

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Drda** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **301151**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Ověření velikosti deformace při svařování ocelových nosníků**

Název bakalářské práce anglicky:

**Verification of the deformation dimension during welding of steel beams**

Pokyny pro vypracování:

- Popsat problematiku vzniku pnutí a deformací ve svarových spojkách – faktory ovlivňující velikost pnutí a deformací, popsat způsoby používané ke zmenšení pnutí a deformací
- Provést rešerši možných způsobů výpočtů jednotlivých typů deformací
- Navrhnout experiment pro ověření výpočtových vztahů pro predikci deformací
- Vyhodnocení výsledků a závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pilous, V.: Konstrukce a tavné svařování ocelí, SNTL, Praha, 1964
- [2] Hudec, Z. Deformace a napětí při svařování. Technická univerzita v Liberci. Listopad 1998
- [3] Okerblom, N. O. Konstrukčně-technologické projektování svařovaných konstrukcí. SNTL, Praha, 1971
- [4] Hänsch, H., Krebs, J.: Deformace a pnutí ve svařovaných konstrukcích, SNTL, Praha, 1964
- [5] Kuncipál, J. a kolektiv: Svařování pro konstruktéry a technology, SNTL, Praha, 1980
- [6] Kuncipál, J. a kolektiv. Teorie svařování. SNTL, Praha, 1986
- [7] Musil, M. a kolektiv. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, DOM ZO 13 s.r.o., 2017

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

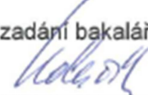
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


**Ing. Richard Derka, OK Třebestovice, a.s.**

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2019**

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

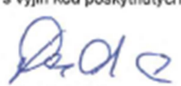
  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2019  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „**Ověření deformace při svařování ocelových nosníků**“ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Dále prohlašuji, že 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 4.8.2019 .....



Pavel Drda

### **Poděkování**

Děkuji panu doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce.

Dále děkuji společnosti "OK Třebestovice a.s." za možnost a panu Ing. Richardu Derkovi za poskytnuté materiály.

**OVĚŘENÍ DEFORMACE PŘI SVAŘOVÁNÍ OCELOVÝCH  
NOSNÍKŮ**

VERIFICATION OF DEFORMATION IN WELDING OF  
STEEL BEAMS



## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá problematikou vzniku pnutí a deformací ve svarových spojích, zmiňuje faktory ovlivňující jejich velikost a popisuje možnosti používané k jejich zmenšení.

Náplní teoretické části je posouzení této problematiky a rozboru příčin, dále je zde uveden výpočtový aparát ke kvantifikaci deformací a návrhy opatření ke zmírnění jejich dopadu na výsledný produkt.

V praktické části se jedná o reálné zjištění deformací na vzorovém svařence, seznámení s průběhem zhotovení a stručně jsou zmíněny metody užití při výrobě.

Závěr je věnován zhodnocení úspěšnosti predikce deformace teoretickým výpočtem a následným ověřením při praktické zkoušce.

**Klíčová slova** : svařování, napětí a deformace při svařování (úhlová deformace), minimalizování napětí a deformací

## **Summary**

The bachelor thesis deals with the problems of stress and strain formation in welded joints, mentions factors affecting their size and describes the possibilities used for their reduction. The content of the theoretical part is the assessment of this issue and analysis of the causes, then there is a calculation apparatus for the quantification of deformations and proposal for measures to mitigate their impact on the final product.

In the practical part it is a real determination of deformations of the sample weld, introduction to the construction process and briefly mention the methods used in the production. The conclusion is devoted to the evaluation of the success of the deformation prediction by theoretical calculation and subsequent verification in the practical test.

**Keywords** : welding, stress and deformations during welding (angular deformation), minimizing stress and deformation

## Obsah

Zadání .....	1
Čestné prohlášení .....	2
Poděkování .....	3
Název .....	4
Anotace .....	5
Obsah .....	6
1. Úvod .....	8
1.1 Cíl práce .....	8
2. Historie svařování .....	9
3. Princip svařování .....	11
3.1 Druhy svařování .....	11
3.2 Výhody svařování .....	12
3.3 Nevýhody svařování .....	12
3.4 Použité metody svařování .....	12
4. Pnutí ve svarových spojích .....	16
4.1 Vznik pnutí .....	16
4.2 Rozdělení pnutí .....	18
4.3 Faktory ovlivňující velikost pnutí .....	19
4.4 Možnosti snížení deformací .....	20
5. Deformace ve svarových spojích .....	21
5.1 Vznik deformací .....	21
5.2 Rozdělení deformací .....	22
5.3 Faktory ovlivňující velikost deformací .....	22
5.4 Možnosti snížení deformací .....	23
6. Výroba I profilu mostní konstrukce .....	24
6.1 Příprava materiálu .....	24
6.2 Výroba I profilu .....	24
7. Matematický aparát pro výpočty .....	38
8. Výpočty .....	42
9. Měření .....	44
9.1 Měření délek nosníků .....	44
9.2 Měření rozměrů krajních profilů nosníků .....	46
9.3 Měření odchylek krajních profilů nosníků I .....	47
9.4 Měření odchylek krajních profilů nosníků II .....	48
9.5 Měření deformací dílců před konečným svařením .....	49
Diskuze k vypočteným a naměřeným hodnotám .....	53
Závěr .....	53
Použitá literatura .....	54
Seznam tabulek .....	56

Seznam obrázků .....	57
Seznam příloh .....	60
Přílohy .....	61

## **1. Úvod**

Zkoumání vlivu svařování na výsledný produkt z hlediska napětí a deformací jím vyvolaných je zásadní podmínkou pro využití svařenců a to ať během výroby tak i při následném použití či montáži.

Znalost průvodních jevů při svařování je zásadní jak pro technologa (volba metody, polotovar, průběhu a parametrů svařování aj.) tak i pro konstruktéra (požadovaný tvar a rozměry, namáhání – pevnost a stabilita aj.) a jejich součinnost je nezbytná pro navržení funkčního celku respektujícího všechny požadované parametry a bezpečnost konstrukce jako celku.

### **1.1 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je seznámit se problematikou vzniku pnutí a deformací, určit faktory ovlivňující jejich vznik a nastínit možnosti snížení velikosti a vlivu pnutí a deformací. Dále pak pomocí jednoduchých výpočtů určit s přibližnou přesností jejich velikost - dnes se tento výpočet zpravidla provádí metodou konečných prvků (MPK), ale mnohé firmy nemají přístup ani vyškolené pracovníky pro využití příslušného SW a proto využívají jednodušší metody výpočtu, které jsou předmětem řešení této BP.

V bakalářské práci bude stručně popsána výroba vybraného dílce ocelové konstrukce.

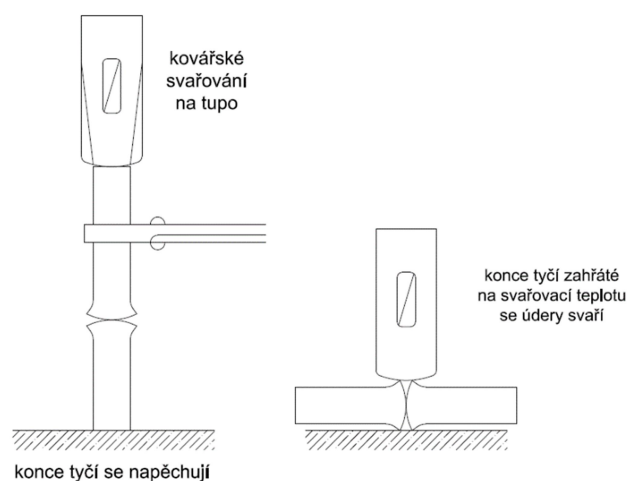
Teoretický přibližný výpočet deformace podélného nosníku mostní ocelové konstrukce bude prakticky ověřen ve spolupráci s výrobcem – firmou OK Třebestovice a.s.

## 2. Historie svařování

Historie spojování materiálu sahá až do starověku – první známé využití bylo již z doby bronzové (asi 4 000 př. n. l.), dále pak egyptské bronzové zbraně a zlaté ozdoby (asi 3 200 př. n. l.). V době železné se Egypťané a lidé z východního středomoří naučili zpracovávat železo – nalezení mnoha takto vyrobených železných nástrojů (asi 1000 př. n. l.).

Vynález svařování se často váže k Řeku Glaukovi (asi 688-600 př. n. l.).

Ve středověku, kdy se dále rozvinulo kovářství, bylo vyrobeno mnoho předmětů tzv. kovářským svařováním (viz. např. železný pilíř v Dillí vyrobený technikou kovářského svařování z bloků přibližně 33 kg), kdy se oba spojované předměty zahřejí a skovají dohromady. [7]



**Obrázek 1: Kovářské svařování [12]**

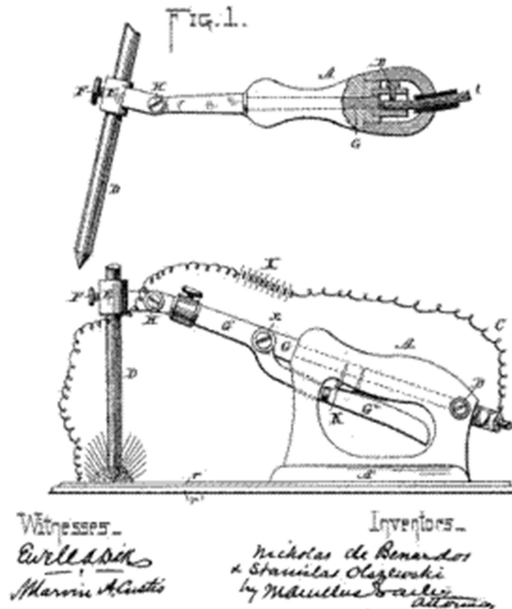
Zpracování oceli a odlitků se přes Čínu dostalo do Japonska (asi 400 n.l.).

Svařování v Evropě datujeme až s počátky vzniku hutí od 11.-13. století a tak jak je známe dnes, bylo objeveno až v 18. století – až do této doby se v podstatě vždy jednalo o kovářské svařování.

Dále bude uveden pouze stručný výčet nejdůležitějších historických dat:

- 1801 sir Humpree Davy – objev elektrického oblouku
- 1836 objev průmyslové výroby acetylénu – umožňoval svařování plamenem a řezání kyslíkem
- 1881 Auguste De Meritens – svařování elektrickým obloukem s uhlíkovou elektrodou (Pb desky akumulátorů)
- 1885 (GB) + 1887 (USA) - Nikolaj Nikolajevič Benardos a Stanislav Olszewský patent na svařování uhlíkovými elektrodami a základním kovem vč. možnosti svařovat pod vodou

N. DE BENARDOS & S. OLSZEWSKI.  
 PROCESS OF AND APPARATUS FOR WORKING METALS BY THE DIRECT  
 APPLICATION OF THE ELECTRIC CURRENT.  
 No. 363,320. Patented May 17, 1887.



**Obrázek 2: Benardosův a Olszewského patent [7]**

- 1888 A. G. Slavjanov - svařování holou kovovou elektrodou (el. oblouk)
- 1885-1890 Thompson - odporové svařování: bodové, švové, výstupkové a svařování na tupo
- 1900 Strohmenger – obalená elektroda – jíl nebo vápno
- 1903 Goldschmidt – svařování termitem
- 1907 O. Kjellberg - svařování obalenou elektrodou s křemičitany a oxidy
- 1920 P.O.Nobel – automatické svařování
- 1926 H. M. Hobard a P. K. Devers – patent na svařování v ochranné atmosféře (Ar + He)
- 1927 Ing. Dulčevskij - svařování pod tavidlem
- 1953 Ljubavskij a Novošilov - použití ocelových elektrod v atmosféře CO<sub>2</sub>
- 1957 Gage - plazmové svařování
- 1957 J. A. Stohr – svařování elektronovým paprskem ve vakuu
- v pozdějších letech přišly nejmodernější metody svařování – ultrazvukem a laserem [7], [26]

Z historie počátků svařování v českých zemích stojí za zmínku založení „Poradny svařovaných konstrukcí“ ve Škodových závodech během dvacátých let 20.století. Zde byla založena v roce 1930 svářečská škola (svařování plamenem, elektrickým obloukem a řezání kyslíkem) prof. Františka Faltuse, dále pak rok 1949, založení Výzkumného ústavu zvaračského (VÚZ) spojeného s osobou prof. Čabelky a rok 1950 a založení Vývojového pracoviště pro mechanizaci svařovací techniky pod vedením prof. Prudkého. [8]

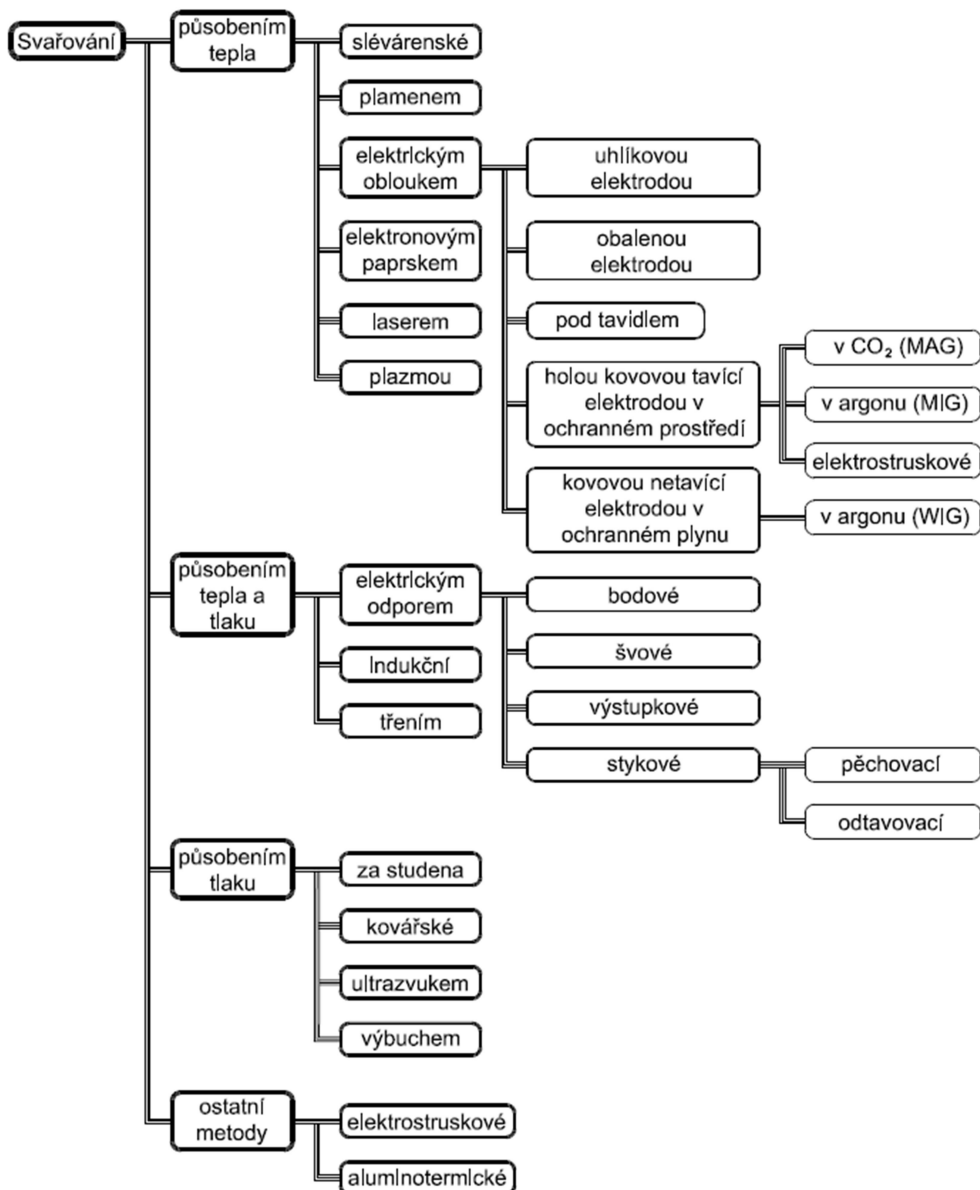
### 3. Princip svařování

Svařování nebo sváření je proces, který slouží k vytvoření trvalého a nerozebíratelného spoje dvou a více součástí i celých konstrukcí ze součástí jednoduchých tvarů, které jsou většinou z tvářených hutních polotovarů (tyče, pásy, plechy, trubky a jiné profily), někdy i z výkovků nebo z odlitků. [9]

Obecným požadavkem na proces svařování je vytvoření takových termodynamických podmínek, při kterých je umožněn vznik nových meziatomárních vazeb. [10]

Obecně platí závislost, čím vyšší působí tlak tím méně je potřeba vnést teplo a obráceně. Tlakové svařování je označením svařování za působení převážně tlaku a tavné při působení tepla.

#### 3.1 Druhy svařování – schéma



Obrázek 3: Druhy svařování [11]

## Druhy svařování

- působením tepla - slévárenské, plamenem, elektrickým obloukem, elektronovým paprskem, laserem
- působením tepla a tlaku - elektrickým odporem, indukční, třením
- působením tlaku - za studena, ultrazvukem
- podle materiálu – železné a neželezné kovy, plasty, kompozity aj.

### **3.2 Výhody svařování**

- mnohdy velká úspora hmotnosti (např. proti odlitkům)
- vysoká kvalita svarů
- úspora materiálu proti obrábění
- levnější výroba při malém počtu kusů proti odlitkům
- vysoká produktivita práce při použití automatů
- vysoká tuhost svařované konstrukce
- dosažitelnost technologie

### **3.3 Nevýhody svařování**

- pnutí a deformace - vzniká smršťováním svaru a okolního materiálu při chladnutí
- změna struktury materiálu – v některých případech nutné následné tepelné zpracování
- změna tvrdosti a pružnosti materiálu jsou způsobeny ovlivněním teplotního cyklu a obsahem příměsných prvků
- omezená svařitelnost materiálů – dáno zejména chemickým složením
- nutná úprava stykových ploch u některých typů svarů

### **3.4 Použité metody svařování**

Dále budou popsány metody běžně používané pro výrobu ocelových svařovaných konstrukcí - především těch použitých pro výrobu ocelových nosníků.

#### **Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu**

Označení: **MAG** ( **M**etal **A**ctive **G**as ), metoda **135** dle EN ISO 4063

Princip: Svařování elektrickým obloukem je tavné svařování, při kterém dochází k natavení stykových ploch základního materiálu a přídavného materiálu teplem od elektrického oblouku. Roztavený kov základního a přídavného materiálu se slije a po ztuhnutí vzniká svar. Elektrický oblouk hoří mezi kovovou elektrodou – holým drátem a svařovaným materiálem v aktivní atmosféře O<sub>2</sub> nebo CO<sub>2</sub>.



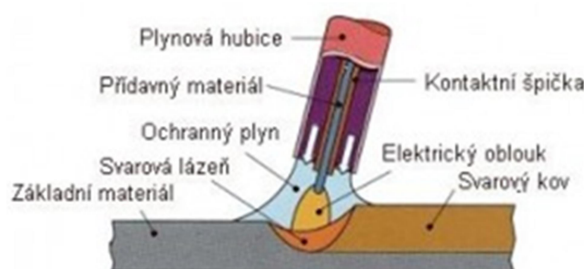
Tento způsob je v průmyslu používán nejčastěji - zejména v poloautomatickém nebo automatickém režimu. Svařuje se výhradně stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody. Metoda se používá ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných i vysokolegovaných ocelí a k navařování oceli. [10]

### **Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu**

Označení: **MIG** ( **M**etal **I**nerť **G**as ), metoda **131** dle EN ISO 4063

Princip: Pro tuto metodu platí v podstatě vše co pro metodu **MAG / 135** - zásadní rozdíl je ale v ochraně svarové lázně před oxidací, tedy před přístupem vzduchu. Elektrický oblouk hoří mezi kovovou elektrodou – holým drátem a svařovaným materiálem v inertní atmosféře Ar nebo He.

[10]



**Obrázek 4: Schéma svařování – MAG / 135 a MIG / 131 [13]**

### **Svařování pod tavidlem**

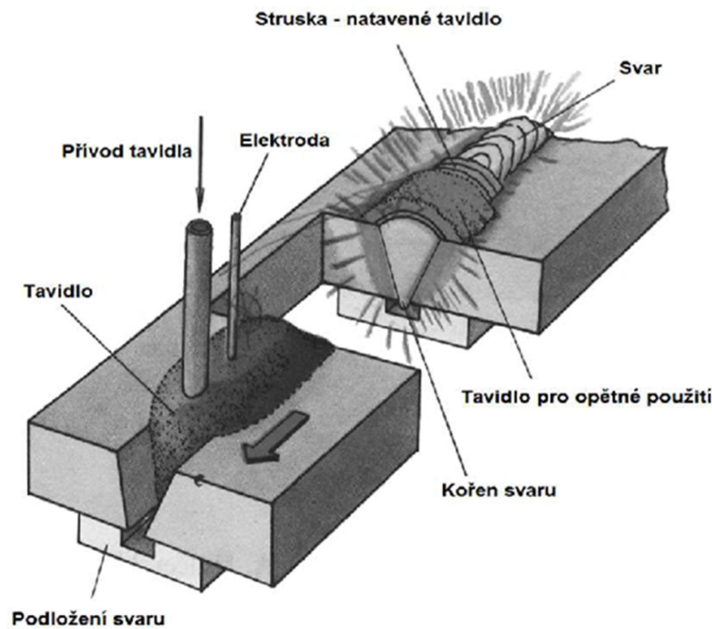
Označení: **SAW** ( **S**ubmerged **A**rc **W**elding), metoda **121** dle EN ISO 4063

Princip: Pro tuto metodu platí v podstatě vše co pro metodu **MAG / 135** - zásadní rozdíl je ale v ochraně svarové lázně před oxidací, tedy před přístupem vzduchu. Ochrana je zajištěna místo ochranným plynem práškovým tavidlem.

Tavidlo plní obdobnou funkci jako obal klasické obalené elektrody (vytvářející strusku na povrchu svarové housenky, tavením složek obalu elektrody), váže na sebe nečistoty a dolegovává svarovou lázeň. Tavnou elektrodou je opět holý drát odvíjející se z cívky, který je podáván do místa svaru, jež bylo předtím pokryto vrstvou granulovaného anorganického tavidla. Svařuje se automaticky stejnosměrným i střídavým proudem. Stejnosměrný proud je vhodný pro tenčí plechy, neboť zajišťuje i při nízké intenzitě dostatečnou stabilitu elektrického oblouku. Návarové plochy musí být pečlivě připraveny, zbaveny nečistot, mastnot, rzi apod. a podloženy vhodnou podložkou, zajišťující provaření kořene svaru.

Metoda je až 5 krát produktivnější proti ručnímu svařování, oblouk nezařuje okolí a metalurgické reakce mezi svarovým kovem a aktivní – natavenou částí tavidla příznivě ovlivňují kvalitu svaru.

Metoda se používá v a automatizované podobě – použitím tzv. svařovacího traktoru.



**Obrázek 5: Schéma svařování – metoda SAW / 121 [9]**

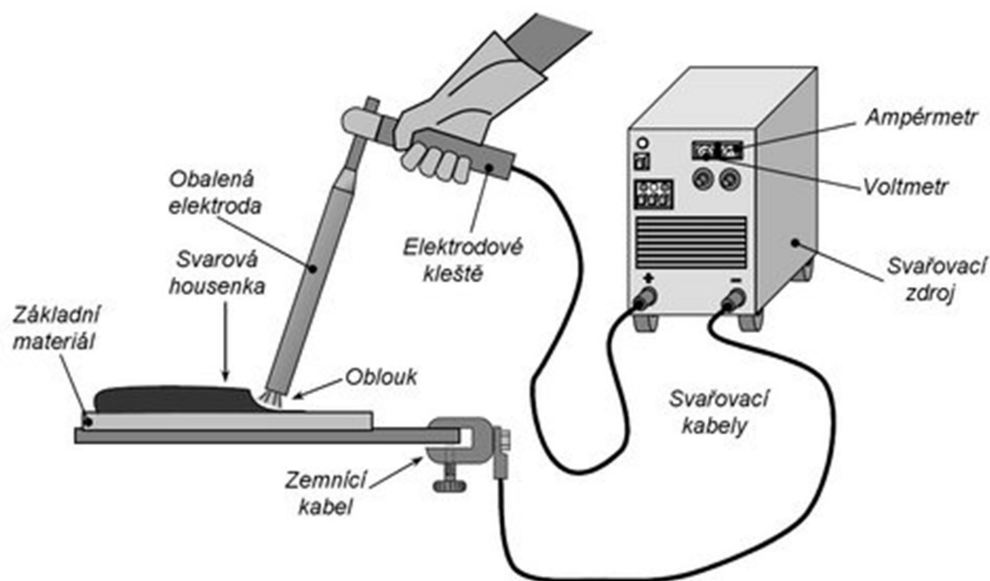
### **Svařování obalenou elektrodou**

Označení: **MMA (Manual Metal Arc)**, metoda **111** dle EN ISO 4063

Princip: Technologie svařování obalenou elektrodou pracuje na principu hoření oblouku mezi základním materiálem a obalenou elektrodou. Oblouk je inicializován v momentě dotyku mezi obalenou elektrodou a základním materiálem (svařencem). Při vzniku oblouku dojde k vytvoření svarové lázně. Jádrem elektrody pak tvoří nezbytnou složku přídavného materiálu. Další funkční složkou je obalový materiál elektrody, který zabezpečuje ochranu svarové lázně a vytváří tak ochranu atmosféru a strusku. Při procesu chlazení je svar chráněn povrchovou struskou. Po procesu chlazení je doporučeno strusku odstranit. Obloukové svařování obalenou elektrodou je typický proces pro ruční svařování.

Obalená elektroda disponuje omezenou délkou (obvykle 350 - 450 mm) to znamená, že proces je často přerušován z důvodu výměny elektrody. Tedy z hlediska produktivity je tato metoda označována právě pro častou výměnu elektrody jako proces s nízkou produktivitou.

Metoda se používá pro svařování ocelových konstrukcí, tlakových nádob, nebo v lodním průmyslu. Pro vyšší produktivitu je nutné použít snadněji mechanizovatelné procesy - **MIG / MAG**. [10]



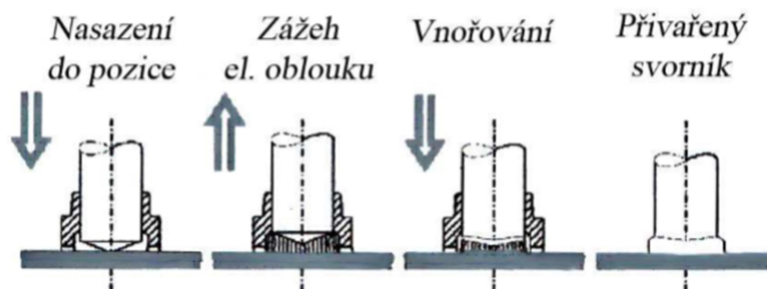
Obrázek 6: Schéma svařování – metoda MMA / 111 [10]

### Přivařování svorníků elektrickým obloukem

Označení: **SW** (**Stud Welding**), metoda **78** dle EN ISO 4063

Princip: Jedná se o způsob svařování (resp. přivařování) různých kovových komponentů k základnímu kovovému materiálu, kdy spolu působí přítlačná síla svařovací pistole v kombinaci s natavením styčné plochy svorníku a základního materiálu elektrickým obloukem (v některých modifikacích i pomocí elektrického odporu nebo tření). Podstatou je vytvoření svařovacího elektrického oblouku přímo mezi svorníkem a základním materiálem a jejich následné spojení po natavení s využitím tzv. zdvihového zážehu. Ochrana svařového kovu před oxidací je možná ochrannou atmosférou (Ar + CO<sub>2</sub>) nebo pomocí keramických kroužků. Metoda poskytuje kvalitní svarový spoj s minimálním ovlivněním základního materiálu

Metoda má široké uplatnění v potravinářském, leteckém, lodním, automobilovém i stavebním průmyslu k přivařování svorníků, elektrotechnických kontaktů, izolátorských trnů aj. [14]

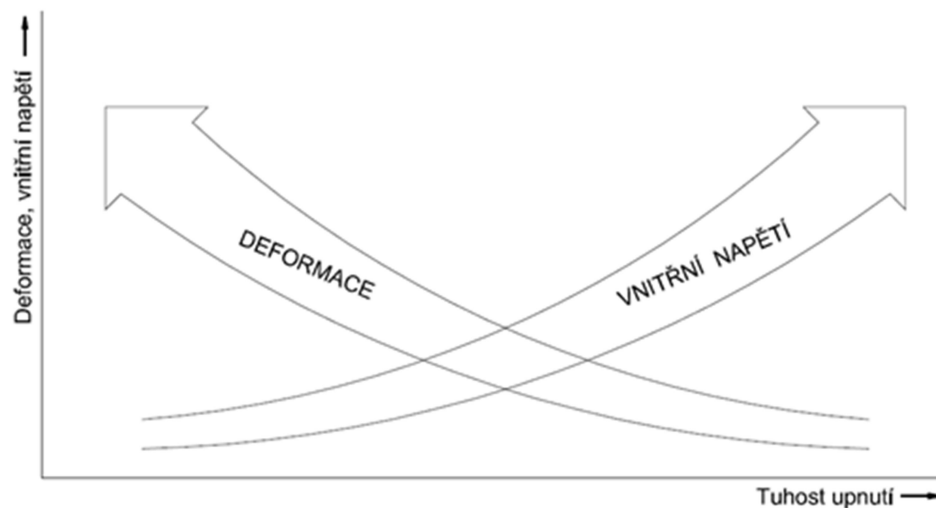


Obrázek 7: Postup svařování s použitím keramického kroužku [10]

## 4. Pnutí ve svarových spojích

Pnutí a vyvolané deformace v konstrukci vnesené vytvořením svarového spoje jsou zákonitým a navzájem neoddelitelným prvkem, kterým svařenec zatížíme a dochází tak k negativnímu zásahu z mnoha hledisek:

- pevnostní – díky tepelnému zatížení a lokální změně struktury, a tím i mechanických vlastností při chladnutí
- tvarové – deformace při chladnutí a vneseného pnutí
- ekonomické – časová a finanční náročnost přípravy, dodržení postupu a následných opatření



Obrázek 8: *Vzájemná závislost napětí a deformace [5]*

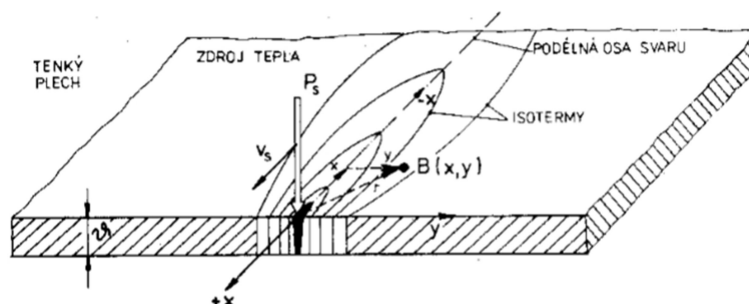
### 4.1 Vznik pnutí

Je-li materiál ohříván v celém objemu a není nijak omezená jeho dilatace potom je roztažení do všech směrů identické a při následném ochlazení zaujme stejný tvar, objem a rozměry jako ve výchozím stavu. Je-li mu ale bráněno v roztažení – ohřev pouze lokální kdy brání nenatavený objem materiálu nebo je-li těleso upnuto vznikne po vychladnutí vnitřní napětí. Během lokálního ohřevu typickém pro svařování dochází v místě ohřevu k plastifikaci materiálu. Ohřátý materiál se pěchuje na chladnější a při následném chladnutí dochází ke smršťování. To postupuje od centrální nejteplejší oblasti směrem k chladnější. Zároveň roste pevnost samotného svaru – ta ve svarové lázni měla nulovou hodnotu a při chladnutí narůstá. Platí, že čím vyšší jsou plastické deformace v okolí svaru, tím vyšší je napětí ve výsledném spoji. Zpravidla je výsledkem kombinace zbytkového vnitřního napětí a určité deformace svařence.

Vnesením tepla při svařování do základního materiálu vzniká teplotní pole a rozdílná teplota zdroje, svaru a základního kovu dává vzniknout teplotnímu gradientu. [11]

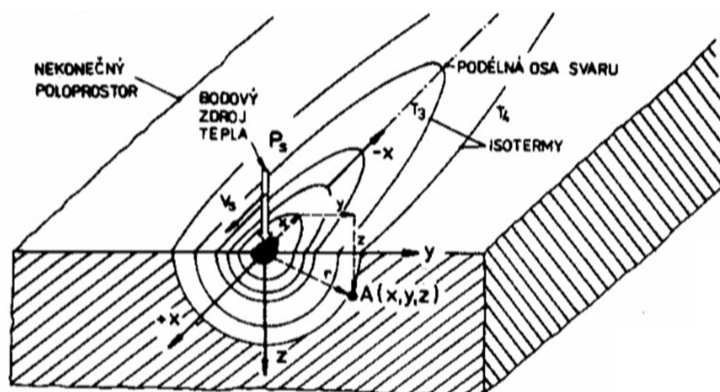
Teplotní pole (nestacionární) lze dělit dle směru šíření na

- jednorozměrné – kdy se teplo šíří jediným směrem – např. stykové svařování rotačních dílů, kdy se teplo šíří pouze podélně ve směru osy dílce (sálání možno zanedbat)
- dvourozměrné – kdy se teplo šíří typicky směrem  $x$  a  $y$  v ploše – např. laserové svařování tenkých plechů



**Obrázek 9: Dvourozměrné teplotní pole [17]**

- trojrozměrné – kdy se teplo šíří ve všech 3 osách – např. návary na povrchu, tavné svařování velkých průřezů, ale též ohřev / ochlazování dílců při tepelném zpracování [5]



**Obrázek 10: Trojrozměrné teplotní pole [17]**

Vznik a velikost napětí (a z toho plynoucí deformace) závisí i na dalších faktorech, jimiž jsou - stabilita přívodu tepla a stabilita odvodu tepla – tedy celková tepelná bilance svaru.

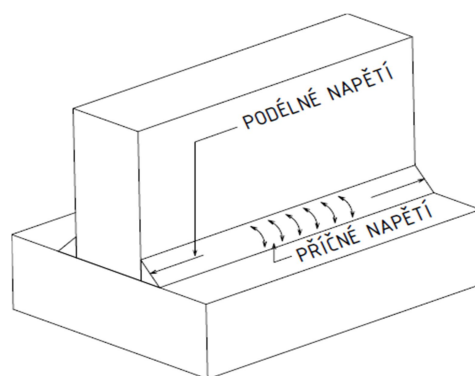
Tepelná bilance svaru je podmínkou existence svarové lázně, která je dostatečně provařena do základního materiálu. Vysoký odvod tepla znamená studený spoj - neprovařeno, nízký odvod tepla naopak zapříčiní provaření materiálu.

Stabilita přívodu tepla - na stabilitu přívodu tepla u elektrického oblouku mají vliv svařovací parametry: svařovací proud, napětí a rychlost svařování, zejména tedy jejich stálost. Proud zde určuje intenzitu tepla a tudíž i velikost průvaru svarové lázně do základního materiálu. Napětím lze korigovat stabilitu oblouku. [7]

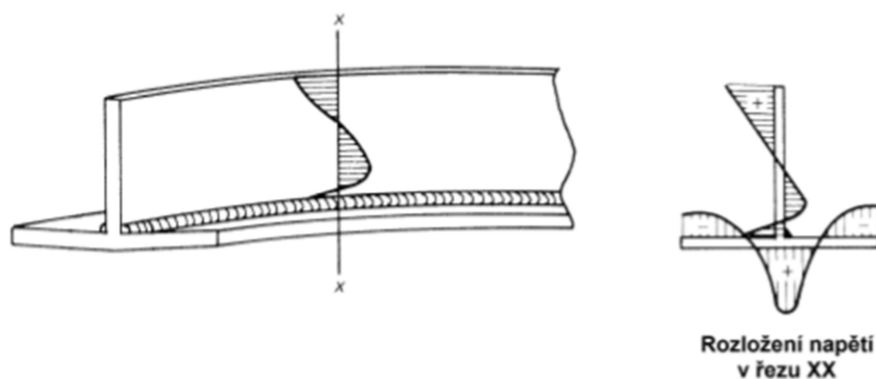
Stabilita odvodu tepla – je dána tepelnou vodivostí materiálu. Čím větší bude mít materiál tepelnou vodivost, tím rychleji bude schopen odvádět teplo z místa svaru a napěťový a deformační účinek bude minimální.

## 4.2 Rozdělení pnutí

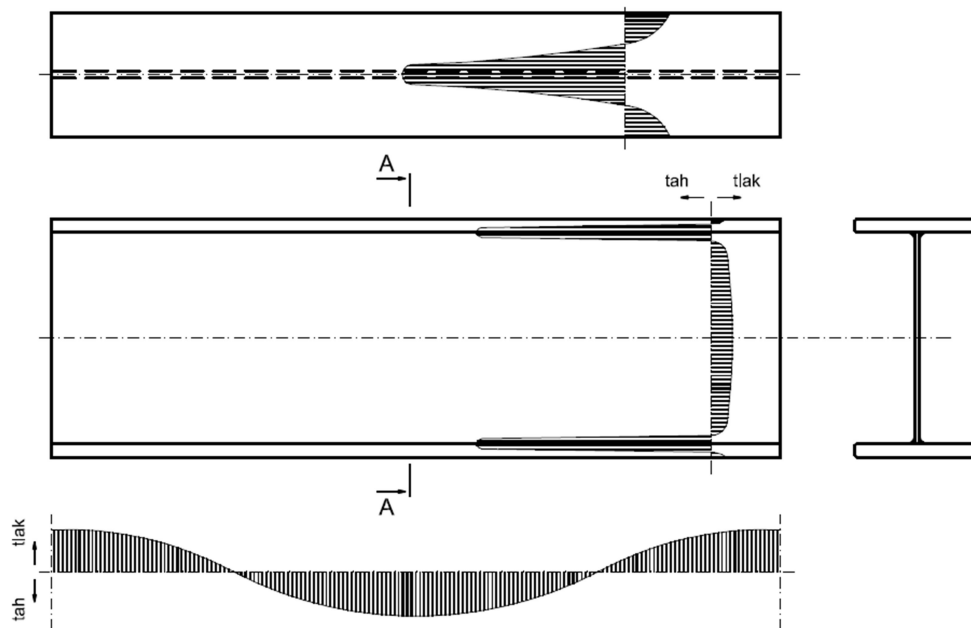
- přímé – vzniká ve svaru a jeho bezprostředním okolí
- nepřímé (reakční) – vzniká upnutím svařených částí
- podélné – napětí vznikající v podélném směru, podél svaru
- příčné – napětí vznikající v příčném směru, kolmo na svar



Obrázek 11: Osové složky vnitřních pnutí u koutového svaru [4]



Obrázek 12: Rozložení zbytkových napětí v koutovém svaru [15]



**Obrázek 13: Rozdělení vnitřních pnutí na nosnících v důsledku svařování tzv. „krčných svarů“ [1]**

- a) svařovaný I nosník
- b) podélná pnutí v řezu A – A
- c) příčná pnutí způsobená omezením podélného smrštění
- d) pnutí po šířce pásnice

### **4.3 Faktory ovlivňující velikost pnutí**

- Teplotní gradient a tvar teplotního pole
- vnesené teplo – jedná se o zásadní faktor a to z hlediska jeho velikosti, intenzity a doby trvání
- charakter a velikost oblasti zasažené teplem během svařování (TOO)
- rozměry a tuhost svařovaného dílce
- materiál – jak základní tak přídatný
- použitá metoda svařování – provozní parametry (proud, rychlost aj.)
- upnutí nebo volné svařování aj.

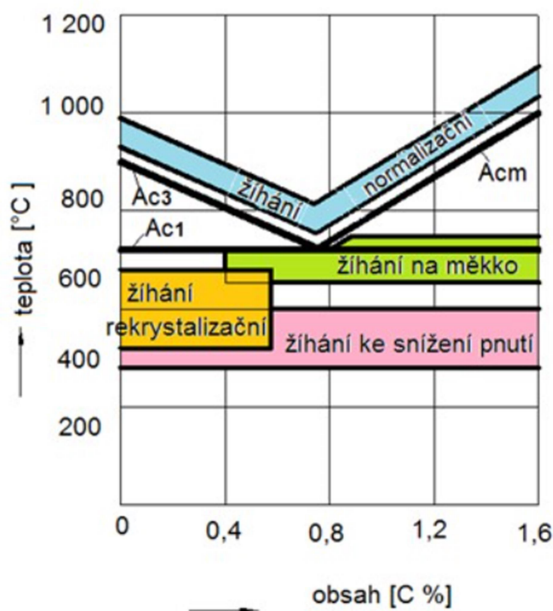
Dále záleží na samotném výrobním postupu. Často je vhodné nebo je vyžadováno z hlediska zamezení trhlin předehřát svařovaný materiál a následně po samotném svaření opět uplatnit ohřev - vyžihání svaru.

Svůj podíl má též pozice svařence během svařování – volí se s ohledem na možnosti provozu, využívá se hojně přípravků na nichž leží aniž by byly upnuty (rozměrné prvky) nebo s pevným upnutím bez možnosti deformace (drobnější díly).

#### 4.4 Možnosti snížení pnutí

- polarita elektrody (záporná)
- zmenšení oblasti zasažené teplem během svařování
- použití vhodné svařovací metody
- použití vhodného přídavného materiálu
- zvýšení rychlosti svařování
- postup svařování – kladení svarových housenek a nastehování
- tepelný zásah do materiálu ( ovlivnění tepelného cyklu svařování )
  - před svařováním - přehřev
  - během svařování - teplota mezi housenkami tzv. „interpass“
  - po svařování – následné tepelné zpracování (dohřev, žíhání, popouštění atd.)
- vibrační zpracování – pro rozměrné a těžké konstrukce, které nelze vložit do pece, nebo náklady na TZ by byly neadekvátní

Jako nejčastěji využívanou možnost snížení vnitřního pnutí bych uvedl „Žíhání ke snížení vnitřního pnutí“. Spočívá v ohřevu v našem případě svařence na teplotu 500 - 600°C, výdrži 1 – 10 hodin podle tvaru a velikosti součásti a následnému ochlazení v peci cca do 250°C, pak následuje dochlazení na vzduchu.



Obrázek 14: Žíhání ke snížení vnitřního pnutí – zakresleno v diagramu Fe – Fe<sub>3</sub>C [16]



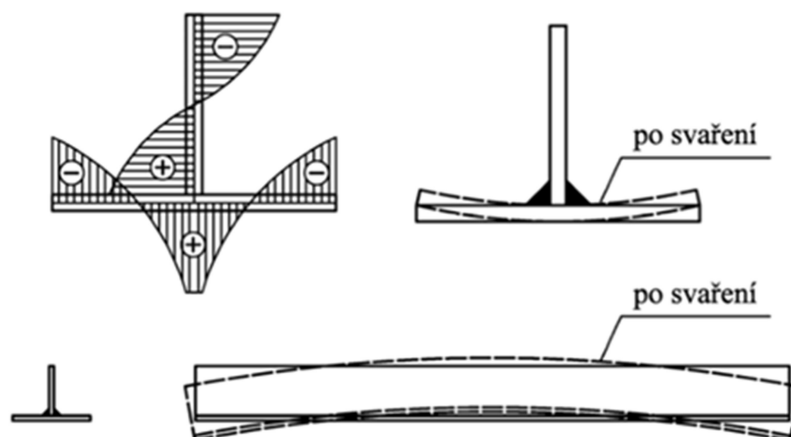
## 5. Deformace ve svarových spojkách

### 5.1 Vznik deformací

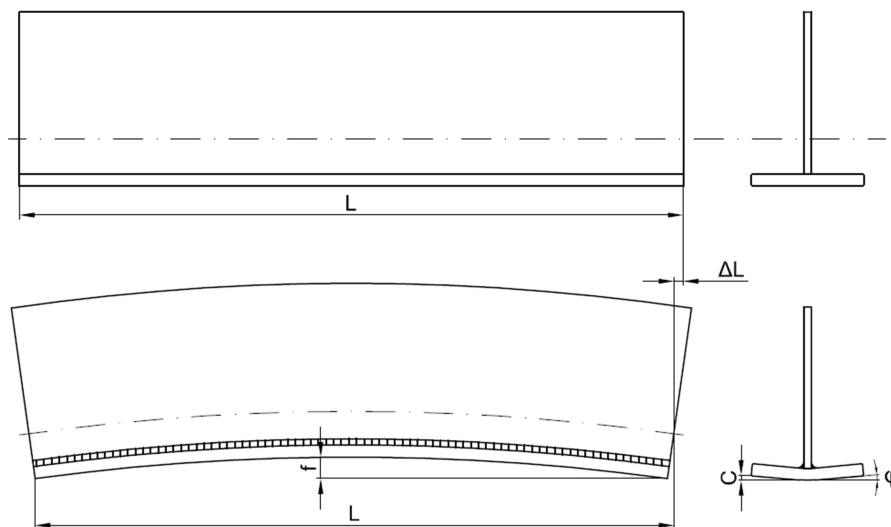
Jsou nedílnou složkou důsledku svařování a mají přímou souvislost s napětím (viz obr. 6). Vznikají v důsledku smršťování v místě svaru.

Následné odstranění deformací je ekonomicky velmi náročné a je nutno brát ohled na bezpečnost výsledné konstrukce – vnesená další pnutí.

Vhodnými konstrukčními a výrobními postupy je možno je minimalizovat a pokud to okolnosti dovolí není nutné je odstraňovat - typicky mostní nosníky a konstrukce v těžkém strojírenství – kde snaha o odstranění by mohla vést ke snížení pevnosti a bezpečnosti konstrukce.



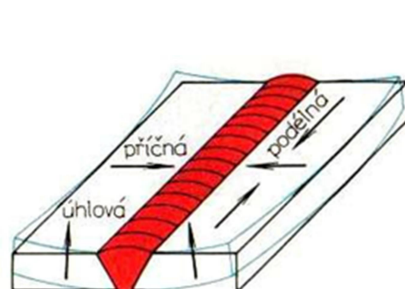
Obrázek 15 a: Deformace u styčnicku při koutovém svaru [3]



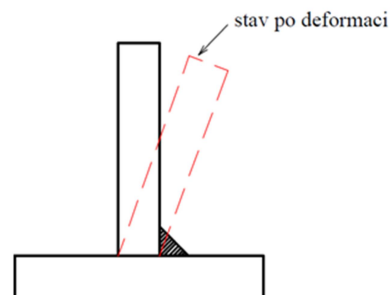
Obrázek 15 b: Deformace u styčnicku při koutovém svaru – vliv podélného smrštění [1]

## 5.2 Rozdělení deformací

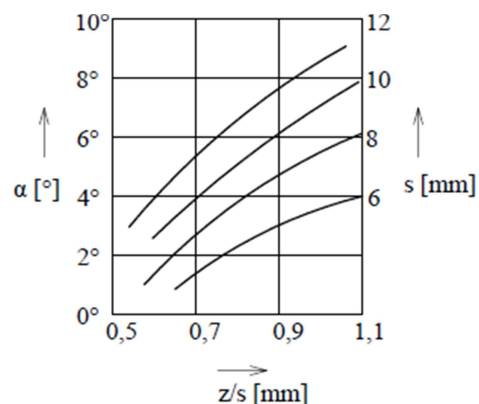
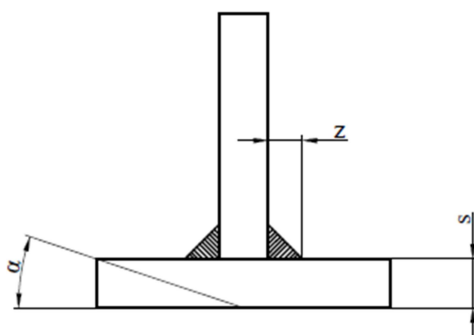
- podélné – smrštění vznikající v podélném směru v ose svaru – volnému pohybu svarové ho kovu brání okolní materiál
- příčné – smrštění vznikající v příčném směru, kolmo na svar
- úhlové – zvláštní druh příčného smrštění



Obrázek 16: Deformace při tupém svaru [11]



Obrázek 17: Deformace při koutovém jednostranném svaru [6]



Obrázek 18: Závislost poměru velikosti svaru a tloušťky pásnice na velikosti úhlové deformace [5]

## 5.3 Faktory ovlivňující velikost deformace

- pnutí vzniklé během svařování
- konstrukce svařence
- tloušťky, rozměry a tuhost svařence
- materiál svařence
- použitá metoda svařování – provozní parametry (proud, rychlost aj.)
- upnutí nebo volné svařování aj.

Dále záleží na samotném výrobním postupu – stehování, pořadí a postup kladení kladení housenek atd.

Svůj díl má též pozice svařence během svařování – volí se s ohledem na možnosti provozu, využívá se hojně přípravků na nichž leží aniž by byly upnuty (rozměrné prvky) nebo s pevným upnutím bez možnosti deformace (drobnější díly). U rozměrných konstrukcí nesmíme zanedbat ani vlastní tíhy prvku a vhodným podepřením zabránit této deformaci.

#### 5.4 Možnosti snížení deformací

- snížením vnitřního pnutí v konstrukci – lokální ohřev, vibrace aj.
- použití vhodné svařovací metody
- změnou parametrů svařování (např. úpravou rychlosti svařování, svařovacího proudu aj.)
- postup svařování – kladení svarových housenek a správné nastehování
- vyvoláním negativní deformace v rámci přípravy – rovnání plamenem
- předechnutí před svařením – negativní deformace aj.



Obrázek 19: Vliv směru nastehování stojiny a pásnice nosníku [4]

### Vyhodnocení velikosti úchylek – rozměrových a tvarových

Při vyhodnocení úchylek je využívána norma ČSN EN ISO 13920, která stanovuje dle zkoumaného rozměru maximální povolenou úchylku v příslušné toleranční třídě.

#### Náhled hodnot z normy pro rozměry posuzovaných nosníků

Toleranční třída	Rozměr - délka nosníku		úhlové úchyly	rozměrové úchyly
			šířka nosníku	
	12 - 16 m	nad 20 m	400 - 1000 mm	400 - 1000 mm
A	± 7 mm	± 9 mm	± 15 ´	± 4,5 mm
B	± 12 mm	± 16 mm	± 30 ´	± 9 mm
C	± 21 mm	± 27 mm	± 45 ´	± 13 mm
D	± 32 mm	± 40 mm	± 1° 15 ´	± 22 mm

## 6. Výroba I profilu mostní konstrukce

Jedná se o nahrazení mostní konstrukce přes řeku Ohři v Doubí u Karlových Varů - trvalý mostní objekt o dvou polích, nosná konstrukce z ocelových nosníků spřažených železobetonovou deskou.

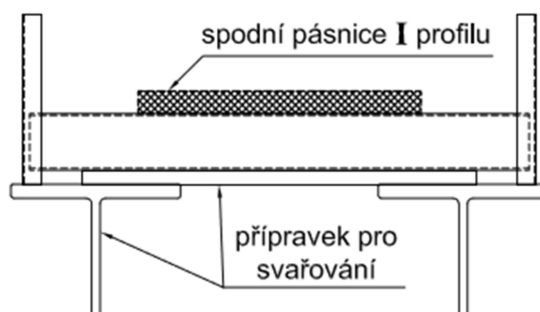
Ocelový nosník – tvar **I** – délky 24 a 13,5 m s následným svařením v celkové délce 37,5 m

### 6.1 Příprava materiálu

- 1) profily ( pásnice a stojiny ) děleny pomocí řezání kyslíkem, stejně tak i úkosy svarových ploch před svařováním – vzniklé hrany upraveny broušením na čistý kov
- 2) pásnice před dalším zpracováním otryskány
- 3) budoucí svarové plochy upraveny – odmaštění, broušení
- 4) případné rovnání – kyslík-acetylenový plamenem (s neutrálním směšovací poměrem) – ohřev na teplotu 600 až 650°C
- 5) kontrola na opal a trhliny

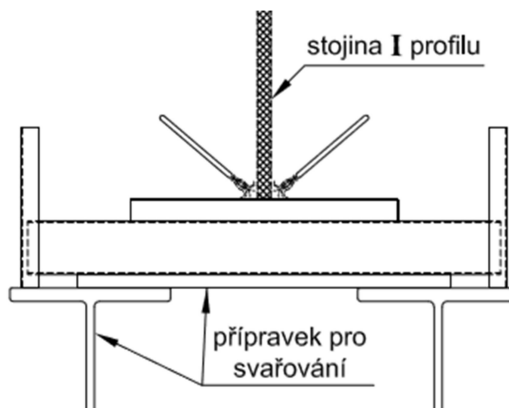
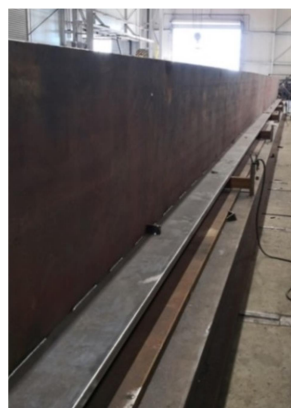
### 6.2 Výroba I profilu

#### 1. Uložení spodní pásnice na přípravek



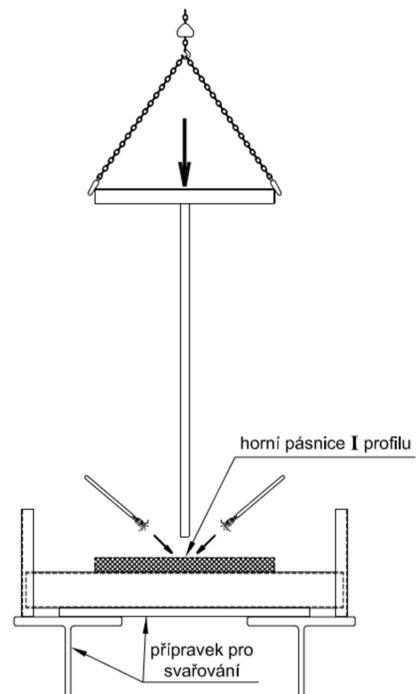
Obrázek 20: Uložení pásnice a přebroušení stykové plochy budoucího svaru – „pásnice X stojina“

#### 2. Ustavení stojiny na spodní pásnici + nastehování



Obrázek 21: Ustavení pásnice a stojiny a sestehování T profilu – „pásnice X stojina“

### 3. Příprava I profilu – sestehování dílců



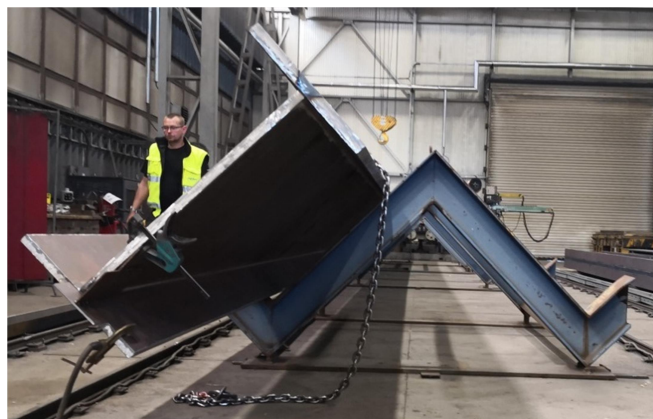
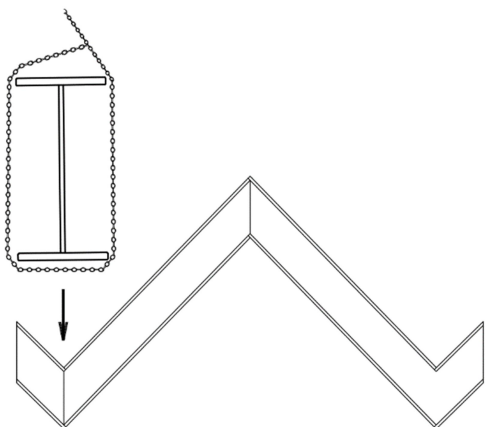
**Obrázek 22: Sestehování I profilu – „pásnice X stojina X pásnice“**

### 4. Předehnutí pásnice - eliminace úhlové deformace tzv. střechovitosti



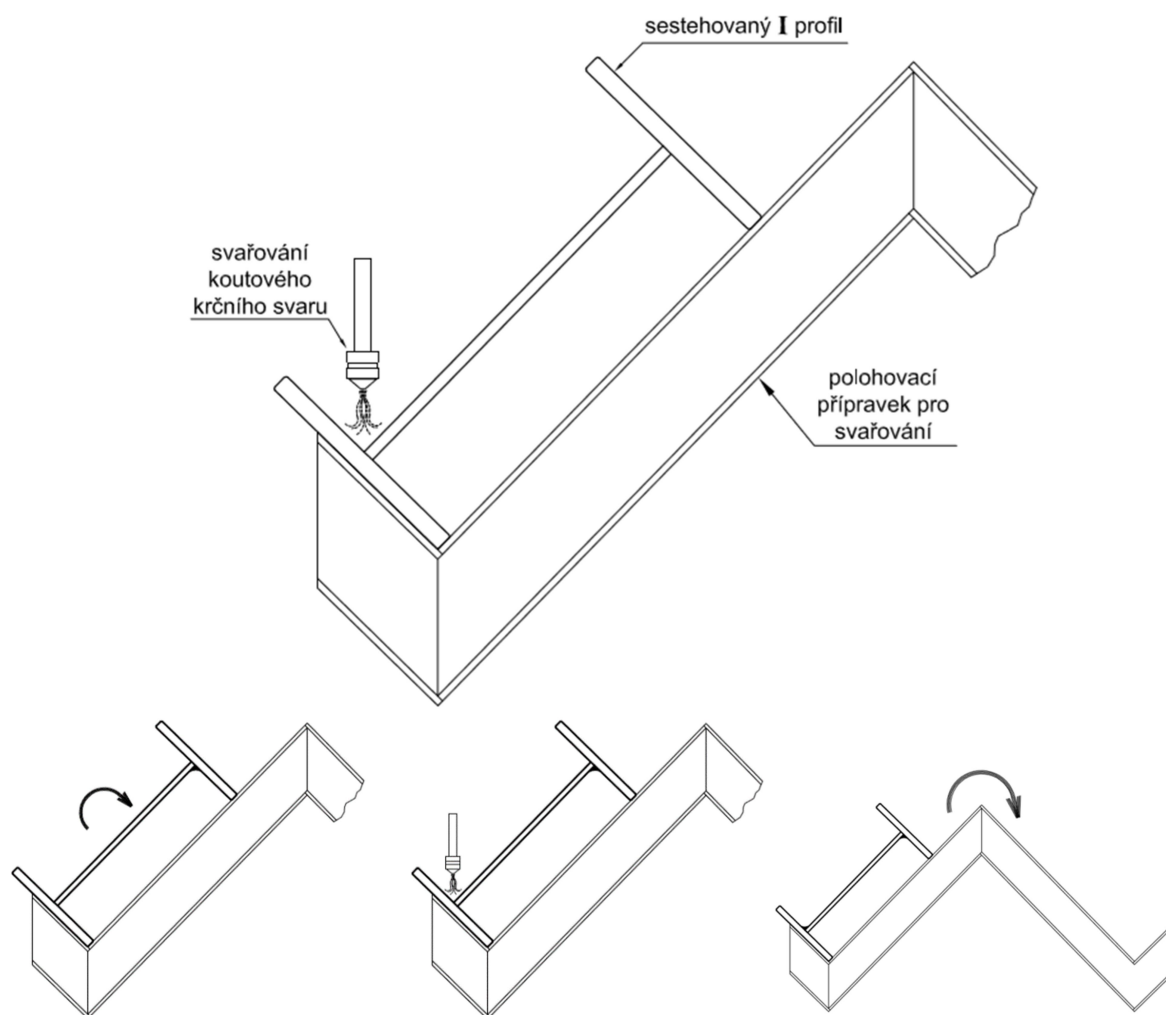
**Obrázek 23: Předehnutí nastehovaného I profilu – ohřev – kyslíko-acetylénovým plamenem**

## 5. Uložení nosníku na přípravek

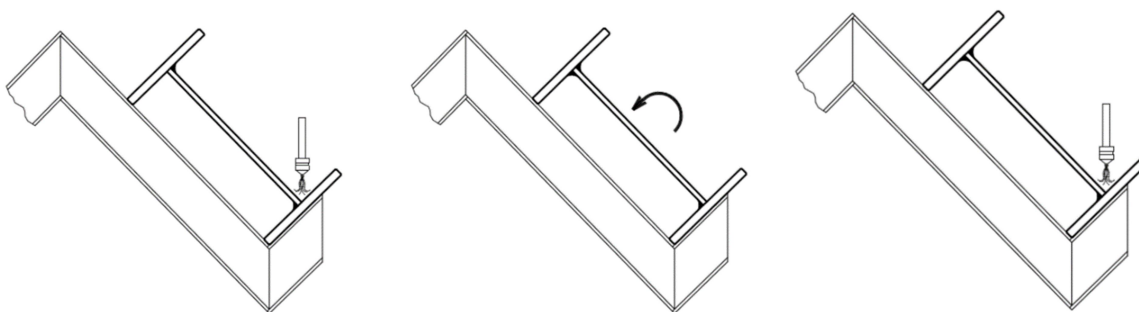


Obrázek 24: Uložení nastehovaného nosníku na svařovací přípravek

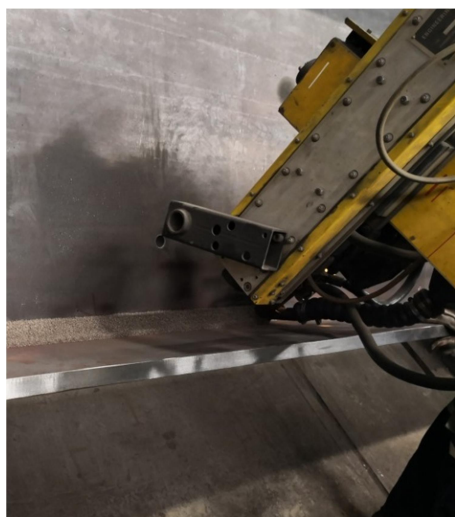
## 6. Svařování koutového svaru







**Obrázek 25 a: Provedení svaru automatickým svařováním pod tavidlem**



**Obrázek 25 b: Provedení svaru automatickým svařováním pod tavidlem**

**Otočení nosníku do další polohy**

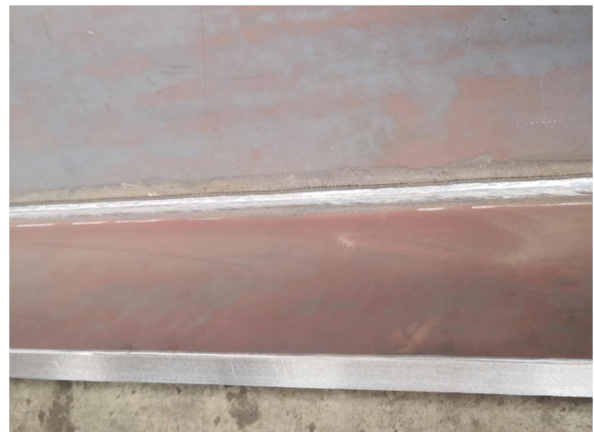


**Obrázek 26: Polohovadlo pro otočení nosníku**

**7. Svar – steh / tavidlo / odstranění strusky / svar**

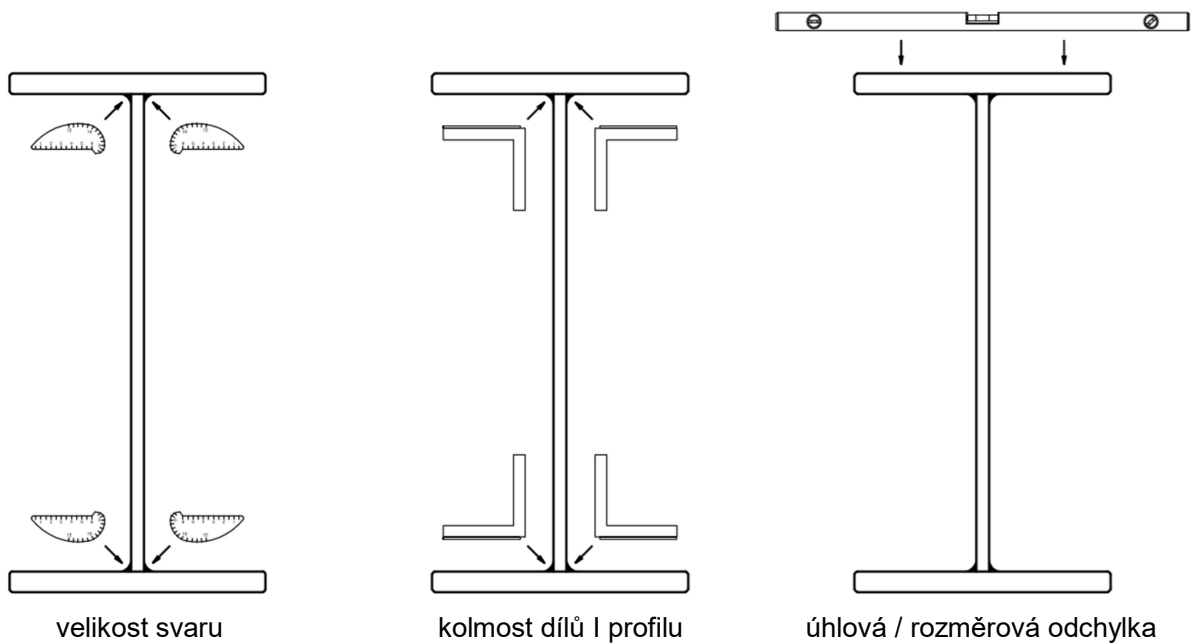


**Obrázek 27: Svar ve stadiu – nastehováno + zasypáno tavidlem**



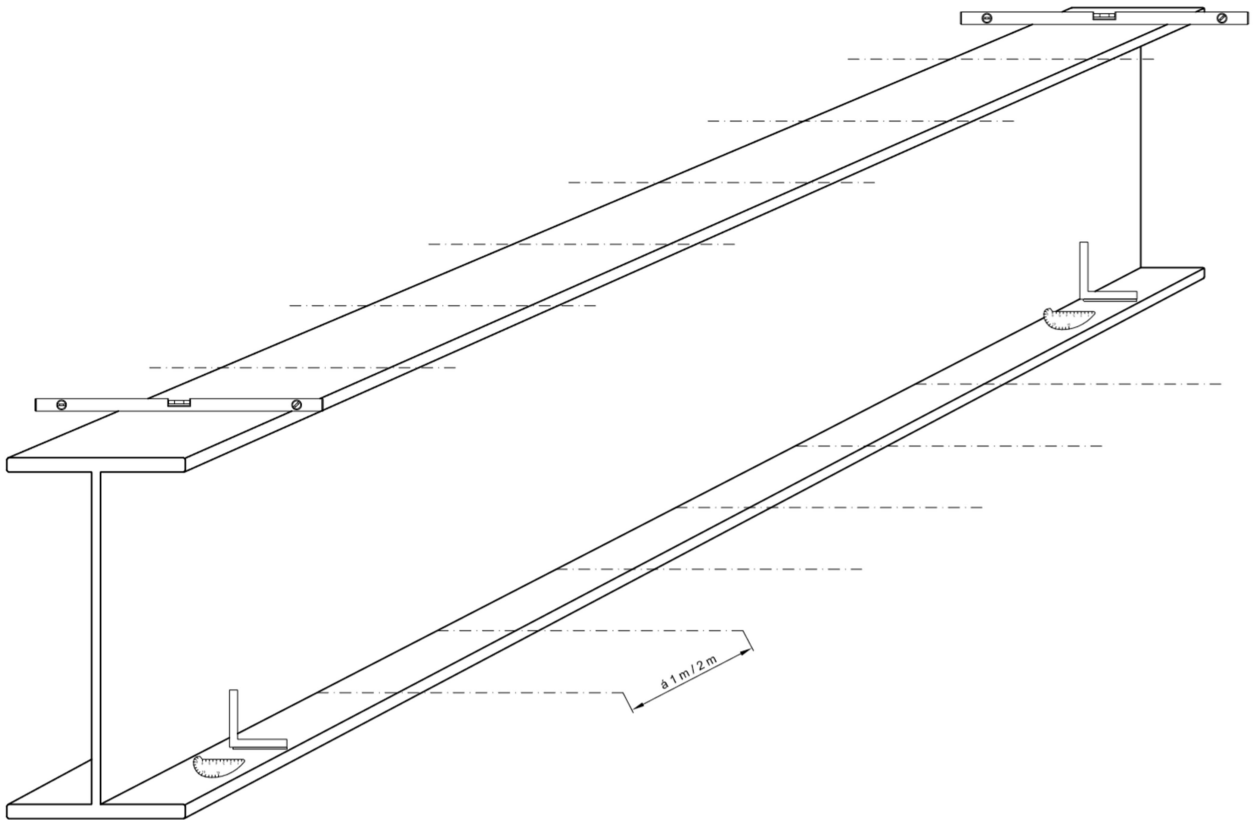
**Obrázek 28: Svar ve stadiu – odstraňování strusky + hotový svar**

### 8. Dílenská kontrola svařence



**Obrázek 29: Dílenská kontrola svařence I**





**Obrázek 30: Dílenská kontrola svařence II**

### 9. Přivaření manipulačních / montážních jeřábových ok pro přesun nosníku



**Obrázek 31: Přivaření 2 ks jeřábových ok**

### 10. Přivaření sprahovacích trnů



**Obrázek 32: Přivaření trnu + odstranění keramických kroužku + zčištění svaru**

### 11. Uložení jednotlivých dílů nosníku



**Obrázek 33: Uložení dílců na venkovní přípravek – pro měření rozměrů a tvarových odchylek**





**Obrázek 34: Uložení dílců na venkovní přípravek – spasování s respektováním mezery pro finální svar**



**Obrázek 35: spasování dílců nosníku s pomocí montážní pomůcky – zajištění správné mezery pro finální svar**

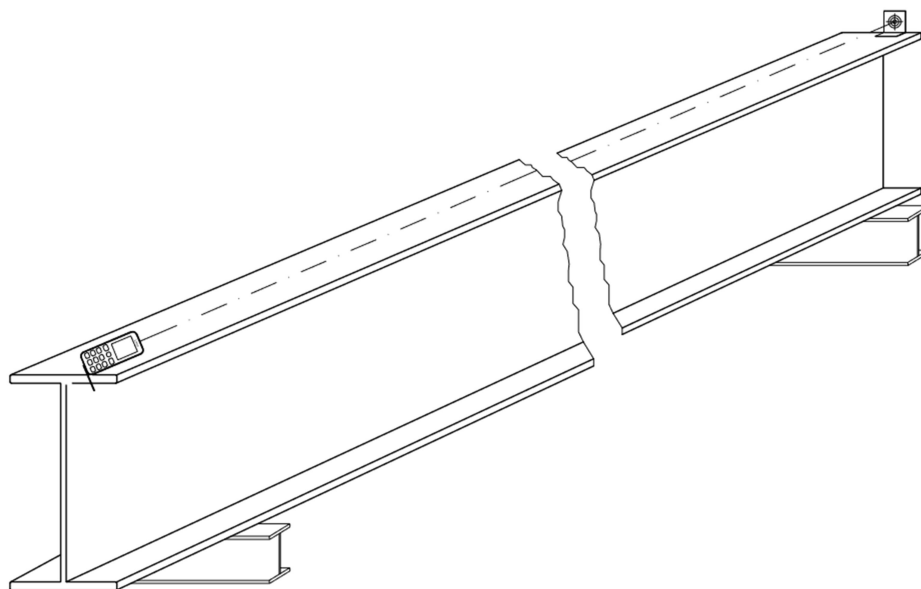
## 12. Svaření jednotlivých dílů nosníku



**Obrázek 36: Svaření jednotlivých dílů nosníku**

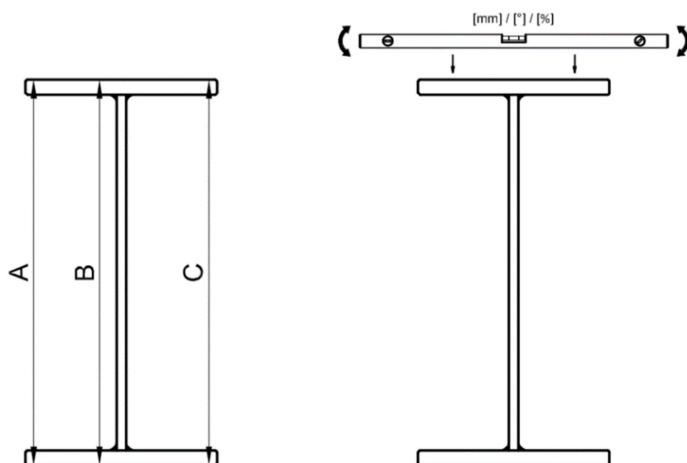
## 13. Měření I profilu - před svařením v celek

Měření délky jednotlivých částí nosníků – posouzení délkové odchylky oproti teoretické nominální délce



**Obrázek 37: Měření délky dílce**

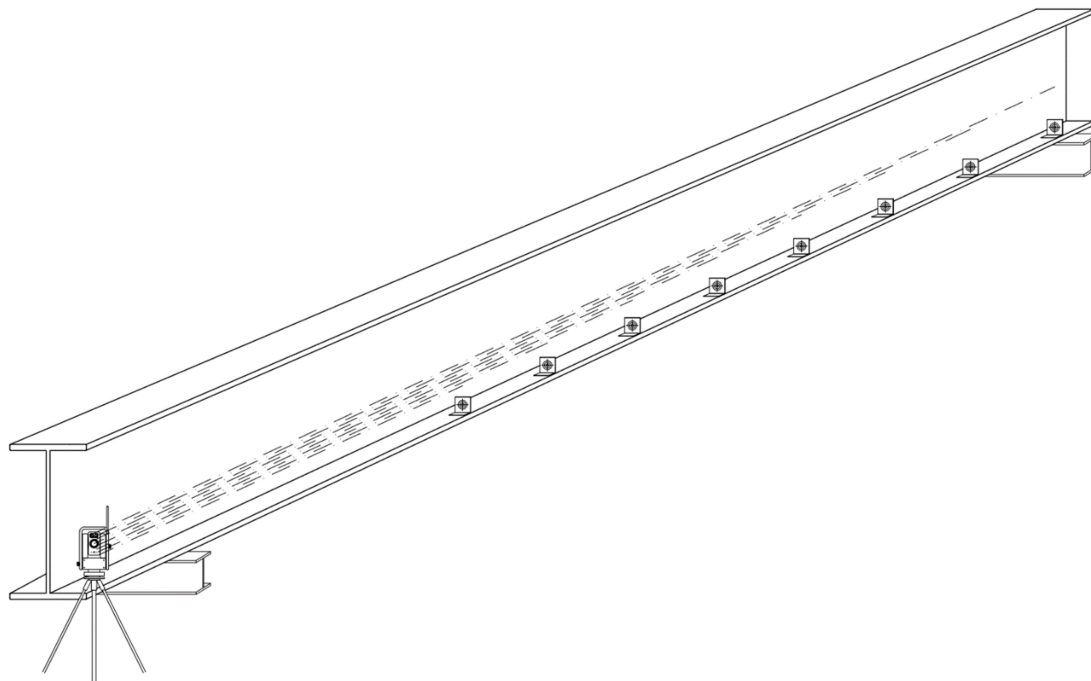
Měření výšek profilu nosníků a kontrola rovinnosti / rovnoběžnosti pásnic na obou koncích jednotlivých částí jednotlivých částí nosníku – posouzení odchylek



**Obrázek 38: Kontrola rozměrů a tvaru krajních profilů nosníku**

Měření polohy kontrolních bodů umístěných na nosníku - posouzení odchylky v ose x / y / z oproti teoretické poloze

- osa x – vyhnutí profilu do strany tzv. vyboulení
- osa y – prodloužení / zkrácení délky profilu
- osa z – nadvýšení profilu



**Obrázek 39: Měření deformací v délce profilu dílce**



## Použité stroje, přístroje a nářadí

Pro svařování metodou MAG (135) – sestehování I profilu, přivaření závěsných ok,  
přivaření dílčích I profilů k sobě v celek

**VarioSynergic 5000** – svařovací zdroj MIG / MAG s integrovaným 4-kladkovým pohonem  
podavače



**Tabulka 1: Technická data VarioSynergic 5000**

Síťové napětí	3 x 230 V
	3 x 400 V
Tolerance síťového napětí	+ 10 % / - 10 %
Frekvence sítě	50 / 60 Hz
Síťové jistění	35 A
Trvalý primární výkon	11 kVA
Účinnost	0,95 (280 A)
Účinnost	80 % (200 A)
Rozsah svařovacího proudu MIG / MAG	35 - 500 A
Pracovní napětí MIG / MAG	15,8 - 39,0 V
Napětí naprázdno	54 V
Rozměry	890 / 460 / 945 mm
Hmotnost	156 kg

**Obrázek 40: Svařovací zdroj VarioSynergic 5000 [18]**

**Podavač drátu Fronius VR 3300**



**Tabulka 2: Technická data Fronius VR 3300**

Motor podavače	42VDC
Výkon motoru	164 W
Průměr drátu	0,8 - 1,6 mm
Rychlost podávání	0 - 18 m / min
Počet přepínacích stupňů	4 x 7
Hmotnost	13 kg

**Obrázek 41: Podavač drátu Fronius VR 3300 [19]**

Pro svařování pod tavidlem – SAW (121) – svařování koutového svaru – „pásnice x stojina“

**Starmatic 1003 DC** – svařovací stroj pro svařování pod tavidlem



**Tabulka 3: Technická data Starmatic 1003**

Třífázové vstupní napětí	400 V / 440 V
Frekvence sítě	50 / 60 Hz
Přímý proud při 100 %	95 A
Trvalý výkon při 100 %	65,8 kVA
Provozní teploty	0 - 40 °C
Pojistky T	80 A
Vstupní kabel	4 x 25 mm <sup>2</sup>
Pracovní napětí MIG / MAG	15,8 - 39,0 V
Rozsah proudu ( 1.rozsah )	200 - 500 A
Rozsah proudu ( 2.rozsah )	200 - 1 000 A
Napětí naprázdno	67 V
Vstupní kabel	3 x 95 mm <sup>2</sup>

**Obrázek 42: Svařovací zdroj Starmatic 1003 DC [20]**

**WST 1000** – svařovací traktor pro svařování pod tavidlem



**Obrázek 43: Sloupcový výložník se svařovacím automatem WST 1000**

Pro přípravu svarové plochy a úpravy svarů

**NAREX EBU 15-16 C – úhlová bruska**



**Tabulka 4: Technická data Narex EBU 16-16 C**

Průměr kotouče	150 mm
Volnoběžné otáčky	9 000 ot / min
Příkon	1 600 W
Závit na vřetenu	M14
Hmotnost	2,9 kg

**Obrázek 44: Bruska Narex EBU 16-16 C [21]**

**IL 150080 – lamelový brusný kotouč**



**Tabulka 5: Technická data IL 150080**

Průměr kotouče	150 mm
Typ brusiva	zirkonkorund
Hrubost zrna	80
Velikost otvoru	22,2 mm
Aplikace	kov , nerez

**Obrázek 45: Kotouč IL 150080 [22]**

Pro kontrolu tvaru, rozměrů a měření profilu

**Disto D410 – laserový dálkoměr**



**Tabulka 6: Technická data Disto D410**

Přesnost měření	± 1 mm
Dosah	0,05 - 150 m
Jednotky měření	m / ft / in
Měření délky	-
Sčítání / odčítání	-
Měření minimum / maximum	-
Pythagorova věta	-
Výpočet plochy / objemu	-
Paměť	30 měření
Rozměry	143 x 58 x 29 mm

**Obrázek 46: Dálkoměr Disto D410 [23]**



## BOSCH DNM 60L – digitální vodováha

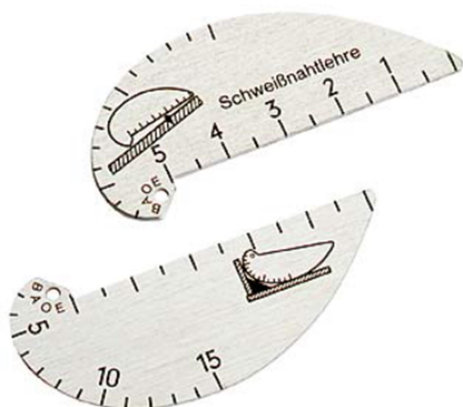


**Tabulka 7: Technická data BOSCH DNM 60L**

Jednotky měření	° / % / mm/m
2 libely - vodováha	-
Paměť	1 měření
Rozměry	143 x 58 x 29 mm

**Obrázek 47: Vodováha BOSCH DNM 60L [24]**

## Měrka svarů – příložná měrka plochých a koutových svarů



**Tabulka 8: Technická data Měrka svarů**

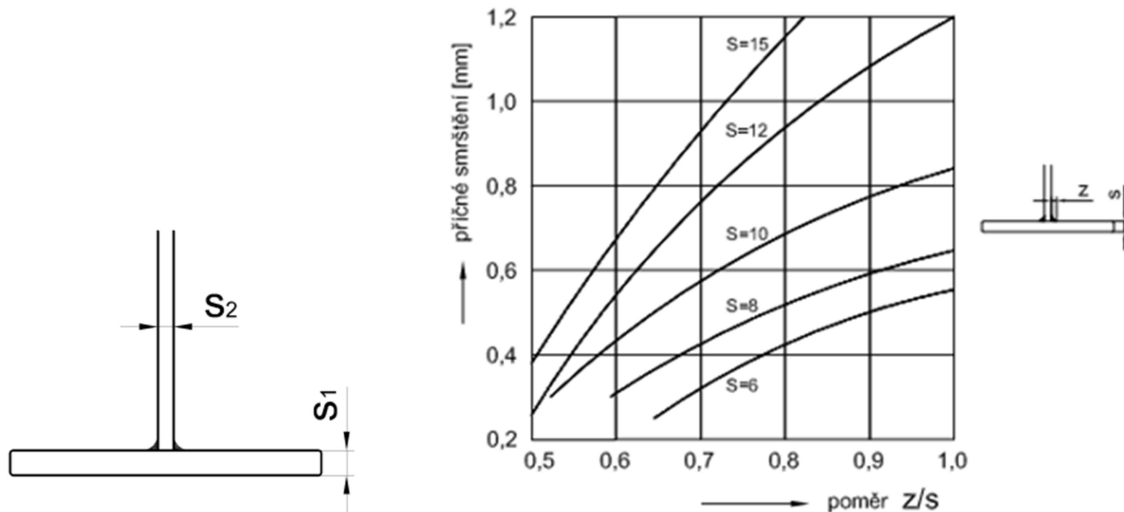
Měřicí rozsah pro ploché svary	0 - 5 mm
Měřicí rozsah pro koutové svary	2 - 15 mm

**Obrázek 48: Měrka svarů [25]**

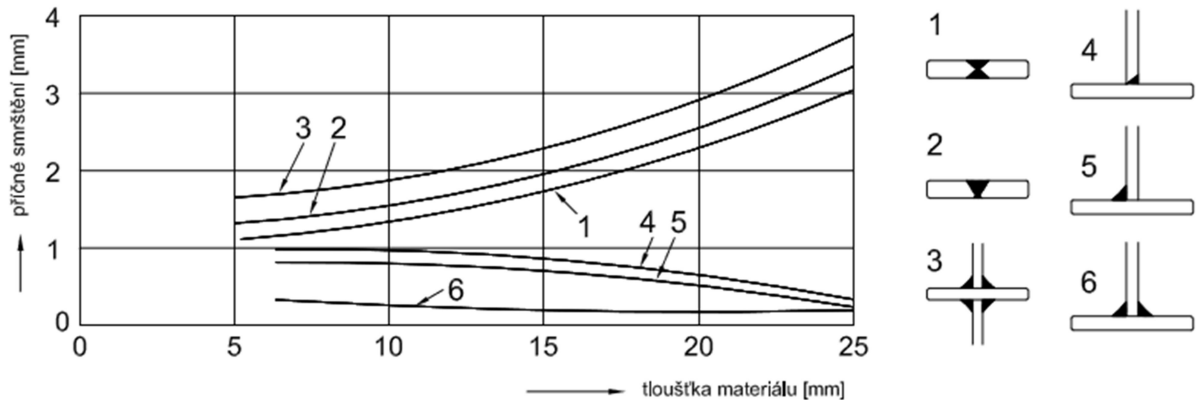
## 7. Matematický aparát pro výpočty

příčné smrštění pásnice při svařování koutovým svarem

**Tabulka 9: Závislost poměru velikosti svaru ku tloušťce pásnice a příčném smrštění**



**Obrázek 49: Tloušťky pásnice a stojiny**



**Obrázek 50: Závislost velikosti příčného smrštění na typu svaru [5]**

$$S_p = 13 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{V_{sv}} \cdot \frac{1}{S_1 + \frac{S_2}{2}} \quad (7.1)$$

kde:  $S_p$  – příčné smrštění pásnice [mm]

$Q$  – tepelný příkon svařovacího zdroje (= teplo vnesené během svařování to materiálu)

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{V_{sv}} \quad (7.2)$$

$\eta$  – účinnost [-], pro svařování pod tavidlem je  $\eta = 1$

$V_{sv}$  – rychlost svařování [mm/s]

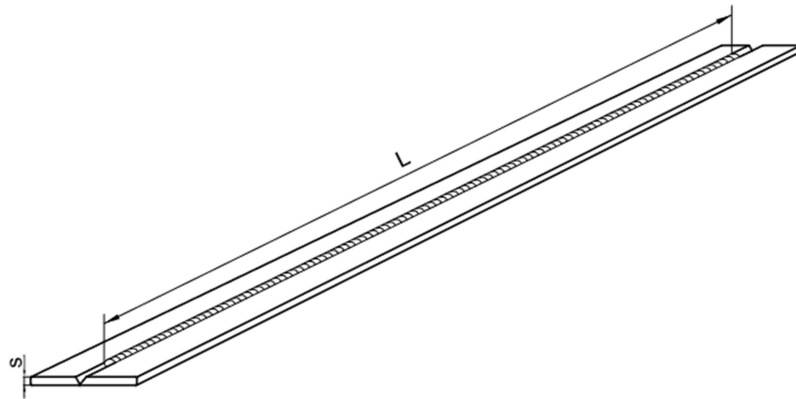
$S_1$  – tloušťka pásnice [mm]

$S_2$  – tloušťka přivařené stojiny [mm]

$U$  – svařovací napětí [V]

$I$  – svařovací proud [A]

podélné smrštění pásnice na 1 m délky – pro tupé svary



Obrázek 51: Tupý svar

$$S_{pod} = 0,012 \cdot \frac{I \cdot L}{100 \cdot s} \quad (7.3)$$

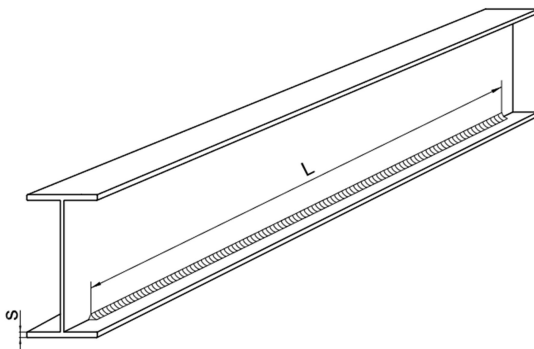
kde:  $S_{pod}$  – podélné smrštění pásnice [mm]

$I$  – svařovací proud [A]

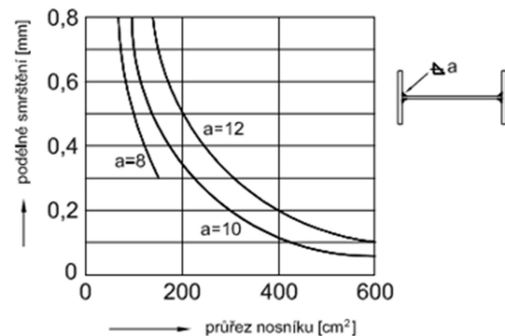
$L$  – délka svaru [mm]

$s$  – tloušťka pásnice [mm]

podélné smrštění pásnice – pro koutové svary



Tabulka 10: Závislost průřezu nosníku a podélném smrštění



Obrázek 52: Koutový – krční svar nosníku

plocha nosníku v řezu

$$S_n = S_{sp} + S_{st} + S_{hp} \quad (7.4)$$

$S_n$  - plocha nosníku v řezu [mm<sup>2</sup>]

$S_{sp}$  - plocha spodní pásnice v řezu [mm<sup>2</sup>]

$S_{st}$  - plocha stojiny v řezu [mm<sup>2</sup>]

$S_{hp}$  - plocha horní pásnice v řezu [mm<sup>2</sup>]

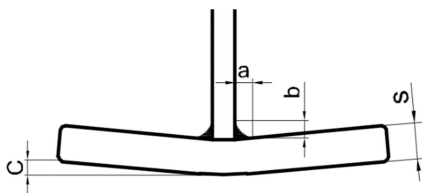
plocha svaru v řezu

$$S_{sv} = \frac{1}{2} \cdot (a \cdot a) \quad (7.5)$$

$S_{sv}$  - plocha svaru v řezu [mm<sup>2</sup>]

$a$  – velikost svaru [mm]

úhlová deformace při svařování koutovým svarem – určení rozměru (odhad předehtnutí)



**Obrázek 53: Úhlová deformace - rozměr**

$$c = \frac{a \cdot b}{k \cdot s} \quad (7.6)$$

kde:  $c$  – úhlová deformace [mm]

$a$  – výška svaru [mm]

$b$  – šířka svaru [mm]

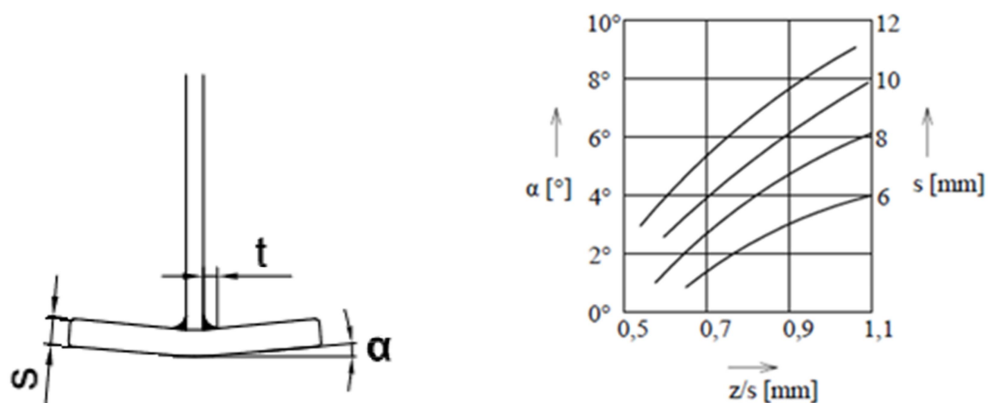
$k$  – součinitel tloušťky materiálu [-], pro koutový svar je  $k = 30$

$s$  – tloušťka plechu [mm]

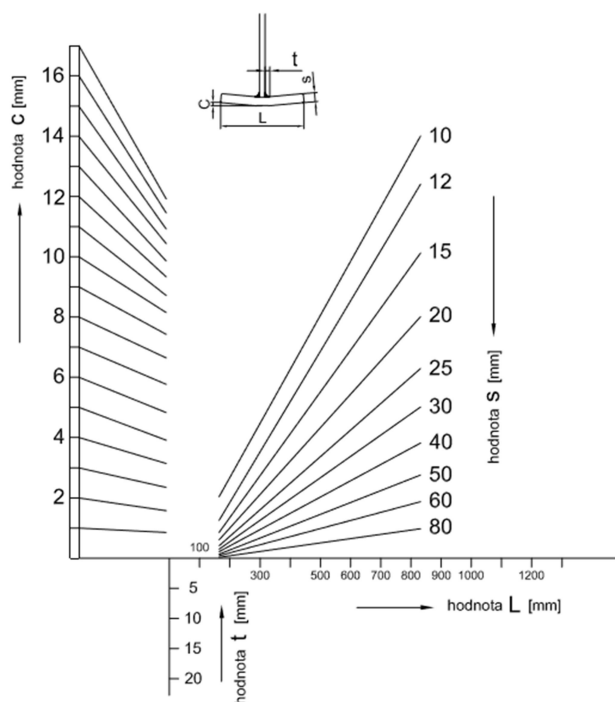
úhlová deformace při svařování koutovým svarem – určení úhlu (odhad předehtnutí)

**Tabulka 11: Závislost poměru šířky svaru ku**

**tloušťce pásnice a úhlové deformaci**



**Obrázek 54: Úhlová deformace - úhel**



**Obrázek 55: Závislost šířky a tloušťky pásnice a úhlové deformaci [5]**

$$\alpha = 0,1 \cdot \left( \frac{a}{s} - 0,1 \right) \quad (7.7)$$

kde:  $\alpha$  – úhlová deformace [ $^\circ$ ]

$a$  – velikost svaru [mm]

$s$  – tloušťka plechu [mm]

## 8. Výpočty

teplo vnesené během svařování to materiálu

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{V_{sv}} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 500}{6,3} = 1\,985 \text{ J/mm}$$

příčné smrštění pásnice při svařování koutovým svarem

$$\text{pro dolní pásnici - } S_p = 13 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{V_{sv}} \cdot \frac{1}{s_1 + \frac{s_2}{2}} = 13 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1985}{6,3} \cdot \frac{1}{40 + \frac{30}{2}} = 7,45 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\text{pro horní pásnici - } S_p = 13 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{V_{sv}} \cdot \frac{1}{s_1 + \frac{s_2}{2}} = 13 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1985}{6,3} \cdot \frac{1}{30 + \frac{40}{2}} = 8,19 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

podélné smrštění pásnice při svařování tupým svarem

pro dolní pásnici – nosník délky 13,5 m a 24 m

$$S_{pod} = 0,012 \cdot \frac{I \cdot L}{100 \cdot s} = 0,012 \cdot \frac{500 \cdot 13\,500 / 24\,000}{100 \cdot 40} = 20,25 / 36 \text{ mm}$$

pro horní pásnici – nosník délky 13,5 m a 24 m

$$S_{pod} = 0,012 \cdot \frac{I \cdot L}{100 \cdot s} = 0,012 \cdot \frac{500 \cdot 13\,500 / 24\,000}{100 \cdot 30} = 27 / 48 \text{ mm}$$

podélné smrštění pásnice při svařování koutovým svarem

$$\begin{aligned} \text{plocha svařence v řezu - } S_n &= S_{sp} + S_{st} + S_{hp} = 500 \cdot 40 + 930 \cdot 30 + 500 \cdot 30 \\ &= 62900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

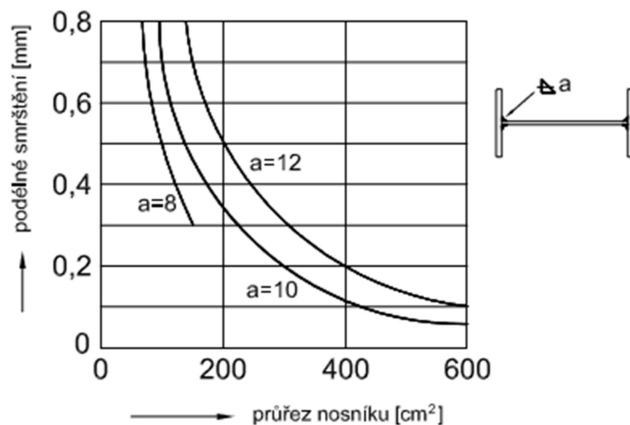
$$\text{plocha svaru v řezu - } S_{sv} = \frac{1}{2} \cdot (a \cdot a) = \frac{1}{2} \cdot (5 \cdot 5) = 12,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{poměr ploch - } p = \frac{S_{sv}}{S_n} = \frac{12,5}{62\,900} = 1 / 5\,032$$

**Tabulka č.12: Závislost poměru průřezů svaru ku průřezu nosníku a podélné deformaci**

Poměr $S_n / S_{sv}$	1 / 50	1 / 80	1 / 150
velikost smrštění [mm/m]	1	0,3	0,1

**Tabulka č.13: Závislost poměru velikosti svaru, průřezu nosníku a podélné deformaci**



Po aproximaci pro velikost svaru 5 mm a plochy 629 cm<sup>2</sup> – podélné smrštění je cca **0,05 mm** na **1 m** délky svaru – tzn. na **13,5 m** je  $\Delta L = \text{max. } 1 \text{ mm}$  / na **24 m** je  $\Delta L = \text{max. } 2 \text{ mm}$

úhlová deformace při svařování koutovým svarem – určení rozměru (odhad předehtutí)

pro dolní pásnici -  $c = \frac{a \cdot b}{k \cdot s} = \frac{5 \cdot 5}{30 \cdot 40} = 0,02 \text{ mm}$

pro horní pásnici -  $c = \frac{a \cdot b}{k \cdot s} = \frac{5 \cdot 5}{30 \cdot 40} = 0,028 \text{ mm}$

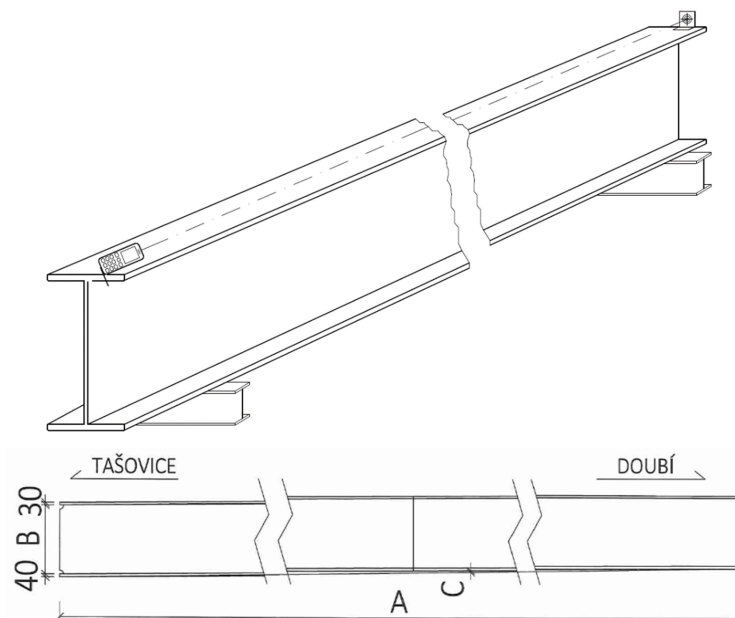
úhlová deformace při svařování koutovým svarem – určení úhlu (odhad předehtutí)

pro dolní pásnici -  $\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{a}{s} - 0,1\right) = 0,1 \cdot \left(\frac{5}{40} - 0,1\right) = 0,0875^\circ$

pro horní pásnici -  $\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{a}{s} - 0,1\right) = 0,1 \cdot \left(\frac{5}{30} - 0,1\right) = 0,0833^\circ$

## 9. Měření

### 9.1 Měření délek nosníků



Obrázek 56: Měření délky nosníku

Tabulka 14: Měření délky nosníku- hodnoty

kratší nosník - A = 13 500 mm

		A [mm]	B [mm]	C [mm]
Nosník 1	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 505	931	10
	odchylka	5	1	1
Nosník 2	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 503	931	10
	odchylka	3	1	1
Nosník 3	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 503	931	11
	odchylka	3	1	2
Nosník 4	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 504	928	10
	odchylka	4	-2	1
Nosník 5	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 501	929	10
	odchylka	1	-1	1
Nosník 6	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 498	929	9
	odchylka	-2	-1	0

delší nosník - A = 24 000 mm

		A [mm]	B [mm]	C [mm]
Nosník 1	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 005	931	50
	odchylka	5	1	4
Nosník 2	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 004	929	49
	odchylka	4	-1	3
Nosník 3	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 006	930	50
	odchylka	6	0	4
Nosník 4	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 005	932	51
	odchylka	5	2	5
Nosník 5	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 004	931	50
	odchylka	4	1	4
Nosník 6	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 003	930	49
	odchylka	3	0	3



Nosník 7	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 501	930	10
	odchylka	1	0	1
Nosník 8	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 504	927	10
	odchylka	4	-3	1
Nosník 9	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 505	931	10
	odchylka	5	1	1
Nosník 10	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 497	930	11
	odchylka	-3	0	2
Nosník 11	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 507	931	10
	odchylka	7	1	1
Nosník 12	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 499	929	10
	odchylka	-1	-1	1

průměrný nosník - A = 13 500 mm

Nosník X	nominál	13 500	930	9
	naměřeno	13 502,3	929,8	10,1
	odchylka	2,25	-0,25	1,08

Nosník 7	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 007	931	50
	odchylka	7	1	4
Nosník 8	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 006	932	49
	odchylka	6	2	3
Nosník 9	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 006	930	50
	odchylka	6	0	4
Nosník 10	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 007	929	50
	odchylka	7	-1	4
Nosník 11	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 002	931	51
	odchylka	2	1	5
Nosník 12	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 011	931	50
	odchylka	11	1	4

průměrný nosník - A = 24 000 mm

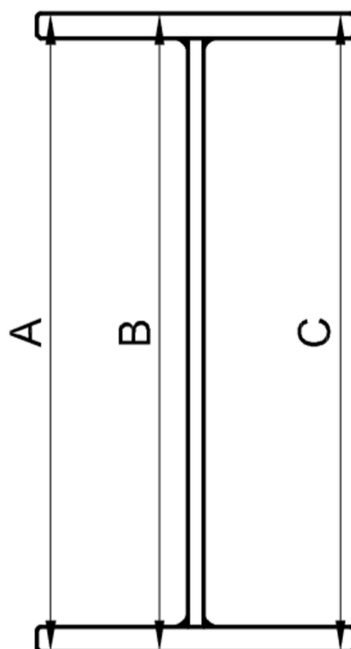
Nosník Y	nominál	24 000	930	46
	naměřeno	24 005,5	930,6	49,9
	odchylka	5,50	0,58	3,92

nominál – hodnota teoretické délky nosníku, zde 13 500 mm a 24 000 mm

naměřeno – hodnota skutečné délky nosníku

odchylka – rozdíl teoretické a skutečné délky nosníku

## 9.2 Měření rozměrů krajních profilů nosníků



Obrázek 57: Měření odchylek profilu nosníku I

Tabulka 15: Velikosti rozměrových odchylek tvaru průřezu nosníku

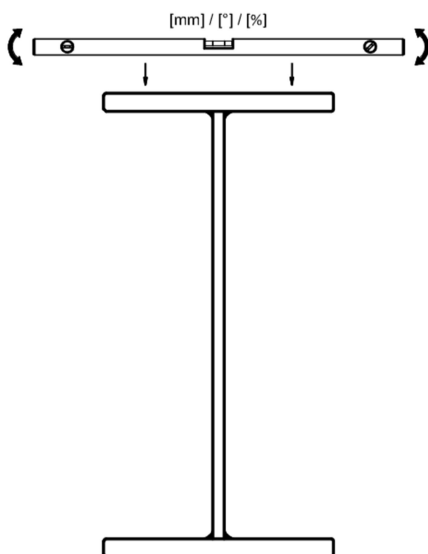
Nosník 13,5 m - ZAČÁTEK / KONEC							Nosník 24 m - ZAČÁTEK / KONEC						
	A [mm]	B [mm]	C [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]		A [mm]	B [mm]	C [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]
1	2	2	4	-1	-1	0	1	1	1	3	2	2	4
2	3	2	0	0	0	2	2	0	0	1	4	2	0
3	10	3	1	6	0	-5	3	2	1	2	4	3	1
4	10	1	4	8	-1	-5	4	2	0	1	0	1	4
5	8	3	5	2	-2	-2	5	1	0	2	2	3	5
6	2	3	2	1	0	0	6	1	0	2	5	3	2
7	-1	1	3	1	-2	-2	7	5	1	-1	-1	1	3
8	2	4	7	6	-3	-8	8	3	2	7	2	4	7
9	0	2	4	3	-1	-5	9	1	0	0	0	2	4
10	1	1	1	0	1	1	10	5	0	-4	1	1	1
11	2	1	-1	6	2	1	11	4	3	2	2	1	-1
12	5	4	4	2	0	-1	12	1	0	3	5	4	4

průměrný nosník - L = 13 500 mm

průměrný nosník - L = 24 000 mm

	A [mm]	B [mm]	C [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]		A [mm]	B [mm]	C [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]
X	3,67	2,25	2,83	2,83	-0,58	-2,00	Y	2,17	0,67	1,50	2,17	2,25	2,83

### 9.3 Měření odchylek krajních profilů nosníků I



Obrázek 58: Měření odchylek profilu nosníku II

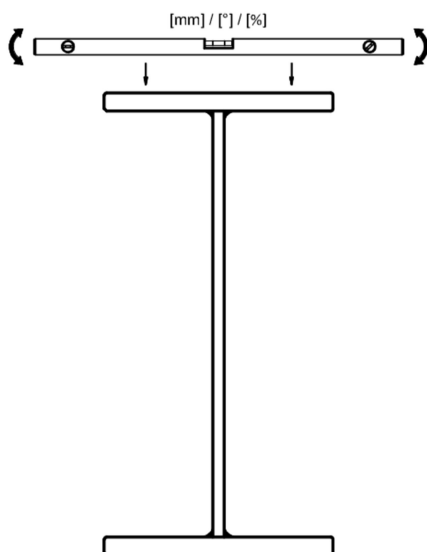
Tabulka 16: Velikosti odchylek tvaru průřezu nosníku I

Nosník 13,5 m - ZAČÁTEK / KONEC						
	odchylka [mm]	odchylka [°]	odchylka [%]	odchylka [mm]	odchylka [°]	odchylka [%]
1.	1,00	0,05	0,10	7,00	0,40	0,70
2.	2,00	0,10	0,20	8,00	0,50	0,80
3.	18,00	1,10	1,80	2,00	0,10	0,20
4.	13,00	0,70	1,30	16,00	0,90	1,60
5.	10,00	0,60	1,00	13,00	0,70	3,20
6.	10,00	0,50	1,00	8,00	0,40	0,80
7.	8,00	0,40	0,80	3,00	0,20	0,30
8.	7,00	0,40	0,70	11,00	0,60	1,10
9.	14,00	0,80	1,40	10,00	0,70	2,90
10.	5,00	0,30	0,50	16,00	0,70	2,70
11.	1,00	0,05	0,10	3,00	0,20	0,30
12.	8,00	0,40	0,80	1,00	0,05	0,10

průměrný nosník - L = 13 500 mm

	odchylka [mm]	odchylka [°]	odchylka [%]	odchylka [mm]	odchylka [°]	odchylka [%]
X	8,08	0,45	0,81	8,16	0,45	1,23

## 9.4 Měření odchylek krajních profilů nosníků II



Obrázek 58: Měření odchylek profilu nosníku II

Tabulka 17: Velikosti odchylek tvaru průřezu nosníku II

Nosník 24 m - ZAČÁTEK / KONEC						
	odchylka [mm/m]	odchylka [°]	odchylka [%]	odchylka [mm/m]	odchylka [°]	odchylka [%]
1.	3,00	0,20	0,30	2,00	0,10	0,20
2.	1,00	0,10	0,10	12,00	0,70	1,20
3.	9,00	0,50	0,90	5,00	0,30	0,50
4.	6,00	0,30	0,60	9,00	0,50	0,90
5.	4,00	0,20	0,40	7,00	0,40	0,70
6.	0,00	0,00	0,00	5,00	0,30	0,50
7.	12,00	0,70	1,20	9,00	0,50	0,90
8.	9,00	0,50	0,90	6,00	0,40	0,60
9.	1,00	0,05	0,10	7,00	0,40	0,70
10.	19,00	1,10	2,00	4,00	0,20	0,40
11.	2,00	0,10	0,20	10,00	0,60	0,10
12.	5,00	0,30	0,60	5,00	0,30	0,50

průměrný nosník - L = 24 000 mm

	odchylka [mm/m]	odchylka [°]	odchylka [%]	odchylka [mm/m]	odchylka [°]	odchylka [%]
Y	5,92	0,34	0,61	7,25	0,39	0,60

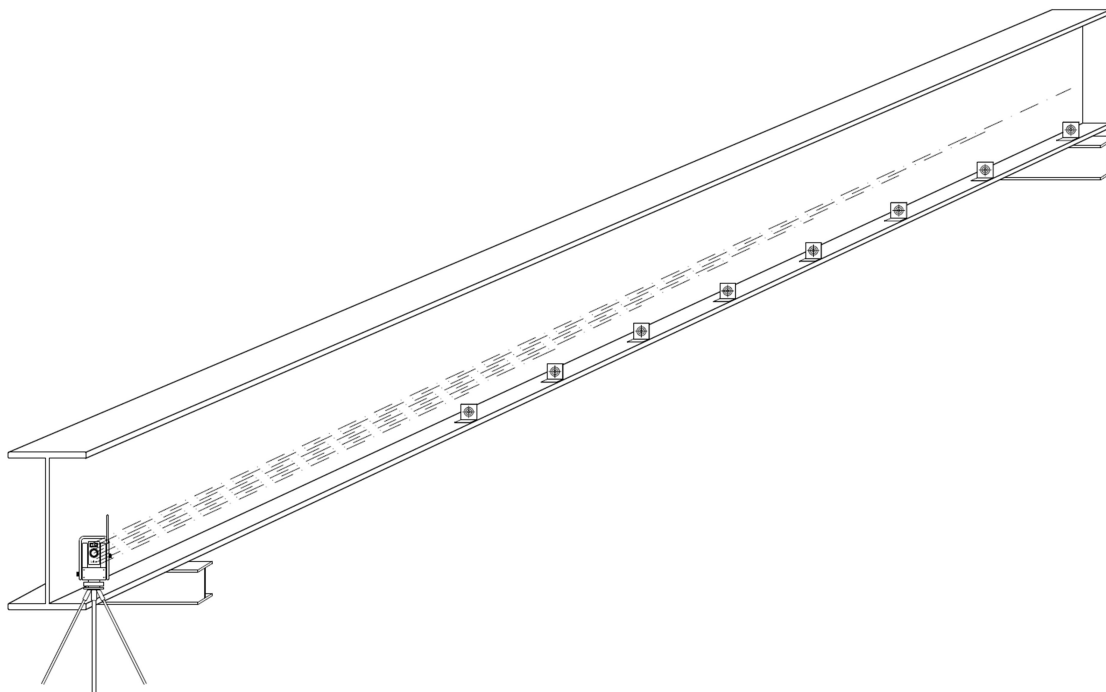
## 9.5 Měření deformací dílců – před konečným svařením

Měření polohy kontrolních bodů umístěných na nosníku - posouzení odchylky v ose x / y / z  
oproti teoretické poloze

osa x – vyhnutí profilu do strany tzv. vyboulení

osa y – prodloužení / zkrácení délky profilu

osa z – nadvýšení profilu



**Obrázek 59: Měření deformace profilu nosníku**

**Stroj : TS 12 P**

**Přesnost :  $\delta_{xyz} = 3 \text{ mm}$**

**Teplota : 18 °C**

**+ dx ... vpravo ve směru staničení – jedná se o deformaci „vyhnutí“ doprava**

**- dx ... vlevo ve směru staničení – jedná se o deformaci „vyhnutí“ doleva**

**- dy ... vzadu ve směru staničení (kratší) – jedná se o deformaci „zkrácení“**

**+ dy ... vpředu ve směru staničení (delší) – jedná se o deformaci „prodloužení“**

**- dz ... níže – jedná se o deformaci „menší nadvýšení“**

**+ dz ... výše – jedná se o deformaci „větší nadvýšení“**

Tabulka 18: Deformace profilu nosníku

nosník	označení kontrolního místa	Projekt			Měření			ROZDÍLY ( M - P )			
		lokál			lokál			dy [mm]	dy (10°C) [mm]	dx [mm]	dz [mm]
		x [m]	y [m]	z-výr [m]	y [m]	x [m]	z [m]				
1	P.01.01	0,100	0,250	0,011	0,101	0,250	0,011	1	1	0	0
	P.01.02	0,500	0,250	0,015	0,501	0,250	0,014	1	1	0	-1
	P.01.03	6,250	0,250	0,068	6,251	0,245	0,058	1	0	-5	-10
	P.01.04	12,000	0,250	0,110	12,000	0,243	0,102	0	-1	-7	-8
	P.01.05	17,750	0,250	0,130	17,748	0,249	0,122	-2	-4	-1	-8
	P.01.06	23,500	0,250	0,120	23,497	0,250	0,121	-3	-5	0	1
	P.01.07	24,500	0,250	0,115	24,499	0,250	0,120	-1	-3	0	5
	P.01.08	30,750	0,250	0,072	30,759	0,255	0,075	9	6	5	3
	P.01.09	37,000	0,250	0,015	37,008	0,251	0,021	8	4	1	6
	P.01.10	37,400	0,250	0,011	37,399	0,250	0,016	-1	-5	0	5
L.01.02	0,500	-0,250	0,015	0,501	-0,251	0,017	1	1	-1	2	
	37,000	-0,250	0,015	36,997	-0,250	0,021	-3	-7	0	6	
2	P.02.01	0,100	0,250	0,011	0,104	0,250	0,012	4	4	0	1
	P.02.02	0,500	0,250	0,015	0,503	0,251	0,017	3	3	1	2
	P.02.03	6,250	0,250	0,068	6,253	0,248	0,065	3	2	-2	-3
	P.02.04	12,000	0,250	0,110	12,003	0,244	0,090	3	2	-6	-20
	P.02.05	17,750	0,250	0,130	17,744	0,250	0,115	-6	-8	0	-15
	P.02.06	23,500	0,250	0,120	23,494	0,249	0,123	-6	-8	-1	3
	P.02.07	24,500	0,250	0,115	24,501	0,251	0,123	1	-1	1	8
	P.02.08	30,750	0,250	0,072	30,755	0,254	0,076	5	2	4	4
	P.02.09	37,000	0,250	0,015	37,004	0,247	0,023	4	0	-3	8
	P.02.10	37,400	0,250	0,011	37,404	0,246	0,019	4	0	-4	8
L.02.02	0,500	-0,250	0,015	0,508	-0,253	0,017	8	8	-3	2	
	37,000	-0,250	0,015	37,001	-0,254	0,024	1	-3	-4	9	
3	P.03.01	0,100	0,250	0,011	0,099	0,250	0,008	-1	-1	0	-3
	P.03.02	0,500	0,250	0,015	0,499	0,250	0,012	-1	-1	0	-3
	P.03.03	6,250	0,250	0,068	6,247	0,245	0,060	-3	-4	-5	-8
	P.03.04	12,000	0,250	0,110	11,997	0,244	0,099	-3	-4	-6	-11
	P.03.05	17,750	0,250	0,130	17,745	0,256	0,125	-5	-7	6	-5
	P.03.06	23,500	0,250	0,120	23,495	0,257	0,117	-5	-7	7	-3
	P.03.07	24,500	0,250	0,115	24,509	0,252	0,117	9	7	2	2
	P.03.08	30,750	0,250	0,072	30,754	0,244	0,074	4	1	-6	2
	P.03.09	37,000	0,250	0,015	37,003	0,250	0,019	3	-1	0	4
	P.03.10	37,400	0,250	0,011	37,402	0,252	0,015	2	-2	2	4
L.03.02	0,500	-0,250	0,015	0,498	-0,253	0,017	-2	-2	-3	2	
	37,000	-0,250	0,015	37,004	-0,251	0,020	4	0	-1	5	
4	P.04.01	0,100	0,250	0,011	0,100	0,244	0,008	0	0	-6	-3
	P.04.02	0,500	0,250	0,015	0,501	0,244	0,012	1	1	-6	-3
	P.04.03	6,250	0,250	0,068	6,250	0,249	0,064	0	-1	-1	-4
	P.04.04	12,000	0,250	0,110	11,999	0,253	0,112	-1	-2	3	2
	P.04.05	17,750	0,250	0,130	17,749	0,259	0,133	-1	-3	9	3
	P.04.06	23,500	0,250	0,120	23,498	0,263	0,118	-2	-4	13	-2
	P.04.07	24,500	0,250	0,115	24,504	0,258	0,116	4	2	8	1
	P.04.08	30,750	0,250	0,072	30,752	0,256	0,073	2	-1	6	1
	P.04.09	37,000	0,250	0,015	37,002	0,251	0,019	2	-2	1	4
	P.04.10	37,400	0,250	0,011	37,401	0,252	0,016	1	-3	2	5
L.04.02	0,500	-0,250	0,015	0,502	-0,255	0,013	2	2	-5	-2	
	37,000	-0,250	0,015	37,001	-0,249	0,020	1	-3	1	5	

5	P.05.01	0,100	0,250	0,011	0,101	0,246	0,009	1	1	-4	-2
	P.05.02	0,500	0,250	0,015	0,502	0,245	0,011	2	2	-5	-4
	P.05.03	6,250	0,250	0,068	6,251	0,246	0,070	1	0	-4	2
	P.05.04	12,000	0,250	0,110	12,001	0,249	0,108	1	0	-1	-2
	P.05.05	17,750	0,250	0,130	17,749	0,250	0,125	-1	-3	0	-5
	P.05.06	23,500	0,250	0,120	23,500	0,259	0,119	0	-2	9	-1
	P.05.07	24,500	0,250	0,115	24,503	0,261	0,115	3	1	11	0
	P.05.08	30,750	0,250	0,072	30,753	0,260	0,075	3	0	10	3
	P.05.09	37,000	0,250	0,015	37,002	0,255	0,018	2	-2	5	3
	P.05.10	37,400	0,250	0,011	37,402	0,255	0,015	2	-2	5	4
	L.05.02	0,500	-0,250	0,015	0,503	-0,255	0,012	3	3	-5	-3
L.05.09	37,000	-0,250	0,015	37,001	-0,245	0,020	1	-3	5	5	
6	P.06.01	0,100	0,250	0,011	0,096	0,251	0,011	-4	-4	1	0
	P.06.02	0,500	0,250	0,015	0,496	0,249	0,022	-4	-4	-1	7
	P.06.03	6,250	0,250	0,068	6,245	0,249	0,068	-5	-6	-1	0
	P.06.04	12,000	0,250	0,110	11,997	0,251	0,107	-3	-4	1	-3
	P.06.05	17,750	0,250	0,130	17,744	0,255	0,122	-6	-8	5	-8
	P.06.06	23,500	0,250	0,120	23,493	0,264	0,120	-7	-9	14	0
	P.06.07	24,500	0,250	0,115	24,508	0,267	0,107	8	6	17	2
	P.06.08	30,750	0,250	0,072	30,756	0,262	0,074	6	3	12	2
	P.06.09	37,000	0,250	0,015	37,006	0,261	0,020	6	2	11	5
	P.06.10	37,400	0,250	0,011	37,404	0,262	0,015	4	0	12	4
	L.06.02	0,500	-0,250	0,015	0,494	-0,249	0,013	-6	-6	1	-2
L.06.09	37,000	-0,250	0,015	37,004	-0,241	0,020	4	0	9	5	
7	P.07.01	0,100	0,250	0,011	0,102	0,247	0,011	2	2	-3	0
	P.07.02	0,500	0,250	0,015	0,502	0,246	0,014	2	2	-4	-1
	P.07.03	6,250	0,250	0,068	6,249	0,257	0,066	-1	-2	7	-2
	P.07.04	12,000	0,250	0,110	11,999	0,254	0,102	-1	-2	4	-8
	P.07.05	17,750	0,250	0,130	17,753	0,251	0,122	3	1	1	-8
	P.07.06	23,500	0,250	0,120	23,502	0,253	0,120	2	0	3	0
	P.07.07	24,500	0,250	0,115	24,503	0,257	0,116	3	1	7	1
	P.07.08	30,750	0,250	0,072	30,751	0,262	0,079	1	-2	12	7
	P.07.09	37,000	0,250	0,015	37,000	0,251	0,018	0	-4	1	3
	P.07.10	37,400	0,250	0,011	37,401	0,250	0,015	1	-3	0	4
	L.07.02	0,500	-0,250	0,015	0,507	-0,255	0,013	7	7	-5	-2
L.07.09	37,000	-0,250	0,015	36,999	-0,252	0,019	-1	-5	-2	4	
8	P.08.01	0,100	0,250	0,011	0,102	0,252	0,009	2	2	2	-2
	P.08.02	0,500	0,250	0,015	0,501	0,252	0,012	1	1	2	-3
	P.08.03	6,250	0,250	0,068	6,251	0,264	0,068	1	0	14	0
	P.08.04	12,000	0,250	0,110	12,000	0,264	0,106	0	-1	14	-4
	P.08.05	17,750	0,250	0,130	17,747	0,265	0,129	-3	-5	15	-1
	P.08.06	23,500	0,250	0,120	23,498	0,264	0,118	-2	-4	14	-2
	P.08.07	24,500	0,250	0,115	24,500	0,261	0,114	0	-2	11	-1
	P.08.08	30,750	0,250	0,072	30,750	0,261	0,076	0	-3	11	4
	P.08.09	37,000	0,250	0,015	36,999	0,257	0,017	-1	-5	7	2
	P.08.10	37,400	0,250	0,011	37,400	0,267	0,013	0	-4	7	2
	L.08.02	0,500	-0,250	0,015	0,503	-0,249	0,012	3	3	1	-3
L.08.09	37,000	-0,250	0,015	36,999	-0,244	0,017	-1	-5	6	2	

9	P.09.01	0,100	0,250	0,011	0,094	0,254	0,009	-6	-6	4	2
	P.09.02	0,500	0,250	0,015	0,494	0,253	0,012	-6	-6	3	-1
	P.09.03	6,250	0,250	0,068	6,244	0,265	0,068	-6	-7	15	-14
	P.09.04	12,000	0,250	0,110	11,994	0,263	0,106	-6	-7	13	-7
	P.09.05	17,750	0,250	0,130	17,753	0,268	0,129	3	1	18	4
	P.09.06	23,500	0,250	0,120	23,504	0,266	0,118	4	2	16	-2
	P.09.07	24,500	0,250	0,115	24,503	0,262	0,114	3	1	12	0
	P.09.08	30,750	0,250	0,072	30,758	0,265	0,076	8	5	15	1
	P.09.09	37,000	0,250	0,015	37,009	0,263	0,017	9	5	13	3
	P.09.10	37,400	0,250	0,011	37,408	0,262	0,013	8	4	12	4
L.09.02	0,500	-0,250	0,015	0,495	-0,250	0,012	-5	-5	0	-2	
	L.09.09	37,000	-0,250	0,015	37,008	-0,239	0,017	8	4	11	4
10	P.10.01	0,100	0,250	0,011	0,095	0,242	0,013	-5	-5	-8	2
	P.10.02	0,500	0,250	0,015	0,497	0,242	0,015	-3	-3	-8	0
	P.10.03	6,250	0,250	0,068	6,244	0,251	0,061	-6	-7	1	-7
	P.10.04	12,000	0,250	0,110	11,997	0,260	0,099	-4	-5	10	-11
	P.10.05	17,750	0,250	0,130	17,750	0,252	0,123	1	-1	2	-7
	P.10.06	23,500	0,250	0,120	23,500	0,253	0,120	2	0	3	0
	P.10.07	24,500	0,250	0,115	24,508	0,247	0,117	10	8	-3	2
	P.10.08	30,750	0,250	0,072	30,759	0,253	0,077	8	5	3	5
	P.10.09	37,000	0,250	0,015	37,008	0,258	0,020	7	3	8	5
	P.10.10	37,400	0,250	0,011	37,408	0,258	0,015	8	4	8	4
L.10.02	0,500	-0,250	0,015	0,497	-0,259	0,015	-3	-3	-9	0	
	L.10.09	37,000	-0,250	0,015	37,010	-0,244	0,020	7	3	6	5
11	P.11.01	0,100	0,250	0,011	0,096	0,242	0,014	-4	-4	-8	3
	P.11.02	0,500	0,250	0,015	0,498	0,242	0,015	-2	-2	-8	0
	P.11.03	6,250	0,250	0,068	6,245	0,257	0,064	-5	-6	7	-4
	P.11.04	12,000	0,250	0,110	11,997	0,264	0,101	-3	-4	14	-9
	P.11.05	17,750	0,250	0,130	17,750	0,259	0,128	0	-2	9	-2
	P.11.06	23,500	0,250	0,120	23,500	0,252	0,118	0	-2	2	-2
	P.11.07	24,500	0,250	0,115	24,508	0,247	0,116	8	6	-3	1
	P.11.08	30,750	0,250	0,072	30,759	0,245	0,070	9	6	-5	-2
	P.11.09	37,000	0,250	0,015	37,008	0,254	0,019	8	4	4	4
	P.11.10	37,400	0,250	0,011	37,408	0,255	0,013	8	4	5	2
L.11.02	0,500	-0,250	0,015	0,497	-0,259	0,014	-3	-3	-9	-1	
	L.11.09	37,000	-0,250	0,015	37,010	-0,247	0,018	10	6	3	3
12	P.12.01	0,100	0,250	0,011	0,094	0,240	0,014	-6	-6	-10	3
	P.12.02	0,500	0,250	0,015	0,494	0,242	0,016	-6	-6	-8	1
	P.12.03	6,250	0,250	0,068	6,244	0,254	0,063	-6	-7	4	-5
	P.12.04	12,000	0,250	0,110	11,995	0,263	0,094	-5	-6	13	-16
	P.12.05	17,750	0,250	0,130	17,755	0,258	0,116	5	3	8	-14
	P.12.06	23,500	0,250	0,120	23,506	0,250	0,119	6	4	0	-1
	P.12.07	24,500	0,250	0,115	24,507	0,247	0,119	7	5	-3	4
	P.12.08	30,750	0,250	0,072	30,757	0,254	0,078	7	4	4	6
	P.12.09	37,000	0,250	0,015	37,008	0,262	0,021	8	4	12	6
	P.12.10	37,400	0,250	0,011	37,408	0,262	0,016	8	4	12	5
L.12.02	0,500	-0,250	0,015	0,495	-0,258	0,017	-5	-5	-8	2	
	L.12.09	37,000	-0,250	0,015	37,006	-0,240	0,021	6	2	10	6

Graficky zakresleno v příloze č.5



## Diskuze k vypočteným a naměřeným hodnotám

Příčné smrštění pásnic se při úvahách o deformacích zpravidla zanedbává, protože jejich hodnota je zcela zanedbatelná. Výpočet potvrdil správnost této úvahy, když hodnoty pro spodní 40 mm i horní 30 mm pásnici jsou v řádech  $10^{-5}$  mm.

Podélné smrštění pásnic je oproti příčnému znatelnější. Ve výpočtu je uveden dvojitý druh podélného smrštění, a to ve variantě „tupý svar“ a „koutový svar“. Byl zjištěn zásadní rozdíl ve velikosti deformace způsobené především konstrukcí svařence. Tupý svar má při zkoumaných délkách nosníku 13,5 a 24 m podélnou deformaci v řádech desítek mm (20 – 48 mm), kdežto koutový pouze v řádu jednotek mm (1 – 2 mm) na plnou délku nosníků.

Naměřené deformace (změny délek) jsou přibližně trojnásobné oproti hodnotám vypočteným, ale toto nijak neovlivní funkci svařence – pouze v jediném případě byla překročena povolená mezní úchylka v nejpřísnější toleranční třídě A – ta má pro délku 13,5 m hodnotu  $\pm 7$  mm a pro 24 m hodnotu  $\pm 9$  mm [7]

Deformace profilu v jeho průřezu vykazují značný rozdíl ve vypočtených a naměřených hodnotách. Vypočtené jsou v řádu setin mm (0,2 / 0,28 mm) v rozměru a rovněž setinách stupňů (0,09 / 0,08 °) v úhlu, naměřené je řádově převyšují - cca 8 / 6 a 7 mm v rozměru a 0,45 / 0,35 a 0,4°. Zde již hodnoty vykazují příslušnost k širší toleranční třídě – B v průměrných hodnotách a třídě C v jednotlivých případech.. [7]

Deformace profilu v délce viz. tabulka č. 18 a graficky příloha č.5 až na výjimečné příklady nepřekračují hodnoty toleranční třídy B a to ve všech třech osách (x,y,z) reprezentujících osa x – vyhnutí profilu do strany tzv. vyboulení, osa y – prodloužení / zkrácení délky profilu a osa z – nadvýšení profilu. [7]

## Závěr

Cílem této práce je náhled do problematiky predikace velikosti deformací svařovaných konstrukcí – v tomto případě ocelovém mostním nosníku. Ze zde provedených výpočtů a naměřených hodnot je nutno říci, že obě metody se rozcházejí výsledkově, ovšem vzhledem k celkovým rozměrům a příslušné toleranci a dále k využití svařence coby mostní díl jsou to výsledky uspokojivé. Větší shody výpočetních s reálně naměřenými hodnotami by se jistě dosáhlo využitím pokročilejších matematických metod (viz. úvod – MKP) – zhodnocení nutnosti jejich využití je na každém podniku (ekonomické a personální náklady vs. návratnost investic). Dalším faktorem, který ovlivní výslednou větší shodu teoretických výpočtů a naměřených je samotná výroba – především kvalita a zkušenost obsluhy, podíl automatizace, průběžné kontroly během procesu a vybavení dílen a provozu.

## Použitá literatura

- [1] Ing. HÄNSCH, Hans a Ing. KREBS, Johannes (překlad BAUDISCH, František). *Deformace a pnutí ve svařovaných konstrukcích*. SNTL Praha, 1964, 182 s., DT 621.791.052
- [2] Ing. PILOUS, Václav CSc. *Konstruktér a tavné svařování oceli*. SNTL Praha, 1964, 216 s., DT 621.791.76
- [3] OKERBLOM, Nikolaj Oskarovič (překlad Ing. PILOUS, Václav CSc. a Ing. TAUCHEN, Josef). *Konstrukčně-technologické projektování svařovaných konstrukcí*. SNTL Praha, 1971, 400 s., DT 621.791.052
- [4] Ing. HUDEC, Zdeněk. *Deformace a napětí při svařování*. TU Liberec, 1998, 76 s., ISBN 80-7083-313-0
- [5] doc. Ing. MORAVEC, Jaromír Ph.D. a kolektiv. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování*. DOM-ZO 13 a TU Liberec, 2017, 404 s.
- [6] Tobiáš CRLA, *Vliv parametrů svařování na úhlové deformaci svaru*. BP na VUT-FSI Brno, 2015, 37 s.
- [7] Historie svařování [online]. [cit. 2006-06-14]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2006061401>
- [8] Počátky svařování ve Škodových závodech [online]. [cit. 2005-12-01]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=30>
- [9] Svařování [online]. [cit. 2012-09-30]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/SVA%C5%98OV%C3%81N%C3%8D-UT.pdf>
- [10] Metody [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>
- [11] Svařování [online]. [cit. - ]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6977135-Svarovani-1-1-1-podstata-ucel-pouziti-vyhody-nevyhody-a-rozdeleni-svarovani.html>
- [12] Kování [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/kovani>
- [13] Svařování MIG/MAG, MIG svařování, MAG svařování, svařování plněnou elektrodou [online]. [cit. 2019-08-05 ]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2>
- [14] Perspektivní metody spojování materiálů – přivařování svorníků [online]. [cit. 5.8.2019 ]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U12110/vyzkum/Trebon09/cd/AR/Va.pdf>
- [15] Bc. Mojmír VANĚK, Predikce deformací svarových spojů pomocí počítačové simulace . DP na VUT-FSI Brno, 2012, 98 s.
- [16] Žihání [online]. [cit. 2011]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11238009/>
- [17] Stanislav KŘÍŽEK, *Nové materiály ve svařování*. BP na VUT-FSI Brno, 2008, 27 s.
- [18] VarioSynergic 5000 – HBT Weld s.r.o. [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <http://www.hbt-weld.cz/katalog/variosynergic-5000/>
- [19] Podavač drátu Fronius VR 3300 – X náradí [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.xnaradi.cz/svarovaci-technika/prislusenstvi/podavac-dratu-fronius-vr-3300.html>
- [20] Starmatic 1003P DS - Exapro[online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.exapro.com/saf-starmatic-1003p-ds-p80619006/>

- [21] NAREX EBU 15-16 C ÚHLOVÁ BRUSKA [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.rucni-naradi.cz/narex-ebu-15-16-c-uhlova-bruska>
- [22] Lamelový kotouč na ocel a nerez / zrno PF - ZIRKON | PROFIKRAFT [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.profikraft.cz/produkt/OM-IL180040/>
- [23] Laserový dálkoměr LEICA Disto D410 - Geopen.cz [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://geopen.cz/archiv-pristroju/459-laserovy-dalkomer-leica-disto-d410.html>
- [24] BOSCH DNM 60L Professional digitální vodováha | Rucni-naradi.cz [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.rucni-naradi.cz/bosch-dnm-60-l>
- [25] Měrka svarů šablona 1-5 Al >> Svářecí technika WELDPOINT [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.weldpoint.eu/shop/824-merka-svaru-sablona-1-5-al/>
- [26] Historie svařování [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/01Historie.pdf>

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Technická data VarioSynergic 5000.....	34
Tabulka 2: Technická data Fronius VR 3300 .....	34
Tabulka 3: Technická data Starmatic 103 DC.....	35
Tabulka 4: Technická data NAREX EBU 16-16 C.....	36
Tabulka 5: Technická data IL 150080.....	36
Tabulka 6: Technická data DISTO D410 .....	36
Tabulka 7: Technická data BOSCH DNM 60L .....	37
Tabulka 8: Technická data Měrka svarů .....	37
Tabulka 9: Závislost poměru velikosti svaru ku tloušťky stojiny a příčném smrštění .....	38
Tabulka 10: Závislost průřezu nosníku a podélném smrštění .....	39
Tabulka 11: Závislost poměru šířky svaru ku tloušťce pásnice a úhlové deformaci .....	41
Tabulka 12: Závislost poměru průřezů svaru ku průřezu nosníku a podélné deformaci .....	42
Tabulka 13: Závislost poměru velikosti svaru, průřezu nosníku a podélné deformaci .....	43
Tabulka 14: Měření délky nosníku – hodnoty .....	44
Tabulka 15: Velikosti rozměrových odchylek tvaru průřezu nosníku .....	46
Tabulka 16: Velikosti odchylek tvaru průřezu nosníku I .....	47
Tabulka 17: Velikosti odchylek tvaru průřezu nosníku II .....	48
Tabulka 18: Deformace profilu nosníku .....	50

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Kovářské svařování.....	9
Obrázek 2: Benardosův a Olszewského patent.....	10
Obrázek 3: Druhy svařování.....	11
Obrázek 4: Schéma svařování – MAG / 135 a MIG / 131.....	13
Obrázek 5: Schéma svařování – metoda SAW / 121.....	14
Obrázek 6: Schéma svařování – metoda MMA / 111.....	15
Obrázek 7: Postup svařování s použitím keramického kroužku.....	15
Obrázek 8: Vzájemná závislost napětí a deformace.....	16
Obrázek 9: Dvourozměrné teplotní pole.....	17
Obrázek 10: Trojrozměrné teplotní pole.....	17
Obrázek 11: Osové složky vnitřních pnutí u koutového svaru.....	18
Obrázek 12: Rozložení zbytkových napětí v koutovém svaru.....	18
Obrázek 13: Rozdělení vnitřních pnutí na nosnících v důsledku svařování tzv. „krčních svarů“.....	19
Obrázek 14: Žíhání ke snížení vnitřního pnutí – zakresleno v diagramu Fe – Fe <sub>3</sub> C.....	20
Obrázek 15 a: Deformace u styčnicku při koutovém svaru.....	21
Obrázek 15 b: Deformace u styčnicku při koutovém svaru – vliv podélného smrštění.....	21
Obrázek 16: Deformace při TUPÉM svaru.....	22
Obrázek 17: Deformace při koutovém jednostranném svaru.....	22
Obrázek 18: Závislost poměru velikosti svaru a tloušťky pásnice na velikosti úhlové deformace...22	
Obrázek 19: Vliv směru nastehování stojiny a pásnice nosníku.....	23
Obrázek 20: Uložení pásnice a přebroušení stykové plochy budoucího svaru – „pásniceXstojina“24	
Obrázek 21: Ustavení pásnice a stojiny a sestehování T profilu – „ pásniceXstojina “.....	24
Obrázek 22: Sestehování I profilu – „ pásniceXstojinaXpásnice “.....	25
Obrázek 23: Předehnutí nastehovaného I profilu – ohřev – kyslíko-acetylenovým plamenem.....	25
Obrázek 24: Uložení nastehovaného nosníku na svařovací přípravek.....	26
Obrázek 25 a: Provedení svaru automatickým svařováním pod tavidlem.....	26
Obrázek 25 b: Provedení svaru automatickým svařováním pod tavidlem.....	27
Obrázek 26: Polohovadlo pro otočení nosníku.....	27
Obrázek 27: Svar ve stadiu – nastehováno + zasypáno tavidlem.....	28

Obrázek 28: Svar ve stadiu – odstraňování strusky + hotový svar .....	28
Obrázek 29: Dílenská kontrola svařence I .....	28
Obrázek 30: Dílenská kontrola svařence II .....	29
Obrázek 31: Přivaření 2 ks jeřábových ok .....	29
Obrázek 32: Přivaření trnu + odstranění keramických kroužku + začištění svaru .....	30
Obrázek 33: Uložení dílců na venkovní přípravek – pro měření rozměrů a tvarových odchylek.....	30
Obrázek 34: Uložení dílců na venkovní přípravek – spasování s respektováním mezery pro finální svar.....	31
Obrázek 35: Spasování dílců nosníku s pomocí montážní pomůcky – zajištění správné mezery pro finální svar .....	31
Obrázek 36: Svaření jednotlivých dílů nosníku .....	32
Obrázek 37: Měření délky dílce .....	32
Obrázek 38: Kontrola rozměrů a tvaru krajních profilů nosníku.....	33
Obrázek 39: Měření deformací v délce profilu dílce .....	33
Obrázek 40: Svařovací zdroj VarioSynergic 5000.....	34
Obrázek 41: Podavač drátu Fronius VR 3300 .....	34
Obrázek 42: Svařovací zdroj Starmatic 103 DC .....	35
Obrázek 43: Sloupcový výložník se svařovacím automatem WST 1000.....	35
Obrázek 44: Bruska Narex EBU 16-16 C.....	36
Obrázek 45: Kotouč IL 150080 .....	36
Obrázek 46: Dálkoměr Disto D410 .....	36
Obrázek 47: Vodováha BOSCH DNM 60L .....	37
Obrázek 48: Měrka svarů .....	37
Obrázek 49: Tloušťky pásnice a stojiny .....	38
Obrázek 50: Závislost velikosti příčného smrštění na typu svaru.....	38
Obrázek 51: Tupý svar .....	39
Obrázek 52: Koutový – krční svar nosníku .....	39
Obrázek 53: Úhlová deformace - rozměr .....	40
Obrázek 54: Úhlová deformace - úhel .....	41
Obrázek 55: Závislost šířky a tloušťky pásnice a úhlové deformaci .....	41
Obrázek 56: Měření délky nosníku .....	44

Obrázek 57 Měření odchylek profilu nosníku I.....	46
Obrázek 58: Měření odchylek profilu nosníku II.....	47 / 48
Obrázek 59: Měření deformace profilu nosníku.....	49

## Seznam příloh

Příloha č.1 – Materiál – ocel S355.....	61
Příloha č.2 - Svařovací drát pro nastehování - OK_AristoRod_12_63 .....	62
Příloha č.3 - Svařovací drát pro svařování pod tavidlem - OK_AUTROD_12_20.....	63
Příloha č.4 - Tavidlo - OK_FLUX 10.72 .....	64
Příloha č.5 - Schéma odchylek zaměřených bodů.....	65



## Příloha č.1 – Materiál – ocel S355

Přehled vlastností oceli S355								1.0577	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	CSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S355J2G4 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; St 52-3 N podle DIN 17100; 11 503 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N	
	≤ 16	>16≤40	>40 <sup>1)</sup>	max.	max.	max.	max.	max.	
Složení hotového výrobku	0,20 <sup>2)</sup>	0,20 <sup>4)</sup>	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	
	0,23 <sup>5)</sup>	0,23 <sup>4)</sup>	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> MPA pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤ 16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	355	345	335	325	315	295	285	275	
	Pevnost v tahu R <sub>m</sub> MPA pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥ 3 ≤ 100				> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
	470-630				450-600		450-600		
	Minimální tažnost v % (L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm v <sup>6)</sup> :								
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	22		21		20		18		17
	Minimální nárazová práce KV (J) při - 20°C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm <sup>4), 6)</sup> :								
≤ 150				> 150 ≤ 250					
27 <sup>8)</sup>				27 <sup>8)</sup>					
Maximální hodnota CEV <sup>3)</sup>	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
0,45		0,47		0,47		0,49 <sup>7)</sup>			
<b>Technologické vlastnosti</b>									
Svažitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení, stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 (EN 1011).								
Tváření za tepla	Jsou-li dodané výrobky dále tvářené za tepla, splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žitání.								
Tvářitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S355JOC). To se týká i tažení za studena.								
<sup>1)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. <sup>2)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout <sup>3)</sup> hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV, stanovená z rozboru tavby se vypočte podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + (Cr+Mo+V) : 5 + (Ni+Cu) : 15 CEV je volitelný požadavek. <sup>4)</sup> pro jmenovitou tloušťku nad 30 mm a pro tváření za studena je obsah C max. 0,22 % resp. 0,24% v hotovém výrobku. <sup>5)</sup> je-li ocel určena k válcování za studena je obsah C max. 0,22% resp. 0,24% pro hotový výrobek. <sup>6)</sup> průměrná hodnota vypočtená výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odebírají ze zkušebního vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. <sup>7)</sup> pro dlouhé výrobky maximální hodnota CEV 0,54 <sup>8)</sup> pro podélný směr zkoušení									

## Příloha č.2 - Svařovací drát pro nastehování - OK\_AristoRod 12.63



# OK AristoRod 12.63

SFA/AWS A 5.18:ER 70S-6  
EN 440: G4Si1

### Použití:

Nepoměděný drát pro svařování nízkolegovaných jemnozrnných ocelí s minimální mezí kluzu do 460 MPa ve směsném plynu Ar/CO<sub>2</sub> nebo do 420 MPa v CO<sub>2</sub>. Drát umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový proces) a má krátký přenos oblouku v poloze vodorovné i mimo ni.

### Vhodnost pro svařování, např.:

P 235/S 235 až P 460/S 460 a jiné

### Klasifikace, certifikace:

ABS 3SA, 3YSA  
BV SA3YM  
CE EN 13479  
DB 42.039.27  
DNV III YMS  
GL 3YS  
LR 3S, 3YS  
TÜV 10051

další: CWB

### Ochranný plyn (EN439):

M21, C1

### Klasifikace svarového kovu:

EN 440 G 42 2 C G4Si1  
G 46 4 M G4Si1

### Svařovací proud: (+)

### Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,10	1,00	1,70

### Polohy svařování:



### Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

Podmínky	Stav	Plyn	R <sub>m</sub> MPa	R <sub>el</sub> (R <sub>p0,2</sub> ) MPa	A <sub>5</sub> (A <sub>4</sub> ) %	KV (J) <sup>°C</sup>				
						+20	-20	-30	-29	-40
EN	TZ 0	M21	595	525	26	130	90	70		60
EN	TZ 1	M21	385	520	28	120	90			
EN	TZ 0	C1	570	475	25	110	70			
AWS	TZ 0	C1	>480	(>400)	(>22)					>27

TZ 0 - stav po svařování, TZ 1 - stav po žihání 650°C/15h.

### Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výtěžnost svar. kovu g/100g drátu	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	60 - 185	18 - 24	95	14	3,2 - 10,0	0,8 - 2,5
1,0	80 - 300	18 - 32	96	16	2,7 - 15,0	1,0 - 5,5
1,2	120 - 380	18 - 35	97	18	2,3 - 15,0	1,2 - 8,0

**Balení:** viz. str. C97

## Příloha č.3 - Svařovací drát pro svařování pod tavidlem – OK AUTROD 12.20



# OK AUTROD 12.20

SFA/AWS A 5.17: EM 12  
EN 756: S 2

### Použití:

Poměděný drát určený pro svařování pod tavidlem a pro elektrostruskové svařování konstrukčních nelegovaných ocelí vyšší pevnosti, obvykle až do 580 MPa, dle kombinace s tavidlem. Je určen pro kombinaci s tavidly F 102, F 104, F 106, OK Flux 10.40, 10.62, 10.71, 10.81, 10.88.

### Klasifikace, certifikace drátu:

CE EN 13479  
DB 52.039.02  
Jiné: Sepros

### Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,10	<0,10	1,00

### Typické chemické složení čistého svarového kovu a jeho mechanické vlastnosti v kombinaci s tavidly (DC+):

OK 12.20+	C	Si	Mn	R <sub>m</sub> MPa	R <sub>eL</sub> MPa	A <sub>5</sub> %	KV (J)/°C				
							+20	0	-20	-40	-60
F 101	0,05	0,80	0,90	500	400	26	80				
F 102	0,04	0,60	1,40	500	400	28	100	60			
F 104	0,04	0,60	2,10								
F 106	0,04	0,60	1,60	540	450	27	80	60			
OK 10.40	0,05	0,60	1,50	500	395	28	70	65	40		
OK 10.47	0,04	0,30	0,90	455	365	29			110	70	
OK 10.71	0,05	0,30	1,35	510	410	29	135	125	80	55	
OK 10.72	0,05	0,20	1,50	500	420	30				100	50
OK 10.81	0,07	0,80	1,45	610	510	25	80	60	40		
OK 10.88	0,05	0,60	1,70	520	400	24		70	50		

### Klasifikace/certifikace kombinace OK Autrod 12.20 + tavidlo:

OK 10.40 ABS, DNV, GL, LR, BV, DB, CE, TÜV  
OK 10.47 DB, CE  
OK 10.71 ABS, DNV, GL, LR, BV, RS, RINA, TÜV, DB, CE  
OK 10.72 DB, CE, Sepros  
OK 10.81 ABS, DNV, GL, LR, BV, TÜV, CE, DB  
Podrobnosti jsou u příslušných tavidel v kapitole J.

### Balení:

průměr (mm)	cívka	hmotnost (kg)
1,6	76-0	15
2,0	76-0	15
2,5	76-0	15
3,0	28-0	30
4,0	28-0	30
5,0	28-0	30



H4

## Příloha č.4 – Tavidlo – OK FLUX 10.72



# OK FLUX 10.72

EN 760: SA AB 1 57 AC H5

### Použití:

Nové aglomerované bazické tavidlo, určené především pro aplikace a požadavky na vysokou vrubovou houževnatost svarového kovu při teplotách až -50°C. Lze ho použít pro jednovrstvé i vícevrstvé svařování, prováděné jedním nebo více dráty především pro výrobu součástí větrných elektráren, tlakových nádob a namáhaných ocelových konstrukcí. Poskytuje velmi dobrou odstranitelnost strusky i v úzkých úkosech a lze používat jak na střídavý, tak i na stejnosměrný proud.

### Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479  
DB 51.039.12

### Orientační spotřeba tavidla

(580 A, 33 m/h, Ø 4 mm):

Napětí (V)	26	30	34	38
Spotřeba tavidla DC+ (kg/kg drátu)	0,70	1,00	1,30	1,60
AC	0,60	0,90	1,20	1,40

### Typ:

bazické  $Al_2O_3 + MnO$   
+  $CaF_2 + CaO + MgO$   
+  $SiO_2 + TiO_2$

### Bazicitá:

B ~ 1,9

### Vlhkost:

< 0,05% / 1000°C

### Sypná hmotnost

1,1 kg/dm<sup>3</sup>

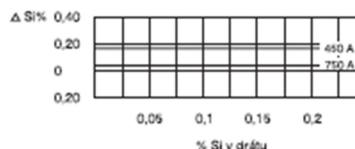
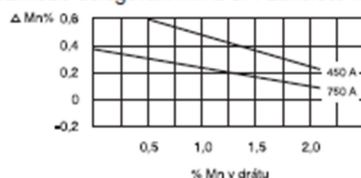
### Teplota přesušení:

350°C/2h

### Svařovací proud:

### Metalurgické vlastnosti tavidla:

Propal nebo dolegování Mn a Si v závislosti na svařovacím proudu (DC+, 30V, 60 cm/min)



### Typické chemické složení svarového kovu při použití s drátem OK Autrod a jeho klasifikace (DC+):

OK 10.72+	C	Si	Mn	Mo	EN 756	SFA/AWS A 5.17
12.20	0,05	0,2	1,5		S 38 5 AB S2	F7A8-EM12, F6P8-EM12
12.22	0,05	0,3	1,5		S 38 5 S2Si	F7A8-EM12K, F6P8-EM12K
12.24	0,05	0,2	1,6	0,5	S 46 3 AB S2Mo	F8A5-EA2-A3, F8P5-EA2-A3

### Typické mechanické vlastnosti svarového kovu při použití s drátem OK Autrod (DC+):

OK 10.72+	Stav	R <sub>m</sub> MPa	R <sub>el</sub> MPa	A <sub>5</sub> %	KV (J)/°C				
					-30	-40	-46	-50	-62
12.20	TZ 0	500	415	30	125	100		70	50
	TZ 1	460	360	32	130	110		70	50
12.22	TZ 0	500	415	30	120	100		70	50
	TZ 1	460	360	32	130	110		70	50
12.24	TZ 0	590	500	25	60	40	35		
	TZ 1	580	490	25	60	40	35		

TZ 0 - stav po svařování, TZ 1 - stav po žhání 620°C/1h

### Klasifikace /Certifikace kombinace OK Flux 10.72 + OK Autrod:

12.20 DB, CE, TÜV  
12.22 DB, CE, TÜV  
12.24 DB, CE, TÜV

### Balení:

Tavidlo je běžně dodáváno v papírových pytlích o hmotnosti 25 kg.

**Schéma odchylek zaměřených bodů**

dílce: **Most Doubrví**



měřil: Milan Kuita  
dne: 24.05.2019





**Schéma odchylek zaměřených bodů**

dílce: **Most Doubí**



