



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# ORBITÁLNÍ SVAŘOVÁNÍ V PODMÍNKÁCH JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN

ORBITAL WELDING IN TERMS OF NUCLEAR POWER PLANT TEMELIN

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Toman

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

BRNO 2017



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: Petr Toman  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.  
Akademický rok: 2016/17

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

### Orbitální svařování v podmínkách jaderné elektrárny Temelín

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Komplexní posouzení problematiky orbitálního svařování v podmínkách Jaderné elektrárny Temelín.

Charakteristika problému:

Svařování na JE je proces, který podléhá specifickým požadavkům a podmínkám. Svary jsou realizovány v podmínkách složité technologie JE, musí splňovat náročná kritéria předepsaných NDT kontrol a odolat působení provozního zatížení (teplota, tlak, chemický režim, provozní médium) a ionizujícího záření.

#### Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnocení stávajícího stavu.
2. Provedení rešerše na téma orbitálního svařování - nabídka na trhu, včetně speciálních pomůcek pro svařování, např. přípravků pro obrábění svarových ploch apod.
3. Vyhodnotit s ohledem na specifika JE Temelín – omezené prostorové podmínky v technologii, se zaměřením na svařování malých průměrů (impulsní potrubí) a použité materiály.
4. Návrh a příprava experimentu.

#### Seznam literatury:

KRBEK, J., B. POLESNÝ a J. FIEDLER. Strojní zařízení tepelných centrál: návrh a výpočet. Brno: PC-DIR, 1999, 217 s. ISBN 80-214-1334-4.

KADRNOŽKA, J. Tepelné turbíny a turbokompresory: základy teorie a výpočtů. Brno: CERM, 2004, 308 s. ISBN 80-720-4346-3.

Firemní literatura ČEZ ETE a normy.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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



## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodného systému pro Orbitální svařování impulsního potrubí v Jaderné elektrárně Temelín. Cílem práce je popis současné metody ručního svařování metodou TIG, popis dostupné technologie Orbitálního svařování, výběr vhodného typu soupravy a návrh experimentu pro porovnání produktů jednotlivých výrobců.

## **Klíčová slova**

Impulsní potrubí, orbitální svařování, Jaderná elektrárna, TIG,

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the selection of a suitable system for Orbital welding of impulse pipe at the Temelín Nuclear Power Plant. The aim of this work is to describe the current TIG method of manual welding, to describe the available Orbital welding technology, to select a suitable type of kit and to design an experiment to compare the products of individual manufacturers.

## **Key words**

Impulse pipe, orbital welding, Nuclear power plant, TIG



### **Bibliografická citace**

TOMAN, P. *Orbitální svařování v podmínkách jaderné elektrárny Temelín*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 33 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr..



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 25. května 2017

.....  
Petr Toman



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval p. doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. za odborné vedení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval p. Ing. Miroslavě Břízové a p. Oldřichu Vlkovi ze společnosti ČEZ a.s. za odborné rady a poskytnutí materiálů pro zpracování této práce. V neposlední řadě patří též poděkování p. Ing. Lehečkovi ze společnosti ARCH-H a.s. a p. Volencovi ze společnosti Fronius spol. s r.o. za poskytnutí katalogů a odborné rady ohledně Orbitálního svařování.





# Obsah

Úvod .....	15
1 Zhodnocení stávajícího stavu .....	17
a. Používaná metoda svařování .....	17
b. Svařovaný materiál .....	18
c. Trubkové spoje .....	18
c1. Spoj s využitím převlečné trubky .....	18
c2. Trubkové spojky .....	18
c3. Tupý svar .....	18
d. Ochrana kořene svaru .....	20
e. Systém kontroly svarových spojů .....	20
e1. NDT kontroly před provedením svaru .....	20
e2. NDT kontroly hotového svaru .....	20
f. Požadavky na kvalitu svaru .....	20
g. Požadavky na svářeče .....	21
g1. požadavky vzhledem k fyzické ochraně JE .....	21
g2. požadavky vzhledem k odborné způsobilosti pracovníka .....	21
h. Podmínky pro svařování .....	21
2 Orbitální svařování .....	22
a. Historie metody .....	22
b. Současnost .....	22
b1. Zdroje proudu pro orbitální svařování .....	22
b2. Svařovací hlavy .....	23
b3. Potřebné příslušenství .....	25
3 Výběr vhodného systému pro svařování v ETE .....	27
4 Návrh experimentu .....	28
Závěr .....	31
Seznam použité literatury .....	32
Seznam použitých zkratk .....	33
Seznam použitých obrázků a tabulek .....	33



## Úvod

Svarové spoje jsou nedílnou součástí technologie každé elektrárny.

Zejména v Jaderných elektrárnách je nastaven přísný systém pravidelné kontroly celistvosti těchto spojů. Během kontrol svarů, zpravidla v období odstávek zařízení spojených s výměnou jaderného paliva v reaktoru, se zároveň provádí řada oprav nevyhovujících svarů. S tím je zároveň spojena potřeba zkušených a kvalifikovaných svářečů.

V současné době se svařování provádí metodou TIG, která je málo produktivní.

Z důvodu špatné přístupnosti potrubí v některých částech technologie JE dochází častěji ke vzniku chybných svarů. Tyto svary se po kontrole musí vybrousit a znovu svařit.

Tím dochází k časové prodlevě a vzhledem k časovému plánu prací se posunují další navazující činnosti.

Z hlediska dodržování délky odstávek Výrobních bloků JE je důležité snížit množství chybně provedených svarů, zvýšení produktivity technologie svařování a zlepšení pracovních podmínek odborné obsluhy.

Vhodným řešením této problematiky je aplikace Orbitálního svařování metodou TIG.

Ucelený systém svařovacích automatů a příslušenství umožňuje provádění kvalitních spojů na impulsním potrubí. Jeho využití je výhodné zejména díky vyšší přesnosti svarů a možnosti využít tuto technologii i v hůře přístupných místech technologie ETE.



# 1 Zhodnocení stávajícího stavu

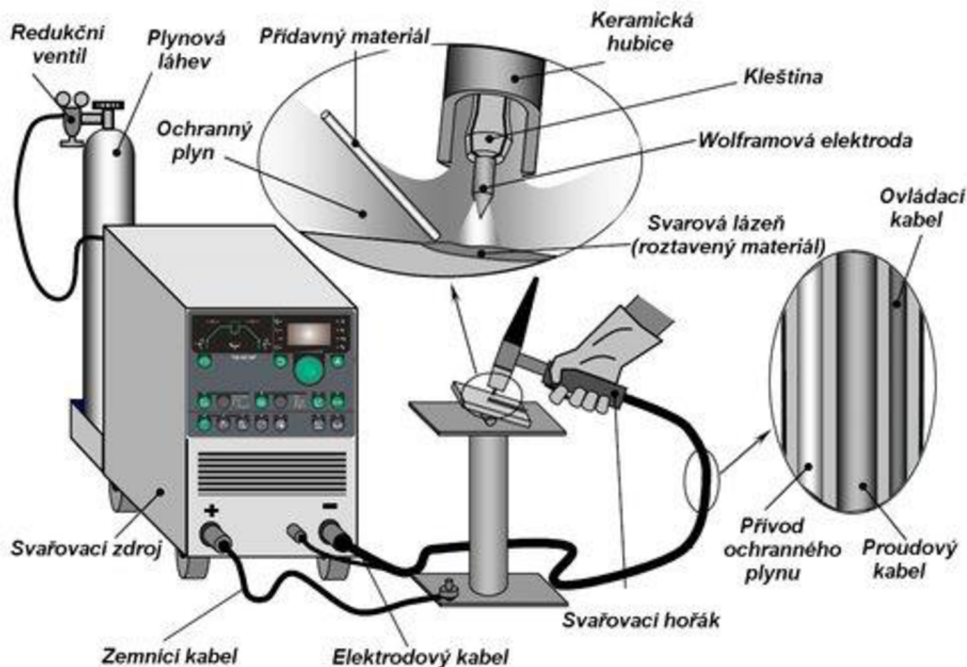
## a. Používaná metoda svařování [1]

V současné době se využívá tavného svařování metodou TIG, popř. WIG (z anglického Tungsten Inert Gas Welding, popř. z německého Wolfram inert gas), tj. svařování netavící se wolframovou elektrodou.

Svařování netavící se wolframovou elektrodou využívá elektrického oblouku, který hoří mezi wolframovou elektrodou a svařencem. Vlivem zkratového přenosu elektrické energie dochází k natavení základního materiálu - svařence. Hořící oblouk je chráněn ochranným inertním plynem, zpravidla argonem o vysoké čistotě (min. 99,995%), který zabraňuje znehodnocení svarové lázně atmosférickými nečistotami. Tento proces svařování se liší od ostatních metod obloukového svařování tím, že se zde nepoužívá přídavného materiálu ve formě elektrod. Pokud je požadavek na přidávání materiálu, používá se tzv. „studený drát“, který se přivádí buďto ručně, anebo pomocí strojního podavače.

Výhody metody TIG: - poskytuje koncentrovaný elektrický oblouk  
- velmi dobrá ovladatelnost svarového lázně  
- po provedení svaru není potřeba odstraňovat strusku, či okuje  
- je možné svařovat s přídavným materiálem i bez něj (dle situace)

Nevýhody metody: - nízká produktivita sváření  
- vysoké požadavky na zručnost svářeče  
- výsledná cena svaru



obr.1 Popis metody TIG [1]

## b. Svařovaný materiál [2]

Trasy impulsního potrubí jsou provedeny z nerezové oceli EN ISO X8CrNiTi18-10 (ČSN 17248, dle původní dokumentace GOST 08CH18N10T – Ruská norma).

**Impulsní trubky** jsou vnějšího průměru 18 mm, se silou stěny 2,5 mm.

Využívají se k následujícím účelům:

- technologické svody po měření tlaků a tlakových diferencí
- technologické svody pro kontinuální měření chemického složení
- technologické svody pro odběr vzorků (k laboratorní analýze)
- techn. svody pro odvod odluhů z technologie sekundárního okruhu JE

## c. Trubkové spoje [2]

V dnešní době se v JE Temelín vyskytují následující typy potrubních spojení:

### c1. Spoj s využitím převlečné trubky

Jedná se o typ spoje, který je dnes z důvodu bezpečnosti od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost zakázán. Docházelo zde z důvodu nedodržení technologického postupu a vlivem tepelné roztažnosti oceli k destrukci svaru (vznik mikrotrhlin, posléze až utržení svaru). Toto spojení je provedeno s pomocí trubky, která má stejný vnitřní průměr, jako spojované potrubí. Tato převlečná trubka je navlečena na spojované potrubí.

Na obou koncích větší trubky jsou provedeny koutové svary.

Při svařování bylo nutné dodržet vnitřní vůli u spojovaného potrubí.

### c2. Trubkové spojky

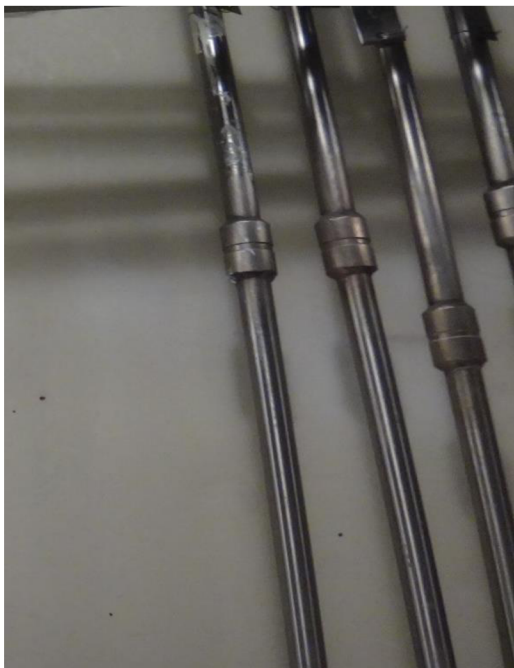
Hlavní výhodou tohoto šroubového spoje je absence svaru, a tedy k jeho provedení není potřeba vysoce kvalifikované osoby. Vytvoření spoje je poměrně rychlé, přesné a nevyžaduje následný kontrolní požární dohled. Menší nevýhodou ovšem je nutnost přesně obrobenejších hran potrubí (kolmost), další nevýhodou je v dlouhodobém měřítku možný průsak kapaliny -

- jedná se o mechanické spojení.

### c3. Tupý svar

Tento typ spoje vyžaduje kvalifikovaného a zkušeného svářeče.

I přes vysoké požadavky na technického pracovníka část hotových svarů neprojde nedestruktivní kontrolou. Provedení tohoto spoje je též poměrně časově a fyzicky náročné, zejména vzhledem k umístění potrubí v technologii JE. V případě neúspěšné NDT kontroly se musí daný svar vyříznout a provést opakované svaření. Zde ovšem vzniká riziko, a to vnesení dalšího svaru do technologie. Jedná se o nejrozšířenější způsob spojování potrubí v JE, u veškerých průměrů potrubí.



*obr.2 Spoj s využitím převlečné trubky [2]*



*obr.3 Trubkové spojky [2]*



*obr.4 Tupý svar [2]*

#### **d. Ochrana kořene svaru [2]**

Charakter provozu JE je poměrně specifický, zejména co se týče neustálého provozu části technologie z důvodu zajištění jaderné bezpečnosti. Z tohoto důvodu může u částí vedení, které nelze oboustranně uzavřít, docházet ke strhávání ochranné atmosféry inertního plynu proudícím vzduchem.

U oboustranně uzavřeného systému se v praxi využívá zavedení přívodní hadičky s formovacím plynem do blízkosti svaru a tzv. výplachu části potrubí inertní atmosférou. Pokud nelze daná část systému uzavřít, může se použít nafukovacích ucpávek (pouze v případě, kdy lze ucpávky bezpečně odstranit z potrubí- tj. jsou v blízkosti šroubení). V tomto případě se inertní plyn přivádí pouze do prostoru mezi ucpávkami, což přináší poměrně značnou úsporu ochranné atmosféry.

Pokud se neohroží chemický režim daného media, lze využít vodorozpustný papír DISSOLVO, který se po provedení svaru ponechá v potrubí. Pokud se nemůže použít předešlých způsobů, musí se využít postup podobný, jako u uzavřeného systému, avšak se zvýší průtok plynu.

#### **e. Systém kontroly svarových spojů [2]**

Vzhledem k bezpečnosti a spolehlivosti provozu technologie Jaderné elektrárny je nutné provádět nedestruktivní kontroly svarových spojů po jejich dokončení, a poté i v pravidelných intervalech během celé životnosti daného zařízení.

##### **e1. NDT kontroly před provedením svaru**

Před provedením svaru se provádí kontrola kruhovitosti potrubí. Zde je vhodné použití přesných kalibrů - trnů a kroužků z důvodu dostatečné přesnosti a rychlosti provedení úkonu. Následně se provede Kapilární zkouška, díky které se mohou zjistit trhliny na svarové ploše. V případě, že obě kontroly jsou v pořádku, může se provést svarový spoj.

##### **e2. NDT kontroly hotového svaru**

Tyto kontroly jsou prováděny systémově, dle předem určeného harmonogramu, a též dle přesně stanoveného pracovního postupu.

Kontrolní činnost je rozdělena do několika kategorií, podle typu technologie a provozních parametrů.

Mezi tento typ kontrol se řadí: kapilární zkoušky, rentgenové kontroly, kontrola za pomoci ultrazvuku (vhodné především pro zjišťování tloušťky stěny), magnetické zkoušení, kontrola za pomoci vířivých proudů.

#### **f. Požadavky na kvalitu svaru [2]**

Veškeré svary na impulsním potrubí musí splňovat mnoho parametrů.

Mezi základní parametry můžeme zařadit:

- rovnoměrné převýšení svarové housenky po celém obvodu potrubí
- přiměřeně velká tepelně ovlivněná oblast svaru
- absence pórů, mikrotrhlin a vměstků ve svaru
- kvalitně provedená kořenová vrstva, která přichází do kontaktu s proudícím mediem
- těsnost svaru



## g. Požadavky na svářeče [2]

Vzhledem ke specifičnosti provozu jaderné elektrárny se tyto požadavky mohou rozdělit do dvou základních skupin.

### g1. požadavky vzhledem k fyzické ochraně JE

Do této skupiny můžeme zařadit:

- psychickou způsobilost
- bezúhonnost (tj. čistý Rejstřík trestů)
- úspěšné absolvování vstupního školení, včetně splnění testu.
- udělenou bezpečnostní prověrku od Národního bezpečnostního úřadu (jen při vstupu do Kontrolovaného pásna, dle Atomového zákona 263/2016 Sb.)
- zdravotní způsobilost

### g2. požadavky vzhledem k odborné způsobilosti pracovníka

Do této skupiny řadíme:

- platný svářečský průkaz pro metodu TIG (141), pro dané polohy svařování dle ČSN EN ISO 9606
- zručnost a zkušenost svářeče, která přispívá k menšímu počtu nevyhovujících svarů
- certifikát svářeče, který opravňuje vykonávat činnost na Jaderné elektrárně (vydává jej Státní úřad pro jadernou bezpečnost)

## h. Podmínky pro svařování [2]

Prostorové podmínky kudy jsou vedeny trasy impulsního potrubí jsou velmi rozdílné. Pro svařování vzniká největší problém v místech s malým okolním prostorem, popř. v místech, kudy je vedeno více vedení. Tento prostorový problém je zejména v kontejneru a obestavbě reaktoru primárního okruhu ETE.

Vedle náročných prostorových podmínek se v kontrolovaném pásmu (KP) vyskytuje ionizující záření. Z tohoto důvodu byl stanoven maximální roční příjem ozáření pro zaměstnance pracující v KP. Po vyčerpání této max. dávky má daný zaměstnanec zákaz vstupu do daného pásma.



Obr. 4 Prostorové podmínky [2]

## 2 Orbitální svařování

Ruční svařování metodou TIG (WIG) je poměrně málo efektivní, navíc je náročné na zručnost svářeče. Dalším aspektem je potřeba snížení počtu nevyhovujících svarů vlivem lidské chyby. Z těchto důvodů je úsilí o automatizaci celého procesu svařování potrubí pomocí orbitálního svařování.

### a. Historie metody [4,5]

Systém orbitálního svařování byl vyvinut v USA společností Northrop Aircraft v sedmdesátých letech minulého století. Vývoj nového systému vedl vedoucí výzkumu p. Vladimír H. Pavlečka (rodák z Roudnice nad Labem), jeho spolupracovníkem byl Ing. Russ Meredith.

Tento systém byl z počátku používán v letecké výrobě, posléze i ve výrobě pro kosmický výzkum. Byla zde též snaha využít této metody při výrobě vzducholodí, což se bohužel z ekonomických důvodů nepodařilo.

Z počátku se využívalo upraveného Tig hořáku umístěného na orbitálním nosiči, který se pohyboval po ozubeném hřebeni. Tento způsob se u otevřených svařovacích hlav využívá dodnes.

Poté následoval poměrně rychlý vývoj celé této technologie. Okolo roku 1980 se již tento typ svařování rozšiřuje a začíná se hromadně využívat v chemickém, zejména ropném, a následně i v potravinářském průmyslu.

### b. Současnost [6,7,8,9]

V současné době se používá sestavení soupravy dle průměru potrubí, tloušťky stěny, přístupu ke svaru, typu svaru, požadavkům na kvalitu svaru a požadavkům na ochranu okolní technologie. Dalším faktorem výběru je robustnost provedení, zejména z důvodu přepravy přístroje pomocí jeřábů.

#### b1. Zdroje proudu pro orbitální svařování

Dnešní svařovací agregáty jsou tvořeny invertorovým zdrojem svařovacího proudu a zásobníkem s podavačem přídavného materiálu (drátu). Součástí přístroje je též i elektromagnetický redukční ventil inertního plynu, včetně digitálního průtokoměru. Celý proces svařování je řízen digitálně pomocí interního počítače, odladěné parametry pro svařování různých průměrů potrubí je možné uložit do paměti, popř. přenést z jednoho svařovacího agregátu na druhý (pomocí usb portu).

Během celého svařovacího cyklu jsou zaznamenávány důležité hodnoty, které mohou ovlivnit kvalitu výsledného svaru. Na závěr lze veškeré údaje vytisknout pomocí termotiskárny, která je též součástí. Toto je vhodné zejména z důvodu archivace.

Základní nastavení přístroje lze též provést pomocí přiloženého softwaru - zde předpokládám využití zejména v sériové výrobě, kdy se pomocí simulace mohou připravit vhodné parametry a následně během přípravy výroby v provozu se ušetří čas s ručním laděním.

Většina výrobců má ve své nabídce i ochranné obaly pro průmyslové použití (převozní boxy jsou vybaveny oky pro zavěšení, či pro přenos obsluhou).

Univerzálnost zdrojů je výhodná zejména v průmyslových technologiích, kde se vyskytuje větší množství rozdílných průměrů potrubí, popř. pokud se zároveň vyskytují i spoje trubka - trubkownice, průchody ocelovou stěnou, apod.

Pokud se svařuje v hůře přístupných místech lze použít též i přídavné dálkové ovládání.



Obr. 5 Řídicí jednotka  
Fronius FPA 30/20 [6]



Obr. 6 Řídicí jednotka Orbimat 165 C [7]

## b2. Svařovací hlavy

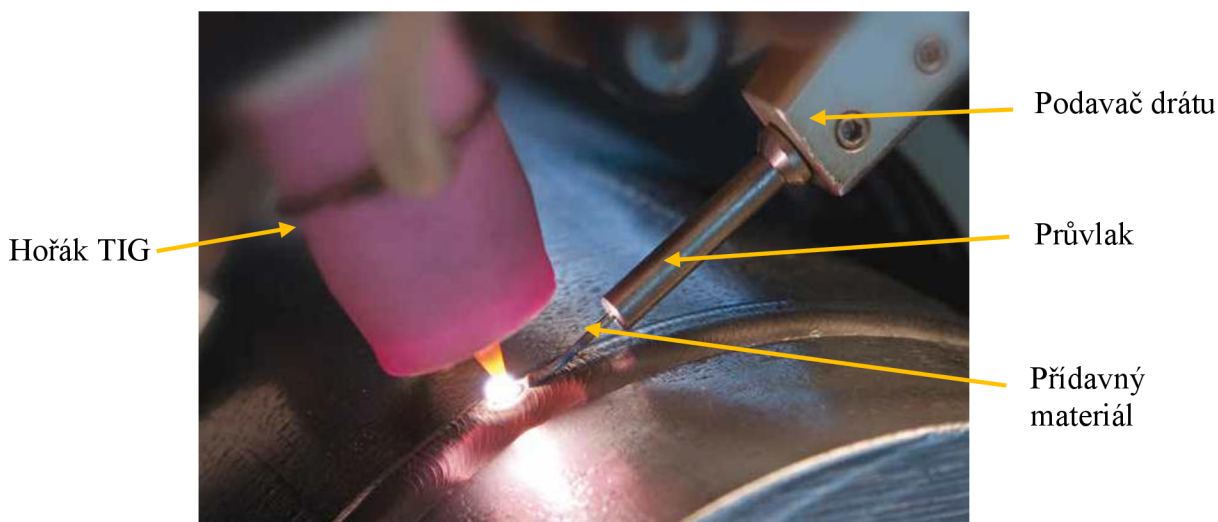
Samotné svařování se provádí pomocí svařovacích hlav. Dnešní trh nabízí dva způsoby orbitálního svařování. Jedná se o způsob s využitím **uzavřené svařovací hlavy**, nebo s **otevřenou svařovací hlavou**. Existují zde i speciální hlavy pro svařování spojů typu trubka – trubkavnice.

**Uzavřené svařovací hlavy** jsou konstruovány s uzavřenou svařovací komorou, která je zaplněna inertní atmosférou. Po upnutí hlavy se pohybuje pouze hořák s podavačem drátu. Využití tohoto typu hlavy je výhodné zejména pro prostory, ve kterých se vyskytuje proudění okolního vzduchu (průvan), a též v místech, kde není možný rozstřík taveniny (opravy svarů ve stávající technologii, vestavba nové technologie do stávajících prostor). Výhodná je též možnost využití jedné ovládací rukojeti pro určitý rozsah průměrů potrubí s více upínacími čelistmi. Přínosem je kompaktní velikost hlav. Nevýhodu spatřuji zejména v nemožnosti kontrol, během svařovacího cyklu, pohledem obsluhy.



Obr. 7 Uzavřené svařovací hlavy Orbiweld [7]

**Otevřené svařovací hlavy** mají jednodušší konstrukci - využívají zmenšeného klasického TIG hořáku a podavače drátu. Celý systém se skládá z upínacích kleští, vedení hořáku a pohonné části (zde se pohybuje okolo svařence celá hlava). Použití je vhodné zejména pro svařování větších průměrů potrubí (masivnější upínací mechanismus, možnost kontroly svarové lázně pohledem obsluhy, menší množství použitého ochranného plynu). Nevýhodou jsou vyšší prostorové nároky v okolí svařence, popř. horší ochrana svarové lázně (plyn proudí pouze lokálně).



*Obr. 8 Průběh svařování [8]*



*Obr. 9 Otevřená svařovací hlava Orbiweld TP 250 [7]*

**Hlavy pro svařování spojů trubka - trubkavnice** jsou zvláštním případem otevřené svařovací hlavy. Své uplatnění naleznou zejména při výrobě tepelných výměníků. Dalším zajímavým type hlav jsou přípravky pro svařování malých výměníků, zejména klimatizačních, popř. pro automobilový průmysl. Jelikož se v ETE u parogenerátorů a u kondenzátorů využívá rozválcování čel potrubí na trubkavnici, nebudu se těmito typy hlav dále zabývat.



### b3. Potřebné příslušenství

Aby bylo možné vytvořit kvalitní svarový spoj, je zapotřebí mít přesně obrobeny stykové plochy svařovaného potrubí. Jedná se zejména o kolmost řezu a přesně definovaný úkos vnějších hran. Tyto parametry nelze dodržet při přípravě potrubí pomocí ručního nářadí - zejména úhlové brusky. Z tohoto důvodu se používá řada přípravků a specifického elektrického nářadí.

Pro malé průměry potrubí s tenkou stěnou lze použít **ruční ráčnové řezáky**, společně s **ruční úkosovačkou**.

Alternativou pro střední a velké průměry potrubí (od průměru 15 mm) jsou elektrické **Orbitální pily**, které využívají principu oběžného řezání. Po upnutí přístroje na potrubí se díky speciální kotoučové fréze provádí řez a zároveň se vytváří úkos. Nevýhodou tohoto zařízení je potřebný prostor v okolí potrubí - pila se během cyklu otočí okolo trubky.



Obr. 10 Orbitální pila Orbitalum GFX [8]

V případech, kdy nelze použít Orbitální pilu, využije se běžné ruční úhlové brusky, následně se styčné plochy svaru obrobí pomocí **elektrické úkosovačky**. Tento proces je časově náročnější. Není zde potřeba tolik místa v okolí potrubí, jako v předešlém případě.



Obr. 11 Elektrická úkosovačka Fronius [9]

Pro stabilitu elektrického oblouku je důležitá precizně nabroušená wolframová elektroda. Kvůli přesnosti a vyšší rychlosti broušení se běžně používají **jednoučelové brusky** s pevně nastaveným úhlem broušení pro dané průměry elektrod.



Obr. 11 Bruska na elektrody [8]

Při svařování v hůře přístupných místech je výhodné použití **dálkového ovládání** svařovacího zdroje. Zde se na trhu vyskytuje několik možných řešení, v závislosti na celkovém řešení sestavy výrobcem a též i místem použití. Běžně lze k soupravě dokoupit ovládací panel s kabelovým připojením, popř. je stále častější možnost bezdrátového připojení pomocí např. chytrého mobilního telefonu, či tabletu.

V případě svařování silnostěnného potrubí je zapotřebí **vodní chlazení** svařovací hlavy, posléze i chlazení invertorového zdroje svařovacího proudu. Uzavřené svařovací hlavy se doporučuje chladit od tloušťky stěny potrubí 4 mm, pro chlazení při svařování menších tloušťek potrubí stačí přirozené ochlazování od proudícího inertního plynu.

Pokud je větší odběr argonu z tlakové láhve ( $\geq 15\text{l/min}$ ), či z velkokapacitního zásobníku ( $\geq 100\text{l/min}$ ) je nutné zakomponovat do sestavy před svařovací agregát **elektrické přehřívání** inertního plynu.

Přehřívání chladného plynu na teplotu přibližně  $15\text{-}20\text{ }^\circ\text{C}$  je důležité k zachování stálé teploty svarové lázně, a též pro udržení stabilního průtoku ochranné atmosféry.

V případě svařování bez předehřevu plynu je zde riziko vzniku tzv. studených spojů a mikrotrhlin.

V sériové výrobě, či ve špatně přístupných místech (zejména ve výškách) je vhodné využití balancérů, zejména z důvodu vyšší bezpečnosti a ochrany vybavení před pádem.

### 3 Výběr vhodného systému pro svařování v ETE

S ohledem na vedení impulsního potrubí v technologii JE je vhodné využít systému uzavřených orbitálních hlav, zejména díky jejich kompaktnosti a možnosti využití jedné rukojeti v kombinaci s několika čelistmi pro různé průměry svařovaného potrubí. Pro svařování potrubí o průměru 18 mm, se silou stěny 2,5 mm bude možné využití menších svařovacích agregátů (např. Orbimat 165 C) v kombinaci se svařovací hlavou s vyměnitelnými čelistmi (např. Orbiweld 76 S, popř. Orbiweld 38 S).

Předností těchto hlav jsou kompaktní rozměry, hmotnost hlavy (cca 9-9,5 kg v závislosti na použitých čelistech), dálkové ovládání je integrované v rukojeti. V základním vybavení je též i poměrně dlouhý přívodní kabel (7,5 m). Jelikož je tloušťka svařované stěny vyšší, nežli je běžné u malých průměrů potrubí, bude vhodné zvolit hlavy s vyšším naddimenzováním (tj. hlavy, u nichž je průměr potrubí 18 mm v dolní hranici intervalu možného svařovaného průměru). Součástí příslušenství těchto hlav je i řada upínacích prvků, kdy lze během přípravy menších celků v dílenském prostředí tuto hlavu upnout k pracovnímu stolu.

Použití otevřených svařovacích hlav je nevhodné, zejména z důvodu velikosti přístroje. Tento typ hlav by bylo možné použít v případě svařování větších průměrů potrubí, jako jsou např. přívody chladící vody důležité, hlavní cirkulační potrubí, či potrubí v terciálním okruhu JE.

Jako zdroj ochranné atmosféry v závislosti na místě svařování bude sloužit běžně dostupná tlaková láhev. Nejvýhodnější je využití tlakových láhví o hmotnosti 50 kg, jelikož malé odebírané množství plynu nebude způsobovat velké výkyvy teploty láhve a neohrozí tím stabilitu průtoku plynu. V případě použití menší tlakové láhve je vhodné použití redukčního ventilu s předehevem.

Pro přepravování svařovací soupravy bude výhodné využití transportních boxů tzv. paletového typu s přepravními oky, kdy můžeme celou soupravu přepracovat jak paletovým vozíkem, tak za pomoci jeřábů.

K dělení potrubí v místech se špatným přístupem navrhuji využít běžné úhlové brusky s řezným kotoučem pro nerezovou ocel, pokud je zde nebezpečí požáru, lze využít elektrické šavlové pilky. Pro vytvoření úkosu se použije elektrická úkosovačka (např. Fronius BRB4) Těž lze využít ruční ráčnové úkosovačky. K vytvoření svarových ploch při výrobě nových potrubních celků se může využít orbitální pily (zde je ovšem potřeba počítat s vyšší pořizovací cenou, avšak řez i obrobení úkosu se provede v jednom cyklu).

Orbitální pily se ale spíše používají pro přípravu svarových ploch u větších dimenzí potrubí (v praxi nejčastěji od 100 mm, výjimečně i menší průměry).

Pro řezání nového potrubí v nejčastější délce 6 m je výhodné použít běžně dostupné pásové poloautomatické pily (vyšší přesnost řezu, zejména kolmost).

K ochraně kořene svaru bude využito metod standardně používaných během ručního svařování metodou TIG (popsáno v kapitole 1,d).

Vzhledem k potřebě pevného uchycení potrubí do čelistí hlavy je vhodné k výrobě ohybů (kolen) použít hydraulické ohýbačky, popř. lze použít sériově vyráběné fitinky pro orbitální svařování (kolínka, T- kusy, apod.).

Pro napojení ventilů navrhuji využití ventilů v provedení s trubkovou spojkou (zejména z důvodu snazší výměny vadného, či opotřebovaného kusu).

I přes snahu o maximální automatizaci svařovacího procesu zůstane ruční svařování metodou TIG nezastupitelné, zejména při svařování držáků potrubí, revizních průtočných nádržek, či u přechodů jednotlivých průměrů potrubí.



Omezením pro Orbitální svařování i nadále zůstávají velmi špatně přístupná místa, kde není možné umístění svařovací hlavy. V tomto případě bude nutné vytvoření úseků potrubí, které bude možno vyjmout a dané svary provést např. v dílenském provozu.



*Obr. 12 Revizní průtočná nádržka [2]*



*Obr. 13 T-kus pro Orbitální svařování [10]*

## 4 Návrh experimentu

Aplikace Orbitálního svařování a možnost odzkoušení celé technologie přímo v provozu Jaderné elektrárny je z administrativního a legislativního hlediska velmi náročné. Jedná se zejména o proces vyřízení povolení od SÚJB ke svařování touto technologií na jaderném zařízení. Další administrativa je spojena s tvorbou interních předpisů (tzv. Sdílená dokumentace, tj. norma mezi dodavatelem a společností ČEZ a.s.).

Z tohoto důvodu navrhuji provést výběr vhodného systému Orbitálního svařování, včetně příslušenství, ve dvou kolech.

V rámci **prvního kola** by bylo vhodné oslovit veškeré výrobce svařovací techniky, kteří mají ve svém portfoliu výrobků ucelenou řadu systému Orbitálního svařování pro průměr potrubí 18 mm. Součástí tohoto kola by byla prezentace výrobků, včetně ukázky použití proškolenou osobou výrobce. Zde je důležité se zaměřit zejména na potřebný prostor v okolí místa svaru, ucelenost výrobní řady výrobce (tj. přístrojové vybavení od přípravy svařové plochy, až po výrobu hotového svaru), obchodní a servisní zastoupení v České republice (důležité zejména v případě potřeby rychlého servisního úkonu). Nesmíme zde opomenout posouzení složitosti nástroje, respektive náročnost výměny spotřebních dílů svařovací hlavy (výměna a seřízení wolframové elektrody, výměna průvlaku přídatného drátu), též i výměna řezných částí u příslušenství. Dalším, velmi důležitým aspektem je možnost proškolení pracovníka výrobcem zařízení.



V neposlední řadě je zde potřeba zhodnotit možnosti odladění svařovací soupravy pro určité typy svarů, včetně možnosti přípravy svařovacího programu pomocí softwaru dodávaného výrobcem. Zde se jedná o tupé svary na horizontálně, i vertikálně vedeném potrubí. Pro oba typy svarů je potřeba vytvořit zvlášť nastavení svařovacích parametrů (zejména svařovací proud, rychlost posuvu přídatného drátu, rychlost pojezdu svařovací elektrody s podavačem drátu). Zvláště u svařování horizontálně vedeného potrubí se tyto parametry mění v závislosti na poloze elektrody vůči potrubí.

V rámci prvního kola výběru vhodného dodavatele bude též i provedení svaru na zkušebním materiálu impulsního potrubí Ø18x2.5 dodaného objednavatelem. Navrhuji svaření zkušebních vzorků jak u vertikálně, tak horizontálně vedeného potrubí. Dále navrhuji odzkoušení metody jak na novém potrubí, tak na potrubí znečištěném v provozu JE. Jednalo by se o potrubí, které bylo ve styku s běžnou koncentrací kyseliny borité, která se používá v primárním okruhu JE, a dále o potrubí, které přišlo do styku s odluhy ze sekundárního okruhu JE.

Pro přípravu a odladění přístrojů by byly použity vzorky nového potrubí, dle potřeb jednotlivých výrobců. Doba přípravy svářecích programů by byla zaznamenána. Následně by se jednalo o přípravu svarových ploch pomocí předváděného příslušenství, poté by byla provedena NDT kontrola pro zamezení trhlin a deformací svařovaných vzorků. Po kontrole s negativním výsledkem by byly provedeny zkušební svary, které by byly poté vyhodnoceny Svářečským inženýrem objednavatele. Pro objektivní posouzení kvality svaru bude vhodné provést 10 svarů od každého ze třech dodaných potrubí.

Během provádění svarků bude vhodné zdokumentovat pro následný výběr dodavatele následující parametry:

- kvalita a doba obrábění svarových ploch
- složitost upínání a sestavená Orbitální hlavy
- doba samotného sváření

Po provedení svarků budou veškeré svary vyhodnoceny pomocí NDT kontroly, s následným vyhodnocením makrostruktury svaru s výbrusem, včetně posouzení tepelně ovlivněné oblasti.

Následně, po vyhodnocení kontrol, budou vybrány vhodné soupravy výrobců pro dotestování. Hlavními parametry výběru budou:

- kvalita provedení svaru
- minimální potřebný prostor v okolí svaru
- celková přepravní hmotnost soupravy
- složitost nastavení svařovacího režimu
- ucelenost soupravy pro dané svařování
- možnost archivace parametrů u jednotlivých svarů

Výběr sestavy pro orbitální svařování by bylo vhodné omezit maximální investicí do vybavení. Je zde však potřeba brát v úvahu složitost dané technologie a zejména provozní náklady. Nižší cena je velmi často doprovázena horším technickým zpracováním, menší robustností a zejména menším základním vybavením, kdy je potřeba následně dokupovat další příslušenství. V této části je vhodné se též zmínit i o uživatelské přívětivosti strojního vybavení, zejména co se týče možnosti nastavení a uložení více programů do paměti svařovacího agregátu, či možnost ovládání programů pomocí dálkového ovládání přímo ze svařovací hlavy.

Na základě zjištěných parametrů v prvním výběrovém kole by byly vybrány vhodné sestavy pro odzkoušení v provozu Jaderné elektrárny.

Před **druhým výběrovým kolem** bude nutno požádat SÚJB o schvalovací řízení k použití nové technologie Orbitálního svařování na jaderném zařízení, včetně certifikace svářečského personálu. Další potřebným úkonem je vytvoření nových pracovních postupů, sdílené dokumentace a interních předpisů společnosti ČEZ a.s.

Poté bude potřeba splnit podmínky pro vstup proškolených osob do střeženého prostoru JE - jedná se o prověření psychické způsobilosti a splnění školení ke vstupu.

V rámci druhého kola bude prováděno svařování impulsního potrubí v technologii JE. Toto odzkoušení je výhodné zejména z důvodu odhalení slabin jednotlivých výrobců, vyzkoušení manipulace v technologii JE. Dalším důležitým parametrem je i zjištění funkčnosti ochrany kořenové vrstvy při stejném provádění jako u ručního svařování metodou TIG. V reálném prostředí se též lépe zjistí celková časová náročnost prací během přípravy svaru a samotného provedení svaru. V neposlední řadě se zde mohou dobře projevit chyby svarů zapříčiněné nečistotami v provozovaném potrubí (soli kyseliny borité, odluky z parního potrubí, usazeniny, koroze). Dále je zde reálnější možnost zjistit časovou úsporu z důvodu menšího množství oprav nově provedených svarů které neprošly NDT kontrolou.

Po provedení obou výběrových kol bude vybrána vhodná souprava pro Orbitální svařování, která bude zakoupena pro využití na JE. Poté bude potřeba provést proškolení vybraného svářečského personálu u výrobce a provedení certifikace svářečů od SÚJB.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vybrat vhodnou soupravu pro Orbitální svařování metodou TIG pro svařování Impulsního potrubí v Jaderné elektrárně Temelín.

Účelem bylo zvýšení efektivity svařování, snížení počtu chybně provedených svarů a zlepšení pracovních podmínek svářečského personálu.

V první části se práce zabývá popisem současného ručního svařování metodou TIG, popisem této metody, popisem využívaných typů trubkových spojů, systému ochrany kořenové vrstvy a popisem prostorových podmínek v technologii JE.

Ve druhé je popsán systém Orbitálního svařování, včetně rešeršního popisu nabídky na trhu (svařovací agregáty, Orbitální hlavy, pily, úkosovačky).

V následné části práce je popsán výběr vhodné soupravy Orbitální svařování, včetně příslušenství. Zde je potřeba brát zřetel na neustálý vývoj technologie, kdy jsou poměrně často představovány novinky na trhu.

V závěrečné části je popsán návrh experimentu pro výběr nejvhodnější soupravy pro svařování. V rámci experimentů bude zaznamenána řada charakteristických vlastností, budou vyhodnoceny provedené svary pomocí nedestruktivních kontrol, též bude proveden výbrus svarů pro kontrolu vnitřních vad, včetně posouzení tepelně ovlivněné oblasti. Dle výsledků experimentu bude vybrána nejvhodnější souprava, nejlépe od jednoho výrobce.

Pro maximální využití technologie Orbitálního svařování je potřeba s touto technologií počítat již při projektování nových tras potrubí. Pro velmi špatně přístupná místa je vhodné upravit svařované části tak, aby je bylo možné připravit mimo umístění a následně je na dané místo bezpečně dopravit.

Orbitální svařování má však i svá omezení, kdy je ruční svařování metodou TIG nenahraditelné. Jedná se zejména o svary koutové a přechodové, popř. svary, u kterých nelze obě svařované části bezpečně upnout do čelistí svařovací orbitální hlavy.

## Seznam použité literatury

- [1] TIG (Tungsten Inert Gas Welding). *Automig internetový magazín* [online]. [cit. 2017-04-09].  
Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/tig-wig-plasmatig/>
- [2] Interní archiv společnosti ČEZ a.s. divize výroba- Jaderná elektrárna Temelín  
Zejména: fotografie (autor: Oldřich Vlček)  
Sdílená dokumentace: ČEZ\_ME\_0079r13  
ČEZ\_ME\_0352r04  
ČEZ\_ME\_0378r03z2  
ČEZ\_ME\_0960r01  
ČEZ\_SD\_0020r05z08  
ČEZ\_SD\_0043r05
- [3] Korozivzdorná ocel - nerez [online]. [cit. 2017-04-09].  
Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/nerez/korozivzdorna-ocel-nerez>
- [4] The History of Orbital Welding. *Orbitalfabrications* [online]. [cit. 2017-04-22].  
Dostupné z: <http://www.orbitalfabrications.co.uk/history-orbital-welding/>
- [5] Orbital welding. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA):  
Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-22].  
Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Orbital\\_welding](https://en.wikipedia.org/wiki/Orbital_welding)
- [6] Orbital system controller FPA30-20. *Fronius* [online]. 2015 [cit. 2017-04-23].  
Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-0D8EEFE4-8FD59E6C/fronius\\_international/FPA\\_3020\\_EN\\_flyer.pdf](http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-0D8EEFE4-8FD59E6C/fronius_international/FPA_3020_EN_flyer.pdf)
- [7] KALLA: Orbital welding. *KALLA* [online]. [cit. 2017-04-23].  
Dostupné z: <http://www.kalla.pl/en/sales-offer/orbital-welding>
- [8] Katalogy společnosti ARCH-H a.s. -Orbitalum tools GMBH, rok vydání: 2016  
Označení katalogů: OC\_Kat\_CZ\_790.700.00x  
OW\_Kat\_CZ\_890.700.00x  
OW\_Kat\_DE\_890.700.011  
OW\_Kat\_DE\_890.700.012
- [9] katalogy společnosti Fronius Česká republika spol. s r.o., rok vydání: 2016  
Označení katalogů: BRB4\_Leaflet  
fpa\_3020\_en\_flyer  
GF4\_Leaflet  
MW40-170\_Leaflet  
RA\_RAH\_Leaflet  
REB4-14\_Leaflet  
SC-Profi\_Leaflet
- [10] Fitinky pro Orbitální svařování [online]. [cit. 2017-05-12].  
Dostupné z: [http://www.schwer.com/cs\\_CZ/fitinky-pro-orbit%C3%A1ln%C3%AD-sva-ov%C3%A1n%C3%AD/c/191182](http://www.schwer.com/cs_CZ/fitinky-pro-orbit%C3%A1ln%C3%AD-sva-ov%C3%A1n%C3%AD/c/191182)

## Seznam použitých zkratk

NDT	Nedestruktivní
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
JE	Jaderná elektrárna
KP	Kontrolované pásmo
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
a.s.	akciová společnost
spol. s r.o.	společnost s ručením omezeným

## Seznam použitých obrázků a tabulek

### Obrázky

- Obr. 1 Popis metody TIG [1]
- Obr. 2 Spoj s využitím převlečné trubky [2]
- Obr. 3 Trubkové spojky [2]
- Obr. 4 Prostorové podmínky [2]
- Obr. 5 Řídící jednotka Fronius FPA 30/20 [6]
- Obr. 6 Řídící jednotka Orbimat 165 C [7]
- Obr. 8 Průběh svařování [8]
- Obr. 9 Otevřená svařovací hlava Orbiweld TP 250 [7]
- Obr. 10 Orbitální pila Orbitalum GFX [8]
- Obr. 11 Bruska na elektrody [8]
- Obr. 12 Revizní průtočné nádržky [2]
- Obr. 13 T-kus pro Orbitální svařování [10]