

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Požadavky na provedení ocelových
svarů**

**Kateřina Loudilová
2019**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslava Popenková, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne

.....

Kateřina Loudilová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí své bakalářské práce Ing. Miloslavě Popenkové, CSc za podporu, připomínky a věcné rady při konzultacích pro vypracování bakalářské práce. Také bych ráda poděkovala Ing. Vladimíru Benešovi, mému nadřízenému, za rady, usměrnění v tématu a následnou podporu v průběhu mé práce.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Loudilová</u>	Jméno: <u>Kateřina</u>	Osobní číslo: <u>437887</u>
Zadávací katedra: <u>K 122 - Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Požadavky na provedení ocelových svarů</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Steel welding requirements</u>	
Pokyny pro vypracování: viz. příloha	
Seznam doporučené literatury: Spoje s koutovými svary, Faltus, František, 1901-1989, ACCADEMIA, 1981 Požadavky na svařovací zařízení pro svary natupo, GAS, 1999 Konstrukce.cz - odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství, ISSN 1803-8433	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Miloslava Popenková, CSc.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>26.2.2019</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>26.5.2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)
--------------------------------	------------------------------

Anotace

Tato práce pojednává o požadavcích na provedení ocelových svarů. Seznamuje veřejnost s tímto tématem, protože neexistuje dostatečné zastoupení vzdělávacích materiálů, které se nezaměřují pouze na jedno téma. Tato práce zprostředkovává na jednom místě ucelený soupis typů svařování, jeho provádění, druhy kontrol a jejich následné porovnání mezi sebou. Na konci je zvážení nasbíraných informací, jak se vzájemně ovlivňují a jak moc jsou relevantní.

Klíčová slova

svar, svařování, kontrola provedení svaru, normy

Annotation

This thesis is focused on steel welding requirements. Informs public with the topic of welding in general, because there is lack of education materials talking about all facts and specifications in one source. Most of them are focused on one exact topic. The thesis acquaints with weld construction, types of controls and comparison between each other. At the end there is consideration of collected information how they affect each other and how much reliable they are.

Keywords

joint, welding, weld design inspection, following standards

OBSAH

ÚVOD	10
1 SVAROVÁNÍ	12
1.1 Historie svařování	12
1.1.1 Druhy svarových spojů	13
1.2 Svařování dle směru a polohy	14
1.3 Rozdíly mezi Tlakovým a Tavným svařováním	16
1.4 Tlakové svařování	16
1.4.1 Odporové svařování	16
1.4.2 Svařování třením	17
1.4.3 Kovářské svařování	17
1.4.4 Difúzní svařování	18
1.4.5 Svařování výbuchem	18
1.5 Tavné svařování	18
1.5.1 Obloukové svařování	19
1.5.2 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	20
1.5.3 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře	20
1.5.4 Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu	21
1.5.5 Svařování pod tavidlem	21
1.5.6 Svařování atomárním vodíkem	22
1.5.7 Plamenové svařování	22
1.5.8 Elektronové svařování	22
1.5.9 Aluminotermické svařování	23
2 HLAVNÍ METODY SVAROVÁNÍ	24

2.1	MIG/MAG (CO ₂)	26
2.1.1	Svařování MAG	26
2.1.2	Svařování MIG	28
2.2	Obalená elektroda (MMA – Manual Metal Arc Wlding).....	29
3	POSTUP SVAŘOVÁNÍ (WPS) KOVOVÝCH MATERIÁLŮ, DOKLADOVANÉ PROTOKOLEM (WPQR)	31
4	ZKOUŠENÍ SVARŮ	35
4.1	Nedestruktivní zkoušky.....	35
4.2	Destruktivní zkoušky.....	36
4.3	Typické vady provedení ocelových svarů	37
5	VIZUÁLNÍ ZKOUŠKA	39
5.1.1	Normová základna.....	39
5.2	Princip metody.....	41
5.2.1	Přímá vizuální kontrola	41
5.2.2	Nepřímá vizuální kontrola	42
5.2.3	Požadavky na kvalifikaci a certifikaci personálu	42
5.2.4	Provedení zkoušky	44
5.2.5	Vyhodnocování vad	46
6	MAGNETICKÁ ZKOUŠKA METODOU PRÁŠKOVOU	51
6.1.1	Normová základna.....	51
6.2	Princip měření	52
6.3	Postup zkoušky	55
6.3.1	Nosné médium.....	55
6.3.2	Kontrola systému	57
6.3.3	Vyhodnocení indikací.....	58
6.3.4	Charakterizace vad.....	59

6.3.5	Protokol o vyhodnocení zkoušky	61
7	ZKOUŠKA ULTRAZVUKEM.....	63
7.1.1	Normová základna.....	63
7.2	Princip metody.....	64
7.2.1	Odrazová a průchodová metoda.....	65
7.2.2	Vyhodnocení metody	67
8	ZKOUŠKA RADIOGRAFICKÁ.....	70
8.1.1	Normová základna.....	70
8.2	Princip metody.....	71
8.2.1	Pořízení snímků.....	73
8.2.2	Vyhodnocování	74
9	VYHODNOCENÍ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD.....	77
9.1	Délka školení.....	77
9.2	Recertifikace a prodloužení	79
9.3	Finanční náklady na získání certifikátů.....	80
9.3.1	Ceník firmy A	80
9.3.2	Ceník firmy B	81
9.4	Cena přístrojů a pomůcek pro provedení metody.....	84
9.5	Doba trvání zkoušky	87
9.6	Cena provedení metody	89
	ZÁVĚR.....	92
	POUŽITÁ LITERATURA.....	95

ÚVOD

Cílem mé bakalářské práce je nastínit v jednom souboru základy a principy kontrolování ocelových svarů. Jako úvod do tématu jsem zvolila seznámení s druhy svarů, rozdělení na dvě základní skupiny, tlakové a tavné svařování a seznámení s metodami svařování (dělení dle pomůcek). Většina publikací se zaměřuje na konkrétní odvětví, skupinu, metodu, ale žádná se nezabývá tématem svařování obecně. Pro jednoduché seznámení je to velmi nepraktické. Informace nejsou na jednom místě a čtenář musí čerpat z několika různých zdrojů. Práce, která by toto téma sjednotila na jenom místě, chybí, a proto jsem vybrala hlavní zástupce metod, problémů, vad a přidala osobní zkušenosti pracovníků s dlouholetou praxí.

Ke shromažďování informací jsem využívala mé současné pracoviště, kde jsem měla možnost zjistit osobní zkušenosti zaměstnanců a zúčastnit se probíraných zkoušek.

Jak ukazuje moje práce, metod zkoušení, je víc. Pro rozsah bakalářské práce, a hlavně pro skutečné využití metod v praxi, jsem se rozhodla vybrat nejznámější čtyři zástupce z nedestruktivních zkoušek. Některé metody si jsou podobné, co se týče výsledku, ale neporovnatelně pracnější, zdlouhavé anebo už jsou zastaralé a metody, které trvají kratší dobu, je mohou nahradit. Tento případ lze dobře vidět na Magnetické zkoušce (MT) a Kapilární zkoušce (PT), známá také jako penetrační. MT je rychlá, nevyžaduje velký objem pomocných látek, ani prostorově na konstrukci není náročná. PT je zkouška, při které se musí většina, anebo 100 % zkoušených oblastí, natřít červenou speciální barvou (může se jednat pouze o svarové spoje, ale také 100 % nátěrové plochy konstrukce) a nechat dostatečně zaschnout. Následně se musí perfektně otřít z povrchu tak, aby červený penetrant zůstal pouze v případných povrchových trhlinách a nenarušoval přirozený povrch. Následně se požadované plochy natrou kontrastní bílou barvou. Chemická reakce ve speciálních barvách zajistí, že červená barva zateklá do trhlín je vytažena bílou barvou na povrch a vady „krvácí“. Jasně nevýhody jsou, nesrovnatelná pracnost, využití pouze na povrchové vady, nereaguje na podpovrchové, protože červená barva by dovnitř neměla přístup. Magnetickou zkouškou lze

zjistit nejen vady povrchové, ale i podpovrchové, a to bez potřeby čekání. Hlavní podmínkou je přístup k elektrickému proudu, což v dnešní době je jen málokdy překážkou. Kapilární metoda v běžném provozu staveb a na výrobních dílnách má už minimální zastoupení. V některých případech je využívána jako nouzové řešení, právě z důvodu nezávislosti na elektrickém proudu.

Podobných srovnání je v nedestruktivních zkouškách více, proto věřím, že můj základní výběr je opodstatněný pro dostatečné seznámení s nejužívanějšími kontrolami ve svařování. Velký ohled jsem brala na praktičnost ve stavebnictví a prostorovou náročnost.

Kontroly posuzované v této práci jsou z nedestruktivních zkoušek (NDT): vizuální zkoušení, magnetické zkoušení, ultrazvukové zkoušení a radiografické zkoušení. Jsou to takové druhy kontrol, které jsou nejrozsáhlejší v praxi. Jsou nejčastěji požadovány klientem pro zjištění, zda svar vyhovuje a spojením dvou a více kontrol je absolutní jistota odhalení veškerých vad svaru.

Výsledkem mé práce bude zvážení a porovnání jednotlivých zkoušek mezi sebou s ohledem na jejich náročnost, přípravu, délku trvání, požadavky na školení pracovníků, nutnost recertifikace, míra nutnosti provedení zkoušky, zda nelze nahradit jinou metodou. Dále také finanční hledisko, nákup pomůcek, prostředí, ve kterém lze kontrolu provádět, přítomnost dalších orgánů a podobné aspekty.

1 SVAŘOVÁNÍ

Svařování nebo lze také nazvat sváření, je trvalé, nerozebíratelné spojování dvou či více kusů materiálu. Podstatou svarového spoje jsou vzniklé meziatomové vazby pro dosažené zmíněné nerozebíratelnosti. Za normálních podmínek okolního tlaku a teploty by této vazby nebylo možné dosáhnout, proto je třeba tuto termodynamiku změnit a na svar vyvíjet zvýšený tlak či teplotu nebo obojí najednou. Proto existuje tzv. Tlakové svařování a Tavné svařování (v závislosti na názvu rozpoznáme, který faktor, u které metody převládá).

Svarovému spojování podléhají jak kovové, tak i nekovové materiály. Já se v mé bakalářské práci budu zabývat pouze kovovými materiály, a to konkrétně ocelovými. Mezi další možnosti nerozebíratelného spojování patří například pájení a lepení.

1.1 Historie svařování

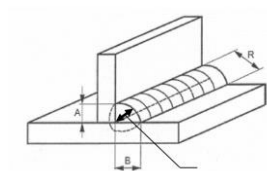
Už 4000 let př.n.l. lze dohledat začátky svařování, v podobě jakýchkoli pokusů o tepelné spojování či zpracování kovů. Po naprostou většinu se využívalo tzv. kovářské svařování, kde si společnost osvojila vlastnosti kovů a naučila se je tvářet jak teplem, tak silou (tlakem). Touto metodou se vyráběly zbraně, např. meče, dýky, štíty, různé jednoduché nástroje, ale i šperky. Jedením z prvních slavných výrobků je Železný pilíř v Dillí. Tak pokračovala práce člověka s kovem až do 18. století. Na počátku 19. století byl objeven elektrický proud. K jeho konci se používalo obloukové svařování a začínalo svařování plamenem. Obloukové svařování získalo v průběhu 20. století na své dominanci, právě díky objevenému elektrickému proudu – elektrickému oblouku. Svařování plamenem neboli plamenné svařování, se stalo rychle zastaralým. Dnes z něj známe autogen na řezání.

Rozvoj obloukového svařování byl nutný z důvodu nadcházejících válek a jeho využití rapidně vzrostlo. V té době se i objevily metody využívající plasmu, laser nebo elektronový paprsek.

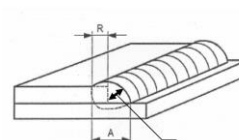
1.1.1 Druhy svarových spojů

Svarové spoje se dají dělit do velice podrobných větví v závislosti na jejich následném využití, materiálu i jakou metodou se budou spojovat. Já vyzdvihnu základní dělení nejběžnějších svarů, se kterými je možné se v praxi setkat nejčastěji. Existují koutové, rohové, děrové, žlábkové. Nejčastějšími zástupci jsou svary, viz. obrázky 1. – 3.[11]:

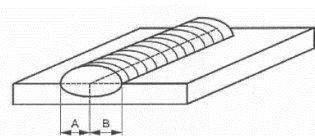
- Koutový
- Koutový – přeplátovaný
- Tupý



Obr. 1: Koutový svar [11]



Obr. 2: Koutový svar - přeplátovaný [11]



Obr. 3: Tupý svar [11]

U koutového svaru se určuje velikost podle účinné tloušťky „a“, což je výška trojúhelníku vepsaného mezi tavné plochy a povrch svaru. Svary se navrhují podle svého určení, zda vyžadují naprostou pevnost, většinou se jedná o plný průvar, nebo slouží jen jako uchycení, tzv. přichycení nebo bodové svařování. Jejich názvy se odvíjejí od jejich vzhledu v kolmém řezu. Nejčastější zástupci, spolu s nákresem a značkou jsou [11]:

I		∇		I-svar	Koutový svar – T spoj
V				V-svar	Koutový svar – přeplátovaný spoj
X				X-svar	Koutový svar – Rohový spoj
✓				1/2V-svar	U-svar
K			U		K-svar

Obr. 4: Druhy svarových spojů

Existuje mnoho jejich kombinací, variant v podobě půlek a podobných úprav. Pro můj účel seznámení se základy svarových spojů a pro další informace v mojí práci toto dělení postačí.

1.2 Svařování dle směru a polohy

Způsobů svařování je několik. Nejdříve představím obecnější skupiny a kritéria. Následně se budu hlouběji věnovat rozdílům, typům a zvyklostem ve svařování. Ať už se svařuje obalenou elektrodou nebo se využije obloukové svařování tavící elektrodou v ochranném plynu, záleží, v jaké poloze se svařování bude provádět. Z toho plyne i obtížnost svaru. Svářecí dělník je právě proto certifikovaný na konkrétní polohy svaru, protože jejich obtížnost je poměrně odlišná.

Tab. 1: Dělení svařování podle poloh [4]

Název polohy	Poloha elektrody	Symbol
Vodorovná shora	Svisle	PA
Vodorovná šikmo shora	Pod úhlem 45°	PB
Vodorovná na svislé stěně	Vodorovně	PC
Šikmo nad hlavou	Pod úhlem 45°, nahoru	PD
Nad hlavou	Svisle, nahoru	PE
Na svislé stěně nahoru	Vodorovně	PF
Na svislé stěně dolů	Vodorovně	PG
Svařování nahoru k vrcholu svaru		H-L045
Svařování od vrcholu svaru dolů		J-L060

Polohy při svařování jsou definovány v ČSN EN ISO 6947: *Svařování a příbuzné procesy – Polohy svařování*.

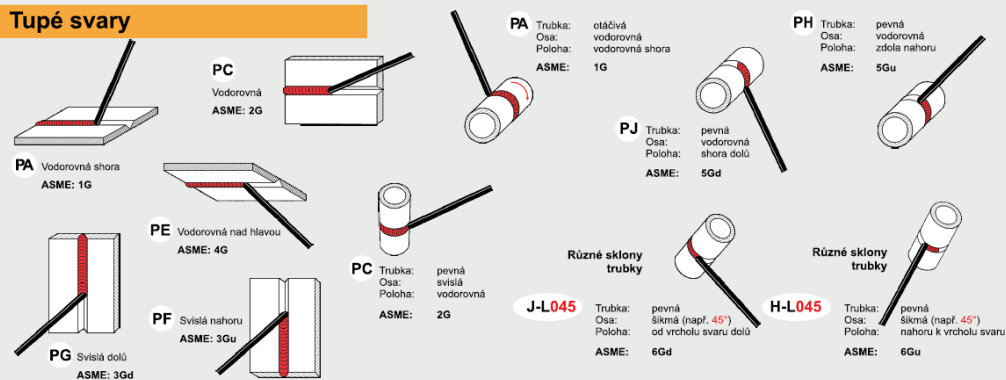
Specifikace svařování podle směru [4]:

- Vpřed – osa elektrody svírá se směrem svařování tupý úhel (110° - 125°)
- Vzad – osa elektrody svírá se směrem svařování ostrý úhel (60° – 70°)

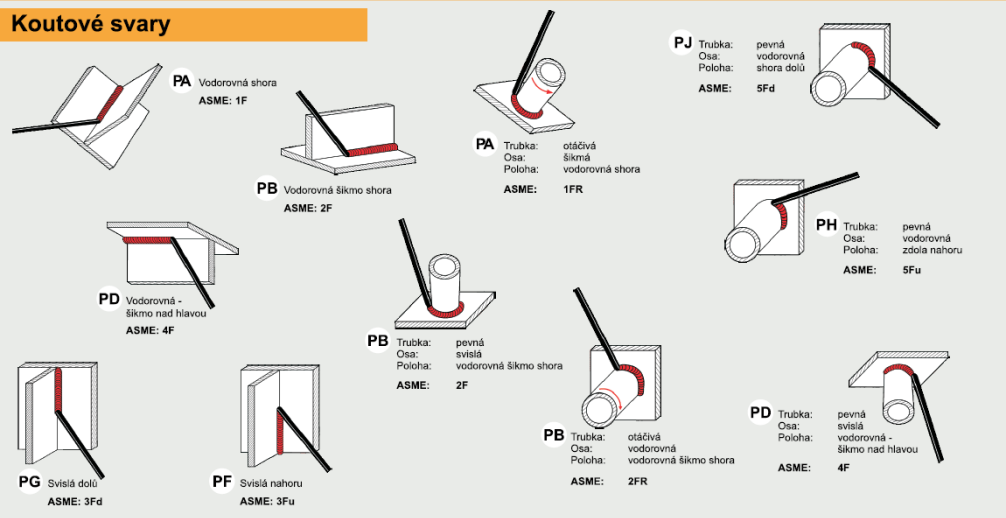


Přehled pracovních poloh při svařování dle EN ISO 6947 včetně kódů ASME

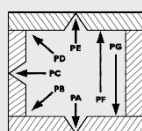
Tupé svary



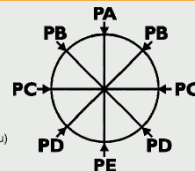
Koutové svary



Legenda k použitým zkratkám - polohy



PA Vodorovná shora	PD Vodorovná šikmo nad hlavou	PG Svislá dolů
PB Vodorovná šikmo shora	PE Vodorovná nad hlavou	PH Svařování trubky zdola nahoru
PC Vodorovná	PF Svislá nahoru	PJ Svařování trubky shora dolů
		PK Orbitální svařování trubek (bez obrázku)



www.svarecky - elektrody.cz

Obr. 5: Přehled pracovních poloh při svařování [6]

1.3 Rozdíly mezi Tlakovým a Tavným svařováním

Obecným rozdělením na dvě hlavní skupiny táborů je rozlišování svařování tlakového a tavného. Tlakové je méně časté až výjimečné. Nejčastější jsou druhy tavného spojování, které známe (viz. výše, stává se, že i běžné osoby mají z dřívějších dob doma svářečku s obalenou elektrodou, hovorově „elektrodu“). S tlakovým svařováním se setkáme méně. Většinou při výrobě velkých strojů a u velkých spojů do velkých hloubek. V ručním svařování se nevyskytuje.

1.4 Tlakové svařování

Jak z názvu vyplývá, jedná se o spojování pomocí vyvíjeného tlaku na dva kusy materiálu. Spolu s tlakem se využívá i přidané teplo, ať už jde o další zdroj ke spojení a vytvoření svaru, anebo teplo vzniklé při vytvořeném prvotním tlaku. Do tlakového svařování patří [4]:

- Odporové svařování
- Svařování třením
- Kovářské svařování
- Difúzní svařování
- Svařování výbuchem

1.4.1 Odporové svařování

Nejčastěji se používá ke spojení dvou plechů, drátů do mříží nebo sítí. Probíhá to tak, že dva spojované materiály jsou vždy na sobě, dvěma elektrodami je na ně vyvíjen tlak, zároveň jimi probíhá elektrický proud a ten díky vzniklému odporu v místě styku způsobuje ohřátí materiálů. Díky prvotnímu vyvíjenému tlaku vzniká lokální svar. Takto vzniklé svary jsou pevné proti usmyknutí, naopak v kolmém směru ne. Síla vyvíjená na jejich spojení [4] se pohybuje mezi 500 až 10 000 N a síla svařovacího proudu je 1 až 100 kA při době trvání 0,04 až 2s.

Materiál elektrod je volen tak, aby vyhovoval co nejvíce základním materiálům. Měděné elektrody při své aktivitě neuvolňují do okolí svaru škodlivé látky; používají se pro svařování ocelových plechů či drátů. Dalšími

materiály elektrod jsou [4] např. slitiny kobaltu a kadmia, mědi a stříbra a kadmia, mědi a niklu a křemíku a další.

S odporovým svařováním se můžeme setkat v automobilovém průmyslu při výrobě karoserií, v menších provozech a obecně jak v mechanizovaných, tak robotizovaných výroбах.



Obr. 6: Svařovací stroj na bodové svařování [4]

1.4.2 Svařování třením

Z názvu vyplývá, že se jedná o využití třecí síly. Z dvou kusů materiálu je jeden nehybný a druhý je uveden do rotace, za působení tlaku v ose rotace směrem ke stojícímu tělesu. Logicky kvůli vysokému tření vznikají vysoké teploty, které napomáhají spojení dvou materiálů. Teplota se pohybuje [4] mezi 80 až 85 % teploty tavení (rozpětí pro ocel 1425 – 1540°C), oba materiály následně spolu zplastizují a vytvoří svar. Při této metodě se ale také vytvoří tzv. výronek (výběh v místě svaru), který se většinou odstraňuje.

1.4.3 Kovářské svařování

Tento druh svařování jsem uvedla v historii svařování, jde o jednu z prvních metod. Spojení zde probíhá prvotním zahřátím materiálu, teplota je zde mezi 50 až 90 % teploty tání, a působením síly kladivem, popřípadě lisem. Spoj vzniká díky tepelně urychleným difúzním procesům. Z historie je tato metoda známá z výroby tzv. damascenské oceli, dnes ho známe spíše z tradičních prací a okrasného kovářství.

1.4.4 Difúzní svařování

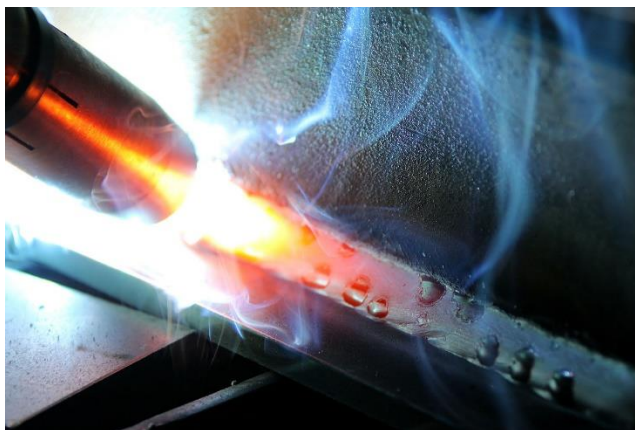
Kontaktem dvou hladkých ploch zahřátých nejprve na 50 – 90 % teploty tání a následným vyvíjeným tlakem na ně dojde k difúznímu procesu a materiály se v požadovaném místě spojí bez následného rozeznání původních ploch. Difúzní svařování nemá negativní vlastnosti tavného svařování, jako jsou vnitřní pnutí, deformace, tepelně ovlivněné oblasti. Lze svařovat ve vakuu.

1.4.5 Svařování výbuchem

Využívá se zejména pro tzv. plátování. Dvě desky se položí na sebe, na horní povrch vrchní desky se rozprostře výbušnina, která po aktivaci vytvoří rázovou vlnu [4] způsobující skrz kov tlak 10 až 100 GPa. Tato síla přesahuje mez kluzu materiálů (pro ocel v řádech 10^2 MPa) a proto se vyvinutá síla zachová vůči deskám jako deformační. V lokálním bodě kontaktu proto zplastizují. Pro kvalitní spoj touto metodou je nezbytné, aby rychlost exploze byla vyšší než rychlost šíření zvuku ve spojovaných materiálech.

1.5 Tavné svařování

Zde se přidávaná energie pro spojení materiálů ztělesňuje pouze v podobě tepla a materiály se jím taví. Nejvýznamnějším zástupcem je svařování elektrickým obloukem. Kov je náchylný na okolní atmosféru při jeho roztavení, nejvíce reaguje s kyslíkem a dusíkem a viditelně na výrobku s fosforem a sírou. Proti tomu se dá ochránit pouze zamezením styku těchto nežádoucích prvků s tzv. svarovou lázní (roztavený výrobek spolu s přidávným materiálem). Některé metody právě proto využívají jako ochranu dodávaný plyn, který v průběhu svařování zabraňuje přístupu vzduchu ke svarové lázni. Její rafinace se provádí struskou, ta vzniká jako reakce během vznikajícího svaru po záměrném přidání tavidel do přidávného materiálu a případných nečistot a nežádoucích prvků.



Obr. 7: Obloukové svařování ukazující princip rafinace svarové lázni struskou (sklovité útvary jsou sulfidy manganu a křemíku) [4]

Tavné svařování má široký výběr metod svařování kdy každá z nich má svá specifika pro materiály, typy spojů, jiné polohy při svařování či kvalitu svaru apod. Do tavného svařování řadíme [4]:

- Obloukové svařování
- Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
- Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře
- Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře
- Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
- Svařování pod tavidlem
- Svařování atomárním vodíkem
- Plamenové svařování
- Elektronové svařování
- Aluminotermické svařování

1.5.1 Obloukové svařování

Svařování touto metodou má nejvíce zástupců. Využívá se zde uzavření elektrického oblouku, díky kterému svářecím strojem proudí elektrický proud a ten taví přídavný materiál (ať už drát, či obalenou elektrodu). Metody spadající do této skupiny jsou rozšířené v průmyslové praxi, proto jsou nejznámější a mají několik výhod. Finanční náklady jsou poměrně nízké, i tak se zachovává vysoká kvalita svaru (samozřejmě za předpokladu dodržení všech předpisů a požadavků pro provádění svarů určitou metodou a za daných

podmínek). Přístroje ke sváření, resp. generátory proudu ke sváření, se nazývají svařovací zdroje.

1.5.2 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou

Jde o nejstarší metodu obloukového svařování, a i tak si nadále uchovává své uplatnění a praktičnost. Na prvním místě je u ní flexibilita, zastupuje všechny polohy svařování, jak přídavný materiál, tak svařovací zdroje jsou jednoduše k dostání. Kritickým je však dovednost svářeče pro spolehlivé provádění této metody a bohužel i nižší výkonnost než u dalších metod. I tak na každé dílně či stavbě si rozhodně najde své uplatnění pro dobrou dostupnost do takřka každého místa, které může pro ostatní metody být fatální.

Zároveň je ruční svařování obalenou elektrodou velice obstojné v pevnosti svarů, jejich kvalitou a mechanickými vlastnostmi. [4] Jediná z metod, která by se dala řadit na stejné místo je obloukové svařování netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu.



Obr. 8: Ruční obloukové sváření obalenou elektrodou [4]

1.5.3 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře

V této části jsou v zastoupení čtyři další metody, které spojuje stejný princip provedení, ale odlišné svařovací dráty a ochranné plyny pro svařovací lázně [4]:

- plnou elektrodou v inertním plynu (v ČR užívaná zkratka MIG; metoda 131 podle ČSN EN ISO 4063: *Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování*),
- plnou elektrodou v aktivním plynu (v ČR užívaná zkratka MAG; metoda 135 podle ČSN EN ISO 4063),
- plněnou elektrodou v aktivním plynu (metoda 132 podle ČSN EN ISO 4063),
- plněnou elektrodou v inertním plynu (metoda 136 podle ČSN EN ISO 4063).

Zde se jedná o metodu méně náročnou na zručnosti svářeče, protože se využívá automatického podávání přídatného materiálu a udržení uzavřeného oblouku není tak náročné. U metody ručního svařování obloukovou elektrodou je totiž fatální, pokud si svářeč nedokáže tzv. „vést strusku“ (viz. více v následující kapitole).

Tato metoda zastupuje svařování ve všech polohách, lze využít jak na dílně, tak při montážních úkolech např. přímo na stavbě, ale do kritických míst (těsné, těžce dostupné) nevystačí. Pro svou jednoduchost a dobré zásobování pomůckami se tyto metody drží vysoko v žebříčku svařovacích metod.

1.5.4 Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu

Této metodě se přiřazuje zkratka TIG nebo WIG. [4] Hořící elektrický oblouk prochází netavící se wolframovou elektrodou a materiálem. Ochranné plyny jsou většinou argon nebo hélium, popřípadě jejich kombinace. Nejvíce se tato metoda využívá pro zpracování hliníku, hořčíku, korozivzdorných ocelí, mědi, bronzů, mosazi, titanu, zirkonu, zkrátka kovů s vysokou afinitou (silné reakce) s kyslíkem.

Zde je opět vyžadována vyšší zručnost svářeče kvůli manuálnímu podávání přídatného materiálu.

1.5.5 Svařování pod tavidlem

Automatické svařování tohoto typu je využíváno pro vysoký výkon objemu práce. Jedná se o plně automatizované svařování s minimální

obsluhou. Využívá se pro velice dlouhé, jasné svary, například mostních konstrukcí, lodních kusů, trubek nebo nádrží.

Běžné obloukové svařování tavením tavidla a chráněné při hoření vzniklým plynem. Využívá se jak plný drát, tak svařovací pásy, ale ty se spíše využívají pro navařování.

1.5.6 Svařování atomárním vodíkem

Jde o starší metodu zástupců obloukového sváření. Vzniklý oblouk rozkládá molekuly vodíku mezi dvěma wolframovými elektrodami a při dopadu do svarové lázně vzniká velké množství tepla. Tento „plamen“ dosahuje obrovských teplot, až 4000°C, proto se používá velice výjimečně.

1.5.7 Plamenové svařování

Zastaralé autogenní svařování. Je to předchůdce samotného obloukového svařování.

Spaluje se při něm plyn společně s kyslíkem nebo vzduchem (svářeč si perfektní poměr musí navolit sám), využívají se různé směsi plynů [4]:

- kyslíko-acetylenové svařování (metoda 311 podle ISO 4063)
- kyslíko-propanové svařování (metoda 312 podle ISO 4063)
- kyslíko-vodíkové svařování (metoda 313 podle ISO 4063)

Je to nejlevnější metoda svařování, ale pro svoji nepraktičnost je silně na ústupu. Využití autogenu známe spíše z řezání materiálu.

1.5.8 Elektronové svařování

Tato metoda je vhodná pro vysoce chemicky aktivní materiály (jako třeba titan, zirkon, niob, wolfram aj.). Také vysokotavitelné a žárupevné slitiny.

Stejně s ostatními tavnými metodami zde hraje hlavní roli teplo. To je dodáváno pomocí elektronů zrychlených díky vysokému napětí ([4] 30 až 200 kV), které svým průchodem materiály rozvibruje atomovou mřížku. To je přesně ten jev, který je potřeba pro přeměnění kinetické energie na tepelnou. Lze dosáhnout vysokých koncentrací tohoto proudu, a proto je tato metoda

známá svým „protavováním“ do hloubky (až 200 mm). Díky tomu lze vytvořit hluboké, ale zároveň úzké svary (poměry stran až 50:1).

Touto metodou lze svařovat ve vakuu, v normální atmosféře jako při ostatních metodách a stejně tak v atmosféře ochranných plynů. Přídavný materiál se zde používá jen výjimečně.

1.5.9 Aluminotermické svařování

Lze nazývat i svařování termitem. Zastupuje svařování kolejnic. Směs oxidu železitého a hliníkového prášku se umístí v nádobě nad požadovaný svar kolejnice, magneziová roznětka tuto směs zapálí a následující agresivní chemická reakce vyvine teplotu cca 2450°C. Vzniklé tekuté železo provede svar pod sebou.

2 HLAVNÍ METODY SVAŘOVÁNÍ

Ve svářečském průmyslu jsou dvě hlavní metody pro spojování ocelových konstrukcí, popřípadě výrobků. Je to pro jejich široké využití v praxi a poskytovatel (firma či fyzická osoba) tak pohodlně zvládne rozsáhlejší variaci úkolů se stejným vybavením a větší firma má jistotu, že výrobky budou ve stejné kvalitě a vzhledu.

V praxi se ještě lze setkat s dalšími metodami svařování, jako je např. [10] MIG pájení, TIG (WIG), PlasmaTIG, Plasmové řezání a další. Pro účely mé bakalářské práce jsem se rozhodla vybrat jiné dva zástupce, které jsou v praxi nejrozšířenější.

Následující dvě metody jsou obě z oblasti tavného svařování pomocí uzavřeného oblouku. Každá má svoje výhody a nevýhody a opodstatněné využití:

- MIG/MAG (CO₂)
- Obalená elektroda (MMA)

Každá z metod má své plus a mínus pro konkrétní případy, místa, finanční hledisko. V České republice se nejčastěji setkáme s dvěma metodami, a to svařování pomocí CO₂ a Obalenou elektrodou. Tyto dva zástupce můžeme najít jak ve velké firmě, tak i v menších a metodu obalené elektrody i u hobby svářečů.

Metoda CO₂ u hobby svářečů není tak běžná, protože vyžaduje mnohem větší svářecí stroj, není s ní jednoduchá dostupnost do úzkých míst, a proto je to spíše pro stálou práci ve výrobě a ve větším objemu. Lze na špatně dostupná místa přenést zdvihacím zařízením (např. na stavbě).

Vysvětlení užívaných metod, spolu s jejich značením, jak pro evropské země, tak pro americké státy, najdeme v následující tabulce:

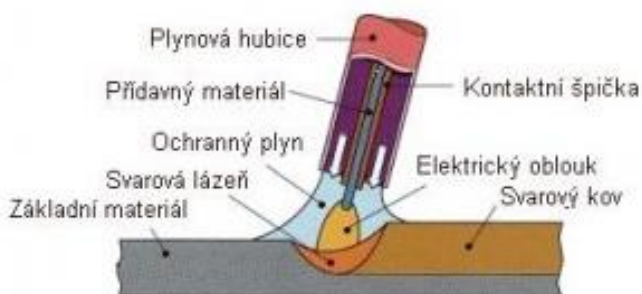
Tab. 2: Přehled metod značení dle jednotlivých předpisů [4]

EN ISO 4063	Evropské (EZ) a Americké (AZ) značení		Kompletní název	Český překlad
111	EZ	MMA	Manual Metal Arc Welding	Svařování obalenou elektrodou
	AZ	SMAW	Shielded Metal Arc Welding	
114	EZ	FCAW	Flux - Cored wire Metal Arc Welding	Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
	AZ	FCAW	Flux - Cored Arc Welding	
12	EZ	SAW	Submerged Arc Welding	Svařování pod tavidlem
	AZ	SAW	Submerged Arc Welding	
13	EZ	MIG/MAG	Gas Shield Metal Arc Welding	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu
	AZ	GMAW	Gas Metal Arc Welding	
131	EZ	MIG	Metal -arc Inert Gas welding	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném inertním plynu
	AZ	GMAW	Gas Metal Arc Welding	
135	EZ	MAG	Metal -arc Active Gas welding	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném aktivním plynu
	AZ	GMAW	Gas Metal Arc Welding	
136	EZ	FCAW	Flux -Cored wire metal - Arc Welding	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (trubičkový drát)
	AZ	FCAW	Flux -Cored Arc Welding	
137	EZ	FCAW	Flux -Cored wire metal - Arc Welding	Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu (trubičkový drát)
	AZ	FCAW-S	Flux -Cored Arc Welding	
131	EZ	TIG	Tungsten Inert Gas Welding	Obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou
	AZ	GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	

2.1 MIG/MAG (CO₂)

MIG/MAG svařování patří do skupiny Tavného svařování, a to konkrétně do Obloukového svařování. Využívá se zde tavící se elektroda v ochranném plynu. K reakci a vzniklému teple dochází díky uzavření elektrického oblouku, jak jsem již vysvětlila v dřívější kapitole. Jde o jednodušší metodu díky poloautomatickému podávání přídavného materiálu (elektrody; drátu) svářecím strojem. Drátová elektroda je přiváděna motorizovaným pohonem, který spouští svářeč po stisknutí spínače na hořáku. Svářeč pak už ručně vede hořák.

Svarová lázeň a roztavený drát jsou chráněny právě ochranným plynem, který chrání svarovou lázeň před přístupem vzduchu a je dodáván externím zdrojem tam, kde se vypouští svářecí drát.



Obr. 9: Řez aktivním svarem metodou obloukového svařování poloautomatickým svářecím strojem [9]

Ochranné plyny se dělí na MIG a MAG. Názvy vycházejí ze zkratk jejich složení [5]:

- MAG – Metal Active Gas – ochranný plyn aktivní, který chemicky reaguje s roztavenou lázní O₂, CO₂ apod.
- MIG – Metal Inert Gas – tedy ochranný plyn inertní, který chemicky nereaguje s roztavenou lázní jako Ar či He

2.1.1 Svařování MAG

Metal Active Gas. Ochranný plyn se aktivně podílí a reaguje při svařování. Využívají se různé směsi:

CO₂

Oxid uhličitý, hovorově se v praxi používá označení „céóčko“, je jeden z nejvíce využívaných. Je častý i u větších společností a výroben, ale nejvíce je rozšířen u menších podniků a hobby svářečů. Důvodem je jeho dobrá dostupnost a nízká cena. Z pohledu vlastností, které vzniklému svaru předává, není tak výhodný jako směs Argonu. Samotný CO₂ dovoluje čistý průvar, bohužel se při jeho užívání více formují oxidy a karbidy, které mají nepříznivý dopad na vlastnosti svaru. CO₂ také vyžaduje vyšší napětí při práci a to způsobuje velký rozstřík.

Používá se při sváření nelegovaných a nízkolegovaných ocelí, nevhodný je pro vysoce legované oceli a obzvláště pro nerez.

Směs Argon + CO₂

Tato směs má lepší vlastnosti pro svar. Je dražší, ale pro velkoobjemové výroby a při práci, která vyžaduje vysokou kvalitu výrobku se využívá pouze tato směs. Podíl CO₂ ve směsi je maximálně čtvrtinový, při větším množství by Argon pozbýval účelu, výsledek by byl stejný jako při svařování čistým CO₂.

Užívá se nejvíce na nelegované a nízkolegované směsi. Neznámější jsou podíly [8]:

$$82 \% \text{ Ar} + 18 \% \text{ CO}_2, \quad 92 \% \text{ Ar} + 8 \% \text{ CO}_2$$

Směs Argon + O₂

Kyslík je ve směsi zastoupen maximálně 5 %. Využití je u vysoce legovaných ocelí, což je zejména nerez ocel. Nejpoužívanější jsou [8]:

$$97 \% \text{ Ar} + 3 \% \text{ O}_2, \quad 99 \% \text{ Ar} + 1 \% \text{ O}_2$$

Vícesložkové směsi na bázi argonu

Vícesložkové směsi obsahují jako základ opět Argon, ke kterému se přidává například CO₂, O₂, N a další. Tento druh ochranného plynu se užívá pro speciální účely dle požadavků na vlastnosti výsledného výrobku, automatizované, robotizované svařování, popřípadě svařování s menší emisí škodlivin. Klasické podíly plynů ve směsi je [8]:

93 % Ar + 5 % CO₂ + 3 % O₂

2.1.2 Svařování MIG

Metal Inert Gas. Úlohou inertního plynu je pouze zamezení přístupu vzduchu k roztavenému kovu. Inertní je neaktivní a nedochází při jeho použití k žádným chemickým reakcím s kovem. Používá se ke zpracování lehkých kovů. Směsi k tomu určené jsou nejčastěji:

Argon

Argon je nejpoužívanější ochranný plyn pro inertní svařování. Také se využívá při svařování metodou TIG, tzn. wolframová netavící se elektroda.

Tzv. technický Argon se rozlišuje do tří stupňů čistoty. Každý stupeň má svou zkratu a způsob využití [8]:

- Argon 4,6 čistota 99,996% (4 devítka a šestka)
- Argon 4,8 čistota 99,998% (4 devítka a osmička)
- Argon 5,0 čistota 99,999% (5 devítek)

Názvy stupňů Argonu jsou odvozeny z procentuálního vyjádření čistoty plynu. Jsou to nepatrné rozdíly v řádech tisícín procenta, oproti tomu cena může být až o tisíce korun rozdílná.

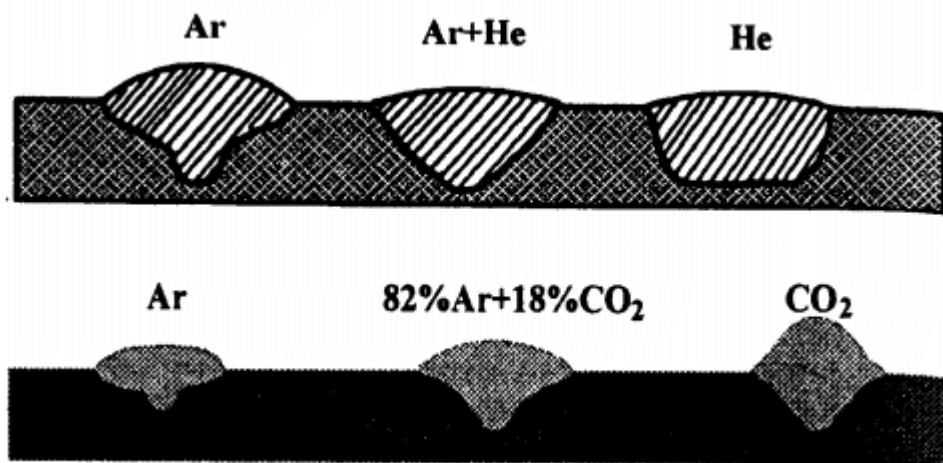
Nejrozšířenější v praxi je Argon 4,6 pro nejnižší cenu. Argon 4,8 se využívá při výrobě s požadavky na vyšší kvalitu a Argon 5,0 je využívá ke svařování titanu.

Směs Argon + Helium

Tato směs je především vhodná pro svařování automatizovanými nebo robotizovanými stroji. Přidané helium zvyšuje teplotu oblouku a zvýhodňuje ruční svařování tlustostěnných materiálů. Helium může být obsaženo až do 95 % ve směsi. Tato příměs velice zvyšuje cenu plynu a kvůli tomu se nejčastěji používá směs s poměrem [8]:

70 % Ar + 30 % He

V porovnání s druhy svařovaných materiálů je svařování pomocí směsi Ar+He stejné jako svařování čistým argonem.

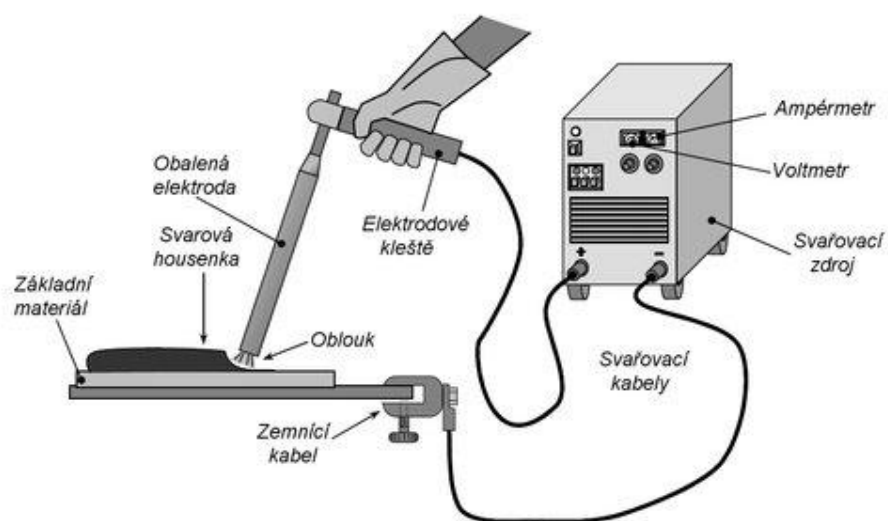


Obr. 10: Znárodnění rozdílnosti závaru v závislosti na metodě MIG/MAG, tedy využití rozdílných směsí ochranných plynů [8]

2.2 Obalená elektroda (MMA – Manual Metal Arc Welding)

Spolu s MIG/MAG svařováním je tato metoda nejrozšířenějším druhem obloukového svařování.

Objevuje se zde opět hoření oblouku, uzavírající materiálem a elektrodou, která je tvořena z plného materiálu (jádro a obalový materiál).



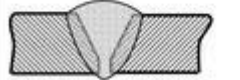
Obr. 11: Svařování obalenou elektrodou [10]

Při uzavření oblouku, tedy dotyku základního materiálu (svařence), dochází okamžitě k reakci tavení. Při vytváření svarové lázně je nejkritičtější

jádro elektrody. Ochranným prostředím je zde obal elektrody, který vytváří strusku, která chrání vznikající svar souběžně se svařováním. Po zchladnutí se musí struska odstranit jednoduchým oboucháním, popřípadě sama odpadne.

Obalené elektrody se vyrábějí v délce mezi 350 a 450 mm. Z toho důvodu se musí materiál často doplňovat a práce přerušovat. Produktivita práce se tím snižuje ve srovnání s metodami s automatickým podáváním přídavného materiálu, hoření oblouku pak dosahuje jen 30 až 60 % produktivity práce [10].

Nejvíce se metoda zaměřuje na nelegované, nízkolegované, ale i vysoce legované kovy. Nanáší se do tloušťky 2 – 50 mm. Využívá se v lodním průmyslu, svařování ocelových konstrukcí a tlakových nádob. Ve stavebnictví se touto metodou provádějí svary betonářské výztuže přímo na stavbě, právě z důvodu dobré dostupnosti do nepříznivých míst. Pokud se jedná o svařování větších objemů, je třeba zvolit lépe mechanizované metody, např. MIG/MAG.

Typ svaru		Tloušťka základního materiálu (mm)							
		1.5	3	6	12	24	...	100	200
	Základní svar bez přípravy svarových ploch		■						
	Základní svar s přípravou svarových ploch			■					
	Více vrstvý svar			■	■	■	■	■	■
	Koutový svar	■	■	■					

Obr. 12: Rozdělení druhu svaru podle tloušťky svařence [10]

Výhodami této metody je především drobnost svářecího stroje dobrá manipulovatelnost a dobrá dostupnost do problematických míst. Nepřítomnost plynové bomby jako ochranného plynu je také velká úspora, nemůže dojít ani k odfouknutí přídavného plynu povětrnostními podmínkami. Lze svářet více druhů materiálů jako uhlíková ocel, slitiny, nerez, litina, hliník apod.

Negativem je pak časté doplňování elektrody, které snižuje produktivitu, odstraňování strusky po provedení svaru. Nevhodná je metoda pro povrchově upravené prvky jako titan a zinek z důvodu vysokého vneseného tepla [10].

3 POSTUP SVAŘOVÁNÍ (WPS) KOVOVÝCH MATERIÁLŮ, DOKLADOVANÉ PROTOKOLEM (WPQR)

Kontrola postupu je nezbytná součástí provedení správného a kvalitního svaru dle normových požadavků. WPS je protokol, podle kterého se svar provádí. WPQR je certifikát, který vystavuje autorizovaný orgán, jako potvrzení o správnosti.

Tab. 3: Přehled použitých zkratk, názvů a klíčových slov [7]

pWPS	Předběžný postup svařování. Preliminary WPS
WPS	Specifikace svařovacího postupu. Welding procedure specification
WPQR	Kvalifikace postupu svařování. Welding procedure qualification report
Svářečský dozor	Pracovník výrobce (i externí), kvalifikovaný podle EN ISO 14 731
Zkušební orgán	Subjekt akreditovaný ČIA o.p.s. k provádění inspekčních činností
Inspektor	Kvalifikovaný pracovník Inspekčního orgánu
ISO 15 607	Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů.
ISO 15 609	1 až 6: Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů.
ISO 15 614	1 až 14 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů.
ISO 14 731	Svářečský dozor. Úkoly a odpovědnosti.
ISO/TR 15 608	Základní svařované materiály

Svařování patří do skupiny procesů spojování materiálů. Na rozdíl od ostatních zástupců, musí být svařování podrobeno zkouškám a kontrolám pro dosažení spolehlivosti a správnosti. Děje se tak v průběhu procesu a po procesu.

Při kontrole se klade důraz na dodržení kvality svaru, jeho celistvosti a mechanické pevnosti. Při cyklickém a dynamickém namáhání se ještě kontrolují plastické vlastnosti. Vše se provádí pro zajištění životnosti a trvanlivosti u takových spojů

Nejdříve chci nastínit dva typy a základní rozdíly ve zkouškách typu WPQR [2]:

- pWPS – tento typ kontroly se provádí před procesem. Navrhuje a vystavuje ho svářečský dozor I/EWT nebo I/EWE (jeho kvalifikace je obsažena v normě ČSN EN ISO 14731: *Svářečský dozor – Úkoly a odpovědnosti*) podle ČSN EN ISO 15607: *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla* a ČSN EN ISO 15609: *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování*.
- WPS – kontrolovaný postup svařování podle zkoušení svarového spoje nedestruktivními a destruktivními zkouškami (dále už jen „NDT“ a „DT“). Poté následuje vystavení kvalifikačního certifikátu BPAR inspekčním orgánem (ČSN EN ISO/IEC 17020: *Posouzení shody – Všeobecná kritéria pro činnost různých typů orgánů provádějící inspekci*).
- WPQR – kvalifikační certifikát kontrolovaného svaru který prošel jak pWPS, tak WPS kontrolami (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* aj. v souladu dle ČSN EN 1011-1 až 8: *Svařování – doporučení pro svařování kovových materiálů*, ČSN EN ISO 3834-1 až 6: *Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů*)

Kontroly svařovacích postupů se kvalifikují v případech, kde může vzniknout nebezpečí ztráty mechanické stability konstrukce výrobku. Nutná je kontrola i pro opravy výrobků, na které jsou kladeny požadavky odolávat statickému, dynamickému, hydrostatickému či hydrodynamickému namáhání či nebezpečí opotřebení korozí, abrazí, erozí, popřípadě radiaci a svarovou těsnost.

WPS musí samozřejmě provádět pouze kvalifikovaní svářeči s certifikátem. Jak u mechanického, tak automatizovaného či robotického svařování a navařování.

Konkrétně vymezené postupy jsou nezbytné pro podklady k naplánování svářečských operací jako je výroba, zajištění jakosti při svařování i opravy svařených výrobků. To zaštiťují normy ČSN EN ISO 9001: *Systém managementu kvality* a ČSN EN ISO 3834-1 až 6: *Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů*.

Jak jsem již řekla, WPS je tedy postup, jak se zkouška má provádět, WPQR je pak získaný certifikát, který potvrzuje že zkouška proběhla dle všechno potřebných norem za přítomnosti komisaře a certifikovaného svářeče. WPQR se udělí na základě úspěšných NDT a DT zkoušek.

Kontrola pWPS, prováděná před procesem, je definována výrobcem [2], tj. pověřeným svářečským dozorem dle ČSN EN ISO 14731: *Svářečský dozor – Úkoly a odpovědnosti* i ČSN EN ISO 3834 – 1 až 6, ČSN EN 1011-1 až 8: *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů*, na základě ČSN EN ISO 15607: *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla*, ČSN EN ISO 15609–1 až 6: *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování event. harmonizovaných i technických, určených a výrobních norem*. Stejně tak kontrola WPS.

Svary mohou plnit svoji spolehlivou funkci, jestliže jsou prováděny pouze dle nařízení WPS a protokolů WPQR.

Konkrétní specifikace pro postup jednotlivých metod svařování jsou uvedené v normě ČSN EN ISO 4063: *Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování* [2]:

- obloukové svařování (111, 114, 122, 123, 124, 125, 131, 135, 136, 137, 141, 151)
- plamenové svařování (311, 312, 313)
- elektronové svařování (511, 512)
- laserové svařování (521, 522)
- odporové svařování (21, 22, 221, 222, 225, 226, 23, 24, 25, 291)
- přivařování svorníků (782, 783, 785, 786)
- třecí (frikční) svařování (42)

Svary musí vyhovovat tolerancím a úchytkám tvaru a polohy dle ČSN EN ISO 13920: *Svařování – Základní tolerance pro svařované konstrukce – Velikosti délek a úhlů – Tvar a poloha.*

4 ZKOUŠENÍ SVARŮ

V praktické části se budu zabývat kontrolou svarů. Kontrol je několik. Dělí se do hlavních skupin na nedestruktivní NDT a destruktivní DT. Výběr kontrol jsem volila dle rozšíření v praxi, jejich nutnosti provedení a jejich dostupnosti. Existují kontroly, které se provádějí jen zřídka, kvůli jejich náročnosti nebo finanční stránce. Zároveň jsou kontroly, které jsou ve svém provádění až nepraktické, zdlouhavé, a přitom mají velice obstojného náhradníka bez komplikací v provedení se stejně přesným a spolehlivým výsledkem.

Certifikačním orgánem je jakákoliv společnost, která následuje jednotná pravidla v souladu s požadavky mezinárodních norem a získala akreditaci Českého institutu pro akreditaci, o.p.s. v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17024: *Posuzování shody – Všeobecné požadavky na orgány pro certifikaci osob*. Na základě toho je oprávněná k vystavování certifikátů a potvrzení o správnosti postupu, kontroly, provádění školení personálu. Zajišťuje personální certifikaci a kvalifikaci technického personálu prostřednictvím sítě svých schválených školících a zkušebních středisek.

4.1 Nedestruktivní zkoušky

Tab. 4: Nedestruktivní zkoušky svarů NDT a jejich zkratky [1]

NDT metoda	zkratka
Zkoušení akustickou emisí	AT
Zkoušení vířivými proudy	ET
Zkoušení infračervenou termografií	TT
Zkoušení těsnosti	LT
Zkoušení magnetické	MT
Zkoušení kapilární	PT
Zkoušení radiografické	RT
Zkoušení tenzometrické	ST
Zkoušení ultrazvukem	UT
Zkoušení vizuální	VT

Z nedestruktivních zkoušek se budu věnovat:

- Zkoušení vizuální VT
- Zkoušení magnetické MT
- Zkoušení ultrazvukem UT
- Zkoušení radiografické RT

Zkoušky jsou i vybrány a seřazeny jako dle hloubek zjišťující vady od povrchu. VT odhaluje vady pouze zrakem, pozorováním povrchu. Ano, lze odhalit i vady které se skrývají pod povrchem, ale za předpokladu že je to možné rozeznat a až na povrch (propadlý kořen apod.). Magnetická zkouška odhaluje vady do 4 mm pod povrchem. Zkouška ultrazvukem

Pro konkrétně nedestruktivní zkoušky, kvalifikace a certifikace pracovníků NDT, se využívá norma ČESN EN ISO 9712. Tato norma určuje kvalifikační stupně odborné způsobilosti, požadavky na školení, průmyslovou praxi a kvalifikační zkoušku a také způsob samotné certifikace, popřípadě recertifikace.

V rámci mého zaměstnání jsem měla možnost se fyzicky zúčastnit všech nedestruktivních zkoušek, kromě radiografické. Ta je natolik specifická, nákladná a poměrně málo využívaná, že se k ní najímá externí firma, se kterou má můj zaměstnavatel navázanou dlouhodobou spolupráci.

4.2 Destruktivní zkoušky

Využívají se pro zajištění technické bezpečnosti svařovaných konstrukcí. Jejich odolnost vůči vnějším vlivům. Spravují je normy např. ČSN EN ISO 17639, ČSN EN ISO 5178 nebo ČSN EN ISO 9017.

Zkoušky se skládají z 5 metod. K destruktivním zkouškám není tak jednoduché se dostat. Jedná se o laboratorní pracoviště s drahým vybavením. Proto jsou tak finančně nákladné s vysokými nároky na přesnost.

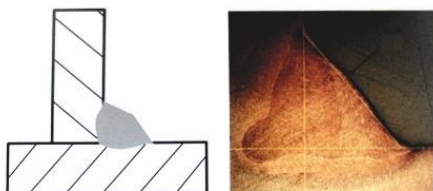
Jelikož např. rozhodují o budoucí spolupráci firem, proto jsou požadavky na zachování citlivosti těchto dat vysoké. Z toho důvodu se ve své práci zabývám pouze metodami, které mi zprostředkoval můj zaměstnavatel a není nebezpečí porušení něčího vlastnictví.

Druhy destruktivních zkoušek jsou:

- Zkouška tahem
- Zkouška rázem v ohybu
- Zkoušky tvrdosti
- Zkouška v ohybu
- Zkouška makroskopická a mikroskopická

4.3 Typické vady provedení ocelových svarů

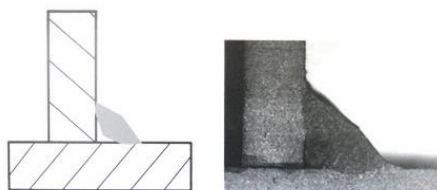
Vady a chyby, které je třeba odhalit správnými zkušebními metodami vyžadují praxi a školení zakončené certifikátem. U každé metody uvedu a rozeberu typické vady pro daný druh zkoušení, jejich typické zástupce. Na toto téma se vztahuje obsáhlá norma ČSN EN ISO 6520-1: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování*, která jasně definuje tolerance, geometrickou přesnost a indikace kdy se jedná o vadu porušení, vadu při výrobě nebo jen falešnou indikaci. Zde na úvod chci nastínit nejčastější vady klasického svaru a jaký dopad takové vady mají. Nejedná se o vady zkoumané konkrétní metodou ale modelové svary, které by nevyhověly a jsou dobře viditelné díky řezu svarem [1].



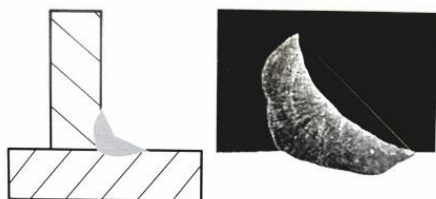
Obr. 13: Svarový spoj bez vad



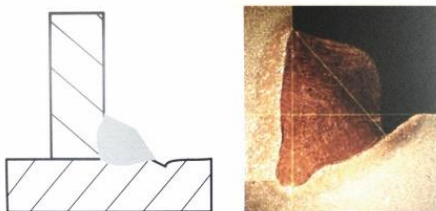
Obr. 14: Nadměrná asymetrie koutového svaru; životnost svařované konstrukce snížena o 75 %



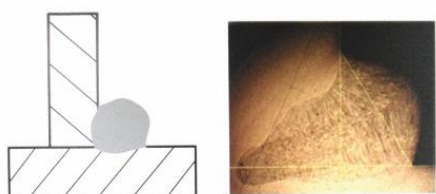
Obr. 15: Neprůvar; životnost svařované konstrukce snížena o 84 %



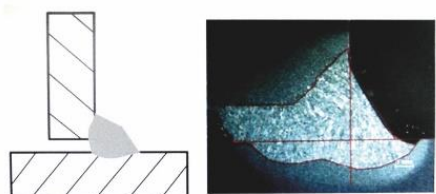
Obr. 16: Podkročení velikosti koutového svaru; životnost svařované konstrukce snížena o 60 %



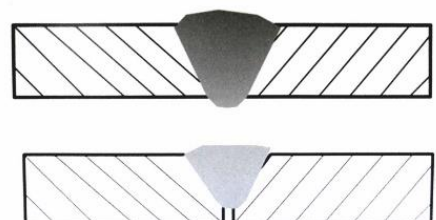
Obr. 17: Souvislý zápal; životnost svařované konstrukce snížena o 75 %



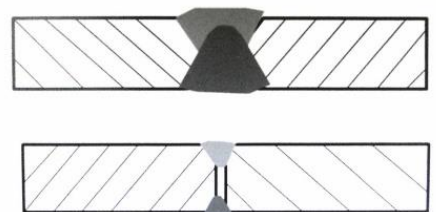
Obr. 18: Nadměrné převýšení koutového svaru; životnost svařované konstrukce snížena o 70 %



Obr. 19: Špatné sestavení koutových svarů; životnost svařované konstrukce snížena o 90 %



Obr. 20: Svarový spoj bez vad (horní nákres), neprovařený kořen (dolní nákres); životnost svařované konstrukce snížena o 94 %



Obr. 21 : Svarový spoj bez vad (horní nákres), neprůvar (dolní nákres); životnost svařované konstrukce snížena o 94 %

5 VIZUÁLNÍ ZKOUŠKA

Vizuální kontrola (VT) je velmi populární pro její rychlost, nenáročnost z pohledu potřebných pomůcek. Je nezbytná provést před každým dalším zkoušením. Pouhý zrak je nejrychlejší způsob, jak odhalit, zda není svar vadný.

Ačkoli vizuální kontrolou rozumíme kontrolu zrakem, je mnohem komplikovanější na správnost provedení, než se může zdát. Správným vyhodnocením zkoušky se rozumí kontrola proškolenou osobou při správné míře osvětlení. Vizuální kontrolu si ale může dělat i sám svářečský pracovník v průběhu provádění svaru, aniž by k tomu vlastnil certifikaci. Jedná se jen o průběžnou kontrolu svařování, aby dosáhl spolehlivého svaru.

Jsou dva stupně certifikace pro vizuální zkoušku. Stupeň 1, kdy pracovník smí pouze provést vizuální kontrolu a Stupeň 2, kdy ji může také vyhodnotit, na základě zjištěných měření rozhodnout o jakou vadu se jedná a vyhotovit ze zkoušky záznam.

Norma zabývající se Vizuální kontrolou svarů je norma ČSN EN ISO 17637: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů* (náhrada za známější, již neplatnou, ČSN EN 970: *Nedestruktivní zkoušení tavných svarů - Vizuální kontrola*). Ta je často doplňována normou ČSN EN ISO 5817: *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů*.

5.1.1 Normová základna

Vizuální kontrolu je nutnou provést ve 100 % případů. To znamená, že rozsah kontroly se vztahuje na zkoušení úplné délky svaru na všech zhotovených kusech. Z norem plyne, pro jaké třídy kontroly svarů musí být provedena VT a jakým personálem. Třídy kontroly jsou rozděleny do 4 úrovní CT1 – CT4. Třídy kontroly úzce souvisí s třídami provedení svaru, které jsou stanoveny dříve. Třídy kontroly se užívají pro identifikaci druhů a minimálních úrovní kontroly svarových spojů.

Tab. 5: Třídy provedení svarů a třídy kontroly svarů [1]

Třída provedení svaru	Třída kontroly - minimální požadavek
CP A	CT1
CP B	CT2
CP C1	CT2
CP C2	CT3
CP C3	CT4
CP D	CT4

Vysvětlivka Tříd provedení svaru [1]:

- Třída provedení svaru CP A je zvláštní třídou, která se používá pouze pro svary s úplným provařením a zcela přístupné kontrole při výrobě a údržbě.
- Třída provedení svaru CP B: CP B pro bezpečnostní kategorii „vysoká“: je platná pouze pro svary s úplným provařením a plně přístupné kontrole při výrobě a údržbě.
- CP B pro bezpečnostní kategorii „střední“: je také platná pro svary bez možnosti objemové zkoušky; v tomto případě musí být uveden zvláštní znak „střední bezpečnostní kategorie/jsou požadovány povrchové zkoušky“, vyznačený na výkresu a musí být provedeny zkoušky podle tabulky 1 EN 15085-5:2007.
- Třída provedení svaru CP C1: CP C 1 je také platná pro svary bez možnosti pro objemové zkoušení. V tomto případě musí být vyznačeno na výkresu zvláštní označení „povrchová zkouška je nezbytná“ a musí být provedeny zkoušky podle tabulky 1 EN 15085-5:2007.

Rozdělení úrovní kontroly do 4 skupin najdeme nejen u vizuální zkoušky, ale u všech nedestruktivních zkoušek. Třídy kontroly CT 1 a CT 2 je vizuální kontrola prováděna certifikovanou osobou a je třeba ji po dokončení dokladovat. Třída CT 3 je prováděna alespoň kvalifikovanou osobou výrobce a je třeba ji dokladovat. Třída CT 4 musí být provedena alespoň svářeči, kteří prošli školením pro vizuální prohlídky, dokumentace není vyžadována.

Norma ČSN EN ISO 17637: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů*, hovoří o kvalifikaci personálu, citace: „Vizuální kontrolu svarů a hodnocení výsledků pro konečnou přejímku musí provádět kvalifikovaný a způsobilý personál. Doporučuje se, aby personál byl kvalifikován podle ISO 9712 nebo podle srovnatelné normy ve vhodném kvalifikačním stupni v relevantním průmyslovém sektoru“ [1]. Norma jasně nenařizuje (díky formulaci „doporučuje se“) požadavky na certifikovaný

personál vizuálních kontrol, proto se musí obracet i na výrobní normy a jejich požadavky. V tabulce lze vidět vyplynulé rozdílnosti v požadavcích na certifikát.

Tab. 6: Požadavky na personál provádějící vizuální kontrolu dle výrobních norem

Norma	Certifikát dle ČSN EN ISO 9712 Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT	Osvědčení o proškolení ČSN EN ISO 17637 Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů
ČSN EN ISO 3834-2,3,4	ne	ano
ČSN EN 1090-2,3	ne	ano
ČSN EN 15085-2		
třída kontroly CT1 a CT2	ano	ne
třída kontroly CT3 a CT4	ne	ano
předpis ČD V95/5		
třída kontroly CT1 a CT2	ano	ne
třída kontroly CT3 a CT4	ne	ano

Zmíněné normy:

- ČSN EN ISO 3834: Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů
Část 2: Vyšší požadavky na jakost
Část 3: Standardní požadavky na jakost
Část 4: Základní požadavky na jakost
- ČSN EN 1090: Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí
Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
Část 3: Technické požadavky na hliníkové konstrukce
- ČSN EN 15085-2: Železniční aplikace - Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí – Část 2: Požadavky na jakost a certifikaci výrobce při svařování
- předpis ČD V95/5: Předpis pro svařování železničních kolejových vozidel, jejich celků a komponent

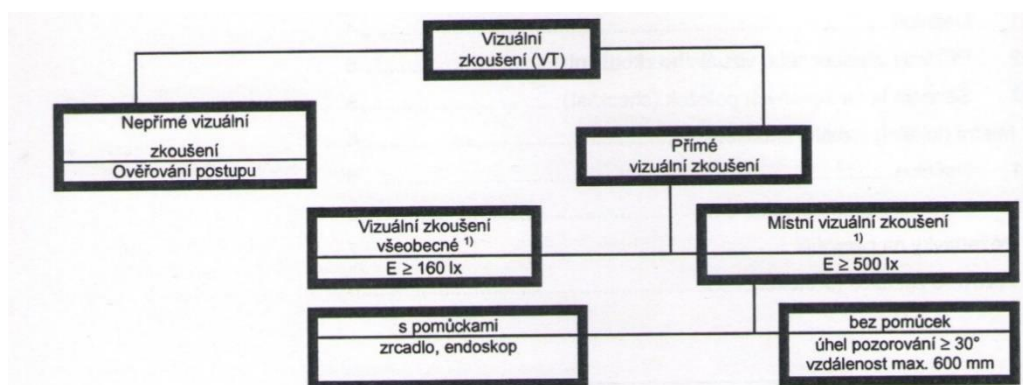
5.2 Princip metody

5.2.1 Přímá vizuální kontrola

Zrak kontrolora padá přímo na kontrolovaný povrch, nepřerušuje se optická dráha. Lze provést bez pomůcek nebo s pomůckami. Povolené pomůcky jsou např. brýle, lupa, šablony, zrcátka, endoskopy.

5.2.2 Nepřímá vizuální kontrola

Při nepřímé metodě nepadá zrak přímo na povrch, ale prostřednictvím pomocné techniky. Většinou se využívají kamery, které zprostředkují kontrolu svaru v nepřístupných místech. Stejně tak může pomoci i kvalitní fotografie. Dále se využívají videoskopy, endoskopy.

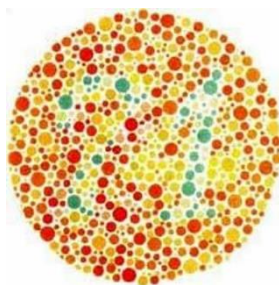


Obr. 22: Schéma vizuálního zkoušení [13]

5.2.3 Požadavky na kvalifikaci a certifikaci personálu

Norma ČSN EN ISO 9712 (dříve ČSN EN 473 – zrušená norma): *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT*, stanovuje požadavky a body, které jsou potřebné splnit k provádění těchto zkoušek. Školení se zakončuje teoretickou a praktickou zkouškou, a toto školení je pak uznáno certifikačním orgánem.

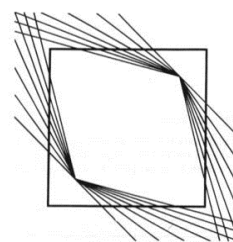
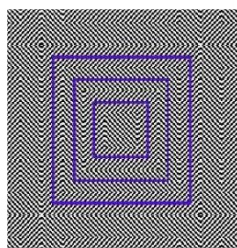
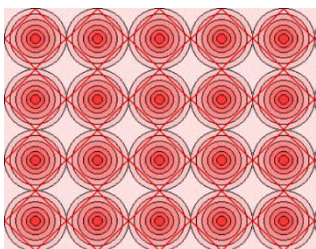
Všechny vady pracovníci vidí při dostatečném, normou stanoveném osvětlení. Hlavními nástroji při vizuálním zkoušení je správné osvětlení a kvalitní zrak. Jelikož je zrak naprosto kritický pro provádění této kontroly, musí se pracovník jednou ročně podrobit zkoušce zraku u očního lékaře. Kontroluje se vidění na blízko a vidění na dálku. Ve stejných vzdálenostech se provádí i samotné zkoušení. V oblasti vidění na blízko se jedná o 600 mm od zkoušeného povrchu, k tomu slouží testy Jaeger 1, barvocit a další. Pro zkoušení zraku na dálku jde o vzdálenost do 4 m a využívají se k tomu Landoldtovy kroužky.



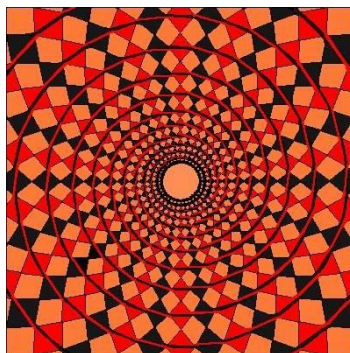
Obr. 23: Barvocit [11]

Jaeger 1 je text o velikosti $1/72''$, neboli 0,35 mm ve formátu Times New Roman, čtený ve vzdálenosti 30 cm korigovaným nebo nekorigovaným zrakem. Testem se zjišťuje kvalita zraku na blízko.

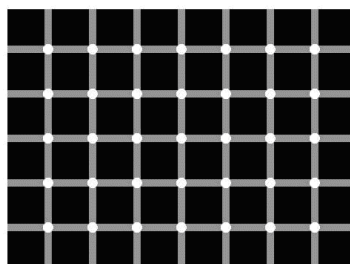
Mezi další zrakové testy patří např. optické klamy, jako je Heligův klam, Fraseova „spirála“ či Hermanova mříž.



Obr. 24: Heligův klam [11]

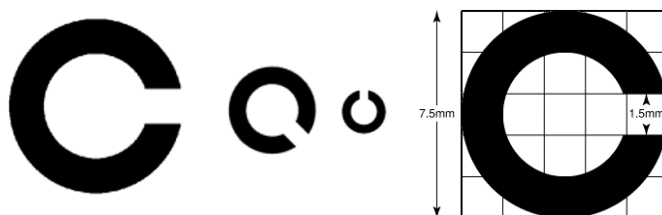


Obr. 25: Fraseova „spirála“ [11]



Obr. 26: Hermanova mříž [11]

Pro kontrolu zraku na dálku slouží Landoltovy kroužky.



Obr. 27: Landoltovy kroužky

5.2.4 Provedení zkoušky

Na vizuální kontrolu se orientuje norma ČSN EN 970: *Nedestruktivní zkoušení tavných svarů – Vizuální kontrola*. Vyhodnocování vad se rozděluje podle materiálu, který se zkouší a to [11] ocel, nikel a titan podle ČSN EN ISO 5817 a hliník a jeho slitiny podle ČSN EN ISO 10042: *Svařování – Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním – Určování stupňů kvality*. Odlitky a méně známými prvky se zabývají další normy. Obsáhlý soupis přípustných a nepřípustných vad je obsažen v normě ČSN EN ISO 6520-1: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování*. Po nastudování skutečného soupisu vad, mohou kontrolorovi pomoci drobné pomůcky pro lepší představu.

ZNAČKY		t ≥ 0,5		503 Nadměrné převýšení koutového svaru	
a - jmenovitá velikost koutového svaru	b = 5	h ≤ 1,5	B	h ≤ 1 mm + 0,1 b, max. 3 mm	
b - šířka převýšení svaru	h = 1,75	h = 1,75	C	h ≤ 1 mm + 0,15 b, max. 4 mm	
h - výška nebo šířka vady	h = 2,25	h = 2,25	D	h ≤ 1 mm + 0,25 b, max. 5 mm	
t - tloušťka plechu					
ČSN EN ISO 5817 URČOVÁNÍ STUPŇŮ JAKOSTI mezní hodnoty vybraných typů vad koutových svarů pro stupně jakosti B, C, D	Červené hodnoty t ≥ 0,5 až 3 mm Černé hodnoty t > 3 mm	t ≥ 0,5		512 Nadměrná asymetrie koutového svaru	
		a = 5	h = 1,5	h = 1,5 mm + 0,15 a	
		h = 2,25	B	h = 2 mm + 0,15 a	
		h = 2,75	C	h = 2 mm + 0,2 a	
		h = 3,0	D		
		t ≥ 0,5		5214 Překročení velikosti koutového svaru	
		a = 5	h = 1 mm + 0,15 a, max. 3 mm		
		h = 1,75	h = 1 mm + 0,20 a, max. 4 mm		
		h = 2,00	Neomezeno		
		h = *	D		
		t ≥ 0,5 až 3		5213 Podkročení velikosti koutového svaru	
		a = 5	B Nepřípustné		
		h = *	C Krátké vady h = 0,3 mm + 0,1 a, max. 1 mm		
		h = 0,8	D Krátké vady h = 0,3 mm + 0,1 a, max. 2 mm		
		h = 0,8			
		t ≥ 0,5 až 3		617 Špatné sestavení koutových svarů	
		a = 5	B h = 0,5 mm + 0,1 a, max. 2 mm		
		h = 1,0	C h = 0,5 mm + 0,2 a, max. 3 mm		
		h = 1,5	D h = 1 mm + 0,3 a, max. 4 mm		
		h = 2,5			

Obr. 28: Papírové pravítko – pomůcka pro vyhodnocování vad podle normy ČSN EN ISO 5817 [11]

Vizuální kontrolou se kontroluje povrch svaru (makrostruktura), kde se ukazují povrchové vady, ale i podpovrchové, které se dají rozeznat i z vnějšku. Může sem patřit [11] nesprávně položený svár, nepravidelnosti v šířce svarové housenky, nepravidelnosti výšky či kresby housenky, řádky pórů na okrajích svárů, zbytky strusky nebo sklíčka na povrchu, vruby a zápaly po okrajích, stopy po zapalování oblouku na svařovaných materiálech, podélné a příčné trhliny, rozstřik, nesprávný úhel přechodu. Vady týkající se housenek a provádění svaru si kontroluje i sám svářeč a průběžně si je upravuje, obrušuje, doplňuje, aby dosáhl plnohodnotného svaru. [13] U vizuálních kontrol revizních se věnuje pozornost zbytkovým vrstvám, které byli obsahem zkoušené nádoby a nelze je odstranit standartním čištěním, usazeniny a nánosy s korozní příčinou (hnědé nánosy oxidů železa, rzi), nerovnoměrný úbytek tloušťky stěny, mechanické poškození povrchu, zabarvení.

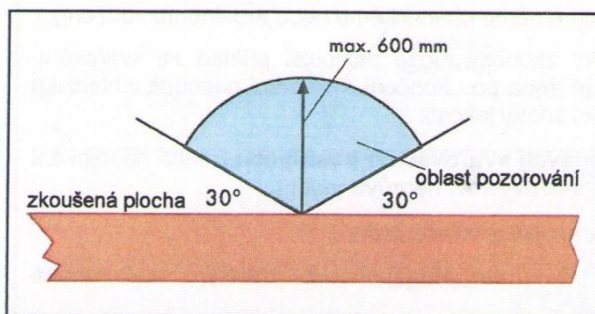
U koutových svarů se kontroluje [11] provaření kořene, hloubka závaru, správná délka ramene svaru a úhel přechodu svarového kovu a základního materiálu. Postup a seznam detailů je přenechán na kontrolorovi, popřípadě má udán směr dle požadavků klienta. Podrobnější seznam kontrolovaných položek, checklist, má smysl při detailním kontrolování s vyššími nároky na přesnost, např. Inspekční checklist v jaderné elektrárně nebo Startovací checklist u letadla.

Při nalezení relevantních nekonformit se musí blíže vyšetřit jejich rozměr, příčina vzniku. Je-li k tomu důvod, může se po zběžném vizuálním zkoušení svarového spoje provést podrobnější přezkoušení a zjistit příčiny odchylek jakosti. [13] Např. nadměrné převýšení kořene, hledat trhliny v koncovém kráteru na svaru a určit jejich rozsah. Takové bližší, podrobnější šetření se provádí detailní kontrolou neboli místní (lokální) vizuální zkoušení.

[13] Lokální zkoušení = místní = detailní

Přehledové zkoušené = povšechné = všeobecné = celkový dojem
= zběžné = globální

Takové zkoušení se provádí přímé a nepřímé. V oblasti vidění na blízko, vzdálenosti max. 600 mm od povrchu materiálu k očím kontrolora (klasická definice se bere „na délku paže“) a na dálku, vzdálenost do 4 m. Úhel svírající zrak a povrch materiálu nesmí být ostřejší než 30° od zkoumaného povrchu.



Obr. 29: Mezní podmínky při místní přímé vizuální zkoušce bez pomůcek [13]

Důležitým faktorem je kontrast, na ten má vliv vhodné pozadí a dostatečné osvětlení. Pokud to případ vyžaduje, je nutné pozadí upravit, tzn. povrch vyleštit, vybrousit apod., aby byl podpořen reflexní kontrast. Ten podporuje dostatečné osvětlení. To je pro lokální vizuální zkoušení minimální intenzita světla $E = 500 \text{ lx}$ a pro citlivé případy je ji potřeba zvýšit až na 1000 lx. Lépe se to připodobní k dennímu světlu, které má okolo 100 – 500 lx.

Zjištěné výsledky zkoušek se zaznamenávají do protokolů. Informace o provedených svarech může nasbírat certifikovaná osoba ve Stupni 1. Vytvořit záznam s vyhodnocením nasbíraných informací a rozhodnutím o správnosti svarů už může pouze osoba proškolená a ověřená certifikátem na Stupni 2.

Vizuální kontrolu lze doplnit dalšími metodami zkoušení svarů, popřípadě jejich kombinacemi a také destruktivními zkouškami svarů. Ty jsou ale už více specifické na vyžádání klienta, protože zkoušený vzorek se při provádění zničí, jak vyplývá z názvu. Také jsou více finančně náročné a prováděné většinou pouze v odborných pracovištích.

5.2.5 Vyhodnocování vad

Správné vyhodnocení zkoušky vyžaduje bohaté zkušenosti a odborné znalosti zkoušejícího ohledně výrobku nebo zkoušeného materiálu. Další norma stanovující kvalifikace personálu je ČSN EN ISO 13018: *Nedestruktivní zkoušené – Vizuální zkouška – Obecné zásady*.

V příkladech vyhodnocování se budu orientovat pouze na případy svařování ocelových spojů. Vizuální kontrola se využívá u celé škály dalších kontrol jako hodnocení válcovaného materiálu, vizuální hodnocení odlitků aj.

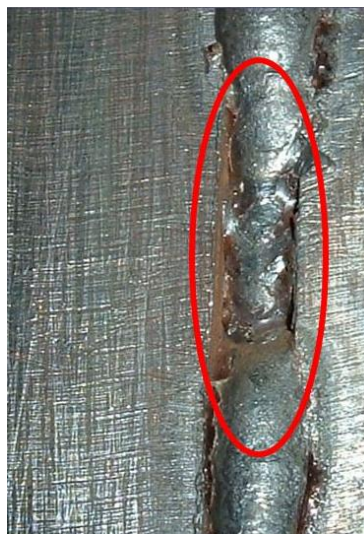
Rozhodnutí o relevanci detailu při hodnocení je vyjádřeno v jeho označení, tzn. určit typ anebo druh. Závažné jako trhliny, nebo hrubé odchyly od tvaru jako hluboké zápaly u svarových spojů, je kvalifikace již zbytečná. Nález je jasně nepřipustný. U méně závažných vad jako póry pod povrchem svaru, méně patrné odchyly tvaru, např. propadlý kořen, přichází nutná kvalifikace nálezu a vyvstávají otázky jako [13]: Jak hluboko je kořen propadlý? Na jaké délce svaru se vyskytuje? Takové informace je po přesném změření třeba zanést do protokolu.

Při vyhodnocování se zvažuje, zda je nebo není překročena nejvýše přípustná hloubka, délka, krajní případy posuzování na základě znaků jakosti, hodnocení na základě měření. To obsahují tři úrovně vyhodnocování. Nominální, ordinální a metrické. Nominální hodnotí vnější obraz, tedy jasné vady a rozhoduje, zda tam jsou či nikoliv (systém ano/ne). Ordinální porovnává s katalogy jakosti a využívá vzory a obrázky, např. pro drsnost povrchu. Metrická měří rozměry vad, odchyly tvarů, délku, hloubku apod.

Imperfekce ve svarech mohou být [13]: zápaly, nadměrné převýšení u koutového svaru, nadměrné převýšení kořene (krápník), přesazení hran u oboustranně svařovaných obvodových svarů, propadlá krycí vrstva, nadměrná nerovnoramennost u koutových svarů, hubený kořen. Typické druhy vad:



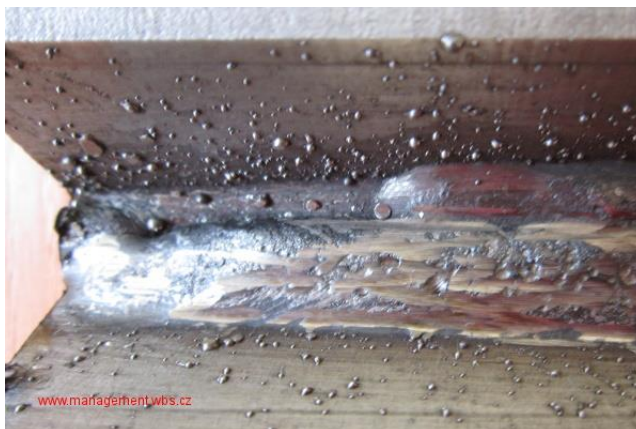
Obr. 30: Správně provedený svar [18]



Obr. 31: Neúplné vyplnění svaru [18]




Obr. 32: Příliš uspěchaný svar. Housenka je roztáhlá [17]



Obr. 33: Masivní rozstřík, neprůvary [17]

Vady zjištěné čtením indikací se zaznamenávají do protokolu o zkoušce. Takový protokol by měl obsahovat základní údaje, jako název

společnosti, kontaktní údaje, jméno a příjmení certifikované osoby, jasné osobní identifikační číslo certifikované osoby, informace o zákazníkovi nebo důvod provádění zkoušky, základní informace o zkoušeném materiálu, na kterém místě probíhaly zkoušky a v jakém rozsahu a v poslední řadě údaje o zkoušce a její vyhodnocení.

		PROTOKOL O VIZUÁLNÍ KONTROLE SVARŮ VISUAL INSPECTION REPORT		Protokol č. / Report No.: VT-R_R-PM-27-19		
Metrostav a.s., divize 3 - POK Bystrá 2243, 193 00 Praha 9		Zákazník / Customer Metrostav a.s., divize 3 Bystrá 2243 193 00 Praha 9		List: 1/1		
Zkušební místo / Test site Metrostav a.s., divize 3 Bystrá 2243 193 00 Praha 9		Zákaznické číslo / Customer reference		Objednávka / Order No.		
Zkušební předmět / Test Object Výrobce / Manufacturer Metrostav a.s., divize 3		Výkres č. / Drawing No. PODSESTAVA PM_PN_18-20				
Předmět / Object PODSESTAVA PM_PN_18-20		Zakázka/Project: Most na silnici R48, přes polní cestu a vodoteč v km 22,032				
Základní materiál / Base material S355J2, S355J2H	Přídavný materiál / Filler metal OK Autrod 12.51 ESAB OK Autrod 12.32 ESAB Flux 10.62	Svářeč / Welder No viz. seznam svařečů	Tepelně zpracováno/heat treated <input type="checkbox"/> Ano/Yes <input checked="" type="checkbox"/> Ne / No			
Svařovací proces / Welding process 135, 121	Typ svaru / Type of weld BW, FW	Položka č. / Item No	Poznámky / Notes			
Rozsah zkoušení / Extent of examination						
<input checked="" type="checkbox"/> 100% <input type="checkbox"/> Náhodná kontrola / Spot check <input type="checkbox"/> Podle / According to		Doplnující údaje / Supplementary data				
Kritéria a podmínky zkoušení / Criteria plus specifications testing						
Zkoušeno podle / Testing methodology acc. To ČSN EN ISO 17637	Kritéria hodnocení / Evaluation in acc. with ČSN EN ISO 5817	Stupeň jakosti / Quality level B	PKZ / Inspekce & test plan 6/18			
Stav povrchu / Surface condition Očištěn/Cleaned	Metoda / Method <input checked="" type="checkbox"/> Přímá / Direct <input type="checkbox"/> Nepřímá / Indirect		Intenzita osvětlení / Lighting min 500lx			
Zařízení / Equipment Měrka svarů, metr/Fillet gauge, meter		Zdroj světla / Source of lighting Zářivky, přenosná svítidla/ tube, flashlight		Poznámky / Remarks		
Výsledek zkoušky / Examination result						
Číslo svaru: Weld nr.	Rozsah excent	Svářeč: Welder:	Datum zkoušky Date of examination	Vyhovuje	Oprava	Kontroloval: Checked:
D112	100%	MA	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D113	100%	MA	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D114	100%	VH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D115	100%	MK	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D116	100%	VH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D117	100%	VH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D118	100%	VH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D119	100%	MK	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D120	100%	LQH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D121	100%	MK	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D122	100%	LQH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D123	100%	LQH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D124	100%	LQH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
D125	100%	VH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
OKO_22	100%	QPR	08.04.2019	Ano	-	Hudec
OKO_21	100%	LQH	08.04.2019	Ano	-	Hudec
svary výztuh	100%	seznam svařečů	08.04.2019	Ano	-	Hudec
krční svary	100%	seznam svařečů	08.04.2019	Ano	-	Hudec
svary madel	100%	seznam svařečů	08.04.2019	Ano	-	Hudec
Zkušební personál / Inspected personal:						
Datum / date 08.04.2019		Zkoušku provedl a vyhodnotil / Examination performed plus result Hudec Jiří		Kvalifikace / Qualification VT LEVEL: 2MS APC: 101 - 01663		

Obr. 34: Protokol o vyhodnocení vizuální zkoušky

6 MAGNETICKÁ ZKOUŠKA METODOU PRÁŠKOVOU

Hlavními materiály magnetické metody práškové jsou kovy jako železo, kobalt a nikl. Podstatným faktorem je, aby materiály mohly být (z)magnetizovány. Po rozptýlení drobných železných částeczek po jejich povrchu (železné piliny), lze vidět jasné porušení či naopak celistvost materiálu.

Magnetická metoda prášková se dělí na dvě nepoužívanější metody podle způsobu zobrazování indikací [16].

- Metoda fluorescenční
- Metoda barevná (černo-bílá)

Fluorescenční metoda je příznačná pro využívání částic potažených fluorescenční barvou. Po zmagnetizování zkoušeného prvku se nanese vodní nebo olejová suspenze se zmíněnými ocelovými částeczkami. Ty po ozáření černým ultrafialovým světlem o vlnové délce 365 nm zobrazí případné indikace a prosvítí vady. Negativní aspekt této metody je, že pro její provedení je zapotřebí maximální osvětlení umělým nebo denním světlem pouze 20 lx, což se blíží tmavému šeru.

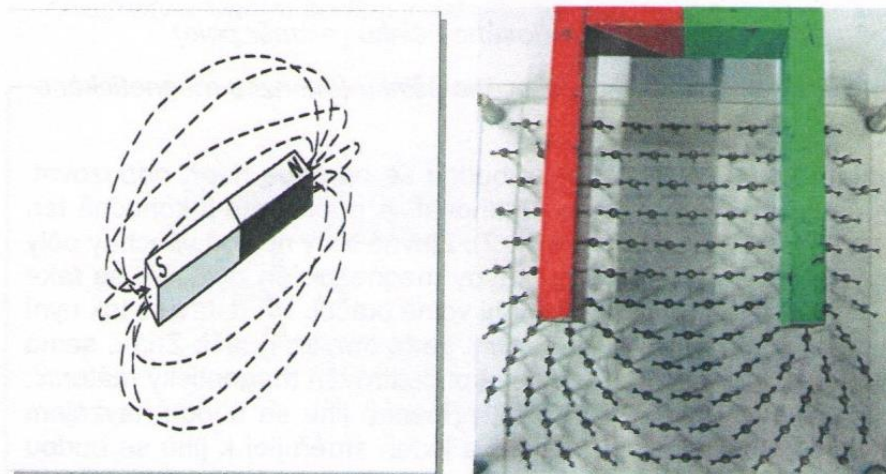
Barevná metoda (tou se budu ve své práci zabývat) funguje na podobném principu, využívá vodní nebo olejovou suspenzi ocelových částeczek, pokryté ale černou barvou. Pro lepší viditelnost a přesnost určení indikací se na povrch nejdříve nanese podkladová vrstva bílé barvy. Kombinace bílé a černé zajistí maximální kontrast, který splňuje podmínky pro určení vad. Při vyhodnocování je normou určený zdroj bílého světla min 500 lx.

6.1.1 Normová základna

Hlavní normy týkající se magnetické metody jsou ČSN EN ISO 9934-1: *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení magnetickou práškovou metodou – Část 1: Obecné principy*, dále norma ČSN EN ISO 17638: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou metodou práškovou* a norma ČSN EN ISO 23278: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou práškovou metodou – Stupně přípustnosti*.

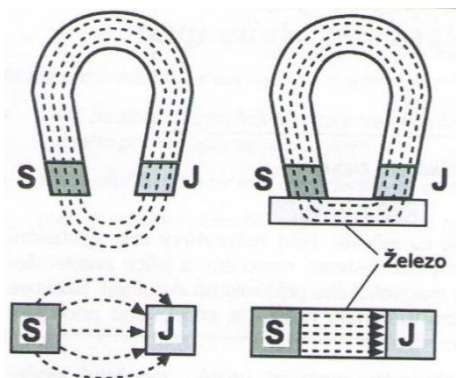
6.2 Princip měření

Jak z názvu vyplývá, ke kontrole se využívám magnet nebo elektromagnet. Magnety se dělí dle tvaru na magnetové tyče a magnety s tvarem podkovy, tzv. magnetické jho.



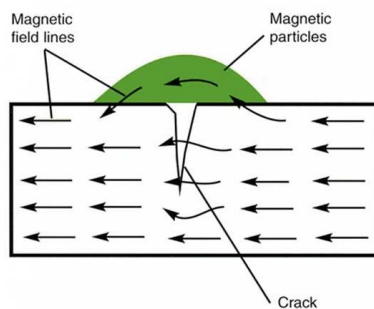
Obr. 35: Pole tyčového magnetu (vlevo) a magnet s tvarem podkovy (vpravo) [14]

Předměty zkoušené magnetickým práškem nejsou většinou trvale magnetické, ale jsou feromagnetické (lze je zmagnetizovat). Magnetický pól přitahuje železo, bez ohledu, o který pól se jedná. Magnetické siločáry probíhají od pólu k pólu jha zmagnetizovaným předmětem, tím se uzavře magnetický obvod utvořený z předmětu a jha. Jestliže se průřez okruhu nemění, zůstává počet probíhajících siločar stejný. Změní-li se, např. v určitém místě magnetovaného předmětu, změní se i hustota magnetického toku, zatímco magnetický tok jako takový zůstane neměnný.



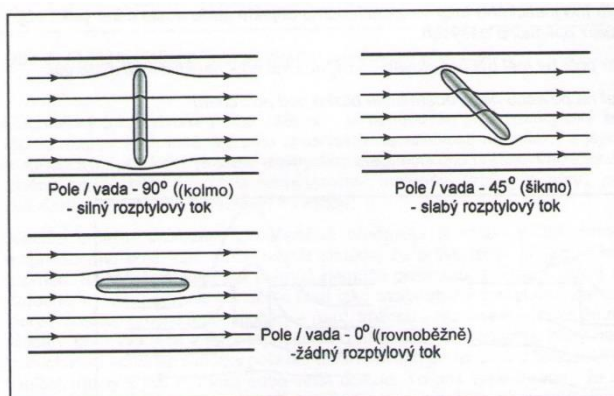
Obr. 36: Magnetické siločáry skryté v železe [14]

Indikace (viditelné změny vypovídající o nějakých nesrovnalostech) magnetického prášku se vytvoří pouze za předpokladu, že hustota magnetického toku ve zkoumaném materiálu bude dostatečně velká, aby byl průřez nasycen. Směr siločar pole by měl být orientován co nejvíce kolmo k nečelivosti materiálu, bude-li ležet na povrchu nebo dostatečně blízko pod povrchem [14].



Obr. 37: Princip zviditelnění indikace při magnetické kontrole [16]

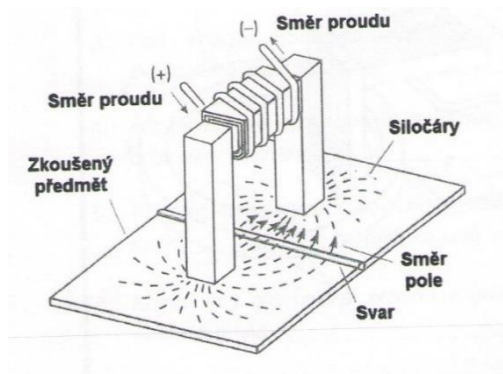
Pro správné odhalení indikací jsou důležité intenzita (síla) magnetického pole a jeho směr. Nebude-li průřez zkoušeného předmětu magneticky dostatečně nasycen, nevystoupí nad vadou žádný magnetický tok. Lze tomu také rozumět, že siločáry pole v důsledku vyšší permeability uvnitř zkoušeného materiálu se odchýlí pod nečelivost a nevystoupí nad ni, kde ji kontrolor má vidět. Proto se při zkoušení elektromagnety přizpůsobuje síla zkoušenému předmětu. Trvalé magnety vytváří pouze konstantní magnetický tok. Směr zkoušení je důležitý kvůli probíhajícím siločárám po indikaci. V nejhorším případě jsou oba proudy položené rovnoběžně a siločáry by obíhaly vadu po stranách a kolem. Nevytvářel by se žádný rozptylový tok. Z toho důvodu se každé místo magnetuje v různých směrech. Pokusy na toto téma dokázali, že nečelivost materiálu je zjiřitelná jen tehdy, je-li úhel mezi směrem siločar pole a směrem vady alespoň 45° [14]. Do 30° se podaří odhalit indikace např. v hladkých trhlinách, zářezech. Pro naprostou jistotu se tedy udržuje základní pravidlo, že nečelivosti jsou jistě zjiřitelné z dvojí magnetizace pootočené vzájemně o 90° . U většiny ocelí je dle ČSN EN ISO 9934-1: *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení magnetickou práškovou metodou – Část 1: Obecné principy*, dostatečná magnetizace při intenzitě tangenciálního pole od 2 kA/m – 6 kA/m .



Obr. 38: Vliv siločar na indikaci při magnetizace [14]

Magnetování předmětu je možné dvěma způsoby. Lze ho upnout do vhodného zařízení a nechat jako celek protékat proudem či magnetický polem, anebo se proud zavádí pouze přiložením proudových kontaktů či magnetických pólů místně. U první metody se využívají upravená zařízení s cirkulárním polem (kruhovým) nebo longitudinálním polem (podélným). Typicky se takto zkouší tyče a trubky. Druhá metoda je typická pro využití ručního magnetizačního jha ve tvaru podkovy, které se nad zkoušená místa přikládá s 90° pootočením (dvojitá magnetizace). Typicky předmětem zkoušení v tomto případě jsou svarové spoje či tvarově komplikované odlitky. Výběr, ke které metodě se přiklonit, závisí na geometrii zkoušeného předmětu, druhu hledaných nečistot materiálu, zkušebním zařízením, které je k dispozici [14].

Nejběžnější metodou je magnetizace ručním jhem. Aby nedošlo ke komplikacím bezpečného přiložení obou pólů jha na zkoušený materiál, jsou přístroje opatřeny naklápěcími a pohyblivými pólovými nástavci k vyrovnání složitých tvarů konstrukcí a výrobků. U ručního jha je cívka navinuta na jádro z měkkého železa (trafo-plechů), do kterého se přivádí podélné magnetické pole vytvořené v cívce.



Obr. 39: Magnetizace jhem [14]

6.3 Postup zkoušky

Magnetická metoda prášková má předem určené kroky provedení [14]:

- Příprava zkoušeného předmětu ke zkoušení (po vizuální zkoušce)
- Příprava a ověření podmínek pro pozorování
- Magnetizace zkoušeného předmětu
- Nanášení zkušebního prostředku (většinou zároveň s magnetizací)
- Dodatečná magnetizace
- Inspekce zkoušené plochy
- Registrace indikací
- Demagnetizace a čištění

Rozsah zkoušené plochy, nebo procentuální vyjádření objemu kontrolovaných svarových spojů je zadáno klientem. Zkoušená plocha se musí zbavit všech nečistot, volných okujů nebo rzi, rozstříku po svařování, mastnoty apod.

6.3.1 Nosné médium

Jako zkušební prostředek se používá feromagnetický prášek obsažený v oleji nebo ve vodě (voda s přísadami), který se nanáší na zkoušený povrch. Zkušebním prostředkem se tedy rozumí magnetický prášek obsažený v transparentním médiu. Magnetický prášek musí být [14] zdravotně nezávadný, zbaven nečistot, mít vhodnou velikost a tvar zrna, dobré magnetické vlastnosti, dobré kontrastní zbarvení, být upravený dle zkušební úlohy. Metody zbarvení ocelových částic jsou často velice specifické a konkrétní a jedná se o know-how, které provozovatelé a výrobci nevyzrazují.

Specifikace pro odlišení jednotlivých typů suspenzí jsou uvedené na obalu spreje.



Obr. 40: Zkušební prostředek pro fluorescenční metodu



Obr. 41: Zkušební prostředek pro barevnou metodu (bílá kontrastní barva – vpravo, černý indikační prášek – vlevo)

Vhodně zvolená velikost zrna prášku vytváří most nad materiálovou necelistvostí. Zmagnetizování způsobí zviditelnění indikace díky tomu, že se zrna napojí na siločáry, které vystupují okolo, resp. nad vadu a jsou oku patrné. Špatně zvolená velikost zrna by nemusela odpovídat předpokládané velikosti vady. Zrno nesmí být větší než průměr vady.

Detekční médium musí splňovat základní kontrolu jakosti. Tzn. že jsou na něm uvedeny [14] údaje o číslech šarží a datum výroby, bezpečnostní datový list, atest na šarži.

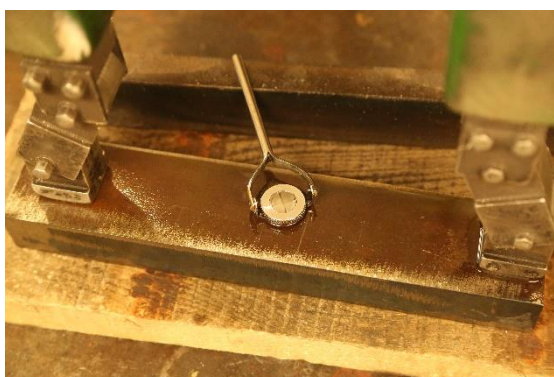


Obr. 42: Provádění magnetické zkoušky pomocí jha

6.3.2 Kontrola systému

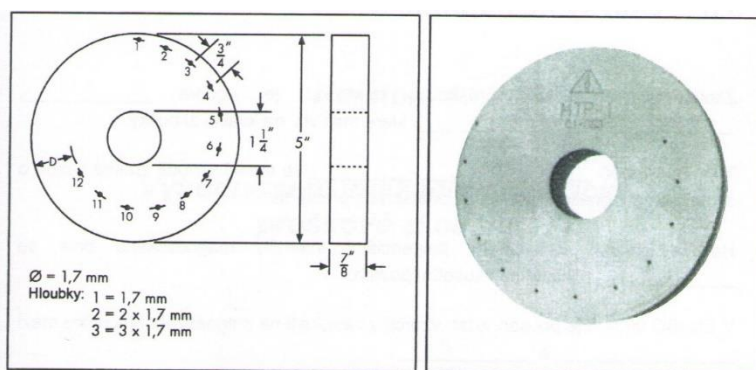
Po změření intenzity pole, osvětlení, záření, zkušebního prostředku je nutné zkontrolovat, zda celý systém bude měřit spolehlivě. To se provádí pomocí tzv. referenčních měrek. Jsou to typické předměty z výroby, jejichž indikační projekt je zdokumentován jako vzor.

Měrka pro zjištění dostatečné magnetizace a současně i pro orientaci magnetického pole je označovaná jako indikátor pole. Tou je např. Bertoldova měrka. Skládá se ze čtyř segmentů. Namísto jedné poměděné strany, jako jiné indikátory pole, má výškově nastavitelné víčko, na něž se nanáší detekční prostředek. Na straně měrky, která se přikládá na zkoušený materiál, je mezikruží, které slouží jako pojící prostředek pro siločáry, díky kterému mohou vstoupit ze zkoušeného předmětu do měrky. Po zmagnetizování a nanesení černého zkušebního prostředku se na straně mířící nahoru vytvoří černý kříž a ten potvrzuje správné spolupůsobení celého systému.



Obr. 43: Bertoldova měrka potvrzující spolupůsobení systému jako celku

Další důležitá měřka je pro kontrolu vad pod povrchem. Zkoumá objemové vnitřní vady a označuje se jako měřka Keto nebo Keto-kroužek. Jde o kruhovou destičku s předem normově předvrtanými vývrty. Vývrty jsou v různých hloubkách od povrchu. Je to 12 vývrtů o průměru 1,78 mm, jejichž indikace se vytváří na vnějším obvodovém povrchu kroužku. Čím hlouběji vývrt leží, tím je jeho indikace slabší. V případě magnetické zkoušky se jedná o hloubku 4 mm pro naprosto spolehlivé určení indikace. Vývrty hlouběji jsou vidět hůře a záleží na materiálu, síle napětí apod.



Obr. 44: Hloubková měřka Keto-kroužek [14]

6.3.3 Vyhodnocení indikací

Indikace se vyhodnocují čtyřmi způsoby a je třeba vždy pečlivě zvážit, jak na indikace pohlížet [14]:

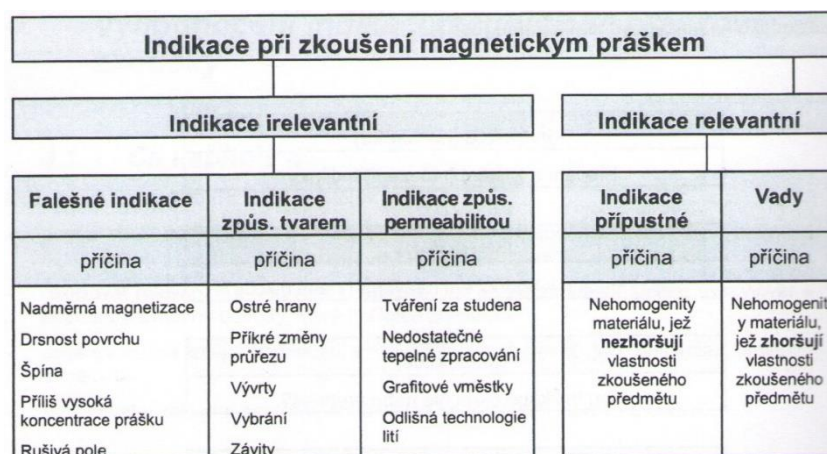
Inspekce (prohlídka): je prosté hledání a zjištění indikací magnetického prášku na zkoušené ploše. Závisí, jaký předmět je právě zkoumán, podle jakých podmínek, jestli zkouška probíhá na jednom nebo více místech kontrakce, zda ji může provést jeden pracovník. Není totiž vhodné při změnách z fluorescenční metody na barevnou, a naopak přecházet mezi osvětleným a zatmaveným pracovištěm.

Interpretací (Jsou indikace k hodnocení relevantní nebo nikoliv?): rozlišování irelevantních indikací od relevantních. Které indikace jsou důsledkem materiálových necelistvostí a které vedou ke skutečným vadám.

Klasifikace (Jsou indikace okrouhlé nebo protáhlé?): příprava pro závěrečné posouzení. Třídění indikací podle tvaru a poté na další dělení, jedná-li se o indikaci izolovanou, seskupení v řádku nebo ve shluku.

Hodnocení (Jsou indikace přípustné nebo nepřípustné?): samotné hodnocení porovnává již klasifikované nálezy s požadavky v předpisech. Indikace se musí změřit nebo porovnat s údaji v katalogu, např. s řadou obrázků nebo náčrtků.

Zásadní pro určení výsledku magnetické metody práškové je tedy rozhodnutí, zda se jedná o indikace irelevantní nebo relevantní. Zda se jedná pouze o zavádějící či zkreslené měření nebo o skutečnou vadu.



Obr. 45: Schéma interpretace indikací při magnetickém zkoušení

Pro správné vyhodnocení indikací se používají hodnotící kritéria. Přihlíží se na druh a velikost předpokládaného provozního namáhání, poloha vadného místa ve zkoušeném předmětu, materiál a jakost povrchu zkoušeného předmětu, druh a velikost vady. Indikace se dají charakterizovat ve třech úrovních. Nominální úroveň, tj. jednoduché rozhodnutí ano či ne. Zda se jedná o druh vady či nikoliv. Ordinální úroveň třídí přiřazené indikace podle rozměru, pořadí nebo velikosti. Jsou zapotřebí vzorové náčrtky nebo fotografie, aby se definoval stupeň jakosti výrobku anebo stupeň závažnosti nálezu. Úroveň metrická indikaci změří a vyhodnotí, většinou za pomoci šablony a hodnotí se podle délkových údajů uspořádaných v tabulce.

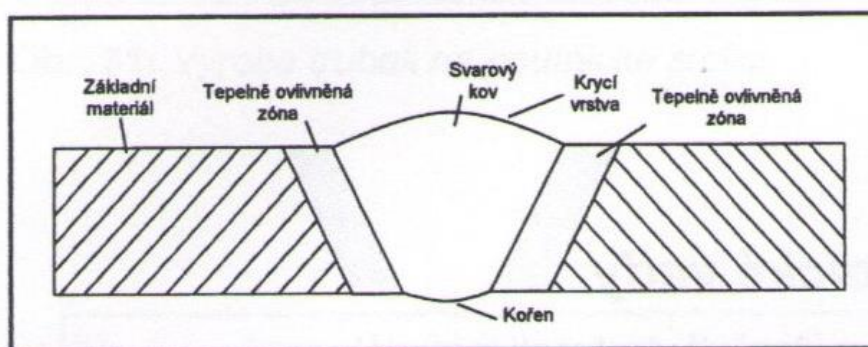
6.3.4 Charakterizace vad

Díky širokému větvení druhů indikací a vysokému množství zkoušených prvků, které lze magnetickou metodou práškovou kontrolovat, je objem druhů vad nesmírně široký. Z tématu mé bakalářské práce, které se koncentruje na svarové spoje, se při popisu vad zaměřím pouze na ně.

Magnetické práškové zkoušení se uplatňuje při prokazování vad tzv. komunikujících s povrchem. Vady lze rozpoznat pouhým okem, tj. vizuální zkoušení VT, to se však vztahuje pouze na relativně velké vady, v řádu desetin mm až do mm. Dalším krokem je proto magnetické práškové zkoušení MT pro prokázání značně menších vad. Je nutné zdůraznit, že magnetická metoda nemůže v žádném případě nahradit vizuální metodu. VT je schopné dodatečně klasifikovat a kvantifikovat vady tvaru a různé odchylky. VT by měla vždy předcházet MT, jak je tato posloupnost uvedena v normě ČSN EN ISO 17635: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Obecná pravidla pro kovové materiály*.

Pojem vada neznamena hodnocení přípustnosti, resp. nepřipustnosti nálezu, nýbrž obecně vyjadřuje zjednodušující výraz pro odchylku od ideálního stavu výrobku. Po každém výrobním procesu se specifika určí, o jaké označení se jedná.

Při tavném svařování je kritické vzniklé teplo, které vznikne a odvádí ho spojovaný materiál, zatímco se spojuje vznikajícím svarem. Tento základní materiál se zahřívá na vysokou teplotu a jsou důrazně ovlivňovány jeho mechanicko-technologické vlastnosti. Tato část, které je i při zkouškách jiného typu věnována vyšší pozornost, se nazývá tepelně ovlivněná oblast TOO (také tepelně ovlivněná zóna TOZ).



Obr. 46: Řez svarovým spojem [14]

Vady povrchu ve svarových spojkách jsou popsány také v normě ČSN EN ISO 6520-1: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování*. Vadami mohou být např. trhliny, tzn. místní přerušování celistvosti materiálu vznikající v průběhu

ochlazování nebo napětím. Lze je najít [14] ve svarovém kovu, v tepelně ovlivněné oblasti, v neovlivněném základním materiálu. Kráterová trhlinka vzniká podobně při vzniku staženiny, ale v místě zakončení svaru, tzv. kráteru svaru. Plynový vměstek je plynem vyplněná dutina, kterou typicky zapříčiní nedostatečná ochrana svarové lázně. Pevný vměstek je cizí materiál uložený do svarového kovu, který je magnetickým práškovým zkoušením zjistitelný až od určité velikosti.

Studený spoj, nejčastěji v kořeni, je označení nedostatečné spojení mezi svarovým kovem a základním materiálem v oblasti kořene. Svarová mezera je většinou vyplněna svarovým spojem, proto je studený spoj velmi těžké rozeznat pouhým okem. Magnetickým zkoušením lze prokázat jen tehdy, je-li v těsné blízkosti povrchu.

Neprůvar je nedostatečné provaření celým průřezem svaru. Svarový spoj končí nad dnem svarové mezery, která je tím pádem nezaplněná – prázdná.

6.3.5 Protokol o vyhodnocení zkoušky

Po ukončení zkoušky se musí výsledky zavést do protokolu o zkoušce. Ve zprávě se uvádí, jaký výrobek byl zkoušen, kterým přístrojem, za jakých podmínek a jakého výsledku bylo dosaženo. Shrnutí by mělo být takové, že po opakování zkoušky by mělo být dosaženo stejných výsledků. To vše může udělat pracovník s certifikátem skupiny 1. Odpovědný pracovník skupiny 2 dohlíží na zkoušku, hodnotí zjištěné indikace a pouze on vlastní podpisová práva k uzavření a potvrzení zkoušky.

metrostav		PROTOKOL O KONTROLE SVARŮ MAGNETICKOU PRÁŠKOVOU METODOU		Protokol č. / Report No.: MT-R_R-PM-28-19			
Metrostav a.s. divize 3 - POK Bystrá 2243, 193 00 Praha 9		PROTOKOL ON THE CONTROL OF WELDS MAGNETIC PARTICLE METHOD		List : 1/1			
Zkušební místo / Test site: Metrostav a.s., divize 3 - POK Bystrá 2243 193 00 Praha 9			Zakazník / Customer: Metrostav a.s., divize 3 Bystrá 2243 193 00 Praha 9				
Číslo zakázky / Order number: 030022018/91			Objednávka / Order No.:				
Zkušební předmět / Test Object:							
Výrobce / Manufacturer: Metrostav a.s., divize 3 - POK			Výkres č. / Drawing No.:				
Předmět / Object: Podsestava_PM_PN_17 (DP navařená hrana, směr Č. Tešín)			Zakázka/Project: Most na silnici R48 přes polní cestu a vodoteč v km 22,032 D48 Rybí - MUK Rychaltice				
Základní materiál / Base material: S355J2	Přídavný materiál / Filler metal: OK Autrod 12.51	Svářeč / Welder No: LQH	Tepelně zprac./heat treated: <input type="checkbox"/> Ano/Yes <input checked="" type="checkbox"/> Ne / No				
Svařovací proces / Welding process: 135	Typ svaru / Type of weld: BW, FW	Poznámky / Notes: -					
Použitý zkušební systém:							
Zkušební metoda: ČSN EN ISO 9934-1 Mokrý metoda, černé částice na bílém kontrastním pozadí. Suspenze ve spreji Diffu-Therm							
Přístroj / Apparatus: Elektromagnetické jho (AC), výrobce: Testima, v.č. 11115, typ TS: 230 S							
Bílá podkladová barva: DPM			Suspenze s magnetickým práškem: MPS-S				
Šarže/Batch: 81523			Šarže/Batch: 60823				
Čas nástřiku / čas magnetizace / Spray time / magnetisation time: 3s / 6s							
Povrch/surface: Očištěn							
Posouzení dle/Examining according to: ČSN EN ISO 17638			Kritéria přípustnosti/Level of acceptance: ČSN EN ISO 23278 - st. 2x				
Minimální časové prodlevy dle ČSN EN 1090-2, tab. 23 / Minimum hold times according to ČSN EN 1090-2, tab. 23							
Výsledek zkoušky/Examination result:							
Bylo provedeno nedestruktivní zkoušení svarů magnetickou práškovou metodou na ocelové konstrukci mostu ev.č. D48 Rybí - MUK Rychaltice (pravý most). Most na silnici R48 přes polní cestu a vodoteč v km 22,032. Veškerá kontrolovaná místa jsou vyhovující dle ČSN EN ISO 23278.							
Zkoušené svary:							
Číslo svaru: nr.	Weld	Rozsah excent	Svářeč: Welder:	Datum zkoušky Date of examination	Vyhovuje	Oprava	Kontroloval: Checked:
PM-PN-DP		100%	LQH	15.04.2019	Ano	-	Hudec
<i>Přílohy:</i> Příloha č.1 - PODSESTAVA_PM_PN_17							
Celkový výsledek zkoušky / The overall result of the test: VYHOVUJE dle ČSN EN ISO 23278 st. 2x							
Zkušební personál / Inspecting personal:							
Datum / Date: 15.04.2019		Zkoušku provedl a vyhodnotil, podpis / Examination performed plus result, signature: Hudec Jiří			Kvalifikace / Qualification: MT LEVEL: 2MS APC: 101 - 01663		

Obr. 47: Protokol o vyhodnocení magnetické zkoušky práškové

7 ZKOUŠKA ULTRAZVUKEM

Zkouška ultrazvukem je prvním zástupcem v mé bakalářské práci, specializující se na kontrolu podpovrchových vad.

Zkouška funguje na principu vlnění na rozhraní dvou prostředí, které mají odlišné vlastnosti šíření. Mechanické vlnění se šíří v závislosti na druhu prostředí a frekvenci vlnění. V ultrazvukové defektoskopii se využívá podélných a příčných akustických vln o vysoké frekvenci. Horní frekvence slyšitelnosti lidského ucha je 20 kHz. Čím vyšší je frekvence vlnění, tím menší vady je možno detekovat. Pro zkoušení se využívají frekvence od 0,5 MHz do 25 MHz. V homogenním prostředí se vlny šíří přímočaře.

Při náhlé změně prostředí, kterým vlnění probíhá, se změní i poměry v šíření a vlnění, signál se tedy začne lámat, resp. odrážet. Na rozhraní dvou prostředí mohou být překážky jako [20] dutiny, bubliny, póry, trhliny, struska apod. Tomuto odrazu se říká poruchové echo.

7.1.1 Normová základna

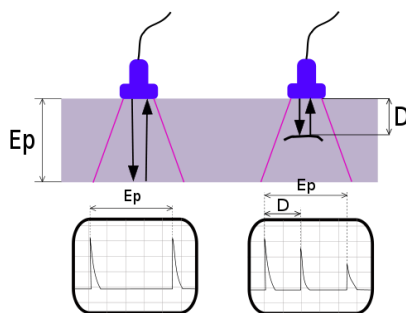
Normy vztahující se k tomuto druhu zkoušky jsou často velmi přímočaré. Myšleno, že se specifikují např. pouze na trubky, nebo pouze na profily HEB apod. Pro mojí práci postačí zmínit ty obecné, ve kterých jsou potřebné požadavky na certifikaci, průběh zkoušky a dále normy týkající se svařování ocelových materiálů:

- ČSN EN ISO 16810: *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení ultrazvukem - Obecné zásady*
- ČSN EN ISO 17640: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Techniky, třídy zkoušení a hodnocení*
- ČSN EN 14127: *Nedestruktivní zkoušení - Měření tloušťky ultrazvukem*
- ČSN EN 10228-3: *Nedestruktivní zkoušení ocelových výkovků - Část 3: Zkoušení výkovků z feritických nebo martenzitických ocelí ultrazvukem*
- ČSN EN 10160: *Zkoušení ocelových plochých výrobků o tloušťce 6 mm nebo větší ultrazvukem (odrazová metoda)*

- ČSN EN 10308: *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení ocelových tyčí ultrazvukem*

7.2 Princip metody

Ke zkoušení se jako zdroj impulsů používají ultrazvukové zkušební sondy neboli impulsní defektoskopy. Obsahují elektroakustický měnič, který přeměňuje elektrický signál na mechanický. Sondy lze dělit na přímé a úhlové, v závislosti na druhu vln, které sonda vysílá a přijímá. Změny impulsů lze vidět na obrazovce defektoskopu. V okamžiku začátku vysílání se na obrazovce objeví počáteční echo a koncové echo. Echa mezi nimi signalizují průchod materiálem a případné vady v kontrolovaném materiálu. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce základního materiálu. Pokud by mělo dojít k měření tloušťky nebo zjišťování vady přes natřenou plochu, nastane chybné měření. Skrz nátěrovou plochu není možné měřit přesně, protože kontrolor nemůže znát její přesnou tloušťku, ani jaká je rychlost šíření ultrazvukových vln. Existují speciální přístroje, které dokáží nátěrovou vrstvu ignorovat a měřit pouze požadovaný materiál.



Obr. 48: Vzor počátečního a koncového echa (vlevo bez vad, vpravo s vadou)

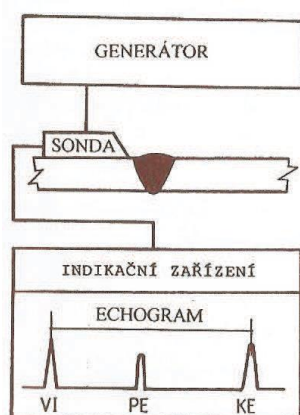
Ultrazvuk potřebuje styčné médium, ve kterém se může šířit těsně před tím, než vstoupí do zkoušeného materiálu. Jeho vlnění probíhá pouze kapalným nebo pevným skupenstvím, od plynného se odráží, proto je třeba ke kontrole nejdříve nanést vazebnou kapalinu. Tou bývá nejčastěji upravená voda, oleje nebo glycerin. Vazebné kapaliny od poskytovatelů doplňků pro ultrazvukovou zkoušku jsou většinou velmi drahé, proto se i v odborných pracovištích přistupuje na zaběhnuté alternativy, jako je například lepidlo na tapety, jedno levných styčných médií.

7.2.1 Odrazová a průchodová metoda

Měření defektů lze provádět dvěma metodami, které se liší v počtu využívaných sond v průběhu zkoušení.

- Metoda odrazová
- Metoda průchodová

Metoda odrazová, resp. impulsová, je všestranná, má široké použití a poskytuje informace nejen o případných vadách v materiálech, ale i o jeho struktuře a rozměrech. Díky tomu se tato metoda používá např. pro měření mocnosti uzavřených trubek nebo špatně dostupných prvků. Principem této metody je vysílání krátkého ultrazvukového impulsu, který se odráží od jakéhokoliv rozhraní. Zatím co se vrací zpět do sondy, zaznamenává se časový úsek, který lze vidět na obrazovce přístroje. Z toho vyplývá průběh, kdy generátor vybudí ultrazvukovou sondu, ta vysílá a přijímá impulsy a je akusticky svázaná se zkoušeným prostředím. Impulsy narážejí do vad nebo do povrchu materiálu. Časová základna se přivádí do horizontální vychylovací destičky obrazovky a výstupem je vertikální vychylovací rovina zesilovače. Informace o tloušťce odrazové plochy nebo vzdálenosti vady podle zpoždění, se kterým se odražený impuls neboli echo, vrátí do sondy a velikosti odrazové plochy podle výšky echa. Jednoznačný přínos této metody je možnost vysílat i přijímat jednou sondou a lze tudíž kontrolovat i v případech přístupu pouze z jedné strany.

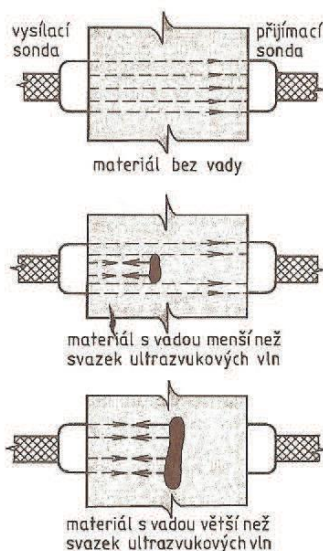


Obr. 49: Princip odrazové metody [20]



Obr. 50: Zkoušení materiálu ultrazukovou metodou

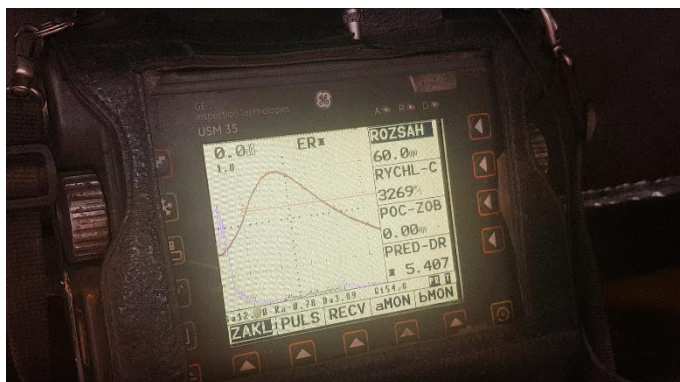
Průchodová metoda se provádí souosým umístěním na dvou protilehlých površích vysílací a na druhé straně přijímací sondou. Měřením ultrazukové energie, která prochází zkoušeným materiálem zjistíme vadu díky tomu, že vytváří překážku a vzniká tzv. ultrazukový stín. To znamená pokles akustického tlaku ultrazukové vlny, který je vidět na obrazovce přístroje. Tento typ zkoušení je vhodný v případě výrobků menších tloušťek s rovnoběžnými povrchy, které jsou nezbytně přístupné z obou stran. Rizikem je nedokonalé akustické navázání mezi párovými sondami a je těžké odlišit, zda se jedná o vadu nebo nedokonalý kontakt. Další nevýhodou je potřeba dvou sond a držení souosých poloh při zkoušení.



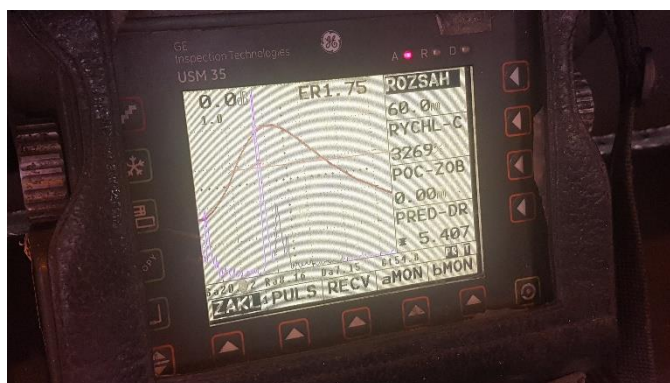
Obr. 51: Princip průchodové metody [20]

7.2.2 Vyhodnocení metody

Ultrazvuková metoda je vhodná pro plošné zkoušení a pro vady tohoto charakteru. Ideální stav je, kdy rovina vady je přibližně kolmá na směr šíření vlnění. Mnohem složitější je odhalit objemové vady, kterými jsou [19] třeba bubliny a póry nebo vady položené rovnoběžně se směrem vlnění. Při této metodě nelze jednoznačně určit, o jaký typ vady se jedná, jestli trhlina nebo pór. Lze pouze rozhodnout, že vzorek obsahuje vadu a přibližně určit velikost. Proto se ultrazvuková metoda v případě potřeby doplňuje dalšími zkouškami, nejčastěji radiografickou metodou.



Obr. 52: Obrazovka testovacího stroje svaru bez vad



Obr. 53: Obrazovka testovacího stroje s nálezem vady

Jasnou výhodou je okamžitý výsledek zkoušky, nižší cena zařízení potřebných ke kontrole oproti např. prozařování a snadné zkoušení tlustších materiálů. Metoda je bezpečná a zároveň užívání sond nenáročné. Z důvodu nerozpoznatelnosti druhu vady se zkoušející nemusí zdržovat zaznamenáváním jednotlivých výsledků a poté vyhodnocováním do archu vad. Ze zkoušení se ani nezachovává trvalý záznam z průběhu ultrazvukového vlnění, pouze označení vady.

GAMMALUX NDT s.r.o.
Defektoskopická zkušební laboratoř
Na Vrabčárně 1055/2, Černice, 326 00 Plzeň



Protokol o zkoušce ultrazvukem (UT) č.: **A 19 190 UT**
Ultrasonic examination test report No.:

List č.: 1
Sheet No.:
Počet listů: 2
Sheets:

(Inspekční certifikát 3.1 dle ČSN EN 10204)
(Inspection certificate 3.1 acc. EN 10204)

Objednavatel: The client:				METROSTAV, a.s. Bystrá 2243 193 00 Praha					
Název projektu: Name of the project:				D1 MODERNIZACE - ÚSEK 19, EXIT 141 VELKÉ MEZIRÍČÍ západ - EXIT 146 V. MEZIRÍČÍ východ					
Zkoušený objekt / Rozměry: Tested object / Dimensions:				SO 19-203,1 Most Vysočina - pravý most, procentní kontrola svarů podle ČSN EN 1090-2, svary na dílcích K10_K14, K32_K34					
Výkres číslo: Drawing No.:	Rozměry I c. přílohy 11	Zákl. materiál: Parent metal:	S355J2+N	Tepelné zpracování: Heat treatment:	bez TZ				
Zařazení zkoušky ve fázi výroby: Inclusion of tests in the production stage :				po svaření		Metoda svařování: Welding method:		135	
Druh svaru: Welding joint:		BW		Svařovací postup výrobce (WPS): Welding Process Specification No.:				---	
Systém a technika zkoušení The system and technique of testing									
Zkušební přístroj (výr. číslo): Type of Ultrasonic Device (Serial No.):				USM 35 (1003a)		Výrobce: Producer:		KRAUTKRÄMER	
Typ sondy / Frekvence / Úhel / Rozměry: Transducer type / Frequency / Angle / Size:				*) viz tabulka, list č. 2 / KRAUTKRÄMER					
Kalibrační měrka: Calibration Block:				K1		Vazební medium: Couplant:		apeko (klič)	
Metodika dle: Method acc. to:		ČSN EN ISO 17640		Třída zkoušení: Examination class:		B		Instrukce: Instrucción:	Sm 03
Referenční úroveň: Sensitivity Level:				pro AL 2 - 1,5 ÷ 2,5 mm D_{500 (SDH)} - technika 2 (tab. 3) *) viz tabulka, list č. 2					
Rozsah zkoušení: Volume of test:				100% svarů + TOO					
Rozsah časové základny: Time base extend:		50 ÷ 100mm		Zesílení: Gain:		*) viz tabulka list č.2		Korekce přechodu: Surface correction:	3 dB
Zkušební povrchy: Testing surfaces:				A nebo B		Zkouška zákl. materiálu: Parent metal testing:			bez indikací
Hodnoceno dle: Evaluation acc. to:				ČSN EN ISO 11666, stupeň přípustnosti 2					
Odchyłky od norem / Specifikace: Difference from standards / Specifications:				---					
Místo zkoušky / Datum / Zkoušel (stupeň): Place of test / Date of test / Surname of examiner (level):				Metrostav, Horní Počernice / 06.05.÷ 14.05.2019/ Kreuz (2), Veselý (2)					

Protokol splňuje požadavky ČSN EN 10160 a ČSN EN ISO 16810. Odchyłky od norem jsou uvedeny v textu.
Schéma nulového bodu souřadnicového systému (je-li vyžadováno) je na konci tohoto protokolu.

Hodnotil - kvalifikace: Evaluator - qualification:	Veselý Libor Technik NDT / Level II	Razítko-podpis Stamp-signature	Razítko-podpis Stamp-signature of client
Číslo certifikátu: Certificat No.:	SECTOR CERT Z-SC-06325		
Protokol vystaven dne: Protocol issued on day:	14.05.2019		

Obr. 54: Protokol o zkoušce ultrazvukem (str. 1)

GAMMALUX NDT s.r.o.
Defektoskopická zkušební laboratoř
Na Vrabčárně 1055/2, Čemice, 326 00 Plzeň



Protokol o zkoušce ultrazvukem (UT) č.: **A 19 190 UT**
Ultrasonic examination test report No.:

List č.: 2
Sheet No.:

Počet listů: 2
Sheet:

(Inspekční certifikát 3.1 dle ČSN EN 10204)
(Inspection certificate 3.1 acc. EN 10204)

Vyhodnocení zkoušky **Evaluation of test**

SONDY	REFERENČNÍ ÚROVEŇ (mm)	ZESÍLENÍ (dB)	TLOUŠŤKA (mm)
MWB 70-4	1,5	53	$8 \leq t < 15$
MWB 60-2	2,5	35,4	$15 \leq t < 40$

Na dílcích
K10_K14, K32_K34, byly kontrolovány tupé svary v rozsahu podle ČSN EN 1090-2,
tabulka 24.

Všechny kontrolované svary
VYHOVUJÍ
podmínkám ČSN EN ISO 11666, stupeň 2.

--- KONEC PROTOKOLU ---

Hodnotil - kvalifikace: Evaluator - qualification:	Veselý Libor Technik NDT / Level II	Razítko-podpis Stamp-signature	Razítko-podpis zákazníka Stamp-signature of client
Číslo certifikátu: Certificate No.:	SECTOR CERT Z-SC-06325		
Protokol vystaven dne: Protocol issued on day:	14.05.2019		

Obr. 55: Protokol o zkoušce ultrazvukem (str. 2)

8 ZKOUŠKA RADIOGRAFICKÁ

Radiografická zkouška RT, známá také jako zkouška prozářením neboli RTG, je další metodou zabývající se podpovrchovými vadami. Tato metoda umožňuje pořídit trvalý záznam vnitřních vad v materiálu (hlavně objemových, při vhodné směrové orientaci i plošných). Radiografie se obvykle užívá v případech kontrol svarů a odlitků, vyhovuje i tvarově složitým prvkům. Zejména u zařízení s vysokými nároky na bezpečnost, jako jsou nejčastěji tlakové nádoby, se využívá díky průkaznosti trvalého záznamu.

Princip zkoušky spočívá v pohlcování ionizačního záření (pronikavé elektromagnetické záření). Schopnost rentgenového nebo gama záření pronikat skrz zkoušený materiál dokáže ukázat materiálové zeslabení pomocí absorpce. To se promítne svým působením na fotografický film. Ionizující záření se oslabuje průchodem skrz materiál. Míra zeslabení závisí mimo jiné na tloušťce materiálu a na orientaci defektu vůči zdroji. Za defektem se vytvoří neviditelný reliéf primárního záření, který se zobrazuje jako tmavší místa. Ta jsou třeba změnit ve viditelný obraz vhodným detektorem záření. Při běžné radiografické metodě se výsledky zaznamenávají na radiografický film.

8.1.1 Normová základna

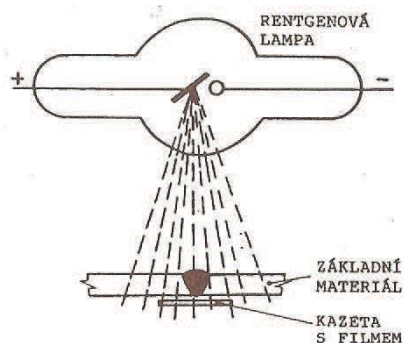
Pro radiografickou metodu se velice často mění. Dochází k neustálým obměnám bezpečnostních opatření, nové technologie pro přístroje a pomůcky k této metodě. Proto ve značné části podkladů pro zpracování metody se musí dbát na aktuálnost norem v textu a dohledávat jejich aktuální náhrady. Pro zkoušku prozáření, následně vyhodnocení radiogramů a požadavky na personál slouží normy:

- ČSN EN ISO 17636-1: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení – Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film*
- ČSN EN ISO 10675-1: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Kritéria přípustnosti pro radiografické zkoušení - Část 1: Ocel, nikl, titan a jejich slitiny*

- 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 5579: *Nedestruktivní zkoušení - Radiografické zkoušení kovových materiálů s použitím filmu a rentgenového nebo gama záření - Základní pravidla*
- ČSN EN ISO 16371-2: *Nedestruktivní zkoušení - Průmyslová počítačová radiografie s paměťovými fosforovými deskami - Část 2: Obecné zásady pro zkoušení kovových materiálů rentgenovým zářením a zářením gama*
- ČSN EN ISO 17636-1: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení - Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film*
- ČSN EN ISO 17636-2: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení - Část 2: Metody rentgenového a gama záření využívající digitální detektory*

8.2 Princip metody

Zdrojem záření může být rentgenová lampa (X záření – rentgenové) nebo gama záření. Gama záření vychází z malého množství radioaktivního zářiče. Tím jsou radioizotopy, prvky při jejich radioaktivním rozpadu, jako [19] iridium nebo kobalt. Lze použít i urychlovače, které využívají záření XX, lineární urychlené elektrony. Záření vytváří na druhé straně materiálu profil intenzity záření. To se tam zachycuje fotografickým filmem, [19] na fotoluminiscenční stínítko nebo speciální elektronou, kterou se intenzita převádí do elektronové podoby. Zdrojem ionizujícího záření může být jak izotopový zářič, tak rentgenová lampa. V obou případech se jako izotopy nejčastěji [18] užívají ^{192}Ir a ^{75}Se , ^{60}Co .



Obr. 56: Princip zkoušky rentgenovými paprsky [20]

V menších místech tloušťky materiálu, kde zeslabení může být způsobeno vadou, je intenzita záření vyšší, ta je na výsledném snímku vidět zčernáním. Vyvolaný film, tzv. radiogram, trvale zaznamená průmět vady a snadno se tak uchová. Metodou prozáření lze odhalit i přítomnost jiného materiálu. Ten má jinou pohltivost záření než jeho okolí, což se prokáže změnou intenzity. [19] Např. struska z obalu elektrod má mnohem nižší pohltivost záření než okolní ocel, vznikne černý odstín. Naopak wolframový vměstek ve svaru zhotoveného metodou TIG pohlcuje záření více než ocel a jeví se radiogramu menším zčernáním, zpravidla světlou tečkou.

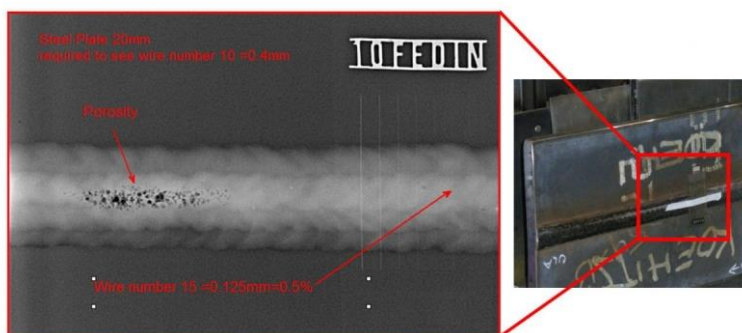
Výhoda izotopových zářičů je jejich mobilita. Rentgenové lampy jsou oproti krytům s izotopy těžké a využití za provozu stavby, dílny, výroby je v podstatě nemožné. Práce s izotopy vyžaduje vymezení dostatečného pásma, které se nesmí překročit a je nutné dbát na zamezení přístupu osob blízko zářiče. Množství záření vycházejícího ze zdroje, ze kterého vyplývá bezpečná vzdálenost, se určí pomocí dozimetru.



Obr. 57: Kryt s izotopy [24]

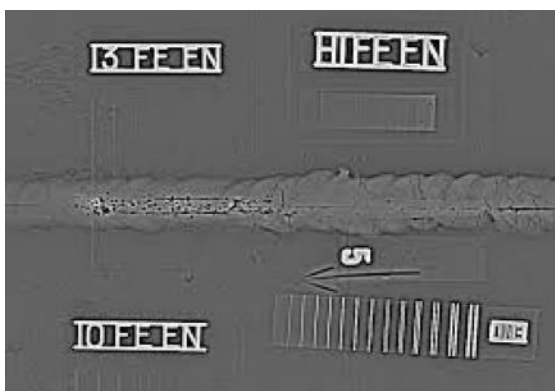
8.2.1 Pořízení snímků

Prozáření může být provedeno přes jednu nebo dvě stěny. Identifikace zkoušky je zajištěna za předpokladu, že každá zkoušená oblast byla před ozářením označena ([19] písmenem, číslicí, symbolem). Jasnost radiogramu se kontroluje radiografickými měrkami.



Obr. 58: Vzor rentgenového snímku se shlukem pórů spolu s pohledem z venku na kazetu s radiografickým filmem [24]

K dosažení správného měření je nutné zajistit několik kroků ještě před začátkem zkoušení. Při nastavování radiografického přístroje jako [19] vhodné napětí na rentgenové lampě, zvolit vhodný radioizotop, vyhovující radiografický film, vybrat kovové zesilovací fólie. Dále zkontrolovat podmínky požadované na jakost přístroje ([19] ostrost, kontrast, rozlišitelnost detail). Mít správnou expozici a snímek správně fotochemicky zpracovat v temné komoře.



Obr. 59: Radiogram s vadami: neprůvar (ostré černé indikace), pórovitost (černé tečky) a identifikačními popisky [24]

Nejjednodušší případ je prozařování rovinných tavných svarů, protože směr ionizujícího záření je nejčastěji kolmo na plochu svaru. Obtížnější je zkoušení tupých svarů. Koutové svary a kombinované svary se rovněž musí ozařovat pod vhodným směrem. Při nerovných plochách se dle potřeby

využívají vyrovnávací klíny. Tyto klíny musí být ze stejného materiálu jako prozařovaný výrobek.



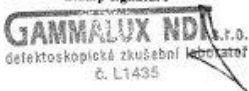
8.2.2 Vyhodnocování

Výsledkem zkoušky je radiogram. Snímek prozařovaného materiálu v konkrétním místě, který zviditelňuje vady a odchylky pomocí zčernalých míst která rozdílně pohlcují ionizující záření. K vyhodnocení těchto snímků slouží např. lupy, katalogy vad apod. Tato metoda je určena pro kontrolu podpovrchových vad, tedy do hloubky. Prozářením se dokáže zkoušet materiál od několika mm až do stovek mm. Rozeznatelnost vad je na hraně 1 – 2 % prozařované tloušťky. Jedná se o velmi citlivou metodu, nejvíce v případě objemových vad, jako [19] bubliny, póry, struskové a kovové směsi. Méně citlivá je pro vady jako studené spoje nebo trhliny. Díky kvalitnímu rentgenovému snímku je většinou dobře patrné, o jaký druh vady se jedná. Je možné nálezy na snímcích měřit, určovat vady dle polohy a tvaru, rozeznat dobře druh, velikost, četnost a vzájemnou polohu vad.

Provedené kontroly se dle rozsahu zadávacích kritérií od zákazníka, vypracují do protokolu o kontrole. Ten má obsahovat [24] potřebné informace o metodě, provedení zkoušky, výsledky kontroly, kým byla zkouška provedena apod. Na přání zákazníka je k protokolu vypracován i náčrt s lokalizací vad.

Prozařování je bohužel velmi drahá metoda zkoušení, vyžaduje speciálních zařízení, velmi vysokou a zvláštní míru bezpečnosti při práci a na pracovišti celkově. Zároveň spolehlivě vyškolený personál. Ionizující záření je lidskému organismu nebezpečné. Při provádění zkoušek se pracoviště stává velmi rizikovým a platí pro ně zvláštní hygienické a bezpečnostní předpisy. Proto tato metoda není běžná v normálním provozu, musela by se vyklidit například celá stavba nebo nadpoloviční část výrobní dílny. To výrazně omezuje produktivitu ostatních prací, a proto se tato metoda nejčastěji provádí ve specializovaných laboratořích pro tuto metodu uzpůsobených. Pro firmy, které poskytují všechny nedestruktivní metody se mnohdy vyplatí na takovou metodu pouze vyškolit svůj personál, ale prostory vybavené a uzpůsobené k radiografické zkoušce si pronajímat. V dnešní době již existují alternativy jako temné komory, které lze dovést na stavbu, zkoušku provést ch za provozu

a snímky vyvolat přímo na místě. Takové případy jsou ale výjimečné a opravdu nákladné.

GAMMALUX NDT s.r.o. Defektoskopická zkušební laboratoř Na Vrabčárně 2, 326 00 Plzeň		 L 1435	 L 1435
Protokol o radiografické zkoušce (RT) Radiography test examination report		č.: A 16 348 RT Nr.:	List č.: 1 Sheet Nr.: Listů: 2 Sheets:
(Inspekční certifikát dle / Inspection certificate acc. to EN 10204)			
Objednavatel: The Client:	METROSTAV a.s., divize 3 Na Maninách 7 170 00 Praha 7 Česká republika	Objednávka číslo: Order No.:	e-mail
		Ze dne: Date of order:	26.09.2016
Zkoušený objekt: Tested Object:	Svarové spoje pro kvalifikaci postupu svařování dle norem systému ČSN EN ISO 15607 (ČSN EN ISO 15614-1 atd.)		
Zákl. materiál (skupina): Parent metal (Class):	ZM 1 - 16Mo3 ZM 2 - 10CrMo9-10	Tepelné zpracování: Heat treatment:	viz písemná instrukce č. 1/2016/TZ
Zařazení zkoušky ve fázi výroby: Inclusion of tests in the production stage:	po TZ	Metoda svařování: Welding method:	141/111 (MIG/MMA)
Druh svaru: Welding joint:	tupý (BW)	Svařovací postup výrobce: Welding Process Specification:	WPQR 5596501
Systém a technika zkoušení The system and technique of testing			
Metodika dle: Methodology acc. to:	ČSN EN ISO 17636-1	Radiografická technika: Radiographic technique:	třída B Instrukce: Sm 01 Instructions:
Druh záření / zdroj záření (výrobní č.): Type of radiation / Source (Serial No.):	gamma / Ir ¹⁹² / YAC 311 (A)		
Velikost ohniska: Focal spot size:	2,0 x 2,2 mm	Aktivita zdroje v době testu: Source activity during the test:	30 Ci
Vzdálenost zdroj - film (FFD): Source - Film distance (SFD):	200 mm	Expoziční doba: Exposure time:	1:30 min
Měrka jakosti obrazu / poloha: IQI type / Position:	10 FE EN / strana filmu (F)	Požadovaná hodnota (citlivost): Quality value requirement (IQI sensitivity):	W 13
Uspořádání zkoušky: Arrangement of test:	7.1.5 (obr. 8)	Způsob značení: Way of marking:	Pb znaky
Třída film. systému / typ filmu / folie: Class of film system / Film type / Screens:	C3 / INDUX R4 FOMAPAK (s Pb foliemi 0,1 mm)	Zpracování filmu: Film development:	automat
Hodnoceno dle: Evaluated acc. to:	ČSN EN ISO 10675-1, stupeň přípustnosti 1		
Odchylky od norem / specifikace: Differences from standards / Specifications:	- - -		
Místo zkoušky / datum / zkoušející (stupeň): Place of test / Date of test / Surname of examiner (Level):	GAMMALUX NDT Plzeň / 27.09.2016 / Soukup (2)		
Protokol splňuje požadavky ČSN EN ISO 17636-1 a ČSN EN ISO 5579. Odchylky jsou uvedeny v textu. Schéma nulového bodu souřadnic a umístění filmů (je-li vyžadováno) je na poslední straně tohoto protokolu. The report meets a requirement to EN ISO 17636-1 and EN ISO 5579. Differences from these standards are written in the text. A zero point scheme of co-ordinate system and films positions (if required) is on the last page of this report.			
Hodnotil - kvalifikace: Evaluator - qualification:	Karel Soukup Level II	Razítko-podpis Stamp-signature	Razítko-podpis zákazníka Stamp-signature of client
Číslo certifikátu: Certificat No.:	TÜV CERT 04 502 20011		
Protokol vystaven dne: Protocol issued on day:	27.09.2016		

Obr. 60: Protokol o radiografické zkoušce (str. 1)

GAMMALUX NDT s.r.o.
Defektoskopická zkušební laboratoř
Na Vrabčárně 2, 326 00 P l z e ň



Protokol o radiografické zkoušce (RT)
Radiography test examination report

č.: **A 16 348 RT**
Nr.:
List č.: 2
Sheet Nr.:
Listů: 2
Sheets:

(Inspekční certifikát dle / Inspection certificate acc. to EN 10204)

Vyhodnocení zkoušky

Č. WPQR Metoda svařování / Poloha Zákl. materiál (skupina) Rozměry (mm)	Radiogram Pozice / Úsek (mm)	Zčernání / Citlivost	Referenční číslo vady dle ČSN EN ISO 6520-1		
				VYHOVUJE	NEVYHOVUJE
5596501 141+111 / PH 16Mo3+10CrMo9-10 D 219,1 x 16 mm	A (0 - 170)	$D \geq 2,3 / W 13$	---	X	-
	B (170 - 340)	$D \geq 2,3 / W 13$	2011		
	C (340 - 510)	$D \geq 2,3 / W 13$	---		
	D (510 - 0)	$D \geq 2,3 / W 13$	2011		

Závěr

Svarový spoj pro kvalifikaci postupu svařování WPQR 5596501 (D 219,1 x 16 mm),

VYHOVUJE

hodnocení dle normy ČSN EN ISO 10675-2, stupeň přípustnosti 1,
v návaznosti na ČSN EN ISO 15614-1, kap. 7.3 a 7.5

Hodnotil - kvalifikace: Evaluator - qualification:	Karel Soukup Level II	Razítko-podpis Stamp-signature	Razítko-podpis zákazníka Stamp-signature of client
Číslo certifikátu: Certificat No.:	TÜV CERT 04 502 20011		
Protokol vystaven dne: Protocol issued on day:	27.09.2016		

Obr. 61: Protokol o radiografické zkoušce (str. 2)

9 VYHODNOCENÍ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD

V této části nejdříve porovnám a následně vyhodnotím nedestruktivní metody mezi sebou. Pro zjištění aspektů jednotlivých metod budu volit různá témata, ve kterých se zkoušky dají porovnat. Následně zohledním pozitiva a negativa jaké v tom ohledu metoda má pro její zařazení. Na konci vyvodím z mého pozorování postoj pro každou metodu.

Metody budu porovnávat podle následujících hledisek:

- délce hodin na školení
- za jak dlouho je nutná recertifikace
- finanční náklady na získání certifikátu
- cena pomůcek pro provádění metody
- jak dlouho trvá zkoušku provést
- cena za objednání dané metody (cena za objem práce, paušální cena)

9.1 Délka školení

Pro získání povolení provádět zkoušku je třeba nejdříve získat certifikát. Kromě školení je v některých případech třeba věnovat další čas kontrolám ke způsobilosti a splnit minimální dobu povinné praxe pod dohledem pověřené osoby.

Tyto údaje popisují následující dvě tabulky:

Tab. 7: Minimální počet hodin požadovaný na školení [1]

NDT metoda	Stupeň 1 (hod)	Stupeň 2 (hod)	Stupeň 3 (hod)
Zkoušení vizuální VT	16	24	24
Zkoušení magnetické MT	16	24	32
Zkoušení ultrazvukem UT	40	80	40
Zkoušení radiografické RT	40	80	40

Poznámka: u RT hodiny školení nezahrnují školení z radiační bezpečnosti [1]

V normě ČSN EN ISO 9712: *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT* se uvádí, že část praxe bude vykonána po složení kvalifikačních zkoušek. Výsledek této zkoušky zůstává platný 2 roky,

popřípadě po dobu praxe vyžadované pro danou metodu NDT. Rozhoduje delší doba z těchto dvou uvedených.

Tab. 8: Minimální průmyslová praxe [1]

NDT metoda	Praxe (měsíce) ^a		
	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň 3
AT, ET, LT, RT, UT, TT	3	9	18
MT, PT, ST, VT	1	3	12

^a délka praxe je založena na pracovní době 40hod/týdně. Pokud osoba pracuje déle než 40 hod týdně, může být do praxe započítán celkový počet hodin, ale požaduje se předložení důkazu této praxe.

Tyto informace pramení z normy ČSN EN ISO 9712: *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT.*

Jak jsem již uvedla výše v mé práci, zkoušky se dají získat ve více stupních odbornosti. Stupeň 1 zastupuje vyškolení ve znalosti metody a jejím provádění. Stupeň dva je vyšší třída o možnost vyhodnocovat nasbírané informace a finálně rozhodnout, jak zkouška vyšla a uzavřít jí. Tedy se pod ní podepsat a zaručit se za výsledek. V případě, že má osoba zájem rovnou získat oprávnění stupně 2, i tak musí projít celým skolením stupně 1.

Pro naše účely by personál vyškolený pouze na Stupeň 1 byl k ničemu. Zkoušku by nemohl uzavřít, tudíž by vlastně žádná neproběhla. Budu tedy uvažovat, že je vždy nezbytná kvalifikace ve stupni 1 i 2.

Po sečtení a zohlednění jak doby školení, tak doby praxe, vzniká nová tabulka. Pro mé potřeby převedu délku praxe z měsíců také na hodiny, ale pro lepší představu uvedu i měsíce. Předpokládám, že pracovní měsíc má 4 týdny.

Tab. 9: Celkový čas investovaný do získání certifikátu

NDT metoda	Školení celkem (hod)	Praxe		Hodiny celkem (hod)
		(hod)	(měs.)	
Vizuální z. VT	40	640	4	680
Magnetické z. MT	40	640	4	680
Ultrazvukem z. UT	120	1920	12	2040
Radiografické z. RT	120	1920	12	2040

Z tabulky je jasné, že nejdelší přípravu pro samostatné provádění profese, zaberou zkoušky ultrazvukem a radiografická. Co se týče ještě dalších podmínek u zkoušek, je ještě třeba zmínit, že vizuální zkouška vyžaduje periodické jednorocní kontroly u očaře. Tento aspekt se objeví i v dalších porovnání. Lze na něj pohlížet časově, vyžaduje půl den nebo den volna (hrazené zaměstnavatelem). Také finanční, kde bych to připodobnila vstupní lékařské prohlídce, tedy mezi 200 – 300 Kč.

V tomto případě to rozhoduje mezi vizuální a magnetickou zkouškou. Jelikož u magnetické metody nemusí osoba investovat žádný další čas navíc pro splnění všech náležitostí k dosažení certifikátu, rozhoduji o ní jako o metodě s nejkratší potřebnou dobou pro získání oprávnění.

Ultrazvukové zkoušení nemá žádné další časové náročnosti. Radiografická metoda, kvůli svým vysokým nárokům na bezpečnost, vyžaduje ještě bezpečnostní školení, které ale není zahrnuto ve výčtu hodin školení, jak je uvedeno v poznámce u tabulky č. 9. Proto tedy rozhoduji o radiografické metodě jako o zkoušce, která zabere nejvíce času pro získání finálního oprávnění.

9.2 Recertifikace a prodloužení

Pro vydání tzv. prvotního certifikátu je nezbytné nejdříve splnit školení a průmyslovou praxi (viz. výše), kterou musí certifikačnímu orgánu potvrdit zaměstnavatel.

Poté začíná plynout doba platnosti certifikátu, která je u všech zkoušek 5 let. Po této době je nutné zažádat o prodloužení platnosti certifikátu. Recertifikace je nutná vždy před ukončením každého druhého období platnosti certifikátu, tedy každých 10 let.

Jelikož je toto pravidlo pro všechny mnou porovnávané metody stejné, vyplývá, že doba nutná pro splnění pokračování výkonu profese je pro všechny metody stejně dlouhá.

9.3 Finanční náklady na získání certifikátů

Finanční srovnání provedu tak, že vyberu dvě firmy, jejichž názvy nahradím písmeny abecedy, a předvedu, jak se pohybují jejich ceníky. Pro tyto účely jsem vybrala firmu A, která má svůj ceník přístupný na internetových stránkách. Ostatní firmy poskytující veřejně své ceny, provádí školení ve většině případech jen např. na dvě metody. Proto pro získání informací pro mnou vybrané NDT metody už neuvádějí ceny, jen pro vážné zájemce. Povedlo se mi kontaktovat firmu B, kde mi kontaktní osoba poskytla potřebnou finanční nabídku.

9.3.1 Ceník firmy A

Vybraná společnost A řídí NDT kvalifikace dle normy ČSN EN ISO 9712: *Nedestruktivní zkoušení - Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT*. To vede k získání oprávnění, které společnost odkazuje k certifikačnímu orgánu APC nebo SECTOR Cert.

Ceny kurzů jednotlivých metod jsou:

Zkoušení vizuální VT

Tab. 10: Ceník školení vizuální metody společnosti A [26]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
VT stupeň 1+2	9.900,00 Kč	2.079,00 Kč	11.979,00 Kč
VT stupeň 3	14.990,00 Kč	3.147,90 Kč	18.137,90 Kč

Zkoušení magnetická MT

Tab. 11: Ceník školení magnetické metody společnosti A [26]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
VT stupeň 1+2	9.900,00 Kč	2.079,00 Kč	11.979,00 Kč
VT stupeň 3	14.990,00 Kč	3.147,90 Kč	18.137,90 Kč

Zkoušení ultrazvukem UT

Tab. 12: Ceník školení ultrazvukové metody společnosti A [26]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
UT stupeň 1	16.100,00 Kč	3.381,00 Kč	19.481,00 Kč
UT stupeň 2	18.400,00 Kč	3.864,00 Kč	22.264,00 Kč
UT stupeň 1+2	33.500,00 Kč	7.035,00 Kč	40.535,00 Kč
UT stupeň 3	18.990,00 Kč	3.987,90 Kč	22.977,90 Kč

Zkoušení raiografické RT

Tab. 13: Ceník školení ultrazvukové metody společnosti A [26]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
RT stupeň 1	16.100,00 Kč	3.381,00 Kč	19.481,00 Kč
RT stupeň 2	25.800,00 Kč	5.418,00 Kč	31.218,00 Kč
RT stupeň 1+2	35.900,00 Kč	7.539,00 Kč	43.439,00 Kč
RT stupeň 3	18.990,00 Kč	3.987,90 Kč	22.977,90 Kč

9.3.2 Ceník firmy B

Společnost B mi poskytla finanční nabídku na základě mé poptávky. Po dotazu na zvýhodněné ceny za školení stupňů 1+2 uvedli, že taková možnost je, pouze pro větší skupiny a společnosti, se kterými mají smlouvenou dlouhodobější spolupráci. V nabídce, kterou jsem obdržela byla však výhodnější cena uvedena jen pro jednu z mnou poptávaných nedestruktivních metod, viz. následující tabulky:

Zkoušení vizuální VT

Tab. 14: Ceník školení vizuální metody společnosti B [28]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
VT stupeň 1+2	9.900,00 Kč	2.079,00 Kč	11.979,00 Kč
VT stupeň 3	11.900,00 Kč	2.499,00 Kč	14.399,00 Kč

Zkoušení magnetická MT

Tab. 15: Ceník školení magnetické metody společnosti B [28]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
VT stupeň 1	6.900,00 Kč	1.449,00 Kč	8.349,00 Kč
VT stupeň 2	9.900,00 Kč	2.079,00 Kč	11.979,00 Kč
VT stupeň 3	13.900,00 Kč	2 919,00 Kč	16.819,00 Kč

Zkoušení ultrazvukem UT

Tab. 16: Ceník školení ultrazvukové metody společnosti B [28]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
UT stupeň 1	14.500,00 Kč	3.045,00 Kč	17.545,00 Kč
UT stupeň 2	20.000,00 Kč	4.200,00 Kč	24.200,00 Kč
UT stupeň 3	19.900,00 Kč	4.179,00 Kč	24.079,00 Kč

Zkoušení radiografické RT

Tab. 17: Ceník školení ultrazvukové metody společnosti B [28]

	Cena bez DPH	DPH 21%	CELKEM
RT stupeň 1	17.900,00 Kč	3.759,00 Kč	21.659,00 Kč
RT stupeň 2	20.900,00 Kč	4.389,00 Kč	25.289,00 Kč
RT stupeň 3	19.900,00 Kč	4.179,90 Kč	24.079,90 Kč

Pro porovnání finančních nákladů nebudu brát v potaz počet hodin strávených plněním minimálních dob k získání certifikátu. V tomto případě beru výslednou částku jako celkový náklad vynaložený pro finální získání osvědčení bez ohledu na to, že celková doba vzdělávání na UT a RT jsou téměř třikrát delší než VT a MT. Cílem je získání certifikát.

Stejně jako u porovnání délky školení budu uvažovat, že je třeba získat stupeň 1 i 2. Většina firem v takovém případě účtuje výhodnější cenu. Společnost A u ultrazvukové metody má rozdíl cen 1.000,00 Kč, u radiografické 1.600,00 Kč (rozdíl cen bez DPH). Vizuální a magnetická není

ani nabízena k získání samostatně. Společnost B nabízí zvýhodněnou cenu pouze u vizuální kontroly, a naopak nenabízí možnost získání stupně 1 nebo 2 zvlášť.

Tab. 18: Porovnání cen školení firem A a B

Druh metody a stupeň	Firma A	Firma B
Vizuální kontrola		
Stupeň 1+2	9.900,00 Kč	9.900,00 Kč
Stupeň 3	14.990,00 Kč	11.900,00 Kč
Magnetická kontrola		
Stupeň 1	-	6.900,00 Kč
Stupeň 2	-	9.900,00 Kč
Stupeň 1+2	9.900,00 Kč	-
Stupeň 3	14.990,00 Kč	13.900,00 Kč
Ultrazvuková kontrola		
Stupeň 1	16.100,00 Kč	14.500,00 Kč
Stupeň 2	18.400,00 Kč	20.000,00 Kč
Stupeň 1+2	33.500,00 Kč	-
Stupeň 3	18.990,00 Kč	19.900,00 Kč
Radiologická kontrola		
Stupeň 1	16.100,00 Kč	17.900,00 Kč
Stupeň 2	25.800,00 Kč	20.900,00 Kč
Stupeň 1+2	35.900,00 Kč	-
Stupeň 3	18.990,00 Kč	19.900,00 Kč

Při porovnání metod vedle sebe, vyplývá, že vizuální kontrola je za stejnou částku, pouze stupeň 3 je levnější u firmy B (3.000,00 Kč). Magnetická metoda se téměř nedá porovnat, protože firma A poskytuje pouze variantu 1+2, kdežto firma B pouze každý stupeň samostatně. Stupeň 3 je od firmy B o 1.090,00 Kč levnější. Ultrazvuková metoda se dá porovnat u samostatných stupňů 1 a 2. Stupeň 1 od firmy B je levnější a stupeň 2 od firmy A je levnější. Stupeň 3 je levnější od firmy B. Radiografická metoda se dá porovnat také pouze v samostatných stupních, jako u ultrazvukové metody. Tam je stupeň

jedna levnější od společnosti A a stupeň 2 od společnosti B. 3. stupeň je výhodnější u společnosti B.

Firmy se zdají poměrně nerozhodně anebo téměř nastejno. Firma B bohužel neuvedla zvýhodněné ceny za školení 1. a 2. stupně. Je to často výhodnější a pro klienta opravdu lákavá nabídka. Ceny obou firem se vždy pohybují okolo stejných částek, většinou je rozdíl kolem 2000,00 Kč. Vizuální kontrola nabízí školení stupeň 1+2 za stejnou cenu. Magnetická metoda je rozhodně zajímavější od firmy A, protože už stupeň 1+2 od ní stojí stejně jako školení pouze stupně 2 od firmy B. Pokud nebudu uvažovat nejlepší nabídku na stupeň 1+2 a sečteme samostatné ceny kurzů ultrazvukové metody, vychází obě firmy stejně, se 34.500,00. Kč (ceny bez DPH). Pokud stejný součet provedeme u radiografické metody, vychází firma B o 3.100,00 Kč levnější.

V závěru bych uvedla, že z tabulek jasně plyne, že nejdražší metodou je radiografická u obou firem a je víc než předpokládané, že celý trh se pohybuje podobně, nebo alespoň podle podobných částek. Při takto rozdílných cenách nemělo ani smysl zohledňovat roční návštěvu lékaře u vizuální kontroly.

9.4 Cena přístrojů a pomůcek pro provedení metody

Značná částka by se dala ušetřit při výběru zařízení v bazarech. To se vyplatí pouze fyzickým osobám pro osobní potřebu nebo v soukromých praxích. Já budu uvažovat pouze nákup nových strojů a pomůcek za předpokladu, že společnosti zainvestují, uhrazenou cenu si rozepíší do nákladů a stroje postupně odpisují. Pomůcky samozřejmě berou jako spotřební materiál.

Některé pomůcky a drobnější nářadí lze najít na různých internetových e-shopech a v kamenných prodejnách. Já chtěla uvažovat veškerou výbavu od jednoho poskytovatele, aby cena vycházela ze stejného zdroje. V mnoha případech společnosti neuvádějí cenu, pouze katalogový výběr. Proto bylo nezbytné poptat nabídku na veškeré potřebné vybavení pro každou metodu. Nabídky jsem skládala vždy tak, aby případný pracovník byl schopen plně obsloužit a provést celou zkoušku sám, od přípravy, kontroly zařízení a správnosti chování strojů, přes samotnou kontrolu až po dokončení a

vyhodnocení výsledků. U radiografické metody jsem si nechala z větší části poradit od poskytovatele, jaké položky jsou potřebné pro plnohodnotné vybavení pro zkoušku, protože při této metodě je třeba větší znalost oboru. V případě UV lampy je uvedena pouze počáteční cena, protože záleží na dalších kritériích při výběru konkrétní lampy. Do součtu jsem nezařazovala pracovní pomůcky ochrany při práci, protože se většinou jedná o běžné předměty, které by pracovník měl mít nebo patří do základního vybavení. Nepřekážejí při výkonu práce a u radiografické metody se jedná o bezpečnost jiných měřítek, jako je například plně vybavená speciální místnost, kterou je třeba zařídit při stavbě budovy nebo zrekonstruovat pro výkon této práce.

Pro **vizuální kontrolu** je třeba pořídit:

- Srovnávací etanoly CRTATA
- VT příslušenství
- Měrka Cambridge

Tab. 19: Cenová pomůcek k provedení Vizuelní kontroly [27]

Pomůcka	Cena
Srovnávací etanoly CRTATA	22.000,00 Kč
inspekční zrcátko teleskopické pr. 30	350,00 Kč
inspekční zrcátko teleskopické pr. 50	350,00 Kč
lupa 50 mm s LED	130,00 Kč
kapesní lupa 6v1	360,00 Kč
Mikroskop 30x s osvětlením	370,00 Kč
Měrka Cambridge	1.950,00 Kč
CENA CELKEM	25.5120,00 Kč

Pro **magnetickou kontrolu** potřebujeme:

- MT měrky a měřidla
- Spotřební materiál
- Magnetometry
- MT ruční magnety
- MT zdroje

Tab. 20: Cenová pomůcek k provedení Magnetické kontroly [27]

Pomůcka	Cena
Bertoldova měrka	7.310,00
Měrka MTU3 (Keto kroužek)	7.184,00 Kč
PFINDER 890 (čistič)	10.800,00 Kč
PFINDER 280 (podkladová barva)	54.900,00 Kč
PFINDER 240 (magnetický prášek)	19.900,00 Kč
MH175 - Měřič intenzity magnetického pole	119,00 Kč
PTS Mag - 165, Ruční elektromagnetické jho	167,00 Kč
Magnetizační zdroj INKAR ZP - 600 AC	164,00 Kč
CENA CELKEM	95.508,00 Kč

Kontrola **ultrazvukem** je zapotřebí:

- UT sondy
- UT defektoskopy
- UT příslušenství
- UT měrky

Tab. 21: Cenová pomůcek k provedení Ultrazvukové kontroly [27]

Pomůcka	Cena
US4Z45 střední úhlová sonda SWB45-2 (45°)	3.685,00 Kč
US4Z60 střední úhlová sonda SWB60-4 (60°)	3.685,00 Kč
US4Z70 střední úhlová sonda SWB70-4 (70°)	3.685,00 Kč
PJ412 přímá sonda MB4S	2.966,00 Kč
SyncScan 2 (defektoskop)	181.385,00 Kč
Vazební gel VG-T 1kg	195,00 Kč
Dual LEMO-00 (kabel)	1.969,00 Kč
Kalibrační měrka V2/12,2	5.800,00 Kč
CENA CELKEM	203.370,00 Kč

K **radiografické kontrole** potřebujeme:

- RT chemie
- RT filmy / Negatoskopy / Skenery
- Vyvolávací automaty
- RT měrky a měřidla
- RT příslušenství
- Rentgenová lampa
- Kryt s izotopy

Tab. 22: Cenová pomůcka k provedení Radiografické kontroly [27]

Pomůcka	Cena
RTG filmy INDUX R7 - 30 x 40cm (komorové balení) 50ks	4.884,00 Kč
Negatoskop	26.208,00 Kč
Vyvolávací automat INDX 900e	217.000,00 Kč
Vývojka (tekutina pro vyvolání negativů)	1.120,00 Kč
Ustalovač	750,00 Kč
Dozimetr SOEKS Quantum	9.770,00 Kč
Olověná čísla-písmena-značky	3.550,00 Kč
Rentgenová lampa (cena od)	500.000,00 Kč
CENA CELKEM	763.282,00 Kč

Z tabulek je jasně patrné, že jako nejdražší vychází radiografická metoda. Na vizuální kontrolu toho není tolik potřeba, proto nejnižší částka je pochopitelná. Nepředpokládala jsem o kolik se cena navýší u magnetické metody, 3x, a u ultrazvukové dokonce 8x.

9.5 Doba trvání zkoušky

Srovnání času mezi jednotlivými metodami je poměrně komplikované. Důležité je si uvědomit, že každý svar, každá zkouška je ojedinělá, zkoušející nemůže nikdy odhadnout na jakou komplikaci narazí, a tudíž určit, jak dlouho mu kontrola bude trvat. Proto se budu otázkou času zabývat nad teoretickou modelovou situací, která nezabere příliš komplikací a mohla by simulovat

zkoušený čas pro každou metodu zhruba stejně. Pro moji práci volím meter dlouhý tupý V svar, prováděný v poloze PF.

Ke kontrole svarů dochází po dokončení provedení svaru a potřebné technologické pauzy. Lze tedy předpokládat, že svářeč prováděl svou práci tak, aby k žádné vadě nedošlo. Například na dílně, za běhu výroby, se lépe určuje modelový čas, který je u každého svaru zhruba stejný, protože se kontrolují stejné anebo velice podobné svary (ocelové konstrukce, mostní konstrukce, žádné speciální případy). Pokud by šlo o výrobek anebo odlitek nějakého složitějšího tvaru, čas by se s velkou pravděpodobností prodloužil. Je to i na lidské přirozenosti, že při mechanicky opakující se práci si člověk najde svůj rytmus, zvyk v provádění a to mu pomáhá práci urychlit.

Při vizuální kontrole není tak podstatné, jestli se zaměříme na kontrolu jednoho nebo více svarů. Vizuální zkouška vyžaduje v každém případě kontrolu 100 % a nepředchází jí žádné činnosti, které by mohli ušetřit čas, pokud by se prováděli v konkrétním pořadí. Pro kvalitní zkontrolování jednoho svaru vizuální metodou je třeba odhadem 15 min.

U magnetické metody je rozdíl, pokud se zaměříme na čas jednoho místa, anebo na celkový čas jedné konstrukce (například mostního nosníku). Tato metoda vyžaduje už nějakou přípravu, která lze nakumulovat časově spolu s objemem. Tím chci znázornit, že potřeba nastříkat nejdříve kontrastní barvu na zkoušený povrch, může při větším objemu práce ušetřit dost času. Kontrolor si může dopředu zmapovat, které svary bude zkoušet, u všech nanést barvu a než se vrátí k prvnímu svaru, barva je již zaschlá a připravená ke kontrole. Přeci jen se vrátím k modelové situaci a kontrole jednoho konkrétního svaru, který by neměl zkoušejícímu zabrat mnoho námahy a který by měl vyjít jako vyhovující. Od samotného začátku až po ukončení kontroly se pro magnetickou metodu vyhrazuje podle praxe zhruba 20 min. Čas se přímo úměrně zkracuje s šikovností a praxí kontrolora.

Ultrazvuková metoda má ve svém procesu potřebné kroky před samotným zkoušením, jako je nanášení vazebné kapaliny na zkoušený povrch, ale nelze zde ušetřit čas jako u magnetické metody. Kapalina totiž nezasychá. Vazebná kapalina funguje jako vodící prostředek pro ultrazvukové

vlny, klasický čas pro mnou zvolený modelový svar by se tedy odhadoval na 20 až 30 min. Opět závisí na šikovnosti kontrolora, jak citlivě si dokáže všimnout indikace na obrazovce přístroje a rozhodnout zda se jedná o vadu nebo přirozenost materiálu. Já měla to štěstí se zúčastnit zkoušky, která trvala bezmála 5 min. Jak jsem později zjistila, jde o opravu výjimečný případ a štěstí navázat spolupráci s takhle rychlým personálem se 100% korektními výsledky. Obecně se předpokládá zmíněných 20 min.

Radiografická metoda bude ta nejdelší v mém porovnání, jako v předchozích případech. Je jasné, že taková zkouška vyžaduje hodně přesné nastavení a citlivost provádění. Lze s ní zkoušet svary o větších objemech. Náš modelový svar by se touto metodou zkoušel pouze za předpokladu vysokých nároků na kvalitu. Hodně času zabere také vyvolání snímku, které patří do vyhodnocení zkoušky. Bohužel moje pracoviště nezajišťuje tento typ zkoušení, proto jsem se zkoušky nemohla zúčastnit. Poskytovatel zkoušek, se kterým spolupracuje, dbá na citlivost informací a nechtěl zpřístupnit zkoušky jiných zákazníků a ponechat výsledky soukromé. Zkouška jako taková probíhá v tmavé místnosti oddělené od přístrojů, popřípadě ve vyklizené dílně ve dostatečné vzdálenosti od UV lampy nebo krytu s izotopy. Proto z jeho průběhu toho není moc vidět. Až ve finálním snímku dokáže proškolený personál odhalit vady. Konkrétní čas si netroufám odhadnout. Bohužel jsem neměla možnost mluvit s odborníkem na tuto metodu, proto všechny časy od kolegů byly jen spekulace.

V tomto porovnání chci ponechat každou metodu popsanou takto individuálně. Každá má ve svém čase trvání své opodstatnění, a proto jsem nad nimi uvažovala jednotlivě. Při pohledu na počet minut se sobě nejvíc blíží magnetická a ultrazvuková metoda. Vizuální kontrola je samozřejmostí a je hned hotová.

9.6 Cena provedení metody

Ceníky firem ve většině případů nejsou uváděné, je třeba poptat nabídku. Bohužel se mi žádný z kontaktovaných poskytovatelů neozval. Povedlo se mi získat pouze informace po telefonu, kdy jsem obdržela velice hrubý odhad všech metod na bm. Tyto ceny jsem se rozhodla brát pouze

orientačně pro celkové posouzení, protože kontaktní osoba nebyla schopná s jistotou určit cenu bez všech konkrétních informací (typ konstrukce, kolik pracovníků asistuje, v jakém prostředí se zkouška provádí, jak daleko od laboratoří apod.). Ceny byly zcestné na rozdíl od zde uvedených.

Našla jsem dvě firmy, které mají své ceníky ke stažení na stránkách. Jedna z firem uvádí všechny mnou hledané metody, druhá pouze magnetickou a ultrazvukovou metodu. Ceny mají rozdělené na konkrétní úkoly, jako kontrola pouze svaru, trubky, plochy, odlitku apod. Já se zaměřím pouze na ceny kontrol svarů.

První základní **vizuální** kontrola, která je nutná v každém případě je oceněna [30] na 160,00 Kč za běžný metr. Což by velikostně odpovídalo mému teoretickému svaru z přechozího porovnání. Cena mi přijde adekvátní, jelikož vizuální kontrola nevyžaduje velkých příprav ani pomůcek a je nejčastější. Proto nejnižší cena sedí.

Magnetická metoda je oceněna od první firmy [30] 330,00 Kč/ 1bm. Od druhé firmy [31] 300,00 Kč/ 1 bm. Cena už jde nahoru, využívá se zde spotřební materiál, elektromagnetické jho nebo stacionární elektromagnet, školení je více nákladné. Složení ceny je tedy pochopitelné.

Zkouška **ultrazvukem** od první firmy má ceny dělené podrobněji:

Tab. 23: Ceny provedení ultrazvukové kontroly svaru [30]

Tloušťka materiálu v mm	Cena za 1 bm svaru
10 – 25	580,00 Kč
26 – 60	660,00 Kč
nad 60	710,00 Kč

Druhá firma nerozděluje cenu podle tlouštěk, ale podle druhu činnosti. Kontrola svaru je za [31] 550,00 Kč/ 1 bm a dále uvádí cenu ze měření tloušťky stěny a to 60,00 Kč/ místo. Ceny obou firme jsou velice podobné. První firma rozlišuje tloušťku materiálu, protože se pro každou kategorii musí vyměňovat ultrazvukové sondy. Proto bych druhou firmu označila za výhodnější. Otázkou je, zda má na materiály vyšších mocností sortiment.

Informace o **radiografické** metodě mám pouze z jednoho zdroje a jeho dělení je asi nejrozsáhlejší, protože pomůcky ke kontrole jsou rozdílné a pořízení vybavení na širší škálu kontrol je ještě nákladnější. Ceník první společnosti je následující:

Tab. 24: Ceny provedení radiografické kontroly svaru [30]

Tloušťka stěny	do 5 mm	do 10 mm	do 20 mm	do 30 mm
Cena za 1 snímek R5-10 x 16	450,00 Kč	500,00 Kč	540,00 Kč	580,00 Kč
Cena za 1 snímek R5-10 x 24	470,00 Kč	520,00 Kč	550,00 Kč	580,00 Kč
Cena za 1 snímek R5-10 x 48	650,00 Kč	730,00 Kč	800,00 Kč	880,00 Kč

Vzhledem k pořizovací ceně vybavení radiografické metody a školení personálu mě cena překvapila. Je těžké odhadnout pohyb trhu, ale čekala bych cenu mnohem vyšší. Odůvodnění tohoto jevu mě napadá, že životnost vybavení na tuto metodu je asi nejdelší ze všech uvedených a zájem o její provedení ne tak častý.

Abych mohla metody porovnat mezi sebou, je třeba převést radiografickou metodu co nejlíže ceně na běžný metr. Největší snímek je 10x48, což na bm je teoreticky 1.354,16 Kč za tloušťku do 5 mm a 1.833,33 Kč za tloušťku do 30 mm. Radiografická metoda je opravdu nejdražší.

Naštěstí se nejčastější metody, magnetická a ultrazvuková, pohybují v přijatelných cenách.

ZÁVĚR

V mé bakalářské práci jsem analyzovala metody svařování, jejich vlastnosti, druhy, principy, pomocné materiály a metody kontroly svarů. Nedestruktivním metodám zkoušení jsem se věnovala více dopodrobna. Zjišťovala jsem průběh a povinnosti personálu, co musí podstoupit a podle jakých norem musí postupovat a podrobovat se jim jak ve výkonu profese, tak ve vzdělání. Pro seznámení veřejnosti s tématem obsahuje práce dostatečné základy potřebné k plnému povědomí o problematice.

Shromáždit veškeré informace nebylo jednoduché. Jak jsem zmínila na začátku, zdroje se z velké části zaměřují na konkrétní téma a jsou poměrně úzké. I přesto jsem splnila jeden z cílů své práce a vytvořila takový soubor, který uvede vše najednou.

Vzhledem k rozsahu práce jsem se nemohla věnovat tématu více dopodrobna. Častokrát jsem našla bakalářské práce z minulých let z jiných škol, které se zabývaly pouze jednou metodou apod. Téma, které jsem si vybrala mě opravdu bavilo, i navzdory jeho obsáhlosti. I přesto jsem informace vybírala pečlivě tak, abych se co nejvíce přiblížila obsahu bakalářské práce a zároveň téma nijak neochudila, nevynechala něco podstatného a zachovala ucelený soubor všech potřebných informací.

Závěrem bych ráda přinesla osobní pohled na posuzované metody. Tyto čtyři nedestruktivní metody jsem si vybrala na základě praxe, ve které se pohybuji a osobních zkušeností a názorů zkušených kolegů. Znovu chci zmínit, že jsem si vědoma, že kapilární metoda je stále užívanou, ale já ji vnímám jako méně praktickou. Má skvělou náhradu v magnetické metodě, proto jsem se jí pro svou práci rozhodla vynechat.

Metody jsem mezi sebou porovnávala z hledisek, které by mohli být nejužitečnější při rozhodování, kterou z nich zvolit. Ať už by šlo o výběr služeb začínajícího podniku nebo o výběr metody ke kontrole nebo na které školení personál poslat apod.

Ačkoliv je z výsledků patrné, že největší počet bodů získala radiografická metoda, na první místo ji neřadím. Je nutné zdůraznit, že metoda

sama o sobě není prvotní volbou ke kontrole. Nejnutnější zkouškou je vizuální kontrola. Neexistuje výrobní dílna nebo stavba, která by se obešla bez odborníka na vizuální kontrolu. Je vyžadována ve 100 % případů a jakékoliv další postupy či schvalování bez jejího provedení nepřichází v úvahu. Jelikož je nejlevnější a na školení nejrychlejší, nestane se, že by personál v tomto průmyslu scházel. Funguje i jako takový předstupeň k dalším metodám. V 90 % má kontrolor certifikaci na VT a pak další zkoušku dle vlastního uvážení.

Jako další nejužívanější a metodou je určitě magnetická a hned za ní ultrazvuková metoda. Opravdu spolehlivě odhalují ruku v ruce vady povrchové (magnetická) a podpovrchové (ultrazvuk). Pro běžnou praxi jsou nejlepší volbou. Společnostem se vyplatí na ně vyškolit personál, protože výroba může probíhat zároveň s kontrolou a za plného nasazení se dají případné vady ihned napravit. Radiografická metoda je spíše posledním krokem anebo nadstandardem. Je nejdražší, nejnáročnější, nejnebezpečnější a zařizování pro její provádění se vyplatí jen specializovaným pracovištím. Využívá se při zakázkách s vysokými požadavky na bezpečnost, protože pořízené snímky se v budoucnu často využívají jako důkazní materiál při případných komplikacích.

Při finančním zhodnocení, jak ušetřit, je dobré zapojit i zdravý rozum kontrolujícího. Zda po magnetické metodě, kde našel vadu, pošle svar k další kontrole na ultrazvuk, která stojí další peníze, nebo ho předá svářeči, který vadu může hned odstranit. Ušetří se tím jak peníze společnosti, tak i celkový čas. Během zúčastnění se zkoušek jsem viděla i skutečný pohled na věc, jak to skutečně chodí. U toho můžu znovu odkázat na vyjmutí kapilární metody z mé práce, jelikož jsem se seznámila se skutečnými pro a proti této metody.

Při uvádění cen za školení jsem zmínila, že je nejlákavější školení na stupeň 1+2 zároveň. Cena je opravdu nejlákavější, ale praxe je jiná. Velké společnosti nechtějí posílat své zaměstnance na tolik školení, protože je nechtějí „příliš vzdělat“. Školení platí firma, když pošle zaměstnance pouze na 1. stupeň, ušetří. Školení probíhající ve všední dny musí zaměstnanci proplatit, když ho pošle pouze na jeden stupeň, zkrátí se doba o polovinu. V neposední řadě, velké společnosti nechtějí své zaměstnance tolik vzdělat, aby se nemuseli obávat, že by personál po zainvestování svého vzdělání přešel ke

konkurenci. To lze dobře ošetřit dodatkem smlouvy, např. po absolvování školení zaměstnanec musí zůstat ve firmě minimálně 1 rok apod. To už jsou strategické kroky každé firmy a je na nich, jak se k takovému uvažování postaví.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] HRSTKA, David. Vizuální kontrola svarů – požadavky výrobních norem, vady svarů z praxe, certifikace personálu NDT. *Konstrukce* [online]. 3.12.2013. [cit. 28.3.2019]. Dostupné na WWW: < <http://www.konstrukce.cz/clanek/vizualni-kontrola-svaru-pozadavky-vyrobkovych-norem-vady-svaru-z-praxe-certifikace-personalu-ndt/> >. ISSN 1803-8433

[2] BALEJ, Zdeněk; OPLETAL, Jan; KUDĚLKA, Vladimír. Používání WPS, WPQR při svařování i BPS, BPAR při pájení v praxi. *Konstrukce* [online]. 10.12.2016. [cit. 26.3.2019]. Dostupné na WWW: < <http://www.konstrukce.cz/clanek/pouzivani-wps-wpqr-pri-svarovani-i-bps-bpar-pri-pajeni-v-praxi/> >. ISSN 1803-8433

[3] HAVELKA, Pavel. Více o metodách svařování. *Automig* [online]. 28.3.2019. [cit. 31.3.2019]. Dostupné na < <http://automig.cz/o-svarovani/> >.

[4] Wikipedie.cz. Svařování. *Wikipedie*. [online]. 28.3.2019. [cit. 31.3.2019]. Dostupné na < https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD#cite_note-iso6947-2 >.

[5] HAVELKA, Pavel. Svařovací metody. *Automig* [online]. 28.3.2019. [cit. 31.3.2019]. Dostupné na < <http://automig.cz/o-svarovani/metody/> >.

[6] Pracovní polohy při svařování. *Svářečky-elektrody* [online]. [cit. 10.4.2019]. Dostupné na < <https://www.svarecky-elektrody.cz/pracovni-polohy-pri-svarovani/t-99> >

[7] Kvalifikace WPQR dle ISO 15614-1 až 14. *Vaněk Welding*. [online]. [cit. 30.3.2019]. Dostupné na < <https://www.vanek-welding-s-r-o.cz/iso-15614-1-az-14-kvalifikace-wpqr/> >

[8] SVARINFO. MIG nebo MAG? Jaký je rozdíl?. *Svarbazar* [online]. 6.2.2008. [cit. 10.4.2019]. Dostupné na < <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101501> >

[9] Svařování MIG/MAG, MIG svařování, MAG svařování svařování plněnou elektrodou. Schinkmann [online]. [cit. 11.4.2019]. Dostupné na < <https://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2> >

[10] HAVELKA, Pavel. Více o metodách svařování. *Automig* [online]. [cit. 19.4.2019]. Dostupné na < <http://automig.cz/o-svarovani/metody/> >

[11] SVARINFO. Vizuální kontrola svarů. *Svarbazar* [online]. 12.3.2008. [cit. 22.4.2019]. Dostupné na < <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008021901> >

[12] HAVELKA, Pavel. Úspory. *Automig* [online]. [cit. 2.5.2019]. Dostupné na < <http://automig.cz/o-svarovani/uspory/> >

[13] QC PLZEŇ (člen skupiny DEKRA). SECTOR Cert, Gesellschaft für zertifizierung nbH. *Vizuální zkoušení (VT)*. [cit. 2.5.2019]

[14] QC PLZEŇ (člen skupiny DEKRA). SECTOR Cert, Gesellschaft für zertifizierung nbH. *Zkoušení magnetickou metodou práškovou (MT)*. [cit. 6.5.2019]

[15] Osobní účast na magnetické zkoušce, Praha. 11.4.2019. [cit. 8.5.2019]

[16] VODIČKA, Miroslav. Magnetická metoda prášková. *Weldinspect* [online]. [cit. 9.5.2019]. Dostupné na < https://weldinspect.cz/?page_id=85 >

[17] Svařování v praxi – Hrubé materiály. *Management.wbs* [online]. [cit. 10.5.2019]. Dostupné na < <http://www.management.wbs.cz/SVAROVANI-V-PRAXI---HRUBE-materialy-.html> >.

[18] MAG WELDER. MIG/MAG svářečky a svařování. *Svarforum* [online]. 29.11.2008. [cit. 10.5.2019]. Dostupné na < <http://www.svarforum.cz/forum/viewtopic.php?id=1297> >

[19] Hodnocení kvality svarového spoje. *ČVUT Fakulta strojní* [online]. [cit. 11.5.2019]. Dostupné na < <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/105/def-kontrola-sv.pdf> >

[20] Nedestruktivní zkoušky svarů. *Outech Havírov* [online]. 29.11.2008. [cit. 11.5.2019]. Dostupné na < <https://www2.outech->

havirov.cz/skola/files/eu_penize_skolam/dum/zks_mag/vy_32_inovace_h16-1.pdf >

[21] Osobní účast na zkoušce ultrazvukem, Praha. 25.4.2019. [cit. 11.5.2019]

[22] Měření tloušťky ultrazvukem. *PTS Josef Solnař* [online]. [cit. 10.5.2019]. Dostupné na < <https://www.ptsndt.com/cs/prodej/ut-zkouseni-ultrazvukem/ut-tloustkomery/3861-ut-zkouseni-ultrazvukem-intro-kategorie/383-mereni-tloustky-ultrazvukem> 11.5.2019 >

[23] VODIČKA, Miroslav. Ultrazvuková kontrola. *Weldinspect* [online]. [cit. 10.5.2019]. Dostupné na < https://weldinspect.cz/?page_id=91 >

[24] VODIČKA, Miroslav. Metoda prozařovací. *Weldinspect* [online]. [cit. 11.5.2019]. Dostupné na < https://weldinspect.cz/?page_id=87 >

[25] MUSIL, Miloslav. Školení, kvalifikace a certifikace pracovníků NDT ve svařování podle ČSN EN ISO 9712. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 1.7.2014. [cit. 12.5.2019]. Dostupné na < <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=458> >

[26] NDT klasifikace a certifikace. *DEKRA CZ, a.s.* [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné na < <https://www.dekrakurzy.cz/kategorie/ndt> >

[27] Prodejní e-shop společnosti. *PTS Josef Solnař* [online]. [cit. 13.5.2019]. Dostupné na < <https://www.ptsndt.com/cs/prodej> >

[28] Finanční nabídka školících kurzů společnosti. *Advanced Technology Group, s.r.o.*. [cit. 13.5.2019]. Dostupné na < <https://www.ptsndt.com/cs/prodej> >

[29] Obchod s bazénovým příslušenstvím. *Bazenek*. [online]. [cit. 13.5.2019]. Dostupné na < https://www.bazenek.cz/strojovna-bazenu/uprava-bazenove-vody/bezchlorova-uprava-vody/uv-sterilizatory/uv-lampa-130w-amalgam-nahradni_E800904?qclid=CjwKCAjwq-TmBRBdEiwAaO1en7j-sXQefkTNa5DJVNE3GnsryPY939BvquqbzSrSzl-fIndUdpmlDBoCeGsQAvD_BwE >

[30] Technické systémové dozory. *Testydo* [online]. [cit. 15.5.2019]. Dostupné na < <https://www.tesydo.cz/dokumenty/laboratore-zkusebny/nabidka-a-cenik-nedestruktivnich-zkousek-ndt-zkouseni-kontrola.docx>. >

[31] Defektoskopie. *Petr Arpáš* [online]. [cit. 15.5.2019]. Dostupné na < <http://www.petrarpassro.cz/defektoskopie/> >

[32] HICK, John. *Welded joint design*. Third edition, New York: Industrial press, inc., 2003.

[33] TREJNAR, Josef. DASHÖFER, Verlag. Destruktivní zkoušky svarových spojů. *TECH portal* [online]. 18.9.2017. [cit. 15.5.2019]. Dostupné na < <https://www.techportal.cz/33/destruktivni-zkousky-svarovych-spoju-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EuvDzS7ep4R2Wh5CTKyYaSk/> >

[34] FALTUS, František. *Spoje s koutovými svary*. 1901-1989. Accademia. 1981

[35] *Požadavky na svařovací zařízení pro svary natupo*. GAS, 1999

[36] ČSN EN ISO 6947 (050024). *Svařování a příbuzné procesy – Polohy svařování*. 1980.

[37] ČSN EN ISO 4063 (050011). *Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování*. 1990.

[38] ČSN EN ISO 14731 (050330). *Svářečský dozor – Úkoly a odpovědnosti*. 1996.

[39] ČSN EN ISO 15607 (050311). *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla*. 2003.

[40] ČSN EN ISO 15609 (050312). *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování*. 2004.

[41] ČSN EN ISO/IEC 17020 (015260). *Posouzení shody – Všeobecná kritéria pro činnost různých typů orgánů provádějící inspekci*. 2012.

[42] ČSN EN ISO 15614-1 (050313). *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1:*

Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu. 2017.

[43] ČSN EN 1011 (052210). *Svařování – doporučení pro svařování kovových materiálů. 2009.*

[44] ČSN EN ISO 3834 (050331). *Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů. 2005.*

[45] ČSN EN ISO 9001 (010321). *Systém managementu kvality. 2016*

[46] ČSN EN ISO 13920 (050205). *Svařování – Základní tolerance pro svařované konstrukce – Velikosti délek a úhlů – Tvar a poloha. 1998.*

[47] ČSN EN ISO/IEC 17024 (015258). *Posuzování shody – Všeobecné požadavky na orgány pro certifikaci osob. 2003.*

[48] ČSN EN ISO 17639 (051128). *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů. 2016.*

[49] ČSN EN ISO 5178 (051126). *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Podélná zkouška tahem svarového kovu tavných svarových spojů. 2011.*

[50] ČSN EN ISO 9017 (051127). *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška rozlomením. 2018.*

[51] ČSN EN ISO 6520-1 (050005). *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování. 2007.*

[52] ČSN EN ISO 17637 (051180). *Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů. 2016.*

[53] ČSN EN ISO 5817 (050110). *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů. 2014.*

[54] ČSN EN 1090-2 (732601). *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce. 2018.*

[55] ČSN EN 1090-2 (732601). *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 3: Technické požadavky na hliníkové konstrukce*. 2009.

[56] ČSN EN 15085-2 (284401). *Železniční aplikace - Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí*. 2007.

[57] ČSN EN ISO 9712 (015004). *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT*. 2012.

[58] ČSN EN 10042 (051111). *Svařování – Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním – Určování stupňů kvality*. 2006.

[59] ČSN EN ISO 13018 (015037). *Nedestruktivní zkoušení – Vizuální zkouška – Obecné zásady*. 2016.

[60] ČSN EN ISO 9934-1 (015046). *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení magnetickou práškovou metodou – Část 1: Obecné principy*. 2015.

[61] ČSN EN ISO 17638 (051182). *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou metodou práškovou*. 2010.

[62] ČSN EN ISO 23278 (051183). *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou práškovou metodou – Stupně přípustnosti*. 2015.

[63] ČSN EN ISO 17635 (051170). *Nedestruktivní zkoušení svarů – Obecná pravidla pro kovové materiály*. 2010.

[64] ČSN EN ISO 16810 (105023). *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení ultrazvukem - Obecné zásady*. 2012.

[65] ČSN EN ISO 17640 (051171). *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Techniky, třídy zkoušení a hodnocení*. 2010.

[66] ČSN EN 14127 (015021). *Nedestruktivní zkoušení - Měření tloušťky ultrazvukem*. 2004.

[67] ČSN EN 10228-3 (015040). *Nedestruktivní zkoušení ocelových výkovek - Část 3: Zkoušení výkovek z feritických nebo martenzitických ocelí ultrazvukem*. 2016.

[68] ČSN EN 10160 (015024). *Zkoušení ocelových plochých výrobků o tloušťce 6 mm nebo větší ultrazvukem (odrazová metoda)*. 2000.

[69] ČSN EN 10308 (015093). *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení ocelových tyčí ultrazvukem*. 2001.

[70] ČSN EN ISO 17636-1 (051150). *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení – Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film*. 2013.

[71] ČSN EN ISO 10675-1 (051178). *Nedestruktivní zkoušení svarů - Kritéria přípustnosti pro radiografické zkoušení - Část 1: Ocel, nikl, titan a jejich slitiny*. 2016.

[72] ČSN EN ISO 5579 (015011). *Nedestruktivní zkoušení - Radiografické zkoušení kovových materiálů s použitím filmu a rentgenového nebo gama záření - Základní pravidla*. 2013.

[73] ČSN EN ISO 16371: *Nedestruktivní zkoušení - Průmyslová počítačová radiografie s paměťovými fosforovými deskami*