intelligence[28]

Vlastnosti a výhody [28]:

- Technologie skloněného mostu na ose X
- Hliníková slitina s nízkou hustotou na hlavním vozíku (osy X a Z)
- Maximální rychlost a zrychlení
- Spojitá interpolace pohybu os (režim FLY)
- Možnost využití bezkontaktních sond s vysokou kapacitou zpracování
- Volitelně použitelné hlavy s kontinuálním zápěstím HH-ACW-43MW
- Sada krytů vedení os jako příslušenství
- Duální systém odměřování osy Y
- Lineární kompenzace teploty
- Z-PINOLA vyrobená z hliníkové slitiny nebo slinutého karbidu křemíku

Tab. 17: *Technické údaje DEA ALPHA [28]*

Měřicí rozsah [mm]		
X	Y	Z
2000-2500	3300-5000	1000-1500-1800
Přesnost: $MPE_E = \text{od } 3.5 + 3.5 L/100$		

CimCore 7530:

Oproti předchozímu stroji se jedná o zařízení ovládané manuálně, které převádí pohyb ze šesti rotačních snímačů na klasický výstup X, Y, Z. Pro vyhodnocení měření je následně použit příslušný software. Rameno je vyrobeno z uhlíkových komponentů, které vynikají výbornou teplotní stabilitou zmenšující vliv teploty na přesnost měření. Kladným faktem je i malá váha stroje, která umožňuje dobrou manipulaci. Přenos dat je uzpůsoben bezdrátově pomocí Wi-Fi [29].



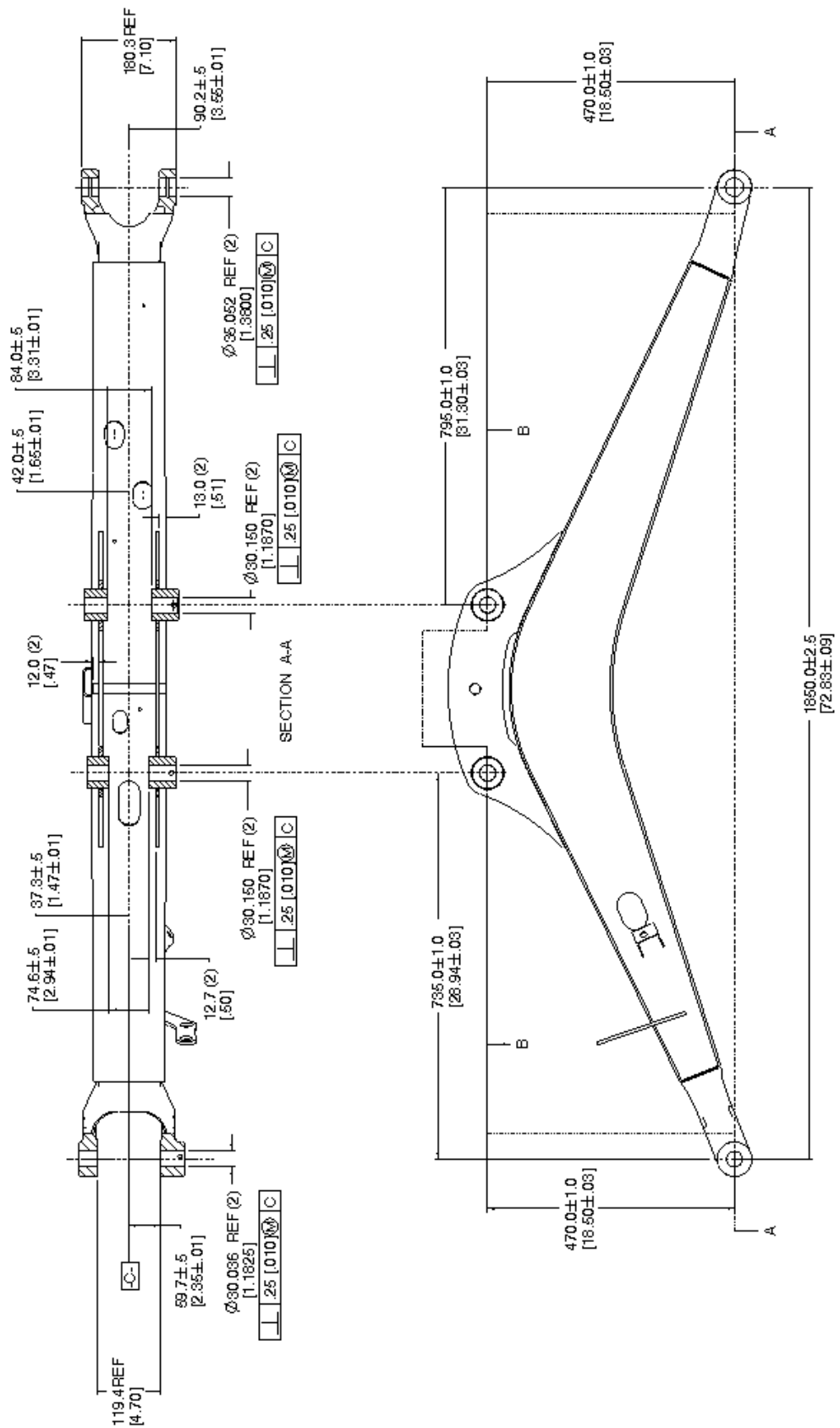
Obr. 53: *Ruční měřicí stroj CimCore 7530 [29]*

Tab. 18: *Technické údaje CimCore 7530 [30]*

Rozsah měření [m]	Opakovatelnost bodu [mm]	Prostorová přesnost [mm]	Hmotnost [kg]
3	±0,033	±0,049	8,3

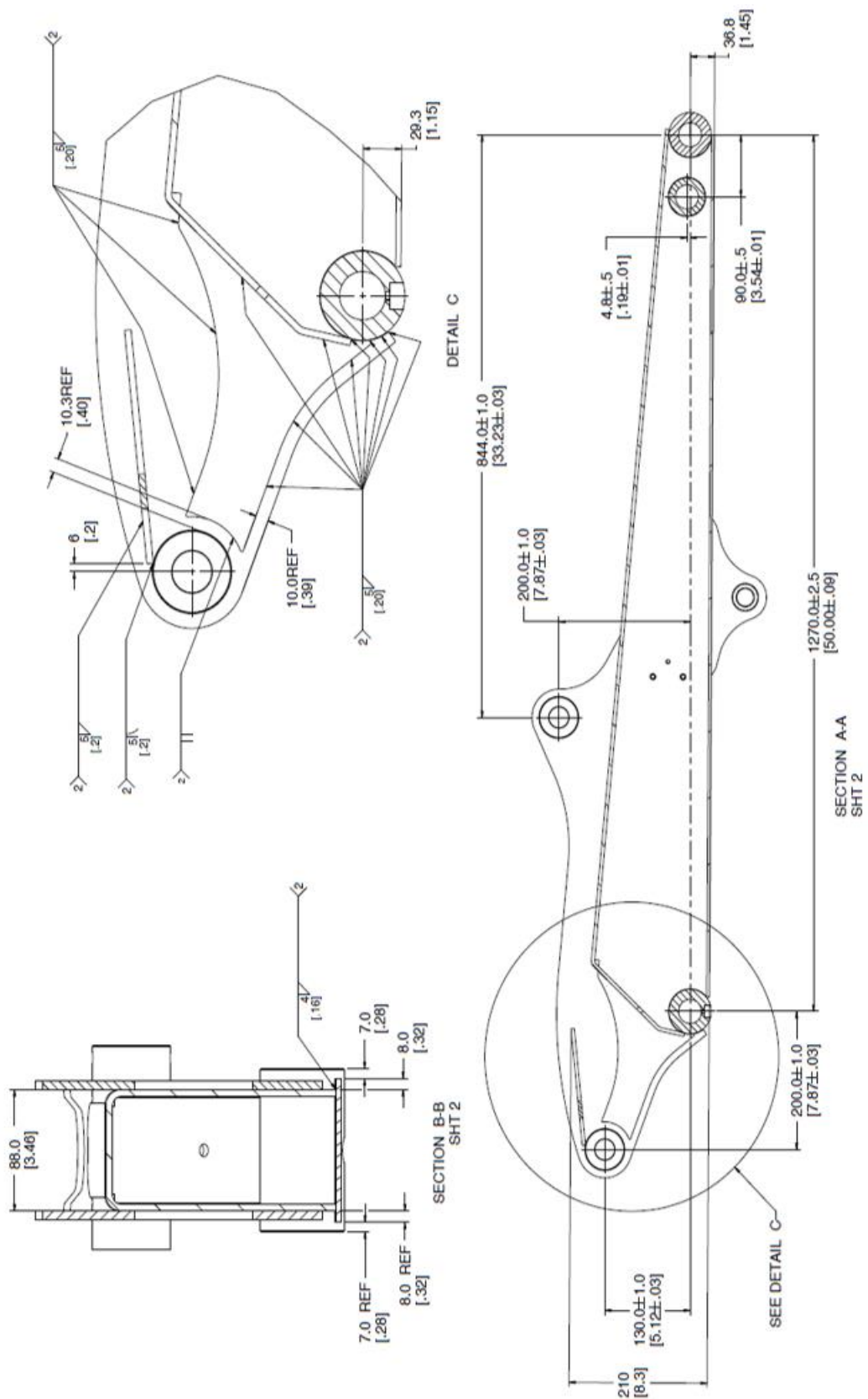
Po náměrech byly díly exportovány k dalším technologickým operacím dle řádného procesu výroby. V první etapě měření bylo cílem zjistit rozměrové odchylky vůči předepsaným rozměrům výkresové dokumentace a vyhodnocení samotné způsobilosti procesu svařování obou dílů. Výsledné hodnoty násady a výložníku byly porovnávány s výkresovou dokumentací a byl zkoumán vliv svařovacích operací na jednotlivé rozměry obou svařenců.

Výkresová dokumentace výložníku



Obr. 54: Důležité rozměry výložníku E20 (celková výkresová dokumentace viz příloha)

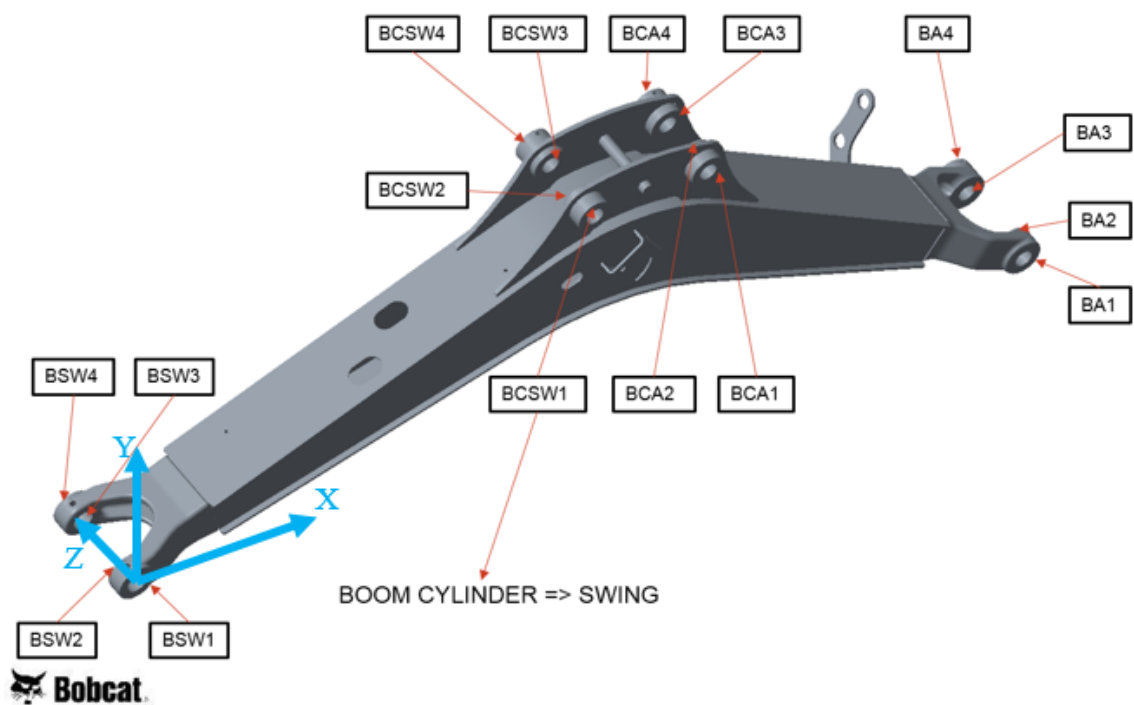
10.1 Výkresová dokumentace násady



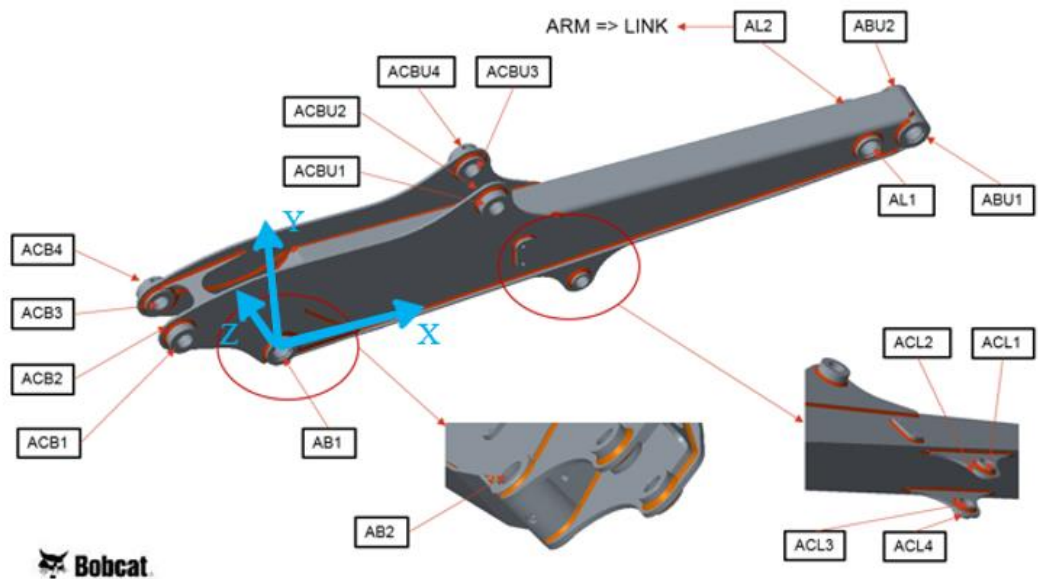
Obr. 55: Důležité rozměry násady E20 (celková výkresová dokumentace viz příloha)

10.2 Značení měřených částí výložníku a násady

Pro lepší předávání informací mezi jednotlivými odděleními bylo navrženo značení návrků ve spolupráci s konstruktéry. Ze značení lze vyčíst první iniciály součástí viz **Obr. 56**, kde se v místě přírub BCSW (boom cylinder) upíná hydraulický válec vycházející z otoče BSW (boom swing) bagru. Na **Obr. 57** je logika značení obdobná, kdy první písmeno označuje násadu (arm) a další písmena umístění odkud kam se který díl soustavy upíná. Značení návrků bylo zavedeno kvůli jednotnosti při měření a následnému vyhodnocení. Z inženýrského a konstruktérského posudku bylo vydefinováno několik bodů mající největší vliv na danou problematiku vyosení lžice bagru, ačkoli byly měřeny všechny vyznačené body. Na výložníku zobrazeném na **Obr. 56** se jedná o body BSW 1-4, BA 1-4 a v případě násady na **Obr. 57** o body AB 1-2, ACBU 1-4, AL 1-2, ABU 1-2.



Obr. 56: Značení návrků výložníku (dlouhý) E20



Obr. 57: Značení návarků Násady (dlouhé) E20

10.3 Naměřené hodnoty výložníku

Z naměřených hodnot rozměrových odchylek byly vybrány hodnoty s největším podílem na vyosení celé sestavy „násada – výložník“. Nulový bod kartézského souřadného systému byl zvolen v bodě BSW1, ke kterému byly vztaženy vzdálenosti ostatních bodů. Největší pozornost byla věnována bodům BA 1/2/3/4 v rovině x (zobrazena na Obr. 56), ve kterých je upínána násada a jedná se o body s největším podílem na případném vyosení sestavy. Měření bylo následně vyhodnoceno v programu QDAS-DESTRA.

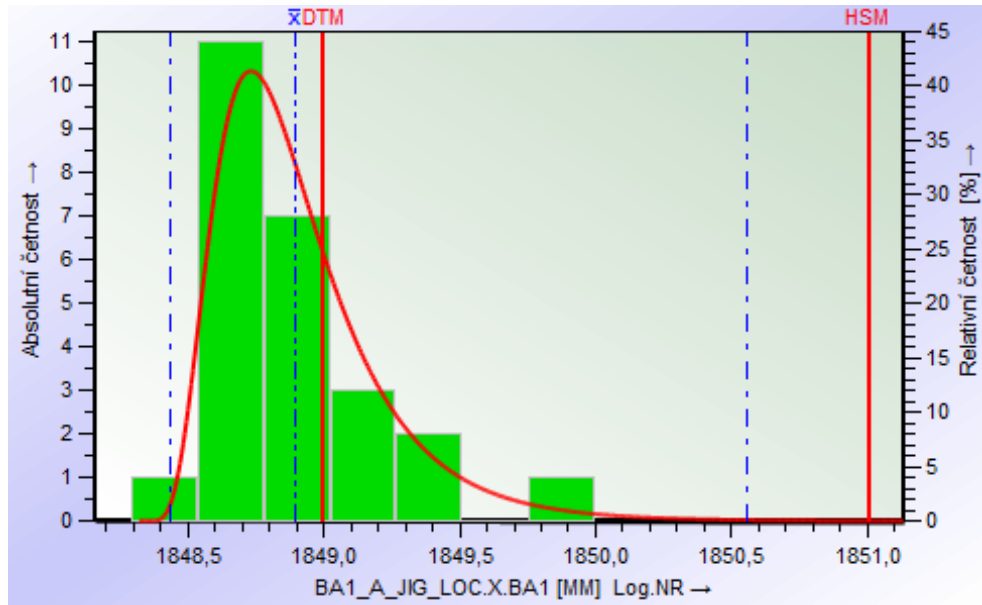
10.3.1 Měření bodu BA v ose x

V Tab. 19 jsou vypsané naměřené hodnoty v podobě průměrných hodnot \bar{X} , směrodatné odchylky s a koeficienty C_m/C_{mk} .

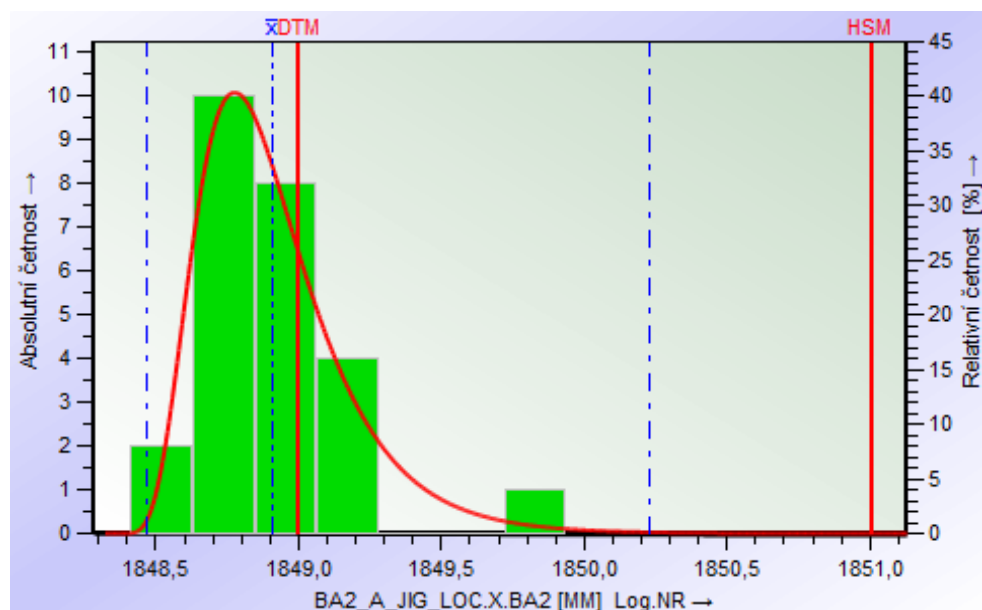
Tab. 19: Naměřené hodnoty pro body BA 1-4 v rovině X s barevným rozlišením, zda průměrná hodnota splňuje toleranční pole = zelená/nesplňuje=červená)

Znak	\bar{X} [mm]	Rozdíl extrémů	s	C_m	C_{mk}
BA1	1848,898	0,861	0,306	0,94	-0,41
BA2	1848,906		0,264	1,14	-0,36
BA3	1849,759		0,206	1,62	1,23
BA4	1849,679		0,231	1,44	0,98
BA	1850,0±1	Dle výkresové dokumentace			

Na histogramech jsou zobrazeny distribuce dat, kdy na **Obr. 58** a **Obr. 59** je zobrazeno nenormální rozdělení se značnou plochou mimo toleranční pole DTM, HSM (DTM-Dolní Toleranční Mez, HSM-Horní Specifikační Mez), které je přednastaveno dle starší revize výkresové dokumentace na ± 1 mm, z čehož vyplývá proces nezvládnutý, ale podle nové aktuální revize výkresové dokumentace je toleranční pole $\pm 2,5$ mm a tím pádem jsou hodnoty v tolerančním poli a proces je zvládnutý.

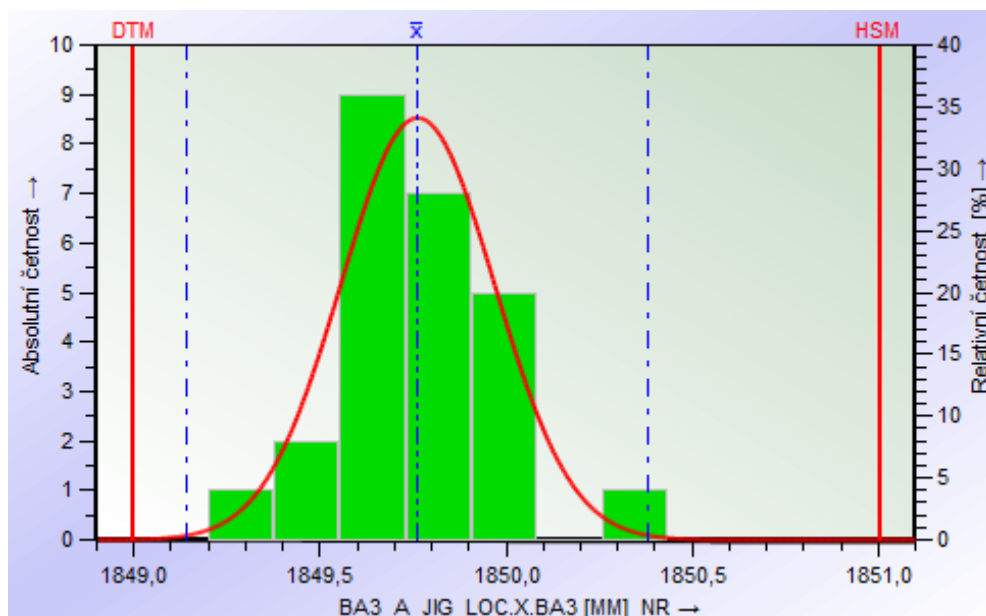


Obr. 58: Histogram bodu BA 1, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 1 v mm

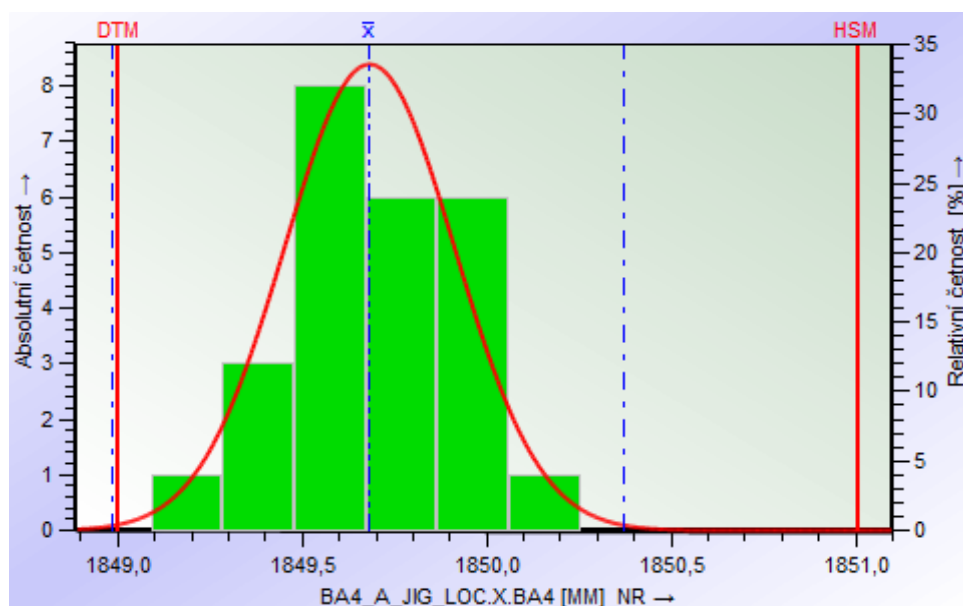


Obr. 59: Histogram bodu BA 2, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 2 v mm

Histogramy zobrazeny na **Obr. 60** a **Obr. 61** zobrazují normální rozdělení s distribucí dat v tolerančním poli.



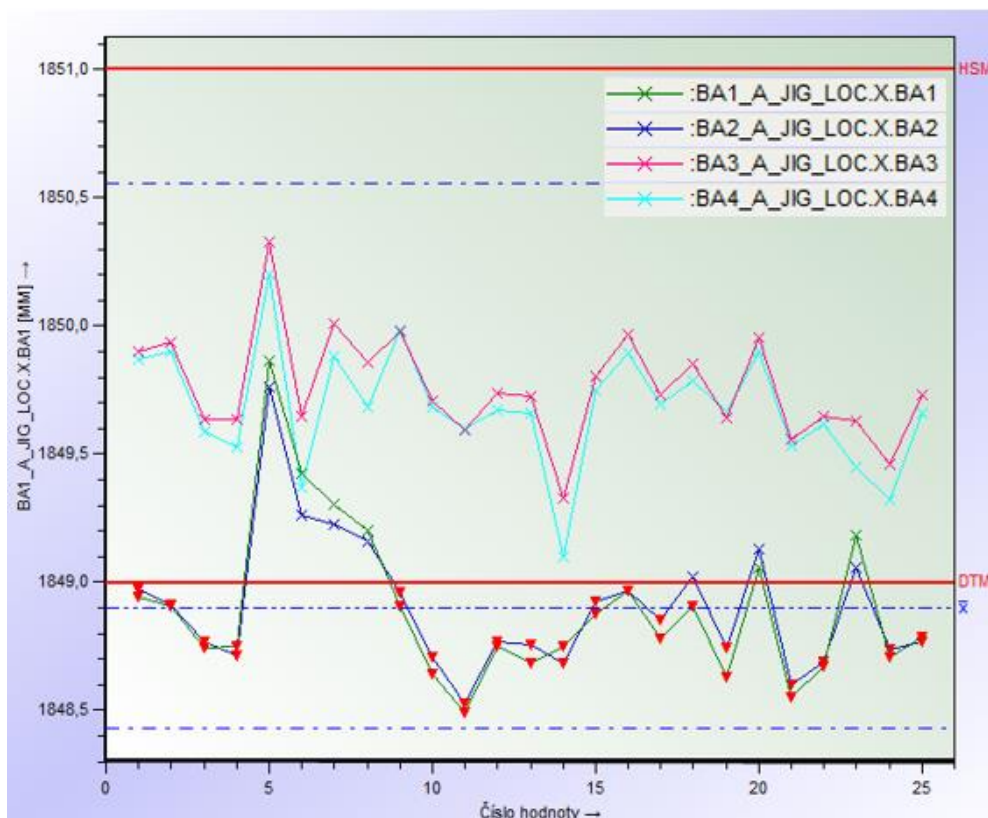
Obr. 60: Histogram bodu BA 3, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 3 v mm



Obr. 61: Histogram bodu BA 4, kdy je na vodorovné ose zobrazen průběh naměřených bodů BA 4 v mm

Primárním cílem však nebylo regulovat proces, nýbrž eliminovat deformace vzniklé na svařenci, proto je nejdůležitější sledovat rozdíly mezi maximem a minimem naměřených hodnot \bar{X} a definovat směry deformací celkové sestavy.

Větší pozornost byla věnována regulačním diagramům, kde byl graficky zachycen rozdíl mezi jednotlivými body, které by měly být podle výkresové dokumentace shodné. Na **Obr. 62** je zobrazen průběh naměřených bodů výložníku (BA 1/2/3/4), kde je evidentní závislost na dvojicích protilehlých bodů např. u bodů BA 3 a 2 pro hodnotu číslo 5.



Obr. 62: Graf znázorňující křivky naměřených bodů BA v tolerančním poli

10.4 Naměřené hodnoty násady

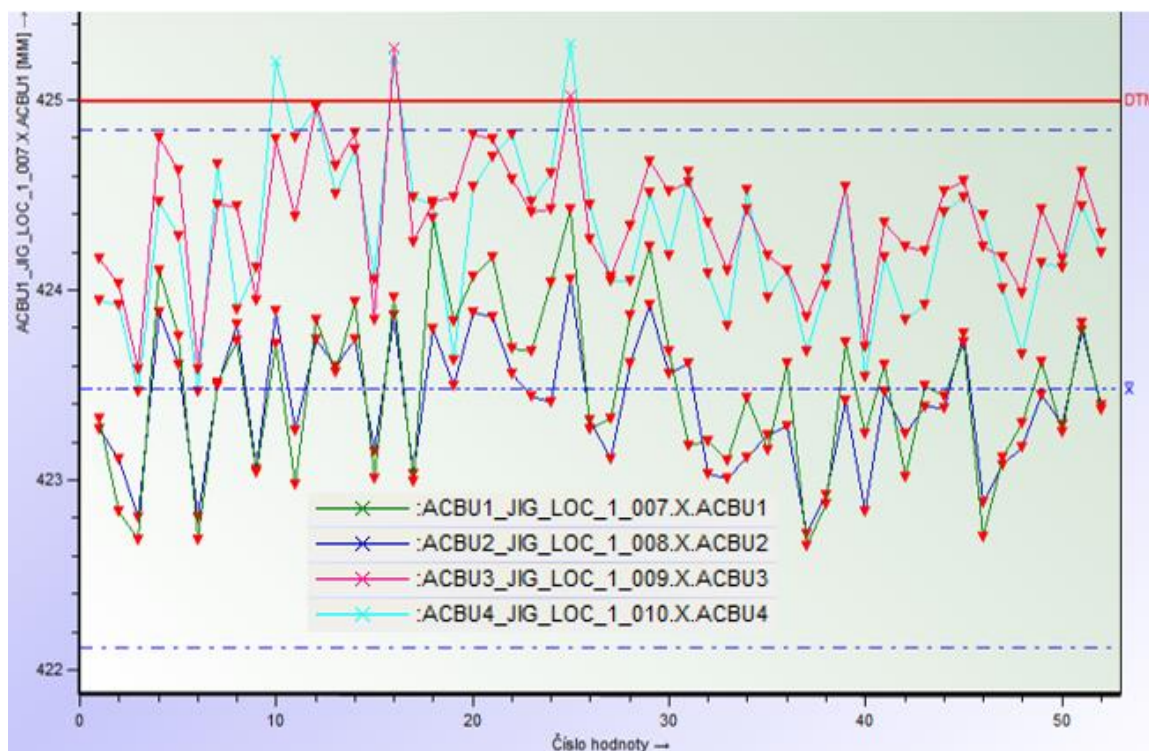
Obdobně jako u měření výložníku bylo z náměrů vybráno několik hodnot s největším podílem na vyosení celé sestavy „násada – výložník“. Nulový bod kartézského souřadného systému je umístěn v bodě AB1, ke kterému byly vztaženy vzdálenosti ostatních bodů. Dalšími vyhodnocovanými body byly ACBU 1/2/3/4, AL 1/2 a ABU 1/2.

10.4.1 Měření bodu ACBU v ose x

Tab. 20: Naměřené hodnoty pro body ACBU 1-4 v rovině X

Znak	\bar{X} [mm]	Rozdíl extrémů	s	C_m	C_{mk}
ACBU1	423,480	0,973	0,454	0,73	-1,12
ACBU 2	423,396		0,345	0,97	-1,55
ACBU 3	424,369		0,353	0,95	-0,60
ACBU 4	424,281		0,436	0,76	-0,55
ACBU	426,0±1	Dle výkresové dokumentace			

Měření bodů ACBU 1/2/3/4 opět ukazuje na nezvládnutý proces hodnotami mimo toleranční pole (viz Obr. 63) a také indexy způsobilosti C_m a C_{mk} v Tab. 20, které vyšly menší jak 1. Velikost tolerančních polí by však měla být i zde upravena dle aktuální výkresové dokumentace jak bylo uvedeno v kapitole 10.3.1. Opět je z grafu patrný vzájemný vliv měřených bodů pro stejné číslo hodnoty.



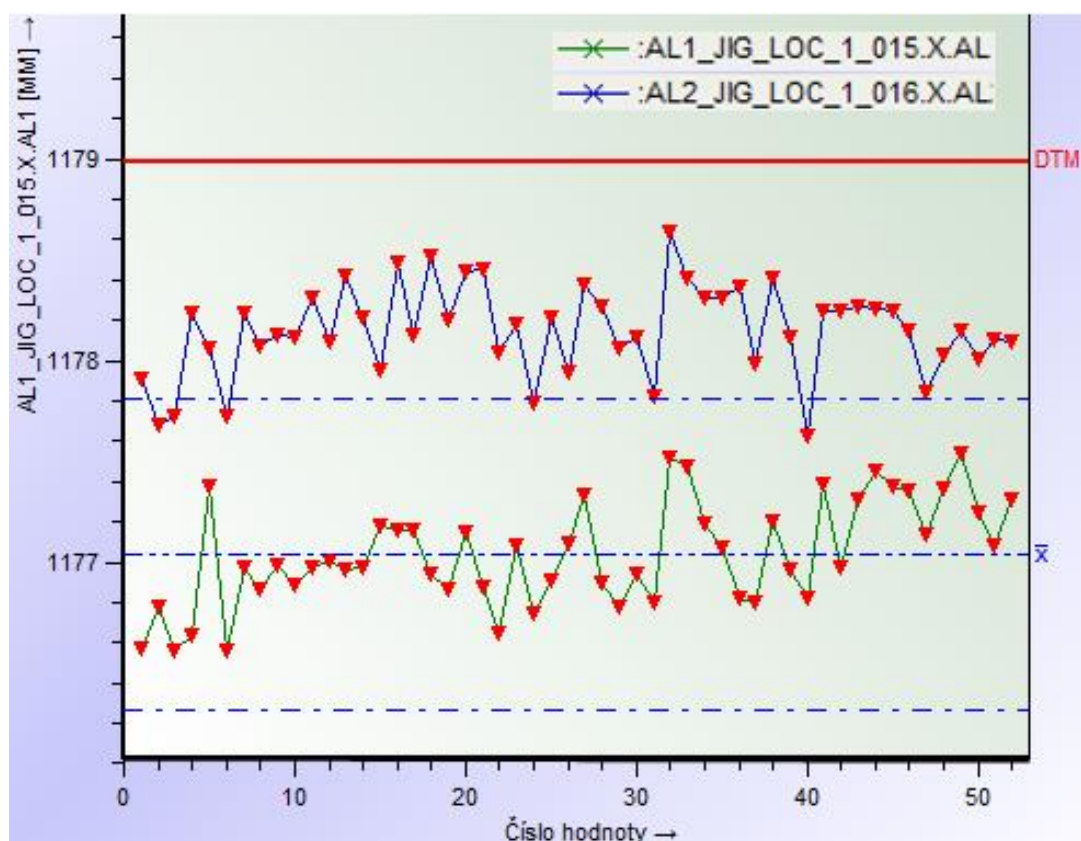
Obr. 63: Graf znázorňující křivky naměřených bodů ACBU v tolerančním poli

10.4.2 Měření bodu AL v ose x

S narůstající vzdáleností od počátku měření je patrný rostoucí rozdíl extrémů, kdy v případě bodů AL1/2 rozdíl měřených bodů přesáhl hranici 1 mm. Rozdíl se však může zdát zanedbatelný, ale v celkovém součtu všech rozměrových odchylek na svařenci hodnota zákonitě vzroste.

Tab. 21: Naměřené hodnoty pro body AL 1-2 v rovině X

Znak	\bar{X} [mm]	Rozdíl extrémů	s	C_m	C_{mk}
AL1	1177,039	1,109	0,258	1,29	-2,53
AL 2	1178,148		0,225	1,48	-1,26
AL	1180,0±1	Dle výkresové dokumentace			



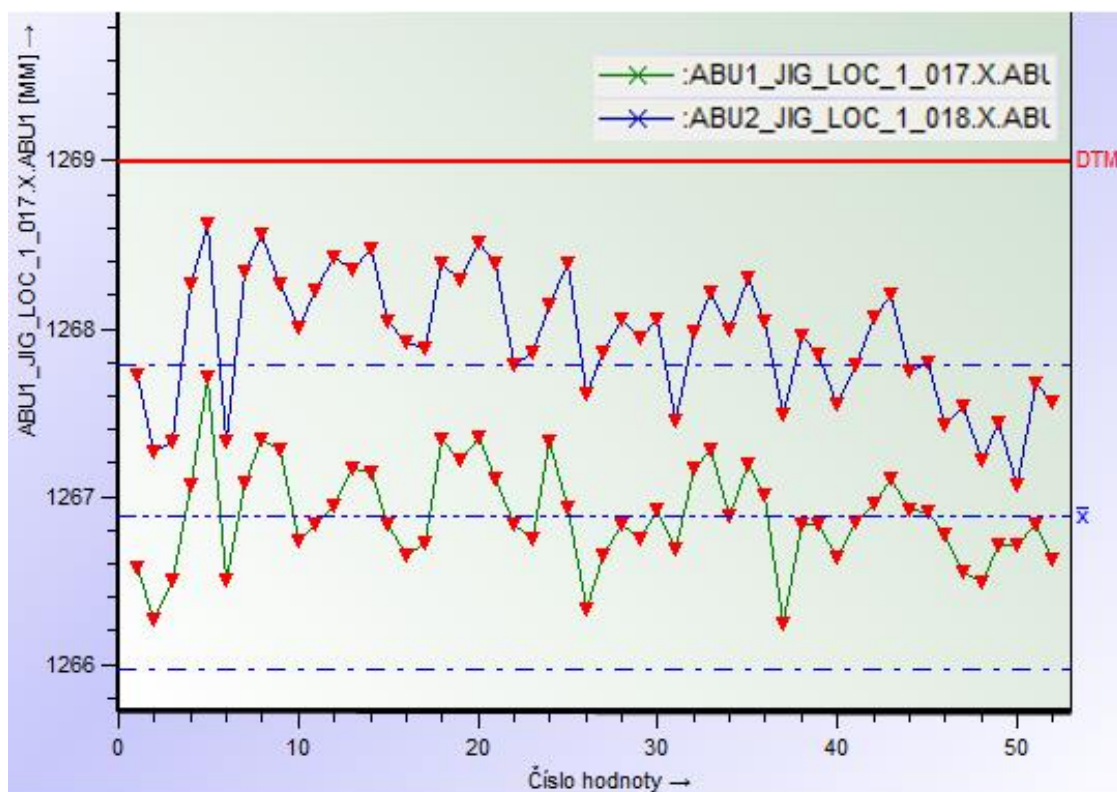
Obr. 64: Graf znázorňující křivky naměřených bodů AL v tolerančním poli

10.4.3 Měření bodu ABU v ose x

Opět se u měřených bodů ABU 1/2 vyhodnotil rozdíl extrému větší jak 1 mm a proces výroby odpovídající nezvládnutému stavu, i když index způsobilosti vykazuje opak, neboť jeho hodnota vyšla větší jak 1. Je také evidentní vzájemná podobnost naměřených hodnot, která je patrná nejen z grafu na Obr. 65, ale také z údajů hodnot směrodatné odchylky s v Tab. 22.

Tab. 22: Naměřené hodnoty pro body ABU 1-2 v rovině X

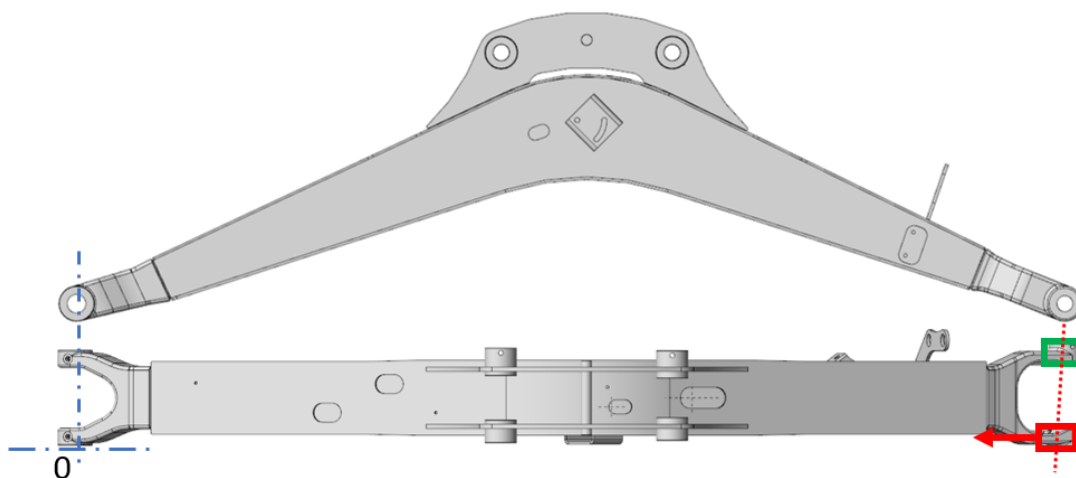
Znak	\bar{X} [mm]	Rozdíl extrémů	s	C_m	C_{mk}
ABU1	1266,882	1,054	0,302	1,10	-2,33
ABU 2	1267,936		0,389	0,86	-0,91
ABU	1270,0±1	Dle výkresové dokumentace			



Obr. 65: Graf znázorňující křivky naměřených bodů ABU v tolerančním poli

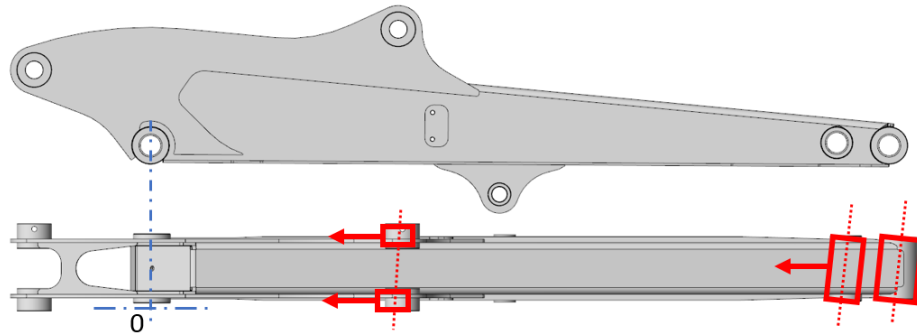
10.5 Shrnutí

Z naměřených dílů skládající se z 26 kusů výložníků, 50 kusů násad a zaměření se na rozměrové odchylky od výkresové dokumentace v ose x u předem definovaných bodů bylo zjištěno několik poznatků. Na **Obr. 66** je patrná odchylka bodů BA 1/2, která dosáhla rozdílné hodnoty 0,861 mm od protilehlých bodů BA 3/4 viz **Tab. 19**.



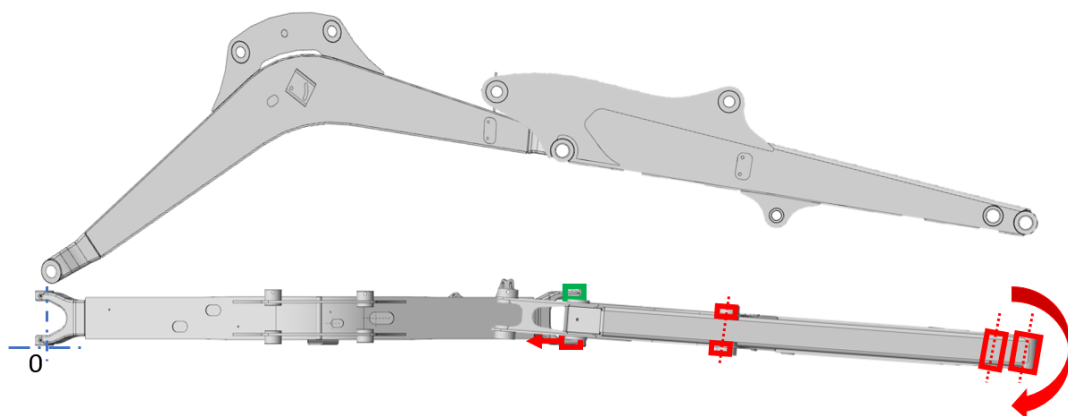
Obr. 66: Vyznačení posuvu měřeného bodu ve směru x u výložníku, kdy zelená barva označuje tolerovaný rozměr a červená netolerovaný

Z experimentálního měření rozměrových odchylek na násadě byly měřeny body tzv. „uší“ ACBU, koncových návarků AL a ABU, které byly spolu s konstrukčním oddělením označeny za nejvíce problematické. Na **Obr. 67** je znázorněn posuv a vyosení bodů od výkresové dokumentace. Největší pozornost byla věnována bodům ABU, což je místo k upevnění lžice bagru. U bodů ABU 1/2 byl naměřen vzájemný rozdíl poloh v ose x 1,054 mm. Body AL 1/2 dosáhly rozdílu 1,109 mm a body ACBU 0,973 mm.



Obr. 67: Vyznačení posuvu měřených bodů ve směru x u násady, kdy červená barva označuje rozměr mimo toleranci

Na **Obr. 68** je zobrazena funkční sestava výložníku a násady ve stykových bodech výložníku BA a násady AB. Z předchozích analýz jednotlivých bodů částí sestavy bylo vytvořeno schéma reálného vyosení testovaných kusů. Z experimentu je patrné vyosení vlivem rozměrových odchylek. Ze součtu rozdílů mezi měřenými maximálními a minimálními hodnotami z jednotlivých tabulek byla dosažena celková hodnota rozdílu 3,997 mm, což má za následek značné zkrácení jedné strany. Příčina této chyby mohla nastat vlivem deformací z tepelně ovlivněné oblasti během svařování. Patrné natočení pouze na jednu stranu (hodnoty neoscilují) pravděpodobně nevzniklo na pracovišti, kde dochází k největšímu tepelnému ovlivnění (na stanovišti 2). Zde jsou svařovány největší svary ovšem zrcadlově pomocí robotizované buňky, aby nedošlo ke znatelným deformacím hromadících se na jedné straně dílu. Je tedy nutné zaměřením se na stanoviště 3 a 4, kde se provádí svařování menších komponentů celkové sestavy (držáky kabeláže atd.), které mohou mít za následek tepelné ovlivnění pouze jedné strany a tím následné vyosení. Tomu ovšem neodpovídá vyhodnocená strana, neboť by se sestava zdeformovala přesně naopak. Proto byla zvolena varianta přenastavení svařovacího přípravku na stanovišti 1 (viz kapitola 11).



Obr. 68: Pohled na sestavu násada-výložník a celková deformace sestavy

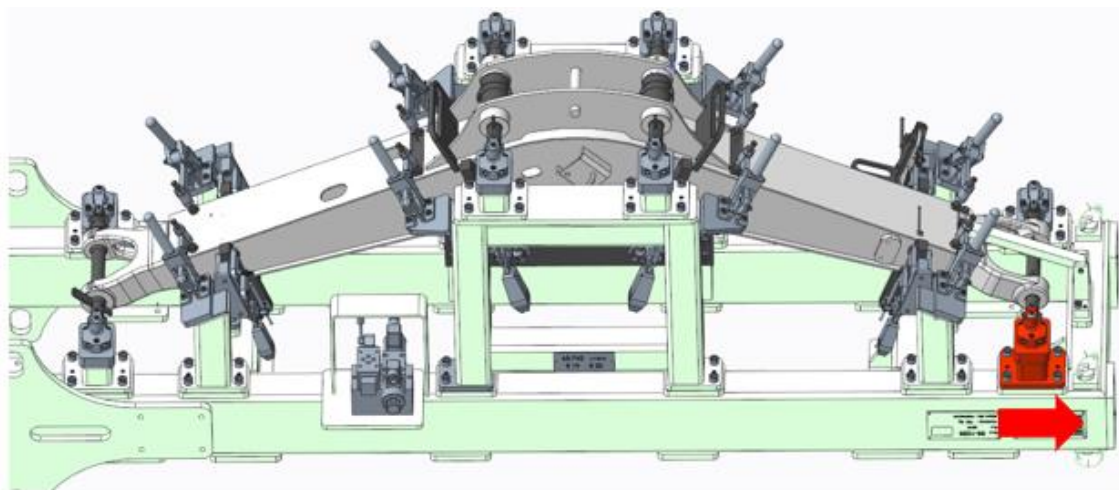
11 NÁVRH ŘEŠENÍ

Z Obr. 68 je patrné vyosení sestavy dílů výložníku a násady, kde bylo cílem jejich srovnání. Po úvaze nad možnou příčinou se nejlépe jevílo samotné přenastavení svařovacího přípravku na stehovacím stanovišti 1 výložníku i násady, kde lze kontrolovaně zasáhnout do rozměrů finálních výrobků.

Pro druhý experiment bylo vyčleněno 5 kusů výložníku a 5 kusů násad. Proces výroby probíhal stejně jako v prvním experimentu s novým nastavením přípravku a rozděleným vstupem do robotizované buňky. Násady i výložníky byly rozděleny na 3 kusy obou součástí, které byly vkládány do robotizovaného stanoviště 2 vybavené robotem od firmy Closs a 2 kusy vkládány do buňky s robotem od výrobce Yaskawa. Rozdělením se sledoval vliv svařovacích robotů na rozměry výrobků. Vyhodnocení druhého experimentu bylo opět prováděno v softwaru QDAS-DESTRA, který umožnil zobrazit a následně porovnat výsledky s první fází experimentu pro 50 kusů násad a 26 kusů výložníku.

11.1 Nastavení přípravku výložníku

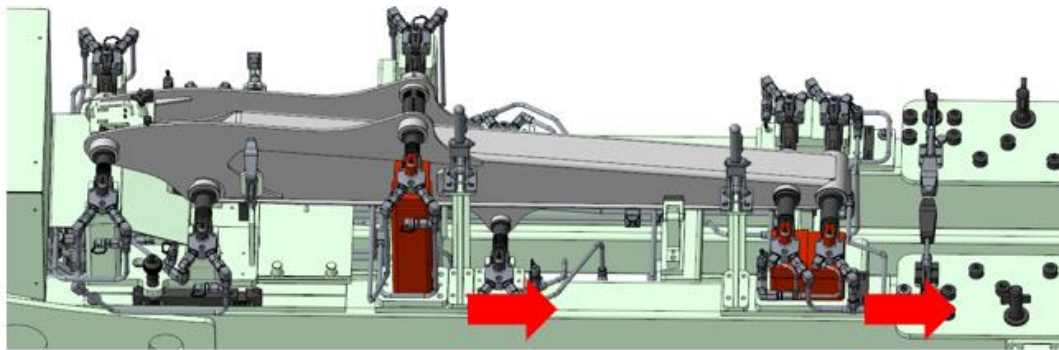
Z měření dílů výložníků je patrná největší rozměrová odchylka v upínacím místě pro spojení výložníku s násadou, která je tvořena odlitkem. Rozdíl bodů BA 1/2 a BA 3/4 činil 0,861 mm a bod BA 1/2 na rozdíl od bodu BA 3/4 nesplňoval tolerované odchylky, proto bylo cílem srovnání bodů a přiblížit se tolerovaným rozměrům. Na Obr. 69 je zobrazen polohovací přípravek s červeně označeným upínacím místem pro problematický čep s odlitkem. Tato upínací část byla přenastavena pomocí podložek vystřižených z plechu o tloušťce 1 mm a posunuta ve vyznačeném směru. Po přenastavení přípravku bylo připraveno k výrobě 5 kusů výložníku podle původního výrobního procesu, které byly po svařovacích a brousících operacích podrobeny měřením, zdali zásah do stehování na stanovišti 1 dosáhl požadovaných cílů či ne.



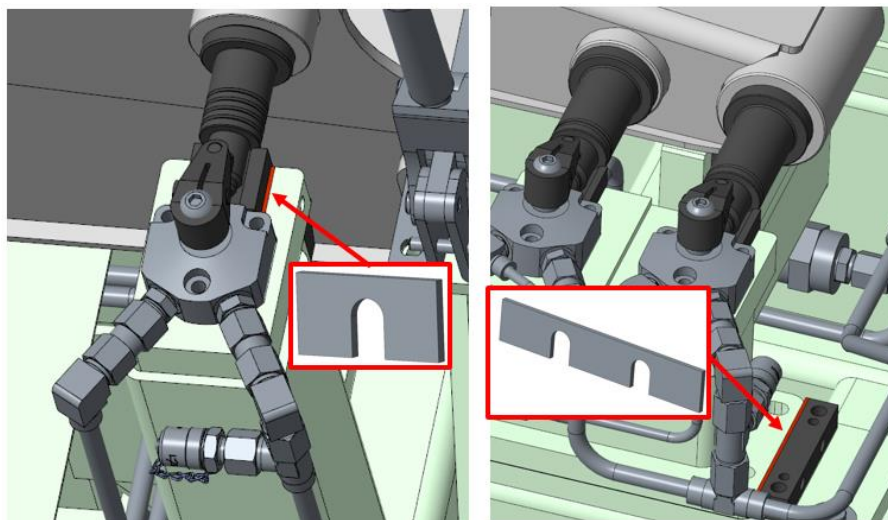
Obr. 69: Přenastavení přípravku výložníku – červeně vyznačená upínací místa k přenastavení a šipkou směr posuvu upínacího prizmatu

11.2 Nastavení přípravku násady

V případě dílů násady byla zjištěna největší rozměrová odchylka v upínacích místech pro spojení násady s pracovním příslušenstvím (lžíce atd.) a v místě pro upnutí hydraulického válce. Jedná se o body ABU 1/2, AL 1/2 a ACBU 1/2/3/4. Rozdíly mezi protilehlými body dosahovaly hodnot cca 1 mm, kdy se rozměrová odchylka zjistila vždy na jedné straně dílu, a to konkrétně na straně bodů ABU 1, AL 1 a ACBU 1/2. Problém byl stejně jako u výložníku vyřešen podložkami, kdy byly naopak odebrány, aby se upínky posunuly v požadovaném směru, který je zobrazen na **Obr. 70**. Vymezovací podložky a místo vkládání/odebrání je zobrazeno na **Obr. 71**. Po přenastavení přípravku bylo připraveno k výrobě také 5 kusů násad, které byly vyrobené podle původního procesu a následně podrobeny měření



Obr. 70: Přenastavení přípravku násady – červeně vyznačená upínací místa k přenastavení a šipkou směr posuvu upínacího prizmatu



Obr. 71: Umístění tvarových podložek do přípravku násady

11.3 Kontrolní měření po úpravě přípravku výložníku

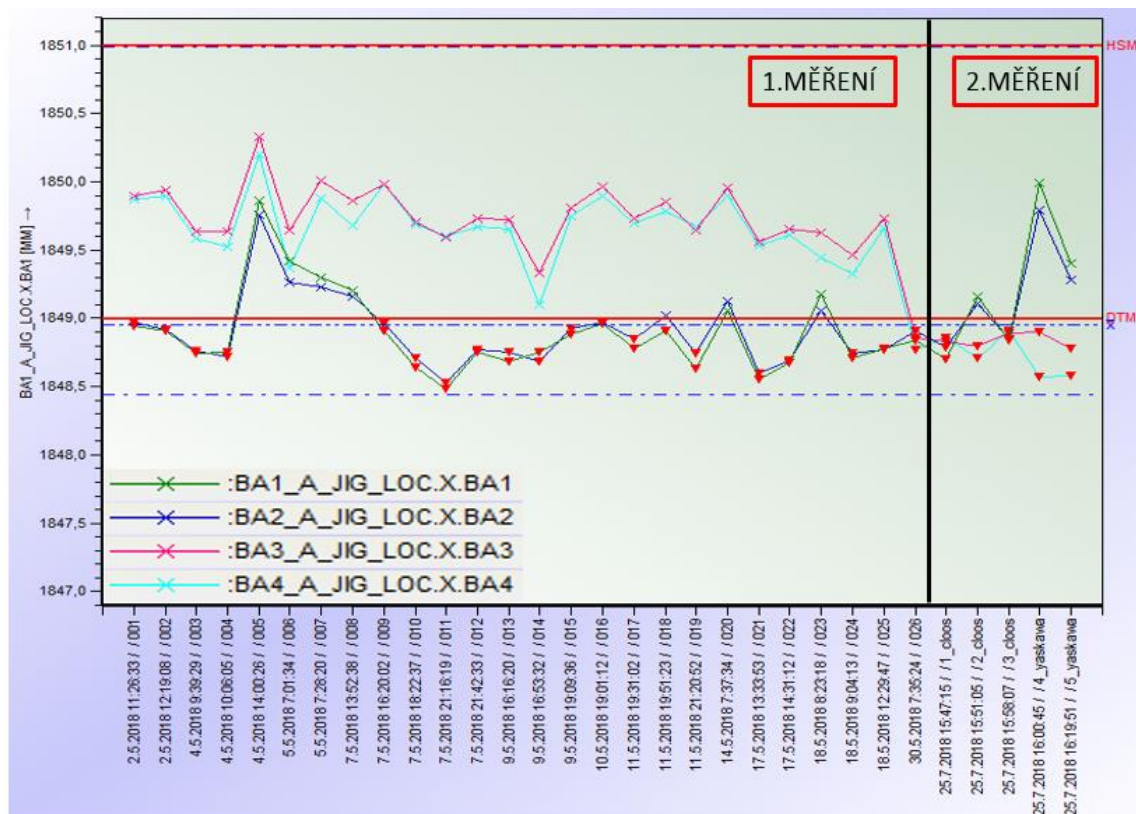
Měření bylo provedeno v měřicí stanici DEA ALPHA s výstupem dat, které byly následně analyzovány a porovnávány s předešlými naměřenými hodnotami. V následujících tabulkách jsou vypsány průměrné hodnoty měřených znaků pro první měření bez úpravy nastavení přípravku \overline{X}_{26} a hodnoty měřených znaků po úpravě \overline{X}_5 s příslušnými rozdíly extrémních hodnot. Hodnoty všech měření byly následně sjednoceny v grafech pro konkrétní body, kde byl graficky vyjádřen posuv bodů a vliv druhu robotizovaného stanoviště 2 (Cloos/Yaskawa).

V **Tab. 23** jsou naměřené hodnoty pro znak BA, kde byl vlivem nastavení přípravku snížen rozdíl extrémů z 0,861 mm na 0,492 mm a došlo také k opačnému vyosení, kdy se vlivem nastavení přípravku pro bod BA 1/2 změnily i hodnoty BA 3/4, které se před nastavením přípravku vyskytovaly v tolerančním poli a nyní ne.

Tab. 23: Celkové naměřené hodnoty pro body BA 1/2/3/4 v rovině X

Znak	\overline{X}_{26} [mm]	Rozdíl extrémů [mm]	\overline{X}_5 [mm]	Rozdíl extrémů [mm]
BA1	1848,898		1849,218	
BA2	1848,906	0,861	1849,163	0,492
BA3	1849,759		1848,841	
BA4	1849,679		1848,726	
BA	1850,0±1	Dle výkresové dokumentace		

Změna průměrných měřených hodnot pro bod BA je zobrazena na **Obr. 72**, kde je patrný celý průběh měření všech vzorků a i zachycen vliv svařovacích robotů. Černá osa odděluje proces pro měřené vzorky před a po úpravě nastavení svařovacího přípravku na stanovišti 1. Po úpravě přípravku je patrné vyrovnání hodnot zejména u vzorků, které byly svařovány pomocí robota Cloos. V druhém případě robotické dvojice Yaskawa byly naměřené hodnoty méně uspokojivé. Byl vyzorován znatelně větší rozstřík během očišťujících operací, které na úkor kratší doby svařování trvaly déle než u vzorků svařovaných robotem Cloos.



Obr. 72: Naměřené hodnoty bodu BA výložníku po úpravě stehovacího přípravku

11.4 Kontrolní měření po úpravě přípravku násady

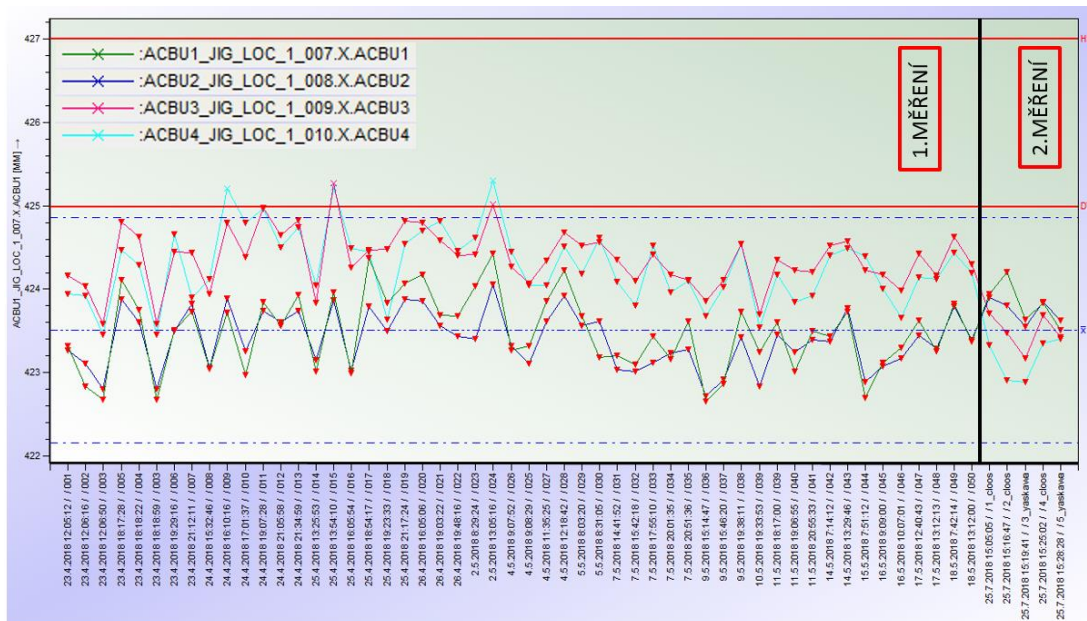
Kontrolní proces měření vzorků násad byl stejný jako v případě výložníku. Pro experiment bylo připraveno 5 kusů násad, které byly po procesu výroby na již zmíněné lince podrobeny měření na měřicí stanici DEA ALPHA. Data byla vyhodnocena pomocí softwaru QDAS-DESTRA v grafické podobě. V jednotlivých tabulkách jsou opět data k porovnání z průměrných naměřených dat pro jednotlivé body tentokrát pro 50 vzorků \bar{X}_{50} a pro hodnoty po přenastavení svařovacího přípravku \bar{X}_5 . V případě měření násady byly opět sledovány znaky ACBU, AL a ABU.

V Tab. 24 jsou vypsány všechny naměřené hodnoty pro následné srovnání bodů ACBU, kdy byl snížen rozdíl krajních hodnot z 0,973 mm na 0,649 mm, avšak úprava nastavení přípravku nebyla tak patrná, neboť je vidět větší posun bodu ACBU 3/4 nežli u přenastaveného bodu ACBU 1/2.

Tab. 24: Celkové naměřené hodnoty pro body ACBU 1/2/3/4 v rovině X

Znak	\bar{X}_{50} [mm]	Rozdíl extrémů [mm]	\bar{X}_5 [mm]	Rozdíl extrémů [mm]
ACBU1	423,480	0,973	423,826	0,649
ACBU 2	423,396		423,744	
ACBU 3	424,369		423,493	
ACBU 4	424,281		423,177	
ACBU	426,0±1	Dle výkresové dokumentace		

Na **Obr. 73** je grafické znázornění měřených hodnot bodu ACBU, kdy je po naměřených 50 kusech násad graf rozdělen černou čarou na měření 5 kusů násad po přenastavení přípravku. Vliv svařovacích robotů v případě měření bodu ACBU nebyl tak patrný jako u výložníku, je však patrná zúžená oblast měřených bodů.



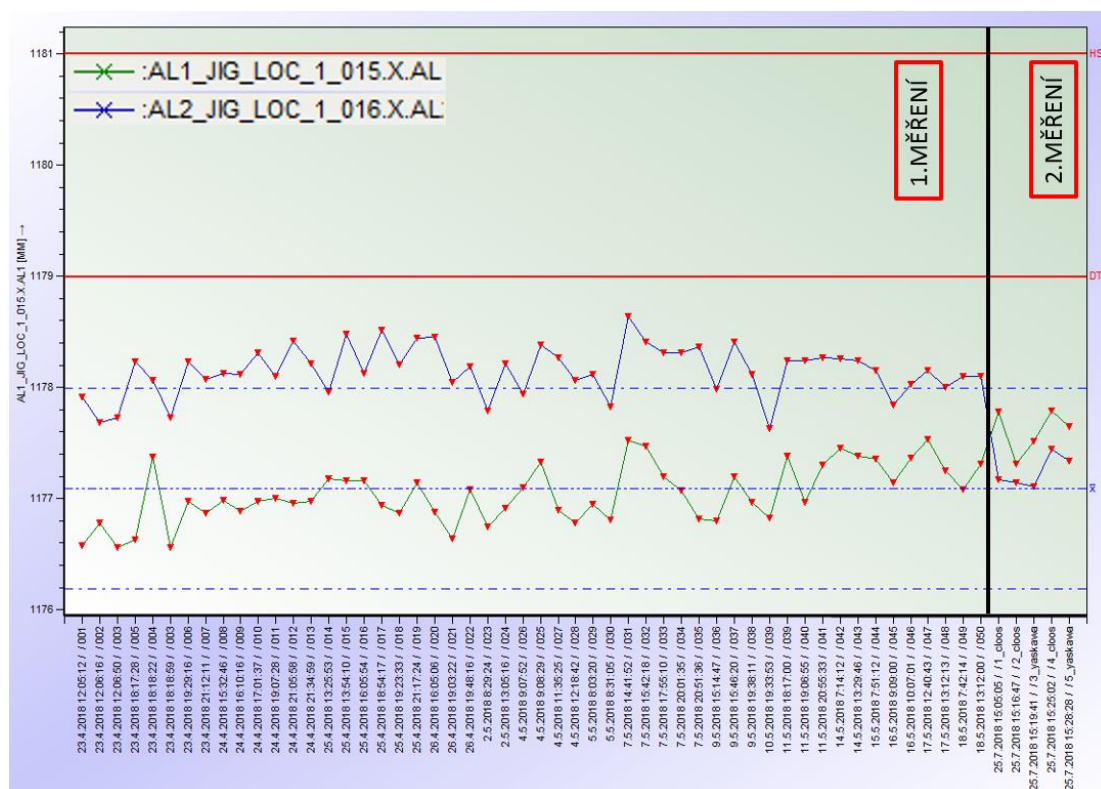
Obr. 73: Naměřené hodnoty bodu ACBU násady po úpravě stehovacího přípravku

U naměřených hodnot bodu AL (zobrazeny v **Tab. 25**) jsou rozdíly v přenastavení přípravku znatelnější. Rozdíl krajních hodnot byl snížen z 1,109 mm na 0,370 mm. Největší rozdíl byl vypořovován u bodu AL 2, kdy u vzorků 50 kusů byl 1178,148 mm a pro následných 5 kusů 1177,238 mm. Je tedy patrné, že navzdory nastavení přípravku pro bod AL1 vznikly znatelnější deformace na dalších stanovištích v procesu výroby, které zapříčinily vyosení od předvídatelného směru.

Tab. 25: Celkové naměřené hodnoty pro body AL 1/2 v rovině X

Znak	\bar{X}_{50} [mm]	Rozdíl extrémů [mm]	\bar{X}_5 [mm]	Rozdíl extrémů [mm]
AL1	1177,039	1,109	1177,608	0,370
AL 2	1178,148		1177,238	
AL	1180,0±1	Dle výkresové dokumentace		

Grafické znázornění na **Obr. 74** opět rozdělené na dvě části před a po úpravě svařovacího přípravku dokazuje zúžení oblasti výskytu měřených bodů a cílené vyosení bodu AL. Je zde patrný vliv závislosti návarku, kdy po přenastavení přípravku v bodě AL 1 došlo k deformaci i bodu AL 2. Svařovací roboti zde neměli zvláštní rozměrové odchylky, které byly patrné u svařování výložníku.



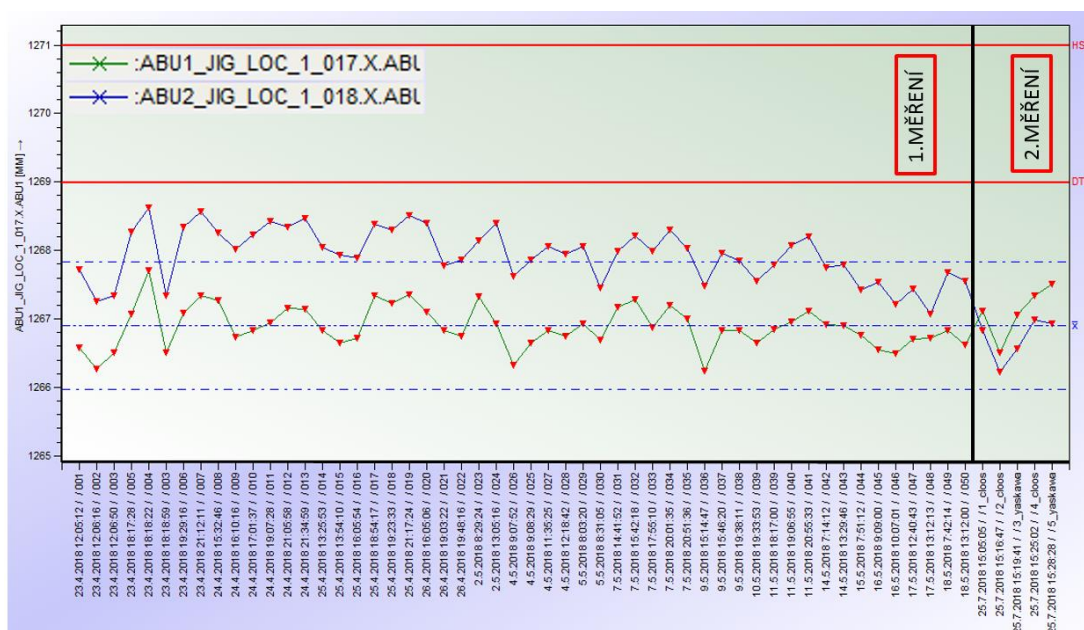
Obr. 74: Naměřené hodnoty bodu AL násady po úpravě stehovacího přípravku

Posledním sledovaným znakem a nejdůležitějším je bod ABU (viz **Tab. 26**) ve kterém je uložena lžice bagru. Rozdíl krajních bodů není tak velký jako v případě bodu AL, i když se jedná o stejnou část přípravku, bylo však dosaženo uspokojivých výsledků z původního rozdílu 1,054 mm na 0,403 mm. Závislost obou bodů se opět potvrdila, kdy při nastavení pro bod ABU 1 nastala výrazná změna i v bodě ABU 2 z 1267,936 mm na 2166,704 mm.

Tab. 26: Celkové naměřené hodnoty pro body ABU 1/2 v rovině X

Znak	\overline{X}_{50} [mm]	Rozdíl extrémů [mm]	\overline{X}_5 [mm]	Rozdíl extrémů [mm]
ABU1	1266,882	1,054	1267,107	0,403
ABU 2	1267,936		1266,704	
ABU	1270,0±1	Dle výkresové dokumentace		

Graf na **Obr. 75** zachycuje průběh celého měření pro 50 kusů vzorků a následně po oddělení 5 kusů vzorků po přenastavení. Nastalo opět zmenšení pole výskytu měřených hodnot, avšak je zde náznak oddálení od tolerovaného pole rozměrů od výkresové dokumentace. Pro kvalitnější vyhodnocení by bylo zapotřebí více vzorků k naměření a vyhodnocení. Patrná je také opačná orientace osy bodu ABU, kdy bod ABU 1 dosahuje větších průměrných hodnot nežli ABU 2.

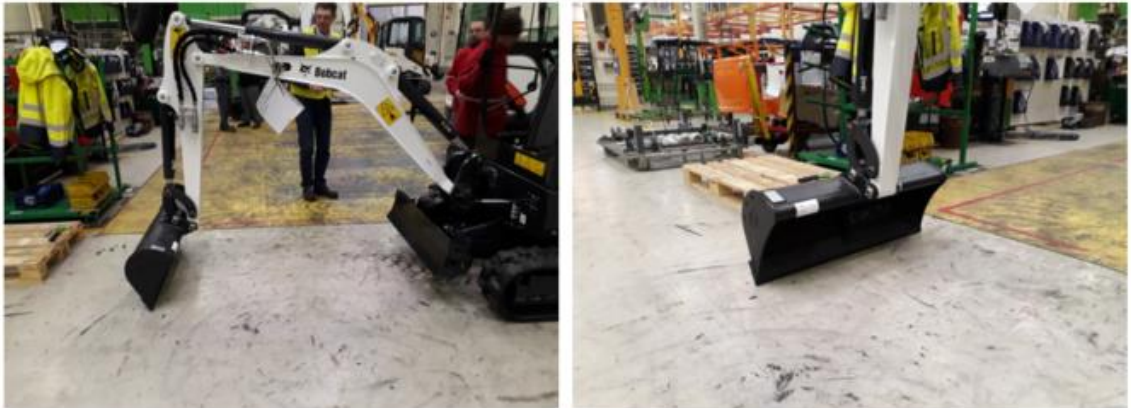


Obr. 75: Naměřené hodnoty bodu ABU násady po úpravě stehovacího přípravku

11.5 Vizuální kontrola hotového výrobku

Po vyhodnocených měřeních byly sledované vzorky exportovány k dalším operacím výroby až k samotné montáži hotového výrobků a následným testům finální kvality a funkčnosti stroji. Stroje, ke kterým byly přiřazeny vzorky sledovaných pěti kusů výložníků a násad, byly testovány na zmíněné vyosení lžice bagru dvěma způsoby. První varianta spočívala v nastavení pracovní sestavy ramena bagru do polohy, kdy násada spolu s náběrovou plochou lžice svírala se zemí 90° (viz **Obr. 76**) a druhou variantou, kdy

bylo rameno nastaveno do nejvzdálenější možné pracovní polohy s naklopenou lžicí tak, aby náběrová plocha svírala opět 90° se zemí, které je zobrazeno na **Obr. 77**.

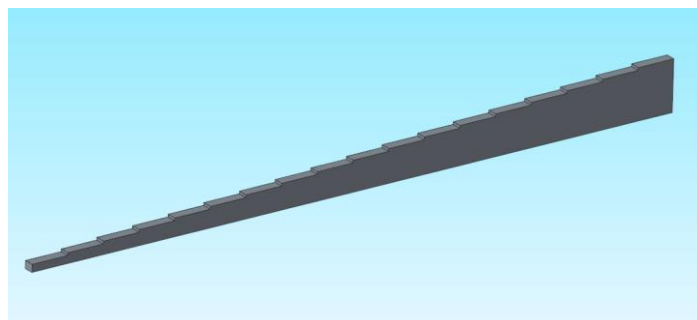


Obr. 76: *Vizuální kontrola vyosení s ramenem, kdy je násada i náběrová plocha lžice kolmo k zemi (poloha 1)*



Obr. 77: *Vizuální kontrola vyosení s ramenem, kdy je lžice bagru v nejdále možné pracovní poloze s náběrovou plochou lžice kolmé k zemi (poloha 2)*

Vizuální kontrola byla provedena pro obě varianty nastavení, kdy se pod oba kraje lžice bagru vkládal zkalibrovaný měřicí klín, který je zobrazen na **Obr. 78**. Hloubka zasunutí klínu vykazuje výšku klínu, která se rovná výšce od země, o kterou se lžice vyosila. Naměřené hodnoty byly zapisovány do tabulky **Tab. 27** k celkovému vyhodnocení.



Obr. 78: *Měřicí klín se stupnicí od 1 mm až do 18 mm*

Tab. 27: *Tabulka porovnávající vyosení mezi pravou a levou stranou lžice pro polohu 1/2*

Model	Poloha 1		Poloha 2	
	<i>Pravá strana</i> [mm]	<i>Levá strana</i> [mm]	<i>Pravá strana</i> [mm]	<i>Levá strana</i> [mm]
1	0	0	0	0
2	0	2	0	0
3	6	0	8	0
4	1	0	1	0
5	0	0	0	0

Z výsledků vizuální zkoušky byla zjištěna velká odchylka v případě vzorku číslo 3, kdy lžice bagru v poloze 1 dosáhla na pravé straně výšky 6 mm od země a v poloze 2 na stejné straně 8 mm. Jedná se však o ojedinělý případ, kdy chyba mohla vzniknout chybou operátora při zakládání plechu do stehovacího přípravku či samotná vada při výrobě plechů k založení do přípravku. Ostatní hodnoty byly převážně nulové až na výjimky například u vzorků 2 a 4, kdy byla naměřena odchylka 1-2 mm, která mohla vzniknout vlivem nerovností na měřené ploše.

12 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout řešení eliminace zjištěných změn výsledných rozměrů, které vznikly vlivem procesu výroby. Jedná se zejména o část svařovacích operací, které mají největší vliv na konstrukční rozměry vlivem vneseného tepla na sestavu násada-výložník. Diplomová práce obsahuje vhodně zvolený experiment s výstupem dat pro analýzu, návrh řešení daného problému a samotné zhodnocení návrhu s porovnáním naměřených hodnot vzhledem k výchozímu stavu.

Úvod experimentální části práce je věnován studii výrobního postupu výložníku a násady, který zahrnuje popis použitých materiálů, zvolenou technologii a parametry svařování, jednotlivá stanoviště výrobního procesu i samotnou výkresovou dokumentaci již zmíněných dílů. Na základě výkresové dokumentace bylo navrženo značení měřených bodů na zkoumaných dílech, z hlediska inženýrského a konstruktérského posouzení byly definovány body s největším vlivem na vyosení ramena bagru. Před určením experimentu bylo nutné porozumět základním nástrojům statistické regulace procesu, zejména tak principům regulačních diagramů a hodnocení způsobilosti procesu, které byly uplatněny v softwaru DESTRA-QDAS při závěrečném hodnocení, což je popsáno v teoretické části práce.

Pro první experiment bylo vybráno 50 kusů násad a 26 kusů výložníku, které byly po svařovacích operacích měřeny pomocí souřadnicových měřících strojů: 3D rameno a mostový SMS stroj. Primárním cílem bylo určit rozměrové odchylky od výkresové dokumentace a odchylek rozměrů bodů ležících ve stejných (sousedních) polohách. Dále byla zmíněna způsobilost procesu na přiložených histogramech a regulačních diagramech. Vzhledem k neustálému vývoji a optimalizaci procesu se v průběhu doby řešení diplomové práce změnila firemní revize výkresové dokumentace výložníku a násady, která upravila toleranční pole některých rozměrů. Z vyhodnocených dat tak vyplývá způsobilost procesu jako nevyhovující, i když tomu je za aktuálně platných podmínek naopak. Jak již bylo řečeno, hlavním sledovaným aspektem byly rozměrové odchylky. V případě výložníku byl v místě upnutí násady v bodě BA 1/2/3/4 v krajních bodech pro souřadnici x naměřen rozdíl 0,861 mm. U násady byly rozdíly krajních bodů ACBU 0,973 mm, u bodu AL 1,109 mm a u bodu ABU 1,054 mm. Všechny zjištěné rozměrové odchylky byly odhaleny v neprospěch pro stejnou stranu výložníku i násady. Jednalo se tak o body BA 1 na výložníku a body ACBU 1, AL 1 a ABU 1 na násadě. Pro jednostranné vyosení celé soustavy byl navržen proces zahrnující úpravu svařovacího přípravku násady a výložníku na stanovišti 1.

Navržené nápravné řešení spočívalo v úpravě svařovacích přípravků pro stanoviště 1 pro stehovací operace. K nastavení byly vyrobeny podložky o tloušťce 1 mm a specifickým tvarem s otvory pro šrouby dle přípravku. Body BA 1, ACBU 1, AL 1 a ABU 1 byly vypodloženy a tím posunuty ve směru osy x o 1 mm k eliminaci rozdílů mezi sousedními body a samotnému srovnání svařenců. Pro potvrzení očekávaného výsledku přenastavení přípravku bylo nutné navrhnout druhý kontrolní experiment, zda úprava eliminovala vzniklé rozměrové odchylky.

Pro druhý experiment bylo vybráno 5 kusů výložníku a 5 kusů násad, které prošly stejným výrobním procesem svařování, jako u předchozího experimentu, na již upraveném stehovacím přípravku. Vzorčky byly podrobeny měření a následnému vyhodnocení, zda došlo k žádoucí eliminaci rozměrových odchylek u obou svařenců. Dále následovala finální vizuální kontrola po montáži hotového výrobku bagru E20, zda je lžice bagru srovnána se zemí, což byl hlavní požadavek zákazníka. V experimentu byl sledován i vliv dvou robotizovaných buněk a vliv druhu svařovacího robota na daný svařenec, což bylo promítnuto v jednotlivých grafech. Z druhého experimentálního měření bylo docíleno snížení rozdílů extrémů u bodu BA na výložníku z 0,861 mm na 0,492 mm. V případě násady bylo docíleno snížení extrému u bodu ACBU z 0,973 mm na 0,649 mm, u bodu AL z 1,109 mm na 0,370 mm a u bodu ABU z 1,054 mm na 0,403 mm. Vliv robotů byl zaznamenán pouze v případě výložníku u bodu BA, kdy hodnoty vzorků svařované robotizovanou dvojicí Yaskawa dosáhly nežádoucího rozdílu 0,5 mm od naměřených hodnot bodu svařovaných robotem od výrobce Cloos.

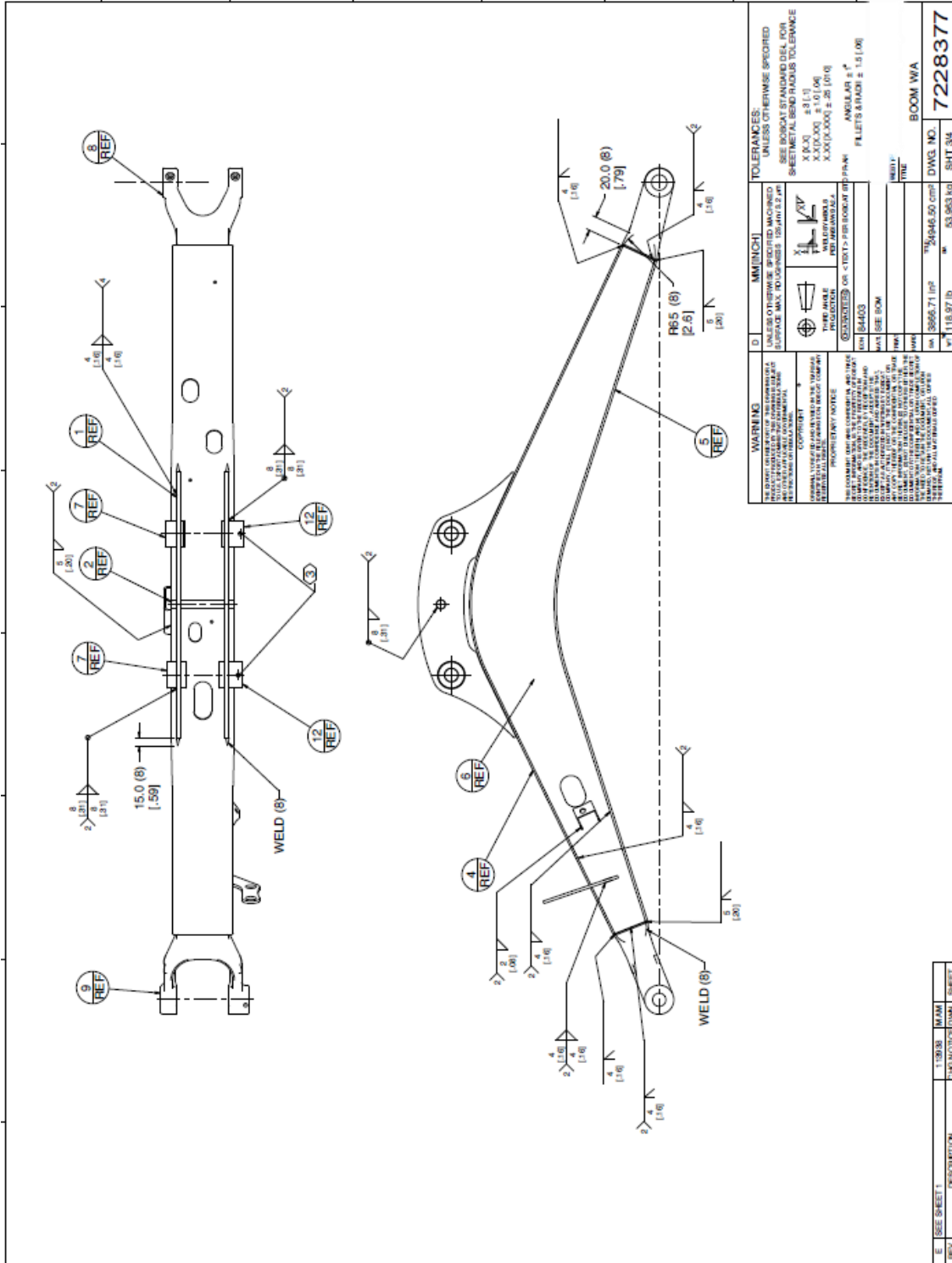
Vizuální zkouškou byl vyhodnocen celý proces 5 kusů výložníku a násad, kdy se měřila vzdálenost lžice bagru od země ve dvou polohách s tím, že vždy jedna strana měla nulovou vzdálenost od země. Výsledky zkoušky byly kladné, kdy u čtyř vzorků bylo dosaženo hodnot s maximální výškou od země do 2 mm. Pouze v jednom případě byla hodnota vzdálenosti jedné strany lžice od země až 8 mm. Tato chyba mohla vzniknout chybou operátora při zakládání plechu do stehovacího přípravku či samotnou vadou vystřiženého plechu.

Výsledky diplomové práce prokázaly praktické důkazy vhodnosti přenastavení stehovacího přípravku i schválení těchto úprav k zavedení do procesu výroby výložníku a násady.

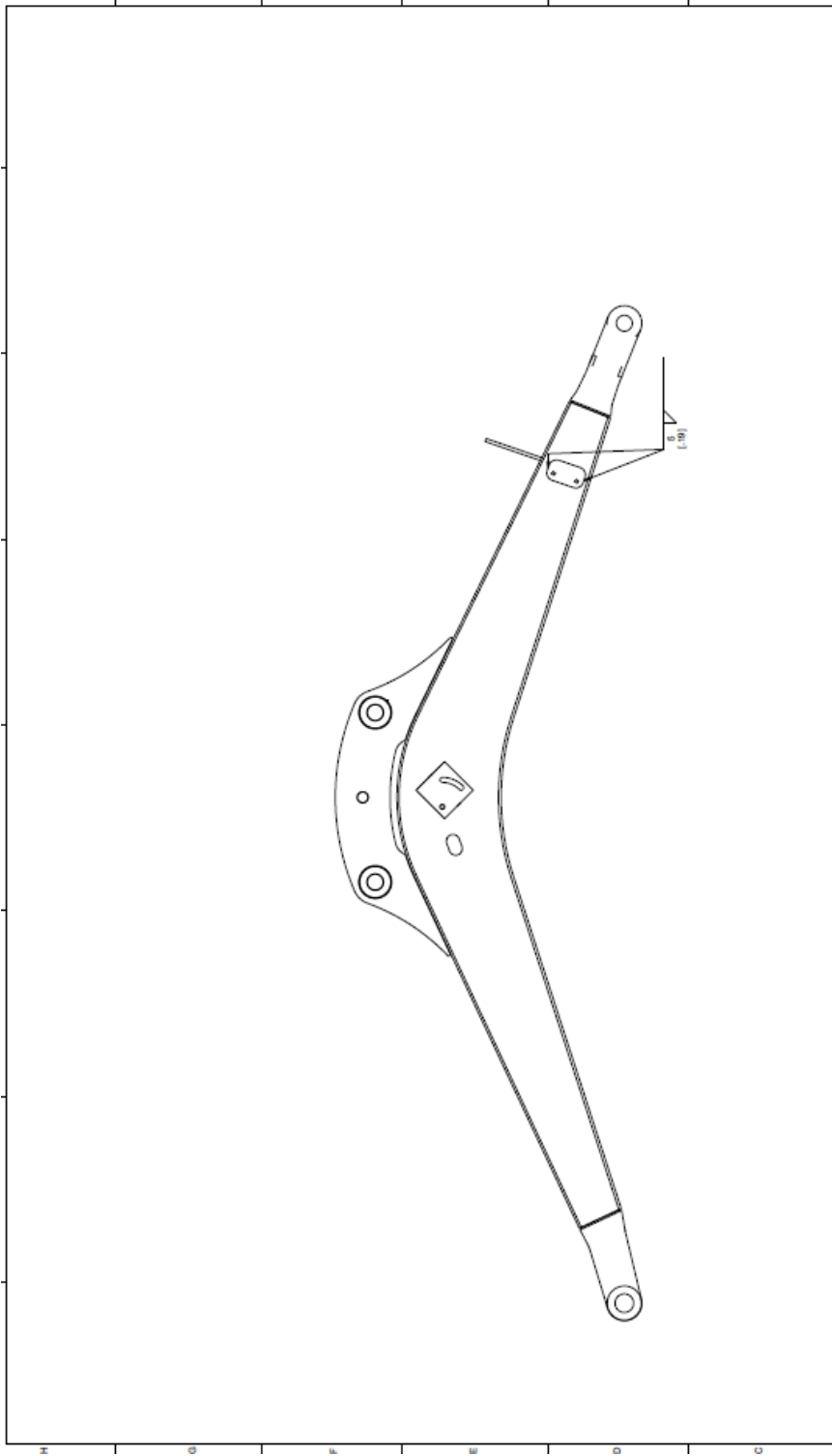
13 POUŽITÁ LITERATURA

-
- [1] DOOSAN Bobcat [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z:
<https://www.bobcatdobris.cz/bobcat>
- [2] DOLEJSKÝ, Tomáš. Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou (MIG/MAG svařování). 3. aktualizované vydání. Ostrava: Zeross-svářečské nakladatelství, [2014]. Svařování. ISBN 978-80-85771-05-3.
- [3] PRUDKÝ, Jan. Teorie a metodika svařování. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1986.
- [4] ČSN EN ISO 4063. Svařování a příbuzné procesy: Přehled metod a jejich číslování. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [5] KUNCIPÁL, Josef a kolektiv Teorie svařování. Praha: SNTL, 1986, ISBN 04-211-86
- [6] MINAŘÍK, Václav. Obloukové svařování. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-119-0.
- [7] Kolektiv autorů, Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [8] MORAVEC, Jaromír. Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu–metody MIG/MAG [online] dostupné na:
<https://docplayer.cz/41120960-Svarovani-tavici-se-elektrodou-v-ochrannem-plynu-metody-mig-mag.html>
- [9] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 80-88780-36-5.
- [10] ČSN EN ISO 14175. Svařovací materiály: Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [11] Konstrukce. Ochranné plyny s obsahem dusíku pro svařování hliníku metodou TIG a MIG [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z:
<http://www.konstrukce.cz/clanek/ochranné-plyny-s-obsahem-dusiku-pro-svarovani-hliniku-metodou-tig-a-mig/>
- [12] WEMAN, Klas a LINDÉN, Gunar. MIG welding guide. Boca Raton, Cambridge: Woodhead, 2006.
- [13] KOLAŘÍK, Ladislav. Metalurgie svařování a struktura svarového spoje. Teorie spojování a dělení materiálu. ČVUT v Praze. Fakulta Strojní. Ústav strojírenské technologie. 2013
- [14] MALINA, Zdeněk, 2010: základní kurz svařování MIG/MAG se souborem testových otázek. ZEROSS, Ostrava, 144s. ISBN: 80-86698-16-5
- [15] Fronius launches TPS/i power source. Canadian metal working [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z
<https://www.canadianmetalworking.com/product/automationsoftware/fronius-launches-tpsi-power-source>

-
- [16] Model svařovacího agregátu [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: www.fronius.com
- [17] NENÁHLO, Čeněk. Souřadnicová měřicí technika [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>
- [18] Úvod do souřadnicového měření [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology>
- [19] ZEISS, Carl. Průmyslová metrologie [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy.html>
- [20] TOŠENOVSKÝ, Josef. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-x.
- [21] POLENČÁR, Rudolf., HALAJ, Martin.: Metrologické zabezpečenie systémov riadenia kvality, STU Bratislava. 1998. ISBN 80-227-1171-3
- [22] NENADÁL, Jaroslav. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [23] MICHÁLEK, Jiří., KRÁL, Jiří, Řešení výkonnosti výrobního procesu při nenormálně rozdělených datech, [Performance evaluation of a manufacturing process by nonnormally distributed data.] ISQ Praha, 2010, s. 36-48. ISBN 987-80-7265-189-4.
- [24] Statsoft. Analýza způsobilosti procesu [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft_Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf
- [25] LEGÁT, Václav. Statistické řízení procesů [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2283124/>
- [26] CLOOS. Systém automatizovaného svařování a řezání [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.cloos.de/fileadmin/user_upload/Landingpage_Schweissroboter/EN_QIRO_X_Mechanik.pdf
- [27] YASKAWA. Motoman robots [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.yaskawa.eu.com/en/products/robotics/motoman-robots/productdetail/product/ma2010/>
- [28] HEXAGON. Coordinate measuring machines [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/gantry-cmms/dea-alpha>
- [29] METROTEST. Měřicí ramena [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.metrotest.cz/pristroje-pro-mereni/merici-ramena/cimcore-arm/>
- [30] CIMCORE. Cimcore arm product brochure [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.svssro.cz/wp-content/uploads/2015/04/CimCore-Arm-brochure_EN.pdf



WARNING: THE DRAWING OPERATOR IS RESPONSIBLE FOR THE CORRECTNESS OF THE DIMENSIONS AND TOLERANCES SPECIFIED. SEE BORGAR STANDARD DEL FOR SHEETMETAL BEND RADIUS TOLERANCE.	AM (INCH): UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, MACHINED SURFACE MAX. TOLERANCES (ISO/HV 1/2 PT): X (X.X) ± 0.1 (1) X (X.X) ± 0.1 (0) X (X.X) ± 0.2 (0)	TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED SEE BORGAR STANDARD DEL FOR SHEETMETAL BEND RADIUS TOLERANCE
PROPERTY NOTICE: THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF BORGAR. IT IS TO BE USED ONLY FOR THE PROJECT AND FOR THE PART IDENTIFIED HEREIN. IT IS 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 BORGAR, THIS DRAWING IS NOT TO BE USED FOR ANY OTHER PROJECT OR PART.	PROPERTIES: MATERIAL: 6061-T6 ALUMINUM FINISH: ANODIZED TOLERANCES: SEE BORGAR STANDARD DEL FOR SHEETMETAL BEND RADIUS TOLERANCE	ANGULAR FINISH: ± 1.5 (0) FILLETS: R1.0 (0)
DESCRIPTION: ROOM WA	DATE: 2024-08-20	DWG. NO.: 7228377
REV: 1	DESCRIPTION: ROOM WA	SHT. 34: 03.993 kg



<p>WARNING: THE DRAWING OPERATOR MUST WEAR SAFETY GLASSES AT ALL TIMES WHEN OPERATING THE MACHINE. ALWAYS WEAR YOUR SAFETY BELT. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE DRUGGED OR UNDER THE INFLUENCE OF ALCOHOL. ALWAYS WEAR YOUR SEATBELT. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE TALKING ON A CELL PHONE. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING TIRED OR DROWSY. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNWELL. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING ANXIOUS. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING STRESSED. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING OVERHEATED. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNCOMFORTABLE. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNSAFE. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNHAPPY. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNWELL. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNCOMFORTABLE. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNSAFE. NEVER OPERATE THE MACHINE IF YOU ARE FEELING UNHAPPY.</p>		<p>MM(INCH) UNLESS OTHERWISE SPECIFIED MACHINED SURFACE MAX. TOUGHSSES 125.4(1/2)PT</p>		<p>TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED SEE BOOMAT STANDARD DEL FOR SHEET METAL BEND RADIUS TOLERANCE X (L) ± 0.1 (1) X (D) ± 0.1 (1) X (D) ± 0.05 (1/2) X (D) ± 0.05 (1/2)</p>	
<p>PROPERTY NOTICE: THIS DOCUMENT CONTAINS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY INFORMATION OF BOOMAT. IT IS THE PROPERTY OF BOOMAT AND IS NOT TO BE REPRODUCED, COPIED, OR DISCLOSED TO ANY OTHER PARTY WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF BOOMAT. ANY UNAUTHORIZED USE OR DISCLOSURE OF THIS INFORMATION IS STRICTLY PROHIBITED. BOOMAT SHALL BE RESPONSIBLE FOR ANY DAMAGES, INCLUDING REASONABLE ATTORNEY'S FEES, INCURRED BY BOOMAT AS A RESULT OF ANY UNAUTHORIZED USE OR DISCLOSURE OF THIS INFORMATION.</p>		<p>FINISH: SEE BOOM</p>		<p>ANGULAR ± ° FILETS & RASH ± 1.5 (1/8)</p>	
<p>GENERAL NOTES: 1. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 2. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 3. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 4. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 5. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 6. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 7. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 8. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 9. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 10. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.</p>		<p>ITEM 84403 OR <TEXT> FOR BOOMAT 870-1000</p>		<p>FILETS & RASH ± 1.5 (1/8)</p>	
<p>REV DESCRIPTION 1300R MAM</p>		<p>WEIGHT: 1118.97 lb 503.903 kg</p>		<p>BOOM WA 7228377</p>	

