

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

Ústav strojírenské technologie

**Náhrada klasické ocelové konstrukce železničních  
mostů konstrukcí z parapetních nosníků**



Diplomová práce

Autor: Bc. Bohumil Vender

Studijní obor:

Výrobní inženýrství

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Konzultant:

Miroslav Fišer, IWT

Praha 2021



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vender** Jméno: **Bohumil** Osobní číslo: **458458**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
 Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
 Specializace: **Bez specializace**

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Náhrada klasické ocelové konstrukce železničních mostů konstrukcí z parapetních nosníků**

Název diplomové práce anglicky:

**Replacement of the classic steel structure of railway bridges for structures made of parapet beams**

Pokyny pro vypracování:

- Rozbor typů ocelových mostních konstrukcí využitelných pro železniční tratě.
- Analýza možností náhrady klasických nosníkových konstrukcí konstrukcemi se sníženou výškou (pro účely zvýšení průjezdné výšky pod mostní konstrukcí).
- Popis možností výroby ocelových železničních mostních konstrukcí. Rozbor problematiky svařování ocelových plechů velkých tloušťek.
- Návrh výroby parapetních nosníků – provedení experimentálních zkoušek.
- Vyhodnocení kvality svarových spojů a zjednodušené ekonomické vyhodnocení nového návrhu.
- Závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Faltus František, Prvky ocelových konstrukcí, SNTL, 1951
- [2] Rotter Tomáš, Ocelové mosty, Vydavatelství ČVUT FSV, Praha, 2006
- [3] Kolařík Ladislav a kolektiv, Konstrukce a navrhování svarových spojů, ČVUT FS, Praha, 2017
- [4] TKP 19A, Ocelové mosty a konstrukce, MD-OPK, Praha, 2015
- [5] MVL 115 - Železniční mosty s extrémně stlačenou stavební výškou, SŽDC, Praha, 2019
- [6] ASM Handbook volume 6, Welding, Brazing and Soldering, ASM International, 1993, ISBN: 978-0-87170-382-8

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

**Miroslav Fišer, IWT, OK-BE spol. s.r.o.**

Datum zadání diplomové práce: **21.04.2021** Termín odevzdání diplomové práce: **06.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2021**

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

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

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

Dne .....

Jméno a příjmení studenta.

## **Poděkování:**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D., IWE za pomoc a vedení při mé diplomové práci, cenné rady a mnoho trpělivosti. Poděkovat chci také panu Miroslavu Fišerovi, IWT za podporu, podnětné připomínky a odbornou pomoc při vypracovávání praktické části.

Velké poděkování patří i mým rodičům, kteří mě během celého studia podporovali.

Název práce: Náhrada klasické ocelové konstrukce železničních mostů  
konstrukcí z parapetních nosníků

Autor: Bc. Bohumil Vender

Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Pracoviště: Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Klíčová slova: Svařování, MAG, svařování pod tavidlem, ocelové mosty,  
destruktivní, nedestruktivní, zkoušky svaru

Abstrakt:

Diplomová práce je zaměřená na výrobu konstrukcí železničních mostů z parapetních nosníků. V teoretické části se zabývá rozbohem hlavních nosných konstrukcí, tavných svařovacích metod MAG (135) a SAW (121). V praktické části je rozebrána výroba spodku ocelového mostu z parapetních nosníků. Dále byly svařeny 4 vzorky plechů představující masivní desku mostu o tloušťce 80 mm, které byly následně podrobeny hodnocení kvality podle požadavků kvalifikační normy ČSN EN ISO 15614. Na závěr je provedeno porovnání z hlediska mechanických vlastností a ekonomie výroby.

Rozsah: 83 stran

Počet obrázků: 49 obrázků

Počet tabulek: 19 tabulek

Name of diploma thesis: Replacement of the classic steel structure of railway bridges for structures made of parapet beams

Author: Bohumil Vender

Supervisor: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Workplace: Ústav strojírenské technologie, FS, ČVUT v Praze

Keywords: Welding, MAG, Submerged Arc Welding, steel bridges, destructive, non-destructive, weld tests

Abstract:

The diploma thesis is focused on the production of railway bridges for structures made of parapet beams. In the theoretical part I deal with the analysis of the framework, fusion welding method MAG and SAW. In the practical part there is discussed production of lower part of the bridge of parapets beams. Further 4 samples were welded from sheets. These samples are representing massive iron plate, the lower part of the bridge. The samples were tested in the laboratory in Dekra company. The evaluation is done by comparing by mechanical properties and economy of the production.

Scope of work: 83 pages

Number of pictures: 49 pictures

Number of tables: 19 tables

Obsah:

*Obsah*

Úvod.....	10
1. Rozbor hlavních nosných konstrukcí .....	13
2.1 Hlavní nosná konstrukce .....	14
2.2 Konstrukce mostovky.....	17
2.3 Konstrukce železničního svršku.....	18
2. Možnosti náhrady klasických konstrukcí mostů .....	19
3.1 Ocelové mosty s masivní deskou mostovky .....	19
3. Výroba mostů s masivní deskou mostovky.....	20
4. Popis svařování .....	20
5.1. Princip svařování.....	20
5.1.1 Elektrický oblouk.....	21
5.2. Princip metody MAG.....	24
5.2.1. Ochranné plyny pro metodu MAG .....	26
5.2.2 Přenos svarového kovu elektrickým obloukem .....	30
6. Automatické svařování pod tavidlem.....	34
6.1. Přídavné materiály .....	36
6.2 Tavidla pro svařování .....	38
6.2.1. Výroba tavidel.....	38
6.2.3. Rozdělení tavidel.....	38
6.2.5. Bazicita tavidla .....	40
6.2.6. Manipulace s tavidly a jejich skladování [2].....	41
7. Porovnání metod svařování .....	41
7.1 Výhody svařování pod tavidlem.....	41
7.2. Nevýhody svařování pod tavidlem.....	43
7.2 Výhody svařovací metody MAG.....	43
7.3. Nevýhody svařovací metody MAG.....	43

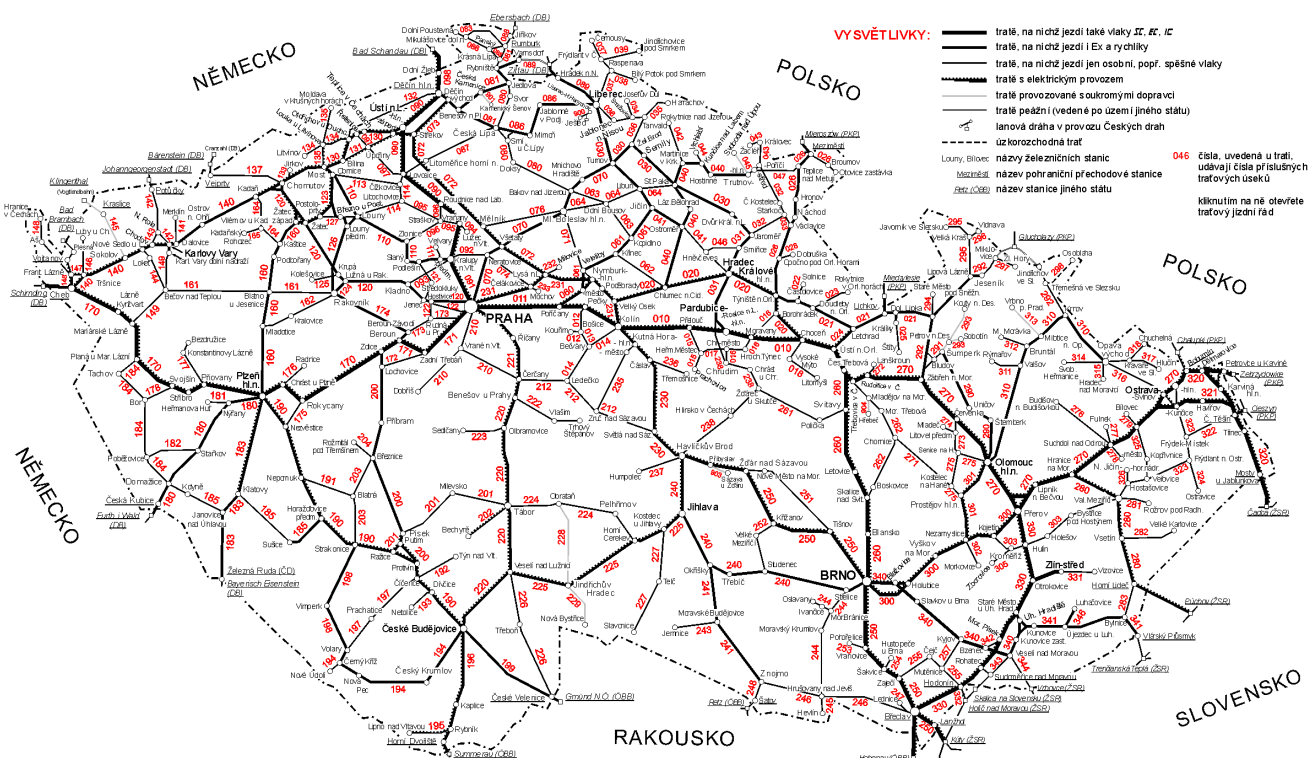
PRAKTICKÁ ČÁST .....	44
8. Popis řešeného případu.....	45
8.1. Identifikační údaje mostu .....	45
8.2. Základní návrhové parametry.....	46
9. Stávající stav rekonstruovaného mostu .....	46
9.1. Nosná konstrukce, spodní stavba .....	46
9.2. Stavební stav konstrukce .....	47
9.3. Návrhové zatížení – přechodnost .....	48
9.4. Návrh opravy.....	48
9.5. Základní údaje o novém mostě.....	49
9.6. Prostorové uspořádání pod mostem .....	50
10. Technické řešení nového mostu .....	50
10.1. Hlavní nosná konstrukce mostu .....	50
10.2. Uložení nosné konstrukce mostu .....	50
11. Výroba mostu .....	51
12. Experiment.....	51
12.1. Experimentální zařízení a pomůcky.....	56
12.2. Svařování vzorku číslo 1 .....	57
12.2. Svařování vzorku číslo 2.....	60
12.4. Svařování vzorku číslo 3 .....	62
12.5. Svařování vzorku číslo 4 .....	63
13. Zkoušky pro hodnocení kvality vyhotovených vzorků .....	64
14. Výsledky zkoušek pro hodnocení kvality svarových spojů.....	65
14.1. Nedestruktivní zkoušky vzorků .....	65
14.1.1. Vizuální zkouška .....	65
14.1.2. Magnetická prášková metoda.....	66
14.1.3. Ultrazvuková zkouška .....	66
14.2. Destruktivní zkoušky .....	67
14.2.1. Zkouška tahem .....	67
14.2.2. Zkouška rázem v ohybu .....	68



14.2.3.	Zkouška ohybem .....	68
14.2.4.	Zkouška tvrdosti dle Vickerse.....	68
14.2.5.	Zkouška makrostruktury .....	69
15.	Výsledky zkoušek.....	69
16.	Ekonomické hodnocení zvolených variant výroby .....	70
16.1.	Varianta dle vzorku 1 .....	70
16.2.	Varianta dle vzorku 2 .....	71
18.3	Varianta dle vzorku 3 .....	72
16.3.	Varianta dle vzorku 4 .....	73
16.4.	Varianta 5.....	74
16.5.	Ekonomický souhrn variant .....	74
17.	Závěr.....	75
Přílohy: .....		77
Seznam použité literatury:.....		78
Použité symboly a zkratky .....		81
Seznam norem .....		82

# Úvod

V České republice máme jednu z nejhustších železničních (viz obrázek 1) a silničních sítí na celém světě, což v minulosti zapříčinilo vybudování velkého množství přejezdů, podjezdů nebo nadjezdů přes dopravní komunikace.



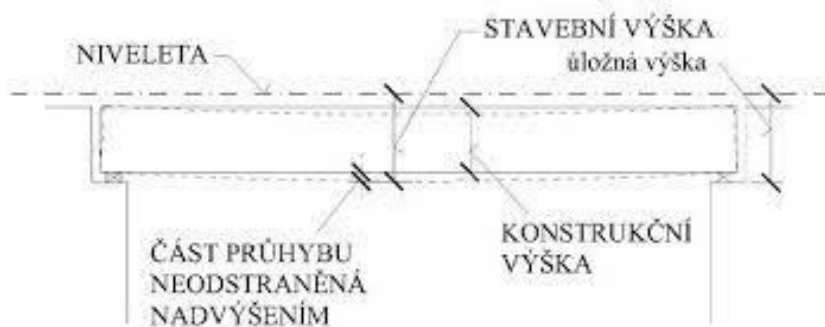
Obrázek číslo 1: Mapa železniční sítě v ČR [10]

Od vzniku prvních železničních mostů nastal v nákladní automobilové dopravě velký pokrok. Nákladní automobilová doprava je dnes provozována na automobilech, které mají větší výšku, než tomu bývalo dříve. Motory dosahují mnohonásobně větších objemů, kvůli kterým jsou dnes nákladní automobily schopny převážet i velké či nadměrné náklady. Tento rozvoj způsobil, že mnoho podjezdů pod železničními mosty se stalo neprůjezdnými z důvodu vysokého obrysu vozidel (viz příklad uvedený na obrázku 2).



Obrázek číslo 2: Zablokovaný nákladní automobil pod železničním mostem

Nosné konstrukce železničních mostů jsou z pravidla tvořeny ocelovými nosníky o výšce 0,5 až 1,2 m. Průjezdnou výšku lze zvýšit buď zvednutím nivelety železniční tratě, nebo nahrazením ocelových nosníků nižší nosnou konstrukcí. (Niveleta je pomyslná čára udávající výškové poměry a podélný sklon liniové stavby, nejčastěji dopravní cesty nebo vodního toku. Jednoduše řečeno, to co se v polohopisu nazývá osa, je ve výškovém profilu niveleta. U železnice její výška obvykle odpovídá výšce horní hrany kolejnice). Zvednutí nivelety má však dopad na rekonstrukci železniční tratě v délce až jednoho kilometru na obě strany. [10]



Obrázek číslo 3: Schéma železniční nivelety

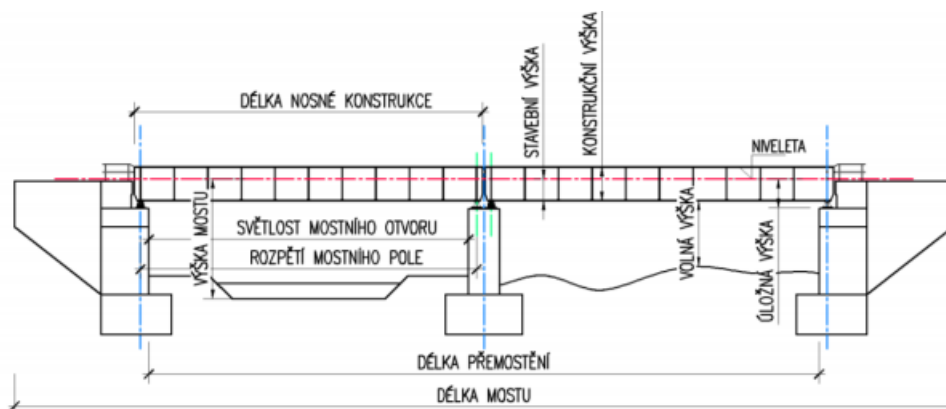
Ocelové nosníky lze nahradit pouze při zachování momentu setrvačnosti průřezu nosné konstrukce. Toto je obtížné pro zesílené nosníky, z tohoto důvodu se jeví výhodnější použití tzv. parapetních nosníků s deskou o tloušťce v rozsahu 80 až 140 mm, vyztuženou dvěma komorovými nosníky přivařených na této tlustostěnné desce (blíže popsáno v kapitole

3.1). Tím se zachová moment setrvačnosti a výška nosné konstrukce bude dána tloušťkou desky. Výška se může ještě zlepšit nahrazením kolejového lože, které je v současné době tvořeno z dřevěných nebo betonových mostnic speciálními úchyty kolejnic přišroubovanými přímo k desce.

Diplomová práce se zabývá možností nahrazení klasické nosníkové konstrukce parapetními nosníky, konstrukcí parapetních nosníků a problematikou svařování ocelových plechů větších tlouštěk.

# 1. Rozbor hlavních nosných konstrukcí

Stavební výška (viz obrázek 4) je jedním z důležitých parametrů při volbě koncepčního řešení mostní konstrukce. Lze ji definovat jako nejvyšší svislou vzdálenost nivelety koleje od nejnižší spodní hrany prohnuté nosné konstrukce mostu.



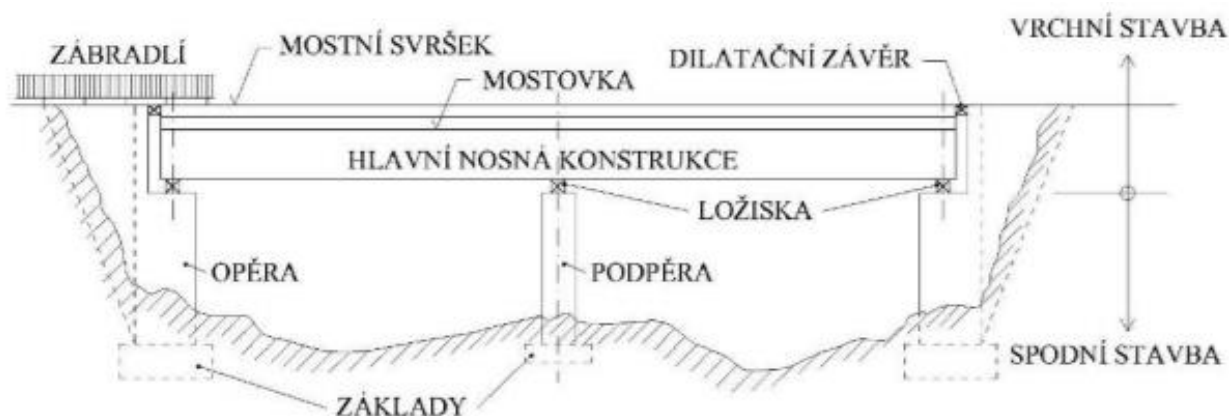
Obrázek číslo 4: Schéma železničního mostu

V případě novostaveb mostních konstrukcí v extravilánu (tzn. nezastavěné části obce) je možné směrové a výškové vedení trasy optimalizovat. V takovém případě obvykle nevznikají požadavky na významné omezení stavební výšky konstrukce. Požadavek na omezení stavební výšky vzniká zejména při novostavbách a rekonstrukcích stávajících mostních konstrukcí, kde panují obtížné prostorové podmínky, zpravidla v městském intravilánu (zastavěné plochy obcí) nebo v místech, kde je stavební výška omezena přemostřovanou překážkou. [4]

Volba koncepčního řešení mostní konstrukce je ovlivněna rozpětím nosné konstrukce, požadavky na ekonomický návrh konstrukce a také estetickými požadavky. V naprosté většině případů se také jedná o konstrukce kratších rozpětí a relativně menšího významu, a proto hraje estetické hledisko při návrhu konstrukce s omezenou stavební výškou spíše podružnou roli. Obecně lze říci, že konstrukce mostovky se stlačenou stavební výškou si vyžádá použití většího množství stavebního materiálu než běžná konstrukce a bude tedy i

méně ekonomicky přívětivá. Vhodnou kombinací konstrukčního uspořádání lze však dosáhnout předepsané stavební výšky i za přijatelných nákladů na realizaci. Konstrukční parametry ovlivňující stavební výšku jsou: [5]

- Hlavní nosná konstrukce
- Konstrukce mostovky
- Konstrukce železničního svršku



Obrázek číslo 5: Hlavní části mostu

## 2.1 Hlavní nosná konstrukce

Hlavní nosná konstrukce (viz obrázek 5) je soubor konstrukčních prvků, které vzájemnou interakcí spolehlivě přenášejí zatížení bez nepřijatelných deformací, poskytují dostatečnou tuhost stavebního díla.

Z hlediska typu nosné konstrukce pro mosty s extrémně stlačenou stavební výškou je lze rozdělit na:

- Deskové mosty

tvořené ocelobetonovou nebo celoocelovou deskou. V případě deskových mostů s výrazně stlačenou stavební výškou je podélný a příčný rozměr desky výrazně větší než tloušťka konstrukce (a tloušťka je v příčném řezu konstantní), případně se zmenšuje v oblasti chodníkových konzol. Mezi deskové konstrukce lze řadit mosty tvořené podélně pnutým ortotropním plechem, či zabetonovanými nosníky. [7]



*Obrázek číslo 6: Deskový most*

- Trámové mosty

navržené zpravidla v podobě tuhého polorámu v příčném řezu (angl. “half-through bridges“), kde je k postranním hlavním nosníkům připojena dolní příčně pnutá desková mostovka. Pro dosažení minimální možné stavební výšky je nutné zajistit co nejmenší příčné rozpětí desky mostovky, aby bylo dosaženo přijatelných průhybů. V případě větších rozpětí je možné použít vyšší hlavní nosníky s vyšší ohybovou tuhostí, které je však nutno navrhnout tak, aby nezasahovaly do průjezdního průřezu na mostě. Tímto se výrazně zvýší příčné rozpětí



mostovky, což negativně ovlivní požadavky na ohybovou tuhost mostovky v příčném směru. [9]



*Obrázek číslo 7: Trámový most*

- Integrované mosty

mohou být provedeny v několika podobách konstrukčního uspořádání. Z hlediska dosažení co nejnižší stavební výšky je vhodné použít uspořádání s integrovanou opěrou plné výšky. V tomto případě je podélná nosná konstrukce mostu vetknuta do opěr. Dohromady tak most působí jako rámová konstrukce spolupůsobící s přilehlou zemínou. Takové řešení přináší hospodárnější průběh vnitřních sil a umožňuje tedy i konstrukci štíhlejší mostovky. [8]



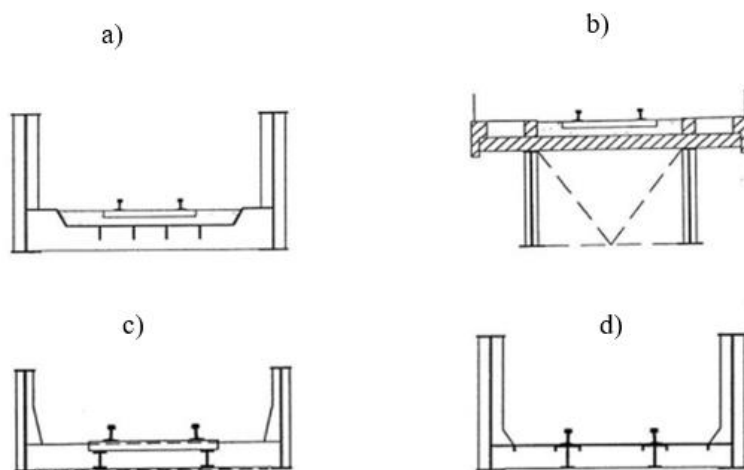
*Obrázek číslo 8: Integrovaný most*



## 2.2 Konstrukce mostovky

Mostovka je složka nosné konstrukce mostu, jejímž účelem je přenášet především účinky zatížení z mostního svršku na jeho hlavní nosnou konstrukci. Prvková mostovka je tvořena podélníky a příčnicíky mostu. [7]

I když se v současné době v mostním stavitelství stále více prosazují ocelobetonové a předepjaté konstrukce, v případě nutnosti stlačení stavební výšky železničních mostů na minimum je stále vhodnější využít vlastnosti konstrukční oceli, která umožní konstrukci štíhlé mostovky s dostatečnou ohybovou tuhostí i únosností. Alternativně se ukazuje jako velice výhodné navrhnout konstrukci jako ocelobetonovou. Tímto způsobem je možné zkombinovat výhodné chování oceli při tahovém namáhání a betonu při tlakovém namáhání. Celkové uspořádání a detaily všech typů mostovek jsou do značné míry ovlivněny způsobem uložení koleje na mostě. Mostovky se rozdělují podle polohy (viz obrázek 9) vůči nosné konstrukci na dolní, horní, mezilehlou a zapuštěnou. Dále se může dělit dle konstrukční povahy na prvkovou a deskovou.[4]



Obrázek číslo 9: Druhy mostovek

- a) dolní mostovka
- b) horní mostovka
- c) dolní mostovka
- d) zapuštěná mostovka

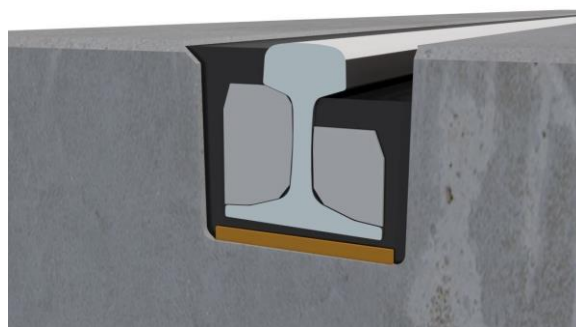
## 2.3 Konstrukce železničního svršku

Volbou způsobu uložení koleje na mostě lze zásadním způsobem ovlivnit koncepci a chování mostní konstrukce. V kombinaci s vhodnou nosnou konstrukcí může vhodná konstrukce železničního svršku na mostě umožnit realizaci extrémně štíhlých mostovek. Volba uložení koleje však také ovlivňuje dynamické chování kombinovaného systému konstrukce – kolejové vozidlo, což hraje důležitou roli zejména při návrhu vysokorychlostních tratí. Provedením železničního svršku na mostě lze optimalizovat hlučnost i životnost konstrukce. Způsobem uložení koleje na mostě také můžeme značně ovlivnit namáhání koleje, spodní stavby a ložisek, které vznikají kvůli podélnému spolupůsobení s dnes obecně používanou bezстыkovou kolejí. Na mostech lze zřídit následující systémy železničního svršku: [4]

- Přímé upevnění koleje
- Kontinuální upevnění koleje (embedded rail system - ERS)
- Konstrukce s kolejovým ložem
- Konstrukce s mostnicemi



Obrázek číslo 10: Přímé upevnění koleje



Obrázek číslo 11: Kontinuální upevnění koleje -ERS



Obrázek číslo 12: Konstrukce s kolejovým ložem



Obrázek číslo 13: Konstrukce s mostnicemi

## 2. Možnosti náhrady klasických konstrukcí mostů

V technické praxi se může průjezdná výška mostu zvýšit:

- Nahrazením ocelových nosníků s nižší nosnou konstrukcí (masivní deskou mostovky)
- Zvednutím nivelety železniční tratě

### 3.1 Ocelové mosty s masivní deskou mostovky

Pro malá rozpětí, obvykle do cca 20 m (v Německu jsou tyto konstrukce povoleny do rozpětí 20 m), lze využít poměrně jednoduchý typ konstrukce, kdy je mostovka tvořena masivním ocelovým plechem tloušťky cca 80 – 120 mm, na kterém je na izolaci uložena klasická mostovka s kolejovým ložem. Tento ocelový plech je pak po stranách podpírán hlavními nosníky. Specifickou vlastností a současně výhodou je to, že plech mostovky je tvořen pouze masivním ocelovou deskou, bez jakýchkoliv podélných či příčných výztuh. To ale v důsledku vede k vyšší hmotnosti konstrukce, na druhou stranu ale vyváženou jednoduchostí výroby a odstraněním únavově problematických detailů. Hlavní nosníky mohou být uzavřené i otevřené. U uzavřených nosníků lze docílit dobré torzní tuhosti, v případě otevřených nosníků je většinou nutné osadit svislé výztuhy, které zajistí stabilitu horní tlačené pásnice. [4] [5]

Tato diplomová práce se věnuje právě této variantě. Ve firmě OK-BE s.r.o., se kterou je diplomová práce řešena, bude realizována náhrada železničního mostu na trati Žichovice – Sušice. Klasický nosníkový most bude nahrazen ocelovým mostem s masivní ocelovou deskou po stranách podpíranou hlavními nosníky, tzv. „parapetními nosníky“.



Obrázek číslo 14: Ocelový most s masivní ocelovou deskou

### 3. Výroba mostů s masivní deskou mostovky

Pro vytvoření této masivní desky je potřeba objednat ocelový plech přesného rozměru. Šířka těchto mostů se pohybuje od 5 m šířky. Bohužel v České republice není žádná železárna resp. dodavatel materiálu, která by firmě OK-BE s.r.o. takový ocelový plech o tloušťce 80 mm dodala. Je tedy potřeba materiál objednat v zahraničí, nejčastěji z Německa od firmy Dillinger, nebo si musí objednat u české firmy Vítkovice Steel plechy menších rozměrů, které se musí poměrně pracně naukosovat a následně spojit technologií svařování ve větší celky. Druhé řešení je z pohledu nedostatku vhodných materiálů stále častějším řešením a tato diplomová práce se proto věnuje právě této problematice. Protože při svařování ocelových plechů těchto větších tlouštěk se vyskytují specifické komplikace, je potřeba použít kvalifikovaný výrobní postup. Mezi používané metody svařování ve firmě OK – BE s.r.o. patří:

- Metoda MAG (označení podle ČSN EN ISO 4063 je metoda č. 135)
- Metoda SAW (121)

## 4. Popis svařování

V technické praxi se můžeme setkat s různými druhy spojení strojních součástí. Hlavní metodou spojování kovových materiálů jsou spojení nerozebíratelná, mezi která patří zejména vytváření svarových spojů (tzn. svařování). Cílem svařování je vyrobit vyhovující spojení určitých částí povrchů dvou nebo více dílů, tak aby vzniklý spoj vykazoval vlastnosti, které jsou požadovány nebo vyhovují provozním podmínkám. [1]

### 5.1. Princip svařování

Nejpoužívanější metody svařování jsou ty, které využívají k vytvoření spoje tepelnou energii (tzv. tavné metody svařování). Z tavných metod svařování se dnes nejvíce používají ty, které využívají jako koncentrovaný zdroj tepla elektrický oblouk. Elektrický oblouk

vytváří teplo potřebné pro místní natavení základního materiálu i pro tavení přídavného materiálu, který má stejné nebo podobné chemické složení jako spojované (tzv. základní) materiály. Svarový spoj vznikne působením meziatomárních sil a vazeb na teplem aktivovaných plochách, které se tvoří v roztaveném nebo plastickém stavu. Abychom dosáhli po metalurgické stránce vyhovující vlastnosti svarového spoje, je nutno v procesu svařování ochránit svarovou lázeň i kov odtavující se z přídavného materiálu před přístupem okolních vzdušných plynů. Např. k zajištění výhodných metalurgických vlastností svarového kovu u metody MAG slouží ochranná atmosféra aktivního plynu. U metody SAW je svarová lázeň chráněna před vrstvou strusky, vytvářející se při tavení granulovaného tavidla. Obě použité metody svařování jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách č. 5.2 a 6. [2]

## 5.1.1 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který vzniká obvykle mezi elektrodou a základním materiálem v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma v oblouku v ionizovaném stavu. Je to zvláštní forma elektrického výboje v plynech, který je charakteristický ionizací plynového prostředí a uvolněním velkého množství tepla. Mezi hlavní termodynamické jevy patří: [2]

Disociace – Vyskytuje se u molekul, které jsou tvořeny dvěma a více atomy (např.  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ). Při vysokých teplotách dochází ke srážkám molekul a tím k rozpadu molekul na jednotlivé atomy. V důsledku přivedení energie dochází k rozštěpení molekuly na jednotlivé atomy. Charakteristická hodnota energie potřebná pro rozbití molekuly se nazývá „disociační energie“. [2]

Ionizace – Uplatňuje se u jednoatomových molekul (ty buď vznikly z víceatomových molekul v důsledku disociace, nebo samy tvoří jednoatomové molekuly – např. u vzácných plynů Ar, He). Energetickým působením je možno z atomu odtrhnout jeden nebo větší počet elektronů. Ionizace je děj, při kterém se atom rozpadne na záporný elektron a kladný zbytek atomu (kladný iont). V elektrickém oblouku se uplatňuje především tzv. Termická ionizace, ke které dochází následkem častých srážek mezi elektrony, ionty a neutrálními částicemi

plynu. Snadno se ionizující prvky zvyšují stabilitu el. oblouku, snižují napětí na el. oblouku a zlepšují zapalování el. oblouku. Mezi tyto prvky patří například Argon. [17]

Elektrický oblouk je intenzivně svítící a zřetelně ohraničený výboj kruhového průřezu o průměru 0,1 až 1 cm. Vysoké teploty vznikají při proudech větších než 0,3 A a při vyšších tlacích. Svařovací oblouk má délku 2 až 7 mm. Charakteristický proud elektrického oblouku se pohybuje od 10 až do 2000 A, napětí je v rozpětí 10 až 50 V. [16]

Nejlépe lze jednotlivé části elektrického oblouku popsat na stejnosměrném oblouku hořícím mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v ochranném prostředí argonu (tj metoda TIG), protože při stejnosměrném proudu a konstantní délce oblouk hoří velmi stabilně beze změny napětí a proudu. [2]

Oblouk je možné rozdělit na následující části (jak je zobrazeno na obrázku č. 15):

- Katodovou oblast
- Sloupec oblouku
- Anodovou oblast

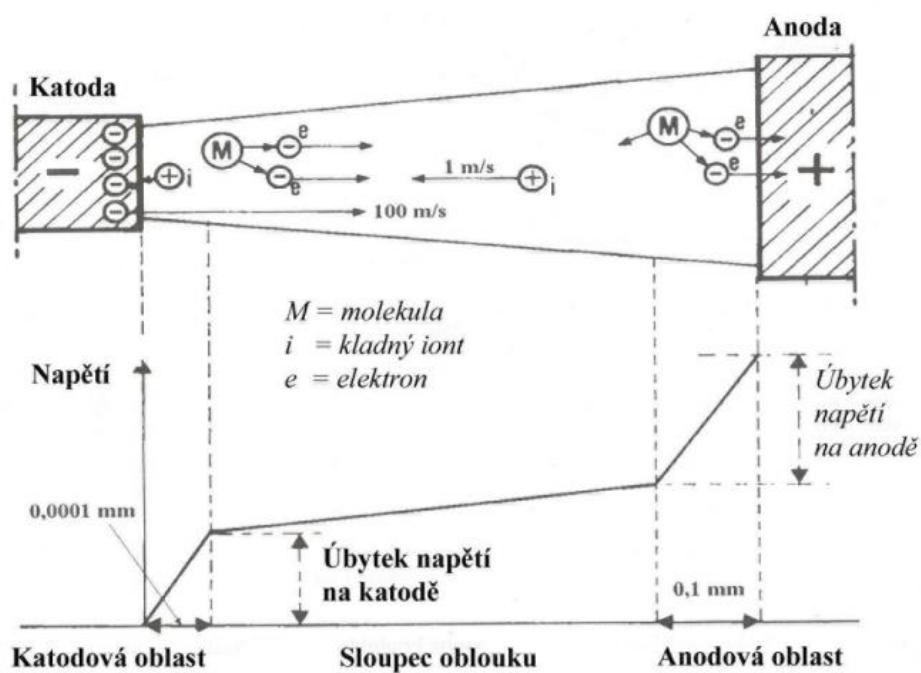
Katodová oblast se skládá z katodové skvrny a oblasti úbytku napětí na katodě. Katodová skvrna je ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Katodová skvrna je stabilní, nebo se v závislosti na teplotě, proudu a geometrii konce elektrody po povrchu katody přemísťuje. Teplota katodové skvrny není stálá a zvyšuje se s růstem proudu. Teplota katody se vlivem ochlazovacího efektu termoemise elektronů pohybuje v rozmezí 2400 ° - 3000°C. Proudová hustota na katodové skvrně je velmi vysoká a dosahuje až 1000–1500 A.mm<sup>-2</sup>. [2]

Na katodovou skvrnu svařovací elektrody dopadají kladné ionty, které se pohybují ve směru záporného pólu vlivem elektrostatických sil. Ionty jsou na povrchu neutralizovány a předávají na katodu svoji ionizační energii, která přispívá k termoemisi elektronů.

Ke katodové vrstvě přiléhá oblast katodového úbytku napětí. Tento úbytek napětí způsobuje prostorový náboj iontů, který brzdí elektrony uvolněné z katody. Pokles napětí je výsledkem spotřeby energie oblouku pro emisi elektronů a udělení dostatečné kinetické energie potřebné k ionizaci sloupce oblouku.

Sloupec oblouku je oblast, ze které zářivě svítí ionizovaný a disociovaný plyn ve formě plazmy mezi elektrodami, který dosahuje vysokých teplot. Maximální teplota závisí na řadě faktorů. Největší vliv na teplotu má počet srážek částic v oblouku, který je dán intenzitou proudu a hodnotou napětí. V závislosti na teplotě nám prostředí oblouku určuje stupeň disociace a ionizace. Maximální teplota elektrického oblouku se nachází ve sloupci oblouku pod katodovou oblastí, kde dosahuje až 15 000 °C. Elektrický proud je při normálních podmínkách pro plyn nevodivý. Počet kladných a záporných částic ve sloupci nám určuje elektrickou vodivost plynu. [16]

Anodová skvrna je oblast, kde se neutralizují elektrony, které byly emitovány katodou. Vysoká teplota anodové skvrny je dána transformací kinetické energie rychle letících elektronů na energii tepelnou. Teplota anodové vrstvy se pohybuje v rozmezí 2700 – 3600 °C a to je většinou dostatečná teplota na roztavení materiálu.



Obrázek číslo 15: Schéma elektrického oblouku s přímou polaritou stejnosměrného proudu



## 5.2. Princip metody MAG

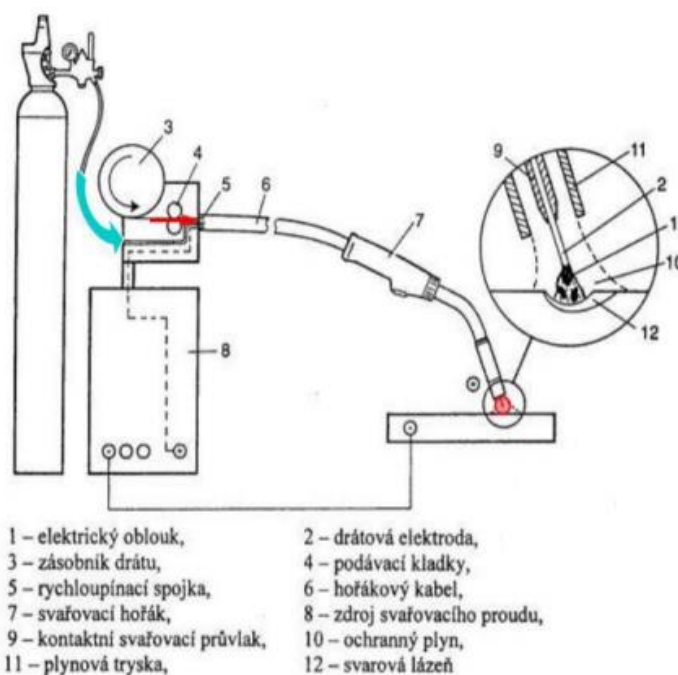
Jedná se o obloukové svařování, tedy metodu svařování, která využívá v předchozí kapitole popsaný tepelný zdroj, při kterém se teplem el. oblouku taví základní materiál (tím se vytváří svarová lázeň) a zároveň se odtavuje kovová elektroda, kdy elektrický oblouk a oblast svaru jsou chráněny před okolní atmosférou vrstvou ochranného plynu přiváděného z vnějšího zdroje (obvykle z tlakové lahve). Při svařování metodou MAG je používán jako přídavný materiál svařovací drát, který je pomocí kladkového podavače rovnoměrně dodáván do hořáku, a proto je tato metoda kvůli své vysoké produktivitě hojně využívána. Přídavné dráty se vyrábějí nejčastěji o průměrech od 0,8 mm do 1,6 mm. Jedná se o poloautomatický proces svařování, který lze jednoduše plně automatizovat a robotizovat. [11]

Tabulka č. 1: Rozsah základních parametrů metody MAG [2] [18]

Rozsah základních parametrů	
Poloha svařování	Všechny
Rozsah svařovacího proudu	Zkratový : I = 40 až 190 A Sprchový : I = 180 až 500 A
Rozsah napětí na oblouku	Zkratový : U = 16 až 21 V Sprchový : U = 20 až 36 V
Rozsah svařovacích rychlostí	15 až 120 m/hod
Průměr přídavného materiálu	0,8 až 1,6mm
Druh základního materiálu	nelegované a nízkolegované ocele



U metody MAG se používá nejčastěji nepřímá polarita stejnosměrného proudu, jak je zobrazeno na obrázku č.11. Protože se jedná o nepřímou polaritu, je zemní svorka zapojena na záporný pól svařovacího zdroje, na elektricky vodivou část spojenou se svařovaným materiálem, svařovací hořák (resp. elektroda) je zapojen na kladný pól svařovacího zdroje. Stejnoseměrný proud je dodáván svařovacím zdrojem. Při svařování dochází na anodě k většímu vývinu tepla, což při zapojení na nepřímou polaritu vede k většímu odtavování přídavného materiálu, a to vede ke zvýšení výkonu odtavení a nutnosti vyšší rychlosti svařování. To je také důvod, proč je metoda MAG s ohledem na vysokou produktivitu práce velice populární. Do místa svařování je dodáván ochranný plyn, chránící elektrický oblouk a oblast svaru před okolní atmosférou. Ochranný plyn je skladován v tlakové lahvi s připojeným redukčním ventilem, pomocí kterého je možné regulovat průtočné množství ochranného plynu dodávaného do místa svařování.



Obrázek číslo 16: Schéma metody MAG

Aby se docílilo kvalitního svarového spoje, je nutné nastavit vhodné procesní parametry. Napětí, proud a podávací rychlost svařovacího drátu (elektrody) se nastavuje na svařovacím zdroji, průtočné množství ochranného plynu pak pomocí redukčního ventilu. Všechny již zmíněné parametry svařování nastavuje svářečský personál. Při svařování metodou MAG dochází k samoregulaci svařovacích parametrů, která je způsobena plochým průběhem statické charakteristiky svařovacího zdroje (závislost napětí na proudu v ustáleném časovém okamžiku – hoření oblouku). Pokles délky oblouku vede k poklesu napětí, které vyvolá změnu svařovacího proudu, což při konstantní rychlosti podávání svařovacího drátu vede k opětovnému zvýšení délky oblouku resp. napětí. [1]

Při svařování vzniká pro člověka mnoho nebezpečí a rizik, a proto je nutno, aby byl celý proces opatřen bezpečnostními prvky. Jako ochrana očí před ultrafialovým a infračerveným zářením nám slouží filtr svářečské kukly. Pracoviště jsou často vybavena centrálním odsáváním, které odvádí škodlivé zplodiny. Při svařování se používá elektrický proud a proto je nutná častá kontrola přívodních kabelů, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem. Svářečský personál by měl mít vhodný nehořlavý svařovací oblek a rukavice, chránící před UV zářením a rozstříkem rozzhaveného kovu.

Kvalita svarového spoje enormně závisí na zkušenostech a znalostech svářeče. Při poloautomatickém svařování je nutné, aby svářeč dodržoval neustále stejnou rychlost posuvu, vzdálenost hořáku od materiálu a úhel sklonu hořáku, aby byla kvalita svaru všude stejná. Velice důležitá je také příprava svarových ploch, při které se používá strojní nebo ruční obrábění. Lze se řídit doporučením normy ČSN EN ISO 9692-1 *-Svařování a příbuzné procesy* Mezi hlavní metody patří broušení a frézování, případně tepelné dělení. [1]

### **5.2.1. Ochranné plyny pro metodu MAG**

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování. To je především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a případně u některých materiálů i kořen svaru před účinky okolní vzdušné atmosféry, zejména vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Dále slouží ochranná atmosféra jako ochrana před dusíkem a vodíkem. Ochranné plyny mají také významný vliv na typ

přenosu kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování, rozstřík a podobně.

Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje:[2]

- Vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- Metalurgické děje, které mají vliv na vytvoření kapky a přenos kovu z elektrody do svarové lázně
- Tvar a rozměry el. oblouku
- Tvar a rozměry kapek, rychlost jejich přenášení el. obloukem
- Tvar a rozměry průřezu svaru
- Formování povrchu svarové housenky
- Mechanické vlastnosti, celistvost a kvalitu svarového spoje

Pro metodu MAG se v technické praxi používají dvě skupiny ochranných plynů podle ČSN EN ISO 14175. První skupinou je skupina C s oxidačními plyny na bázi oxidu uhličitého. Druhá skupina M je tvořena směsnými plyny na bázi argonu. Používané oxidační směsi jsou Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>. Argon lze případně zaměnit za Helium.

Následuje popis vlastností jednotlivých ochranných plynů používaných do aktivních ochranných směsí:

**Argon (Ar)** – jedná se o plyn inertní neboli netečný a to znamená, že za běžných podmínek nepodléhá chemickým reakcím a nevytváří s žádným jiným prvkem sloučeniny. Technický argon je bezbarvý plyn, bez zápachu. Kvůli svému nízkému ionizačnímu potenciálu je argon hojně využíván při svařování, protože při svařování přináší stabilní hoření oblouku a dobré zapálení oblouku. Nevýhoda argonu spočívá ve špatné tepelné vodivosti, díky které tvoří v kořeni svaru úzký závar. Měrná hmotnost argonu je větší než u vzduchu a to vede k precizní ochraně svarové lázně v základních polohách svařování. Pro MAG svařování se argon uplatňuje jako základní nosná složka směsných plynů, právě díky svým ionizačním vlastnostem. [2]

**Helium (He)** -tento plyn patří stejně jako argon mezi plyny inertní. Je to bezbarvý plyn. Špatně zapaluje oblouk a to kvůli vysokému ionizačnímu potenciálu. Horší ionizační vlastnosti způsobují nestabilní oblouk, kvůli kterému je nutno zvýšit napětí na oblouku. Na rozdíl od argonu má helium výbornou teplotní vodivost, která způsobuje zvýšení rychlosti svařování, odplynění svařovací lázně a větší průvar. Měrná hmotnost helia je asi sedminásobně menší než u vzduchu a to přináší zhoršenou plynovou ochranu. Pro lepší plynovou ochranu je potřeba zvýšit průtok plynu. Helium je hůře cenově dostupné než Argon. Z pohledu MAG svařování lze opět použít pouze do směsí, jako náhrada za argon.

Argon a helium se plní do tlakových lahví běžně pod tlakem 20 MPa v plynném skupenství. Běžná čistota je 4.6 (tzn. 99,996 %).[2]

**Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)** je zařazen do skupiny aktivních plynů, protože má silné oxidační schopnosti. Tento plyn je nehořlavý, bezbarvý a má zvláštní kyselou chuť. Nejedná se o jedovatý plyn, ale je nebezpečný, protože při vyšší koncentraci zabraňuje dýchání. V technické praxi se při svařování používá oxid uhličitý s čistotou nejméně 99,5 %, zbylé 0,5% tvoří nečistoty. V lahvích o obsahu 20 a 40 l se plyn uchovává v kapalném stavu. Měrná hmotnost oxidu uhličitého je vyšší než u argonu.[2] Výhoda oxidu uhličitého je výborný přenos tepla do svarové lázně, což vede k dostatečnému natavení základního materiálu, dostatečnému průvaru a odplynění lázně. Plyn má špatné ionizační schopnosti, a proto je nutné, aby se podobně jako u Helia používalo při svařování vyšší napětí. Ionizační energie je sice nižší než u argonu, ale jedná se o molekulový plyn, takže musí nejprve proběhnout disociace, což lze eliminovat použitím směsných plynů Ar+CO<sub>2</sub>, kde se spojují výhody obou plynů. [2]

Nastavení vhodných parametrů svařování v praxi vyžaduje dostatečné zkušenosti a praxi. Kvůli oxidu uhličitému vzniká na konci elektrody poměrně vysoké povrchové napětí, které drží kapky roztaveného kovu na špičce elektrody a brání tak přenosu kovu do svarové lázně. Proto lze realizovat proces pouze pomocí zkratového přenosu (nebo kapkového), ale nelze dosáhnout čistě sprchového přenosu. Posléze se kapky oddělují s velkým objemem a obvykle nabývá jejich poloměr více než 0,8 mm. Tyto veliké kapky se ihned po dopadu nataví na základní materiál a způsobují obtížně odstranitelný rozstřík, který pak musí být odstraněn pomocí brusky. Tato vlastnost oxidu uhličitého zvyšuje pracnost výroby.

**Kyslík (O<sub>2</sub>)** – je plyn, který je stejně jako argon vyráběn destilací zkapalněného vzduchu. Kyslík má slabé ionizační vlastnosti, ale zato má silný oxidační účinek. Tento plyn je používán pouze ve směsích s argonem a oxidem uhličitým, případně s heliem v koncentraci (1–8 %), nelze ho tedy použít samostatně jako ochranný plyn. Hlavní důvod přidávání kyslíku do ochranného směsného plynu je snížení povrchového napětí a zvyšování tekutosti svarové lázně. Působením kyslíku se zlepšuje profil svarové housenky, odplynění lázně a hlavně přenos přídatného materiálu do svarové lázně.

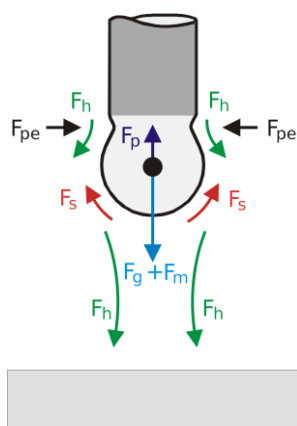
Tabulka č. 2 Vlastnosti ochranných plynů [2]

Název plynu	Měrná hmotnost [kg /m <sup>3</sup> ]	Ionizační energie [eV]	Disociační energie [eV]	Barva tlakové láhve
Argon	1,784	15,8	-	Tmavě zelená
Helium	0,138	24,6	-	Hnědá
Oxid uhličitý	1,977	14,4	4,3	Šedá
Kyslík	1,429	13,6	5,1	Bílá

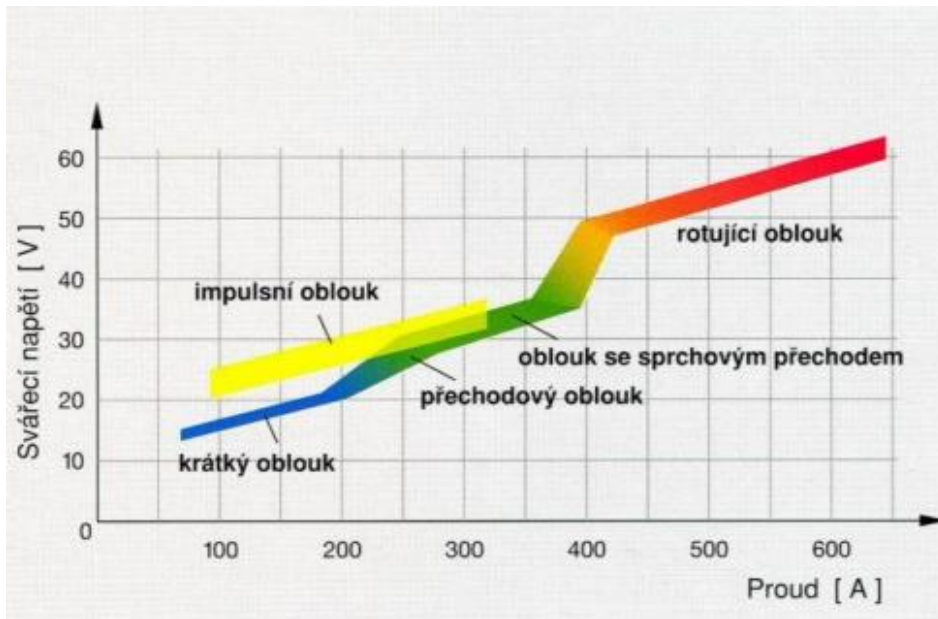
## 5.2.2 Přenos svarového kovu elektrickým obloukem

Přenos svarového kovu je proces, při kterém se odtavuje přídavný materiál a následně „teče“ do svarové lázně při hoření elektrického oblouku. Přenos kovu je silně ovlivňován svařovacími parametry a podmínkami svařování, zejména: svařovacím proudem, napětím a složením ochranné atmosféry a chemickým složením svařovacího drátu. [19]

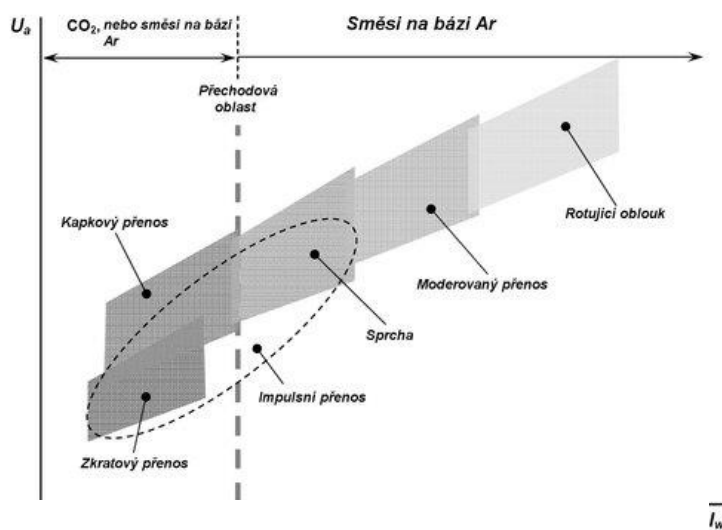
Na odtavenou kapku rozžhaveného kovu působí síly, které hrají velkou roli v procesu přenosu kovu. Na špičce elektrody drží kapku kovu povrchové napětí, které se s rostoucí teplotou snižuje. Jako u každého vodiče, tak i u elektrody vzniká vlivem proudění elektrického proudu elektromagnetické pole, které má hlavní vliv na přenos kovu do svarové lázně. Elektromagnetické pole způsobuje tzv. pinch efekt, díky kterému je možno svařovat i v nucených, montážních polohách. Je to způsobeno radiálním tlakem magnetického pole oblouku (na obrázku číslo 17 –  $F_{pe}$ ), které zaškrcuje tzv. krček a odděluje kapky rozžhaveného kovu. Na obrázku 17 můžeme dále vidět gravitační sílu  $F_g$ , která společně s silou  $F_{pe}$ ,  $F_h$  snaží kapku tekutého kovu odtrhnout od elektrody. [12]



Obrázek číslo 17: Silové působení na kapku tekutého kovu při svařování



Obrázek číslo 18: Závislost napětí a proudu na druhu oblouku



Obrázek číslo 19: Grafické znázornění průběhů proudů a napětí

V praxi se využívají tyto typy přenosu kovů:

- Zkratový přenos

Pro zkratový přenos je potřeba mít nastavený proud na hodnotu 40 až 190 A a napětí 16 až 21 V (viz tabulka 1). Během zkratového přenosu se kapka rozžhaveného kovu odtaví z elektrody, vyplní mezeru mezi elektrodou a svarovou lázní a nastane zkrat. Tento proces může vzniknout za účasti libovolné ochranné atmosféry. Oblast aplikace zkratového přenosu je: [1]

- Možnost svařovat ve všech polohách
- Svařování plechů malých tloušťek

Z důvodu vzniku zkratu mezi elektrodou a svarovou lázní oblouk téměř zhasne, což vede ke zvýšení hodnoty elektrického proudu a poklesu napětí. To má za následek růst příčné elektromagnetické síly, která kapku zaškrtní a poté odtrhne. Odtržením kapky vznikne nová mezera mezi elektrodou a lázní, kvůli které se oblouk opět zapálí a celý proces nastává znovu. [1]

- Kapkový přenos

Tento typ přenosu vzniká při hodnotách napětí v rozmezí 22 až 28 V a proudu od 190 do 300 A. Při přenosu se konec elektrody vlivem vysokého proudu nataví do velké kapky. Reakčním tlakem par se kapka vydouvá mimo osu drátu a oblouk putuje po roztaveném konci elektrody až magnetické síly přeruší můstek. Kapka je vymrštěna do svarové lázně vysokou



rychlostí, ale s malou frekvencí 5-40 kapek za sekundu, což zapříčiňuje rozdílné velikosti kapek a nestabilitu přenosu. Oblast kapkového procesu je vidět na obrázku číslo 14 a 15.[1]

- Sprchový přenos

Se sprchovým přenosem se může svářeč setkat při hodnotách svařovacího proudu od 180 do 500 A a při napětí od 20 do 36 V. Sprchový přenos patří mezi bezkratové přenosy, u kterých přechází roztavený kov do svarové lázně kapkami v ose elektrického oblouku. Mezi hlavní výhody sprchového přenosu kovu patří velké vnesené teplo, díky kterému dosáhneme průvar, vedoucí k možnosti svařování materiálů velkých tloušťek. Sprchovým přenosem se dosahuje vysoká kvalita svarového kovu. Tento přenos kovu se používá především v poloze vodorovné shora.

- Impulzní přenos

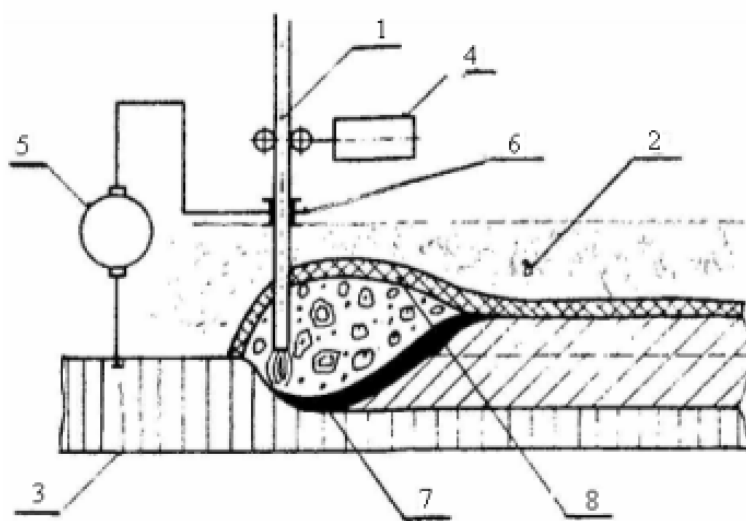
Princip impulzního přenosu kovu je napájení elektrického oblouku impulzně modulovaným proudem. Přenos odtavujících kapek kovu je řízen předem stanoveným programem. Mezi hlavní výhody impulzního přenosu je vysoký impulzní proud, který dokáže tavit i dráty větších průměrů. Dráty větších průměrů jsou lépe finančně dostupné. Proud se neustále mění mezi dvěma úrovněmi, čímž vzniká „pulzace“ proudu, která se nastavuje tak, aby při každém pulzu se odtavila právě jedna kapka tekutého kovu, což zaručuje dobře ovladatelné množství odtaveného kovu a vneseného tepla do materiálu. [2]

- Rotující oblouk

Hodnoty svařovacího proudu při přenosu rotujícím obloukem nabývají 450 až 650 A, napětí se pohybuje v hodnotách 50 až 65 V. Roztavený svarový kov se přenáší z konce elektrody vlivem velké elektromagnetické síly a velké intenzity proudu podobě rotujícího proudu taveniny. Během přenosu kovu rotujícím obloukem je do materiálu vneseno velké teplo, které zapříčiňuje velký průvar. Rotující oblouk vytváří širokou svarovou housenku. Velké vnesené teplo, velký průvar + široká svarová housenka Tato technologie je vhodná kvůli vysokým výkonům resp. vysoké rychlosti svařování pouze pro strojní svařování. [2]

## 6. Automatické svařování pod tavidlem

Při tomto způsobu svařování elektrický oblouk hoří mezi odtavující se elektrodou (v daném případě je to holý drát odvíjející se prostřednictvím kladek z cívky) a základním materiálem pod vrstvou tavidla. Přídavný svařovací drát se odtavuje v uzavřeném prostoru, který je naplněn přetlakovými parami a plyny vznikajícími z tavidla, čímž se zajišťuje ochrana svarové lázně před škodlivými účinky okolní atmosféry. Tavidlo se sype podél styčné mezery trubící, která je umístěna buď před elektrodou nebo častěji soustředně kolem ní. Určitá část tavidla se taví a po příslušných metalurgických reakcích ve formě strusky ulpívá na povrchu svarové housenky, zbytek je přes síto odsáván zpět do zásobníku. [13]



- 1 – svařovací drát
- 2 – tavidlo
- 3 – základní materiál
- 4 – podávací mech. svař. drátu
- 5 – zdroj svař. proudu
- 6 – přívod proudu do elektrody
- 7 – roztavený svarový kov
- 8 – roztavená struska

Obrázek číslo 20: Schématické znázornění metody [2]

Tabulka 3: Rozsah základních parametrů u metody SAW (Anglicky Submerged Arc Welding) [2]

Rozsah základních parametrů	
Poloha svařování	PA (vodorovná shora), do úžlabí – nebo mírně skloněná cca do 7° od této polohy, případně poloha PB (vodorovná šikmo shora)
Rozsah svařovacího proudu	200 až 2000 A (extrémně i 4000 A)
Rozsah napětí na oblouku	20 až 50 V
Rozsah svařovacích rychlostí	15 až 120 m/hod
Průměr přídatného materiálu	1,6 až 8 mm (je možné použít i průměr 1,6 mm a extrémně i 13 mm)
Druh základního materiálu	všechny druhy konstrukčních ocelí, vysokolegované oceli, slitiny Ni, Cu

Jedná se o velmi výkonný a hospodárný způsob svařování, který je standardně automatizován. Rozumíme tím, že posuv do svaru je mechanický, rovněž regulace eventuálně stabilita režimu svařování během procesu svařování zůstává bez vlivu operátora svařování. Mechanický posuv PM do svarové lázně obstarávají podávací kladky na pojezdovém vozíku, na kterém je svařovací hlava připevněna, v tomto případě vozík obvykle pojíždí po svařovaných deskách. Nebo pro některé svařované výrobky je použito stabilních svařovacích hlav, potom posuv do svaru obstarává vhodné polohovadlo, které se svařencem manipuluje. [13]

Použití svařování elektrickým obloukem pod tavidlem je dnes v celosvětovém měřítku velmi rozsáhlé. Zhotovují se jak tupé svary s různou úpravou svarových ploch (nebo bez úpravy), tak i různé typy svarů koutových. V průmyslu se této metody svařování velmi efektivně využívá při výrobě kotlů, tlakových nádob a trub větších průměrů. Dále při stavbě

ocelových konstrukcí se svařují na příklad nosníky apod. Bohatě je svařování pod tavidlem využíváno při stavbě lodí.



*Obrázek číslo 21: Svařovací traktor určený ke svařování pod tavidlem*

## 6.1. Přídavné materiály

Při svařování metodou 121 (označení dle EN ISO 4063) se tavidlo a svařovací drát dají navzájem kombinovat pro získání požadovaného chemického složení a mechanických vlastností svarového kovu. Na chemické složení svarového kovu má vliv hlavně svařovací drát. Dráty pro metodu svařování 121 jsou leskle tažené za studena. Hlavně pro navařování se užívají přídavné materiály ve formě pásky nebo plněné elektrody vytvořené ze svinutého pláště z měkkého materiálu. Tyto dráty mají malý obsah síry a fosforu (ten nemá obsahovat víc jak 0,12 %), vysoký obsah manganu. Norma ČSN EN ISO 14171 – Svařovací materiály udává přehled drátů a tavidel pro svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí pro metodu svařování 121. [13]

Klasifikace samostatného svařovacího drátu podle normy ČSN EN ISO 14171 se skládá z pěti částí, které obsahují:

- 1) označení výrobku/metody svařování,
- 2) označení pevnostních vlastností a tažnosti čistého svarového kovu  
pro vícevrstvé svařování nebo pevnostních vlastností základního materiálu  
použitého pro klasifikace oboustranného svařování,
- 3) označení pro nárazovou práci čistého svarového kovu nebo svarového kovu  
svarového spoje,
- 4) označení typu použitého tavidla,
- 5) označení chemického složení použitého svařovacího drátu.

Klasifikace tavidel pro APT – norma ČSN EN ISO 14174 označuje:

- 1) výrobek (metodu) svařování,
- 2) způsob výroby,
- 3) typ tavidla, chemické složení,
- 4) třídu tavidla,
- 5) metalurgické vlastnosti tavidla,
- 6) druh proudu,
- 7) obsah vodíku ve svarovém kovu.

Pro snazší použití této normy se klasifikace dělí na dvě části:

- povinná část obsahuje označení metody svařování, způsobu výroby,  
charakteristické chemické složení (typ tavidla) a použití tavidla,
- nepovinná část obsahuje označení metalurgických vlastností tavidla, typu proudu  
a obsahu vodíku.

## 6.2 Tavidla pro svařování

Tavidlo se teplem roztaví a uvolní se z něj plyny, které ochrání svarovou lázeň před účinky okolní atmosféry. Kromě ochranné funkce obsahuje tavidlo prvky, kterými se doleguje svar na požadované vlastnosti. Rafinační schopností tavidla dojde k odstranění nežádoucích prvků ze svaru, zejména síry. Z roztaveného tavidla vzniká struska, která těsně přiléhá k chladnoucemu svaru. Přebytké tavidlo, které nevstoupilo do tavícího procesu, se vysaje a zrecykluje k dalšímu použití. Tavidla se rozdělují na tavená a netavená, přičemž netavená se dále dělí na keramická a sintrovaná.

### 6.2.1. Výroba tavidel

- Tavená

(odlíváním do vody) amorfní hmota se taví při teplotě 1250 – 1500 °C v elektrické peci, tavidlo není vhodné pro legování svarového kovu,

- Keramická

(spojením práškové směsi) směs se pojí pojivem (vodní sklo), sušení probíhá při teplotě 400 °C,

- Sintrovaná

(prášková směs se spojuje žiháním při teplotě nad 800 °C), tavidlo je vhodné pro legování svarového kovu. [13]

### 6.2.3. Rozdělení tavidel

Tavidla se dělí dle normy ČSN EN ISO 14174 podle chemického složení, indexu bazicity, podle struktury, nebo podle způsobu výroby.

Typ tavidla má vliv na operativní vlastnosti a na vlastnosti získaného svarového kovu, a to podle kombinace s typem drátu. Základní metalurgické charakteristiky bývají často popisovány tzv. indexem bazicity, který se definuje jako poměr mezi obsahem zásaditých (bazických) a kyselých oxidů, které tavidlo obsahuje. Tavidla pro svařování a navařování řadíme pomocí indexu bazicity do následujících skupin: [13]

- kyselé,
- neutrální,
- bazické,
- vysoce bazické.

Velikost zrna do jisté míry ovlivňuje operativní vlastnosti tavidla. U hrubšího zrna je svarová housenka širší s menší hloubkou závaru. Negativní je také formování svarové housenky při velkém rozdílu ve velikosti zrna a za přítomnosti prachové frakce. Proto se velikost zrna definuje pro daný typ v určitém intervalu. Tavidla se dodávají v následujících zrnitostech:

- zrno 1 velikost zrna 0,25 – 1,8 mm,
- zrno 2 velikost zrna 1,00 – 2,5 mm,
- zrno 3 velikost zrna 0,25 – 2,5 mm.



Obrázek číslo 22: Ukázka tavidel o různé velikosti zrna [9]

## 6.2.5. Bazicita tavidla

Vypočítá se z obsahu jednotlivých složek v tavidle nezávisle na typu drátu. Vyšší bazicita poskytuje vyšší hodnoty nárazové práce, ale znamená např. omezení svařovací rychlosti či parametru kresby povrchu svaru. Z ekonomického hlediska je proto vhodné vybírat tavidlo s nejnižší bazicitou, která stačí k dosažení potřebné minimální nárazové práce svarového kovu. Z řady různých výpočtů bazicity se všeobecně akceptuje způsob výpočtu dle Boniszewského. [13]

$$\text{Koefficient bazicity: } B = \frac{CaO + MgO + Na_2O + K_2O + CaF_2 + \frac{1}{2}(MnO + FeO)}{SiO + \frac{1}{2}(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)} \quad (1)$$

Dle výsledku bazicity se tavidla dělí do následujících skupin:

$B < 0,9$  tavidla s nízkou bazicitou,

$B = 0,9 - 1,2$  neutrální tavidla z hlediska bazicity,

$B > 1,2 - 2,0$  bazická tavidla,

$B > 2,0$  vysoce bazická tavidla.

Ze vzorce (1) plyne, že tavidla s nízkou bazicitou obsahují více komplexních oxidů. Atomární vázaný kyslík příznivě působí na tvorbu mikrostruktury svaru. V čistém svarovém kovu závisí množství vázaného kyslíku na úrovni bazicity tavidel. Typické úrovně jsou: [14]

- nízkobazická tavidla  $> 750$  ppm,
- neutrální tavidla  $550 - 750$  ppm,
- bazická tavidla  $300 - 550$  ppm,
- vysocebazická tavidla  $< 300$  ppm.

U svarů s nízkou úrovní kyslíku a vysokým promísením v základním materiálu může klesnout potřebná úroveň bazicity pod požadovanou hranici. Různá bazicita tavidla i úroveň kyslíku ve svarovém kovu může ovlivnit nárazovou práci čistého svarového kovu při stejném



druhu svařovacího drátu (PM). Různé druhy tavidel lze nalézt například v Technické příručce pro svařování pod tavidlem společnosti ESAB, a to např.: [22]

- tavidlo pro vysoké svařovací rychlosti,
- tavidlo pro nejnáročnější aplikace a nejvyšší požadavky na houževnatost svarového kovu,
- tavidlo poskytující vysoké hodnoty nárazové práce – pro žárovečné oceli,
- tavidlo pro aplikace s potřebou vysokého protavení,
- vysoce aktivní tavidlo
- tavidlo pro svařování a navařování korozivzdorných materiálů,

## 6.2.6. Manipulace s tavidly a jejich skladování [2]

Tavidla jsou hygroskopické látky a snadno navlhají (zejména pemzovitá a keramická tavidla). Proto se tavidla musí při dopravě a skladování uzavírat do obalů zamezujících navlhání. Do skladů se umísťuje několik nádob se silikagelem (vysoušedlem). Podmínky skladování tavidel se definují v normě ČSN EN ISO 14174, kde je uvedeno, že tavidla ve skladech se musí skladovat při minimální teplotě +15 °C a relativní vlhkost nemá být vyšší než 60 %. Pokud je tavidlo vlhké nebo je u něj podezření na vlhkost, je třeba ho před použitím přesušit při teplotách 250 – 400 °C a občas promíchat. [13] [2]

## 7. Porovnání metod svařování

### 7.1 Výhody svařování pod tavidlem

Hlavní výhody svařování pod tavidlem je vysoká produktivita a vysoká kvalita provedených svarů. Vysoké produktivity je dosaženo díky možnosti používat vysoké svařovací proudy a automatizaci celého procesu. Metodou 121 lze například na tupo (jako I-

svar) svařovat jednostranně plechy do tloušťky 20 mm. To výrazně zlevní přípravu svarových ploch. Ovšem je nutné dbát na dodržení dokonalého sesazení plechů a dodržení stejnoměrné mezery. Na rozdíl od svářeče - člověka - si automatika s nepravidelností sesazení na 100% neporadí (ovšem tyto systémy se vyvíjejí a již zkoušejí). Svary zhotovené 121 jsou prakticky bez rozstříku, krásně formované a s hlubokým závarem. Metoda 121 vykazuje velkou teplotně ovlivněnou oblast, ale protože se většinou tato metoda používá na svařování materiálů větších tlouštěk, tak to není zásadní problém. Svary mají minimum vad jako jsou zápaly, trhliny, póry, apod. a zpravidla se nemusí opracovávat. Také opakovatelnost svarů je vynikající. Další výhodou je minimum škodlivých emisí. Svařování pod tavidlem zdaleka neobtěžuje ostatní svářeče na pracovišti dýmem a zářením, jako jiné metody obloukového svařování. Nejsou proto nutná taková opatření jako zástěny, odsávání dýmu apod. Nebo alespoň ne v takové míře jako u MIG/MAG či MMA. [17]

Při jednostranném svařování je nutné vyřešit ochranu kořene svaru před oxidací a zajistit jeho správné formování. Ochrana kořene se řeší nejčastěji pomocí podložek. V minulosti se používaly buď podložky ocelové (které se přivaří k dílu a po svaření zůstávají jeho součástí) nebo měděné (odnímatelné). V současné době se nejvíce používají podložky tavidlové, které jsou opatřeny samolepicí páskou pro přilepení zesponu na svařenec. Tyto podložky mají navíc uprostřed prohlubeň, která se před přilepením vyplní tavidlem. Tím je tavidlem chráněn i kořen svaru. [22]



*Obrázek číslo 23: Svařovací kořenová páska*

## 7.2. Nevýhody svařování pod tavidlem

Pomineme-li nevýhodu v podobě vysokých pořizovacích nákladů na zařízení pro 121 a vysokých nároků na příkon takového zařízení, jedná se především o to, že pod tavidlem lze svařovat jen v poloze PA nebo PB (výjimečně i PC). Mezi další nevýhody patří i zakrytý svařovací proces a obtížnost jeho kontroly, což znesnadňuje jeho vizuální kontrolu. Dále je nutné věnovat zvýšenou pozornost sesazení svařovaných materiálů a správnému navedení svařovací hlavy (traktoru) na kořenovou mezeru. S tím vším pochopitelně souvisí i zvýšené nároky na obsluhu takového zařízení.

## 7.2 Výhody svařovací metody MAG

Mezi hlavní výhody této metody je možnost svařování ve všech polohách, vysoká svařovací rychlost a jednoduchá možnost robotizace. Oblouk i svarová lázeň jsou jasně viditelné, tudíž přístupné pro vizuální kontrolu. Mezi další výhody patří:

- vysoká efektivita, úspory nedopalků tzv. nekonečným drátem
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování
- vysoká produktivita procesu

## 7.3. Nevýhody svařovací metody MAG

Ve volném prostoru nebo v halách s průvanem může docházet k problémům s udržení ochranného plynu během procesu svařování, jedná se o tzv. dílenskou metodu.

## **PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8. Popis řešeného případu

V praktické části se diplomová práce zabývá výrobou ocelového mostu s masivní ocelovou deskou po stranách podpíranou parapetními nosníky, která nahradí zastaralý železniční most na trati Žichovice – Sušice (viz obrázek 24).



*Obrázek číslo 24: Současný stav železničního mostu*

### 8.1. Identifikační údaje mostu

Název stavby:

Oprava mostů v úseku Žichovice - Sušice

Objekt:

SO 102 Most v km 15, 487

Investor:	SŽ, s.o., OŘ Plzeň Sušická 1168, 326 00 Plzeň
Správce mostního objektu:	SŽ, s.o., OŘ Plzeň Sušická 1168, 326 00 Plzeň
Projektant:	TOP CON SERVIS s.r.o. Ke Stírce 56, Praha 8
Katastrální území:	Velká Chmelná, číslo katastrálního úseku: 651923
Kraj:	Plzeňský
Traťový úsek (TÚ):	0371 Horažďovice předměstí– Klatovy
Dopravní úsek (DÚ):	08 Žichovice – Sušice
Překonávaná překážka:	účelová komunikace zpevněná
Stupeň dokumentace:	DUSP + PDPS [21]

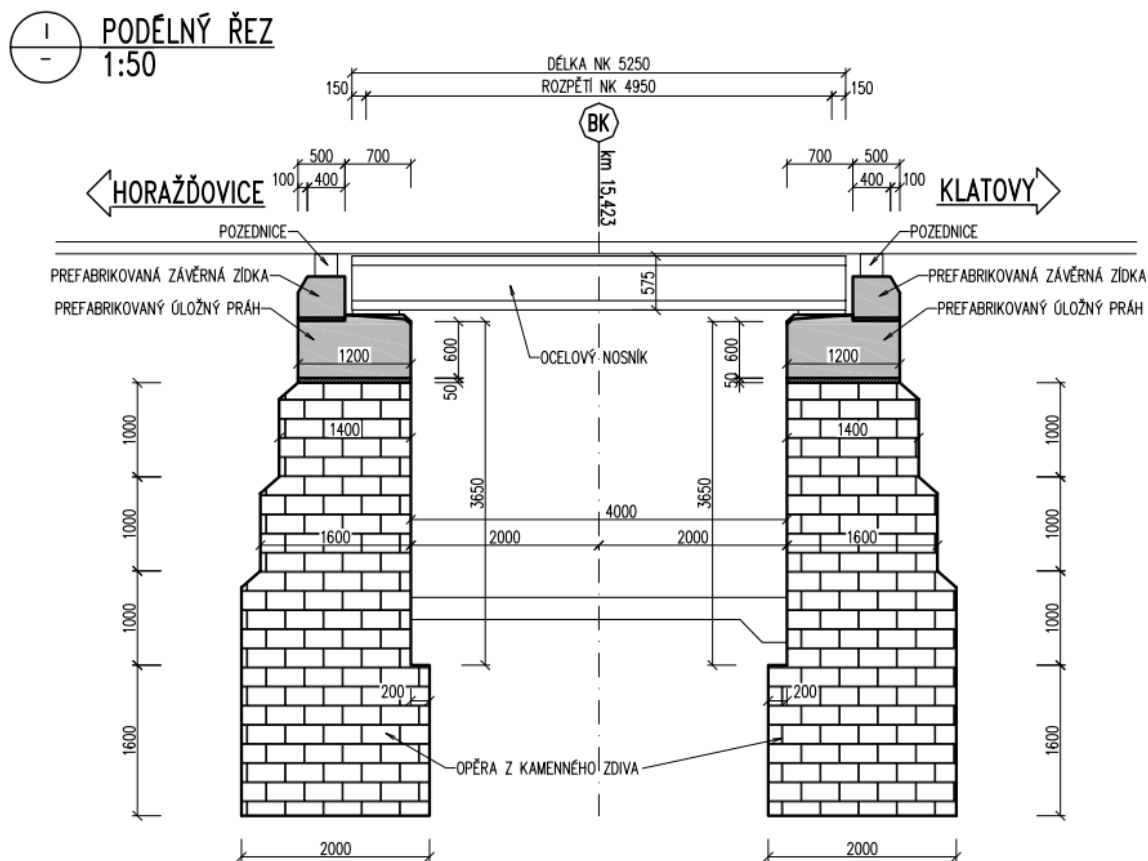
## 8.2. Základní návrhové parametry

- Nahodilé krátkodobé zatížení: nová nosná konstrukce, upravená spodní stavba
- Prostorová průchodnost po realizaci

## 9. Stávající stav rekonstruovaného mostu

### 9.1. Nosná konstrukce, spodní stavba

Jedná se o mostní objekt o jednom poli se dvěma dvojčítými plnostěnnými ocelovými nýtovanými nosníky tvaru I s vodorovným podélným nýtovaným ztužením z L profilů. Kolejnice jsou upevněny pomocí žebrových podkladnic na mostnicích. Délka nosníků je cca 5,25 m, rozpětí činí 4,95 m. Mezi nosníky i vně nosné konstrukce na konzolách jsou umístěny ocelové podlahy. Spodní stavba je tvořena kamennými opěrami a křídly (viz obrázek 25). [21]



Obrázek číslo 25: Výkres současného stavu mostu – bokorys [21]

## 9.2 Stavební stav konstrukce

Stav konstrukce se hodnotí na 3 stupně na K1, K2 a K3 dle drážního předpisu. Čím vyšší číslo, tím horší stav konstrukce. [21]

K1 = Vyhovující stav

K2 = Vyhovuje s výhradami

K3 = Nevyhovuje





## 9.5. Základní údaje o novém mostě

Charakteristika mostu:	Hl. nosnou konstrukci tvoří uzavřené nosníky (truhlíky), mostovka je z tlustého plechu bez výztuh, nad opěrami jsou koncové ocelobetonové příčníky spřažené s deskou mostovky.
Popis spodní stavby:	Nové ocelobetonové úložné prahy.
Statická soustava:	Prostý nosník uložený prostřednictvím ŽB příčníku do ozubu úložného prahu.
Počet mostních otvorů:	1
Světlost otvoru:	4,16 m
Rozpětí nosné konstrukce:	4,64 m
Délka nosné konstrukce:	5,34 m
Stavební výška mostu:	0,656 m
Výška mostu:	3,02 m
Volná šířka na mostě:	5,575 m
Šířka mostu:	5,705 m (ocelová konstrukce mostu)
Šikmost mostu:	90°
Počet kolejí na mostě:	1
Úhel kříž. překážka/most:	90°
Max. rychlost přejezdu vlaku:	Rychlost $V = 65$ km/h
Překonávaná překážka:	úcelová komunikace zpevněná

## 9.6 Prostorové uspořádání pod mostem

Opravou mostu dojde ke změně prostorového uspořádání pod mostem, světlost otvoru bude zvětšena o cca 60 mm na 4,160 m. Volná výška pod mostem bude zvětšena. Spodní hrana ocelové nosné konstrukce mostu bude o cca 180 mm výše oproti staré nosné konstrukci. Budou provedeny nové svahové kužele. Stávající účelová komunikace bude upravena, aby byla zachována stávající podjezdná výška. [21]

## 10. Technické řešení nového mostu

### 10.1. Hlavní nosná konstrukce mostu

Jedná se o ocelovou konstrukci s dolní mostovkou a průběžným kolejovým ložem. Nosná konstrukce je tvořena dvěma hlavními nosníky uzavřeného profilu z plechů tl. 20 mm. Mezi nosníky je mostovka z plechu tl. 80 mm bez výztuh. Nad opěrami jsou koncové příčníky ze ŽB spřažené s deskou mostovky, jejichž prostřednictvím je konstrukce uložena do ozubů nových úložných prahů. Nosná konstrukce je v podélném sklonu 1,0 %. V příčném směru je nosná konstrukce vodorovná. Konstrukce je kolmá. Na vnější stranu levého ocelového truhlíku budou šroubovými lícovanými spoji připojeny konzoly podlah a zábradlí. Nová nosná konstrukce může být provedena jako prefabrikát, kompletně svařený vč. vybetonování ocelobetonových příčníků v mostárně. [21] [7]

### 10.2. Uložení nosné konstrukce mostu

Nosná konstrukce mostu bude uložena prostřednictvím úložných ozubů do lože z plastmalty tloušťky 30 mm včetně elektroizolačních desek. Ozub bude zalit plastmaltou po osazení nosné konstrukce pomocí plnicích HDPE trubek o průměru 100 mm vložených

do příčnicku nosné konstrukce. Po dobu tvrdnutí plastmalty nesmí být plastmalta zatížena. Nosná konstrukce lávky bude rovněž uložena prostřednictvím úložných ozubů do lože z plastmalty tloušťky 30 mm, které bude zhotoveno před osazením NK lávky ve vybraní ozubu. Na stranách ozubu budou položeny elektroizolační desky tl. 30 mm, jejichž poloha bude zajištěna např. lokálním přilepením.

## 11. Výroba mostu

Železniční most je široký 5,705 m, dlouhý 5,34 m a masivní deska je tlustá 80 mm. Jak už bylo zmíněno v minulých kapitolách, tak pořízení vyválcovaného plechu o tomto rozměru není v České republice možné, neboť se u nás nenachází žádná železárna, která by to dokázala vyrobit. Z tohoto důvodu zbývají následující možnosti řešení:

- 1) Objednat plechy menších rozměrů, náukosovat je a svařit na daný předepsaný rozměr
- 2) Objednat přesný rozměr plechu v zahraničí

## 12. Experiment

V následujících kapitolách je popsán experiment, díky kterému byly pracovníci firmy OK-BE, spol. s r.o. schopni určit nejvýhodnější způsob výroby ocelové desky o tloušťce 80 mm, která bude tvořit podlahu nového mostu na trati Žichovice – Sušice.

Experiment obnášel vytvoření 4 ocelových desek svařováním 2 stejných druhů plechů o rozměru 300 x 150 mm a vyhodnocení postupu svařování dle normy ČSN EN ISO 15614 (Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování) za účelem kvalifikace postupu. Svary zhotovil svářečský personál s platným certifikátem dle normy ČSN EN 9606-1. První, druhý a třetí vzorek jsou z oceli S 355 a čtvrtý vzorek je z oceli S 460. Vzorky 1 a 2 byly svařeny pomocí X svaru (tzn. oboustranný nesymetrický V svar), vzorky číslo 3 a 4 pomocí V svaru, který byl vždy podlepen kořenovou podložkou. Vzorky reprezentují výrobu spodní části parapetního nosníku.

Vzorek 4 je navržen z oceli S 460. Tento materiál lze na výrobu parapetních nosníků také využít. V případě, že je parapetní nosník z oceli S 355 ze statických důvodů o větší tloušťce než 80 mm je možnost použít materiál vyšší pevnostní třídy, např. S 460. Použití pevnějšího materiálu může snížit tloušťku parapetního, tím lze ušetřit hmotnost konstrukce.

Chemické složení materiálů:

Tabulka č. 4: Chemické složení použitých základních materiálů [23]

Druh materiálu	Název prvku					
	C	Mn	Si	P	S	Mo
S 355 NL (Jemnozrná ocel)	0,08	1,3	0,7	0,015	0,015	0,5
S 460	0,12	1,7	0,5	0,25	0,015	1,6

Vzhledem k větší tloušťce ZM než 25 mm, je předpoklad že bude vhodné navrhnout přehřev před svařováním. Teplota svařování byla napočítána podle standardního výpočtového vztahu (1) podle Seferiána:

$$T_p = 350 \cdot \text{SQRT}(C_p - 0,25) \quad (1) [13]$$

kde ...

$$C_p = C_c + 0,005 \cdot s \cdot C_c$$

kde..

$$C_c = \frac{360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo}{360}$$

**s** je svařovaná tloušťka.

Po dosazení tloušťky 80 mm a obsahů jednotlivých chemických prvků z tabulky č. 4 vychází  $T_p = 149^\circ\text{C}$ . Předehřev byl zaokrouhlen na  $150^\circ\text{C}$ . Při změně tloušťky z 80 mm na 60 mm se teplota předehřevu liší pouze o  $13^\circ\text{C}$ . Byla zvolena jednotná teplota předehřevu a to  $150^\circ\text{C}$ . Teplota předehřevu pro 60 mm silný lech z materiálu S 460 vyšla  $T_p = 167^\circ\text{C}$ .

Dále byla ověřena svařitelnost. Vzhledem k tomu, že se jedná o základní typy jemnozrnných ocelí, byla ověřena především náchylnost materiálu na vznik trhlin za tepla. Náchylnost oceli k trhlinám za tepla lze určit pomocí výpočtu parametru HCS (Hot Cracking Sensitivity) – viz výpočtový vztah (2). Náchylnost na horké praskání je malá, pokud je HCS menší než 4, pro vysokopevné oceli musí být menší než 1,6 - 2.

$$HCS = \frac{C \cdot \left[ S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right] \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad (2)$$

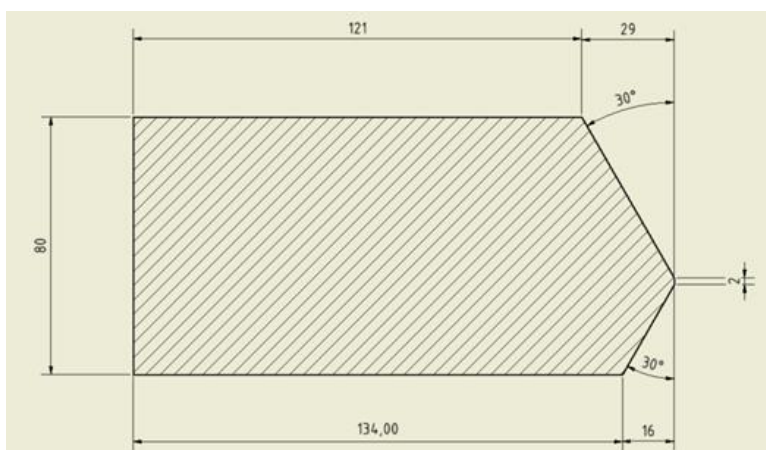
Po dosazení hodnot z tabulky 3 vychází parametr HSC = 1,068 (pro ocel S355)

(Proc ocel S460) HSC = 1,22

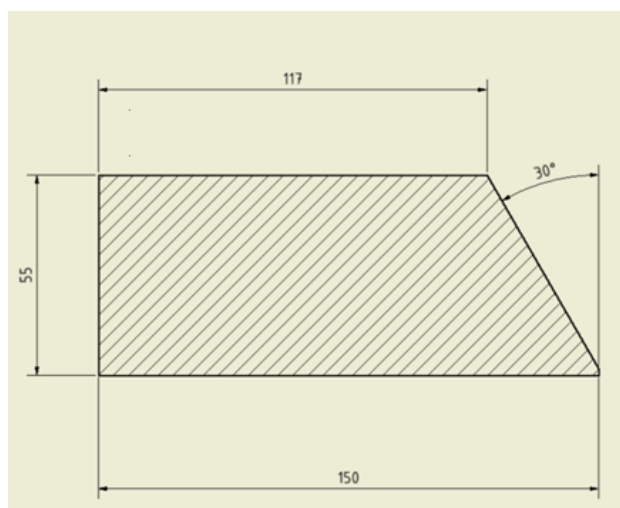
Náchylnost na trhliny za tepla je malá, protože HSC je menší než 1,6.

Vzorky byly vytvořeny dělením na pásové pile z ocelové desky 300 x 300 mm a následně úkosovány na konvenční frézce (viz obrázky číslo 27,28 a 29). Dále byly ke vzorkům přidělaný ze stejného materiálu, jako je základní materiál, náběhové a výběhové desky za účelem lepšího napojení a ukončení svaru. U vzorku číslo 2 byly použity delší náběhové a výběhové desky za účelem lepší navedení svařovacího drátu. Před samotným svařováním vzorků, bylo zapotřebí vzorek předehřát na vypočítanou teplotu  $150^\circ\text{C}$  pomocí kyslíko-acetylenového plamene. Na předehřev byl použit neutrální plamen s hořákem typu 20-30 ze vzdálenosti 10 cm. Ohřev trval 12 minut. Během procesu vícevrstvého svařování byla navržena dle normy ČSN EN 13916 teplota interpass  $200^\circ\text{C}$  (která se při svařování dalších vrstev nesmí překročit), aby byla potlačena možnost vzniku trhlin za tepla a především, aby se zamezilo nevhodným strukturním změnám po ovlivnění vícenásobným

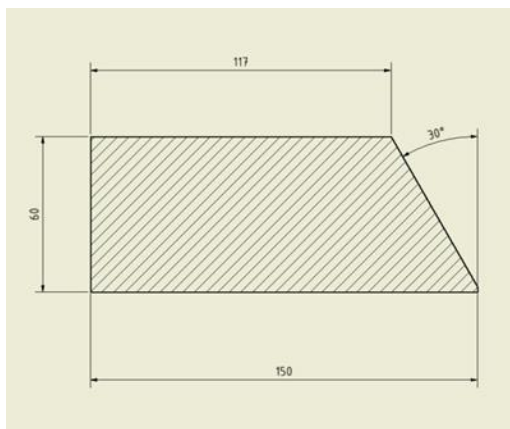
svařovacím cyklem. Teploty 200 °C bylo dosaženo průměrně po svaření 7 housenek, takže bylo nutné vzorek nechat pozvolna chladnout (zhruba 1 hodinu), dokud opět nebyla naměřena pomocí dotykového teploměru teplota 150°C nacházející se na spodní hranici teplotního pásu 150 až 200 °C. V příloze 1 jsou podrobně uvedeny pWPS všech vzorků, včetně použitých parametrů svařovacího procesu. U vzorku 1 a 2 byl zvolen nesouměrný X svar z důvodu obtížné manipulace. Při svařování velkých těžkých plechů je obtížná manipulace, takže se počítá se svařením spodní strany v poloze PE.



Obrázek číslo 27: Výkres 1/2 vzorku 1 a 2 v řezu



Obrázek číslo 28: Výkres 1/2 vzorku 3 v řezu



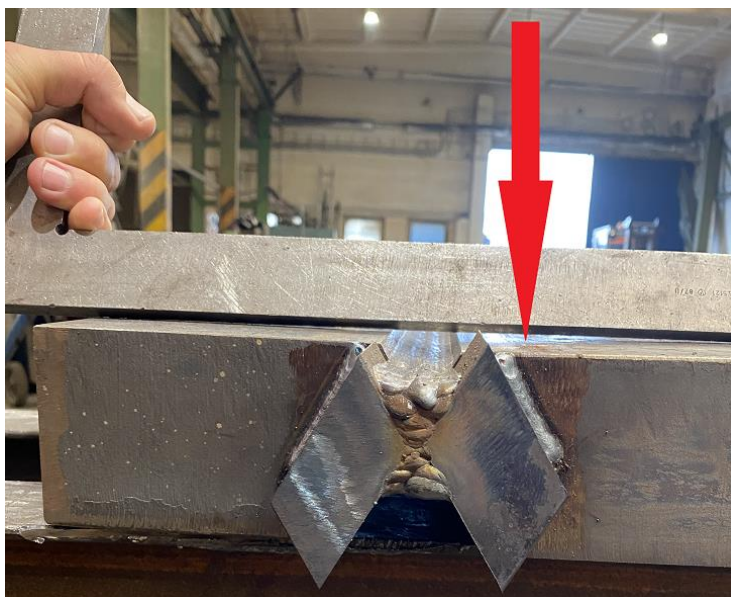
Obrázek číslo 29: Výkres 1/2 vzorku číslo 4 v řezu

Mezi další problémy, které při svařování daného vzorku mohou nastat, lze zmínit deformaci vzorku zapříčiněnou svarem, který obě poloviny během svařování stahuje k sobě. Tento problém je ukázán na obrázku číslo 30. Pro srovnání desky byla deska otočena a svařování pokračovalo na druhé straně, aby se deska srovnala do původního stavu. Manipulace se vzorky byla obtížná, protože deska měla vysokou teplotu a vážila zhruba 60 kg.

Tabulka č. 5: Svařované vzorky

Číslo vzorku	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Metoda svařování <sup>1)</sup>	Poloha svařování <sup>2)</sup>	Počet housenek
1	S355 NL	80	135	PA	84
2	S355 NL	80	121	PA	36
3	S355 NL	55	135	PA	39
4	S460	60	135	PA	47

Pozn.: 1) podle normy ČSN EN ISO 4063, 2) podle normy ČSN EN ISO 6947



*Obrázek číslo 30: Prohnutí svařovaného plechu*

Na obrázku číslo 30 je vidět dvoumilimetrový průhyb. Dovolенý průhyb dle drážních předpisů je 2 % z délky ocelové desky za účelem odtoku vody, takže se nejednalo o problém. Po otočení desky a následném svařování desky na druhé straně se vzorek srovnal.

## **12.1. Experimentální zařízení a pomůcky**

Použité pomůcky:

1. Svařovací zdroj ESAB Warrior 400i,
2. Svařovací ocelový drát OK ARISTOROD 12.50 o průměru 1,2 mm (pro metodu MAG)
3. Ocelový svařovací drát OK Autrod 12.22 o průměru 3 mm (pro SAW).
4. Ochranný plyn od firmy Linde CORGON 18 (Ar 82 % + CO<sub>2</sub> 18 %)



5. Dotykový teploměr Greisinger GMH 3200
6. Svařovací traktor od firmy ESAB A2 MULTITRAC WITH A2-A6 PROCESS CONTROLLER PEK
7. Souprava pro kyslíko-acetylenové svařování
8. Klešťový ampérmetr
9. Posuvné měřítko
10. Keramická podložka (pouze u vzorku 3 a 4)

## 12.2. Svařování vzorku číslo 1

V tab. 6 jsou shrnuty informace k vzorku č. 1. WPS ke všem vzorků je v příloze 1.

**Tabulka č. 6: Vlastnosti vzorku 1**

Číslo vzorku	Základní materiál	Tloušťka plechu [mm]	Metoda svařování	Poloha svařování	Průměr svařovacího drátu [mm]
1	S355 NL	80	135	PA	1,2

Předehřev vzorků trval 12 minut. Během předehřevu byla kontrolována teplota pomocí dotykového teploměru. Na následujících obrázcích č. ukázán postup výroby vzorku.



*Obrázek číslo 31: Vzorek před svařením*



*Obrázek číslo 32: Svářeč provádějící předehřev*



*Obrázek číslo 33: Dotykový teploměr GMH 3200*



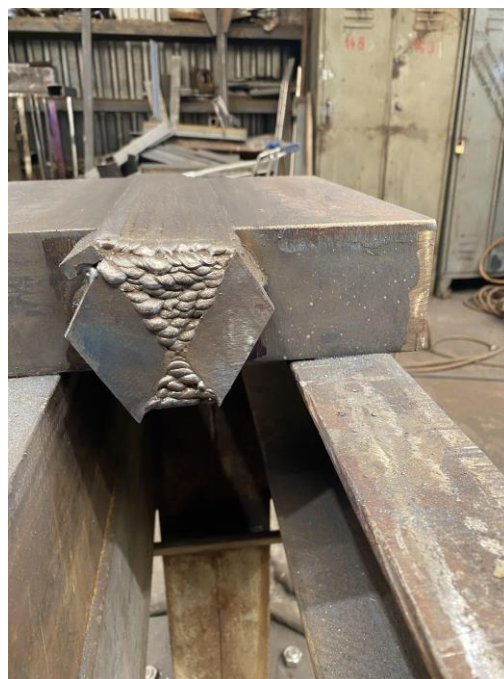
*Obrázek číslo 34: Vzorek po aplikace 5. housenky*



*Obrázek číslo 35: Vzorek během procesu svařování*

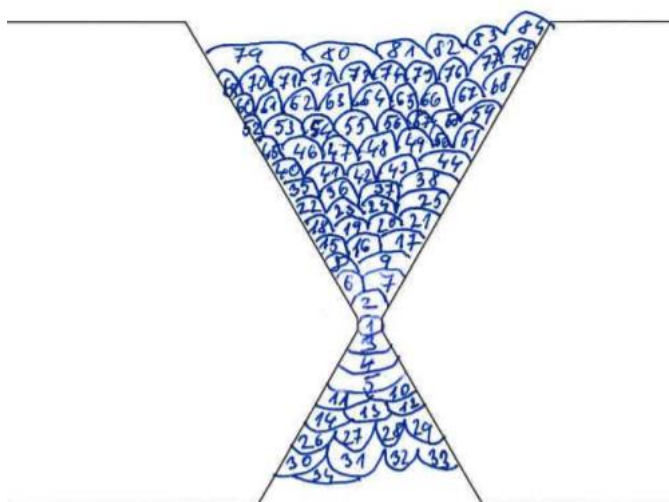


*Obrázek číslo 36: Kompletně zavařený vzorek 1*



*Obrázek číslo 37: Hotový vzorek, pohled z čela*





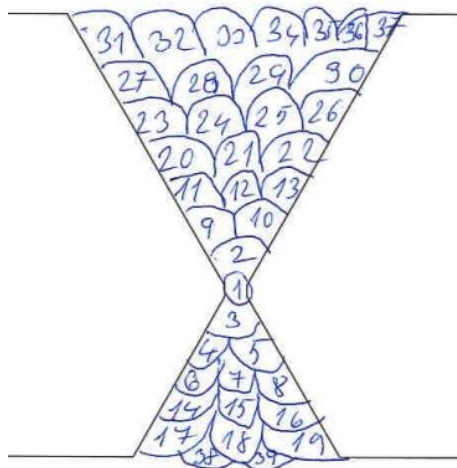
Obrázek číslo 38: Způsob kladení housenek – vzorek 1

## 12.2.Svařování vzorku číslo 2

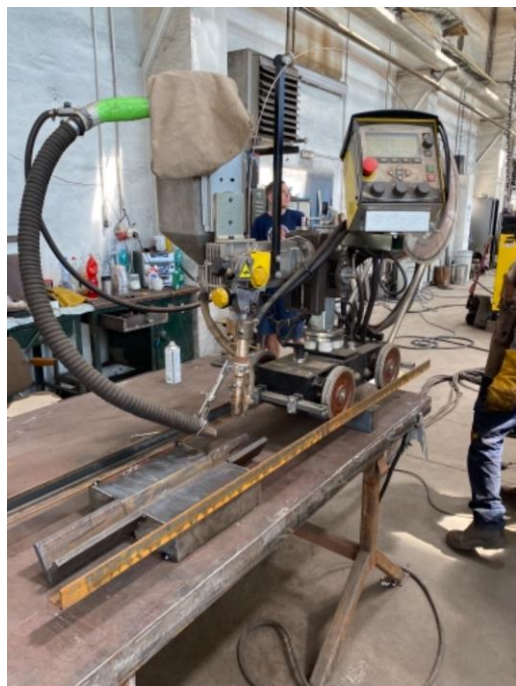
V tab. 7 jsou shrnuty informace k vzorku č. 2. Bylo použito tavidlo OK FLUX 1072. Doba předehřevu byla 12 minut. WPS je v příloze 1.

Tabulka č. 7: Vlastnosti vzorku 2

Číslo vzorku	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Metoda svařování	Poloha svařování	Průměr svařovacího drátu [mm]
2	S355 NL	80	121	PA	3



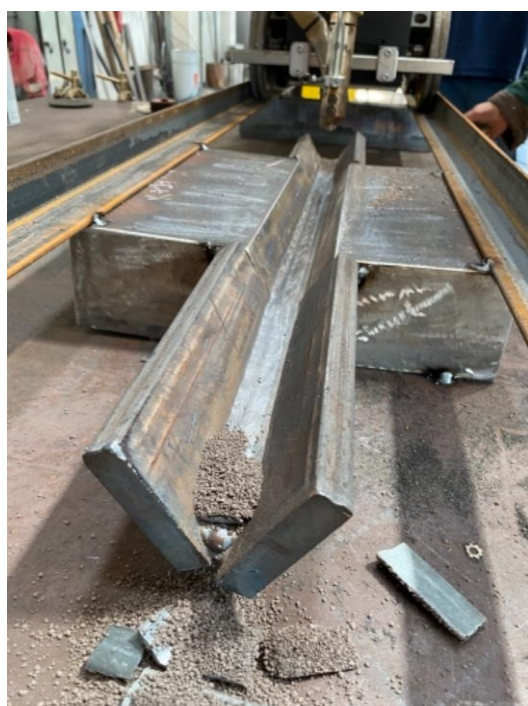
Obrázek číslo 39: Způsob kladení housenek - vzorek 2



*Obrázek číslo 40: Svařovací traktor ESAB A2 MULTITRAC*



*Obrázek číslo 41: Proces svařování vzorku číslo 2*



*Obrázek číslo 42: Vzorek 2 po navaření druhé housenky*



*Obrázek číslo 43: Hotový vzorek*

## 12.4. Svařování vzorku číslo 3

V tab. 8 jsou shrnuty informace k vzorku č. 3. Doba předehřevu byla 12 minut. WPS je v příloze 1

Tabulka č. 8: Vlastnosti vzorku 3

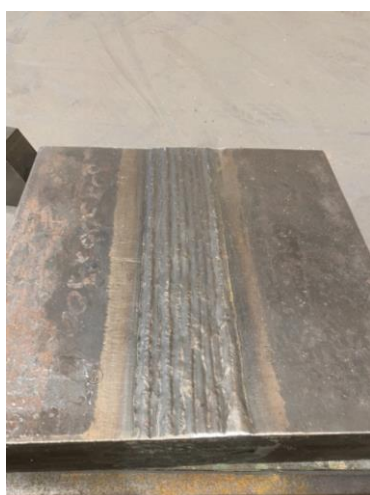
Číslo vzorku	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Metoda svařování	Poloha svařování	Průměr svařovacího drátu [mm]
3	S355 NL	55	135	PA	1,2



Obrázek číslo 44: Použití kořenové podložky



Obrázek číslo 45: Svařený kořen



Obrázek číslo 46: Kompletně svařený vzorek číslo 3



## 12.5. Svařování vzorku číslo 4

V tab. 9 jsou shrnuty informace k vzorku č. 4. Doba předehřevu byla 12 minut. WPS je v příloze 1.

Tabulka č. 9: Vlastnosti vzorku 4

Číslo vzorku	Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Metoda svařování	Poloha svařování	Průměr svařovacího drátu [mm]
4	S460	55	135	PA	1,2



Obrázek číslo 47: svařený kořen u vzorku 4



Obrázek číslo 48: Kořen z druhé strany u vzorku



Obrázek číslo 49: kompletně zhotovený vzorek

## 13. Zkoušky pro hodnocení kvality vyhotovených vzorků

Všechny zhotovené vzorky byly odvezeny do zkušební laboratoře firmy Dekra. Na všech vzorcích byly provedeny následující zkoušky v souladu s normou ČSN EN ISO 15614-1:

Nedestruktivní metody kontroly:

- Vizuální kontrola (100% rozsah kontroly)
- Magnetická prášková zkouška (svar)
- Ultrazvuková zkouška oblast TOO)

Destruktivní metody kontroly:

- Zkouška tahem (4 zkušební tělesa z každého vzorku)
- Zkouška ohybem (4 zkušební tělesa z každého vzorku)
- Zkouška rázem v ohybu (12 zkušebních těles z 4 vzorků)
- Zkouška tvrdosti dle Vickerse (1 zkušební těleso)
- Zkouška makrostruktury (1 zkušební těleso)

Byly provedeny právě tyto zkoušky, protože se jedná o zkoušky, které jsou povinné při kvalifikaci svařovacího postupu pro výrobu parapetních nosníků dle příslušné normy. Jako nedestruktivní zkouška pro kontrolu povrchových vad byla zvolena magnetická zkouška prášková. Kapilární zkoušku neprovádíme z důvodu použití magnetové práškové zkoušky, která je citlivější. Zkouška prozářením se ve firmě OK – BE s.r.o. neprovádí z důvodu nutnosti uzavření výrobní haly po dobu 1 dne, protože se používá záření životu škodlivé.



## 14. Výsledky zkoušek pro hodnocení kvality svarových spojů

Všechny protokoly provedené firmou Dekra jsou k nalezení v přílohách č. 3

### 14.1. Nedestruktivní zkoušky vzorků

Jestliže je požadována kontrola bez porušení zkoumaného svarového spoje, mluvíme o nedestruktivní metodě. V dnešní době patří nedestruktivní zkoušky mezi nejvíce používané kontroly. Vycházejí z jednoduchého poznatku: pokud se ve svaru nevyskytují vady (nebo jejich indikace), nebo jsou dostatečně malé či málo závažné, tak je svar vyhovující. Nedestruktivní zkoušky jsou nepostradatelné ve všech částech výroby

#### 14.1.1. Vizualní zkouška

Přímá vizualní zkouška byla provedena na všech 4 vzorcích. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 17637 a následně vyhodnocena přípustnost nálezu dle normy ČSN EN ISO 5817 podle stupně přípustnosti B. V tabulce 10 jsou sepsány zkušební údaje vizualní zkoušky.

Tabulka č. 10: Zkušební údaje vizualní zkoušky

Vizualní technika:	Přímá
Měřidla a pomůcky:	Lupa, posuvka
Stupeň přípustnosti	B
Pozorovací vzdálenost [mm]	300 až 500
Intenzita osvětlení [lx]	2490
Typ osvětlení	Umělé

Výsledná přímá vizuální zkouška byla vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 5817 ve stupni B vyhovuje. V příloze 3 je uveden originální protokol od firmy Dekra, která tuto zkoušku provedla.

## 14.1.2. Magnetická prášková metoda

Jako další nedestruktivní zkouška byla provedena magnetická prášková zkouška. Byla provedena dle normy ČSN EN ISO 17638 a následně vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 23278.

Magnetická prášková zkouška u všech vzorků vyhovuje dle normy ČSN EN ISO 23278. Originální protokol je k nahlédnutí v příloze č. 3.

Tabulka č. 11: Zkušební údaje magnetické práškové zkoušky

Druh magnetizace	Proudová
Proud [kA/m]	3,6 až 4
Zkušební prostředek	Mokrý, Fluorescenční NRF 101
Intenzita den. osvětlení: [lx]	15
Intenzita UV osvětlení [uW/cm <sup>2</sup> ]	2180
Měrka	MH175: (Berthold)

## 14.1.3 Ultrazvuková zkouška

Ultrazvuková zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 17640/B a následně zkoušena dle normy ČSN EN ISO 11666 podle stupně přípustnosti 2. V tabulce 12 jsou sepsány zkušební údaje o ultrazvukové zkoušce

Tabulka č. 12 Zkušební údaje ultrazvukové zkoušky

Vizuální technika:	Přímá
Ultrazvukový přístroj	USM35/16838
Počet sond	3
Srovnávací měrky a bloky	K1, metoda DGS
Vazební prostředek	UT gel FLUXO US-1

Výsledná ultrazvuková zkouška u všech vzorků vyhovuje dle ČSN EN ISO 17640/B. Originální protokol je v příloze č. 3

## 14.2. Destruktivní zkoušky

Je-li potřeba dokladovat a důkladně kontrolovat i mechanické vlastnosti svarového spoje, je nutné provést předepsané zkoušky v předepsaných rozsazích dle normy ČSN EN ISO 15614. Destruktivní zkoušky svarových spojů se zaměřují na kontrolu pevnostních vlastností, plastických vlastností, houževnatosti, tvrdosti a na určení makroskopických strukturních charakteristik.

### 14.2.1. Zkouška tahem

Byla provedena zkouška tahem a vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 4136. Výsledky všech vzorků pevnosti v tahu jsou uvedeny v tabulce číslo 13, kde jsou i porovnány s přípustnými hodnotami. Originální protokol zkoušky je v příloze č. 3.

## **14.2.2. Zkouška rázem v ohybu**

Tato zkouška byla provedena při teplotě  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Požadovaná přípustná hodnota nárazové práce byla 16 J. Zkouška proběhla a následně byla vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 9016. Ze dvou oblastí (TOO a SK) bylo vyrobeno 12 zkušebních těles o rozměru 10 x 10 x 55 mm s V vrubem, které byly dále přeraženy na Charpyho kladivě a následně byla zjištěna nárazová práce. Výsledky zkoušky u všech zkušebních těles vyhověly. Protokol ze zkoušky je v příloze 3

## **14.2.3. Zkouška ohybem**

Zkouška ohybem byla provedena a vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 5173. Byla vyrobena 4 zkušební tělesa, které byla následně zkoušena na ohyb  $180^{\circ}$ . Dle normy ČSN EN ISO 5173 všechna zkušební tělesa vyhovují, protože se během zkoušení na tyčích neobjevila žádná jednotlivá vada větší než 3 mm.

## **14.2.4. Zkouška tvrdosti dle Vickerse**

Tato zkouška byla provedena a vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 9015-1. V případě, že by nevyšla mechanická zkouška rázem v ohybu, mohla by nám tato zkouška potvrdit, nebo vyvrátit povrchní zakalení svaru, tudíž martenzitickou strukturu v materiálu. Zkouška tvrdosti dle Vickerse vyhovuje, protože v žádné oblasti vzorku nebyla naměřena větší tvrdost, než je maximální přípustná hodnota 380 HV10.

## 14.2.5. Zkouška makrostruktury

Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 17639. Potvrdila nám, že se nenachází ve svaru žádné vnitřní vady, tvar svaru je symetrický a má vhodné rozměry. Nadměrné zhrubnutí zrna dle protokolu v příloze neproběhlo. Protokol ze zkoušky je v 3.

## 15. Výsledky zkoušek

V kapitole 14 je vidět, že všechny nedestruktivní i destruktivní zkoušky provedené firmou Dekra vyhovují.

Tabulka č. 13: Porovnání mechanických vlastností vzorků

Číslo vzorku	Materiál	Tloušťka [mm]	Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Nárazová práce (-50°C) [J]	Min. přípustné hodnoty nárazové práce [J]	Přípustné hodnoty pevnosti v tahu [MPa]
1	S 355 NL	80	523	58	16	470 až 630
2	S 355 NL	80	514	115	16	470 až 630
3	S 355 NL	55	546	24	16	470 až 630
4	S 460	60	605	20	16	550 až 720

V tabulce číslo 13 jsou vidět výsledky mechanických zkoušek vzorků. V tabulce jsem zaznamenal pouze nárazovou práci a pevnost v tahu, protože právě tyto dvě vlastnosti jsou nejvíce sledovány při výrobě parapetních nosníků. V tabulce 13 je vidět, že všechny vzorky splňují kritéria normy ČSN EN 10225-2.

## 16. Ekonomické hodnocení zvolených variant výroby

V této kapitole bylo provedeno ekonomické hodnocení výroby spodní desky mostu. Parapetní nosník na trati Sušice – Žichovice bude mít rozměr 5450 x 4400 x 80 mm.

### 16.1. Varianta dle vzorku 1

Tato varianta je založena na koupi ocelových plechů menších délkových rozměrů (např. 3000 x 4000x mm), které se následně k sobě svaří metodou MAG (135)

Tabulka č. 14: Informace k variantě 1

Materiál	Celkový rozměr svařovaného plechu [mm]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Termín dodání ZM [počet týdnů]
S 355 NL	5450 x 4400 x 80	15 105,4	52	8

Celková cena za materiál = 15 105 x 52 = 785 460,- Kč

Náklady na 1 metr svaru o tloušťce 80 mm = 33 187,- Kč/m. Cena zahrnuje svařovací drát, náklady na personál, předehřev, úprava svaru, amortizaci vybavení.

Délka svaru je přibližně: 5460 mm (včetně výběhové desky)

Celkové náklady na svaření 2 ocelových plechů = 181201,- Kč

Cena za nedestruktivní zkoušení svarů (vizuální kontrola, ultrazvuk a magnetická prášková zkouška): 35 000,- Kč Objednáno a dodáno firmou Dekra jako služba.

Cena za výrobu (včetně kontroly kvality) = 1 001 661,- Kč (Povinnost výrobce, dílenská přejímka)

## 16.2. Varianta dle vzorku 2

Následující varianta je podobná jako varianta 2, liší se pouze v metodě svařování (tzn., jiný přídatný drát a jako ochrana svaru slouží tavidlo). Zde se jedná o svařování pod tavidlem (121).

Tabulka č. 15: Informace k variantě 2

Materiál	Celkový rozměr svařovaného plechu [mm]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Termín dodání [Týdnů]
S 355 NL	5450 x 4400 x 80	15 105,5	52	8

Celková cena za materiál = 15 105 x 52 = 785 460,- Kč

Náklady na 1 metr svaru o tloušťce 80 mm = 28497,- Kč/m. Cena zahrnuje svařovací drát, náklady na personál, předehřev, úprava svaru, amortizaci vybavení.

Délka svaru je přibližně: 5460 mm (včetně výběhové desky)

Celkové náklady na svaření 2 ocelových plechů = 155593,- Kč

Cena za nedestruktivní zkoušení svarů (vizuální kontrola, ultrazvuk a magnetická prášková zkouška): 35 000,- Kč. Objednáno a dodáno firmou Dekra jako služba.

Cena za výrobu = 976 053,- Kč

## 18.3 Varianta dle vzorku 3

Tato varianta slouží k porovnání s variantou 4, ve které byl svařován materiál vyšší pevnostní řady (S460). Svařování metodou MAG (135). U vzorku 3 byl použit materiál tloušťky 55 mm místo 60 mm z důvodu špatné dostupnosti materiálu na trhu.

Tabulka č. 16: Informace k variantě 3

Materiál	Rozměr [cm]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Termín dodání [Týdnů]
S 355 NL	5450 x 4400 x 5,5	10 340	52	8

Celková cena za materiál =  $11\,328 \times 52 = 589\,056,-$  Kč

Náklady na 1 metr svaru o tloušťce 60 mm = 23 980,- Kč/m. Cena zahrnuje svařovací drát, náklady na personál, přehřev, úprava svaru, amortizaci vybavení.

Délka svaru je přibližně: 5460 mm (včetně výběhové desky)

Celkové náklady na svaření 2 ocelových plechů = 130930,- Kč

Cena za nedestruktivní zkoušení svarů: 35 000,- Kč

Cena za výrobu = 754 986,- Kč



## 16.3. Varianta dle vzorku 4

V této variantě počítáme s pevnějším materiálem S460. V případě většího rozpětí mostu se používají plechy větších tloušťek než je 80 mm za účelem dodržení momentu setrvačnosti. Za účelem snížení výrobní ceny mosty je možné použít ocel vyšší jakosti, např. S460, díky které snížíme tloušťku plechu a tím ušetříme díky nižší hmotnosti peníze za materiál. Nejnižší možná tloušťka plechu pro použití je 60 mm. Velkou nevýhodou při svařování materiálu této jakosti je nutný svářecí dozor kvalifikované osoby během celého procesu svařování dle normy ČSN EN 1090-2.

Tabulka č.17: Informace k variantě 4

Materiál	Rozměr [mm]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Termín dodání [Týdnů]
S 460 NL	5450 x 4400 x 6	11 328,75	55	10

Celková cena za materiál =  $11\,328 \times 55 = 623\,040,-$  Kč

Náklady na 1 metr svaru o tloušťce 60 mm = 24890,- Kč/m. Cena zahrnuje svařovací drát, náklady na personál, přehřev, úprava svaru, amortizaci vybavení.

Délka svaru je přibližně: 5460 mm (včetně výběhové desky)

Celkové náklady na svaření 2 ocelových plechů = 135 899,- Kč

Cena za nedestruktivní zkoušení svarů: 35 000,- Kč

Cena za výrobu = 793 939,- Kč + nevýhoda dlouhé dodací doby materiálu.

## 16.4. Varianta 5

Ve variantě 5 bylo uvažováno objednání plechu na požadovaný rozměr. V České republice jsou výrobci ocelových plechů schopni vyválcovat plech pouze o tonáži 12 tun, což je pro tyto aplikace nedostatečné, protože samotná hmotnost parapetního nosníku je 15 tun. Firmy jsou nuceny plechy objednávat v zahraničí. V tabulce 18 jsou tedy ukázány charakteristiky při dodání od německého výrobce Dillinger.

Tabulka č. 18: Informace k variantě 5

Materiál	Rozměr [mm]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Termín dodání [Týdnů]
S 355 NL	5450 x 4400 x 80	15 105,481	65	12-18

Celková cena za materiál (= kompletní cena za desku) = 15 105 x 65 = 981 825,- Kč

## 16.5. Ekonomický souhrn variant

Tabulka 19: Ekonomický souhrn

Varianta	Materiál	Tloušťka (mm)	Metoda svařování	Cena (Kč)	Pořadí dle ceny
1	S 335	80	135	1 001 661	3
2	S 335	80	121	976 053	1
5	S 335	80	X	981 825	2

Pokud bude uvažována požadovaná tloušťka 80 mm, je smysluplné porovnávat mezi 3 navrženými variantami výroby (varianty 1, 2 a 5). Tj. výroba z menších plechů metodou 135 nebo metodou 121, případně výroba z plechu objednaného přesně na danou míru. Z ekonomického souhrnu uvedených variant je patrné, že nejlevněji lze vyrobit spodní desku parapetního nosníku podle varianty 2, tedy svařením náukosovaných ocelových desek o menším rozměru pomocí metody 121, drátem o průměru 3 mm.

Druhou nejvýhodnější metodou vyšla varianta 5, kdy je materiál dovezen o požadovaném rozměru. Odpadá tím drahé svařování, ale je nutné objednat materiál s velkým předstihem, protože čím dříve se materiál objedná, tím nižší bývá jeho cena. Je možné dostat slevu až 10 Kč/kg, což při tak velké tonáži udělá značnou slevu (okolo 100 000 Kč).

Nejméně vhodnou variantou je dle výše uvedených výsledků varianta číslo 1. Podle výsledku experimentu je možné dojít k závěru, že při svařování ocelové desky o tloušťce 80 mm metodou MAG vložíme do svaru 84 housenek, což je o 45 housenek víc než u varianty 2. Z toho je patrné, že je varianta 1 časově náročnější a zároveň se svařence vloží větší množství tepla než u vzorku 2, což by mohlo při nedodržení teploty interpass způsobit trhliny za tepla.

## 17. Závěr

Náhrada klasických ocelových konstrukcí železničních mostů pomocí parapetních nosníků se pomalu stává pro stavební firmy čím dál častější záležitostí.

Šířka těchto mostů se pohybuje od 5 m šířky. Bohužel v České republice není žádná železárna resp. dodavatel materiálu, která by firmě OK-BE s.r.o. takový ocelový plech o tloušťce 80 mm dodala. Proto musí firma parapetní nosník vyrobit z menších plechů, nebo musí objednat plech v zahraničí o přesném rozměru.

V experimentální části byly vytvořeny 4 vzorky reprezentující parapetní nosník. Vzorek 1 byl z oceli S355 tloušťky 80 mm svařen metodou 135. Vzorek 2 byl stejný jako vzorek 1, byl pouze svařen jinou metodou svařování, konkrétně metodou 121. Tyto dva vzorky sloužily k následnému porovnání ekonomie výroby a mechanických vlastností,

protože parapetní nosníky se vyrábí nejčastěji z tohoto materiálu o této tloušťce. Vzorky 3 a 4 byly svařeny metodou MAG. Vzorky byly vytvořeny k porovnání mechanických vlastností a ekonomii výroby S355 a S460, protože materiál S460 se může při stavbě parapetních nosníků použít za účelem snížení hmotnosti konstrukce. Z výsledků předložené diplomové práce je patrné, že v podmínkách ČR je ekonomicky nejvýhodnější vyrobít parapetní nosník z menších plechů, které jsou následně svařeny pomocí metody 121. Lze ji proto do výroby doporučit. Druhou nejvýhodnější variantou je objednání celé ocelové desky na přesný rozměr. Bohužel není tato varianta vždy realizovatelná, protože dodací doba je příliš dlouhá. Tato možnost se dá realizovat pouze v případě, kdy firma vyhraje zakázku s dostatečným časem před stavební realizací. Výsledky jsou platné ze současných cen ocelového materiálu.

Po svaření všech navržených vzorků představující reprezentativní vzorek desky parapetního nosníku, byly vzorky mechanicky zkoušeny, kde byly podle příslušných norem vyhodnoceny z hlediska kvality provedení. Nejvíce sledované mechanické vlastnosti při výrobě parapetních nosníků jsou jednoznačně pevnost v tahu  $R_m$  a vrubová houževnatost. Při porovnání vrubové houževnatosti, která se zkoumala při teplotě  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  vychází u prvního vzorku 58 J a u druhého 115 J. U vzorku, který byl svařovaný pod tavidlem, je nárazová práce dvojnásobná. Odhaduji, že na to má vliv větší počet housenek, tudíž vložení většího tepla do svaru, které nejspíše snížilo vrubovou houževnatost vzorku 1. Vrubová houževnatost u vzorku 1 je sice nižší než u vzorku 2, ale i tak vyhovuje, protože nejnižší přípustná hodnota je 16 J. Co se týče pevnosti v tahu, tak vzorku 1 byla změřena pevnost  $R_m = 523\text{ MPa}$  a vzorku 2  $R_m = 514$ . Oba vzorky vyhovují, protože přípustné hodnoty pevnosti v tahu jsou 470 až 630 MPa.

## **Přílohy:**

Příloha 1: eWPS

Příloha 2 Zpráva o svařování

Příloha 3: Protokoly nedestruktivních a destruktivních zkoušek

## Seznam použité literatury:

- [1] KUNCIPÁL, Josef. Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [2] Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [3] KOLAŘÍK, Ladislav. Elektrický oblouk. Ústav strojírenské technologie [online]. Dostupné z <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/111/5-oblouk-tsv2016.pdf>
- [4] ROTTER, Tomáš a Jiří STUDNIČKA. Ocelové mosty. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03410-0.
- [5] MELCHER, Jindřich, Jiří SKYVA a Marcela KARMAZÍNOVÁ, ed. Ocelové konstrukce a mosty 2009: sborník 22. české a slovenské konference : Brno, Česká republika, 23.-25. září 2009. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-635-5.
- [6] BLAŽEK, Jan, Rudolf EŠTEFÁNYI a Vladimír DVOŘÁK. Stavba železničních mostů: příručka o stavebně montážních pracích. Praha: Dopravní nakladatelství, 1957
- [7] WÜNSCH, Josef. Železobetonové deskové mosty. Praha: Vědecko-technické nakladatelství, 1951.

- [8] POLÁK, František. Silniční mosty: rekonstrukce a údržba. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. Předpisy pro železniční a silniční mosty. Praha: Vědecko-technické nakladatelství, 1951. Knižnice ministerstva stavebního průmyslu
- [9] PHILLIPS, David H. Welding engineering: an introduction. Chicester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2016. ISBN 9781118766446.
- [10] MAHEL, Ivo. Nádraží a železniční tratě. V Praze: Paseka, 2017. Zmizelá Praha. ISBN 978-80-7432-763-6
- [11] KOUKAL, Jaroslav. Svařování ocelových konstrukcí. Ostrava: Česká asociace ocelových konstrukcí, 2010. ISBN 978-80-904535-4-8.
- [12] ČSN EN ISO 6947. Svařování a příbuzné procesy: Polohy svařování. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [13] BARTÁK, Jiří. Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce. Praha: Dashöfer, c2008-. ISSN 1803-2834.
- [14] LUKÁŠEK, Jaromír. *Zařízení pro poloautomatické a automatické elektrické tavné svařování*. Pardubice: Dům techniky ČVTS, 1971. Knižnice svařování.
- [15] DOLEJSKÝ, Tomáš. *Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou (MIG/MAG svařování)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: Zeross - svářečské nakladatelství, [2014]. Svařování. ISBN 978-80-86698-40-3.
- [16] Moderní trendy ve svařování MAG: Hotel Petr Bezruč, Malenovice : 4.-5. října 2001 : [sborník přednášek]. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2001. ISBN 80-85988-66-6.

[17] HRSTKA, David. Monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG jako prostředek zajištění kvality svaru: Monitoring welding parameters during MAG welding process as instrument to ensure weld quality : [autoreferát disertační práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-668-3.

[18] MESSLER, Robert W. A practical guide to welding solutions: overcoming technical and material-specific issues. Weinheim: Wiley-VCH, 2019. ISBN 978-3- 527-34543-4.

[19] Obloukové svařování v ochranné atmosféře plynů [online]. Kosmonosy: Schinkmann, c2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/obloukove-svarovani-v-ochranne-atmosfere-plynu>

[20] ČSN 73 6200. Mosty - Terminologie a třídění. Praha: Český normalizační institut, 2011. 48 p.

[21] Technická zpráva o opravě mostu 08 Žichovice – Sušice vytvořená projektantem Ing. Heinzem

[22] Firemní podklady firmy ESAB dostupné na:

<https://www.esab.cz/cz/cz/automation/process-solutions/saw/index.cfm>

[23] MÍŠEK, Bohumil. Konstrukční materiály. Brno: TESIYO, 2018. ISBN 978-80-87102-20-6.



## Použité symboly a zkratky

MAG	Metal Active Gas (poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře nebo aktivního plynu.
SAW	Submerged arc welding (Svařování pod tavidlem)
TIG	Tungsten (Wolfram) inert gas (obloukové svařování v inertní ochranné atmosféře s neodtavující se wolframovou elektrodou)
MMA	Manual metal arc welding (Svařování plamenem)
ERS	Embedded rail system – (Kontinuální upevnění koleje )
NK	Nosná konstrukce
PM	Přídavný materiál
SO	Stavební objekt
TÚ	Trat'ový úsek
DÚ	Dopravní úsek
ŽB	Železobeton
$R_m$	Mez pevnost [MPa]
DUSP	Projektové dokumentace pro společné povolení stavby
PDPS	Projektové dokumentace pro provádění stavby
HCS	Hot Cracking Sensitivity ( Náchylnost k horkým trhlinám)

## Seznam norem

- ČSN EN ISO 4063 (050011)  
Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování
- ČSN EN ISO 14175 (052510)  
Svařovací materiály - Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy
- ČSN EN ISO 14171 (055801)  
Svařovací materiály - Drátové elektrody, plněné elektrody a kombinace elektroda-tavidlo pro svařování pod tavidlem nelegovaných a jemnozrnných ocelí – Klasifikace
- ČSN EN ISO 14174 (055701)  
Svařovací materiály - Tavidla pro obloukové svařování pod tavidlem a elektrostruskové svařování – Klasifikace
- ČSN EN ISO 15614-1  
Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu
- ČSN EN ISO 9606-1 (050711)  
Zkoušky svářečů - Tavné svařování - Část 1: Oceli
- ČSN EN ISO 13916 (050220)  
Svařování - Směrnice pro měření teploty předehřevu, teploty interpass a teploty ohřevu
- ČSN EN ISO 17637  
Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů
- ČSN EN ISO 5817  
Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality
- ČSN EN ISO 11691 (011666)  
Akustika - Měření vložného útlumu tlumičů bez proudění - Laboratorní metoda třídy přesnosti 3
- ČSN EN ISO 17638 (051182)  
Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou metodou práškovou

- ČSN EN ISO 23278 (051183)  
Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou práškovou metodou - Stupně přípustnosti
- ČSN EN ISO 4136 (051121)  
Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Příčná zkouška tahem
- ČSN EN ISO 9016 (051125)  
Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení
- ČSN EN ISO 5173 (051124)  
Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušky ohybem
- ČSN EN ISO 9015-1 (051134)  
Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním
- ČSN EN ISO 17635 (051170) Aktuální vydání  
Nedestruktivní zkoušení svarů - Obecná pravidla pro kovové materiály