

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2022

**JAN
KROUPA**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Analýza robotizace výroby svařovaných konstrukcí metodou MAG

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR: Bc. Jan Kroupa

VEDOUcí PRÁCE: Ing. Tomáš Gurčík, IWE

STUDIJNÍ PROGRAM: N0715A270001 Výrobní inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Praha 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kroupa** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **475011**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analyza robotizace výroby svařovaných konstrukcí metodou MAG

Název diplomové práce anglicky:

Analysis of robotization of production of welded structures by MAG welding method

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor a vyhodnocení vhodnosti robotizace vyráběných dílů, rešerše současného stavu problematiky
- 2) Analýza svarových spojů, metod, výrobní dokumentace
- 3) Rozbor typů robotizovaných svařovacích buněk
- 4) Analýza a návrh vhodného pracoviště pro vybraný svařovaný díl
- 5) Experiment: Výroba a vyhodnocení zkušebních svařených vzorků
- 6) Technicko-ekonomická analýza robotizace procesu výroby
- 7) Zhodnocení výsledků, závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Talácko, J. Automatizace výrobních zařízení. Praha, ČVUT, 2000.
- [2] Matička, R., Talácko, J.: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů, Praha, SNTL, 1991.
- [3] Andrlík, V.: Průmyslové roboty a manipulátory. ČVUT v Praze, Ústav výrobních strojů a zařízení, 2012.
- [4] PIRES, J. N. at all. Welding robots: technology, system issues and applications. London: Springer, 2006.
- [5] BOEKHOLT, R.: Welding Mechanisation and Automation in Shipbuilding Worldwide: Elsevier, 1996.
- [6] TARN, T. J. et all: Robotic welding, intelligence and automation. Springer, c2007. ISBN 3-540-73373-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Gurčík ústav strojírenské technologie FS

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

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

Datum zadání diplomové práce: **22.04.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **15.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2022**

Ing. Tomáš Gurčík
podpis vedoucí(ho) práce

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

27.5.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Gurčíka, IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Tomášovi Gurčíkovi, IWE za hodnotné rady, ochotu, trpělivost a vedení při zpracování této práce. Také děkuji mému konzultantovi a zároveň vedoucímu ústavu, Doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D. za všechny rady a připomínky. Dále děkuji vedení firmy PEKSTRA spol. s r.o. za pomoc a poskytnutí údajů a vzorků pro zpracování této práce. Velké díky patří hlavně mojí rodině za velkou podporu během celého studia i života.

Anotace

Název diplomové práce:	Analýza robotizace výroby svařovaných konstrukcí metodou MAG
Autor práce:	Bc. Jan Kroupa
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Gurčík, IWE
Konzultant:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Akademický rok:	2022
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Rozsah práce:	85 stránek, 19 tabulek, 83 obrázků, 4 přílohy
Klíčová slova:	robotizace, roboty, manipulátory, svařování metodou MAG, robotizované svařování, druhy svarů, vizuální zkouška, kapilární zkouška, makrografie, zkouška tvrdosti svaru, kvalifikace svaru, robotizované pracoviště, ekonomické zhodnocení investice
Abstrakt:	<p>Teoretická část této práce popisuje rozdělení a jednotlivé druhy průmyslových robotů a manipulátorů, a pracovních hlavic. Dále je rozebrána metoda svařování MAG, typy svarů a robotizovaných pracovišť. V praktické části jsou nejprve vybrány svařence vhodné k robotizaci z výrobního portfolia firmy PEKSTRA spol. s r.o. K těmto svařencům je zhotovena výrobní dokumentace, jsou sestaveny a optimalizovány programy pro robotizované svařování a vybrané vzorky jsou testovány. V rámci praktické části je také zhotovena zkušební kvalifikace svarů dle ČSN EN ISO 15614-1. Předposlední kapitola se zaměřuje na zjednodušený výběr komponent pro pracoviště a praktická část je zakončena technickoekonomickým srovnáním ruční a robotizované výroby, kde jsou provedeny jednoduché ekonomické výpočty.</p>

Annotation

Title of the final thesis:	Analysis of robotization of production of welded structures by MAG welding method
Author:	Bc. Jan Kroupa
Supervisor:	Ing. Tomáš Gurčík, IWE
Consultant:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Academic year:	2022
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Extent:	85 pages, 19 tables, 83 pictures, 4 annexes
Keywords:	robotization, robots, manipulators, MAG welding, robotic welding, types of welds, visual test, capillary test, macrography, weld hardness test, weld qualification, robotic workplace, economic evaluation of investment
Abstract:	<p>The theoretical part of this thesis describes the distribution and individual types of industrial robots and manipulators, and work heads. Next themes are the MAG welding method, types of welds and robotic workplaces. In the practical part, weldments suitable for robotization are first selected from the production portfolio of PEKSTRA spol. s.r.o. Production documentation is created for these weldments, robotic welding programs are compiled and optimized, and selected samples are tested. As special part of the practical part, a test qualification of welds is also made according to ČSN EN ISO 15614-1. The penultimate chapter focuses on the simplified selection of components for the workplace, and the practical part ends with a technical-economic comparison of manual and robotic production, where simple economic calculations are performed.</p>

Obsah

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE	13
2. Robotizace svařovacích procesů	14
2.1 Zařízení pro robotizaci svařování	15
2.1.1 Druhy průmyslových robotů a manipulátorů	15
2.1.2 Pracovní hlavice	20
2.1.3 Polohovadla	24
2.2 Rozbor svařenců vhodných pro robotizaci	27
2.2.1 Příklady svařenců z robotizované výroby	27
2.2.2 Kritéria pro robotizaci svařování	29
3. Rozbor metody svařování a svarových spojů	31
3.1 Svařování metodou MAG	31
3.1.1 Výhody a nevýhody metody MAG	32
3.1.2 Pracovní cyklus svařovacího zdroje	32
3.1.3 Svařovací zdroje	33
3.2 Svarové spoje	35
3.2.1 Značení svarů	35
4. Robotizované svařovací pracoviště – buňky	37
4.1 Pracoviště se svařovacím robotem a polohovadlem	37
4.2 Pracoviště se stabilním svařovacím automatem a polohovacím robotem	40
4.3 Kompaktní, konfigurovatelné svařovací buňky	41
5. Praktická část	42
5.1 Výběr sestav vhodných pro robotizaci	42
5.1.1 Ocelový závěsný balkon	42
5.1.2 Kotvení balkonu	44

5.1.3	Příslušenství balkonů	45
5.1.4	Finální výběr sestav	46
5.2	Svaření vzorových sestav	48
5.2.1	Svařování závěsného kotevního háku – část 1	48
5.2.2	Pracovní ověřovací zkoušky vzorku č. 3.....	52
5.2.3	Svařování závěsného kotevního háku – část 2	55
5.2.4	Ověření velikosti svarů pásnic	58
5.2.5	Svaření závěsných kotevních háků se zmenšenými svary	61
5.2.6	Svařování boků balkonů	62
5.3	Kvalifikace postupu svařování.....	65
5.3.1	Určení rozsahu kvalifikace a potřebných zkoušek.....	65
5.3.2	Svaření zkušebních kusů pro kvalifikaci.....	66
5.3.3	Zkoušky pro kvalifikaci svarů	67
5.4	Návrh robotizovaného pracoviště	72
5.4.1	Požadavky na robotizované pracoviště	72
5.4.2	Výběr základních komponent pro pracoviště.....	73
5.5	Technickoekonomická analýza robotizace výroby	79
5.5.1	Stanovení vstupních hodnot.....	79
5.5.2	Roční využitelnost robotizovaného pracoviště	80
5.5.3	Návratnost investice do robotizovaného pracoviště	81
5.5.4	Nové technické možnosti a požadavky	84
6.	ZÁVĚR	85
	Bibliografie.....	87
	Seznam tabulek	90
	Seznam obrázků.....	91
	Přílohy.....	95

Seznam zkratek

CCD	charge coupled device – elektronická součástka pro snímání obrazu
CEV	carbon equivalent – uhlíkový ekvivalent
CMT	cold metal transfer – přenos studeného kovu
HV10	zkouška dle Vickerse se zkušebním zatížením 10 kg
MAG	metal active gas – metoda svařování kovů s aktivní atmosférou
MIG	metal inert gas – metoda svařování kovů s inertní atmosférou
PA	poloha svařování vodorovná shora
PB	poloha svařování vodorovná šikmo shora
PRaM	průmyslové roboty a manipulátory
SAW	svařování pod tavidlem
SS	souřadný systém
TOO	tepelně ovlivněná oblast svaru
WPQR	welding procedure qualification record - kvalifikační certifikát svařování odzkoušeného svařeného zkušebního kusu
WPS	welding procedure specification – specifikace postupu svařování
ZM	základní materiál

Seznam použité symboliky

DZ	[%]	zatěžovatel svařovacího zdroje
t_s	[s]	doba zatížení zdroje
t_o	[s]	doba přestávek v pracovním cyklu
T	[mm]	Tloušťka plechu polotovaru
a	[mm]	velikost svaru
h	[mm]	velikost vady
I	[A]	svařovací proud
U	[V]	svařovací napětí
b	[mm]	délka svaru
F	[N]	síla v kotvě (otvoru)
L	[mm]	maximální vzdálenost otvoru (kotvy) od svaru
i	[-]	počet nosných svarů
R_{eH}	[MPa]	minimální mez kluzu
τ_{\perp}	[MPa]	kolmé napětí v tahu ve svaru
$\tau_{\perp o}$	[MPa]	kolmé napětí v ohybu ve svaru
M_o	[Nmm]	ohybový moment
W_o	[mm ³]	kvadratický modul průřezu v ohybu
τ	[MPa]	kombinované tečné napětí ve svaru
$\alpha_{\tau\perp 1}$	[-]	součinitel anizotropie pro koutový svar namáhaný ohybem
$\alpha_{\tau\perp 2}$	[-]	součinitel anizotropie pro koutový svar namáhaný smykem
t	[mm]	tloušťka zkušebního kusu

n_H	[-]	počet vyráběných kotevních háků za rok
n_B	[-]	počet vyráběných boků balkonů za rok
C_H	[1/den]	kapacita pracoviště pro ruční svařování kotevních háků
C_B	[1/den]	kapacita pracoviště pro ruční svařování boků balkonů
T_{Hi}	[min]	čas robotizovaného svařování kotevního háku (jednotkový)
T_{Bi}	[min]	čas robotizovaného svařování boku balkonu (jednotkový)
I_p	[Kč]	počáteční investice do robotizovaného pracoviště
N_o	[Kč]	náklady na kvalifikaci operátora
N_{wpq}	[Kč]	náklady na WPQR
$F_{rč}$	[h]	roční využitelný časový fond
s	[-]	počet pracovních směn

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Robotizace je velkým tématem 21. století. Je způsobena neustálým zvyšováním požadavků na kvalitu a rychlost produkce výrobních firem. Jako „inkubátor“ pro robotizaci sloužil v posledních desetiletích především automobilový průmysl. Další oblasti, kde byl umožněn rozmach robotizace jsou například elektrotechnický průmysl, zpracovatelský průmysl, farmaceutický průmysl, a méně diskutovaný obor skladování a logistiky. Díky tomu, že jsou principy robotizace z velké části prozkoumány a popsány v uvedených oborech, začínají se do tohoto trendu zapojovat i střední a malé firmy s menším kapitálem a zázemím. Ty už pro zavedení jednoduché robotizace do svých výrobních procesů nemusí vynaložit tolik zdrojů, jako průkopnické firmy ve zmíněných oborech. Příkladem zavedení do malé firmy může být realizace robotizovaného pracoviště s ramenem pro svařování ocelových sestav v rámci výroby ocelových závěsných balkonů firmy PEKSTRA spol. s r.o.

Hlavním cílem diplomové práce je posoudit vhodnost robotizace svařování ocelových sestav vyráběných firmou PEKSTRA spol. s r.o.

Dílčí cíle praktické části diplomové práce jsou:

- výběr sestav z reálného procesu výroby, které jsou vhodné pro robotizaci
- tvorba výrobní dokumentace, sestavení programu pro vybrané svařovací rameno
- reálné svaření vzorků pomocí robotického ramena, ověření svařovacích parametrů
- optimalizace svařovacího procesu
- základní návrh robotizovaného pracoviště
- technickoekonomická analýza robotizované výroby

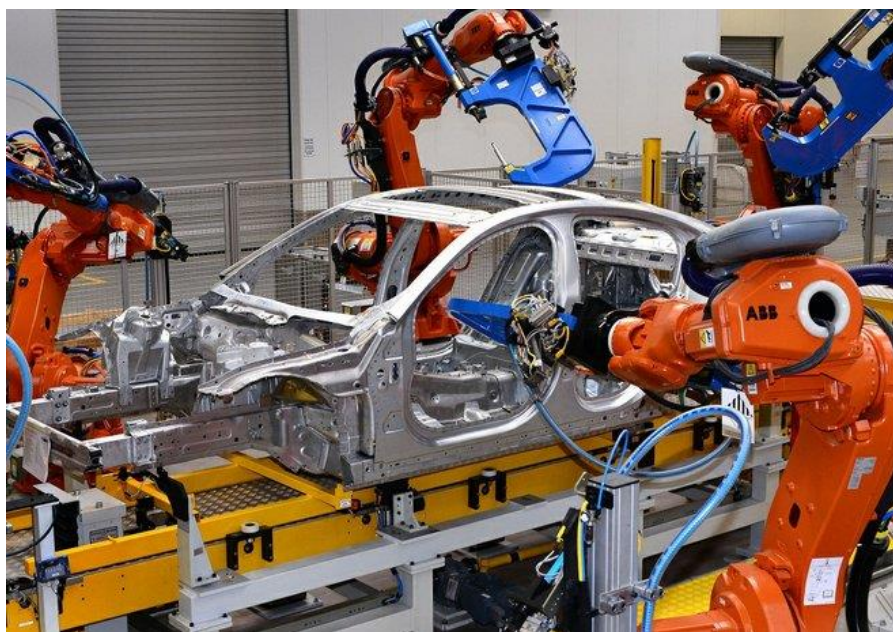
Cílem teoretické části je sestavit rešerši zařízení pro robotizaci, se zaměřením na robotizaci svařovacího procesu. Práce bude obsahovat i rozbor vhodnosti svařenců pro robotizaci, dále rozbor svarových spojů, metody svařování, a robotizovaných svařovacích buněk.

2. Robotizace svařovacích procesů

Robotizaci lze chápat jako využití průmyslového robota nebo manipulátoru pro vykonávání technologické nebo manipulační činnosti, která probíhá podle předem stanoveného postupu, u kterého se pracovní takt stále opakuje. [1]

Robotizace je vyšší stupeň mechanizace. Mechanizace je proces, při němž stroje nahrazují člověka při fyzicky namáhavé nebo opakující se práci. Umožňuje zvýšení výkonnosti určité technologie na hranici technologických podmínek. Dalším důležitým pojmem je automatizace, která je nástupcem mechanizace. Automatizace zajišťuje samočinné řízení a kontrolu průběhu určitého úkonu nebo souboru úkonů tvořících výrobní proces. Na rozdíl od mechanizované výroby, automatizovaná výroba se dokáže lehce přizpůsobovat změnám v průběhu výroby. [2]

Stejně jako většinu výrobních a nevýrobních procesů lze robotizovat také svařování. Tato technologie spojování materiálů byla právě jednou z těch, které prorazily cestu robotizaci napříč všemi obory.



Obrázek 1: Robotizované odporové svařování karoserie automobilu [1]

2.1 Zařízení pro robotizaci svařování

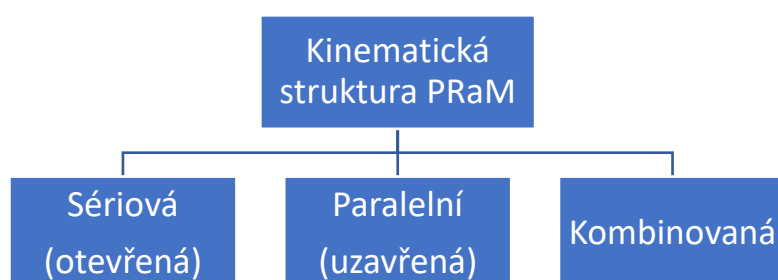
Robotizace svařování je uskutečňována robotizovaným pracovištěm. Jeho základní koncepce zahrnuje průmyslového robota, který nese pracovní hlavici uzpůsobenou pro svařování a polohovací manipulátor, který zajišťuje požadovanou polohu svařovaných dílů v prostoru. Pro robotizaci svařovacího procesu jsou průmyslový robot a manipulátor hlavními zařízeními, na kterých stojí i padá celá technologie. [3]

2.1.1 Druhy průmyslových robotů a manipulátorů

Z hlediska konstrukce a rozdělení jsou manipulátory a průmyslové roboty totožné. Lze je rozlišovat podle jejich činnosti, kdy manipulátor většinou slouží k jednodušší manipulaci s břemenem. Robot bývá vybaven sofistikovanějším příslušenstvím, které mu umožňuje vykonávat složitější činnosti, jako právě svařování, montáž, lepení, lakování, aj. Průmyslové roboty a manipulátory lze rozdělit dle více kritérií. V této práci se PRaM dělí nejprve dle jejich kinematiky, a dále podle provedení a úrovně řízení. [3, 4]

Rozdělení PRaM podle kinematické struktury

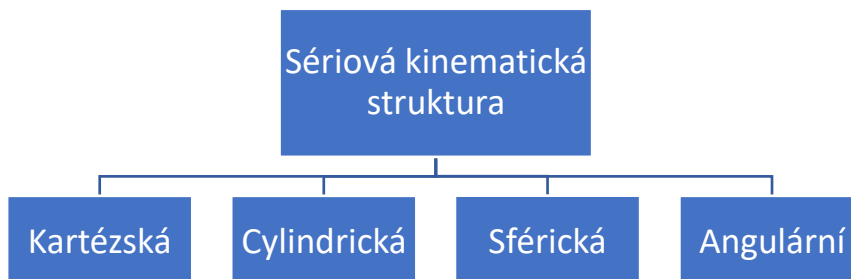
Rozdělení dle kinematické struktury je zobrazeno na obrázku níže, následuje popsání jednotlivých druhů. Každý druh má charakteristické vlastnosti, výhody a nevýhody, a je určený pro danou oblast použití. [5]



Obrázek 2: Rozdělení PRaM podle kinematické struktury [5]

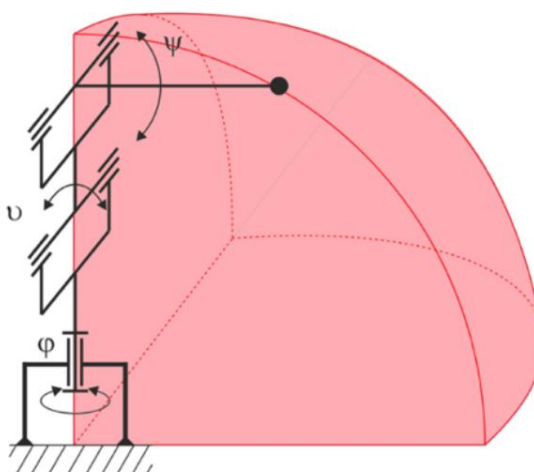
Sériová kinematická struktura neboli otevřená kinematická struktura je charakteristická sériovým řazením rotačních a posuvných kinematických dvojic za sebou. Takto řešené PRaM se vyrábí přibližně v 90 % případů. Nevýhody otevřené struktury jsou nízká tuhost, statické a dynamické kmitání, nižší přesnost a manipulovatelnost v provozu. Výhodou jsou nižší nároky

na řídicí systém a větší dosah. Na konečném členu se projevuje suma chyb jednotlivých kinematických dvojic. PRaM se sériovou kinematickou strukturou se dále dělí podle použitého souřadného systému (obrázek 3). [5, 6]



Obrázek 3: Rozdělení PRaM se sériovou strukturou dle SS [5]

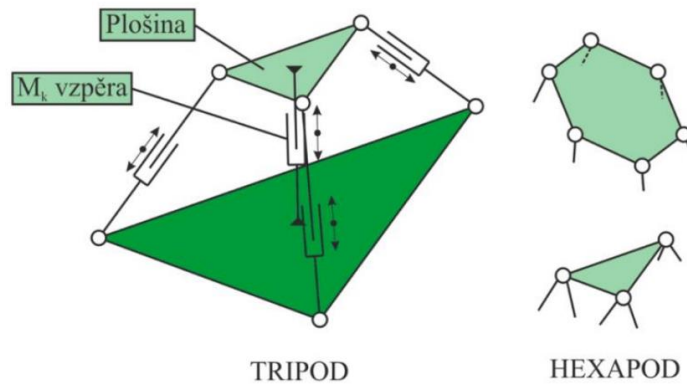
PRaM využívají běžné SS (kartézský, cylindrický, sférický) a angulární. Angulární kinematická struktura (obrázek 4) je složena alespoň ze 3 rotačních kinematických dvojic, které tvoří kulový pracovní prostor, tzv. torus. Toto uspořádání je v dnešní době nejrozšířenějším, jelikož vyniká v univerzálnosti, vysoké manipulační schopnosti a vysokou pohyblivostí. Nevýhoda je nižší přesnost polohování a složitější řízení. [5, 7]



Obrázek 4: Angulární struktura PRaM [5]

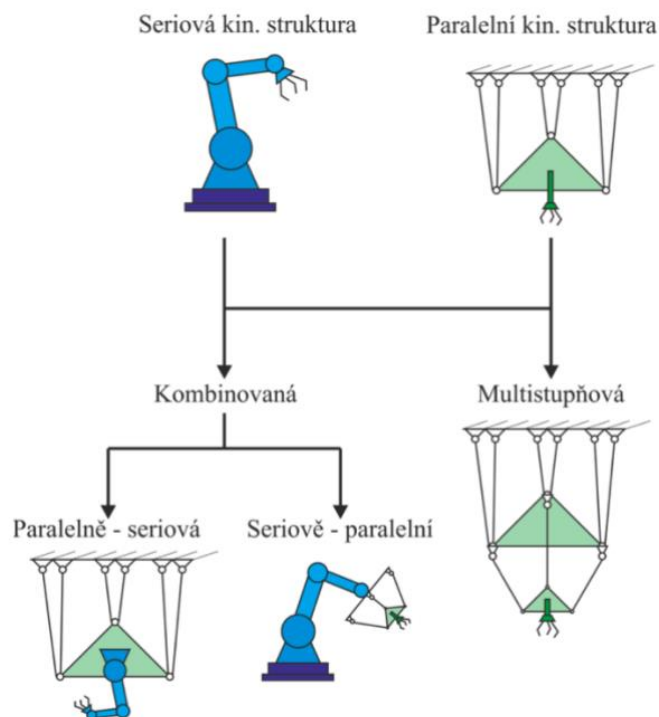
Paralelní kinematické struktury, nazývané také jako uzavřené, se skládají z paralelně řazených členů. Takto koncipovaný manipulátor obsahuje 3 až 6 kinematických dvojic, které zajišťují veškerý pohyb. Výhodami paralelní struktury jsou vysoká přesnost a rychlost polohování, tuhost a užité zatížení. Nevýhodou je vysoký nárok na řídicí systém, riziko vzniku kolize mezi

jednotlivými kinematickými dvojicemi, riziko vzniku singulárních poloh. Na obrázku 5 je zobrazeno konstrukční provedení paralelní struktury, které nazýváme jako tripod nebo hexapod, podle počtu vzpěr. Tripod - 3 vzpěry, hexapod - 6 vzpěr. [5]



Obrázek 5: Paralelní kinematická struktura [5]

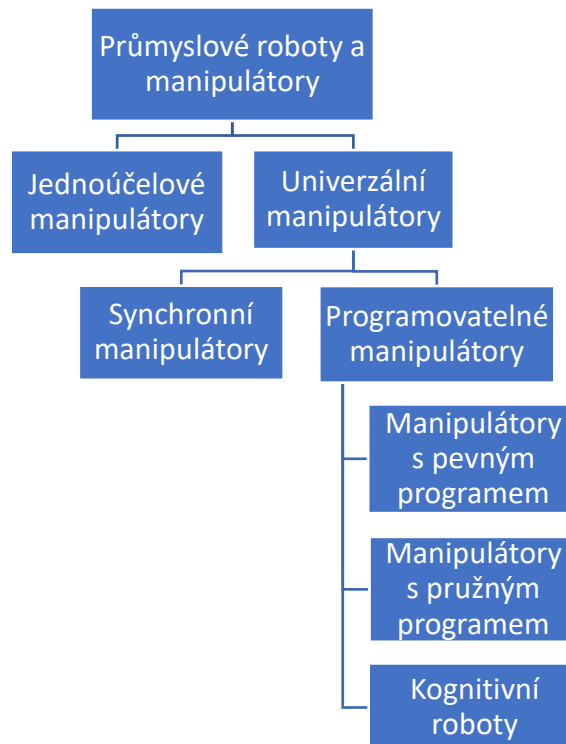
Kombinovaná kinematická struktura se používá pro nejsložitější aplikace. Kombinací sériové a paralelní kinematické struktury lze sestavit systém, který má mnohem rozsáhlejší možnosti použití než struktury samostatné. Kombinovaná struktura je zobrazena na obrázku 6. [5, 7]



Obrázek 6: Schéma zařazení kombinovaných kinematických struktur [5]

Rozdělení PRaM podle provedení a úrovně řízení

Další rozdělení PRaM zohledňuje jejich provedení a způsob řízení. S tím souvisí také oblast použití a nároky pro dané zařízení. Schéma rozdělení je zřejmé z obrázku 7.

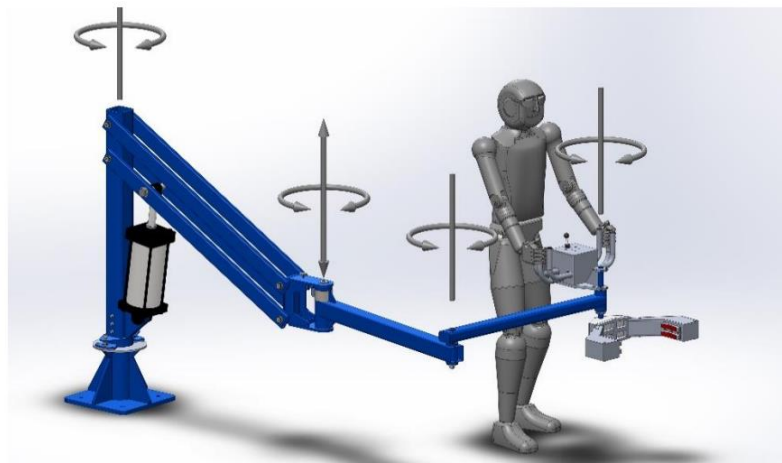


Obrázek 7: Rozdělení PRaM podle provedení a řízení [5]

Jednoučelové manipulátory, jak již název napovídá, jsou určeny pro manipulaci jedním předmětem, nebo předměty velmi podobnými. Většinou jsou součástí většího celku a slouží k obsluhování výrobních strojů. Tyto manipulátory zpravidla neobsahují vlastní pohon. Pohyb a řízení zajišťuje obsluhovaný stroj. Jejich pracovní pohyb bývá prostý, často pouze v jedné ose. Ve většině případů slouží k automatizaci manipulace pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jednoučelové manipulátory provádí podávání materiálu nebo výměnu nástroje. Bývají označovány také jako podavače, autooperátory, podávací zařízení. [5, 7]

Univerzální manipulátory nejsou závislé na obsluhovaném stroji. Mají tedy vlastní pohony a vlastní řízení. Jsou určeny pro složitější manipulaci s materiálem pomocí více poháněných os. Jedná se o samostatné mechanismy, které se dále dělí podle obrázku 7. [5, 7]

Synchronní manipulátory jsou manipulátory s ručním řízením, které se jinak označují i jako teleoperátory. Řízení provádí člověk, řídicí pracovník. Teleoperátor zajišťuje zvýšení síly, momentu a úchopových schopností. Řídicí pracovník tedy zastává funkci řídicího počítače, a těžkou fyzickou práci vykonává synchronní manipulátor. [5, 7]



Obrázek 8: Schéma synchronního manipulátor [8]

Programovatelné manipulátory jsou nezávislé na obsluhovaném stroji z hlediska řízení, konstrukce i pohonů. Jsou tedy samostatně fungující manipulační jednotkou, která je řízena vlastním programovatelným systémem. Mezi ně patří manipulátory s pevným programem, s pružným programem, a kognitivní roboty neboli manipulátory třetí generace. [5, 7]

Manipulátory s pevným programem jsou vybaveny programovým řízením, které je při provozu neměnné. Řízení bývá jednoduché, ve většině případů mechanické. Činnosti těchto manipulátorů jsou pevně naprogramované při uvádění do provozu. Pro změnu činnosti je nutná složitá úprava programu. Jejich výhodou je nižší pořizovací cena, méně nákladný provoz a celkově jednodušší koncepce manipulátoru. V praxi se používají velmi často, označují se také jako jednoduché průmyslové roboty. [5, 6, 7]

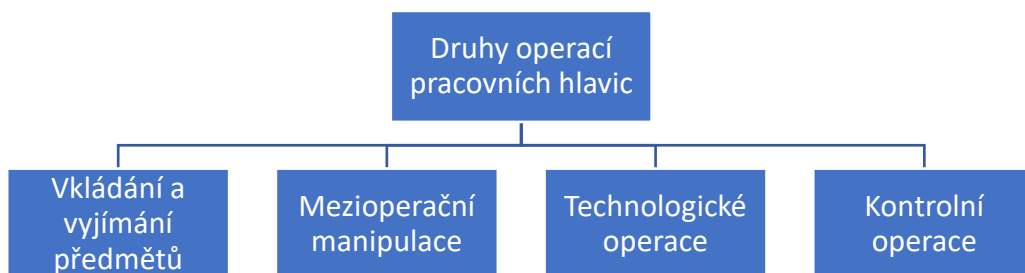
Manipulátory s pružným programem jsou technicky vyspělé, samostatně fungující manipulátory, které jsou vybaveny senzory a propracovaným řídicím systémem. Ten umožňuje volbu jednotlivých programů, zpracovává údaje ze sensorických systémů a ovládá pohony manipulátoru. Řídicí systém může také ovládat pracovní hlavici podle technologie, na kterou je manipulátor používán. Řízení probíhá adaptivně a manipulátor může být částečně

samostatný. Jinak se označují také jako průmyslové roboty a jsou ideální pro použití při robotizovaném svařování. [5, 7]

Kognitivní roboty neboli manipulátory třetí generace jsou nejvyspělejší programovatelné manipulátory (roboty), které jsou řízeny umělou inteligencí. Díky tomuto způsobu řízení jsou kognitivní roboty schopny vnímat vnější podmínky a zadané cíle, samostatně sestavit program pro ideální splnění zadaných cílů, a následně jej realizovat. Úkolem člověka je tedy pouze zadat cíl do řídicího systému. [5, 6]

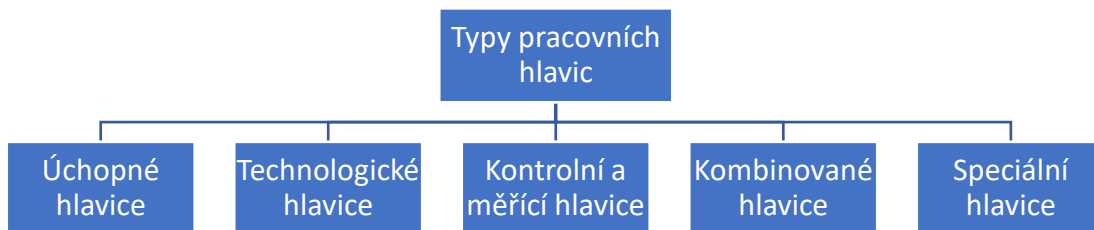
2.1.2 Pracovní hlavice

Pracovní hlavice je konečný člen manipulátoru či průmyslového robota, který vykonává naprogramované činnosti. Zpravidla je pracovní hlavice vybavena senzory, kamerami, úchopy, technologickými zařízeními a dalším příslušenstvím. To zapříčiňuje, že hlavice často představuje velkou část z pořizovacích nákladů. Její správné fungování je klíčové ve všech případech použití, které jsou znázorněny na obrázku 9 [5, 9]



Obrázek 9: Druhy operací pracovních hlavic [7]

Podle typu operací, pro které se hlavice používají, je lze rozdělit podle obrázku 10.



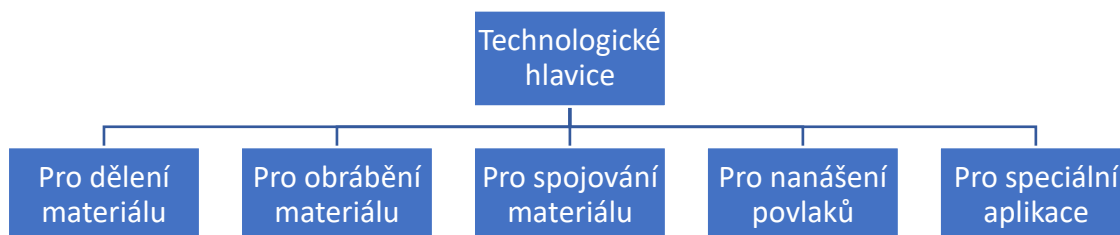
Obrázek 10: Schéma dělení pracovních hlavic [5]

Technologické hlavice jsou výkonným koncovým členem PRaM, v případě že jsou určeny k provádění technologických operací. Uplatňují se ve strojírenských i nestrojářských aplikacích, především u angulárních robotů se sériovou kinematickou strukturou. Technologická hlavice je tvořena samotným nástrojem uzpůsobeným pro danou operaci, mechanismem pro připojení k robotu, sensorickými systémy, propojení s řídicím systémem, a je vybavena potřebným periferním zařízením. [7, 9]

Mezi periferní zařízení patří:

- výkonové agregáty
- energetické řetězce
- balancéry pro kompenzaci polohy
- podavače drátu
- polohovací přípravky
- další zařízení potřebné pro danou technologii

Z důvodu náročnosti a velké rozmanitosti technologických operací se pro každou technologii vyvíjí a vyrábí zcela konkrétní a přizpůsobené řešení technologických hlavic. Lze je dělit podle druhu operace, pro kterou jsou určeny. Rozdělení je uvedené na obrázku 11. [7, 10]



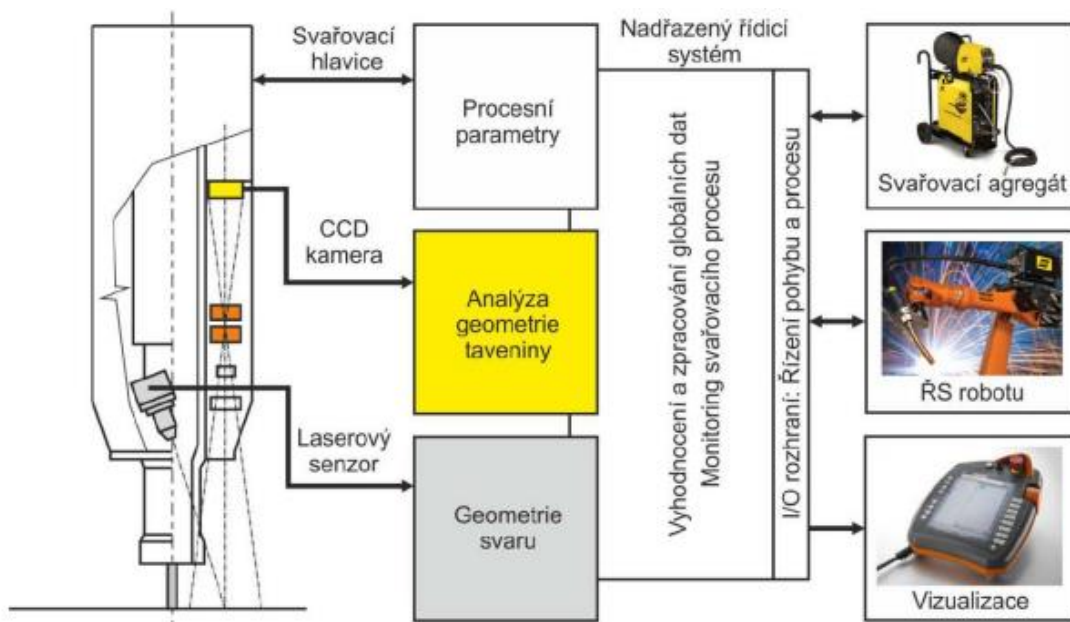
Obrázek 11: Schéma rozdělení technologických hlavic [10]

V souladu s tématem závěrečné práce se další odstavce zaměří na technologické hlavice pro spojování materiálu, konkrétně pro obloukové svařování v ochranné atmosféře.

Pro dosažení požadovaného kvalitního svaru je potřebné, aby technologická hlavice přesně přiváděla svařovací drát do místa tavné lázně. Kromě toho musí hlavice zajišťovat všechny technologické podmínky pro svařování, například ochrannou atmosféru, délku oblouku, svařovací proud a napětí, vnesené teplo, rychlost svařování, rozkmit. [9, 10]

Pro přesné navádění svařovacího drátu je využívána řada snímačů, které pracují na základě různých fyzikálních principů [11]:

- dotykové snímače
- elektrodové kontaktní snímače
- induktivní snímače
- kapacitní
- optické
- laserové
- ultrazvukové snímače a další



Obrázek 12: Schéma svařovací hlavice s laserovým senzorem [11]

Na obrázku 12 je zobrazena koncepce svařovací technologické hlavice s vyznačeným laserovým senzorem a CCD kamerou. Každý z těchto snímačů je zaměřen na jiný aspekt procesu. Je možné používat kombinaci dalších snímačů a sensorických systémů. Všechna tato zařízení ale musí být propojena s nadřazeným řídicím systémem, který informace zpracovává

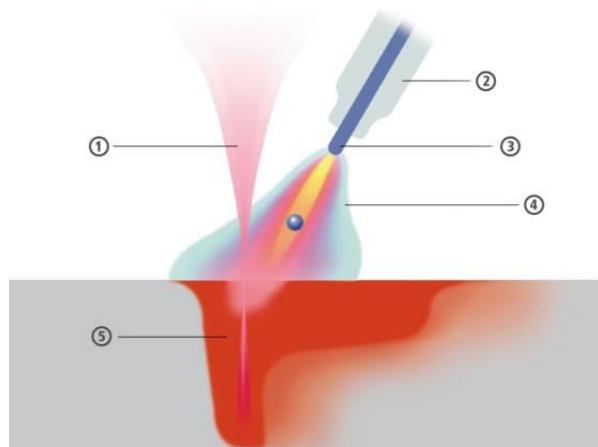
a rozděluje do dalších systémů podle potřeby. Na základě obdržených informací pak řídicí systém robotu, popřípadě svařovací agregát, upravuje podmínky pro svařování. Délka oblouku je ve většině případů korigována změnou rychlosti podávání drátu. Toho se ve svařovací hlavici dosáhne změnou rychlosti otáčení podávacích kladek. [11]



Obrázek 13: Technologická hlavice pro svařování v ochranné atmosféře [12]

Většinou je svařovací hlavice určena pouze pro 1 metodu svařování. Objevují se ale i hybridy, u kterých lze zvolit z více metod, nebo tyto metody spojují v 1 speciální technologii. Například kombinace svařování laserem a metodou MIG, kterou nabízí firma Fronius - technologie LaserHybrid. [11, 13]

LaserHybrid je kombinace svařování laserovým paprskem a elektrodou v ochranné atmosféře. Jedná se o velmi rychlou metodu svařování, která se používá v automotive a při svařování lodních součástí. Její výhodou je dobrá schopnost přemostňovat mezery, nízký tepelný příkon, větší hloubka prostupu tepla do materiálu, velmi vysoká rychlost svařování, malé převýšení svarové housenky. Rychlost svařování může dosáhnout až 8 metrů za minutu při dodržení výborné kvality. [13]

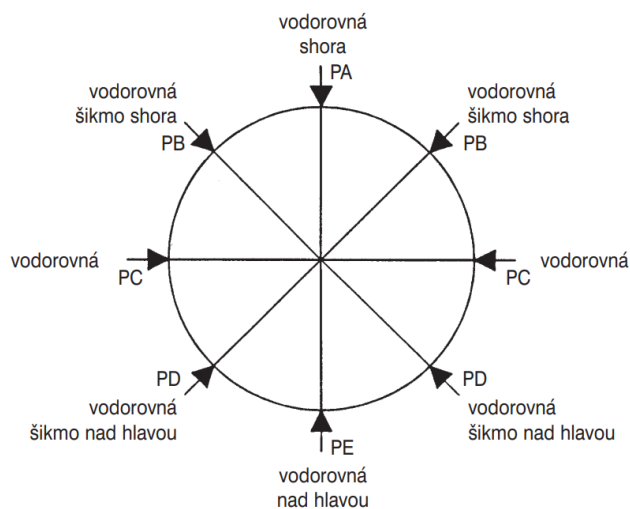


Obrázek 14: Místo svaru technologie LaserHybrid [13]

- 1- laserový paprsek
- 2- přívod ochranné atmosféry
- 3- elektroda v podobě svařovacího drátu
- 4- oblouk (pulzní)
- 5- prostup tepla do materiálu

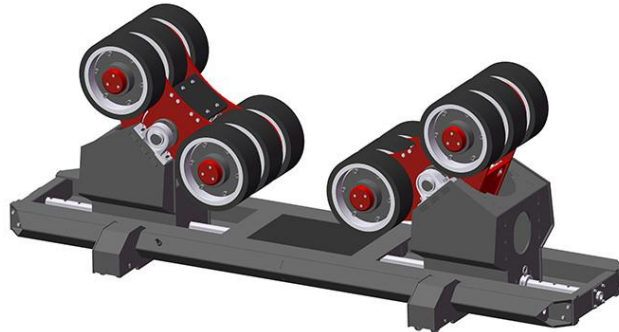
2.1.3 Polohovadla

Polohovadla jsou jednoúčelové manipulátory, které slouží k umístění a nastavení základní polohy svařence. Jejich kinematika se skládá většinou z jedné nebo dvou rotačních os. Často je pohyb polohovadel synchronizován s pohybem svařovacího robota. Základními polohami se myslí zpravidla polohy 0 až 45 stupňů na všechny strany od svislého svařování. To jsou polohy PA (vodorovná shora) a PB (vodorovná šikmo shora), které jsou zobrazeny na obrázku 15. Poloha PA se používá pro tupé a koutové svary. Poloha PB je určena pro svary koutové. Pro tyto účely slouží několik typů polohovadel, které budou následně charakterizovány. Existuje mnoho typů polohovadel. Mezi základní se řadí kladková, stolová a čepová. [14, 15]



Obrázek 15: Polohy svařování podle ČSN EN ISO 6947 [16]

Kladková polohovadla se používají k sériovému svařování rotačních součástí větších průměrů. Skládají se minimálně se dvou dvojic kladek, z nichž jedna je hnací a druhá hnaná. Příklad kladkového polohovadla je zobrazen na obrázku 16. [14]



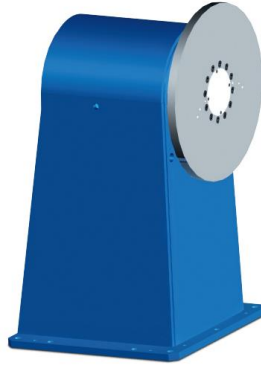
Obrázek 16: Kladkové polohovadlo [17]

Stolová polohovadla mívají 2 až 3 řízené rotační osy, což jim poskytuje univerzálnost použití. Používají se pro svařování, automatizované i robotizované. Dále se využívají k technologiím broušení, obrábění, čištění, a k montáži. Zvláštním typem stolového polohovadla je polohovadlo kolébkové, které je zobrazeno na obrázku 17. To je tvořeno otočným stolem, který je pomocí ramena připojen k čepovému polohovadlu. [14]

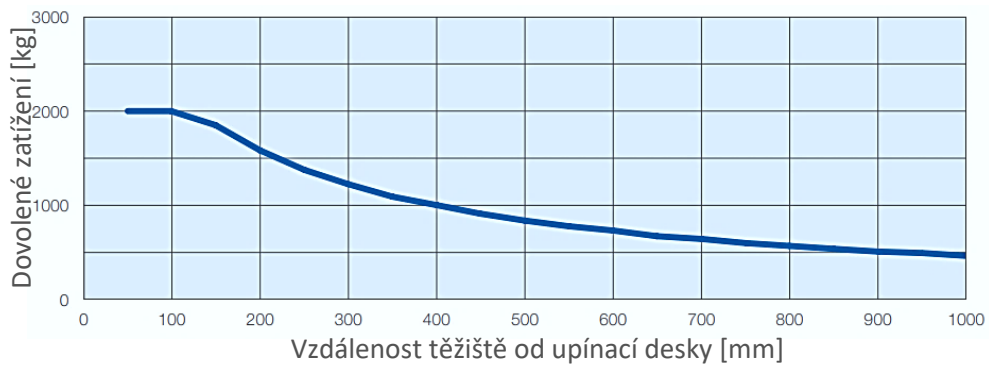


Obrázek 17: Kolébkové polohovadlo WL-500 firmy yaskawa [18]

Čepová polohovadla mají jednu řízenou rotační osu. S jejich pomocí lze svařovat součásti rotační i nerotační. Většinou je na jejich upínací desku uchycen svařovací stůl, ke kterému se svařenec upne pomocí upínek a přípravků. Místo tohoto stolu se také může na čepové polohovadlo umístit jednoúčelový přípravek, který je již uzpůsoben pro svařování daných dílců. Pro menší, lehké svařence lze použít jednostranné čepové polohovadlo. Pro svařence delší a těžší (přibližně od 500 kg a 1 m) se používají polohovadla oboustranná. [14]



Obrázek 18: Čepové polohovadlo WH-1000 firmy Yaskawa (jednostranné) [19]



Obrázek 19: Závislost jmenovitého zatížení polohovadla WH-1000 na vzdálenosti od upínací desky [19]

Na obrázku 19 je znázorněna závislost dovoleného zatížení polohovadla WH-1000 na vzdálenosti těžiště zatěžující síly od čelní upínací desky. Tato závislost je charakteristická pro každé polohovadlo. V případě oboustranného čepového polohovadla je závislost konstantní.

2.2 Rozbor svařenců vhodných pro robotizaci

V moderní době lze robotizovat téměř každý výrobní proces. Co se týče svařování, robotizace je zde velmi častá a na vysoké úrovni. To však stále neznamená, že je vhodná pro všechny druhy svařování ve všech svařovnách. Využití robota je v některých případech zamítnuto z důvodu kusové výroby, nebo svařování velmi složitých svařenců, které by se robotizovali složitě. Proto je při uvažování o robotizaci nejdůležitější zvážit sériovost výroby, a posoudit vhodnost svařenců pro robotizaci. [14]

2.2.1 Příklady svařenců z robotizované výroby

Většina ocelových svařenců by se dala rozdělit do 4 kategorií. Každá kategorie je charakteristická polotovary, ze kterých je svařenec vyroben, použitou technologií svařování, a typy svarů. Samozřejmě se tyto kategorie často prolínají a některé výrobky tvoří ještě další druhy. Zmíněné rozdělení lze použít i pro svařence vyrobené pomocí svařovacích robotů.

Příhradové konstrukce jsou prutové konstrukce, které bývají součástí střech, stavebních jeřábů, mostů, hal, atd. Jsou vyráběny z uzavřených profilů, občas v kombinaci s otevřenými profily. Prvky příhradové konstrukce se často opakují a vytváří tak jednotlivé moduly. Spoje jednotlivých profilů (prutů) se nazývají svařované uzly, nebo také styčníky. Ty jsou kritickým místem celé konstrukce a je zapotřebí jejich vhodné dimenzování.



Obrázek 20: Příhradová konstrukce [20]

Skořepinové konstrukce jsou často tvořeny trubkovými polotovary. Jedná se o tlakové nádoby, části potrubí, otevřené a uzavřené zásobníky, lodní konstrukce, a další. Jak napovídá název, tloušťka stěny těchto konstrukcí je většinou mnohonásobně menší než ostatní rozměry.



Obrázek 21: Svařování automatizovanou metodou SAW s využitím kladkového polohovadla [21]

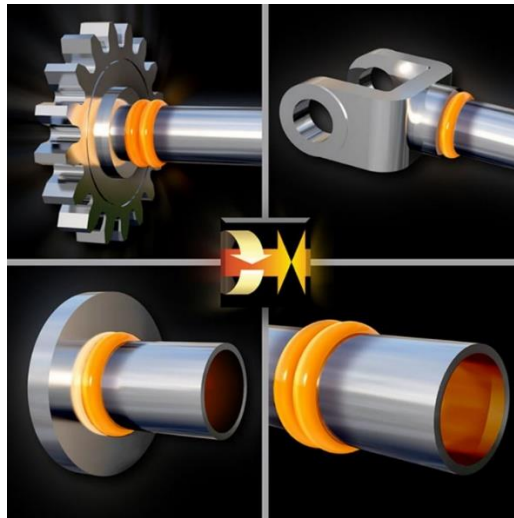
Plnostěnné konstrukce jsou otevřené nebo uzavřené. Otevřené se používají pro konstrukce hal, mostní konstrukce, a další stavební konstrukce. Uzavřené plnostěnné konstrukce lze vidět u rámců obráběcích strojů, skříní pro stroje, nosníků portálových a dalších jeřábů, atd. Vstupním polotovarem jsou otevřené profily a plechy.



Obrázek 22: Plnostěnná konstrukce výrobní haly [22]

Svařence běžných strojních součástí jsou většinou strojní součásti, které během pracovního procesu absolvují kromě jiného i svařování. Polotovary mohou být různé válcované tyče, obráběné polotovary, a další. V těchto případech se mnohdy nemusí jednat o svařování

obloukem v ochranné atmosféře. Pro svařování hřídelí je vhodnější používat svařování třením, takzvané frikční svařování. Typickými výrobky jsou pístní tyče, hřídele, pastorky, a další.



Obrázek 23: Příklady výrobků frikčního svařování strojních součástí [23]

2.2.2 Kritéria pro robotizaci svařování

Pokud výrobní firma uvažuje o robotizaci svařování, vždycky je jejím důvodem zvýšení produktivity a zisku. Další příčinou může být nedostatek kvalifikovaných zaměstnanců, což v důsledku opět vede ke zvýšení zisku. Zisk je definován jako rozdíl výnosů a nákladů. Výnosy lze pomocí robotizace svařování zvýšit díky většímu objemu výroby, který firma zvládne uskutečnit právě díky využití robota. Toho dosáhneme maximálním využitím robota na více směn, s minimálními přestávkami. Přestávky robota během směny by měly sloužit pouze pro založení polotovarů, nastavení robota, zadání programu, výměnu drátu nebo lahví s plynem a další technologicky nutné přestávky.

Pro zvýšení zisku je tedy nutné, aby z dlouhodobého hlediska převyšovaly výnosy z robota jeho náklady na pořízení a provoz. Výnosy, jak již bylo uvedeno, maximalizujeme plným využitím robota, s co nejmenšími přestávkami. Poměr času, kdy robot vytváří svar, ku času ostatnímu by měl být tedy co největší. Čím déle robot svařuje svařenec na jedno upnutí, tím se teoreticky zvyšuje jeho výnosovost. Proto je výhodnější robotizovat výrobu svařenců s velkou celkovou délkou svarů. Dále by se měla minimalizovat doba přípravy robota a pracoviště na 1 svařenec. To znamená vytvořit přípravek, který umožňuje rychlé uchycení polotovarů, a svařence vyrábět ve větších sériích. Pokud jsou výrobní série malé, lze ušetřit čas sestavením univerzálního přípravku, který umožňuje uchycení více druhů svařenců.

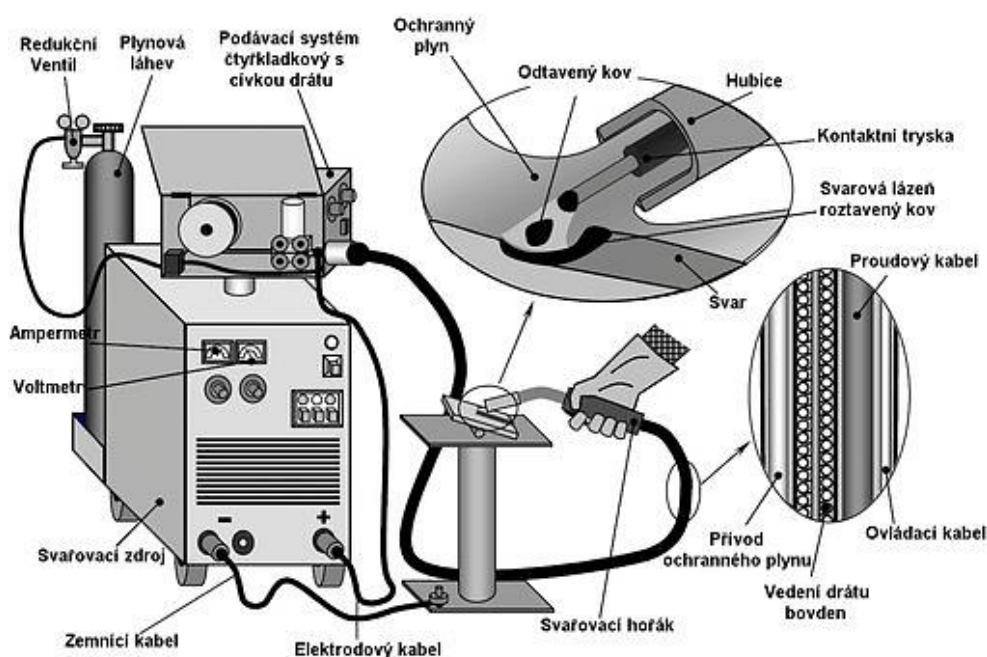
Obecně lze tedy říct, že pro robotizaci jsou vhodné svařence s velkým počtem dlouhých svarů, které se vyrábí ve velkých sériích. Pokud se vyrábí v malých sériích, je výhodné svařovat podobné výrobky, u kterých lze použít stejný přípravek, stejné nastavení robota, a podobné programy. V některých případech je výhodná robotizace i při kusové výrobě, především pokud je požadovaná vysoká kvalita a přesnost svaru, nebo svařenec disponuje extrémní celkovou délkou svarů. [14, 24]

3. Rozbor metody svařování a svařových spojů

Svařování v ochranné atmosféře je nejčastějším druhem svařování. Tato práce se zaměřuje na svařování metodou MAG, která bude níže přiblížena.

3.1 Svařování metodou MAG

Zkratka MAG označuje metodu **Metal Active Gas**, při které se vytváří svar tavením elektrody pomocí elektrického oblouku, v aktivní ochranné atmosféře. Elektroda je v podobě svařovacího drátu navinutá na cívce a přiváděna do hořáku a následně do místa svařové lázně. Zde se taví vlivem tepla elektrického oblouku. Svařová lázeň je chráněna proti oxidaci ochrannou atmosférou, kterou tvoří aktivní ochranný plyn. Ten je přiváděn z tlakové lahve soustavou hadic do hořáku a následně proudí kolem svařovacího drátu směrem do místa svaru. [25, 26, 27]



Obrázek 24: Schéma svařování metodou MAG [28]

Metoda MAG je vhodná pro svařování nelegovaných až vysokolegovaných ocelí v tloušťce základního materiálu od 0,8 do 40 mm. Proud je stejnosměrný s nepřímou polaritou. To znamená, že elektroda je připojena na kladný pól svařovacího zdroje a základní materiál je na záporném pólu svařovacího zdroje. Druh přenosu kovu je závislý na velikosti svařovacího proudu. Při nízkém proudu (menší výkon) je přenos zkratový, při vyšším proudu (vyšší výkon) je přenos sprchový, jak je zobrazeno v tabulce 1. [14, 25]

Tabulka 1: Typy přenosů a jejich parametry

Typ přenosu	Proud	Napětí
Zkratový	40-190 A	14-21 V
Sprchový	200-400 A	28-40 V

Existují i další druhy přenosů (oblouků), a to: krátký, přechodový, pulsní, rotující, kombinovaný.

3.1.1 Výhody a nevýhody metody MAG

Výhody metody MAG:

- vysoká rychlost svařování
- vysoký výkon odtavení
- stabilní oblouk, méně náročný na zručnost svářeče
- vhodný pro robotizaci svařování
- vhodný pro všechny polohy svařování
- nízké náklady na přídatný materiál a ochranný plyn
- snadné zapalování oblouku

Nevýhody metody MAG:

- citlivá metoda na čistotu povrchu (oxidy, vlhkost)
- velké množství vyzařené tepla
- náročnější udržení ochranného plynu v místě svaru
- nelze svařovat slitiny hliníku (metodou MIG lze), speciální slitiny a velmi tenké materiály [26]

3.1.2 Pracovní cyklus svařovacího zdroje

Pracovní cyklus zdroje se začal sledovat z toho důvodu, že ruční a poloautomatické svařování není kontinuální proces, ale přerušovaný. Zdroj se výkonově dimenzuje pro efektivní využití použitých materiálů. Definovány jsou cykly:

- normalizovaný cyklus pro ruční svařování
- normalizovaný cyklus pro poloautomatické svařování

Délka normalizovaného pracovního cyklu je 10 minut, během které určitou dobu hoří oblouk a zbývající dobu nehoří (zdroj běží na prázdko). Je potřeba rozlišovat přesný čas, kdy se

svařuje, a čas přestávky (přejezdů), nebo odpočinkový čas. Pro tyto účely je zavedena veličina zatěžovatel DZ, který vyjadřuje charakteristickou dobu zatížení. [14, 15]

$$DZ = \frac{t_s}{(t_s + t_0)} * 100 [\%] \quad (1)$$

Kde t_s je doba zatížení zdroje a t_0 je čas přestávky v pracovním cyklu.

Americká národní asociace výrobců elektrických zařízení NEMA uvádí 3 kategorie svařování a zdrojů podle hodnoty zatěžovatele.

- skupina I – DZ = 60 až 70 %; robotizované svařování, vysoká zátěž a vysoká produkce
- skupina II – DZ = 30 až 50 %; ruční svařování, nekontinuální, nižší produkce
- skupina III – DZ ≈ 20 %; velmi přerušované svařování, nízká produktivita [27]

3.1.3 Svařovací zdroje

Zdroje jsou určeny pro přeměnu a dodávku elektrického proudu v požadované formě. Tento proud dodávají do uzavřeného obvodu, ve kterém hoří elektrický oblouk. Parametry elektrického proudu jsou závislé na metodě svařování a svařovaném materiálu.

Hlavním úkolem zdroje je udržet konstantní napětí elektrického proudu při měnících se podmínkách. Dále odolávat krátkodobým zkratům, poskytovat dobré zapalování oblouku, spolehlivost a snadnou obsluhu. Samozřejmě každý zdroj musí splňovat bezpečnostní předpisy. [14, 15]

Vstupní údaje svařovacích zdrojů:

- jmenovité vstupní napětí (napájecí) – fázové, sdružené nebo třífázové
- jmenovitý kmitočet – obvykle 50 Hz
- jmenovitý příkon zdroje
- maximální příkon zdroje
- jištění sítě – hodnota a druh síťových pojistek
- účinník $\cos \varphi$ – fázový posuv mezi napětím a proudem

Výstupní údaje svařovacích zdrojů:

- napětí naprázdno
- pracovní napětí
- svařovací proud
- jmenovitý svařovací proud
- trvalý svařovací proud
- maximální svařovací výkon

- jmenovitý svařovací výkon
- účinnost zdroje

Vstupní údaje jsou podmínky, které je potřeba zajistit pro správný chod zdroje. Výstupní údaje jsou dány zdrojem a měly by korespondovat se zamýšlenou metodou svařování a svařovacími podmínkami. Moderní zdroje umožňují svařování více metodami (MIG + MAG). Rozlišení spočívá pouze v nastavení zdroje, výměně přídavného materiálu a ochranného plynu. [14]

Vyráběné svařovací zdroje lze dělit podle:

1. způsobu přeměny energie – rotační (svařovací dynamo) a statické (transformátory, usměrňovače, měniče)
2. druhu dodávaného proudu – stejnosměrné, usměrněné, střídavé

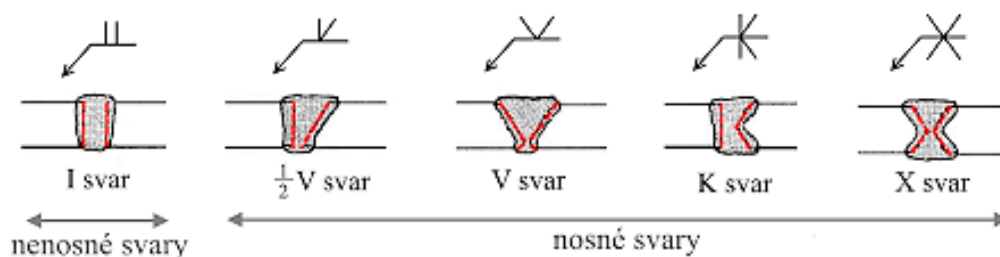
3.2 Svarové spoje

Svarový spoj je oblast, ve které dochází k nerozebíratelnému spojení 2 a více polotovarů materiálovým stykem. Oproti lepenému nebo pájenému spoji se odlišuje tím, že polotovary jsou nataveny a tepelně ovlivněny. Svarový spoj je tvořen vlastním svarem a tepelně ovlivněnou oblastí.

Svarové spoje se dělí podle tvaru svaru, účelu použití, polohy průřezu svaru vzhledem k zatěžujícím silám:

- dle tvaru se dělí na tupé, koutové, děrové, lemové, žlábkové, švové, bodové
- dle účelu použití se dělí na nosné, stehové, těsnící, kombinované
- dle polohy průřezu se dělí na čelní, boční, šikmé

Jednotlivé druhy se dále dělí na velmi široký sortiment svarů. Pro každou aplikaci je vhodný jiný druh. Nejčastěji používané jsou svary nosné koutové nebo nosné tupé. Ty budou použity i v praktické části této práce.

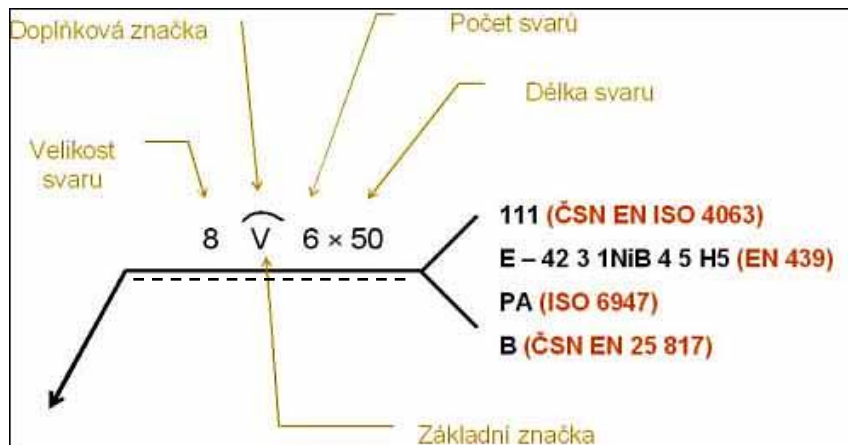


Obrázek 25: Nejčastější typy tupých svarů a jejich značení [29]

3.2.1 Značení svarů

Pro zajištění kvalitní výroby svařenců je potřeba dodržovat systém označování svarů, který je dán normou ČSN EN ISO 2553. Svařování a příbuzné procesy - zobrazování na výkresech - Svarové spoje. Existují 2 systémy značení, A a B. Rozdíl systémů spočívá v umístění identifikační čáry. Pro popis každého svaru na výkrese slouží značky (údaje) [30]:

- základní značka
- doplňková značka
- údaje o velikosti, délce a počtu svarů
- doplňující údaje (metoda svařování, druh elektrody, aj.)



Obrázek 26: Značení svarů dle systému A [30]

Základní značka určuje tvar svaru. Těch existuje velké množství. Nabízené tvary svaru programem Solid Edge jsou vyobrazeny na obrázku 27.



Obrázek 27: Druhy svarů v programu Solid Edge

Doplňková značka popisuje převýšení svaru a jeho opracování. Svar může být převýšený, plochý, vydutý, s opracovanými přechody, s podložkou přivařenou nebo odnímatelnou.

Doplňující údaje souvisí s použitou technologií svařování. Uvádí metodu svařování, použitý přídavný materiál, použité ochranné plyny, stupeň kvality spoje, aj. [15, 30]

4. Robotizované svařovací pracoviště – buňky

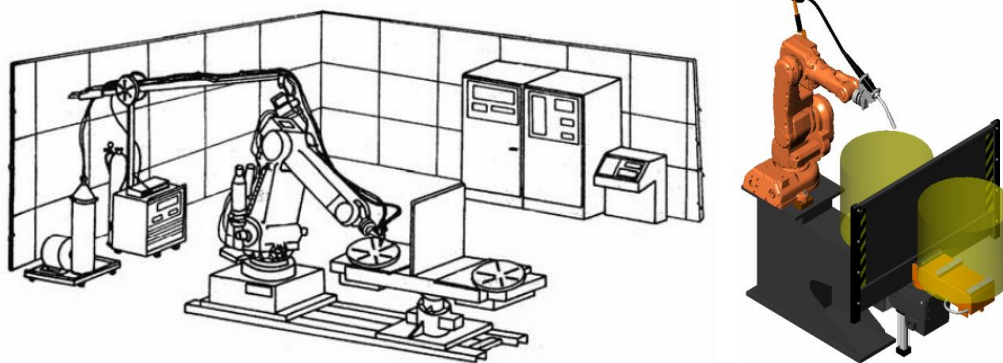
Robotizované svařovací buňky jsou robotizované pracoviště, která jsou uzpůsobena pro svařování, nejčastěji obloukové nebo odporové. Existují 2 základní koncepce robotizovaného pracoviště, které se liší v použitých automatizačních zařízeních. Svařovací buňky lze také rozdělit na stacionární a mobilní.

4.1 Pracoviště se svařovacím robotem a polohovadlem

V případě pracoviště se svařovacím robotem a polohovadlem probíhá proces na obecné prostorové dráze. Dráhu určuje pohyb svařovacího robota společně s pohybem manipulátoru. Tyto 2 prvky jsou ovládány souběžně a je nutné jejich přesná koordinace. Pracoviště se dále dělí podle počtu obsluhovaných stanovišť a způsobu jejich obsluhy.

Pracoviště se svařovacím robotem a polohovacím manipulátorem poskytuje obsluhu pouze jednoho stanoviště. Po každém svaření výrobku je robot zastaven po dobu, než se svařenec vyjme z polohovadla, a upnou se další polotovary. Svařovací robot má tedy delší a častější pauzy. Výhodou tohoto řešení jsou nižší pořizovací náklady a menší potřebný prostor pro realizaci.

Pracoviště se svařovacím robotem a dvojnásobným polohovacím manipulátorem obsahuje svařovacího robota a polohovadlo se 2 stanovišti, které jsou odděleny zástěnou. Zatímco robot pracuje na stanovišti č.1, obsluha zakládá polotovary na stanoviště č.2. Po dokončení obou prací se stanoviště prohodí, obsluha vyjme hotový svařenec a robot svařuje na stanovišti č.2. To zajišťuje rapidní snížení ztrátového času robota i obsluhy. Zároveň je ale vyšší pořizovací cena polohovadla, a je potřebný větší prostor pro pracoviště.



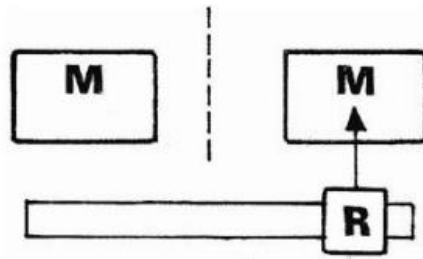
Obrázek 28: Schéma pracoviště s dvojitým polohovacím manipulátorem [31]

Pracoviště se stabilním robotem a translačně přestavitelnými polohovacími manipulátory rovněž využívá práce robota na střídajících se stanovištích. V tomto případě jde o translačně přestavitelná polohovadla, pomocí kterých lze sestavit svařovací linku hned s několika svařovacími roboty.



Obrázek 29: Stabilní průmyslové roboty a translačně přestavitelné polohovací manipulátory [31]

Pracoviště se svařovacím robotem na transportním modulu a více stabilními polohovacími manipulátory používá hned několik stabilních stanovišť, které obsluhuje 1 robot díky velkému dosahu. Dosah je zajištěn dodatečným posuvným pohybem robota po pracovišti. I v tomto případě je minimalizován ztrátový čas robota a obsluhy, jelikož pracují současně bez vzájemného čekání.



Obrázek 30: Schéma uspořádání pracoviště s robotem na transportním modulu [31]

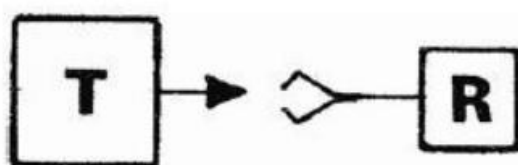


Obrázek 31: Příklad pracoviště se 2 stabilními polohovacími manipulátory a svařovacím robotem na transportním modulu [32]

S rozvojem robotizace se v praxi vyskytují kombinace těchto pracovišť, které tvoří robotizované linky. V tomto případě se často nahrazuje lidská pracovní síla i v případě obsluhy robotů. Celková koncepce pracoviště je potom specificky navržena pro určitý technologický proces.

4.2 Pracoviště se stabilním svařovacím automatem a polohovacím robotem

V případě tohoto typu pracoviště je svařovací hořák během procesu svařování statický, a je součástí svařovacího automatu. Průmyslový robot pohybuje se svařencem podle naprogramování. V některých případech je součástí svařovacího automatu i polohovadlo, které pohybuje se svařencem, čímž je celé pracoviště tvořeno 1 komplexním svařovacím automatem. Tato koncepce pracoviště je méně častá, a používá se především v případech, kdy je svařenec lehčí než svařovací hlavice. Použití svařovacího automatu je také časté u svařování tvarově jednoduchých součástí (svařování dlouhých rovných svarů, rotačních součástí).



Obrázek 32: Schéma uspořádání stabilního svařovacího automatu s polohovacím robotem [31]

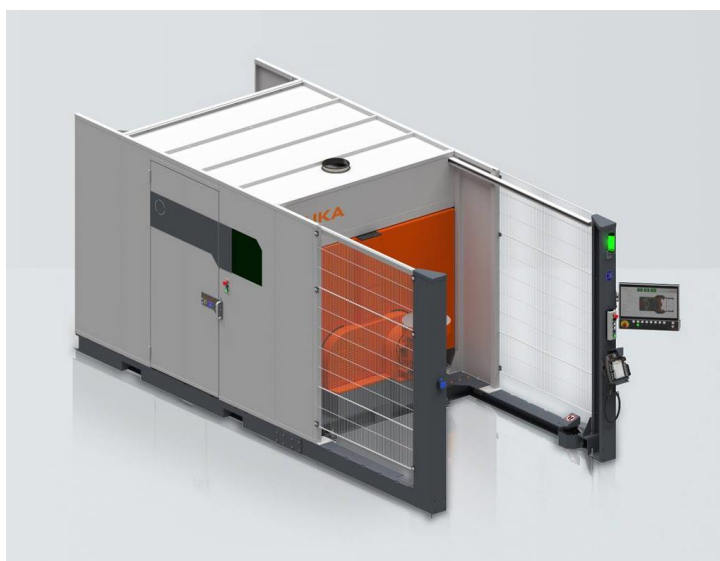


Obrázek 33: Svařovací automat KMO 111 pro svařování přírub, komínových kolen a dalších kruhových součástí [33]

4.3 Kompaktní, konfigurovatelné svařovací buňky

Výrobci svařovací techniky a svařovacích robotů nabízí kromě realizace otevřených, statických robotizovaných pracovišť také kompaktní, konfigurovatelné buňky, které jsou již od dodavatele uzpůsobeny dle požadavků zákazníka pro dané svařování. Tyto buňky mají výhodu v rychlé instalaci a uvedení do provozu, disponují kompaktním a uceleným řešením. Navíc lze tyto buňky podle požadavků poměrně jednoduše opakovaně přemísťovat.

Tyto buňky nabízí mezi jinými i firma KUKA. Jejich KUKA cell4_arc je uzpůsobena pro svařování metodami MIG a MAG. Lze ji individuálně konfigurovat dle požadavků zákazníka díky univerzálním standartním balíčkům. Buňka je vybavena svařovacím robotem KR CYBERTECH nano a 2 stanovišti s polohovadly. Během svařování na stanovišti 1 může tedy obsluha zakládat polotovary na stanovišti 2, jako je tomu u pracoviště se svařovacím robotem a dvojnásobným polohovacím manipulátorem.



Obrázek 34: Svařovací buňka KUKA cell4_arc [34]

5. Praktická část

Předmětem praktické části této diplomové práce je zavedení robotizace do výrobního procesu firmy PEKSTRA spol. s r.o. Firma se zabývá výrobou ocelových konstrukcí, především ocelových závěsných balkonů. Těch se ve firmě vyrobí ročně přibližně 950 kusů. K balkonům firma poskytuje i příslušenství jako jsou stříšky, sušáky na prádlo, zástěny. Také nabízí výrobu lodžii, ocelových schodišť, zábradlí, a další zakázkovou výrobu zámečnického charakteru.

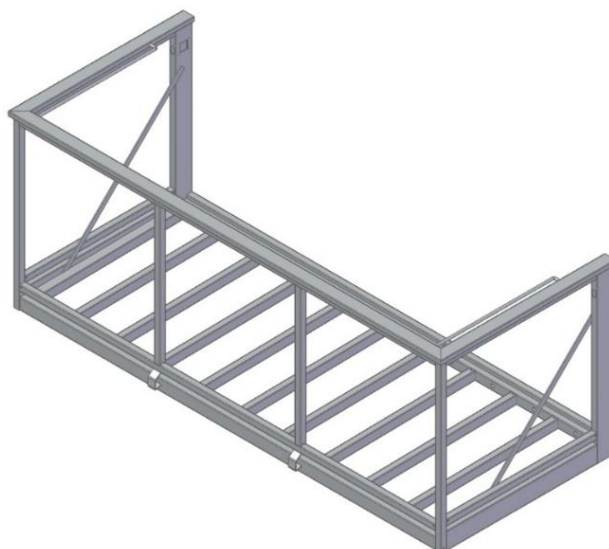
Robotizace svařování by se měla využít při výrobě ocelových balkonů a příslušenství pro balkony. Jedná se o malosériovou výrobu, kdy balkony se stejnými rozměry a stejným konstrukčním řešením tvoří série o velikosti průměrně 40 kusů. Cílem robotizace je urychlit a zkvalitnit proces výroby, a umožnit tak navýšení kapacit.

5.1 Výběr sestav vhodných pro robotizaci

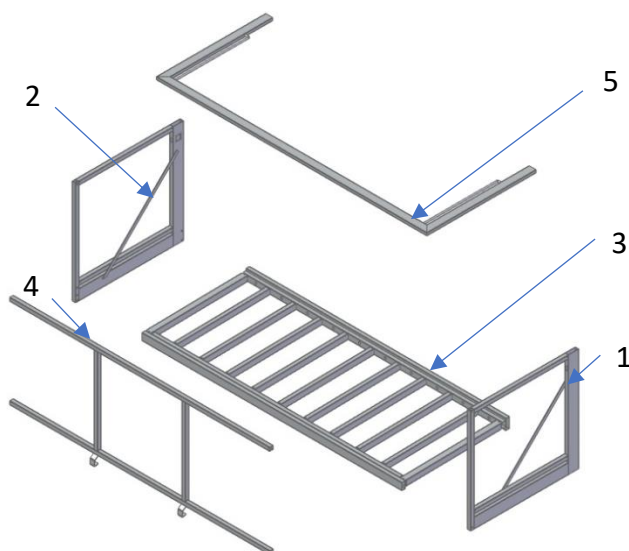
V této kapitole budou vybrány svařence z portfolia výroby firmy, které jsou vhodné pro robotizovanou výrobu.

5.1.1 Ocelový závěsný balkon

Svařenec závěsného balkonu se skládá ze 2 boků, podlahy, zábradlí a madla. Každá z těchto sestav se skládá z dílů, které jsou připraveny dle výrobní dokumentace pomocí laseru, popřípadě pásové automatické pily a stojanové vrtačky. Jednotlivé díly se vyrábí z hutních polotovarů tažených za tepla. Používané profily jsou uzavřené „jäckly“ tloušťky 2 až 4 mm. Materiál profilů je S235JRH (1.0039) dle EN 10219-1. Dodavatelem polotovarů je firma Feron, a.s., která deklaruje vlastnosti materiálu a jeho přesné chemické složení. [35]



Obrázek 35: Svařenec balkonu 3000x1230 mm



Obrázek 36: Rozložený svařenec balkonu na dílčí části

- 1- Bok pravý se závěsným otvorem
- 2- Bok levý se závěsným otvorem
- 3- Podlaha balkonu, uzpůsobena pro hliníkovou podlahu
- 4- Zábradlí balkonu, uzpůsobeno pro zasklení nebo osazení lakovaným plechem
- 5- Madlo balkonu s vestavěným sušákem prádla

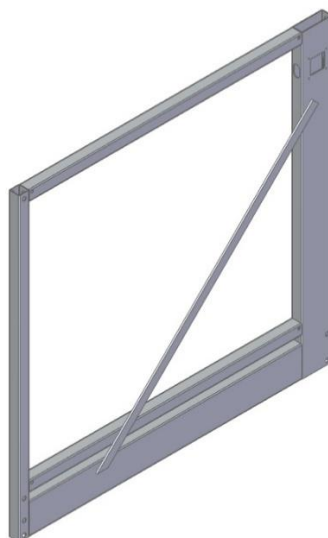
Z hlediska náročnosti svařovacího procesu lze sestavy seřadit od nejnáročnější po nejméně náročnou takto: podlaha, pravý a levý bok, zábradlí, madlo.

Sestavy lze také seřadit podle požadavku na kvalitu svarů od nejvyšší kvality po nejnižší následovně: pravý a levý bok, podlaha, zábradlí, madlo.

Dalším faktorem je počet a celková délka svarů. Největší celková délka a největší počet svarů je na podlaze, dále na levém a pravém boku, madle, zábradlí.

Při výběru svařenců vhodných pro robotizaci je také důležitá jejich opakovatelnost a podobnost napříč výrobou. V tomto ohledu jsou pro robotizaci nejvhodnější boky balkonu. Ty se přibližně ve 40 % případů (380 balkonů-tzn. 760 boků) shodují konstrukcí i rozměrem.

Na základě uvedených skutečností byly z celkové sestavy balkonu vybrány podsestavy pravého a levého boku, a podlahy.



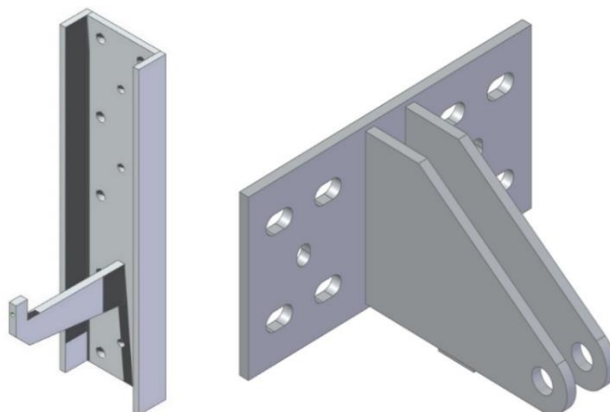
Obrázek 37: Levý bok balkonu

5.1.2 Kotvení balkonu

Firma PEKSTRA nabízí několik typů kotvení balkonů tak, aby šel balkon umístit na každý zděný nebo panelový dům. Nejpoužívanější typ kotvení je do obvodového zdiva pomocí závěsných kotvení háků. Závěsné háky jsou navrhovány certifikovaným statikem a jejich provedení musí zaručit požadovanou únosnost. Konstrukce je poměrně jednoduchá, ale vyžaduje velký počet svarů větších rozměrů. Háky se navíc pro většinu balkonů opakují. Nejčastěji opakující se typ a rozměr závěsného háku se vyskytuje přibližně u 50 % balkonů (475 balkonů - 950 háků). Z uvedených důvodů je zřejmé, že závěsný hák je další komponentou, u které bude posuzována vhodnost pro robotizaci.

Druhým nejčastějším typem kotvení je kotvení pomocí stropních táhel. V tomto případě je balkon zadní částí posazen na konzolách ukotvených ve stropním panelu pod balkonem,

a přední část visí na táhlech, které jsou pomocí stropního závěsu uchyceny ke stropnímu panelu nad balkonem.

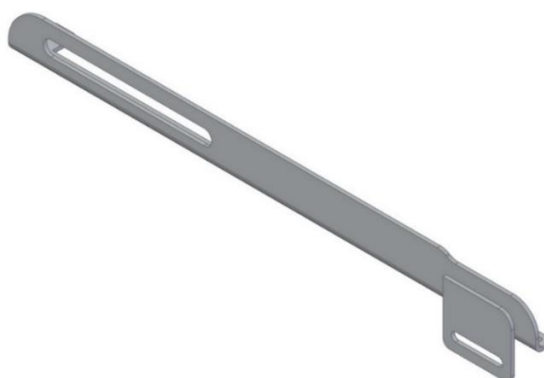


Obrázek 38: Závěsný kotevní hák (vlevo), Stropní závěs táhla (vpravo)

Závěsy táhel jsou koncepčně podobné jako závěsné háky. Musí být provedeny dle statického posudku a svary musí být kvalitní a dostatečně robustní pro přenášení sil. To samé platí i pro spodní konzole. Styl kotvení pomocí stropní táhel se používá přibližně u 20 % balkonů. I když se jedná přibližně pouze o 190 balkonů (380 stropních závěsů a 380 konzolí), robotizace svaření těchto prvků může částečně pomoci navýšit kapacitu výroby.

5.1.3 Příslušenství balkonů

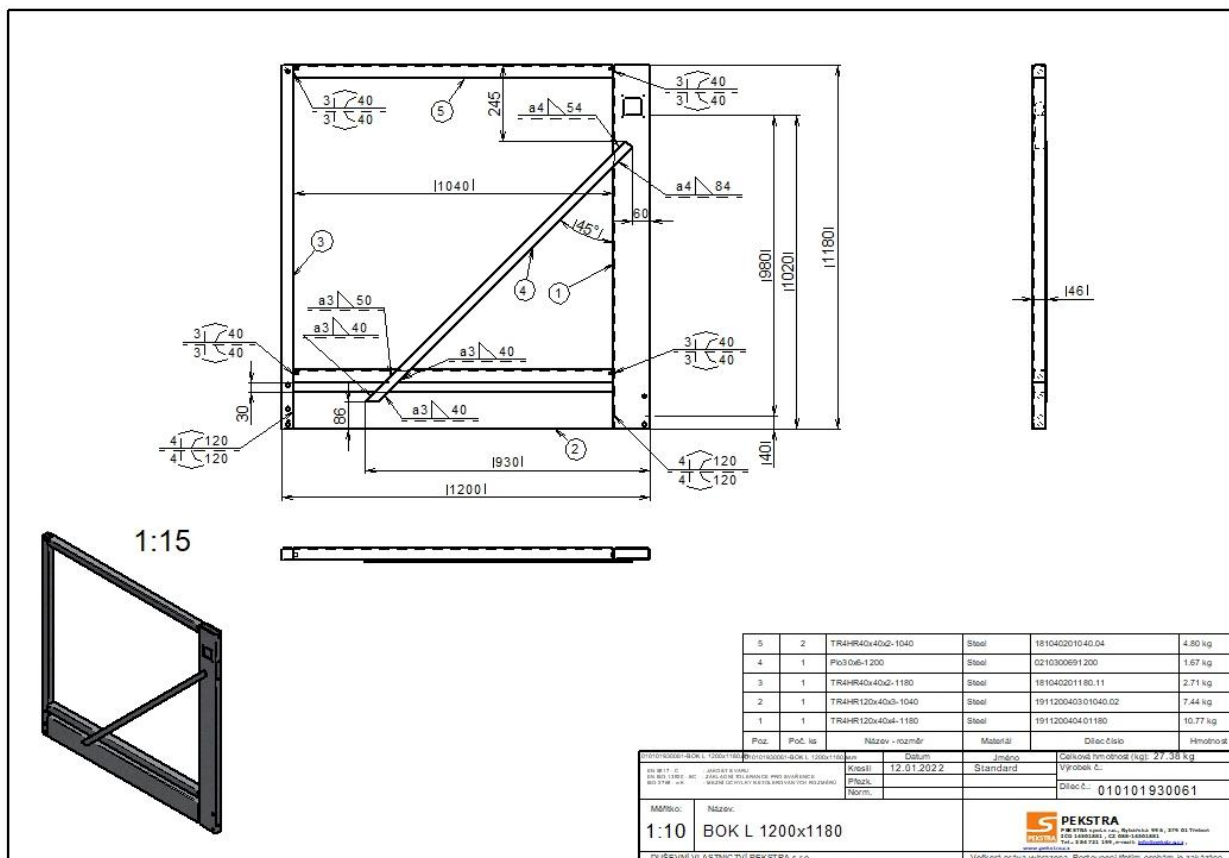
Jako příslušenství balkonů firma označuje sušáky na prádlo, zástěny, stříšky, držáky satelitů, držáky vlajek. Z tohoto portfolia se pravidelně opakuje pouze výroba sušáků, zástěn a stříšek. Tyto svařence se vyrábí v malých sériích a obsahují velmi malý počet svarů malých délek. Svary zde navíc nejsou z hlediska bezpečnosti nebo funkčnosti kritické. Z uvedených důvodů není robotizace výroby příslušenství balkonů vhodná.



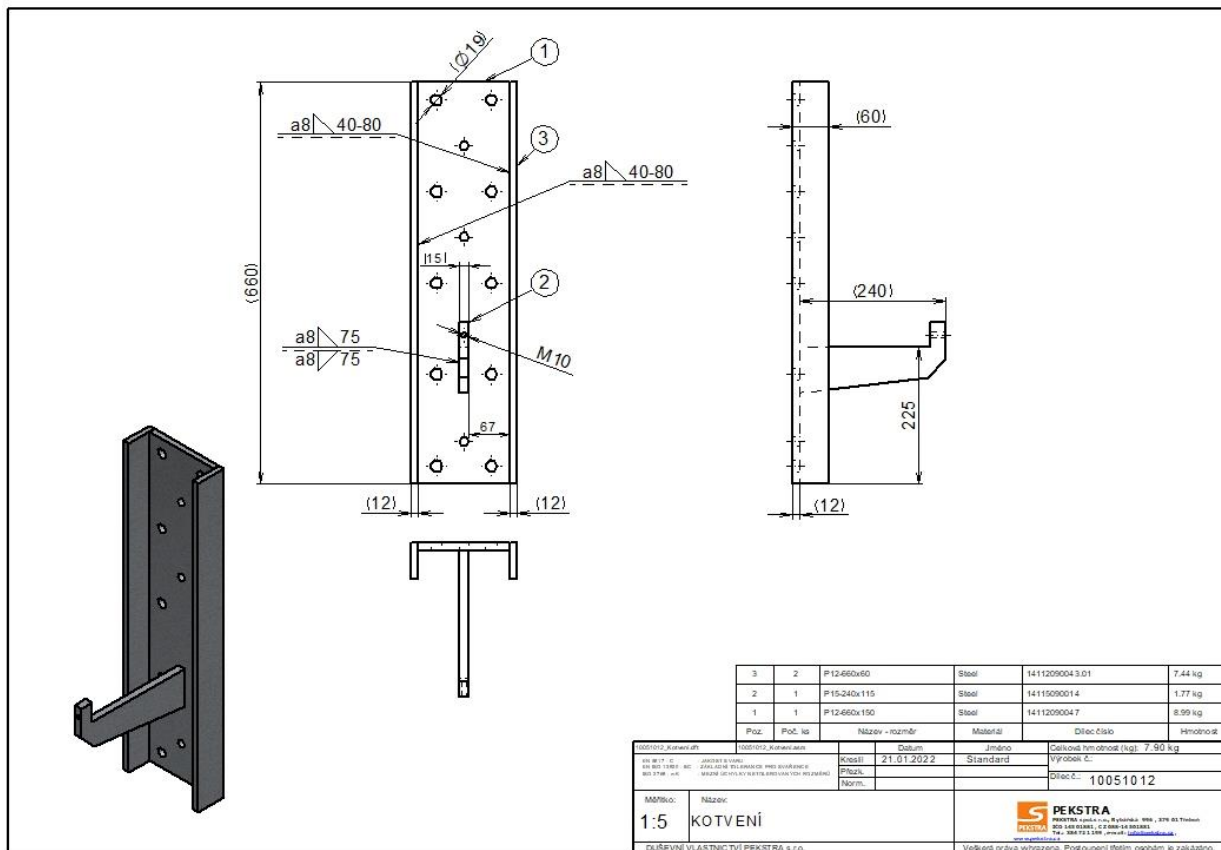
Obrázek 39: Svařenec sklopného sušáku

5.1.4 Finální výběr sestav

Z výše uvedených svařenců vhodných k robotizaci byly pro účely diplomové práce vybrány závěsné kotevní háky a boky balkonů. Důvodem je největší zastoupení ve výrobě, vhodné celkové rozměry, různorodost a velký počet svarů. Pro robotizaci v praxi by byly vhodné i podlahy balkonů a ostatní typy kotvení.



Obrázek 40: Výkres svařence boku balkonu 1200x1180



Obrázek 41: Výkres svařence závěsného kotevního háku

5.2 Svaření vzorových sestav

Svařování vzorových sestav proběhlo na testovacím pracovišti firmy HBT WELD s.r.o. v Českých Budějovicích. Toto pracoviště je vybaveno 7osým robotem Yaskawa Motoman VA 1440, svařovacím zdrojem TransPuls Synergic 3200 CMT se sestavou a příslušenstvím pro robotické svařování, polohovadlem DK250 a dalším vybavením nezbytným pro robotické svařování.

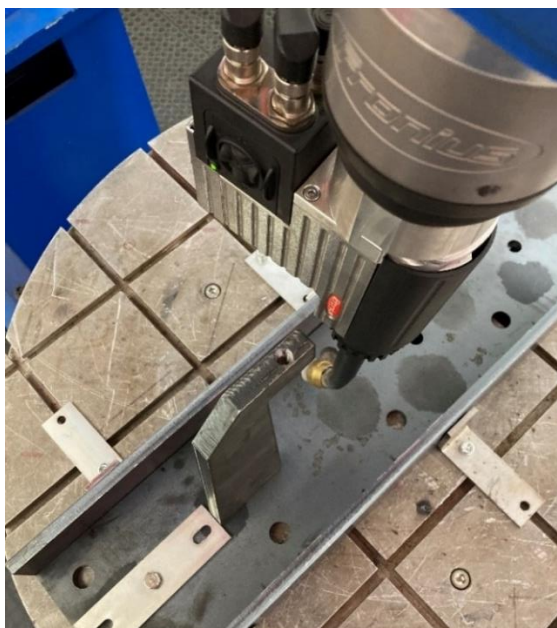
Materiál polotovarů je S235JRH (1.0039) dle EN 10219-1. Jedná se o nelegovanou konstrukční ocel, která je vhodná pro svařované konstrukce staticky a mírně dynamicky namáhané.

5.2.1 Svařování závěsného kotevního háku – část 1

Závěsný kotevní hák je značně staticky namáhaným prvkem. Tento svařenec musí přenést zatížení celé konstrukce balkonu a užité zatížení balkonu do zdi budovy. Většinou se jedná o zatížení 10 kN až 20 kN ve svislém i vodorovném směru. Z celého portfolia výroby firmy představuje tento prvek nejkritičtější místo z hlediska dodržení kvality výroby a celkové únosnosti. Při robotizovaném svařování bude proto kladen důraz na kvalitu svarů a následně budou provedeny zkoušky svarů jako při kvalifikaci svarů. Závěsný hák je tvořen spodním nosným plechem s otvory (T = 12 mm), bočními pásnicemi (T = 12 mm) a hákem (T = 15 mm). Svařenec obsahuje 14 svarů a8 dlouhých 40 mm pro přivaření bočnic a 2 svary a8 dlouhé 75 mm pro přivaření háku. Celkem tedy 710 mm svaru velikosti a8.

Vzorek č.1

Připravené polotovary byly upnuty na polohovadlo DK250 pomocí dostupných dorazů, upínek a svěrek. První vzorek sloužil pro naprogramování dráhy a otestování svařovacích parametrů. Svařování probíhalo v poloze PB, pulsním přenosem. Ihned při programování dráhy byla zjištěna kolize hořáku s hákem. Ani po vyzkoušení různých možnosti nastavení hořáku se nepodařilo kolizi vyhnout a zároveň zachovat vhodnou polohu hořáku pro vytvoření kvalitního svaru.



Obrázek 42: Vzorek č. 1 - kolize hořáku s háčkem

Z důvodu kolize byl rozdělen výrobní proces kotevního háku na 2 části, kdy v první části se svařovaly boční pásnice a v druhé části samotný hák. Dalším problémem se ukázalo být udržení háku v požadované poloze. To by se v praxi nejlépe dalo vyřešit zhotovením „zámků“ v zadní části háku, které by zapadly do otvorů spodního nosného plechu. Touto malou změnou v konstrukci by se zajistilo rychlé a přesné umístění háku do správné polohy.

Během svařování došlo ke značnému naklonění bočních pásnic z důvodu velkého vneseného tepla a nedokonalého upnutí.



Obrázek 43: Vzorek č. 1 - deformace pásnic vlivem chladnutí

Vzorek č.2

Vzorek č. 2 byl opatřen dodatečnými svěrkami pro potlačení deformace. Zároveň se upustilo od snahy svařování celého svařence najednou a byl vytvořen program s pauzou pro umístění háku. Během svařování bočních pásnic byly postupně testovány parametry v závislosti na velikosti a kvalitě svaru. Nejvhodnější nastavení parametrů pro koutové svary a8 je zaneseno v Tabulka 2.

Tabulka 2: Parametry svařování

Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
16	280	45	--

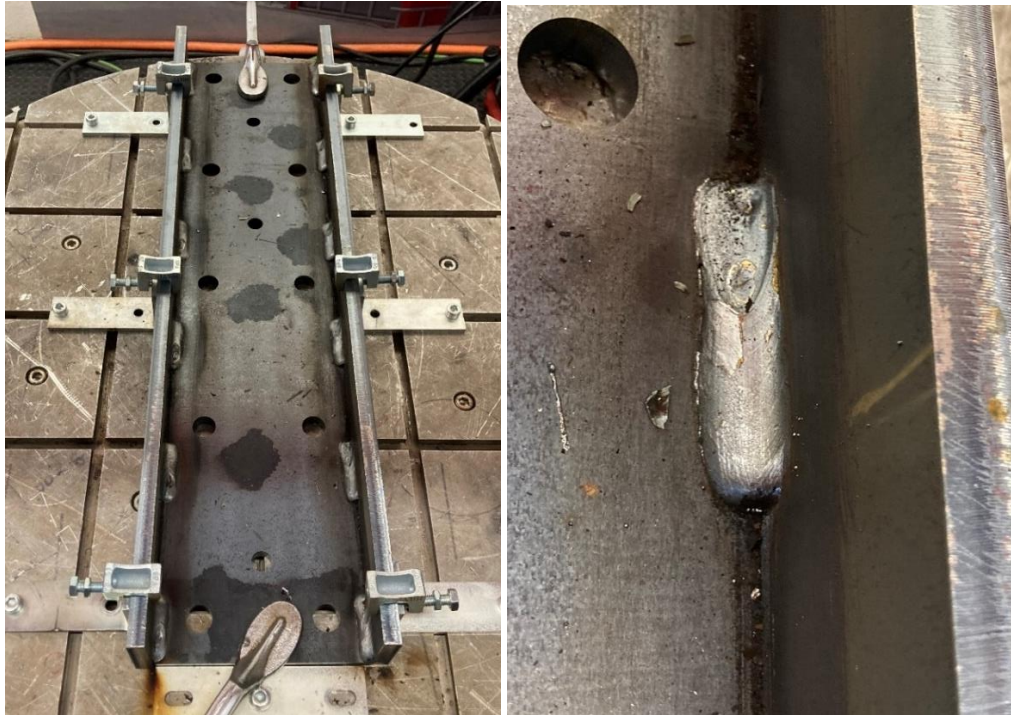


Obrázek 44: vzorek č. 2 - testování parametrů

Po určení optimálních parametrů byla geometrie stále nevyhovující. Housenka byla výrazně nesymetrická, její větší část ležela na spodním nosném plechu. Z tohoto důvodu bylo potřeba upravit program a sklopit hořák tak, aby svíral se spodním nosným plechem menší úhel.

Vzorek č. 3

Tento vzorek byl svařen parametry zjištěnými u vzorku číslo 2. Program byl upraven v podobě většího sklopení hořáku. Výsledkem byly svary s dobrou kvalitou a vhodnou geometrií. Vzhled a kvalitu svaru na první pohled narušovali pouze koncové krátery.



Obrázek 45: Vzorek č. 3 – přivaření bočních pásnic (vlevo) s detailem svaru (vpravo)

Po svaření pásnic s uspokojující kvalitou byl na nosný plech navařen hák v druhé části procesu svařování. Svařování proběhlo za stejných parametrů. Geometrie svaru byla na první pohled lehce nesymetrická, opět z důvodu malého sklopení hořáku, a na koncích svaru se opět tvořily krátery.



Obrázek 46: Vzorek č. 3 – přivaření háku (vlevo) s detailem svaru (vpravo)

Vzorek č. 3 byl vybrán pro provedení pracovní ověřovací zkoušky, která se skládala z vizuální zkoušky, kapilární zkoušky, makrografické zkoušky a zkoušky tvrdosti. Jejich provedením by měla být kompletně ověřena kvalita svaru. Provedení a vyhodnocení zkoušek bude popsáno v následující kapitole.

5.2.2 Pracovní ověřovací zkoušky vzorku č. 3

Pro účely zkoušek byl vzorek rozřezán pomocí pásové pily na části obsahující vždy 1 svar. Ty byly následně označeny v souladu s postupem svařování (dle obrázku 47) a podrobeny zkouškám.



Obrázek 47: Rozdělení vzorku č.3. na vzorky svarů A až O

Vizuální zkouška dle ČSN EN ISO 5817

Vizuální zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 17637 posuvným měřítkem a univerzální měrkou na koutové svary. Byly měřeny pouze vady, které byly prvotní vizuální kontrolou a přeměřením vybrány jako pravděpodobné (tabulka 3). [36]

Tabulka 3: Měřené vady, jejich označení a mezní hodnoty

Název vady	Číslo	Referenční číslo dle ISO 6520-1	Mezní hodnoty vad pro stupeň C [mm]
Nadměrná asymetrie svaru	1.16	512	$h \leq 2 + 0,15a$
Podkročení velikosti koutového svaru	1.20	5213	$h \leq 0,3 + 0,1a$ max. 1 mm
Koncová kráterová staženina	1.4	2025	$h \leq 0,2t$ max. 2 mm

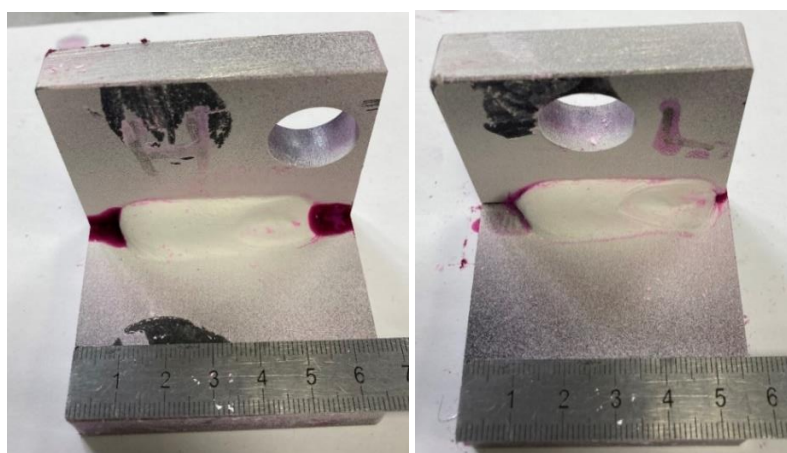
Symetrie svaru je splněna u všech vzorků, podkročení velikosti svaru je nevyhovující u vzorků B, F, I. Koncová kráterová staženina je nevyhovující u většiny vzorků. Ze zjištěných výsledků vyplývá, že je potřeba upravit parametry svařování pro 100% dodržení velikosti svaru a zmenšení koncových kráterů.

Kapilární zkouška svarů dle ČSN EN ISO 3452

Kapilární zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 3452. Vzorky byly nejprve očištěny a odmaštěny vhodným sprejem, následně byl nanesen penetrant (obrázek 48). Vzorky s naneseným penetrantem se nechali přibližně 20 minut volně ležet pro dobré zatečení do všech míst. Poté byly vzorky od indikátoru očištěny. Následovalo nanesení vývojky a přibližně po 20 minutách vyhodnocení (obrázek 49). [37]



Obrázek 48: Nanášení indikátoru na vzorky

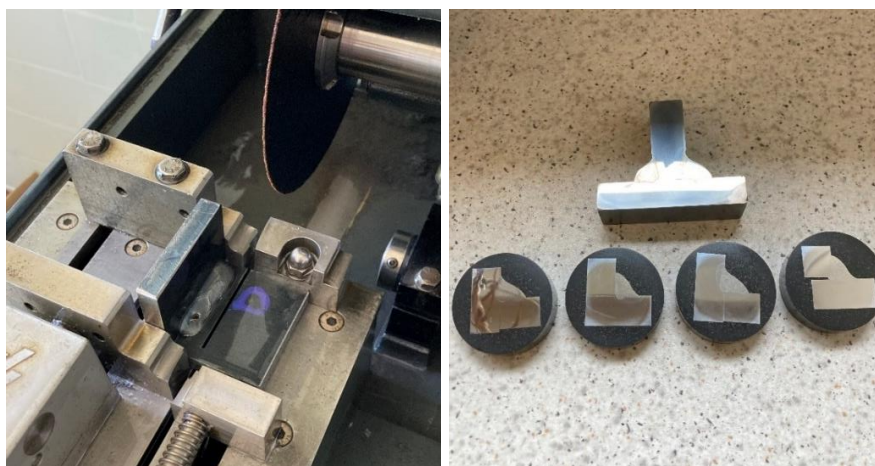


Obrázek 49: Příklad vyhodnocení kapilární zkoušky na vzorku H (vlevo) a L (vpravo)

Na všech vzorcích svarů (A až O) nebyly kapilární metodou indikovány žádné vady.

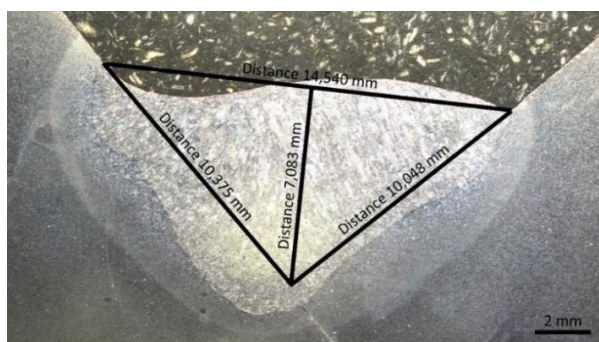
Makrografický výbrus vybraných svarů

Pro makrografii byly vybrány vzorky se svary A, D, L, I, O_I, O_{II}. Na makrografické pile byly ze vzorků vyřezány středové části svarů a tyto části zalisovány do puků, vybroušeny a vyleptány. Proces řezání na morfologické pile a připravené vzorky pro makrografii lze vidět na obrázku 50.

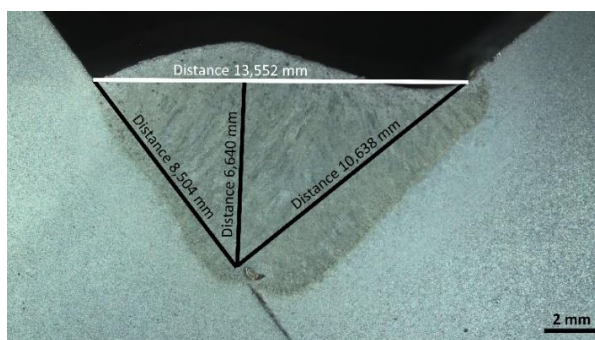


Obrázek 50: Příprava vzorku na morfologické pile (vlevo), zalisované vzorky (vpravo)

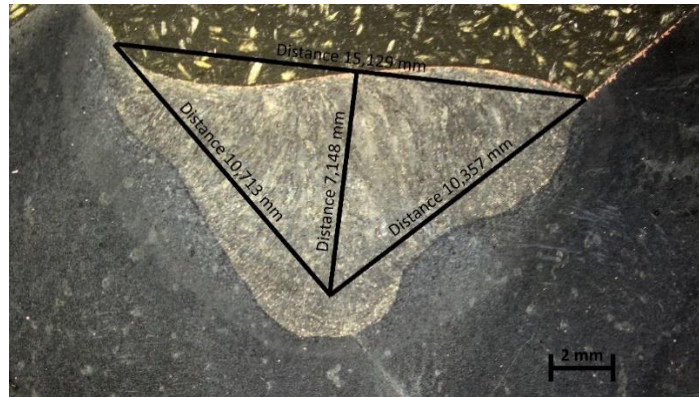
Následně se pořídily snímky výbrusu na mikroskopu značky ZEISS.



Obrázek 51: Makrografický výbrus vzorku D



Obrázek 52: Makrografický výbrus vzorku O_I (pravá strana háku)



Obrázek 53: Makrografický výbrus vzorku I

Makrografická zkouška odhalila nesymetrickou geometrii svaru, která tvoří vlnu. Ta je konkávní na spodním nosném plechu a konvexní u boční pásnice (háku). Provaření základního materiálu je vyhovující.

Vyhodnocení provedených pracovních zkoušek

Z provedených zkoušek je zřejmé, že geometrie neodpovídá požadavkům na kvalitu svaru. Svary B, F, I jsou podkročené. Tyto svary lze považovat za vadné, v praxi k této vadě nesmí docházet. Svary jsou sice symetrické podle naměřených hodnot, avšak na výbrusů jednotlivých vzorků lze vidět, že svary stékají ke spodnímu základnímu plechu, a vytváří jakousi vlnku. Kapilární zkouška neobjevila žádnou vadu na všech svarech a makrografické výbrusy ukázaly dostatečné provaření u všech vzorků. Z tohoto hlediska svary vyhovují.

Na základě uvedených výsledků bude v další části svařování vyzkoušeno zvětšení svarů na požadovanou velikost a potlačení tvorby koncových kráterů.

5.2.3 Svařování závěsného kotevního háku – část 2

Vzorek č. 4

Na základě vyhodnocení pracovních zkoušek byl program pro vzorek č. 4 upraven v podobě většího sklopení hořáku tak, aby svíral se spodním nosným plechem menší úhel a zároveň byla přidána prodleva na konci svarů. Prodleva byla nastavena na 0,3 s na první půlce svarů a 0,5 s na druhé půlce. Tyto kroky by měli zajistit lepší geometrii svaru a zamezit vytváření koncových kráterů.

Skloněním hořáku se podařilo zlepšit geometrii svaru. Svary byly více symetrické, velikost svaru se stále pohybovala přibližně $a = 7$ mm. Koncové krátery byly mělké.

Vzorek č. 5

Vzorek č. 5 byl opatřen zámkou pro zajištění háku v poloze, jak bylo doporučeno u svařování prvního vzorku. Při svařování pásnic byla upravena pauza na konci svarů na 1 s. Dále byly vyzkoušeny upravené parametry svařování pro dosažení větší velikosti svaru a zároveň potlačení tvorby zápalů.

Tabulka 4: Upravené parametry pro svařování bočních pásnic

Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
30	200	45	--

V druhé části procesu se přistoupilo ke svařování středového háku. Svary středového háku jsou nejdůležitější z celé výroby, proto je potřeba ve 100 % svařenců dodržet jeho velikost. Jelikož při svařování jednovrstvého koutového svaru se velmi těžko dosahuje velikost $a = 8$ mm, bude vyzkoušeno svařování s rozkyvem na levé straně háku a svařování na více vrstev na pravé straně háku tak, aby byla velikost vždy dodržena.



Obrázek 54: Vzorek č. 5 - přivaření háku s použitým rozkyvem (vlevo)
přivaření háku 3 – vrstvým svarem (vpravo)

Pauza na konci svarů pásnic nepotlačila úplně tvorbu kráterů, ale zmenšila jejich hloubku na maximálně 1 mm. Tímto byla vada svaru odstraněna. Vada podkročení svaru byla také odstraněna upravením parametrů. Velikost svaru dosahovala ve všech místech alespoň $a = 7,5$ mm. Chyba 0,5 mm je v rámci tolerance vady vyhovující.

Při svařování s rozkyvem nastal problém se stékáním svarové lázně. Tomu by se dalo zabránit nakloněním polohovadla se svařencem tak, aby se svařovalo v poloze PA. Bohužel na testovacím pracovišti toto nebylo možné. Vícevrstvý, respektive 3vrstvý svar na druhé straně háku byl proveden bez problému. Velikost svaru i jeho kvalita při prvním prozkoumání vyhovovala kritériím.

Vzorek č. 6

Závěsný kotevní hák číslo 6 byl svařován stejnými parametry a programem jako číslo 5. Jediná změna byla v nahrazení svařování s rozkyvem na levé straně háku za 3vrstvý svar stejný jako na pravé straně háku. Tento vzorek byl zamýšlen jako referenční, který by měl sloužit k prezentování robotizované výroby firmě PEKSTRA.



Obrázek 55: Vzorek č. 6 (vlevo), detail svarů (vpravo)

Při kontrole programu byl omylem upraven bod při svařování pravé pásnice, což způsobilo zvětšení délky posledního svaru na pravé pásnici. Svary jinak splňovaly požadované velikosti a kvalitu.

Vzorek č. 7

Tento vzorek bude sloužit jako referenční, což se nepovedlo u vzorku č. 6. Jediná úprava oproti vzorku č. 6 bylo posunutí chybného bodu pro dodržení délky svarů. Svaření proběhlo bez chyb, nebyly viditelné žádné vady, geometrie svarů byla vyhovující.



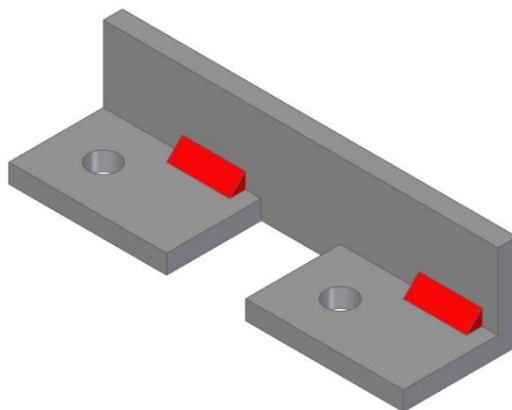
Obrázek 56: Vzorek č. 7 (vlevo), detail svarů (vpravo)

5.2.4 Ověření velikosti svarů pásnic

Během svařování závěsných kotevních háků vyvstala myšlenka, jakým způsobem byly stanoveny velikosti svarů bočních pásnic, zda jsou stanoveny správně a nejsou zbytečně předimenzovány. Z tohoto důvodu budou níže provedeny výpočty pro jejich ověření.

Hodnoty zatížení háku a reakcí v kotvách byly převzaty ze statického posudku pro dané kotvení, který vypracoval autorizovaný statik Ing. Milan Ryšavý. Statický posudek je vypracován v souladu s normou ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí.

Výpočet svaru je zjednodušen a zároveň opatřen určitou bezpečností tím, že je uvažováno přenášení sil od jednoho otvoru (kotvy) ke druhému pouze z nosného plechu přes svar na boční pásnici a opět přes svar na nosný plech k otvoru. Je tedy zanedbána část spodního nosného plechu, která ve skutečnosti přenáší část zatížení mimo svary.



Obrázek 57: Model pro výpočet svarů bočních pásnic

Tabulka 5: Parametry pro výpočet kontroly svaru

Velikost svaru a [mm]	8
Délka svaru b [mm]	40
Síla v kotvě (otvoru) F [N]	1 500
Maximální vzdálenost otvoru od svaru L [mm]	75
Počet nosných svarů mezi otvory i [-]	1
Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	235

Svar je namáhán tahem a ohybem.

Napětí v tahu ve svaru se počítá dle vzorce

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{a \cdot b} \quad (2)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1\,500}{8 \cdot 40} = 4,7 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu ve svaru se počítá dle vzorce

$$\tau_{\perp o} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot L}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot a} \quad (3)$$

$$\tau_{\perp o} = \frac{1\,500 \cdot 40}{\frac{1}{6} \cdot 40^2 \cdot 8} = 28 \text{ MPa} \quad (4)$$

Celkové napětí ve svaru se určí dle vzorce

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp o}}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2} \quad (5)$$

Do rovnice (5) se dosadí z rovnic (2) a (4).

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{28}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{4,7}{0,65}\right)^2} = 43 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$43 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa} \quad (7)$$

Z výsledku vyplívá, že svar a8 - 40 bezpečně přenesení zatížení ve svařenci. Svar disponuje bezpečností přibližně 5. Jelikož byla při výpočtu zanedbána možnost přenosu zatížení hlavním nosným plechem, je ve skutečnosti bezpečnost ještě vyšší. Svary jsou zbytečně předdimenzované, je vhodné zvážit jejich zmenšení ve výrobě. Pro zachování únosnosti byla navržena nová velikost $a = 6 \text{ mm}$. Menší svar by nebyl vhodný také kvůli provaření kořene svaru, kdy základní materiál je tloušťky 12 mm . Pro nově zvolenou velikost svaru bude provedena obdobná kontrola jako výše.

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{a \cdot b} \quad (8)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1\,500}{6 \cdot 40} = 6,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp o} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot L}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot a} \quad (9)$$

$$\tau_{\perp o} = \frac{1\,500 \cdot 40}{\frac{1}{6} \cdot 40^2 \cdot 6} = 70 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp o}}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2} \quad (11)$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{70}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{6,3}{0,65}\right)^2} = 94 \text{ MPa} \quad (12)$$

$$94 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa} \quad (13)$$

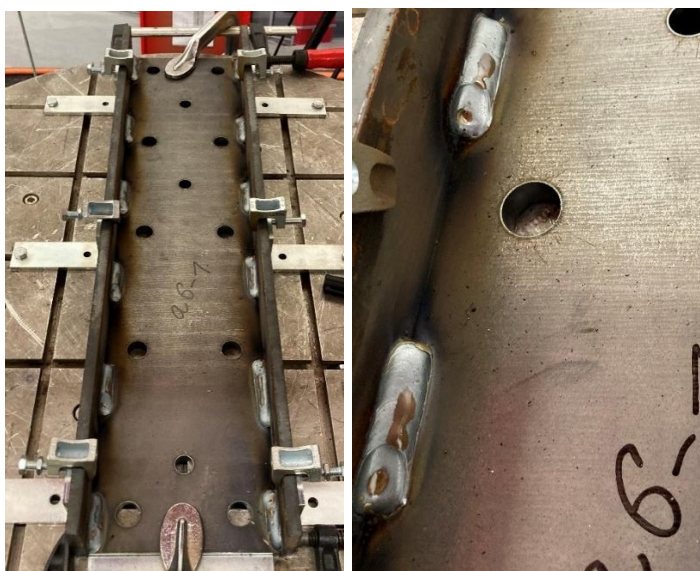
Svary při zmenšení na $a = 6$ mm přenesou zatížení s bezpečností 2,5. Svar a_6 je vyhovující. Na základě výpočtů je doporučeno upravit požadovanou velikost svarů bočních pásnic na $a = 6$ mm.

5.2.5 Svaření závěsných kotevních háků se zmenšenými svary

Na základě vypočtených svarů v 5.2.4 bude svařen vzorek kotevního háku se svary $a = 6$ mm na bočních pásnicích. Pro změnu velikosti svaru budou změněny parametry svařování.

Tabulka 6: Parametry pro svary a_6

Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
28	200	30	--



Obrázek 58: Vzorek $a_6 - 1$ (vlevo), detail svarů (vpravo)

S nastavenými parametry byla velikost svarů 6,5 až 7 mm. Pro dosažení požadované velikosti 6 mm bude upravena rychlost svařování pro zvýšení produktivity.

Tabulka 7: Upravené parametry pro svary a_6

Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
28	200	40	--

S upravenou rychlostí bylo dosaženo požadované velikosti $a = 6$ mm. Svary byly symetrické, bez vad, s minimálními koncovými krátery.



Obrázek 59: Vzorek a6 – 2

5.2.6 Svařování boků balkonů

V rámci diplomové práce budou svařeny levé boky o rozměrech 1200 x 1180 mm. Bok je tvořen ocelovými dutými obdélníkovými a čtvercovými profily tloušťky 2 a 3 mm a plochým profilem 30 x 6 mm. Materiál je stejný jako při svařování kotevních háků. Celkově je na 1 boku přibližně 1 100 mm svaru velikosti $a = 3$ mm. Nejedná se o kritické svary, avšak i zde je nutné dodržet jejich velikost a kvalitu. Svařování proběhlo na stejném pracovišti jako při svařování kotevních háků. Tentokrát se využilo svařování zkratem s jinými parametry svařování. Jelikož jsou boky svařovány z obou stran a dostupné polohovadlo neumožňuje otočení kolem vodorovné osy, bude nejprve svařena 1. strana pomocí 1. programu, následně bude bok ručně otočen a bude svařena 2. strana pomocí 2. programu.

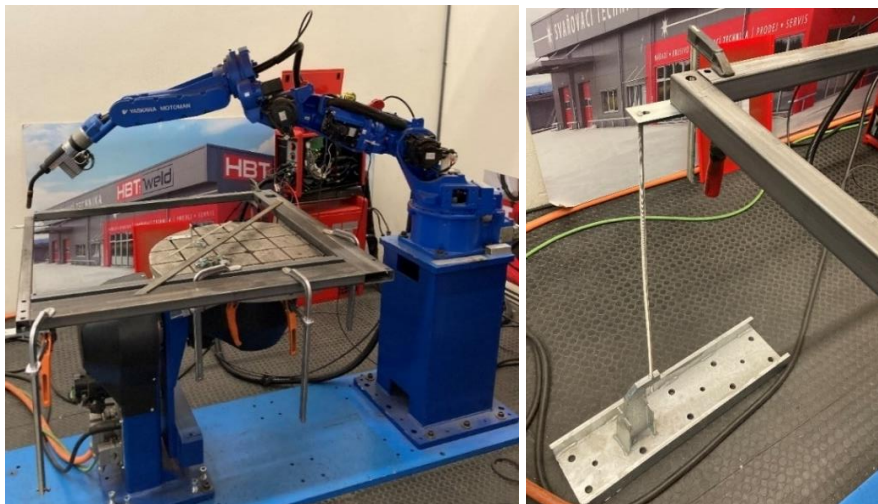
Tabulka 8: Parametry pro svařování boků

Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
15,8	266	50	--

Vzorek boku č. 1

Při programování drah pro svařování boku nastaly problémy s dosahem robota, kdy bylo nutné brát v úvahu rozsah robota a maximální natočení jednotlivých os. Pokud by byl bok delší

přibližně o dalších 100 mm, robot by do levého zadního rohu nedosáhl. Tento problém se dá částečně vyřešit otočením polohovadla. Pro udržení boku ve vodorovné poloze bylo ale nutné jej v zadním levém rohu improvizovaně podepřít (jak lze vidět na obrázku 60, vpravo), a tím byla možnost otočení polohovadla omezena.



Obrázek 60: Dosah robota do nejvzdálenějšího rohu (vlevo), improvizované podepření rohu (vpravo)

Svaření boku proběhlo bez problému, pouze u některých svarů bylo nastaveno přílišné „tlačení“ svaru, čímž byl oblouk méně stabilní. Parametry svařování byly nastaveny vhodně. Vizualní kontrola neodhalila žádné vady.



Obrázek 61: Detaily svarů boku č. 1 na 1. straně

Při svařování druhé strany byly ponechány parametry a zhotoven 2. program. Svaření proběhlo bez problému, kvalita svarů byla vyhovující, při vizuální kontrole nebyly odhaleny žádné vady.



Obrázek 62: Provedené svary boku č. 1 na 2. straně

Vzorek boku č. 2

Při svařování 2. boku bylo pouze změněno naklopení hořáku tak, aby méně „tlačil“ svar. Vše ostatní zůstalo stejné. Výsledkem jsou kvalitní svary bez vad.

Vzorek boku č. 3

Tento vzorek byl svařen pro ověření opakovatelnosti procesu. Svaření proběhlo za totožných podmínek jako vzorek č. 2. Zhotovené svary nejevily žádné vady, geometrie svaru byla vyhovující a proces stabilní. Program i nastavené parametry jsou zvoleny správně a ověřeny tímto vzorkem. Během svařování vzorku číslo 2 a 3 byly zaznamenávány parametry svařování v čase a byl stopován čas jednotlivých svarů a přejezdů.



Obrázek 63: Detaily svarů na boku č. 3

5.3 Kvalifikace postupu svařování

Jelikož při svařování závěsného kotevního háku nastaly problémy s dodržением správné velikosti a geometrie svaru, a zároveň se jedná o kritické a značně namáhané svary, budou pro ně vypracovány kvalifikace postupu svařování dle ČSN EN ISO 15614-1. Tyto kvalifikace budou pouze pracovní, pro účely této diplomové práce, ale mohou případně sloužit jako podklad pro zhotovení skutečné kvalifikace, WPQR a WPS.

Aby bylo stanoveno, pro jaké svary a jaké tloušťky materiálů bude kvalifikace platná, je potřeba ověřit rozsah kvalifikace dle ČSN EN ISO 15614-1.

5.3.1 Určení rozsahu kvalifikace a potřebných zkoušek

Tabulka 9: Rozsah kvalifikace dle ČSN EN ISO 15614-1 [38]

Tloušťka zkušebního kusu	Rozsah kvalifikace		
	Tloušťka materiálu	Velikost koutového svaru	
		Jednou housenkou	Více housenkami
$t \leq 3$	0,7 t až 2 t	0,75 až 1,5 a	Bez omezení
$3 < t < 30$	0,5 t až 1,2 t	0,75 až 1,5 a	Bez omezení
$t \geq 30$	≥ 5	Speciální použití	Bez omezení

Z převzaté tabulky 9 při použití základního materiálu tloušťky $t = 12$ mm, $t = 15$ mm a provedení zmíněných svarů vyplývá následující rozsah této kvalifikace.

Tabulka 10: Rozsah kvalifikace pro svařované vzorky [38]

Tloušťka zkušebního kusu [mm]	Velikost zkušebního svaru [mm]	Tloušťka materiálu [mm]	Velikost koutového svaru [mm]
12	7	6 až 14	5 až 10
15	8 (3vrstvý)	7,5 až 18	Bez omezení

Pro vypracování protokolu o postupu svařování je potřeba také určit třídu materiálu dle směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin CEN ISO/TR 15608. Dle této směrnice se jedná o skupinu 1, podskupinu 1.1. [38, 39]

Dle ČSN EN ISO 15614-1 kvalifikace vyžaduje zkoušku vizuální, zkoušku na povrchové trhliny, zkoušku tvrdosti a kontrolu makrostruktury. Pro podskupinu 1.1 není vyžadována zkouška tvrdosti, avšak pro tento případ se pro úplnost a ověření provede také. Jako zkouška na povrchové trhliny bude zařazena zkouška kapilární. [38]

5.3.2 Svaření zkušebních kusů pro kvalifikaci

Zkušební kusy o rozměrech daných normou budou svařeny předem stanovenými parametry.

Tabulka 11: Parametry pro svařování zkušebního kusu pro kvalifikaci 1vrstvého svaru a7

Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
30	280	45	--

Tabulka 12: Parametry pro svařování zkušebního kusu pro kvalifikaci 3vrstvého svaru a8

Vrstva svaru	Napětí U [V]	Proud I [A]	Rychlost svařování [cm/min]	Podávání drátu [m/min]
1	28	200	30	--
2	26	180	45	--
3	26	180	45	--



Obrázek 64: Detail 1 – vrstvého svaru a7 (vlevo), detail 3 - vrstvého svaru a8 (vpravo)

Během svařování zkušebních kusů nenastaly žádné problémy, při první vizuální kontrole nebyly odhaleny žádné vady. Zkušební kusy budou dále podrobeny zmíněným zkouškám.

5.3.3 Zkoušky pro kvalifikaci svarů

Vizuální zkouška

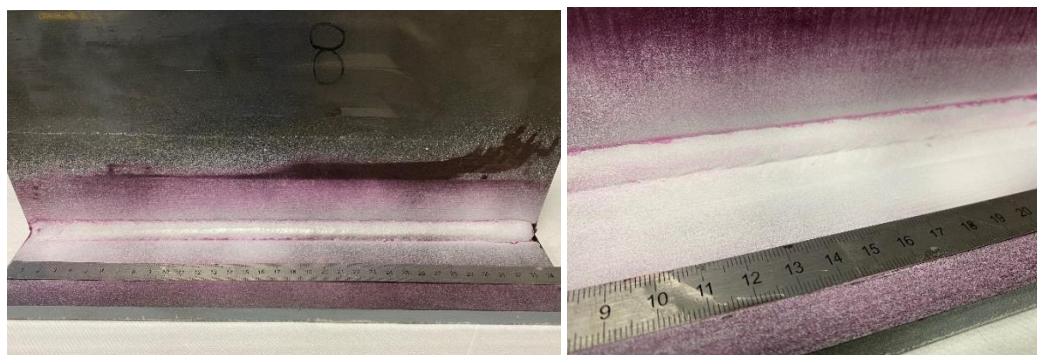
První, vizuální zkouška neodhalila žádné vady svaru. Na povrchu nebyly zřejmé žádné trhliny, póry, zápaly ani jiné druhy vad. Geometrie svaru odpovídala požadavkům.



Obrázek 65: Vizuální kontrola svaru

Kapilární zkouška

Kapilární zkoušky byly provedeny stejně jako při pracovní zkoušce (5.2.2). I v tomto případě neodhalila žádné povrchové ani mírně podpovrchové vady.

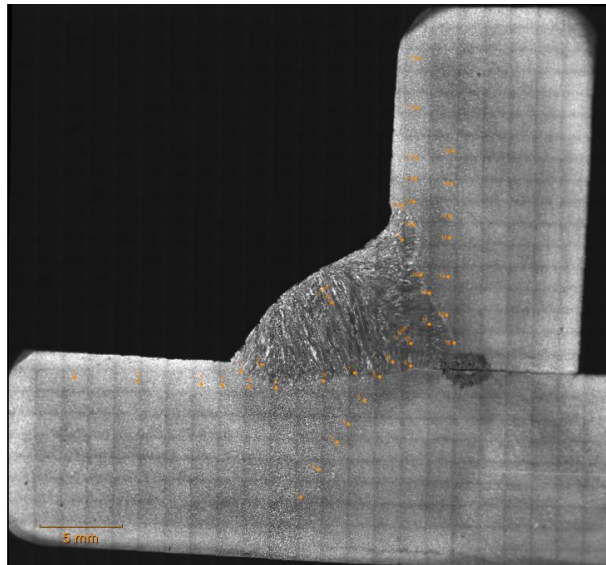


Obrázek 66: Kapilární zkouška svaru a7 (vlevo) a 3 - vrstvého svaru a8 (vpravo)

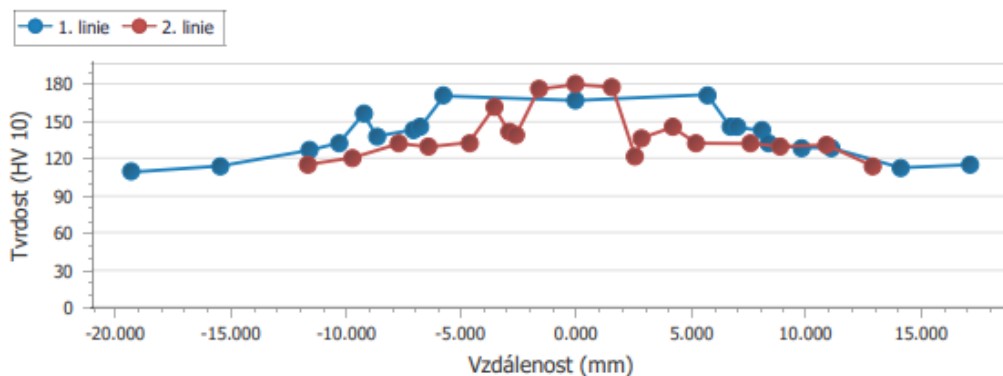
Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na automatickém tvrdoměru Wilson VH3100. Měřená byla tvrdost dle Vickerse, HV10 v základním materiálu, TOO a samotném svaru. Měření probíhalo dle normy ČSN EN ISO 9015-1 vždy ve 2 liniích pro každý svar. Nejprve byla provedena zkouška

na 1vrstvě svaru a7. Strategie měření je zřejmá z obrázku 67, naměřené tvrdosti jsou vyneseny v grafu zobrazeném na obrázku 68. Kompletní protokol z měření tvrdosti svaru a7 je přílohou této práce. [40]



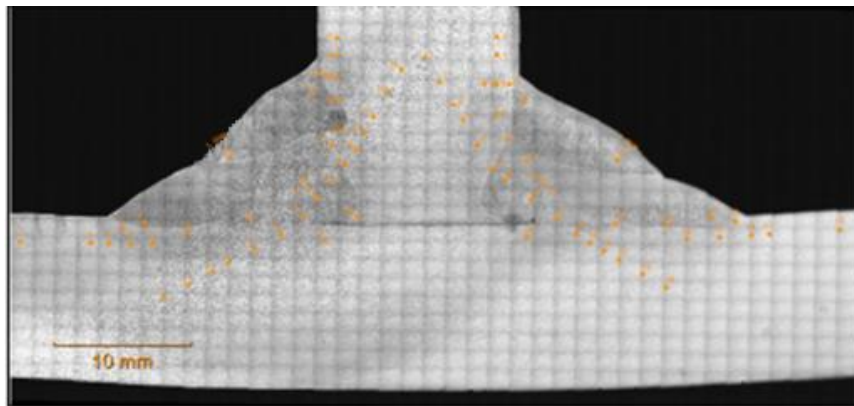
Obrázek 67: Postup měření tvrdosti HV10 svaru a7



Obrázek 68: Průběh tvrdosti svaru a7 ve 2 liniích

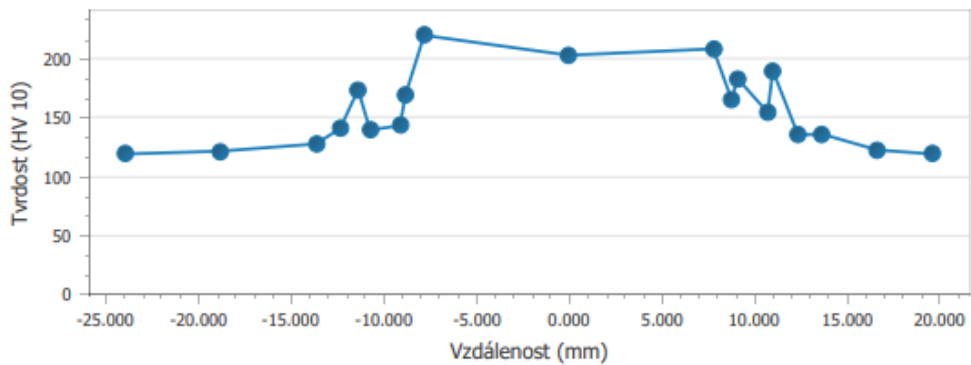
V TOO i svaru je mírně vyšší tvrdost než v oblasti ZM. To je způsobeno odlišným složením přídavného materiálu, který by měl mít lepší mechanické vlastnosti než základní materiál. To je splněno. K zakalení základního materiálu vlivem ohřevu nemůže dojít, jelikož vykazuje uhlíkový ekvivalent CEV 0,21 %. Je tedy nezakalitelný.

Posléze byla provedena zkouška na 3vrstvěm svaru a8. Strategie měření je zřejmá z obrázku 69, naměřené tvrdosti jsou vyneseny v grafech na obrázcích 70, 71, 72, 73. Kompletní protokol z měření tvrdosti svaru a8 je přílohou této práce.



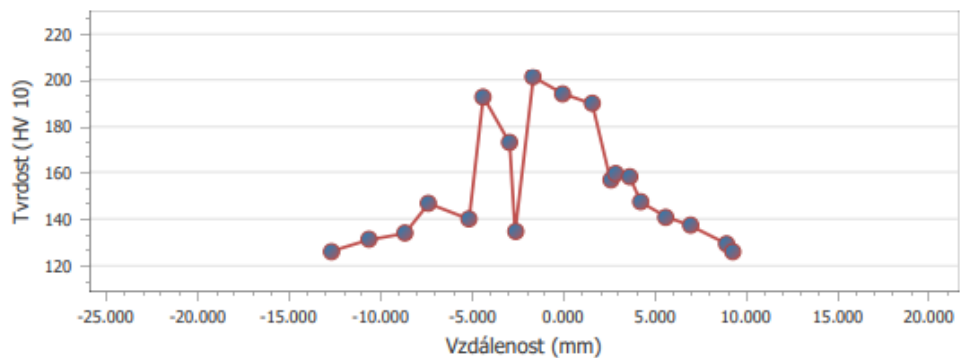
Obrázek 69: Postup měření tvrdosti 3vrstvého svaru a8

1. linie



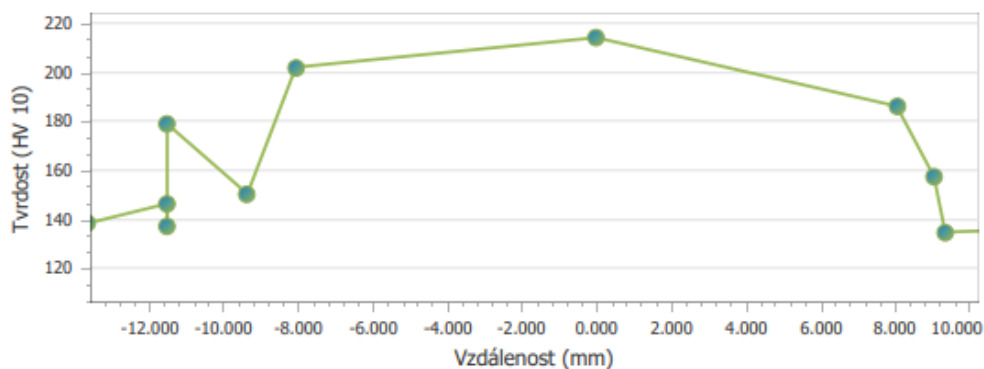
Obrázek 70: Průběh tvrdosti levé části 3vrstvého svaru a8 v linii 1

2. linie



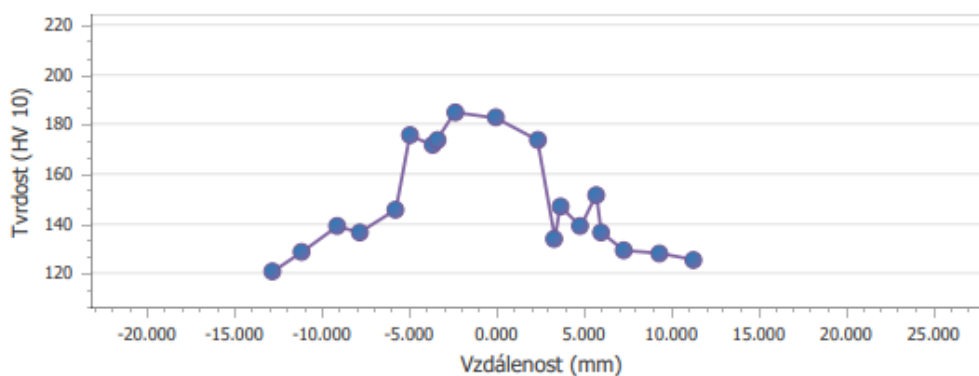
Obrázek 71: Průběh tvrdosti levé části 3vrstvého svaru a8 v linii 2

1. linie



Obrázek 72: Průběh tvrdosti pravé části 3vrstvého svaru a8 v linii 1

2. linie 2

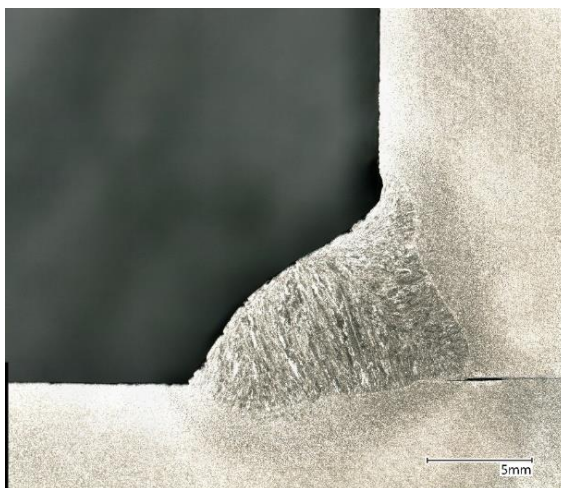


Obrázek 73: Průběh tvrdosti pravé části 3vrstvého svaru a8 v linii 2

Měření 3-vrstvého svaru a8 odhalilo mírné zvýšení tvrdosti v TOO a samotném svaru. Větší tvrdost je zapříčiněna přídavným materiálem, který vykazuje lepší mechanické vlastnosti než ZM. Zkouška tvrdosti neodhalila žádné změny tvrdosti, které by neodpovídaly předpokladům a požadavkům na provedení svaru.

Makroskopická zkouška

Podobně jako u pracovní zkoušky (5.2.2) byly pro kvalifikaci svarů vytvořeny vzorky pro makroskopickou zkoušku a pořízeny snímky. Tyto snímky neodhalily žádné vnitřní vady a potvrdily dostatečné provaření materiálu. Z tohoto hlediska jsou svary vyhovující a kvalitní.



Obrázek 74: Makroskopický snímek svaru a7



Obrázek 75: Makroskopický snímek 3vrstvého svaru a8

Žádná ze zkoušek pro kvalifikaci svarů neodhalila vady ani nekvalitu. Zkoušky byly provedeny dle příslušných norem, stejně jako celá kvalifikace, její rozsah je uveden v tabulce 10. Kvalifikace proběhla úspěšně. Na základě zjištěných výsledků a poznatků lze v případě realizace robotizovaného pracoviště vypracovat skutečnou kvalifikaci svarů.

5.4 Návrh robotizovaného pracoviště

Součástí zadání této práce je také provést základní návrh robotizovaného pracoviště pro vybrané a testované svařence. Pro návrh pracoviště budou klíčové rozměry svařenců, metoda a parametry svařování, přístupnost jednotlivých svarů, ale i dostupné prostory pro pracoviště a kapitál.

5.4.1 Požadavky na robotizované pracoviště

Požadavky na robotizované pracoviště lze rozdělit na nutné a doporučené. Na jejich základě lze sestavit základní návrh komponent pracoviště. Požadavky budou také podkladem pro sestavení zadávací dokumentace při reálném výběru dodavatele a komponent.

Nutné požadavky:

- pracoviště se musí vejít do prostoru 6,5 x 8 x 3,5 m (šířka, délka, výška)
- polohovadlo musí mít vodorovnou rotační osu a musí být umožněno svařování z obou stran svařence
- polohovadlo musí umožňovat upnutí a otočení svařence velkého 2000 x 1200 x 60 mm
- rozsah robota musí pokrýt půdorysný rozměr polohovadla s rezervou
- vybavení pracoviště musí umožňovat svařování metodami MIG a MAG zkratovým, sprchovým a pulsním přenosem
- vybavení (především hořák) musí umožňovat svařování větších svarů, například koutové svary a7
- robot musí být opatřen crashboxem
- robot musí mít nosnost alespoň 8 kg
- pracoviště musí být vybaveno zástěnami, ochrannou klecí a dalšími ochrannými pomůckami v souladu s bezpečností práce
- projekt nesmí přesahovat rozpočet 5 000 000,- Kč

Doporučené požadavky:

- точný průměr polohovadla by měl být alespoň 1 400 mm
- pracoviště by mělo obsahovat dvojité polohovadlo pro lepší využití času
- polohovadlo by mělo být schopno udržet v délce 2 000 mm až 300 kg

- s přihlédnutím na testované svařence bude dostačující robot se 6ti řízenými osami
- vybavení pracoviště by mělo umožňovat svařování speciálními modifikacemi pulsního procesu
- pracoviště by mělo být vybaveno čistící stanicí s možností odstřížení drátu a kontrolním TCP hrotem a dvěma nádobkami na separační kapalinu
- pracoviště by mělo být vybaveno příslušenstvím pro snadnou výměnu svařovacího drátu, ochranného plynu, hořáku a snadné propojení s řídicím systémem
- Projekt by neměl přesahovat částku 4 000 000,- Kč

5.4.2 Výběr základních komponent pro pracoviště

Na základě uvedených požadavků budou vybrány příklady základních komponent. Mezi základní komponenty je zařazeno polohovadlo, robot, svařovací zdroj (systém).

Polohovadlo

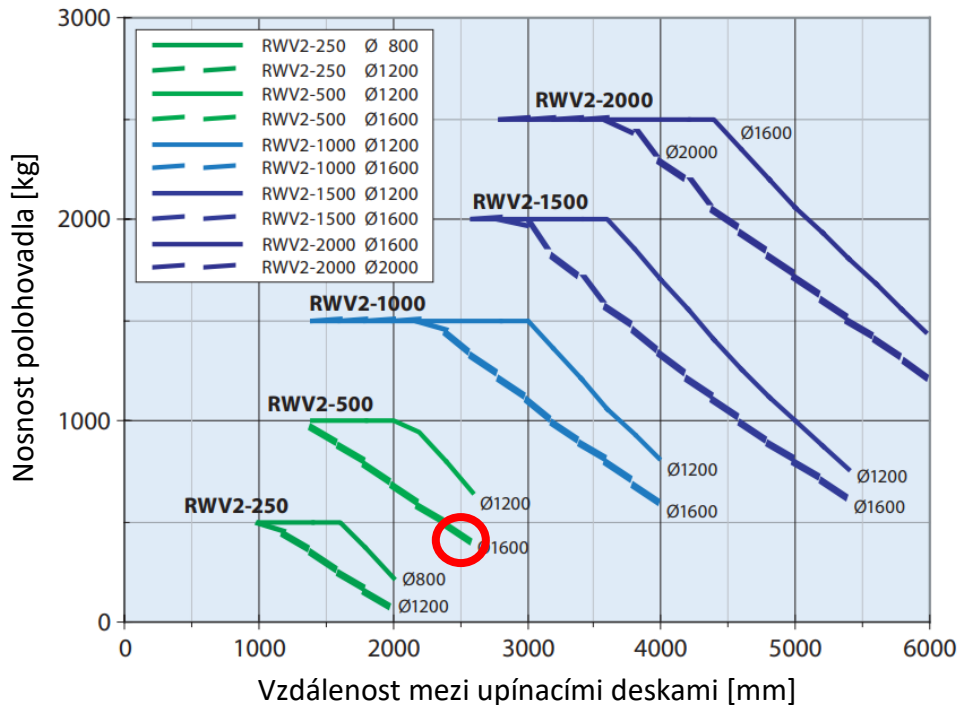
Dle požadavků je vhodné zvolit dvojité otočné polohovadlo s rotační vodorovnou osou. Prostor mezi protilehlými upínacími deskami by měl být alespoň 2 500 mm. Točný průměr je doporučen alespoň 1 400 mm. Nosnost těchto polohovadel převyšuje ve všech případech požadavek 300 kg. Příkladem může být polohovadlo **RWV2** od firmy Yaskawa, které lze vidět na obrázku 76.



Obrázek 76: Polohovadlo RWV2 firmy Yaskawa [41]

Toto polohovadlo je k dispozici v různých variantách podle točného průměru a vzdálenosti mezi upínacími deskami. Tyto dvě hodnoty udávají nosnost polohovadla dle grafu níže. Na

grafu je vyznačené vybrané polohovadlo RWV2-500, točný průměr 1 600 mm, vzdálenost mezi upínacími deskami 2 500 mm. Dle závislosti má toto polohovadlo nosnost přibližně 400 kg. [41]



Obrázek 77: Graf nosnosti polohovadel v závislosti na typu, točném průměru a vzdálenosti mezi deskami [42]

Další polohovadlo splňující kritéria může být **KP3-V2H** firmy KUKA. Toto polohovadlo poskytuje rozmezí nosnosti od 250 do 1 000 kg podle typu, točný průměr od 1 000 do 2 000 mm a vzdálenost mezi upínacími deskami 1 600 až 3 000 mm. Nejvhodnější variantou je KP3-V2H 500, které má nosnost 500 kg. V rámci požadavků by pro toto polohovadlo byl zvolen průměr 1 500 mm a vzdálenost mezi deskami 2 500 mm. [43]



Obrázek 78: Polohovadlo KP3-V2H firmy KUKA [43]

Třetím vybraným možným dodavatelem polohovadla je firma ABB, která nabízí polohovadlo **IRBP D-600**, jehož nosnost je 600 kg, avšak točný průměr pouze 1 200 mm a vzdálenost mezi upínacími deskami 2 000 mm. Tyto rozměry jsou dle zadaných požadavků hraniční. Pokud by však byla tato varianta ekonomicky výhodnější, lze uvažovat i o ní. [44]



Obrázek 79: Polohovadlo IRBP D-600 firmy ABB [44]

Robot

Dle požadavků musí být robot schopen obsluhovat zvolené polohovadlo a musí být přizpůsoben pro proces svařování danými přenosy. Při realizaci bude zvolen robot dle doporučení dodavatele. Ten by měl být vhodný pro obsluhu polohovadla a svařování vybraných komponent.

Za firmu Yaskawa by byl vhodný 6-osý robot **MA2010**. Tento robot je vhodný pro svařování v ochranné atmosféře, jeho maximální dosah je 2 010 mm, což by mělo být pro zvolené polohovadlo dostatečné. Na svém konci robot unese až 10 kg, což stačí pro běžné příslušenství ke svařování. Lze umístit na podlahu nebo na stěnu a jeho hmotnost je přibližně 280 kg. Výrobce uvádí opakovatelnost polohování $\pm 0,08$ mm. Tato přesnost je pro dané aplikace více než dostačující. [45]

Z nabídky firmy KUKA připadá v úvahu model **KR 16 R2010-2**. Jedná se o 6-osého robota s maximálním dosahem 2 013 mm, který je prakticky stejný jako u výše zmíněného MA2010. Jmenovitá nosnost na konci robota je 16 kg, což je více než u robota MA2010. Jeho opakovatelnost polohování je $\pm 0,04$ mm. Robot lze umístit na podlahu, stěnu, strop a jeho hmotnost je přibližně 260 kg. Z důvodu lepších parametrů lze předpokládat, že tento robot

bude zbytečně dražší. Například opakovatelnost $\pm 0,04$ mm je pro řešené aplikace přehnaná a je možné, že bude výrazně zvyšovat cenu. [46]

ABB nabízí ve svém portfoliu robota **IRB 2600ID**, který také splňuje požadavky. Opět se jedná o 6osého robota. Jeho nosnost je 8 kg a maximální dosah 2 000 mm. Je vhodný pro svařování v ochranné atmosféře a jeho opakovatelnost polohování je $\pm 0,023$ mm. Hmotnost robota je 276 kg a lze umístit na podlahu i stěnu. U tohoto robota je opět až zbytečně vysoká opakovatelnost, která může navýšit jeho cenu. [47]



Obrázek 80: Roboty (zleva): MA 2010 Yaskawa, KR 16 R2010-2 KUKA, IRB 2600ID ABB [45, 46, 47]

Svařovací zdroj

Svařovací zdroj (dnes spíše komplexní svařovací systém) musí být kompatibilní s ostatním vybavením, musí umožňovat svařování vybranými postupy a přenosy a zajišťovat jednoduché připojení všech médií hadicovým vedením.

Příkladem vhodného zdroje může být **TPS 400i**, který nabízí firma Fronius. Tento zdroj poskytuje rozmezí svařovacích parametrů, která jsou vhodná pro řešené aplikace a požadované svařovací přenosy. Je také přizpůsoben pro přenos CMT. Dále je vybaven centrální přípojkou pro snadné připojení veškerých médií a datovou sběrnici s rychlostí 100 Mb/s pro zajištění rychlé výměny dat mezi komponenty. Dále je vybaven textovým displejem a automatickým rozpoznáváním komponentů, které upozorňuje na případnou nekompatibilitu. Podrobnější parametry zdroje jsou uvedeny v tabulce 13. [48]

Tabulka 13: Parametry zdroje TPS 400i [48]

Rozsah svařovacího proudu [A]	3 až 400
Rozsah pracovního napětí [V]	14,2 až 34
Dovolené zatížení, zatěžovatel 40 % [A]	400
Dovolené zatížení, zatěžovatel 60 % [A]	360
Dovolené zatížení, zatěžovatel 100 % [A]	320
Hmotnost [kg]	36,5
Krytí	IP23

Druhou možností je zdroj **Sigma Select** od firmy Migatronic. Ten je vhodný pro svařování MIG/MAG tenkých i tlustých materiálů s vysokou produktivitou. Zajímavou funkcí zdroje je DUO Plus, která vytváří svary připomínající svary zhotovené metodu TIG, a zároveň zvyšuje kontrolu nad tavnou lázní. Při tvorbě svaru s funkcí DUO Plus se do materiálu vnáší menší teplo vlivem proměnlivého svařovacího proudu. Rozmezí parametrů zdroje lze zvolit podle potřeby řešené aplikace. Zdroj je vybaven přehledným grafickým ovládacím panelem a rozhraním pro snadné připojení všech komponent a médií. Zdroj lze zakoupit v základní verzi a dle potřeby dokupovat příslušenství a funkce. Podrobnější parametry zdroje jsou uvedeny v tabulce 14. [49]

Tabulka 14: Parametry zdroje Sigma Select [49]

Rozsah svařovacího proudu [A]	15 až 400
Maximální výkon [kVA]	27
Dovolené zatížení, zatěžovatel 60 % [A]	350
Dovolené zatížení, zatěžovatel 100 % [A]	280
Hmotnost [kg]	35
Krytí	IP23



Obrázek 81: Zdroje TPS 400i firmy Fronius (vlevo), Sigma Select firmy Migatron (vpravo) [48, 49]

5.5 Technickoekonomická analýza robotizace výroby

Dílčím cílem této práce je provést analýzu robotizace výroby zadaných svařenců z technickoekonomického hlediska. Výstupem by mělo být rozhodnutí, zda je vhodné realizovat robotizaci výroby a pokud ano, za jakých podmínek. Proto bude proveden jednoduchý ekonomický výpočet, který by měl nastínit roční využitelnost robotizovaného pracoviště a jeho návratnost. V technické části porovnání budou vypsány nové technické možnosti a také technické požadavky pro pracoviště.

5.5.1 Stanovení vstupních hodnot

Pro výpočet roční využitelnosti a návratnosti pracoviště je nutné stanovit několik vstupních údajů. Údaje o ruční výrobě byly zjištěny v provozu firmy a časy robotizovaného svařování byly zjištěny z naměřených hodnot při svařování. Vstupní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 15

Tabulka 15: Vstupní hodnoty pro výpočet využitelnosti a návratnosti

Počet vyráběných kotevních háků za rok	n_H [1]	1 900
Počet vyráběných boků balkonů za rok	n_B [1]	1 900
Kapacita pracoviště pro ruční svařování kotevních háků	C_H [1/den]	22
Kapacita pracoviště pro ruční svařování boků	C_B [1/den]	14
Čas robotizovaného svařování kotevního háku (jednotkový)	T_{Hj} [min]	5
Čas robotizovaného svařování boku (jednotkový)	T_{Bj} [min]	6,2
Počáteční investice do robotizovaného pracoviště	I_p [Kč]	4 000 000
Náklady na kvalifikaci operátora	N_o [Kč]	10 000
Náklady na WPQR	N_{WPQR} [Kč]	20 000
Roční využitelný časový fond	$F_{rč}$ [h]	2000
Počet pracovních směn	s [-]	1

Uvedené časy robotizovaného svařování nezahrnují čas pro ukončení procesu, otočení polohovadla na 2. pozici a spuštění nového svařovacího procesu. Dále je nutné zahrnout časy na nutné přestávky, technologické přestávky a nastavení pracoviště pro danou sérii výrobků.

Tyto časy byly celkově odhadnuty a rozděleny na 3 minuty pro kotevní hák a 4,5 minuty pro bok.

5.5.2 Roční využitelnost robotizovaného pracoviště

Využitelnost pracoviště lze spočítat ze zadaných časů svařování, odhadnutých vedlejších časů a počtu vyráběných svařenců.

Jako první bude spočítán celkový čas svařování kotevních háků.

$$T_{Hc} = (T_{Hj} + 3) \cdot n_H \quad (14)$$

$$T_{Hc} = (5 + 3) \cdot 1\,900 \quad (15)$$

$$T_{Hc} = 15\,200 \text{ min} = 253 \text{ h} \quad (16)$$

Celkový čas svařování boků.

$$T_{Bc} = (T_{Bj} + 4,5) \cdot n_B \quad (17)$$

$$T_{Bc} = (6,2 + 4,5) \cdot 1900 \quad (18)$$

$$T_{Bc} = 20\,330 \text{ min} = 339 \text{ h} \quad (19)$$

Roční využitelnost je potom:

$$v_r = \frac{(T_{Hc} + T_{Bc})}{Fr\check{c}} * 100 \quad (20)$$

$$v_r = \frac{(253 + 339)}{2\,000} * 100 \quad (21)$$

$$v_r = 29,6 \% \quad (22)$$

Při robotizovaném svařování pouze kotevních háků a boků je využitelnost pracoviště 29,6 %. To znamená, že při realizaci pracoviště je možné 3x navýšit kapacitu výroby boků a kotevních háků. Tedy na 5 700 háků a 5 700 boků (2850 balkonů).

5.5.3 Návratnost investice do robotizovaného pracoviště

Návratnost investice bude vypočítána v podobě úspory, která vzniká rozdílem nákladů na robotizované a ruční pracoviště. V nákladech bude zahrnuta počáteční investice, která se skládá z investice do robotizovaného pracoviště, kvalifikaci operátora a zhotovení WPQR. Celkově počáteční investice činí 4 030 000,- Kč. Tato částka bude odepisována během 5 let. Pro zjednodušení budou odpisy statické a nebude uvažována rozdílná hodnota peněz vlivem inflace.

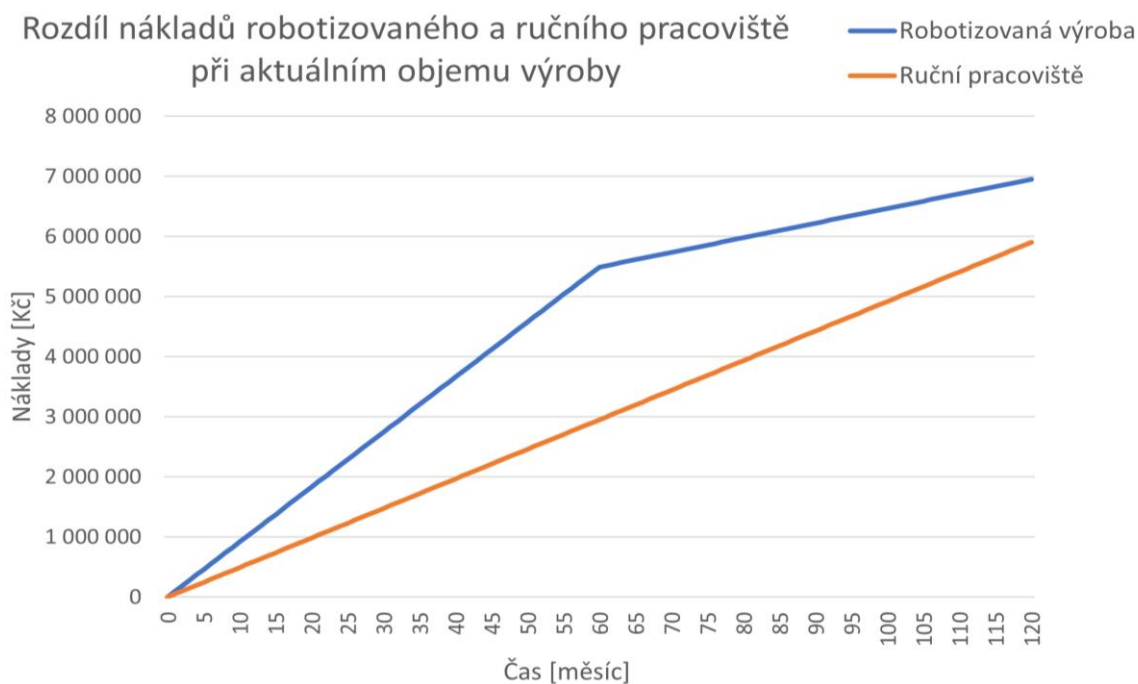
Nejprve bude vypočítána návratnost v případě nenavýšení objemu výroby, tedy při svařování 1 900 kotevních háků a 1 900 boků.

Tabulka 16: Měsíční náklady na robotizované pracoviště při aktuálním objemu výroby

Měsíční náklady pro robotizované pracoviště	91 521 Kč
Odpisy investice (po dobu 5 let)	67 166 Kč
Mzda programátora (10 % z celkové mzdy)	5 500 Kč
Mzda obsluhy (30 % z celkové mzdy)	13 500 Kč
Náklady na spotřební materiál	4 410 Kč
Náklady na elektřinu	945 Kč

Tabulka 17: Měsíční náklady na ruční pracoviště při aktuálním objemu výroby

Měsíční náklady pro ruční pracoviště	49 185 Kč
Mzda svářeče (90 % z celkové mzdy)	43 200 Kč
Náklady na spotřební materiál	5 355 Kč
Náklady na elektřinu	630 Kč



Obrázek 82: Graf závislosti akumulace nákladů na čase pro obě pracoviště a aktuální objem výroby

Při zachování stávající výroby nedojde k navrácení investice během prvních 10 let.

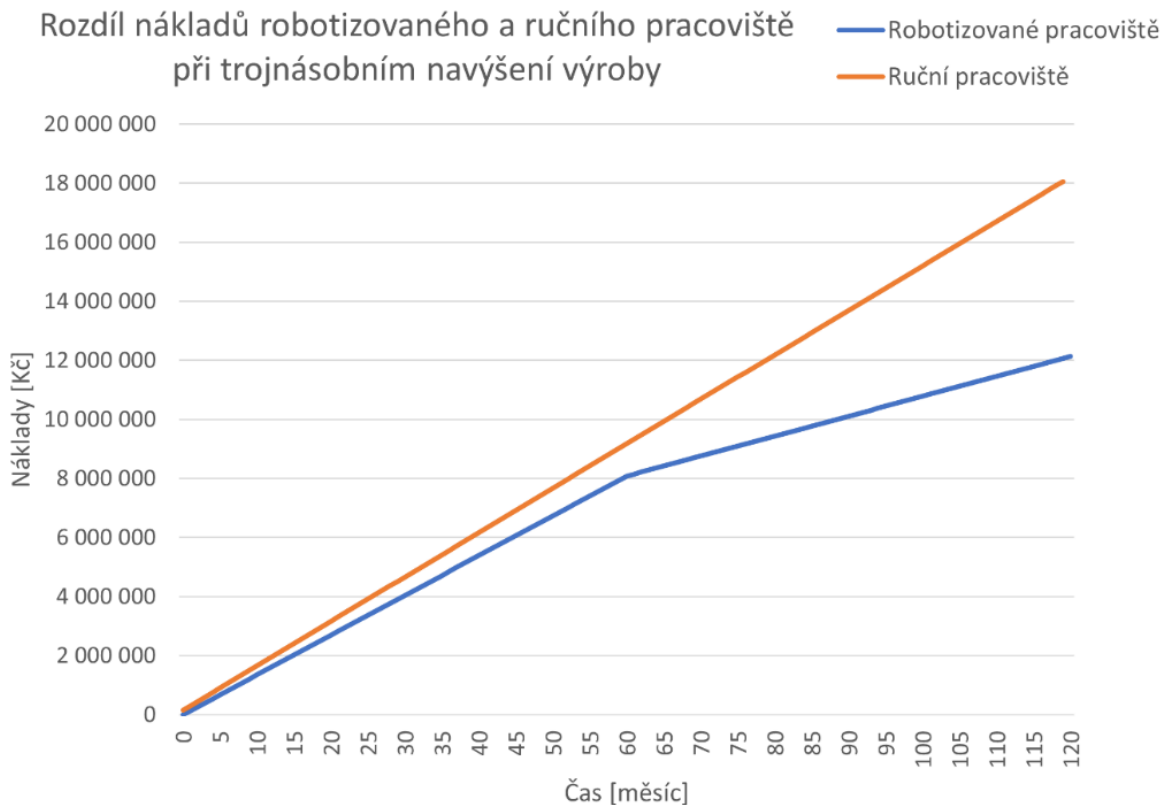
V druhém příkladě bude spočítána návratnost v případě navýšení výroby na 5 700 háků a 5 700 boků (přibližně 90 % kapacity robotizovaného pracoviště při jednosměnném provozu).

Tabulka 18: Měsíční náklady robotizovaného pracoviště při zvýšeném objemu výroby

Měsíční náklady pro robotizované pracoviště	134 731 Kč
Odpisy investice (po dobu 5 let)	67 166 Kč
Mzda programátora (20 % z celkové mzdy)	11 000 Kč
Mzda obsluhy (90 % z celkové mzdy)	40 500 Kč
Náklady na spotřební materiál	13 230 Kč
Náklady na elektřinu	2 835 Kč

Tabulka 19: Měsíční náklady na ruční pracoviště při zvýšeném objemu výroby

Měsíční náklady pro ruční pracoviště	150 490 Kč
Mzda svářeče (270 % z celkové mzdy)	129 600 Kč
Náklady na spotřební materiál	16 065 Kč
Náklady na elektřinu	1 890 Kč



Obrázek 83: Graf závislosti akumulace nákladů na čase pro obě pracoviště a trojnásobně zvýšený objem výroby

Při trojnásobném navýšení objemu výroby jsou rozpočítané měsíční náklady na robotizované pracoviště o 15 759 Kč menší než na ruční pracoviště. Po 5 letech, kdy dojde ke kompletnímu odepsání počáteční investice je úspora peněz 945 540 Kč. Po odepsání investice je úspora v každém následujícím měsíci 82 925 Kč. V tomto případě činí rozdíl nákladů po 10 letech 5 921 040 Kč. Ve výpočtech nebyly uvažovány náklady na nutný servis a případné opravy, které lze jen velmi těžce předpovědět. Předpokladem je, že robotizované pracoviště bude po dobu 10 let pracovat bez potřeby velkých oprav. Uvažuje se pouze s pravidelným servisem, který je

u ručního pracoviště potřeba také a pravděpodobně častěji než u robotizovaného. Náklady na pravidelný servis budou přibližně stejné pro obě pracoviště.

5.5.4 Nové technické možnosti a požadavky

Robotizované pracoviště umožňuje mnoho jiných technických možností oproti pracovišti ručnímu. V řešeném případě se jedná především o razantní zrychlení výroby, ale i zlepšení kvality. Důležitým aspektem je možnost lepšího sledování výroby z hlediska závislosti parametrů na kvalitě svarů, časů svařování, aktuálního postupu svařování a další.

Robot v kombinaci s polohovadlem umožňuje svařování geometricky složitějších svarů a také navařování. Při pořízení dodatečného vybavení lze navařování povýšit na 3D tisk oceli, který se v posledních letech stává zajímavou, využitelnou a progresivní technologií.

Co se týče požadavků na robotizaci svařovacího procesu, je nutné najít dostatečně velký prostor ve výrobě firmy, zařídit přívod všech požadovaných energií a médií, a především zajistit kvalifikovanou obsluhu. Důležité je také kvalitní a dostatečně výkonné odsávání. Využit lze stávající odsávání, pouze jej prodloužit a nainstalovat digestoř nad pracoviště. Opomíjenou potřebou robotizovaného pracoviště je tok materiálu do něj a od něj. To znamená, že při plánování umístění je nutné počítat s paletovými místy na přívoz a odvoz materiálu. V tomto případě lze odhadnout potřebu 4 paletových míst. V rámci toku materiálu musí být také určeny cesty pro jeho dodávání a odvážení.

Technické srovnání pracovišť je dáno výše uvedenými skutečnostmi. Robotizované pracoviště nabízí mnoho nových možností a technologií, ale zároveň vyžaduje lepší zázemí, větší prostory a kvalifikovanou obsluhu.

6. ZÁVĚR

Teoretická část této práce popisuje průmyslové roboty a manipulátory. Zaměřuje se na jejich dělení, využití a druhy pracovních hlavic. V této části je také proveden rozbor svařenců vhodných pro robotizaci a svařovací metody MAG. V druhé polovině teoretické části jsou uvedeny typy svarových spojů a robotizovaných pracovišť.

Praktická část měla za úkol posoudit vhodnost realizace robotizovaného svařovacího pracoviště ve výrobě firmy PEKSTRA, spol. s r.o. Nejprve byly vybrány 2 svařence z reálné výroby firmy na základě vhodnosti k robotizaci výroby. Ke svařencům byla zhotovena výrobní dokumentace a následně připraveny vzorky pro svaření na testovacím pracovišti.

Na prvních vzorcích byly otestovány vhodné svařovací parametry a byl optimalizován řídicí program. Během postupného svařování vzorků bylo zjištěno několik změn, které je potřeba pro robotizované svařování provést. Například rozdělení svaření kotevních háků na 2 části a úprava konstrukce kotevních háků v podobě zhotovení zámků pro zajištění pozice háku. Důležitým zjištěním bylo předimenzování svarů pásnic u závěsného kotevního háku. Dle výpočtu lze upravit velikost zmíněných svarů z původní a8 na a6. Tuto změnu je vhodné provést ve výrobě i za předpokladu ponechání ruční výroby.

Na vzorku č. 3 závěsného kotevního háku byly provedeny pracovní zkoušky, které zahrnovaly zkoušku vizuální, kapilární a zkoušku makrostruktury. Ty odhalily problém v geometrii svaru, který byl u svařování dalších vzorků potlačen úpravou parametrů a programu. Svařování závěsných kotevních háků a boků se povedlo optimalizovat do ideálního stavu, kdy byly zaznamenány časy svařování pro pozdější ekonomické výpočty.

Samostatnou kapitolou bylo provedení zkušební kvalifikace svarů dle ČSN EN ISO 15614-1. Byl stanoven rozsah kvalifikace, svařeny zkušební kusy zadanými parametry, na kterých byly následně provedeny zkoušky. I když byl použitý materiál zařazen do skupiny 1.1, pro kterou není potřeba provádět zkoušku tvrdosti, v tomto případě byla provedena také. Žádná ze zkoušek pro kvalifikaci neodhalila vadu svaru. Zkušební kvalifikace byla provedena úspěšně. Její výsledky a parametry mohou sloužit pro zhotovení reálné kvalifikace svarů pro firmu PEKSTRA, spol. s r.o. Protokoly ze zkoušek jsou přílohou této práce.

Předposlední část byla zaměřena na návrh robotizovaného pracoviště, který se odvíjel od uvedených požadavků. Tyto požadavky mohou být podkladem pro vypracování zadávací

dokumentace při výběru dodavatele robotizovaného pracoviště. Posléze byly uvedeny příklady komponent, které požadavky splňují.

Poslední kapitola se zabývá technickoekonomickým porovnáním robotizovaného a ručního svařovacího pracoviště. Byla vypočítána roční využitelnost pracoviště s robotem 29,6 %. Při zachování tohoto objemu výroby (využitelnost 29,6 %) nedojde k návratu investice během prvních 10 let. To znamená, že v tomto případě rozhodně není vhodné robotizované pracoviště realizovat.

Pořízení pracoviště pro robotizovaný proces se vyplatí pouze v případě, že dojde k markantnímu navýšení objemu výroby. Je uveden příklad, kdy došlo k trojnásobnému navýšení výroby. To zapříčinilo, že po prvních 5 letech, kdy došlo ke kompletnímu odepsání původní investice, činila úspora v nákladech 945 540 Kč. Po 10 letech byla spočítána úspora v nákladech 5 921 040 Kč.

Úplný závěr této práce zní: Robotizované pracoviště není při aktuálním objemu výroby vhodné realizovat. Zhotovení pracoviště lze doporučit pouze v případě razantního navýšení objemu výroby (přibližně trojnásobnému navýšení) nebo při zařazení výroby dalších svařenců, které nebyly zahrnuty v této práci.

Cíle diplomové práce byly splněny v plném rozsahu a v některých částech převyšoval rozsah práce vytyčené cíle. Některé zjištěné poznatky lze navíc aplikovat i pro stávající ruční výrobu a ušetřit tak čas a náklady.

Bibliografie

- [1] Robotizace. *Temex.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.temex.cz/sluzby/automatizace/robotizace/>
- [2] HAVLÍČEK, Daniel. Factory automation: Základní pojmy z automatizace. *Factoryautomation.cz* [online]. 25.1.2015 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>
- [3] LACKO, Branislav. *Automatizace a automatizační technika*. Praha: Computer Press, 2000. Všechny cesty k informacím. ISBN 80-722-6246-7.
- [4] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty*. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-214-0526-0.
- [5] VLADIMÍR, Andrlík. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Praha: ČVUT ústav výrobních strojů a zařízení, 2012.
- [6] GURGUR, Michal. *Industrial robots and cobots*. 1. eBook, 2018. ISBN 978-83-952513-0-6.
- [7] ADAMEC, Jaromír. *Technologie automatizovaných výrob*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-0871-4.
- [8] Hydraulic or Pneumatic Manipulator Arms and Vertical Lifters. *Ergonomicpartners.com* [online]. Bridgeton [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.ergonomicpartners.com/manipulator-arms>
- [9] *Robot Hand Description* [online]. rozum.com, 2020 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://rozum.com/the-helping-robot-hand/>
- [10] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace: roboty a manipulátory*. Brno: Fakulta strojního inženýrství: VUT v Brně, 2003.
- [11] HOTAŘ, Vlastimil. *Efektory a periferní zařízení* [online]. Technická univerzita v liberci: TUL, Fakulta strojní, 2019 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: elearning.tul.cz
- [12] Robotic torch systems. *American Weldquip* [online]. 2018 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.weldquip.com/products/robotic-torches/>
- [13] *LaserHybrid* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/robotizované-svařování/vysokovýkonné-svařování-migmag/laserhybrid/laserhybrid>
- [14] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. 1. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- [15] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-857-7172-1.
- [16] ČSN EN ISO 6947. *Svařování: Pracovní polohy - Definice úhlů sklonu a otočení*. 2011.
- [17] Polohovadlo RWD 260. *HST Creative* [online]. Vrchlábí [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.hstcreative.cz/rwd-260-clever-450cz265/>

- [18] YASKAWA: *WL-500 1-station positioner with two axes* [online]. In: . [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: https://www.yaskawa.za.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Peripherals/WL/Flyer_Positioner_WL-500_E_01.2017.pdf
- [19] YASKAWA: *WH-1000 1-station positioner with horizontal rotation axis* [online]. In: . [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Peripherals/WH/Flyer_Positioner_WH-1000_E_01.2017.pdf
- [20] IGM. *Global welding technologies* [online]. Wiener, Austria [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.global-welding-technologies.com/en/igm>
- [21] SAW Welding, An Efficient And High-Quality Welding Process. *Pemamek.com* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://pemamek.com/de/discover/saw-welding-an-efficient-and-high-quality-welding-process/>
- [22] Rámové konstrukce. *Nosná ocelová konstrukce* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.femont.cz/konstrukcni-system/nosna-ocelova-konstrukce/ramova/>
- [23] Friction Welding Applications. *American friction welding* [online]. Waukesha, USA, 2022 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://teamafw.com/friction-welding-applications>
- [24] HUDSON, John. *The robot revolution: Understanding the Social and Economic Impact* [online]. 1. Massachusetts, USA: Edwar Elgar Publishing, 2019 [cit. 2022-03-21]. ISBN 978-1-78897-448-6.
- [25] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
- [26] CO JE SVAŘOVÁNÍ MIG/MAG?. *Fronius.com* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/svaovn-migmag>
- [27] PHILLIPS, David. *Welding engineering: an introduction*. 2. Chister, West Sussex: John Wiley, 2016. ISBN 9781118766446.
- [28] HAVELKA, Pavel. MIG/MAG (CO₂). *Automig internetový magazín* [online]. Migatronic CZ [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [29] HORÁČEK, Martin. *Prvky kovových konstrukcí* [online]. 2019 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/KDK/horacek.m1/BO002/BO002_Podklady_do_cviceni.pdf
- [30] Označování svarů na výkresech. *BAHR kovovýroba a svářečská škola* [online]. 2004, 2004 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: http://bahr.kahstudio.cz/met_oznsvar.php
- [31] TALÁČKO, Jaroslav. *Projektování automatizovaných systémů*. 2. Praha: ČVUT, 1996.
- [32] Robotizované pracoviště. In: *Direct industry* [online]. Portugalsko [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/pt/prod/motofil/product-223488-2381906.html>
- [33] Svařovací automat KMO111. In: *HBT Weld* [online]. České Budějovice: HBT Weld [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://hbt-weld.cz/produkty/svarovaci-automat-kmo-111-2/>
- [34] KUKA cell4_arc. In: *Kuka* [online]. Praha, 2020 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty>

- [35] ČSN EN 10219-1. Svařované duté profily z konstrukčních nelegovaných a jemnozrnných ocelí, tvářené za studena: Část 1: Technické dodací podmínky. 2002.
- [36] ČSN EN ISO 5817. Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (mimo elektronového a laserového svařování): Určování stupňů jakosti. 2004.
- [37] ČSN EN ISO 23277. Nedestruktivní zkoušení svarů: Zkoušení kapilární metodou. 2016.
- [38] ČSN EN ISO 15614-1. Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů: Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu. 2017.
- [39] TNI CEN ISO/TR 15608. Svařování: Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin. 2008.
- [40] ČSN EN ISO 9015-1. Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů: Zkoušení tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním. 2011.
- [41] Yaskawa: Workpiece Positioners RWV2. *Yaskawa.eu* [online]. 2022 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/peripherals/productdetail/product/rwv2_795
- [42] *Flyer_RWV2* [online]. In: 2007 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Peripherals/RWV2/Flyer_RWV2_engl.pdf
- [43] 3-axis positioner KP3-V2H. <https://www.directindustry.com/> [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/kuka-ag/product-17587-1939092.html>
- [44] ABB polohovadla: IRBP D. *Abb.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/czech-local/partneri-a-systemovi-integratori/produktove-specifikace/polohovadla>
- [45] AR2010. *Yaskawa.eu.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: https://cz.yaskawa.eu.com/products/robots/welding-cutting/productdetail/product/ar2010_736
- [46] KR 16 R2010-2. *Kuka.com* [online]. Zugspitzstrasse 140, 86165 Augsburg, Německo, 26.5.2022 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000321013_cs.pdf?rev=b625e972533446d9a5a90efe40352b46&hash=E4E768BF9CC46751E60CDE8C6F266B07
- [47] Product specification: IRB 2600. *Abb.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC035959-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [48] *TPS 400i* [online]. 2022 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://hbt-weld.cz/produkty/tps-400i/>
- [49] Sigma select. *Migatronic.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.migatronic.com/cz/produkty-a-reseni/svarovaci-zdroje/sigma-select/>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Typy přenosů a jejich parametry	32
Tabulka 2: Parametry svařování	50
Tabulka 3: Měřené vady, jejich označení a mezní hodnoty	52
Tabulka 4: Upravené parametry pro svařování bočních pásnic	56
Tabulka 5: Parametry pro výpočet kontroly svaru	59
Tabulka 6: Parametry pro svary a6.....	61
Tabulka 7: Upravené parametry pro svary a6.....	61
Tabulka 8: Parametry pro svařování boků.....	62
Tabulka 9: Rozsah kvalifikace dle ČSN EN ISO 15614-1 [38]	65
Tabulka 10: Rozsah kvalifikace pro svařované vzorky [38]	65
Tabulka 11: Parametry pro svařování zkušebního kusu pro kvalifikaci 1vrstvého svaru a7	66
Tabulka 12: Parametry pro svařování zkušebního kusu pro kvalifikaci 3vrstvého svaru a8	66
Tabulka 13: Parametry zdroje TPS 400i [48]	77
Tabulka 14: Parametry zdroje Sigma Select [49].....	77
Tabulka 15: Vstupní hodnoty pro výpočet využitelnosti a návratnosti.....	79
Tabulka 16: Měsíční náklady na robotizované pracoviště při aktuálním objemu výroby.....	81
Tabulka 17: Měsíční náklady na ruční pracoviště při aktuálním objemu výroby	81
Tabulka 18: Měsíční náklady robotizovaného pracoviště při zvýšeném objemu výroby.....	82
Tabulka 19: Měsíční náklady na ruční pracoviště při zvýšeném objemu výroby	83

Seznam obrázků

Obrázek 1: Robotizované odporové svařování karoserie automobilu	14
Obrázek 2: Rozdělení PRaM podle kinematická struktury [5].....	15
Obrázek 3: Rozdělení PRaM se sériovou strukturou dle SS [5]	16
Obrázek 4: Angulární struktura PRaM [5]	16
Obrázek 5: Paralelní kinematická struktura [5]	17
Obrázek 6: Schéma zařazení kombinovaných kinematických struktur [5]	17
Obrázek 7: Rozdělení PRaM podle provedení a řízení [5]	18
Obrázek 8: Schéma synchronního manipulátor [8].....	19
Obrázek 9: Druhy operací pracovních hlavic [7].....	20
Obrázek 10: Schéma dělení pracovních hlavic [5].....	21
Obrázek 11: Schéma rozdělení technologických hlavic [10]	21
Obrázek 12: Schéma svařovací hlavice s laserovým senzorem [11]	22
Obrázek 13: Technologická hlavice pro svařování v ochranné atmosféře [12]	23
Obrázek 14: Místo svaru technologie LaserHybrid [13]	24
Obrázek 15: Polohy svařování podle ČSN EN ISO 6947 [16]	24
Obrázek 16: Kladkové polohovadlo [17]	25
Obrázek 17: Kolébkové polohovadlo WL-500 firmy yaskawa [18].....	25
Obrázek 18: Čepové polohovadlo WH-1000 firmy Yaskawa (jednostranné) [19]	26
Obrázek 19: Závislost jmenovitého zatížení polohovadla WH-1000 na vzdálenosti od upínací desky [19]	26
Obrázek 20: Příhradová konstrukce [20].....	27
Obrázek 21: Svařování automatizovanou metodou SAW s využitím kladkového polohovadla [21].....	28
Obrázek 22: Plnostěnná konstrukce výrobní haly [22].....	28
Obrázek 23: Příklady výrobků frikčního svařování strojních součástí [23].....	29
Obrázek 24: Schéma svařování metodou MAG [28]	31
Obrázek 25: Nejčastější typy tupých svarů a jejich značení [29].....	35
Obrázek 26: Značení svarů dle systému A [30]	36
Obrázek 27: Druhy svarů v programu Solid Edge	36
Obrázek 28: Schéma pracoviště s dvojitým polohovacím manipulátorem [31]	38

Obrázek 29: Stabilní průmyslové roboty a translačně přestavitelné polohovací manipulátory [31].....	38
Obrázek 30: Schéma uspořádání pracoviště s robotem na transportním modulu [31]	39
Obrázek 31: Příklad pracoviště se 2 stabilními polohovacími manipulátory a svařovacím robotem na transportním modulu [32]	39
Obrázek 32: Schéma uspořádání stabilního svařovacího automatu s polohovacím robotem [31]	40
Obrázek 33: Svařovací automat KMO 111 pro svařování přírub, komínových kolen a dalších kruhových součástí [33].....	40
Obrázek 34: Svařovací buňka KUKA cell4_arc [34].....	41
Obrázek 35: Svařenec balkonu 3000x1230 mm	43
Obrázek 36: Rozložený svařenec balkonu na dílčí části	43
Obrázek 37: Levý bok balkonu.....	44
Obrázek 38: Závěsný kotevní hák (vlevo), Stropní závěs táhla (vpravo)	45
Obrázek 39: Svařenec sklopného sušáku	45
Obrázek 40: Výkres svařence boku balkonu 1200x1180.....	46
Obrázek 41: Výkres svařence závěsného kotevního háku	47
Obrázek 42: Vzorek č. 1 - kolize hořáku s hákem	49
Obrázek 43: Vzorek č. 1 - deformace pásnic vlivem chladnutí.....	49
Obrázek 44: vzorek č. 2 - testování parametrů	50
Obrázek 45: Vzorek č. 3 – přivaření bočních pásnic (vlevo) s detailem svaru (vpravo)	51
Obrázek 46: Vzorek č. 3 – přivaření háku (vlevo) s detailem svaru (vpravo)	51
Obrázek 47: Rozdělení vzorku č.3. na vzorky svarů A až O	52
Obrázek 48: Nanášení indikátoru na vzorky.....	53
Obrázek 49: Příklad vyhodnocení kapilární zkoušky na vzorku H (vlevo) a L (vpravo)	53
Obrázek 50: Příprava vzorku na morfologické pile (vlevo), zalisované vzorky (vpravo)	54
Obrázek 51: Makrografický výbrus vzorku D.....	54
Obrázek 52: Makrografický výbrus vzorku O ₁ (pravá strana háku)	54
Obrázek 53: Makrografický výbrus vzorku I	55
Obrázek 54: Vzorek č. 5 - přivaření háku s použitým rozkyvem (vlevo) přivaření háku 3 – vrstvý svarem (vpravo)	56
Obrázek 55: Vzorek č. 6 (vlevo), detail svarů (vpravo)	57

Obrázek 56: Vzorek č. 7 (vlevo), detail svarů (vpravo)	58
Obrázek 57: Model pro výpočet svarů bočních pásnic	59
Obrázek 58: Vzorek a6 – 1 (vlevo), detail svarů (vpravo).....	61
Obrázek 59: Vzorek a6 – 2	62
Obrázek 60: Dosah robota do nejvzdálenějšího rohu (vlevo), improvizované podepření rohu (vpravo).....	63
Obrázek 61: Detaily svarů boku č. 1 na 1. straně	63
Obrázek 62: Provedené svary boku č. 1 na 2. straně	64
Obrázek 63: Detaily svarů na boku č. 3	64
Obrázek 64: Detail 1 – vrstvého svaru a7 (vlevo), detail 3 - vrstvého svaru a8 (vpravo).....	66
Obrázek 65: Vizuální kontrola svaru	67
Obrázek 66: Kapilární zkouška svaru a7 (vlevo) a 3 - vrstvého svaru a8 (vpravo)	67
Obrázek 67: Postup měření tvrdosti HV10 svaru a7	68
Obrázek 68: Průběh tvrdosti svaru a7 ve 2 liniích	68
Obrázek 69: Postup měření tvrdosti 3vrstvého svaru a8.....	69
Obrázek 70: Průběh tvrdosti levé části 3vrstvého svaru a8 v linii 1.....	69
Obrázek 71: Průběh tvrdosti levé části 3vrstvého svaru a8 v linii 2.....	69
Obrázek 72: Průběh tvrdosti pravé části 3vrstvého svaru a8 v linii 1	70
Obrázek 73: Průběh tvrdosti pravé části 3vrstvého svaru a8 v linii 2	70
Obrázek 74: Makroskopický snímek svaru a7	71
Obrázek 75: Makroskopický snímek 3vrstvého svaru a8	71
Obrázek 76: Polohovadlo RWV2 firmy Yaskawa [41]	73
Obrázek 77: Graf nosnosti polohovadel v závislosti na typu, točném průměru a vzdálenosti mezi deskami [42].....	74
Obrázek 78: Polohovadlo KP3-V2H firmy KUKA [43].....	74
Obrázek 79: Polohovadlo IRBP D-600 firmy ABB [44]	75
Obrázek 80: Roboty (zleva): MA 2010 Yaskawa, KR 16 R2010-2 KUKA, IRB 2600ID ABB [45, 46, 47].....	76
Obrázek 81: Zdroje TPS 400i firmy Fronius (vlevo), Sigma Select firmy Migatronik (vpravo) [48, 49].....	78
Obrázek 82: Graf závislosti akumulace nákladů na čase pro obě pracoviště a aktuální objem výroby	82

Obrázek 83: Graf závislosti akumulace nákladů na čase pro obě pracoviště a trojnásobně
zvýšený objem výroby 83

Přílohy

- Příloha 1 Výpis programů pro robotizované svařování zadaných sestav
- Příloha 2 Protokol z vizuální a kapilární zkoušky vzorku č.3
- Příloha 3 Protokol z vizuální a kapilární zkoušky kvalifikačních zkušebních kusů
- Příloha 4 Protokol ze zkoušky tvrdosti svaru kvalifikačních zkušebních svarů

Příloha 1 – část 1: Výpis programu pro svaření závěsného kotevního háku

```
/JOB
//NAME PEKSTRA4
//POS
///NPOS 66,0,66,0,0,0
///TOOL 3
///POSTYPE PULSE
///PULSE
C00000=0,0,0,0,0,0
//INST
///DATE 2022/07/04 11:39
///ATTR SC,RW
///GROUP1 RB1
///GROUP2 ST1
NOP
MOVJ C00000 VJ=100.00 +MOVJ EC00000 VJ=0.78
MOVJ C00001 VJ=100.00 +MOVJ EC00001 VJ=100.00
MOVL C00002 V=116.7 +MOVJ EC00002 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00003 V=B010 +MOVJ EC00003 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00004 V=116.7 +MOVJ EC00004 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00005 V=B010 +MOVJ EC00005 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
```

TIMER T=0.50
MOVL C00006 V=116.7 +MOVJ EC00006 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00007 V=B010 +MOVJ EC00007 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00008 V=116.7 +MOVJ EC00008 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00009 V=B010 +MOVJ EC00009 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00010 V=116.7 +MOVJ EC00010 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00011 V=B010 +MOVJ EC00011 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00012 V=116.7 +MOVJ EC00012 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00013 V=B010 +MOVJ EC00013 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00014 V=116.7 +MOVJ EC00014 VJ=100.00
MOVL C00015 V=116.7 +MOVJ EC00015 VJ=100.00
MOVJ C00016 VJ=100.00 +MOVJ EC00016 VJ=100.00
MOVJ C00017 VJ=100.00 +MOVJ EC00017 VJ=100.00
MOVL C00018 V=116.7 +MOVJ EC00018 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00019 V=B010 +MOVJ EC00019 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50

MOVL C00020 V=116.7 +MOVJ EC00020 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00021 V=B010 +MOVJ EC00021 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00022 V=116.7 +MOVJ EC00022 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00023 V=B010 +MOVJ EC00023 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00024 V=116.7 +MOVJ EC00024 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00025 V=B010 +MOVJ EC00025 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00026 V=116.7 +MOVJ EC00026 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00027 V=B010 +MOVJ EC00027 VJ=100.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00028 V=116.7 +MOVJ EC00028 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00029 V=B010 +MOVJ EC00029 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00030 V=116.7 +MOVJ EC00030 VJ=100.00
MOVL C00031 V=116.7 +MOVJ EC00031 VJ=100.00
MOVJ C00032 VJ=100.00 +MOVJ EC00032 VJ=100.00
PAUSE
MOVJ C00033 VJ=100.00 +MOVJ EC00033 VJ=100.00

MOVL C00034 V=116.7 +MOVJ EC00034 VJ=100.00
MOVL C00035 V=116.7 +MOVJ EC00035 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00036 V=B011 +MOVJ EC00036 VJ=100.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00037 V=116.7 +MOVJ EC00037 VJ=100.00
MOVL C00038 V=116.7 +MOVJ EC00038 VJ=100.00
MOVJ C00039 VJ=100.00 +MOVJ EC00039 VJ=100.00
MOVJ C00040 VJ=100.00 +MOVJ EC00040 VJ=100.00
MOVL C00041 V=116.7 +MOVJ EC00041 VJ=100.00
MOVL C00042 V=116.7 +MOVJ EC00042 VJ=100.00
MOVL C00043 V=116.7 +MOVJ EC00043 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00044 V=B011 +MOVJ EC00044 VJ=100.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00045 V=116.7 +MOVJ EC00045 VJ=100.00
MOVJ C00046 VJ=22.00 +MOVJ EC00046 VJ=22.00
MOVJ C00047 VJ=22.00 +MOVJ EC00047 VJ=22.00
MOVJ C00048 VJ=22.00 +MOVJ EC00048 VJ=22.00
MOVL C00049 V=116.7 +MOVJ EC00049 VJ=22.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00050 V=B010 +MOVJ EC00050 VJ=22.00
TIMER T=1.00
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00051 V=116.7 +MOVJ EC00051 VJ=22.00
MOVL C00052 V=116.7 +MOVJ EC00052 VJ=22.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00053 V=B010 +MOVJ EC00053 VJ=22.00
TIMER T=0.50
ARCOF
MOVL C00054 V=116.7 +MOVJ EC00054 VJ=100.00
MOVJ C00055 VJ=22.00 +MOVJ EC00055 VJ=22.00
MOVJ C00056 VJ=22.00 +MOVJ EC00056 VJ=0.78

```
MOVJ C00057 VJ=22.00 +MOVJ EC00057 VJ=0.78
MOVL C00058 V=116.7 +MOVJ EC00058 VJ=0.78
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00059 V=B010 +MOVJ EC00059 VJ=0.78
TIMER T=0.50
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00060 V=116.7 +MOVJ EC00060 VJ=0.78
MOVL C00061 V=116.7 +MOVJ EC00061 VJ=0.78
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00062 V=B010 +MOVJ EC00062 VJ=0.78
TIMER T=0.50
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00063 V=116.7 +MOVJ EC00063 VJ=0.78
MOVJ C00064 VJ=100.00 +MOVJ EC00064 VJ=100.00
MOVJ C00065 VJ=100.00 +MOVJ EC00065 VJ=22.00
END
```

Příloha 1 – část 2: Výpis programu pro svaření 1. strany boku balkonu

```
/JOB
//NAME PEKSTRA1BOK
//POS
///NPOS 59,0,0,0,0,0
///TOOL 3
///POSTYPE PULSE
///PULSE
C00000=0,0,0,0,0,0
//INST
///DATE 2022/07/04 08:48
///ATTR SC,RW
///GROUP1 RB1
NOP
MOVJ C00000 VJ=100.00
MOVJ C00001 VJ=100.00
MOVL C00002 V=833.3
TIMER T=0.50
ARCON
```

MOVL C00003 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00004 V=1500.0
MOVJ C00005 VJ=100.00
MOVJ C00006 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00007 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00008 V=1500.0
MOVJ C00009 VJ=100.00
MOVJ C00010 VJ=100.00
MOVJ C00011 VJ=100.00
MOVJ C00012 VJ=100.00
MOVJ C00013 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00014 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00015 V=1500.0
MOVJ C00016 VJ=100.00
MOVJ C00017 VJ=100.00
MOVJ C00018 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00019 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00020 V=1500.0
MOVJ C00021 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00022 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVJ C00023 VJ=100.00
MOVJ C00024 VJ=100.00

MOVJ C00025 VJ=100.00
MOVJ C00026 VJ=100.00
MOVJ C00027 VJ=100.00
MOVJ C00028 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00029 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00030 V=1500.0
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00031 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00032 V=1500.0
MOVJ C00033 VJ=100.00
MOVJ C00034 VJ=100.00
MOVJ C00035 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00036 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00037 V=1500.0
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00038 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00039 V=1500.0
MOVJ C00040 VJ=100.00
MOVJ C00041 VJ=100.00
MOVJ C00042 VJ=100.00
MOVJ C00043 VJ=100.00
MOVJ C00044 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00045 V=B012
ARCOF


```
TIMER T=0.50
MOVL C00046 V=1500.0
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00047 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00048 V=1500.0
MOVJ C00049 VJ=100.00
MOVJ C00050 VJ=100.00
MOVJ C00051 VJ=100.00
MOVJ C00052 VJ=100.00
MOVJ C00053 VJ=100.00
TIMER T=0.50
ARCON
MOVL C00054 V=B012
ARCOF
TIMER T=0.50
MOVL C00055 V=1500.0
MOVJ C00056 VJ=100.00
MOVJ C00057 VJ=100.00
MOVJ C00058 VJ=100.00
END
```


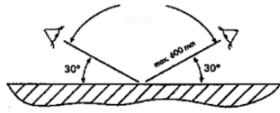
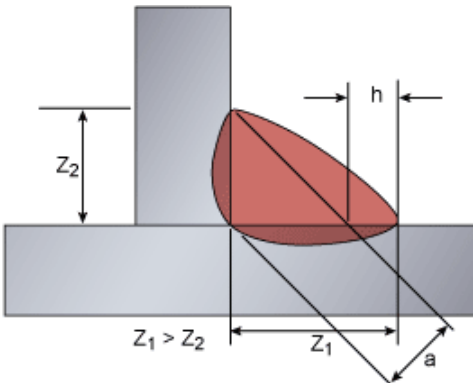
Příloha 1 – část 3: Výpis programu pro svaření druhé strany boku

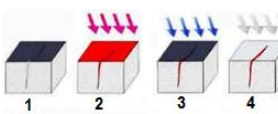
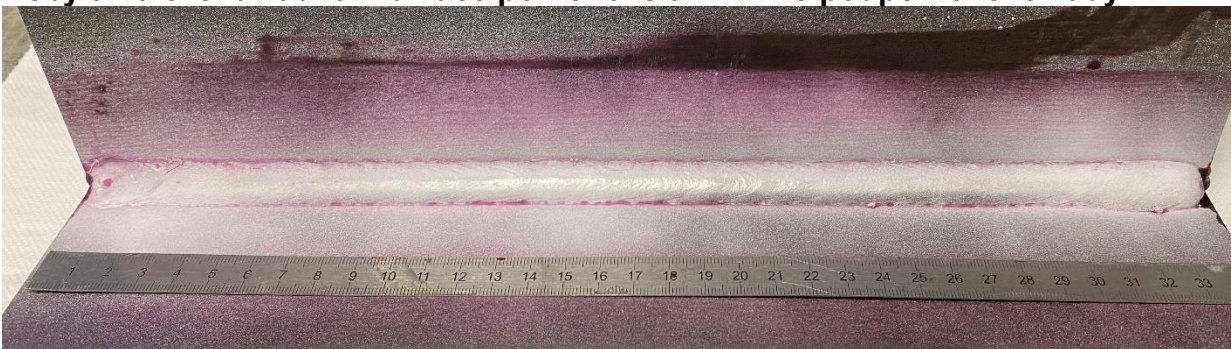
```
/JOB
//NAME PEKSTRA2BOK
//POS
///NPOS 31,0,0,0,0,0
///TOOL 3
///POSTYPE PULSE
///PULSE
C00000=-1,1,-1,0,1,0,0
//INST
///DATE 2022/07/04 10:37
///ATTR SC,RW
///GROUP1 RB1
NOP
MOVJ C00000 VJ=100.00
MOVJ C00001 VJ=100.00
```

MOVL C00002 V=333.3
MOVL C00003 V=333.3
TIMER T=1.00
ARCON
MOVL C00004 V=B012
ARCOF
TIMER T=1.00
MOVL C00005 V=333.3
TIMER T=1.00
ARCON
MOVL C00006 V=B012
ARCOF
TIMER T=1.00
MOVL C00007 V=333.3
MOVL C00008 V=333.3
MOVJ C00009 VJ=100.00
MOVJ C00010 VJ=100.00
MOVL C00011 V=333.3
TIMER T=1.00
ARCON
MOVL C00012 V=B012
ARCOF
TIMER T=1.00
MOVL C00013 V=333.3
TIMER T=1.00
ARCON
MOVL C00014 V=B012
ARCOF
TIMER T=1.00
MOVL C00015 V=333.3
MOVL C00016 V=333.3
MOVJ C00017 VJ=100.00
MOVJ C00018 VJ=100.00
MOVL C00019 V=333.3
TIMER T=1.00
ARCON
MOVL C00020 V=B012
ARCOF
TIMER T=1.00
MOVL C00021 V=333.3


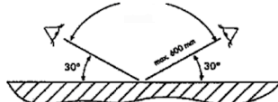
MOVJ C00022 VJ=100.00
MOVJ C00023 VJ=100.00
MOVJ C00024 VJ=100.00
MOVL C00025 V=333.3
MOVL C00026 V=116.7
TIMER T=1.00
ARCON
MOVL C00027 V=B012
ARCOF
TIMER T=1.00
MOVL C00028 V=333.3
MOVJ C00029 VJ=100.00
MOVJ C00030 VJ=100.00
END

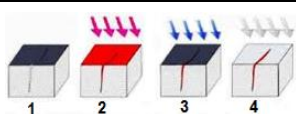
Příloha 2 - Protokol z vizuální a kapilární zkoušky z kvalifikace svaru a7

		Reg.č.: DP-2022-01	
		Protokol o vizuální kontrole - VT	
		Strana/ Celkem: 1/1	
		Počet výtisků:	
Zákazník: PEKSTRA spol. s r.o.		Místo zkoušky: HBT Weld, České Budějovice	
Výrobek / označení: Kvalifikační vzorek a7		Počet kusů: 1	
Zkoušený předmět:		Rozsah kontroly : 100% délky svaru	
Typ spoje: FW, jednovrstvý Metoda svařování: 135		Tepelné zpracování: - NE Stádium výroby: - dokončený svařenec	
Materiál - základný materiál /přídavný materiál: S235JR/G3Si1		Rozměry: 350x150x12	
Příprava povrchu / stav povrchu: kartáčovaný, očištění			
Zkoušení postup/norma: ČSN EN ISO 17637		Hodnocení dle / přípustnost: ČSN EN ISO 5817/C	
Intenzita osvětlení: 400 lx		Použité zařízení: zdroj světla, příložené pravítko, sada pro vizuální kontrolu	
Podmínky pozorování / vzdálenost / úhel: umělé osvětlení / 400 mm / 60°		Měřicí přístroje: cambridge měrka, měrka s noniem, posuvné měřidlo s noniem	
Odchylky od normy:			
Číslo sváru/dílu/vzorku	Označení vady	Velikost vady	Hodnocení (Vyhovuje/Nevyhovuje)
a7	1.16	1 mm	vyhovuje
<p>Náčrt:</p> 			
Bez dalších viditelných či měřitelných vad.			
Místo: České Budějovice	Datum: 1.7.	Zkoušel a vyhodnotil:	Bc. Kroupa

		Protokol o kapilární zkoušce - PT		Strana/ Celkem: 1/1	
				Počet výtisků:	
Zákazník: PEKSTRA spol. s r.o.			Místo zkoušky: HBT Weld, České Budějovice		
Výrobek / označení: Kvalifikační vzorek a7			Počet kusů: 1		
Zkoušený předmět:			Rozsah kontroly: 100% délky svaru		
Typ spoje: FW, jednovrstvý Metoda svařování: 135			Tepelné zpracování: - NE Stádu výroby: - svařenec		
Materiál - základný materiál /přidavný materiál: S235JR/G3Si1			Rozměry: 350x150x12		
Příprava povrchu / stav povrchu: kartáčovaný, očistěný			Typ kontroly: celková		
Zkoušení postup/norma: ČSN EN ISO 3452-1			Hodnocení dle / přípustnost: ČSN EN ISO 23277/C		
Penetrační systém: IIAb			Zkušební prostředky: Lupa		
Předčištění: otření, chemické čištění			Penetrant: Sopras detector	Šarže č.:	
Penetrační čas: 20 minut			Čistič: Sopras cleaner	Šarže č.:	
Odstranění penetrantu a osušení: otření látkou			Vývojka: Sopras white	Šarže č.:	
Vyvíjecí čas: 20 minut			Intenzita osvětlení: 400 lx		
Teplota povrchu zkoušeného povrchu: 22°C					
Číslo indikace	Poloha indikace	Typ indikace	Velikost indikace	Hodnocení (Vyhovuje/Nevyhovuje)	
Nebyla nalezena žádná indikace povrchové ani mírně podpovrchové vady					
					
Místo: České Budějovice		Datum: 1.7.		Dozoroval S.O.:	

Příloha 3 - Protokol z vizuální a kapilární zkoušky z kvalifikace svaru a8

		Reg.č.: DP-2022-01	
		Protokol o vizuální kontrole - VT	
		Strana/ Celkem: 1/1	
		Počet výtisků:	
Zákazník: PEKSTRA spol. s r.o.		Místo zkoušky: HBT Weld, České Budějovice	
Výrobek / označení: Kvalifikační vzorek a8		Počet kusů: 1	
Zkoušený předmět:		Rozsah kontroly : 100% délky svaru	
Typ spoje: FW, vícevrstvý Metoda svařování: 135		Tepelné zpracování: - NE Stádium výroby: - dokončený svařenec	
Materiál - základný materiál /přídavný materiál: S235JR/G3Si1		Rozměry: 350x150x15	
Příprava povrchu / stav povrchu: kartáčovaný, očištění			
Zkoušení postup/norma: ČSN EN ISO 17637		Hodnocení dle / přípustnost: ČSN EN ISO 5817/C	
Intenzita osvětlení: 400 lx		Použité zařízení: zdroj světla, příložené pravítko, sada pro vizuální kontrolu	
Podmínky pozorování / vzdálenost / úhel: umělé osvětlení / 400 mm / 60°		Měřicí přístroje: cambridge měrka, měrka s noniem, posuvné měřidlo s noniem	
Odchytky od normy: Nebyly zaznamenány žádné odchytky			
Číslo sváru/dílu/vzorku	Označení vady	Velikost vady	Hodnocení (Vyhovuje/Nevyhovuje)
Náčrt:			
Nebyly nalezeny žádné vady			



Protokol o kapilární zkoušce - PT

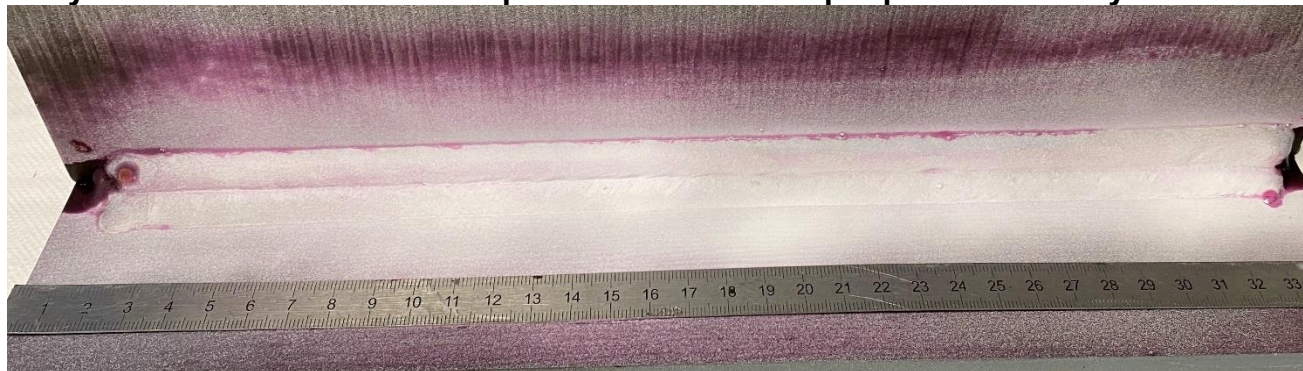
Strana/ Celkem: 1/1

Počet výtisků:

Zákazník: PEKSTRA spol. s r.o.	Místo zkoušky: HBT Weld, České Budějovice
Výrobek / označení: Kvalifikační vzorek a7	Počet kusů: 1
Zkoušený předmět:	Rozsah kontroly: 100%
Typ spoje: FW, jednovrstvý Metoda svařování: 135	Tepelné zpracování: - NE Stádiu výroby: - svařenec
Materiál - základný materiál /přídavný materiál: S235JR/G3Si1	Rozměry: 350x150x15
Příprava povrchu / stav povrchu: kartáčovaný, očistěný	Typ kontroly: celková
Zkoušení postup/norma: ČSN EN ISO 3452-1	Hodnocení dle / přípustnost: ČSN EN ISO 23277/C
Penetrační systém: IIAb	Zkušební prostředky: Lupa
Předčištění: otření, chemické čištění	Penetrant: Sopras detector
Penetrační čas: 20 minut	Čistič: Sopras cleaner
Odstranění penetrantu a osušení: otření látkou	Vývojka: Sopras white
Vyvíjecí čas: 20 minut	Intenzita osvětlení: 400 lx

Teplota povrchu zkoušeného povrchu: 22°C

Číslo indikace	Poloha indikace	Typ indikace	Velikost indikace	Hodnocení (Vyhovuje/Nevyhovuje)

Nebyla nalezena žádná indikace povrchové ani mírně podpovrchové vady


Místo: České Budějovice	Datum: 1.7.	Dozoroval S.O.:	
--------------------------------	--------------------	------------------------	--

Příloha 4 – část 1: Protokol ze zkoušky tvrdosti svaru kvalifikačních zkušebních svarů – a7



ČEZ, a.s.

Materiálová laboratoř

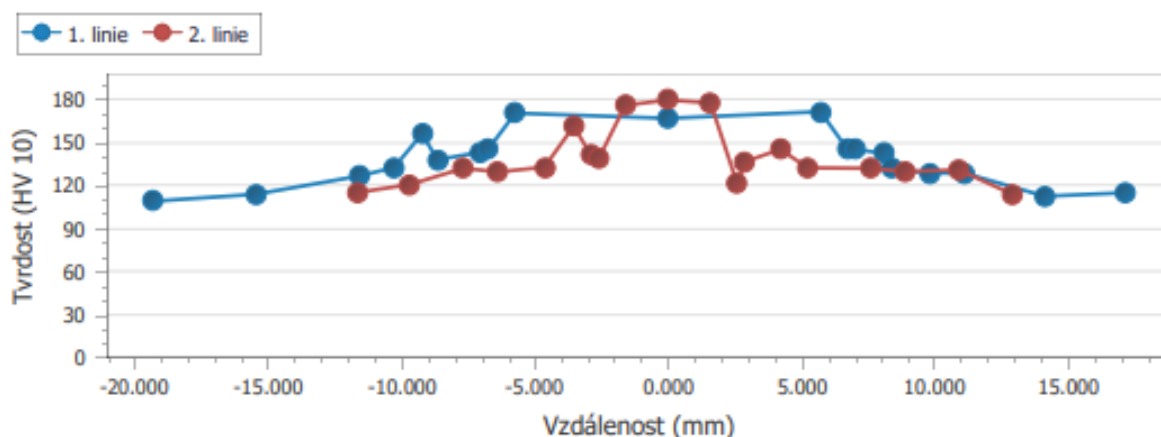
Treninkové a realizační centrum

JE Temelín

Prvotní záznam

Měření tvrdosti podle Vickerse

Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: svary_FW_HV10 - 19 vtisků_2 linie
 Protokol č.: ---
 Číslo vzorku: 1
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10
 Poznámka: ...



1. linie

	Levý základ Sřřední	Levé HAZ Sřřední	Svar Sřřední	Pravé HAZ Sřřední	Pravý základ Sřřední
	117	143	170	139	119
	Levý základ Maximum	Levé HAZ Maximum	Svar Maximum	Pravé HAZ Maximum	Pravý základ Maximum
	127	156	172	146	129
Bod	Vzdálenos t	Tvrdoet	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
1	-19.325 mm	109 HV 10	422.8 μm	402.2 μm	Levý ZM
2	-15.449 mm	114 HV 10	408.1 μm	398.7 μm	Levý ZM
3	-11.573 mm	127 HV 10	385.0 μm	380.2 μm	Levý ZM
4	-10.273 mm	133 HV 10	377.1 μm	370.8 μm	Levé TOO

ČEZ, a.s.
 Materiálová laboratoř
 Treninkové a realizační centrum
 JE Temelín

Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: svary_FW_HV10 - 19 vtisků_2 linie
 Protokl č.: ---
 Číslo vzorku: 1
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10
 Poznámka: ---

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoet	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
5	-8.648 mm	138 HV 10	370.2 μm	362.9 μm	Levé TOO
6	-7.023 mm	143 HV 10	362.6 μm	356.6 μm	Levé TOO
7	-9.216 mm	156 HV 10	350.1 μm	338.9 μm	Levé TOO
8	-6.723 mm	146 HV 10	360.0 μm	353.3 μm	Levé TOO
9	-5.723 mm	171 HV 10	331.1 μm	328.1 μm	Svar
10	0.000 mm	167 HV 10	340.0 μm	326.3 μm	Svar
11	5.723 mm	172 HV 10	332.3 μm	324.9 μm	Svar
12	7.023 mm	145 HV 10	365.2 μm	349.6 μm	Pravé TOO
13	8.415 mm	132 HV 10	376.8 μm	373.2 μm	Pravé TOO
14	9.806 mm	129 HV 10	383.6 μm	375.5 μm	Pravé TOO
15	8.137 mm	143 HV 10	365.0 μm	356.2 μm	Pravé TOO
16	6.723 mm	146 HV 10	359.7 μm	354.2 μm	Pravé TOO
17	11.106 mm	129 HV 10	381.8 μm	377.3 μm	Pravý ZM
18	14.132 mm	113 HV 10	411.2 μm	400.7 μm	Pravý ZM
19	17.157 mm	115 HV 10	407.2 μm	396.0 μm	Pravý ZM

2. linie

	Levý základ Sřední	Levé HAZ Sřední	Svar Sřední	Pravé HAZ Sřední	Pravý základ Sřední
	123	141	178	134	125
	Levý základ Maximum	Levé HAZ Maximum	Svar Maximum	Pravé HAZ Maximum	Pravý základ Maximum
	132	162	180	145	131
Bod	Vzdálenos t	Tvrdoet	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
1	-11.664 mm	115 HV 10	403.7 μm	399.2 μm	Levý základ
2	-9.664 mm	121 HV 10	397.6 μm	386.1 μm	Levý základ
3	-7.664 mm	132 HV 10	378.1 μm	371.2 μm	Levý základ
4	-6.364 mm	129 HV 10	383.4 μm	373.5 μm	Levé HAZ
5	-4.632 mm	133 HV 10	374.3 μm	372.7 μm	Levé HAZ

ČEZ, a.s.

Materiálová laboratoř

Treninkové a realizační centrum

JE Temelín

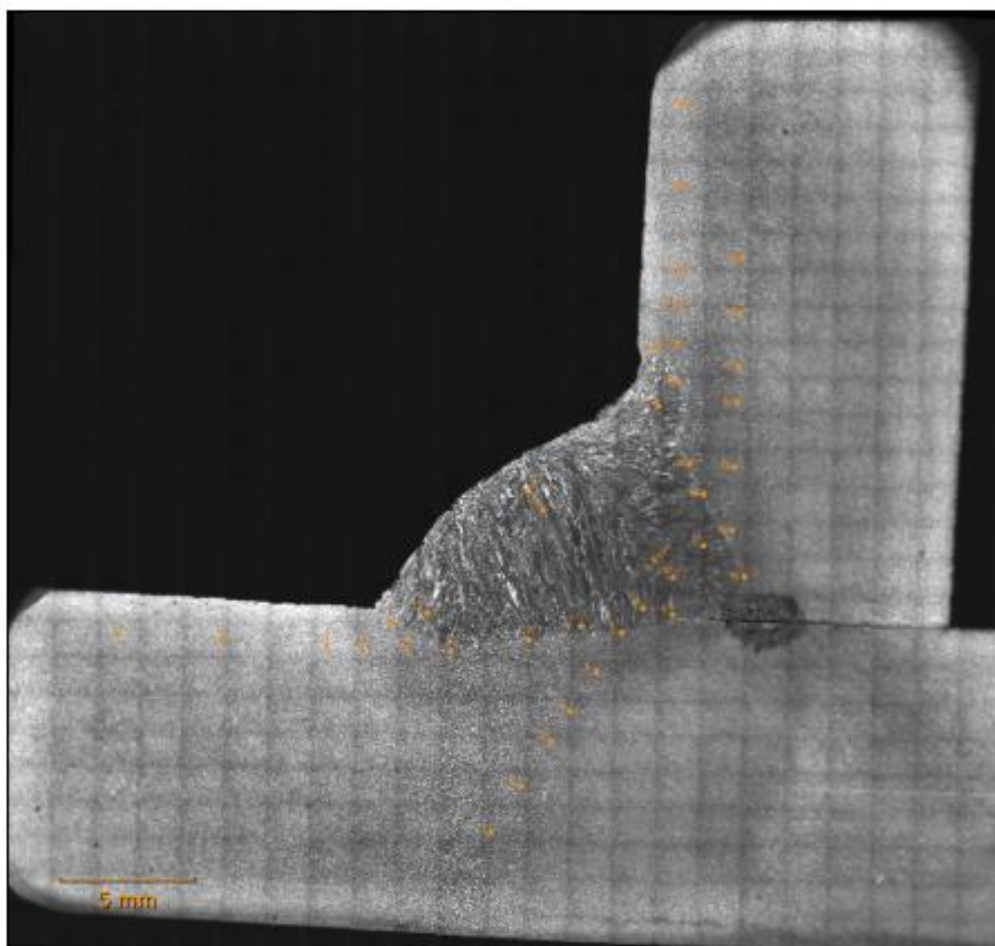
Datum: 17-07-2022
Tester: Tomáš Kramár
Program: svary_FW_HV10 - 19 vtisků_2 linie
Protokl č.: ---
Číslo vzorku: 1
Měřicí zařízení: Wilson VH3100
Použitá destička: 256 HV 10
Poznámka: ---

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoost	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
6	-2.900 mm	142 HV 10	363.2 μm	360.5 μm	Levé HAZ
7	-3.531 mm	162 HV 10	341.6 μm	336.1 μm	Levé HAZ
8	-2.600 mm	139 HV 10	368.4 μm	362.9 μm	Levé HAZ
9	-1.600 mm	176 HV 10	327.4 μm	321.5 μm	Svar
10	0.000 mm	180 HV 10	323.6 μm	318.6 μm	Svar
11	1.600 mm	178 HV 10	330.9 μm	315.0 μm	Svar
12	2.900 mm	137 HV 10	367.9 μm	368.5 μm	Pravé HAZ
13	5.255 mm	132 HV 10	378.8 μm	369.7 μm	Pravé HAZ
14	7.610 mm	132 HV 10	377.1 μm	372.3 μm	Pravé HAZ
15	4.209 mm	145 HV 10	357.8 μm	356.7 μm	Pravé HAZ
16	2.600 mm	121 HV 10	382.5 μm	400.0 μm	Pravé HAZ
17	8.910 mm	130 HV 10	386.5 μm	369.2 μm	Pravý základ
18	10.910 mm	131 HV 10	382.7 μm	369.8 μm	Pravý základ

ČEZ, a.s.
Materiálová laboratoř
Treninkové a realizační centrum
JE Temelín

Datum: 17-07-2022
Tester: Tomáš Kramár
Program: svary_FW_HV10 - 19 vtisků_2 linie
Protokl č.: ---
Číslo vzorku: 1
Měřicí zařízení: Wilson VH3100
Použitá destička: 256 HV 10
Poznámka: ---

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoost	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
19	12.910 mm	114 HV 10	405.5 μm	401.0 μm	Pravý základ



Podpis:



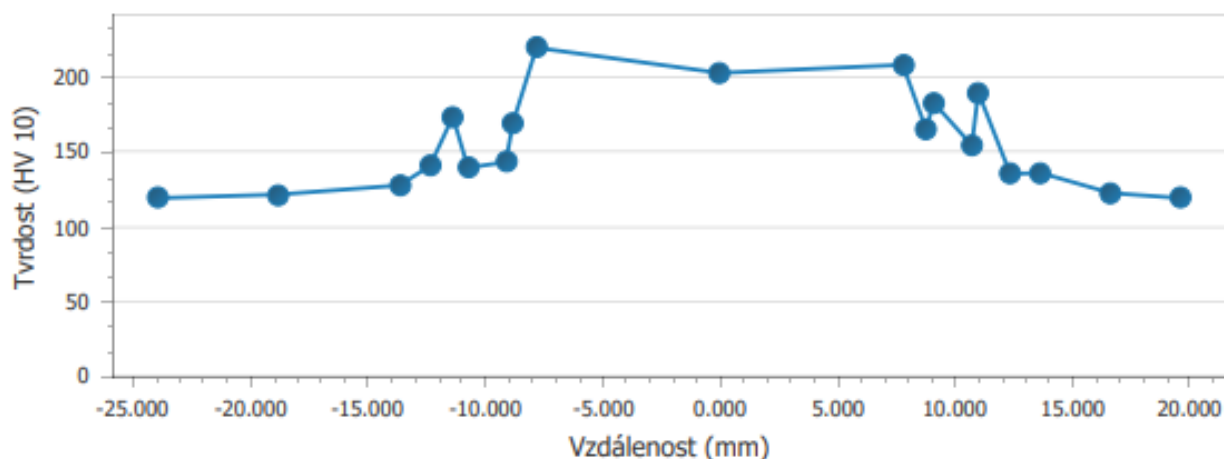
Prvotní záznam

Měření tvrdosti podle Vickerse

ČEZ, a. s.
Materiálová Laboratoř
Treninkové a realizační centrum
JE Temelín

Datum: 17-07-2022
Tester: Tomáš Kramár
Program: FW_1 linie HV 10
Protokol č.: 22039
Vzorek č.: 039-1_koren
Měřicí zařízení: Wilson VH3100
Použitá destička: 256 HV 10

1. linie



Levý základ Střední	Levé HAZ Střední	Svar Střední	Pravé HAZ Střední	Pravý základ Střední
123	153	211	166	126
Levý základ Maximum	Levé HAZ Maximum	Svar Maximum	Pravé HAZ Maximum	Pravý základ Maximum
128	174	220	190	136

Bod	Vzdálenosť	Tvrdość	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
1	-23.920 mm	119 HV 10	394.4 μm	394.4 μm	Levý ZM
2	-18.775 mm	122 HV 10	391.3 μm	389.7 μm	Levý ZM
3	-13.630 mm	128 HV 10	378.7 μm	383.4 μm	Levý ZM
4	-12.330 mm	141 HV 10	361.3 μm	364.5 μm	Levé TOO

ČEZ, a. s.
 Materiálová Laboratoř
 Treninkové a realizační centrum
 JE Temelín

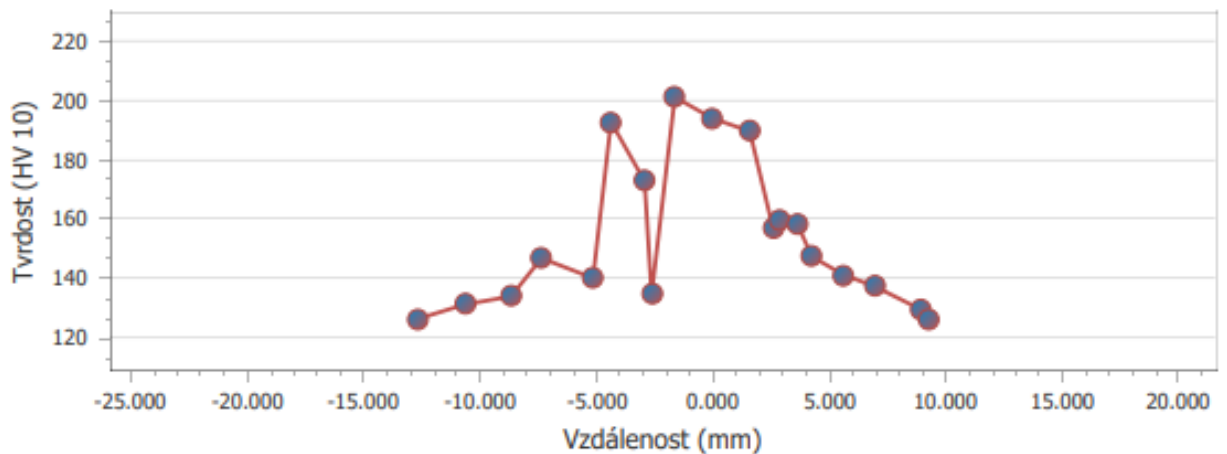
Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: FW_1 linie HV 10
 Protokl č.: 22039
 Vzorek č.: 039-1_koren
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoost	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
5	-10.715 mm	140 HV 10	366.0 μ m	362.9 μ m	Levé TOO
6	-9.101 mm	143 HV 10	362.9 μ m	356.6 μ m	Levé TOO
7	-11.356 mm	174 HV 10	329.7 μ m	323.4 μ m	Levé TOO
8	-8.801 mm	170 HV 10	334.9 μ m	326.6 μ m	Levé TOO
9	-7.801 mm	220 HV 10	295.0 μ m	285.6 μ m	Svar
10	0.000 mm	203 HV 10	304.5 μ m	299.8 μ m	Svar
11	7.801 mm	209 HV 10	302.9 μ m	293.5 μ m	Svar
12	9.101 mm	183 HV 10	315.5 μ m	320.3 μ m	Pravé TOO
13	10.738 mm	155 HV 10	348.7 μ m	343.9 μ m	Pravé TOO
14	12.375 mm	135 HV 10	372.3 μ m	367.6 μ m	Pravé TOO
15	8.801 mm	165 HV 10	336.1 μ m	334.5 μ m	Pravé TOO
16	11.016 mm	190 HV 10	317.1 μ m	307.7 μ m	Pravé TOO
17	13.675 mm	136 HV 10	370.8 μ m	367.6 μ m	Pravý ZM
18	16.650 mm	123 HV 10	392.9 μ m	385.0 μ m	Pravý ZM
19	19.624 mm	119 HV 10	397.6 μ m	391.3 μ m	Pravý ZM

ČEZ, a. s.
 Materiálová Laboratoř
 Treninkové a realizační centrum
 JE Temelín

Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: FW_1 linie HV 10
 Protokl č.: 22039
 Vzorek č.: 039-1_koren
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10

2. linie



Levý základ Střední	Levé HAZ Střední	Svar Střední	Pravé HAZ Střední	Pravý základ Střední
130	157	195	153	131
Levý základ Maximum	Levé HAZ Maximum	Svar Maximum	Pravé HAZ Maximum	Pravý základ Maximum
134	193	201	160	137

Bod	Vzdálenosť t	Tvrdość	Diagonální X	Diagonální Y	Komentář
1	-12.638 mm	126 HV 10	381.8 μm	385.0 μm	Levý základ
2	-10.638 mm	131 HV 10	378.7 μm	373.9 μm	Levý základ
3	-8.638 mm	134 HV 10	373.9 μm	370.8 μm	Levý základ
4	-7.338 mm	147 HV 10	347.5 μm	363.7 μm	Levé HAZ
5	-5.123 mm	140 HV 10	365.2 μm	362.9 μm	Levé HAZ
6	-2.909 mm	173 HV 10	327.4 μm	328.1 μm	Levé HAZ
7	-4.349 mm	193 HV 10	311.2 μm	309.2 μm	Levé HAZ
8	-2.609 mm	134 HV 10	372.3 μm	370.8 μm	Levé HAZ
9	-1.609 mm	201 HV 10	306.0 μm	301.3 μm	Svar

ČEZ, a. s.
Materiálová Laboratoř
Treninkové a realizační centrum
JE Temelín

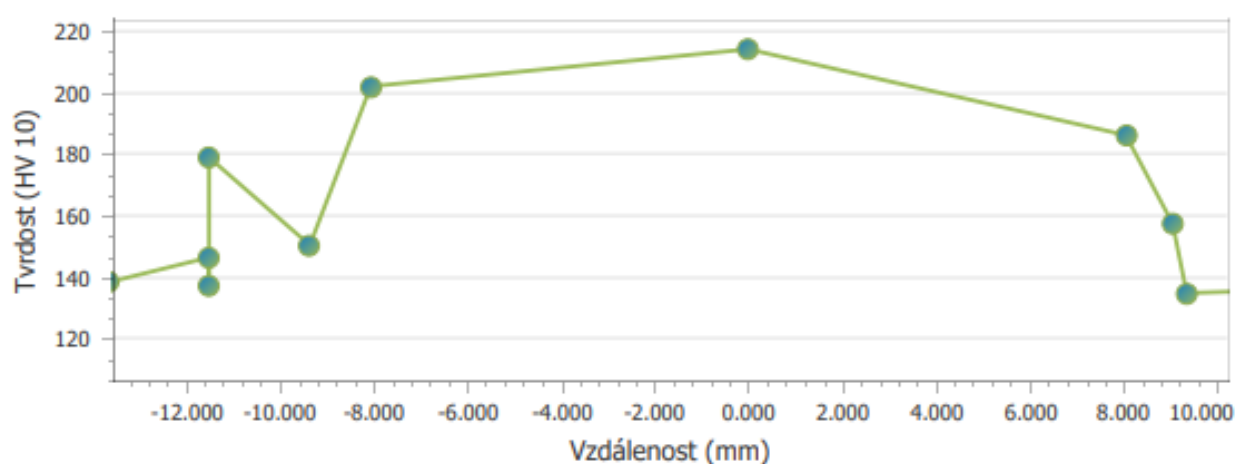
Datum: 17-07-2022
Tester: Tomáš Kramár
Program: FW_1 linie HV 10
Protokl č.: 22039
Vzorek č.: 039-1_koren
Měřicí zařízení: Wilson VH3100
Použitá destička: 256 HV 10

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoost	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
10	0.000 mm	194 HV 10	312.4 μ m	306.1 μ m	Svar
11	1.609 mm	190 HV 10	314.8 μ m	310.8 μ m	Svar
12	2.909 mm	160 HV 10	344.0 μ m	337.6 μ m	Pravé HAZ
13	4.277 mm	147 HV 10	357.4 μ m	352.6 μ m	Pravé HAZ
14	5.646 mm	141 HV 10	365.2 μ m	360.1 μ m	Pravé HAZ
15	3.648 mm	158 HV 10	342.4 μ m	342.2 μ m	Pravé HAZ
16	2.609 mm	157 HV 10	345.8 μ m	342.4 μ m	Pravé HAZ
17	6.946 mm	137 HV 10	372.3 μ m	362.9 μ m	Pravý základ
18	8.946 mm	129 HV 10	381.8 μ m	375.5 μ m	Pravý základ
19	9.284 mm	126 HV 10	389.5 μ m	378.7 μ m	Pravý základ

ČEZ, a. s.
 Materiálová Laboratoř
 Treninkové a realizační centrum
 JE Temelín

Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: FW_1 linie HV 10
 Protokl č.: 22039
 Vzorek č.: 039-1_koren
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10

1. linie



Levý základ Střední	Levé HAZ Střední	Svar Střední	Pravé HAZ Střední	Pravý základ Střední
124	150	201	143	125
Levý základ Maximum	Levé HAZ Maximum	Svar Maximum	Pravé HAZ Maximum	Pravý základ Maximum
130	179	214	157	130

Bod	Vzdálenosť t	Tvrdość	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
1	-20.620 mm	120 HV 10	400.7 μm	385.0 μm	Levý ZM
2	-17.788 mm	121 HV 10	394.2 μm	389.3 μm	Levý ZM
3	-14.956 mm	130 HV 10	378.7 μm	377.1 μm	Levý ZM
4	-13.656 mm	138 HV 10	370.8 μm	361.3 μm	Levé TOO
5	-11.506 mm	146 HV 10	356.6 μm	355.0 μm	Levé TOO
6	-9.356 mm	150 HV 10	355.0 μm	347.1 μm	Levé TOO
7	-11.506 mm	179 HV 10	323.4 μm	320.3 μm	Levé TOO

ČEZ, a. s.
 Materiálová Laboratoř
 Treninkové a realizační centrum
 JE Temelín

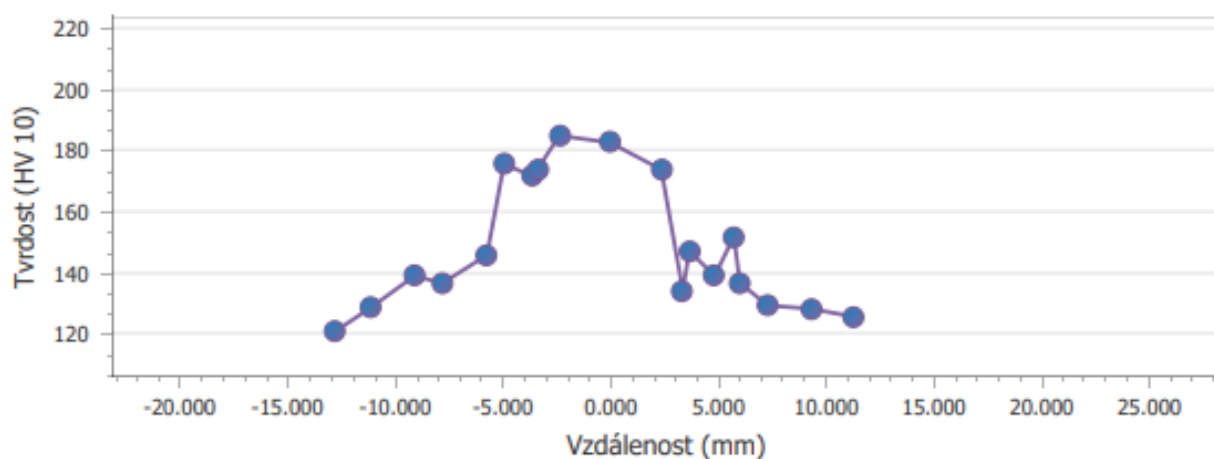
Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: FW_1 linie HV 10
 Protokl č.: 22039
 Vzorek č.: 039-1_koren
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoost	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
8	-11.506 mm	137 HV 10	367.6 μm	367.6 μm	Levé TOO
9	-8.056 mm	202 HV 10	301.3 μm	304.5 μm	Svar
10	0.000 mm	214 HV 10	296.6 μm	291.9 μm	Svar
11	8.056 mm	186 HV 10	323.4 μm	307.7 μm	Svar
12	9.356 mm	135 HV 10	373.9 μm	367.6 μm	Pravé TOO
13	11.717 mm	136 HV 10	370.8 μm	367.6 μm	Pravé TOO
14	14.079 mm	131 HV 10	375.5 μm	377.1 μm	Pravé TOO
15	12.947 mm	155 HV 10	353.4 μm	339.2 μm	Pravé TOO
16	9.056 mm	157 HV 10	350.3 μm	336.1 μm	Pravé TOO
17	15.379 mm	130 HV 10	378.7 μm	377.1 μm	Pravý ZM
18	20.582 mm	128 HV 10	380.2 μm	380.2 μm	Pravý ZM
19	25.786 mm	116 HV 10	397.6 μm	400.7 μm	Pravý ZM

ČEZ, a. s.
 Materiálová Laboratoř
 Treninkové a realizační centrum
 JE Temelín

Datum: 17-07-2022
 Tester: Tomáš Kramár
 Program: FW_1 linie HV 10
 Protokl č.: 22039
 Vzorek č.: 039-1_koren
 Měřicí zařízení: Wilson VH3100
 Použitá destička: 256 HV 10

2. linie 2



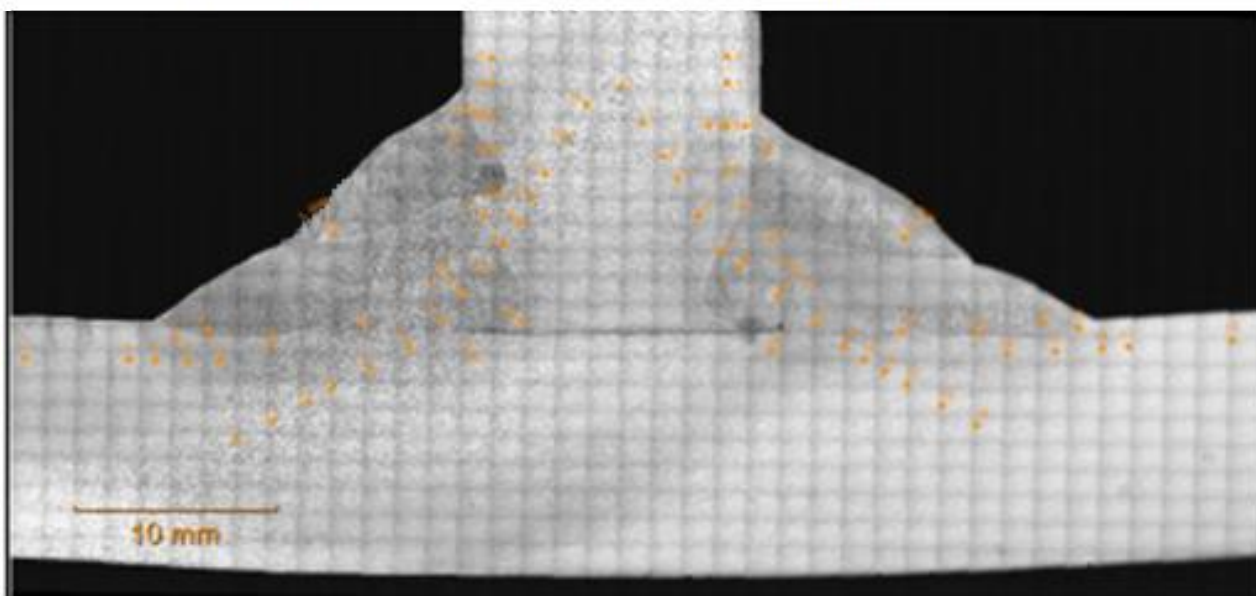
Levý základ Sřední	Levé HAZ Sřední	Svar Sřední	Pravé HAZ Sřední	Pravý základ Sřední
130	161	180	142	128
Levý základ Maximum	Levé HAZ Maximum	Svar Maximum	Pravé HAZ Maximum	Pravý základ Maximum
139	176	185	152	129

Bod	Vzdálenosť	Tvrdość	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
1	-12.799 mm	121 HV 10	393.9 μm	389.7 μm	Levý základ
2	-11.103 mm	129 HV 10	380.2 μm	378.7 μm	Levý základ
3	-9.103 mm	139 HV 10	367.6 μm	362.9 μm	Levý základ
4	-7.803 mm	137 HV 10	370.8 μm	366.0 μm	Levé HAZ
5	-5.737 mm	146 HV 10	355.1 μm	358.1 μm	Levé HAZ
6	-3.671 mm	172 HV 10	331.3 μm	325.8 μm	Levé HAZ
7	-4.940 mm	176 HV 10	325.0 μm	325.0 μm	Levé HAZ
8	-3.371 mm	174 HV 10	328.2 μm	324.7 μm	Levé HAZ
9	-2.371 mm	185 HV 10	317.9 μm	315.5 μm	Svar

ČEZ, a. s.
Materiálová Laboratoř
Treninkové a realizační centrum
JE Temelín

Datum: 17-07-2022
Tester: Tomáš Kramár
Program: FW_1 linie HV 10
Protokl č.: 22039
Vzorek č.: 039-1_koren
Měřicí zařízení: Wilson VH3100
Použitá destička: 256 HV 10

Bod	Vzdálenos t	Tvrdoet	Diagonálně X	Diagonálně Y	Komentář
10	0.000 mm	183 HV 10	320.3 μ m	317.1 μ m	Svar
11	2.371 mm	174 HV 10	325.5 μ m	327.9 μ m	Svar
12	3.671 mm	147 HV 10	355.0 μ m	355.0 μ m	Pravé HAZ
13	4.850 mm	139 HV 10	367.6 μ m	362.9 μ m	Pravé HAZ
14	6.029 mm	137 HV 10	367.6 μ m	369.2 μ m	Pravé HAZ
15	5.745 mm	152 HV 10	350.2 μ m	348.7 μ m	Pravé HAZ
16	3.371 mm	134 HV 10	369.2 μ m	374.1 μ m	Pravé HAZ
17	7.329 mm	129 HV 10	380.2 μ m	377.1 μ m	Pravý základ
18	9.329 mm	128 HV 10	383.4 μ m	377.1 μ m	Pravý základ
19	11.329 mm	126 HV 10	388.1 μ m	380.2 μ m	Pravý základ



Podpis:

LAB_PZ_ 01r02

strana 8 z 8