

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**UGOTAVLJANJE IN ZAGOTAVLJANJE
KAKOVOSTI ZVARA V IZDELAVI GLAVNE
ROKE KAMIONSKEGA ŽERJAVA**

Kandidat: Mario Srčič

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić

Mentor v podjetju: Miran Anderlič, inž. str.

Lektor: Irena Žunko, prof. slov.

Maribor, 2018

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Mario Srčić, sem avtor diplomskega dela z naslovom Ugotavljanje in zagotavljanje kakovosti zvara v izdelavi glavne roke kamionskega žerjava, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darka Friščića.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015); (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, september 2018

Podpis študenta:

ZAHVALA

Želel bi se zahvaliti mentorjema dr. Darku Friščiću in Darku Dajčmanu, inž. str., ter podjetju Palfinger d. o. o. in mentorju v podjetju, Miranu Anderliču, inž. str. za vodenje in nesebično pomoč pri izvedbi diplomskega dela. Zahvala tudi ostalim, ki so kakor koli sodelovali v tem mojem projektu, pa tudi moji družini za razumevanje pri uresničevanju osebnega cilja.

POVZETEK

V diplomskem delu smo z ugotavljanjem kakovosti vzdolžnega zvarnega spoja ene najbolj obremenjenih komponent, tj. glavne roke kamionskega dvigala podjetja Palfinger, ugotovili, da je zaradi procesne zanesljivosti in morebitnih napak na zvarnem spoju le-tega treba spremeniti. S pomočjo vrste preiskav in preskusov smo tudi s konkretnimi vrednostmi podkrepili sum, da s strani konstrukterja izbran HV-zvarni spoj (*polovični V-zvar*) ni najbolj primerna izbira. Tako sta bili izdelani obe verziji zvarnih spojev, tako HV- kot V-zvar, omenjene glavne roke z naknadno izvedenimi preskusi. Opravljena je bila tudi metalografska preiskava in meritev trdote. Splošno pa so rezultati večine opravljenih testiranj bili pod mejo dovoljenega. Natezni preskus, upogibni preskus in preskus trdnosti so podali vrednosti izven dovoljenih meja. Sicer odstopanja niso bila velika, vseeno pa je za tovrstno obremenjeno jekleno konstrukcijo in zahtevano visoko kakovost zvarnega spoja nesprijemljivo. Tako se je na podlagi tega in metalografske preiskave, kjer so bile vidne sledi pogoste zahrbtnne varilske napake, zlepa naredila delavniška risba z novo izbranim V-zvarom, katerega rezultati enako opravljenih preskusov so bili občutno boljši in tako primernejši. Do takšnih primerov v praksi prihaja prepogosto, ker je izbira določenih parametrov izvedena na podlagi teoretičnih predpostavk oziroma so izračuni statičnih obremenitev v nevtralnem območju zadovoljivi. To so izračuni, katerih rezultati pa so zaradi specifičnosti postopka varjenja v praksi nekoliko drugačni. Tega pa konstrukter zgolj na podlagi predpostavk ne more predvideti. Zraven izbire pravilnega zvarnega spoja je še veliko dejavnikov, ki lahko ravno tako močno vplivajo na kakovost le-tega in so v izogib težavam standardizirani. Da ne bi prihajalo do dodatnih odstopanj v kakovosti, ima vsak segment procesa svoj standard. Kontrola le-tega pa se izvaja na podjetju z neporušitvenimi preskusi, kot so vizualna kontrola, kontrola z magnetnimi delci, penetrantska in ultrazvočna ali radiografska kontrola vsakega zvara, seveda po zahtevah konstrukterja. Za podrobnejše preskuse in analize uporabljenih materialov, kemijske strukture materialov ter izvedbo zvarnega spoja pa poskrbi zunaj izbrano in za to usposobljeno podjetje, vključno s porušitvenimi preiskavami. To je del standardiziranega postopka, ki se na začetku izvaja za pridobitev certifikata za odobritev varjenja, kasneje pa za analiziranje in odkrivanje napak. Tako poteka tudi standardiziran proces varjenja, ki se v dotičnem primeru opravi avtomatsko, tj. s pomočjo robota, ki je korak bližje želeni kakovosti proizvoda.

Ključne besede: Palfinger, ugotavljanje kakovosti, napaka zvarnega spoja, zagotavljanje kakovosti, metalografske preiskave

ZUSAMMENFASSUNG

DETERMINATION AND GUARANTEE THE QUALITY OF THE WELDING IN THE CONSTRUCTION OF THE MAIN ARM OF THE TRUCK CRANE

In der Diplomarbeit haben wir durch die Untersuchungen der HV Schweißverbindung (*halber V-naht*) am einen meist belastenden Teil, den Hauptarm einer LKW-Hebebühnen von Firma Palfinger heraus gefunden das wegen der Prozesssicherheit und möglichen Fehlern an der Schweißverbindung, besser wäre den zu ändern. Mit Hilfe einer Menge von Tests konnten wir auch mit konkreten werten den Verdacht, dass das von Konstrukteur ausgewählter HV-naht nicht ganz geeignet ist beweisen. So waren beide Schweißverbindungen, sowie HV als auch V-naht an dem erwähnten Hauptarm produziert worden mit anschließenden Tests. Durchgeführt wurde auch die Metallographische Untersuchung und die Härtemessung. Im Allgemeinen lagen die Ergebnisse der meisten durchgeführten Tests unterhalb der zulässigen Grenze. Der Zug, Biegeversuch und der Festigkeitstest lieferten klare Antworten und zeigten Werte jenseits der zulässigen Grenzen an. Auf dieser Grundlage und der Metallographischen Untersuchung, wobei die Spuren häufig entdeckten Schweißfehlers sichtbar war, wurde eine Werkszeichnung mit dem neu ausgewählten V-Naht gemacht, deren Ergebnisse der gleichen Versuche als deutlich besser und damit besser geeignet war. Zur Solchen Fällen kommt es in der Praxis zu oft vor, weil die Wahl von bestimmten Parametern auf der Grundlage von theoretischen Annahmen basieren bzw. die Berechnungen von statischen Belastungen in der neutralen Zone durchgeführt werden und zufriedenstellend sind. Dies sind Berechnungen, deren Ergebnisse sich aufgrund der Spezifität des Schweißprozesses in der Praxis etwas unterscheiden. Was aber der Konstruktor auf der Grundlage von Annahmen nicht vorhersagen kann. Neben der Wahl der richtigen Schweißverbindung gibt es viele Faktoren, die auch die Qualität stark beeinflussen können weswegen, und wegen dem vermeiden von Problemen, standardisiert sind. Das es zur keinen Qualitätsabweichungen kommt, hat jeder Prozess sein eigener Standard. Überprüfungen, werden in dem Unternehmen mit den zerstörungsfreien Prüfungen wie die visuelle Inspektion, Magnetpulverprüfung, Eindringmittel und Ultraschall oder Röntgenprüfung jeder Schweißverbindung, natürlich nach der Anforderung von Konstruktor durchgeführt werden. Für detaillierte Prüfung und Analyse von Materialien die verwendet werden, auch deren chemischen Struktur dieser Materialien und die Ausführung von Schweißverbindung, erledigt eine außerhalb ausgewählt geschulter Firma einschließlich den zerstörenden Prüfungen. Dies ist Teil eines standardisierten Verfahrens, der zunächst zur Erlangung einer Schweißerlaubnis und später zur Fehleranalyse und Fehlererkennung dient. So

ist auch der Schweißprozess standardisierte, der in diesem Fall automatisch durchgeführt wird, bedeutet mit Hilfe einen Roboter was der gewünschten Qualität des Produkts einen Schritt näherkommt.

Stichwörter: Palfinger, Qualitätssicherung, Schweißverbindungsfehler, Qualitätssicherung, Metallographische Untersuchungen

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	14
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	14
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	15
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	15
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	15
2	VARJENJE IN ZVARNI SPOJI	16
2.1	OSNOVNI POJMI	16
2.2	VARJENJE (AVTOMATIZIRANO – MAG)	17
2.3	OSNOVNI MATERIAL – VARJENEC	22
2.3.1	<i>Kemična sestava materiala S690QL</i>	<i>23</i>
2.3.2	<i>Mehanske lastnosti materiala S690QL.....</i>	<i>24</i>
2.4	DODAJNI MATERIAL.....	25
2.5	ZAŠČITNI PLIN	26
2.6	ZVARNI ROB	27
2.7	VRSTE ZVARNIH SPOJEV	28
2.7.1	<i>Oznaka zvarnega spoja.....</i>	<i>30</i>
2.7.2	<i>Postopek varjenja</i>	<i>31</i>
2.7.3	<i>Kakovostni razred zvara</i>	<i>32</i>
2.7.4	<i>Lega zvarnega spoja.....</i>	<i>32</i>
2.7.5	<i>Vnos toplote</i>	<i>33</i>
3	NAPAKE ZVARNIH SPOJEV.....	37
3.1	ZLEP	39
4	ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI.....	44
4.1	NEPORUŠITVENE PREISKAVE – NDT (NOT DISTRICTION TESTING)	44
4.1.1	<i>Vizualne preiskave (VT).....</i>	<i>45</i>
4.1.2	<i>Ultrazvočna kontrola (UT)</i>	<i>47</i>
4.1.3	<i>Kontrola s tekočimi penetrati (PT)</i>	<i>49</i>
4.1.4	<i>Radiografska kontrola (RT).....</i>	<i>51</i>
4.1.5	<i>Kontrola z magnetnimi delci (MT)</i>	<i>52</i>
4.2	PORUŠITVENE PREISKAVE – DT (DISTRICTION TESTING).....	53

4.2.1	<i>Parametri varilnega postopka (HV-zvar)</i>	54
4.2.2	<i>Rezultat preiskave predvidenega HV-zvar</i>	56
4.2.3	<i>Parametri varilnega postopka (V-zvar)</i>	59
4.2.4	<i>Rezultat preiskave izbranega V-zvara</i>	60
5	SKLEP	64
6	VIRI, LITERATURA.....	66

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	ŽILAVOST V ZVARU IN TOPLOTNO VPLIVNO PODROČJE	19
SLIKA 2:	ROBOTSKA CELICA	20
SLIKA 3:	PARAMETRI PROGRAMA	21
SLIKA 4:	OBDELOVANEC, VPET V ROBOTSKE CELICE	21
SLIKA 5:	OBDELOVANEC PO VARJENJU	22
SLIKA 6:	TEMPERATURA KALJENJA	23
SLIKA 7:	VARILNA ŽICA.....	26
SLIKA 8:	ZVARNI ROB – V-ZVAR S PODLOŽNO LETVIJO.....	27
SLIKA 9:	ZVARNI ROB – POLOVIČNI V-ZVAR S PODLOŽNO LETVIJO	28
SLIKA 10:	TALILNI ZVARNI SPOJ	29
SLIKA 11:	DETAJLNA DELITEV TALILNIH ZVAROV	30
SLIKA 12:	SIMBOLIČNA OZNAČITEV ZVARNEGA SPOJA	30
SLIKA 13:	UPORABA KAZALNE ČRTE PRI SIMETRIČNIH ZVARIH.....	31
SLIKA 14:	LEGE VARJENJA NA PLOČEVINI IN CEVI	33
SLIKA 15:	TEMPERATURE NA VARU IN V TOPLOTNO VPLIVNEM OBMOČJU	34
SLIKA 16:	A – MAKROSTRUKTURA ZVARA, B – MAKROSTRUKTURA ZVARA, C – MA V MK GZ TVP ZVARA A NA MESTU, KI JE NA SLIKI OZNAČENO S PUŠČICO, D – POPUŠČENE MA V MK GZ TVP ZVARA B NA MESTU, KI JE NA SLIKI B OZNAČENO S PUŠČICO, E – VZOREC A , PRELOM PREGIB PRESKUŠANCA S TEMENOM V NATEGU SKOZI PODROČJE Z MA V MK TVP	36
SLIKA 17:	RAZPOKE V SOČELNEM ZVARU	37
SLIKA 18:	VKLJUČEK V ZVARU	38
SLIKA 19:	OBLIKOVNE NAPAKE (ZAMAKNITEV, ZAJEDA, PREVISOKO TEME)	38
SLIKA 20:	NAPAKE NA ZVARNEM SPOJU	39

SLIKA 21: PRIMERI ODKLANJANJA OBLOKA ZARADI DELOVANJA ELEKTROMAGNETNE SILE	40
SLIKA 22: PRIPOROČLJIVA LEGA GORILNIKA ZA VARJENJE MAG/MIG SOČELNEGA ZVARNEGA SPOJA.....	41
SLIKA 23: PRIKAZ POBEGA TALINE VARA V SMERI VARJENJA	41
SLIKA 24: NAPAKI PRI PRIPRAVI ZVARNEGA STIKA, KI LAHKO POVZROČITA ALI POSPEŠITA NASTAJANJE ZLEPA	42
SLIKA 25: "ČRNI" ZLEP V TEMENU VARA V SOČELNEGA ZVARNEGA SPOJA (MAKROBRUS VARA 4-KRAT ZGORAJ, 100-KRAT SPODAJ)	43
SLIKA 26: VIZUALNI PREGLED S POMOČJO PRIPOMOČKOV (VT).....	45
SLIKA 27: MERILNIK INOX, »POLŽ« IN CAMBRIDGE	47
SLIKA 28: ULTRAZVOČNI PREGLED S POMOČJO INSTRUMENTA	47
SLIKA 29: PREGLED S TEKOČIMI PENETRANTI (PT).....	50
SLIKA 30: RADIOGRAFSKI PREGLED (RT)	51
SLIKA 31: POTEK MAGNETNEGA POLJA.....	52
SLIKA 32: KONTROLA Z MAGNETNIMI DELCI (MT)	52
SLIKA 33: EPRUVETE ZA PORUŠITVENE PREISKAVE	53
SLIKA 34: EPRUVETE PO PREISKAVI.....	54
SLIKA 35: PRIPRAVA HV-ZVARNEGA SPOJA (LEVO) IN ZAPOREDJE VARJENJA (DESNO).....	55
SLIKA 36: SKICA LEG VTISOV (HV-ZVAR).....	57
SLIKA 37: MAKROSKOPSKA POVEČAVA (2-KRAT) (HV-ZVAR)	58
SLIKA 38: PRIPRAVA V-ZVARNEGA SPOJA (LEVO) IN ZAPOREDJE VARJENJA (DESNO).....	60
SLIKA 39: SKICA LEG VTISOV (V-ZVAR).....	62
SLIKA 40: MAKROSKOPSKA POVEČAVA (2-KRAT) (V-ZVAR)	63

KAZALO TABEL

TABELA 1: KEMIČNA SESTAVA MATERIALA.....	24
TABELA 2: NATEZNI PRESKUS PRI SOBNI TEMPERATURIL.....	25
TABELA 3: TESTIRANJE JEKLA PO CHARPYJU	25
TABELA 4: ANALIZA DODAJNEGA MATERIALA	26
TABELA 5: VREDNOSTI V ODVISNOSTI OD DEBELINE PLOČEVINE ZVARJENCEV – V-ZVAR	28
TABELA 6: VREDNOSTI V ODVISNOSTI OD DEBELINE PLOČEVINE ZVARJENCEV – HV-ZVAR.....	28

TABELA 7: PARAMETRI VARJENJA (<i>HV-ZVAR</i>).....	55
TABELA 8: REZULTATI NATEZNEGA PRESKUSA (<i>HV-ZVAR</i>).....	56
TABELA 9: REZULTATI UPOGIBNEGA PRESKUSA (<i>HV-ZVAR</i>)	56
TABELA 10: REZULTATI PRESKUSA ŽILAVOSTI (<i>HV-ZVAR</i>).....	57
TABELA 11: REZULTATI MERITVE TRDNOSTI (<i>HV-ZVAR</i>).....	58
TABELA 12: PARAMETRI VARJENJA (<i>V-ZVAR</i>)	60
TABELA 13: REZULTATI NATEZNEGA PRESKUSA (<i>V-ZVAR</i>).....	61
TABELA 14: REZULTATI UPOGIBNEGA PRESKUSA (<i>V-ZVAR</i>)	61
TABELA 15: REZULTATI PRESKUSA ŽILAVOSTI (<i>V-ZVAR</i>)	61
TABELA 16: REZULTATI MERITVE TRDNOSTI (<i>V-ZVAR</i>)	62

UPORABLJENI STANDARDI

P-NORM – Palfinger norma

SIST EN 10025-1:2004 – Vroče valjani izdelki iz konstrukcijskih jekel – 1. del: Splošni tehnični dobavni pogoji

SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 – Vroče valjani izdelki iz konstrukcijskih jekel – 6. del: Tehnični dobavni pogoji za ploščate izdelke iz konstrukcijskih jekel z veliko plastično trdnostjo v kaljenem in popuščenem stanju

SIST EN 10045-2:1996 – Kovinski materiali – Udarni preskus po Charpyju – 2. del: Preverjanje preskuševalnega stroja (*udarec z nihalom*)

SIST EN ISO 16834:2012 – Dodajni materiali za varjenje – Žične elektrode, žice, palice in čisti vari za varjenje visokotrdnostnih jekel v zaščiti plinov – Razvrstitev (ISO 16834:2012)

SIST EN ISO 14175:2008 – Pomožni materiali za varjenje – Plini in plinske mešanice za obločno varjenje in sorodne postopke (ISO 14175:2008)

SIST EN ISO 9692-2:1999 – Varjenje in sorodni postopki – Priprava zvarnih robov – 2. del: Varjenje jekel pod praškom – Dopolnilo AC

SIST EN ISO 9013:2017 – Toplotno rezanje – Razvrstitev toplotnih rezov – Geometrijska specifikacija izdelkov in tolerance kakovosti (ISO 9013:2017)

SIST EN ISO 2553:2014 – Varjenje in sorodni postopki – Prikazovanje na risbah s simboli – Varjeni spoji (*ISO 2553:2013*)

SIST EN ISO 4063:2011 – Varjenje in sorodni postopki – Seznam načinov in številčne oznake (*ISO 4063:2009, popravljena verzija 2010-03-01*)

SIST EN ISO 6947:2012 – Ta mednarodni standard opredeljuje položaje pri varjenju za preskušanje in izdelavo soležnih in kotnih zvarov pri vseh oblikah proizvodov. Dodatek A podaja primere mej naklona osi zvara in rotacijo sprednje strani zvara okrog osi zvara za položaje pri varjenju v proizvodnih zvarih. Dodatek B podaja primerjavo mednarodnih, evropskih in ameriških oznak.

SIST EN ISO 5817:2014 – Varjenje – Talilno zvarjeni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (*varjenje s snopom izključeno*) – Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti (*ISO 5817:2014*)

SIST EN ISO 9606-1:2013 – Preskušanje usposobljenosti varilcev – Talilno varjenje – 1. del: Jekla (*ISO 9606-1:2012, vključuje tudi Cor 1:2012*)

SIST EN ISO 4136:2013 – Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Prečni natezni preskus (*ISO 4136:2012*)

SIST EN ISO 5173:2010 – Porušitveno preskušanje zvarnih spojev na kovinskih materialih – Upogibni preskusi (*ISO 5173:2009*)

SIST EN ISO 148-1:2017 – Kovinski materiali - Udarni preskus po Charpyju – 1. del: Preskusna metoda (*ISO 148-1:2016*)

SIST EN ISO 9016:2013 – Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Udarni preskusi - Položaj preskušanca, smer zareze in preiskava (*ISO 9016:2012*)

SIST EN ISO 6507-1:2018 – Kovinski materiali – Preskus trdote po Vickersu —1. del: Preskusni postopek (*ISO 6507-1:2018*)

SIST EN ISO 9015-1:2012 – Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Preskušanje trdote - 1. del: Preskušanje trdote na obločno varjenih spojih (*ISO 9015-1:2001*)

SIST EN ISO 15614-11:2003 – Popis in kvalifikacija varilnih postopkov za kovinske materiale – Preskušanje varilnih postopkov – 11. del: Varjenje z elektronskim snopom in varjenje z laserjem (*ISO 15614-11:2002*)

SIST EN ISO 17639:2013 – Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Makroskopska in mikroskopska preiskava zvarov (*ISO 17639:2003*)

UPORABLJENI SIMBOLI

O₂ – kisik

CO₂ – ogljikov dioksid

Ar – argon

N₂ – dušik

He – helij

Si – silicij

Mn – mangan

C – ogljik

Cr – krom

Mo – molibden

Ni – nikelj

UPORABLJENE KRATICE

HV-zvar – sočelni polovični V-zvar

MIG – varjenje v zaščiti inertnega plina (*metal inert gas*)

MAG – varjenje v zaščiti aktivnega plina (*metal active gas*)

TIG – elektroobločno varjenje z netaljivo volframovo elektrodo

MA- strukture – martenzitno-avstenitne strukture

MB- strukture – martenzitno-bainitne strukture

MAR – delavniška risba

S – konstrukcijsko jeklo

690 – najmanjša napetost tečenja Re (N/mm^2)

QL – poboljšano jeklo (*Martenzit s precej povečano trdoto*)

B – visoki kakovostni razred zvara

C	– srednji kakovostni razred zvara
D	– kakovostni razred brez posebnih zahtev
PA	– lega zvara (<i>vodoravno</i>)
TVP	– toplotno vplivno področje
GZ	– grobozrnato področje
NK	– nadkritično področje
MK	– medkritično področje
PK	– podkritično območje
DT	– porušne preiskave (<i>distraction testing</i>)
NDT	– neporušne preiskave (<i>not distraction testing</i>)
VT	– vizualna preiskava
UT	– ultrazvočna preiskava
MT	– preiskava z magnetnimi delci
PT	– penetrantska preiskava
RT	– radiografska preiskava
WPS	– navodilo za varjenje (<i>Welding Procedure Specification</i>)
UV	– ultravijolično
DN	– delovni nalog
N/mm ²	– MPa (<i>megapaskal</i>)

1 UVOD

V diplomskem delu sem se osredotočil na problematiko, ki jo prinašajo zvarni spoji. Kot vemo, je varjenje spajanje najmanj dveh delov v eno nerazdružljivo celoto, kjer pa ni prostora za napake, ki se rade pojavljajo pri tej obliki spajanja. Tako sem se osredotočil na glavno roko žerjava, ki je zelo obremenjena in kjer poglavitno vlogo igrata dva glavna vzdolžna zvara, ki zgornjo in spodnjo školjko združujeta v prej omenjeno nerazdružljivo celoto. V nadaljevanju diplomskega dela sem opisal postopke in način ugotavljanja in zagotavljanja potrebne kakovosti v izogib razpokam, zajedam in zlepu ter poizkušal prikazati, kaj botruje temu. Problematike sem se lotil z analizo projektne dokumentacije. Analiziral sem konstrukterjeve zahteve, podane z delavniškimi načrti, in ugotavljal, kako jih kakovostno zagotoviti. Z makroskopskimi preiskavami se je potrdila potrebna korektura zvarnega spoja zaradi procesne zanesljivosti samega postopka oziroma zagotovitev kakovostne izvedbe zahtevanega zvarnega spoja.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Področje diplomskega dela bo segalo od projektne dokumentacije do samega proizvoda. Izpostavil bom le določena področja v tem procesu, ki so ključnega pomena za zagotavljanje in ugotavljanje kakovosti zvarjenja. Prvo področje je sam projekt oziroma analiziranje le-tega. Tukaj so namreč razvidne zahteve o zvarnem spoju, po katerih se moramo ravnati ter jih v celoti izpolnjevati. Že tukaj se srečamo s prvim vprašanjem, ali je možno predvideni zvarni spoj izvesti kakovostno in procesno zagotovo ali pa so potrebne korekture. Po končanem prvem proizvodu se izvedejo vse potrebne preiskave, kot so: vizualna kontrola, ultrazvočna preiskava in ne nazadnje rentgenska preiskava itn. Preiskave pokažejo kakovost zvarnega spoja oziroma njegove pomanjkljivosti, na katere smo zaradi potrebne kakovosti posebej pozorni in jih želimo odpraviti. V nadaljevanju se z analiziranjem pridobljenih meritev, v primeru povprečnih ali slabih rezultatov, določi ustrezna rešitev. Za rešitev in izvedbo le-te je potrebna izdelava novih načrtov po veljavni normi, ki dovoljuje spremembo dotičnega zvarnega spoja. Ko je dokumentacija pripravljena, po proizvodnem procesu ponovno opravimo identične preiskave in primerjamo rezultate. Ti nam pokažejo razliko obeh izvedb in nam potrdijo, ali je druga rešitev bolj procesno varna in tako sprejemljivejša za proizvodnjo.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je poiskati rešitev za izboljšavo sicer zadovoljivega proizvodnega procesa, da se izognemo možnim napakam za izboljšanje kakovosti proizvoda.

Teze:

H1: S pravilno izbiro nadomestnega zvarnega spoja zagotovimo primerljive tehnične in tehnološke lastnosti – enake ali boljše kot določen HV-zvar (*polovični V-zvar*).

H2: Z lažjim tehnološkim postopkom varjenja zagotovimo višjo kakovost zvara.

H3: S pravilno izbiro zvara zmanjšamo število napak.

1.3 Predpostavke in omejitve

Diplomsko delo sem omejil na najbolj obremenjen zvarni spoj glavne roke kamionskega dvigala v smislu ugotavljanja in zagotavljanja kakovosti njegove izdelave.

Predpostavljam, da bo zamenjava zvarnega spoja iz polovičnega V-zvara v celotni V-zvar samemu postopku povečala procesno gotovost in hkrati občutno zmanjšala možnost morebitnih napak.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Diplomsko delo je sestavljeno iz teoretičnega in praktičnega dela.

Prvi, teoretični del vsebuje naslednje metode:

- deskripcijo oz. opis pojmov in dejstev glede na zvarne spoje in možne napake,
- kompilacijo oz. primerjanje pridobljenih podatkov in meritev,
- opis oz. podajanje spoznanj in rešitve nastalega problema.

Praktičen del raziskovanja je osredotočen na konkretne rezultate izvedenih kontrol, ki se vršijo na preizkušancu samem, in na spremembo dokumentacije, s katero podamo potrebno rešitev problema in zagotovimo kakovost procesa.

Obvladovanje kakovosti pomeni izvajanje aktivnosti in tehnik, ki se uporabljajo z namenom izpolnitve zahtev kakovosti. Kakovost obvladujemo z opazovanjem procesa ali storitve ter seveda z odpravljanjem vzrokov za nezadovoljivo kakovost. (Temelji in slovar, 2008)

2 VARJENJE IN ZVARNI SPOJI

Definicija varjenja pravi, da je varjenje spajanje materialov v togo oziroma homogeno celoto. Tako so zvari homogeni in izotropni elementi. Varjenje je eden najbolj prepoznavnih procesov spajanja materialov in ga lahko štejemo med visokotehnološke procese. Da pa dosežemo kakovostni produkt in s tem čim boljšo kakovost zvarnega spoja, mora biti izpolnjenih več osnovnih, a pomembnih dejavnikov, ki so v nadaljevanju bolj predstavljeni.

2.1 Osnovni pojmi

Kot na drugih področjih obstajajo tudi pri tehnikah spajanja materialov posebni izrazi, za katere velja splošen standard SIST EN 1792. Poseben standard je tudi SIST EN ISO 17659, ki prikazuje slike in opise različnih zvarnih stikov, robov, spojev, varov, materialov in toplotno vplivnega področja. (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Osnovni material** je material varjenca ali več varjencev, ki jih zvarjamo v zvarni spoj ali navarjamo.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Dodajni material** je material v obliki na kolut navite masivne žice, oplaščene paličaste elektrode, na kolut navite ploščate žice, gole palice, na kolut navitega masivnega ali strženskega traku, strženske palice, na kolut navite strženske žice ali v obliki prahu, ki ga med varjenjem dodajamo na mesto varjenja, da skupaj z osnovnim materialom tvori zvarni spoj, navar ali spajkan spoj.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Varek** je količina materiala, ki smo jo raztalili in se je strčila v eni sami potezi varilca ali stroja. Sestavljen je iz dodatnega in osnovnega materiala ali pa samo iz osnovnega, če varimo brez dodatnega materiala.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Korenski varek** ali **korenski var** je var ali varek na spodnji strani zvarnega spoja oziroma zvara, ki ga običajno izdelamo najprej.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Temenski varek** ali **temenski var** je var ali varek na vrhu zvarnega spoja oziroma zvara in ga običajno izdelamo zadnjega. Korenski in temenski var ležita na nasprotnih straneh zvarnega spoja.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Spenjalni varek** je varek, ki ga izdelamo na zvarnih stikih, da zvarni rob stabiliziramo in pripravimo za varjenje.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Varilni oblok** je električno praznjenje v ioniziranem plinu med dvema elektrodama (*anodo in katodo*), del električnega tokokroga v varilnem procesu, vir toplotne energije za varjenje in rezanje ter orodje varilca za varjenje.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

»**Toplotno vplivano področje** je del varjenja oziroma varjencev, ki so bili med varjenjem toplotno prizadeti; v njem so opazne strukturne spremembe ter posledično spremembe mehanskih in drugih fizikalno-metalurških lastnosti.« (Tušek, Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo, 2015)

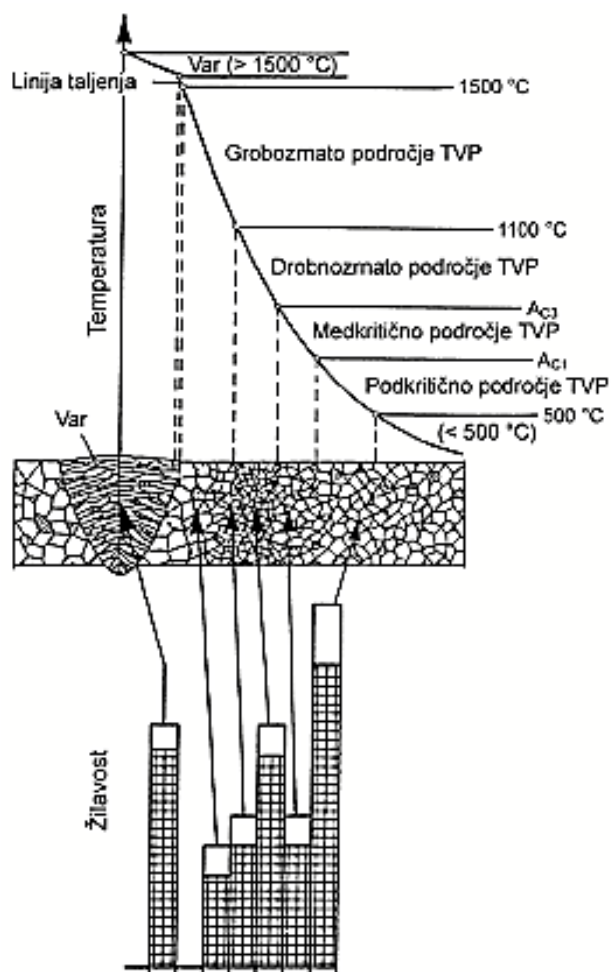
2.2 Varjenje (avtomatizirano – MAG)

Varjenje po postopku MAG pomeni varjenje z aktivnim zaščitnim plinom, ki sem ga podrobneje predhodno že opisal, kar nam pove že sama kratica MAG (*metal active gas*). Tako pojem aktivni plin pomeni, da sem med varjenjem dogaja kemična reakcija, ki je odvisna od zmesi oziroma kombinacije v mešanici prisotnih plinov. V dotičnem primeru uporabljamo kombinacijo ogljikovega dioksida (CO_2) in argona (Ar). Lahko pa imamo še kombinacijo dušika (N_2), helija (He) in kisika (O_2). Proces taljenja dodatnega in osnovnega materiala pa se začne takoj, ko se varilna žica dotakne osnovnega materiala in skozenj steče tok, ki je predhodno ustrezno nastavljen med 120–350 A. Prav tako nastavimo hitrost podajanja žice, ki ima kasneje konstantno hitrost med 2,7–12,4 m/min.

»Pri varjenju, torej pri segrevanju in ohlajanju, pri materialu prihaja do sprememb mikrostrukture, s tem pa tudi do sprememb lastnosti varjenega materiala. Zaradi različne strukture je v toplotno vplivnem področju tudi različna žilavost. Slika 1 kaže različno strukturo materiala v toplotno vplivnem področju pri sočelnem enovarkovnem varjenju pločevine. Najmanjša žilavost pri konstrukcijskem jeklu je dosežena v področju grobozrnate strukture. Problematično je tudi medkritično področje, kjer nastajajo MA-strukture (*martenzitno-*

avstenitne), ki so za žilavost neugodne, ter ugodnejše MB-strukture (*martenzitno-bainitne*). Po nekaterih teorijah naj bi ravno MA-strukture povzročale krhki lom. Krhkost povzročata prisilno raztopljeni ogljik v martenzitu in elastične napetosti v zaostalem avstenitu. Pri večvarkovnem varjenju nastajajo MA- in MB-strukture v vseh medkritično segretyh delih zvara. Zaradi večkratnega segrevanja in ohlajanja MA- in MB-strukture popustijo, s tem pa se spreminja tudi njihov vpliv. Pričakovati je ugodnejši vpliv na žilavost kot pri enovarkovnem varjenju.« (Keše, 2017)

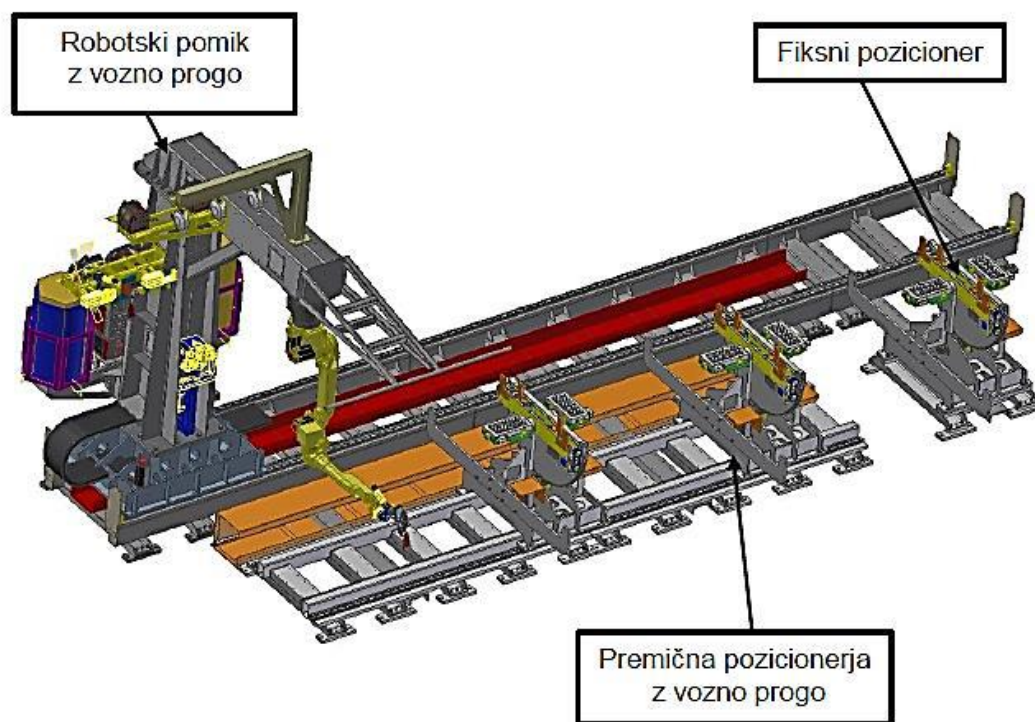
Ker je varivost tako pomembna, mora jeklo vsebovati med 0,15 in 0,45 % silicija, ki deluje dezoksidacijsko, ker veže kisik in ga odvaja v žlindro ter povečuje odpornost proti staranju. Ravno tako na varivost vplivajo tudi drugi legirni elementi. Tako z manganom izboljšamo varivost in žilavost ter povečamo trdnost jekla kljub zmanjšanju vsebnosti ogljika. Mangan namreč nase veže žveplo, ki niža občutljivost za nastajanje napak v vročem stanju. Žveplo v jeklu ni zaželeno, ker povzroča krhkost v toplem in vročem stanju oziroma razpokljivost pri varjenju. Tako ga v jeklu najdemo manj kot 0,035 %. Krhkost v hladnem stanju povzroča tudi fosfor, ki pa dviguje mejo tečenja in natezno trdnost. Tudi fosforja je v jeklu približno 0,035 %.



Slika 1: Žilavost v zvaru in toplotno vplivno področje

Vir: (Keše, 2017)

V našem primeru zaradi prednosti, ki jih prinaša robotsko varjenje, varimo s pomočjo robota Fanuc s krmiljem R-30iB. Obstaja več prednosti takšne vrste varjenja, najpomembnejša v današnjem času pa je vsekakor zahteva po najboljši kakovosti v najkrajšem možnem času. To pa dosežemo z vsemi prednostmi robota, od programiranja (*različni načini*), prilagajanja (*večje število programov*), možnosti simulacij (*manj odpada*) ipd. Slika 2 prikazuje robotsko celico z dolžino proge 21100 mm in hitrostjo pomika do največ 30 m/min. Varjenec na mizo fiksirajo magneti, miza pa ima možnost zasuka od -95° do $+95^\circ$.



Slika 2: Robotska celica

Vir: (Radikovič, 2016)

Kakovostno varjenje se začne z natančnim vpetjem varjencev, pravilno pozicijo podpor, umerjenim varilnim gorilnikom in ne nazadnje natančnim programom. Da ne pride do zamenjave programov, ima vsak program svojo oznako, ki se ujema s sklopnim načrtom oz. varjencem. V tem primeru je konstrukter predvidel HV-zvar, katerega bomo spremenili v V-zvar, oznaki pa bomo dodali pripono MAR, kot je to običajno v podjetju za tovrstne vsebinske spremembe na načrtih. Gre za interno delavniško risbo, ki jo narišemo zaradi specifičnosti postopka varjenja, ki ga konstrukter ne more predvideti. Tukaj gre za spremembe, ki se dogajajo v samem procesu in poskrbijo za odstopanje od predvidenega poteka procesa. To je nujen ukrep tako za nas kot za zagotavljanje procesne zanesljivosti, prav tako pa se s tem izognemo napakam.

Slika 3 pa prikazuje parametre, ki jih lahko pred začetkom in po potrebi v ročnem načinu ustrezno skorigiramo.



Slika 3: Parametri programa

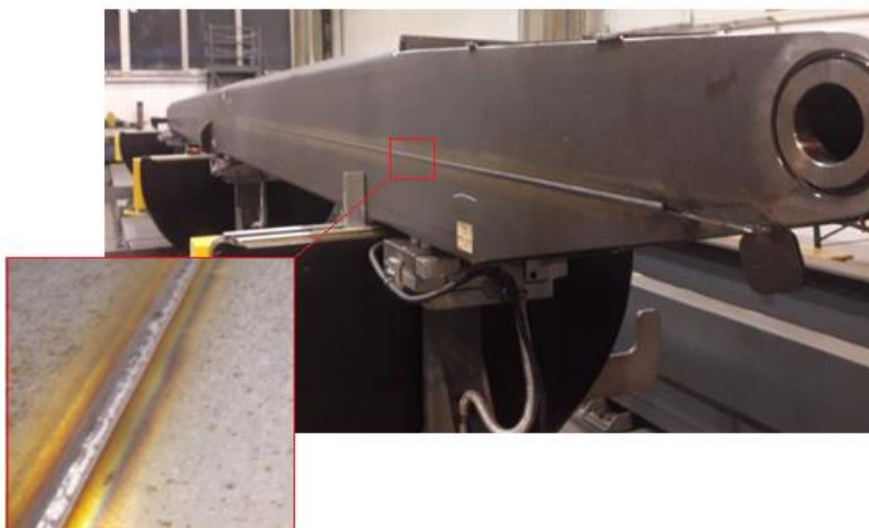
Vir: (Palfinger, 2018)

Ko je vse pravilno nastavljeno, lahko začne robot variti. Slika 4 prikazuje v robotski celici vpet obdelovanec pred varjenjem.



Slika 4: Obdelovanec, vpet v robotski celici

Vir: (Palfinger, 2018)



Slika 5: Obdelovanec po varjenju

Vir: (Palfinger, 2018)

2.3 Osnovni material – varjenec

Osnovni material oziroma pločevina, ki jo želimo variti, mora ustrezati vsem potrebnim tehničnim in tehnološkim zahtevam, ki se nanašajo na kakovost materiala in njegovo varivost. V prvi fazi na podlagi potrebe, ki se poda konstrukterju pri konstruiranju proizvoda ali polproizvoda, ki je v tem primeru glavna roka dvigala, izberemo ustrezen material, ki ustreza vsem zahtevam za varen in statično vzdržen produkt. Glede na prisotne obremenitve na omenjeni roki je izbira materiala omejena, ne samo s kakovostjo, temveč tudi s težo, ceno ipd. Tako je treba upoštevati, kaj vse nam konkreten material omogoča. To nam olajša izbiro debeline materiala, mejno vrednost in dodatne možnosti materiala, kot so kaljenje, cementiranje, poboljšanje ipd. Norma, ki pokriva to področje, se imenuje SIST EN 10025-1:2004. V omenjenem primeru diplomskega dela je uporabljeno poboljšano jeklo S690QL.

Oznaka stopnje materiala S690QL (1.8928):

S = konstrukcijsko jeklo

690 = najmanjša napetost tečenja **Re** (N/mm^2)

QL = poboljšano jeklo oz. vodno kaljenje s popuščanjem (*martenzit s precej povečano trdoto*)

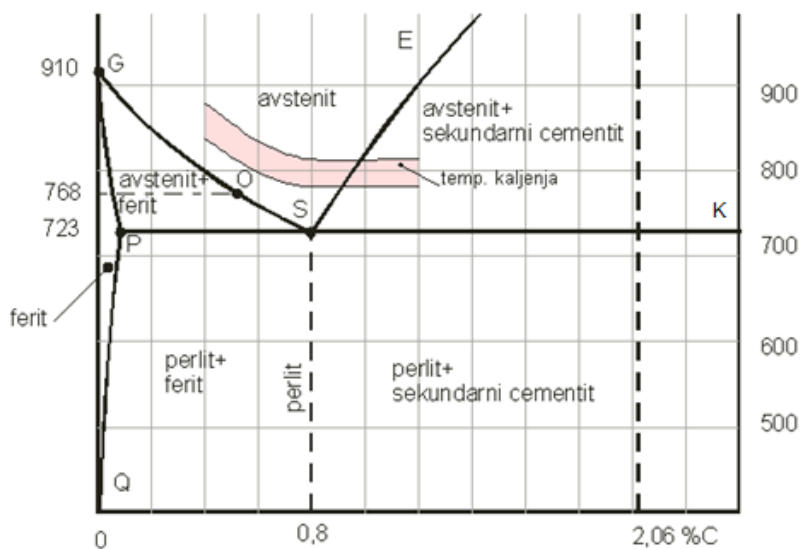
Specifikacije in razredi: po SIST EN 10025-1:2004 je S690QL

Potreben osnovni material dobimo od dobavitelja po vseh naštetih zahtevah z vsemi potrebnimi dokazili o kakovosti materiala in certifikatom. S priloženo dokumentacijo jamčimo za

navedeno kemično sestavo materiala, potrebno žilavost pri določeni obremenitvi ter temperaturi in mehanskimi lastnostmi le-tega.

2.3.1 Kemična sestava materiala S690QL

Dotični material, ki ga obdelujemo (S690QL), spada med pogosto uporabljena nizkoogljčna jekla, ki imajo do 0,25 % C in so zelo žilava, mehansko sicer manj trdna, a dobra za obdelavo v hladnem stanju. Da doseže to potrebno trdnost in trdoto, je material dodatno kaljen, s čimer dobimo dobro kombinacijo žilavega in trdno odpornega materiala. Slika 6 nam prikazuje temperaturo kaljenja, ki se dogaja 30 do 50 °C nad črto G – S – K.



Slika 6: Temperatura kaljenja

Vir: (Kaljenje jekel, 2016)

Legirni elementi, ki so dodani materialu, kot so Mn, Mo, Cr, Si in Ni, povečajo prekaljivost jekla in ne vplivajo na trdoto materiala. V tabeli 1 je podrobneje prikazana kemična sestava dotičnega materiala s strani proizvajalca v odstotkih masnega deleža posamezne snovi.

Tabela 1: Kemična sestava materiala

Jeklo	Zajamčene vrednosti															
	Masni deleži v %															
	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al max.	N max.	Cr max.	Ni max.	Mo max.	Cu max.	V max.	Nb max.	Ti max.	B max.	Zr max.
500 QL	0,20	0,80	1,70	0,020	0,010	0,018	0,015	1,50	2,00	0,70	0,50	0,12	0,06	0,05	0,005	0,15
550 QL																
620 QL																
700 QL																

Vir: (Voestalpine, 2018)

2.3.2 Mehanske lastnosti materiala S690QL

Mehanska lastnost materiala je tista, ki določa, kako se izbrani material odzove na mehansko obremenitev. Zaradi vpliva zunanjih sil, ki se najpogosteje pojavijo v kombinaciji različnih obremenitev, kot so: tlačna, strižna, natezna, torzijska ali vzvojna sila, se tako pokaže določena odpornost materiala. To je tako imenovana mehanska lastnost in jo lahko izmerimo oziroma preizkusimo na več različnih načinov. Glede na delovanje sile pa jih lahko preizkusimo na statičen ali dinamičen način. Bistvo obeh preizkusov pa je, da preizkušanec na koncu preizkusa deformiramo. Razlika med obema preizkusoma je le hitrost delovanja sile na sam preizkušanec. Enkrat delujemo počasi (*npr. natezni preizkus*), drugič pa sunkovito oziroma udarno (*npr. preizkus udarne žilavosti*). Ko je preizkusa konec in preizkušanec deformiramo, izmerimo zaradi sile povzročene deformacije in le-te poiščemo v obstoječih tabelah vrednosti, s pomočjo česar lahko odčitamo mehansko lastnost materiala. Tudi tukaj pa je vse odvisno od načina preizkusa oziroma kaj preizkušamo, žilavost (*udarni preizkus*), trdnost (*po Brinellu, Vickersu ali Rockwellu*) ali nateg.

V tabeli 2 so prikazane vrednosti opravljenih testov, ki jih zagotavlja proizvajalec osnovnega materiala – varjenca.

Tabela 2: Natezni preskus pri sobni temperaturi

Jeklo	Številka	Moč izkoristka ReH^1 N/mm ² vsaj za nazivno debelino v mm		Natezna trdnost R_m N/mm ² za nazivno debelino v mm		Raztezek vsaj % $l_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$
		≤ 50	$50 \leq 100^2$	≤ 50	$50 \leq 100^3$	
690QL	1.8928	700	650	770 – 940	760 - 930	14

Vir: (Voestalpine, 2018)

V naslednji tabeli 3 so ravno tako testirane oziroma zagotovljene vrednosti osnovnega materiala z udarnim preizkusom po Charpyju, ki je s standardom SIST EN 10045-2:1996 natančno določen in posledično točen.

Tabela 3: Testiranje jekla po Charpyju

Jeklo	Orientacija vzorca	Ugrezni udar AV J, min. preskusna temperatura v °C			
		0 °C	-20 °C	-40 °C	-60 °C
690QL	Vzdolžno	50 J	40 J	30 J	/
	Prečno	35 J	30 J	27 J	/

Vir: (Voestalpine, 2018)

2.4 Dodajni material

Kot druge stvari pri varjenju je tudi dodajni material oziroma varilna žica skrbno izbrana. Žica je okrogle oblike premera 1,2 mm in navita na posebne kolute, ki se namestijo na varilni stroj, ki jo po potrebi dozira. Tudi varilna žica ima svojo dokumentacijo, s katero nam proizvajalec zagotavlja potrebno kakovost. Ustrezne določbe oziroma klasifikacijo žičnih elektrod, žic, palic glede dodajnega materiala pa določa mednarodni standard SIST EN ISO 16834:2012. Ta mednarodni standard uporablja za klasifikacijo kombiniran sistem, ki temelji na natezni trdnosti in povprečni udarni trdnosti čiste kovinske zvarine pri 47 J (*joule*) ali na natezno trdnost in povprečno moč udarca pri 27 J (*joule*). Oznaka uporabljene varilne žice je G 69 4 M Mn3Ni1CrMo, ki velja za trdno žično elektrodo za varjenje visokozmogljivih drobnozrnatih strukturnih jekel s pretočnimi močmi od 420 do 690 N/mm² in z visoko natezno trdnostjo od

¹ Če ni izrazita napetost tečenja, se določi 0,2 % meje tečenja ($R_p 0,2$).

² 690 Q, QL, QL1: $> 50 \leq 110$

³ 690 Q, QL, QL1: $> 50 \leq 110$

770 do 940 N/mm². Zaradi legirnih elementov niklja, kroma in molibdena se dosežejo tudi zelo dobre udarne trdnosti, tudi pri nizkih temperaturah. Primerne so za delovanje pri visokih tokovih z ohlajeno brezvodno napetostjo brez motenj, kar zagotavlja stabilen lok z nizko količino škropljenja.



Slika 7: Varilna žica

Vir: (Mikulič, 2011)

S pomočjo analize dodatnega materiala dobimo točne vrednosti prisotnosti legirnih elementov v materialu izbrane varilne žice, ki so prikazane v tabeli 4.

Tabela 4: Analiza dodatnega materiala

Legirni element	Mn	Mo	C	Si	Ni	Cr
Masni delež v %	1,54 %	0,24 %	0,089 %	0,53 %	1,23 %	0,26 %

Vir: (Esab, 2018)

Na voljo so nam tudi podatki o odlaganju dodatnega materiala med varjenjem, ki pa so seveda odvisni od karakteristik varjenja. Tako je stopnja usedanja dodatnega materiala s prej opisanimi značilnostmi od 1,5 do 6,6 kg/h, če upoštevamo premer žice 1,2 mm, tok med 120–350 A, napetost 20–33 V in ne nazadnje hitrost podajanja žice med 2,7–12,4 m/min.

2.5 Zaščitni plin

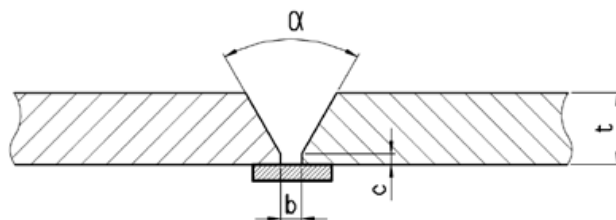
Zaščitni plin pri varjenju našega preizkušanca je univerzalna mešanica ogljikovega dioksida in argona z oznako M21–ArC–18, s tem da je masni delež CO₂ – 18 %, Ar – 82 %. Plin je primeren za varjenje po postopku MAG (*metal active gas*) in je kot dodatni material uporaben

v vseh varilnih legah. Izgorevanje izboljša večji delež aktivnega plina z rahlo povečano višino zvara. S plinsko oklepljenim plaščem zagotavlja odlično kakovost zaraščanja in odlično penetracijo z minimalno količino dima. Količina porabljenega plina se giblje med 14–16 l/min. Zaščitni plin je izbran glede na značilnost varjenja in želeno kakovost, ki jo določa standard SIST EN ISO 14175:2008. Namen tega mednarodnega standarda je klasificirati in določiti zaščito, podpore, obdelavo in pomoč plinom v skladu s svojimi kemijskimi lastnostmi in metalurškim ravnanjem kot podlago za pravilno izbiro uporabnika in poenostavitvijo možnih postopkov usposobljenosti. Tako zaščitni plin vpliva na gorenje obloka in napetosti v njem, porazdelitev energije v obloku in ne nazadnje na količino pretaljenega materiala – dodatnega in osnovnega. V bistvu pa ščiti talino oziroma zvarno kopel pred vdorom zraka iz atmosfere, kar kot posledico na zvaru lahko pusti napake, kot so oksidacija taline, poroznost ali podobno.

2.6 Zvarni rob

Pred začetkom varjenja je potrebno in pomembno pripraviti osnovni material za varjenje. Koti posnetja morajo biti skrbno izbrani in so prilagojeni na vrsto postopka varjenja. Vplivajo pa tudi na porabo energije, časa in dodatnega materiala. Bolj kot ekonomski vidik pa je vseeno pomembna kakovost vara. To velja še posebej za večje preseke varjencev, kjer moramo s pripravo zvarnega žleba zagotoviti prevaritev korenskega zvarka. To nam omogoča standard, ki predpisuje pripravo zvarnih robov SIST EN ISO 9692-2:1999. Za zvarne robove kakovosti B pa velja SIST EN ISO 9013:2017.

Tako prehajam na bistvo tega diplomskega dela, kjer je v osnovi s strani konstrukcije bila priprava zvarnega roba predvidena na le eni strani, kar pomeni polovični V-zvar. Sicer teoretično vzdržen, mogoče tudi ekonomsko bolj privlačen, a v praksi na meji sprejemljivega, kar bom v nadaljevanju skušal dokazati.



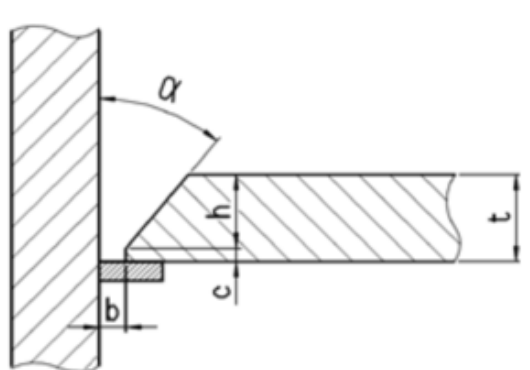
Slika 8: Zvarni rob – V-zvar s podložno letvijo

Vir: (P-NORM, 2018)

Tabela 5: Vrednosti v odvisnosti od debeline pločevine zvarjencev – V-zvar

Debelina pločevine t [mm]	Kot zvarnega roba α [°]	Reža B [mm]	Zob c [mm]
3–4	60	2	1
5–8			
9–15			
16–20			
21–25	50	3	

Vir: (P-NORM, 2018)



Slika 9: Zvarni rob – polovični V-zvar s podložno letvijo

Vir: (P-NORM, 2018)

Tabela 6: Vrednosti v odvisnosti od debeline pločevine zvarjencev – HV-zvar

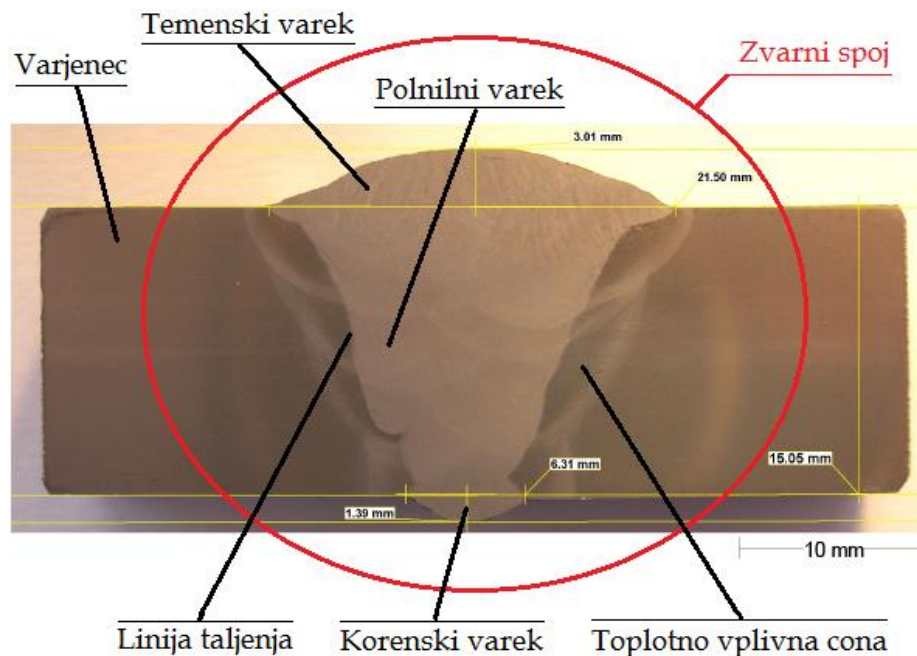
Debelina pločevine t [mm]	Kot zvarnega roba <i>α</i> [°]	Reža b [mm]	Zob c [mm]
3–4	55	2	1
5–8	50		
9–15	45	3	
16–20			
21–25	40		

Vir: (P-NORM, 2018)

2.7 Vrste zvarnih spojev

Poznamo več vrst zvarnih spojev, ki jih izbiramo glede na konstrukcijske zahteve, opredelimo pa jih v največji meri na podlagi lege zvarjencev. Zvar predstavlja ožje območje, na katerem je

prišlo do spajanja s postopkom varjenja. Zvar je lahko enovit ali pa sestavljen iz več varkov. Slika 10 prikazuje sestavljen talilni zvarni spoj, na kateri je zahvaljujoč radiografskemu posnetku lepo videti meje taljenja, toplotno vplivno področje ter polnilne zvarke.



Slika 10: Talilni zvarni spoj

Vir: (Imk, 2018)

Na sliki 11 je predstavljenih nekaj primerov najpogostejše uporabljenega sočelnega zvara. Za nas relevanten je polovični in celoten V-zvar s polno prevaritvijo, kar pomeni, da se varjenca po debelini popolnoma pretalita oziroma zlijeta z dodatnim materialom. V našem primeru je uporabljena tudi neodstranljiva podložna letev, ki omogoča večjo hitrost varjenja z večjimi vrednostmi varilnih parametrov. Običajno se ta uporablja tam, kjer je druga stran za varjenje nedostopna. Projektna nosilnost takšnega zvara je enaka nosilnosti šibkejše od spojenih pločevin. Pri tem mora biti zagotovljena predpisana kakovost varjenja in odobritev odgovornega konstrukterja, ker je praviloma zvarni spoj z neodstranljivo podložno letvijo rahlo oslabljen zaradi spremenjenega poteka silnic.

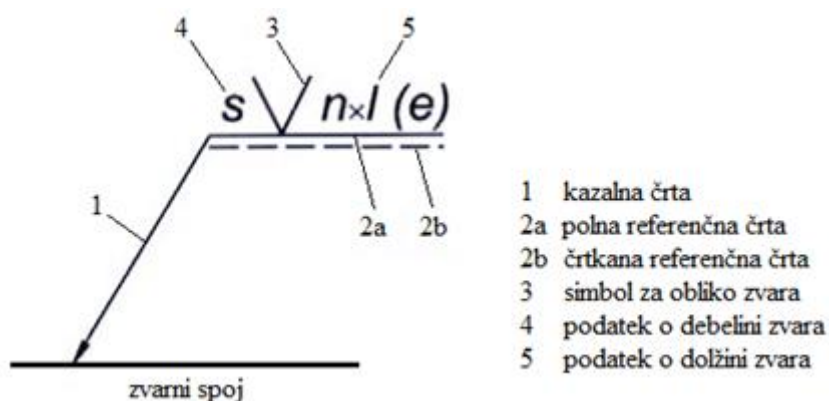
Ime zvara	Znak	Priprava	Izvedba	Ime zvara	Znak	Priprava	Izvedba
Soležni spoji							
Zvar s privihom				Polovični Y-zvar			
I-zvar				Dvojni Y-zvar			
V-zvar				K-zvar			
Polovični V-zvar				U-zvar			
Široki V-zvar				Dvojni U-zvar			
X-zvar				J-zvar			
Y-zvar				Dvojni J-zvar			

Slika 11: Detajlna delitev talilnih zvarov

Vir: (Keše, 2017)

2.7.1 Oznaka zvarnega spoja

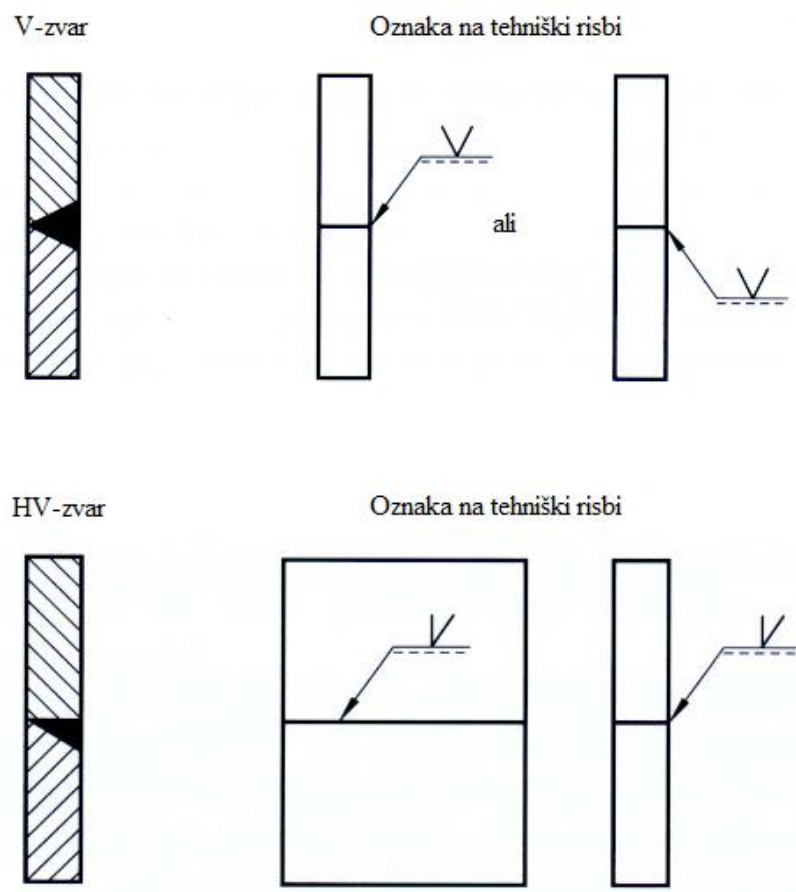
Standard SIST EN ISO 2553:2014 določa dodatne simbole za stanje korena in temena zvara, določa pa tudi označevanje zvarov v tehnološki dokumentaciji. Uporablja se poenostavljeno označevanje zvarov in zvarnih spojev. Poleg poenostavljenega označevanja lahko za »pomembnejše« zware podrobne informacije o posameznem spoju in zvaru najdemo v opisu varilnega postopka (WPS).



Slika 12: Simbolična označitev zvarnega spoja

Vir: (Študentski net, 2013)

Slika 13 prikazuje označevanje zvara na delovni risbi s kazalno črto s puščico. Kadar je črtkana referenčna črta pod polno referenčno črto oziroma na nasprotni strani polne referenčne črte, kot je simbol za zvar, pomeni, da mora biti teme zvara na tisti strani, kot prikazuje kazalna črta s puščico. V nasprotnem primeru, ko je črtkana referenčna črta nad polno referenčno črto oziroma na isti strani polne referenčne črte, kot je simbol za zvar, mora biti teme zvara na nasprotni strani, kot jo označuje puščica.



Slika 13: Uporaba kazalne črte pri simetričnih zvarih

Vir: (Študentski net, 2013)

2.7.2 Postopek varjenja

Postopek varjenja je določen s standardom SIST EN ISO 4063:2011, ki s številsko oznako in mednarodno kratico opredeli, za kateri način varjenja gre. V našem primeru je to število 135 in je podano v specifikaciji postopka varjenja oziroma WPS-u. Sledi nekaj najpogostejših postopkov:

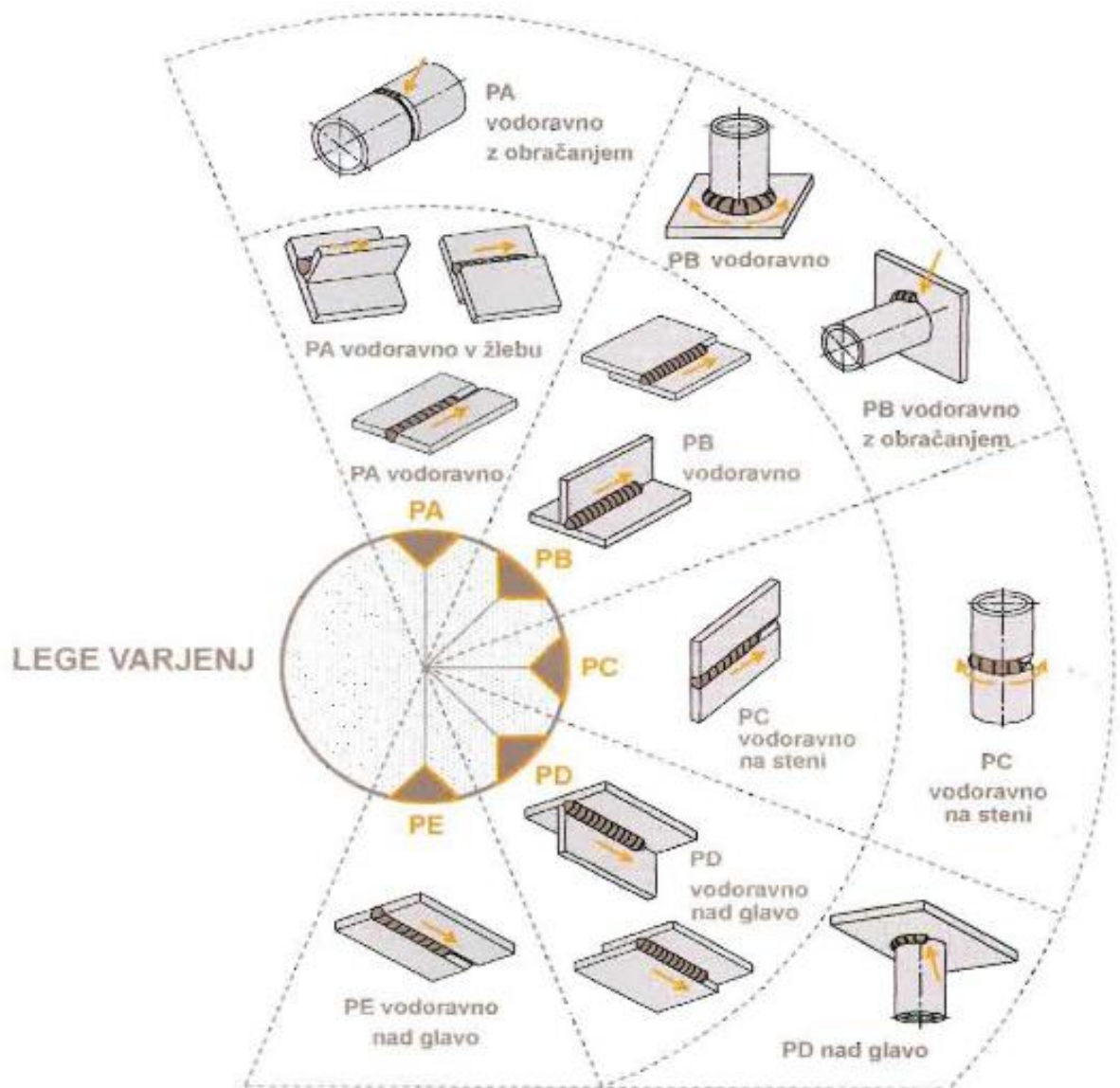
- **111**, ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo (**MMA**),
- **131**, varjenje po **MIG**-postopku,
- **135**, varjenje po **MAG**-postopku,
- **136**, varjenje po **MAG**-postopku s stržensko žico, polnjeno s kovinskim prahom,
- **137**, varjenje po **MIG**-postopku s stržensko žico, polnjeno s kovinskim prahom,
- **141**, varjenje po **TIG**-postopku,
- **311**, plamensko varjenje s kisikom in z acetilenom.

2.7.3 Kakovostni razred zvara

Kakovostni razred zvara je določen s standardom SIST EN ISO 5817:2014 in opredeli kakovost zvara s črkami B, C in D, pri čemer je B (*visoki razred*), C (*srednji razred*) in D (*razred brez posebnih zahtev*). Tudi ta podatek je podan v specifikaciji postopka (*WPS*).

2.7.4 Lega zvarnega spoja

Standard, ki določa lege varjenja, je SIST EN ISO 6947:2012. Definira lego v prostoru glede na smer varjenja. V dotičnem primeru je po WPS-u določena lega vara PA, pri čemer črka »P« pomeni pozicijo, črka »A« pa ponazarja lego. S slike 14 vidimo, da gre v našem primeru za običajen vodoravni var.

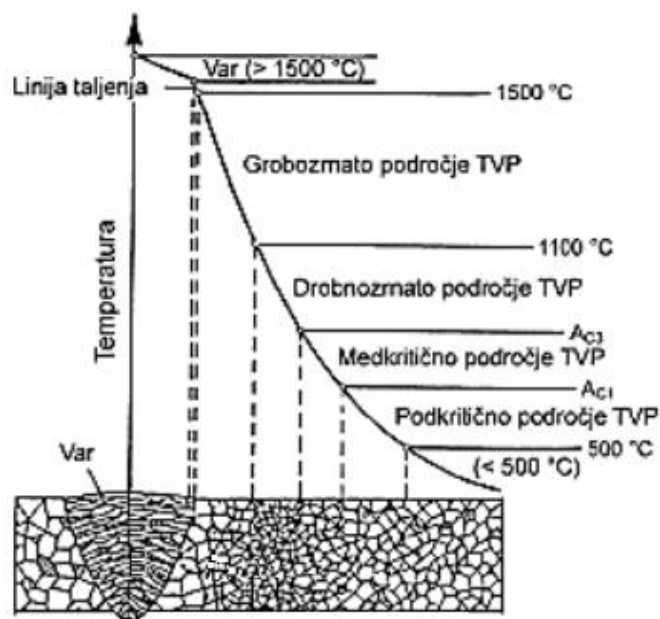


Slika 14: Lege varjenja na pločevini in cevi

Vir: (Študentski net, 2013)

2.7.5 Vnos toplote

Po vzpostavitvi stika žice z varjencem oziroma pretoka energije iz žice na varjenec se zaradi velikega pretoka energije dodajni kot tudi osnovni material stopita in ustvarita var. S slike je razvidno, da se pri tem sprošča visoka temperatura, ki ima tudi vpliv na ostali del varjenja. Temu območju pravimo toplotno vplivno področje (*TVP*), kjer nastajajo mikrostrukture vara.



Slika 15: Temperature na varu in v toplotno vplivnem območju

Vir: (Keše, 2017)

Ker vnosa toplote med varjenjem ne moremo meriti, ga izračunamo na podlagi napetosti varjenja, varilnega toka, hitrosti varjenja in izkoristka. Tako dobimo količino prenesene energije na enoto dolžine vara.

$$E = \frac{U \times I}{v} \times \eta \times 60$$

E = vnos toplote [J/cm]

U = varilna napetost [V]

I = varilni tok [A]

v = hitrost varjenja [cm/min]

η = izkoristek dovedene energije v oblok

2.7.5.1 Toplotno vplivano področje (TVP)

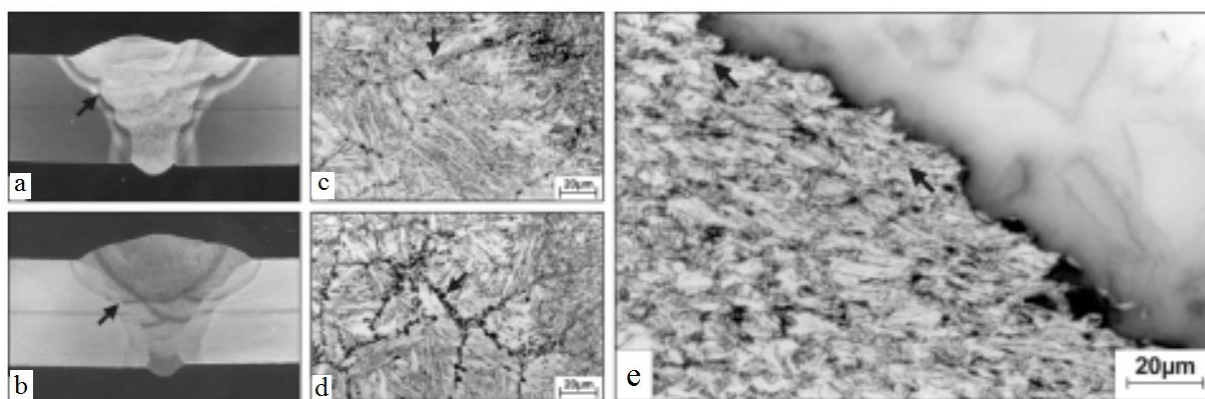
Med varjenjem konstrukcijskih jekel pride pri segrevanju in ohlajanju do sprememb mikrostrukture. S tem se spremenijo tudi lastnosti varjenega materiala (slika 16). Glede na

mikrostrukturo razdelimo toplotno vplivano področje zvarov v štiri dele z naslednjimi orientacijskimi temperaturami: grobozrnato področje (*GZ TVP*, 1100–1500 °C), nadkritično segreto področje (*NK TVP*, 850–1100 °C), medkritično segreto področje (*MK TVP*, AC1, AC3) in podkritično segreto področje (*PK TVP*, 500 - AC1) 1,3. Te temperature seveda veljajo za relativno počasno segrevanje. (Grdun & Godec, 2002)

Zvari imajo boljše lastnosti, če so varjeni enostransko in če je zaključni varek v sredini vara. Tako je nepopuščeno toplotno vplivano področje tega varka v varu, ki ima navadno boljšo žilavost v primerjavi z grobozrnatim in medkritičnim delom TVP osnovnega materiala. Ob tem je zaradi manjše količine ogljika v varu manjša utrditev v zaključnem TVP, kar ugodno vpliva na pregibne lastnosti zvara. (Grdun & Godec, 2002)

Pri splošnih konstrukcijskih jeklih je zaradi majhne količine MA – mikrostrukturnih sestavin njihov vpliv na mehanske lastnosti in žilavost zvarov majhen. Neugodno (*le-te lastnosti*) je grobozrnato področje TVP. Pri drobozrnatih jeklih imata negativni vpliv na žilavost in dinamično trdnost zvarov grobozrnato področje TVP in MA. Tudi pri poboljšanih drobozrnatih jeklih z martenzitno mikrostrukturo kakovosti S690QL do S960QL, ki imajo večje količine ogljika (0,13–0,20 % C) in drugih legirnih elementov in ki jih varimo predvsem na martenzitno mikrostrukturo, je najbolj neugodni del zvara nepopuščeno GZ TVP, ki je izrazito krhko področje. Pri tem ima poleg grobozrnatosti negativni vpliv tudi nepopuščeni martenzit v tem področju. Grobozrnata mikrostruktura vpliva na krhkost tudi v popuščenem MK GZ TVP. MA – mikrostrukturne sestavine vplivajo negativno, če so nepopuščene, kar je omejeno na TVP zadnjega varka. To je težava pri varjenju tankih pločevin, kjer lahko nastane področje z nepopuščenimi MA čez celotno debelino zvara, kjer ugotovimo slabo žilavost tudi z udarnim preskusom žilavosti po Charpyju. Ob tem je skoraj čez celotno debelino zvara tudi nepopuščeno grobozrnato martenzitno področje. Pri debelih pločevinah, ki so varjene večvarkovno, je zaradi toplotne regeneracije zvara malo neugodnih nepopuščenih mikrostrukturnih sestavin. Takšni zvari so lahko zelo kakovostni, kar potrjuje že dolgoletna uporaba visokotrdnih drobozrnatih jekel pri najbolj zahtevnih konstrukcijah, ki so dinamično obremenjene in ki obratujejo pri nizkih temperaturah.

Slika 16 prikazuje primer makrostrukture sočelnega zvara debeline osnovnega materiala $t = 12$ mm, kakovosti S690QL s časom $t_{8/5} = 12$ s, kar pomeni čas, v katerem se zvar ohlaja, med 800 in 500 °C ($t_{8/5}$).



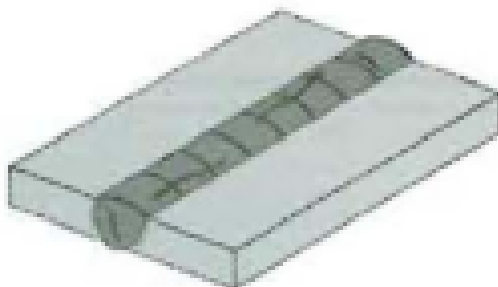
Slika 16: **a** – makrostruktura zvara, **b** – makrostruktura zvara, **c** – MA v MK GZ TVP zvara **a** na mestu, ki je na sliki označeno s puščico, **d** – popuščene MA v MK GZ TVP zvara **b** na mestu, ki je na sliki **b** označeno s puščico, **e** – vzorec **a**, prelom pregib preskušanca s temenom v nategu skozi področje z MA v MK TVP

Vir: (Grdun & Godec, 2002)

3 NAPAKE ZVARNIH SPOJEV

Lahko bi rekli, da popolnega zvara skoraj ni. Nepravilnosti se lahko pojavijo tako v zvaru kot v TVP. Zato moramo ločiti med nepravilnostmi in napakami. Nepravilnosti so odstopanja od idealnega stanja, ki so običajno še sprejemljiva, napake pa presegajo raven sprejemljivosti nepravilnosti v zvaru. Tako kot smo v prejšnjem poglavju govorili, da je varivost odvisna od mnogih dejavnikov, je tudi pri napakah zelo podobno. Pojavijo se lahko zaradi slabo izbranega postopka varjenja glede na osnovni in dodajni material, neustrezne toplotne obdelave pred in po varjenju, slabe priprave varjencev ... Pogosto se napake pojavijo zaradi neupoštevanja predpisanega postopka varjenja. Nepravilnosti v zvarih podaja standard SIST EN ISO 6250. V tem standardu je vsaka napaka označena s štirištevilčno oznako. Prva številka pomeni skupino napake, ostale tri pa klasifikacijo napake znotraj skupine. (Šprajc, 2009)

Med najbolj nevarne napake v zvaru ali v TVP štejemo razpoke, ki nastajajo pri hitrem ohlajanju zvarjencev. Pojavijo se tudi pri jeklih, ki vsebujejo večjo količino ogljika. Pojavijo se lahko nekaj dni po samem varjenju, če zvar vsebuje še večjo količino vodika. Slika 17 prikazuje razpoko na sočelnem zvaru.

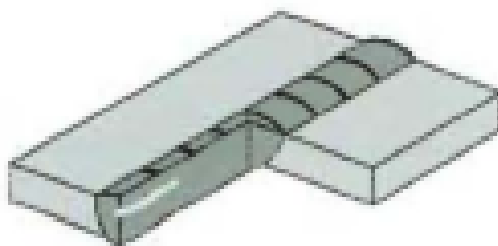


Slika 17: Razpoke v sočelnem zvaru

Vir: (Šprajc, 2009)

Kot napake na zvaru se lahko pojavijo tudi tako imenovane votlinice, ker se pred strditvijo taline ujetemu plinu ne uspe prebiti na površje. Tako ostane ujet v zvaru in tvori navadno čvrsto obliko votlinice, ki lahko pri dinamični obremenitvi preide v razpoko. Te vrste napaka sodi v drugo skupino napak.

Slika 18 nam prikazuje napako iz tretje skupine napak oziroma trdi vključek v zvaru kot posledica ostanka žlindre v zvaru.



Slika 18: Vključek v zvaru

Vir: (Šprajc, 2009)

V četrti skupini napak najdemo ravno tako zelo pogosto napako, ki je pomanjkljivost zvarnega spoja. Med najpogostejše pomanjkljivost zvarnega spoja štejemo slabo prevarjen koren. Napaka se rada dogaja tako na sočelnem kot na kotnem zvaru. Ta pomanjkljivost, ki ji drugače tudi rečemo zlep, se lahko pojavi med varkom in osnovnim materialom kot tudi med samimi varki. Ta napaka se šteje med zelo pogoste in nevarne varilske napake, ki se pojavijo pogosto zaradi nepravilne drže gorilnika ali elektrode, če gre za elektroobločno varjenje. Pri obločnih postopkih varjenja je lahko vzrok tudi premajhna jakost varilnega toka.

Oblikovne napake sodijo v peto skupino napak in so v veliki meri odvisne od varilca samega, ker so posledica slabe priprave varjenca, nepravilnega naklona gorilnika ali elektrode in slabe priprave varilnega aparata ipd. Na sliki 19 vidimo nekaj oblikovnih napak, kot so zamik varjencev ali nesimetričnost zvara, zajeda na osnovnem materialu ob zvaru in previsoko teme. Lahko bi omenili še prenizko teme, slabo nadaljevanje zvara in podobno.

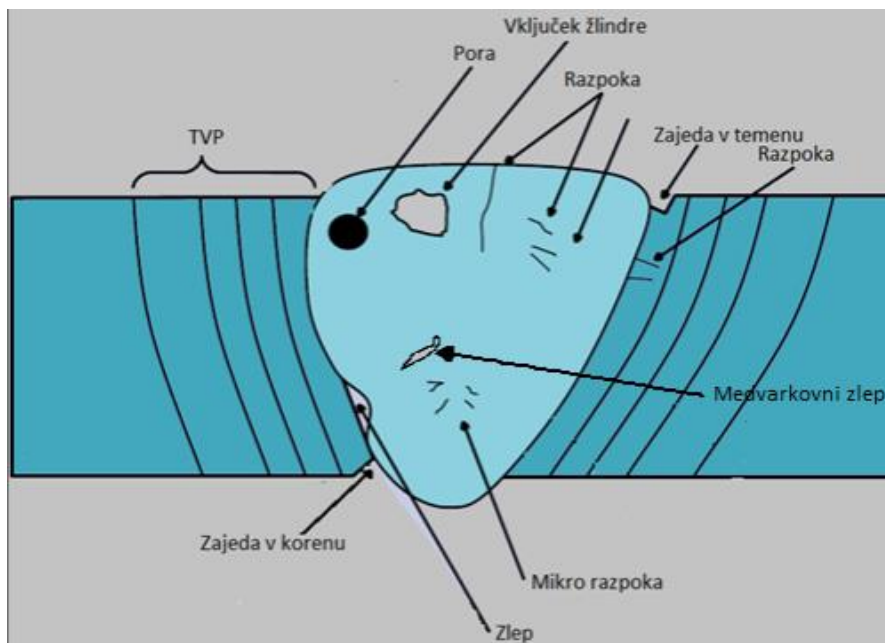


Slika 19: Oblikovne napake (*zamaknitev, zajeda, previsoko teme*)

Vir: (Arpad, 2010)

V zadnji skupini napak pa so najpogostejše: čezmerno brizganje, oksidirana površina zvara, vžig obloka izven zvarnega žleba in napake zaradi prevelikih spenjalnih zvarkov.

Slika 20 prikazuje najpogostejše napake, ki se pojavljajo na zvaru. V najvišjem kakovostnem razredu zvarnih spojev te niso dovoljene, pa čeprav gre za poro v sled ujetega plina v talini, razpoko zaradi prehitrega ohlajevanja vara ali pa nepretaljenega osnovnega materiala oziroma zlepa.



Slika 20: Napake na zvarnem spoju

Vir: (Struers, 2018)

3.1 Zlep

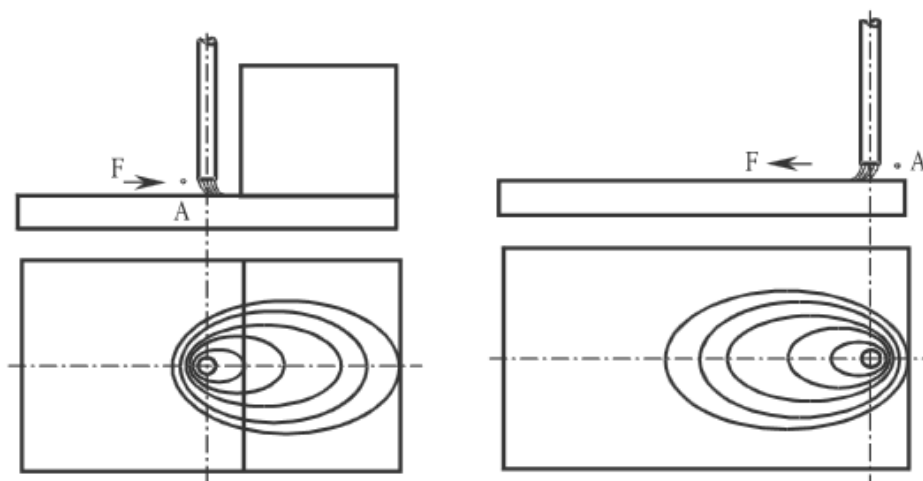
Zlep je varilska napaka oziroma napaka v zvarnem spoju, ko ne dosežemo popolne spojitve med dodajnim in osnovnim materialom, med dvema varkoma ali celo med dvema slojema varkov, pretežno samo iz dodajnega materiala. Zlep nastane med varjenjem, največkrat brez vednosti varilca ali operaterja pri stroju in ga je po varjenju vizualno ali z neporušnimi metodami zelo težko ali praktično nemogoče zaznati. Najpogosteje ga odkrijemo pri upogibnem poskusu celotnega zvarnega spoja, ko pride do porušitve preko zlepa z relativno nizko obremenitvijo. Porušitev navadno nastane preko zvarnega robu ali pa preko mej posameznih varkov, kar pomeni, da se je na tem mestu resnično nahajal zlep. Glavni razlog za nastanek zlepa je v ne dovolj visoki dovedeni energiji na mestu varjenja. To pomeni, da osnovni materiali v zvarnem žlebu ali pa predhodno izdelani varki niso ogreti do tališča, da bi se skupaj z raztaljenim dodajnim materialom razmešali in tvorili enoten spoj. Razloge za zlep ne smemo iskati v dodajnem materialu, ampak izključno v pripravi zvarnega žleba, v izdelavi varilne

tehnologije, skupaj z varilnimi parametri in v izvajanju odobrene tehnologije. V praksi se je pokazalo, da so sami varilci največkrat razlog za nastajanje zlepor. Dobro izučen varilec bo osnovni material raztalil z oblokom, ga "pomešal" z dodatnim materialom in tako ustvaril zvar. Podobno morajo postopati operaterji pri avtomatskem ali robotiziranem varjenju. (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAČA, 2001)

Vzrokov za nepretalitev zvarnega žleba oziroma predhodnega varka pa je več:

– Pihalni učinek

Pogostejša razloga za ta pojav sta elektromagnetna sila in mehanska sila zaradi delovanja prisotnega plina ali zraka iz okolice, kot je prepričan in podobno. Zaradi tako imenovanega pihalnega učinka se nam pri varjenju odkloni varilni oblok, zaradi česar nastane napačen odvod toplote in gibanje taline.

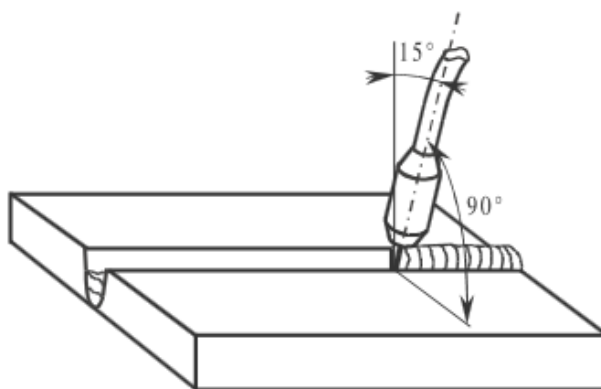


Slika 21: Primeri odklanjanja obloka zaradi delovanja elektromagnetne sile

Vir: (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAČA, 2001)

– Nepravilna lega gorilnika

Tudi nepravilna lega gorilnika je zelo pogosta napaka za nastanek zlepa. Če gre za ročno varjenje (MAG/MIG), jo najpogosteje povzroči varilec, če pa gre za avtomatizirano varjenje, pa napačno napisan program, ki poskrbi za napačno lego gorilnika med varjenjem. Pri ročnem varjenju se delavcu napačna lega gorilnika oziroma preveč položna drža le-tega pojavi, ker je v vodoravni legi varjenja boljši pogled na mesto varjenja, če je gorilnik pozicioniran položneje.

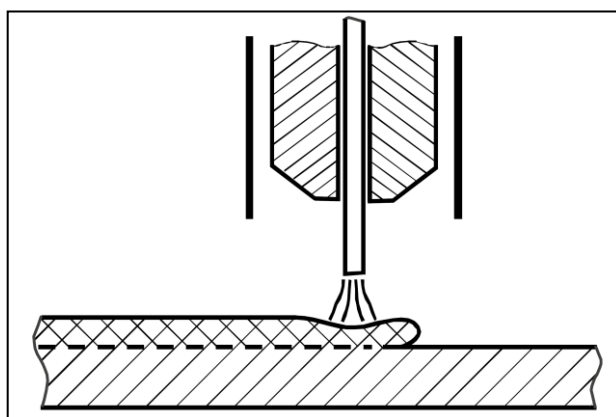


Slika 22: Priporočljiva lega gorilnika za varjenje MAG/MIG sočelnega zvarnega spoja

Vir: (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)

– Nekontroliran "pobeg" taline vara

Pri obločnem talilnem varjenju z dodatnim materialom (*ročno obločno varjenje, MAG/MIG-varjenje*) in še posebno pri visokoproduktivnih obločnih varjenjih (*TIME, LINDFAST, RAPID-ARC, RAPID-MELT-proces*), ko je med varjenjem prisotna velika količina taline, se pogosto lahko dogodi, da nam talina vara nekontrolirano pobegne naprej v smeri varjenja ali pa v kakšno drugo smer v levo ali desno stran od sredine vara. Pri tem talina že prehití oblok, prepreči ogrevanje zvarnega žleba in se med talino dodatnega materiala in osnovnim materialom tvori zlep. Druga težava, ki pri tem nastopi, pa je, da se nam talina razlije v levo ali desno stran neraztaljenega zvarnega žleba. (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)



Slika 23: Prikaz pobega taline vara v smeri varjenja

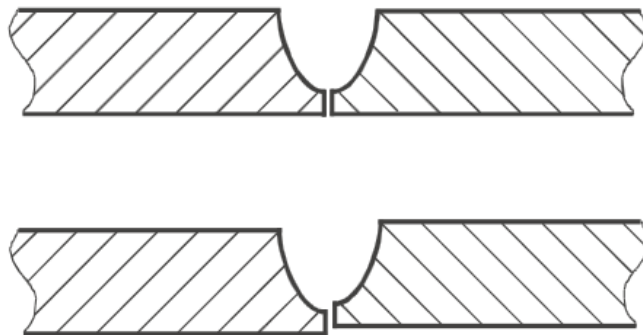
Vir: (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)

– Varjenje s prenizkim vnosom energije v varjenec

Na končno obliko in dimenzijo zvara pri talilnem varjenju imajo različen vpliv tudi varilni parametri. Če je parameter jakosti toka napačno nastavljen, to vpliva predvsem na globino vara in manj na njegovo širino. Na širino vara vpliva obločna napetost, ki spreminja dolžino obloka in širino vara. Na globino in širino pa vpliva hitrost varjenja.

– Nepravilna priprava zvarnega stika

Nepravilna priprava zvarnega stika dveh varjencev sama po sebi ni razlog za nastanek zlepa v zvaru, ampak lahko ustvari pogoje za njegov lažji nastanek. Najpogostejše napake pri pripravi iz varnega stika so premajhen kot posnetja, nepravilno razmerje med širino in globino U-vara, zamik enega varjenca proti drugemu in ne zadosti očiščena površina. Na sliki 24 sta prikazani dve prej omenjeni napaki. Zgoraj je premajhen kot poševno posnete stične ploskve, spodaj pa zamik enega varjenca proti drugemu. V obeh primerih obstaja nevarnost, da skoraj navpične ploskve med varjenjem ne bomo raztalili, da jo bo zalila talina vara, pretežno sestavljena iz dodatnega materiala, in z osnovnim materialom tvorila le zlep in ne popolne prevaritve. (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)

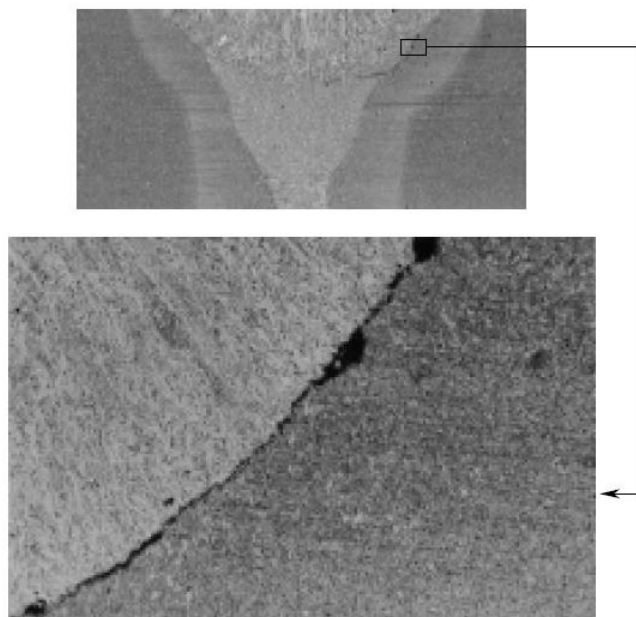


Slika 24: Napaki pri pripravi zvarnega stika, ki lahko povzročita ali pospešita nastajanje zlepa

Vir: (Tušek, ZLEP - ZAHRTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)

Do pojava zlepa torej pride zaradi varilskih napak med varjenjem, kot so pihalni učinek na oblok med varjenjem, nepravilna oz. preveč položna lega gorilnika, nepravilno vodenje taline vara in nepravilna priprava zvarnega žleba ali prenizki vnos energije v varjenec.

Zlep je vizualno ali z neporušnimi metodami, kot sta ultrazvok ali rentgen, zelo težko ali praktično nemogoče odkriti. (Tušek, ZLEP - ZAHRBTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)



Slika 25: "Črni" zlep v temenu vara V sočelnega zvarnega spoja (Makrobrus vara 4-krat zgoraj, 100-krat spodaj)

Vir: (Tušek, ZLEP - ZAHRBTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA, 2001)

4 ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

Kakovost je relativno širok pojem, ki mu je treba slediti in ga jemati resno. Zaradi tega v podjetju posvečajo veliko pozornosti zagotavljanju kakovosti na vsakem koraku, da bi zagotovili nemoten in zagotovljen proces od začetka pa vse do zaključka oz. končnega produkta. Tako je, kot sem že predhodno opisal, kontroli podvržen vsak segment tega procesa, ki je natančno določen in podkrepjen z ustreznim standardom ali certifikatom. Začne se z osnovnim ter dodajnim materialom, zaščitnim plinom in standardiziranimi procesi varjenja. Tudi varilci so ustrezno usposobljeni in atestirani, če ne gre za avtomatiziran proces varjenja, ki pa je ravno tako pod drobnogledom oz. kontrolo. Varilci imajo opravljen preizkus po SIST EN ISO 9606-1 : 2013 za kotni in sočelni zvar. Samo testiranje le-teh pa opravi zunanja za to usposobljena institucija, kot je TÜV AUSTRIA, DNV, LRS in podobni. Nad zvarjenci je izvedena interna kontrola, ki zajema: VT (*vizualno kontrolo*), UT (*ultrazvočno kontrolo*), MT (*preiskavo z magnetnimi delci*) ali PT (*penetrantsko preiskavo*). Izvedena je tudi zunanja kontrola, kot je RT (*radiografska preiskava*), makrospopska analiza, preskus trdnosti in porušitveni preskusi (*natezni, upogibni preskus*). Za slednji kontroli izbrana ustanova izda poročilo o preskušanju varilnega postopka, s katerega so razvidni osnovni podatki o preizkušancu in rezultati preiskav in preskusov, ki jih bom predstavil v nadaljevanju.

4.1 *Neporušitvene preiskave – NDT (not distriction testing)*

Neporušitvene preiskave izvajamo na zvarjencih samih, ki so neločljiv del zvarjene celote. Za ta namen uporabljamo naslednje metode:

- vizualne preiskave (VT),
- ultrazvočno kontrolo (UT),
- kontrolo s tekočimi penetrati (PT),
- radiografsko kontrolo (RT),
- kontrolo z magnetnimi delci (MT).

Glede na zahteve standardiziranega procesa se uporablja več od naštetih preiskav, s katerimi ugotovimo in potrdimo skladnost oziroma kakovost zvarnega spoja. Rezultati preiskave nam povedo, ali smo v okvirju dovoljenih odstopanj glede na tehnične specifikacije ter standarde. Same preiskave izvedejo v podjetju samem, pa tudi v zunanjem podjetju z ustrežno akreditacijo.

Oboji ustrezajo vsem potrebnim standardom z vsemi pripadajočimi certifikati, ravno tako ustrezno šolanim kadrom. V podjetju strokovno usposobljeno osebje opravlja preiskave vizualno, z ultrazvokom, s tekočimi penetranti in magnetnimi delci. Zunanje izbrano podjetje pa po potrebi opravi radiografsko preiskavo z nadaljnjo makro analizo dotičnega zvarnega spoja ter ostale porušitvene preskuse.

4.1.1 Vizualne preiskave (VT)

Pri tej preiskavi vizualno pregledajo zvarjenec na večja odstopanja oz. napake, do katerih kljub avtomatizaciji pride pri postopku varjenja. Zraven prostega očesa uporabljamo še pripomočke (slika 26) za boljše in hitrejše odkrivanje morebitnih napak.



Slika 26: Vizualni pregled s pomočjo pripomočkov (VT)

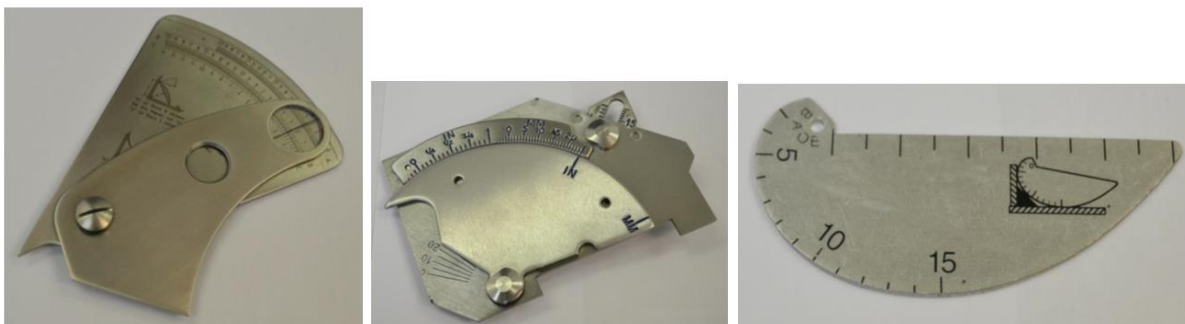
Vir: (Palfinger, 2018)

V podjetju kontrolo nad zvarjenci opravljajo po določenih točkah, ki jih predvideva Palfingerjeva norma. Pred oziroma med varjenjem kontrolirajo pripravo zvarnega roba, kot sta velikost topega roba in kot priprave. Preverijo ustreznost dodatnega materiala, če ustreza zahtevam delovnega navodila (WPS). Pred varjenjem kontrolirajo še pripravo zvarnega žleba na nečistoče, kot so prah, rja, škarje ali maščobe, ki jih po potrebi tudi odstranijo. Kot način za čiščenje površine pred preiskavo VT priporočajo brušenje, ščetkanje ali peskanje. Ravno tako je treba preveriti kakovost spenjalnih varkov in vsebnost vidnih hladnih razpok, kraterskih razpok v zaključkih spenjalnih varkih. Kontrolo opravijo v skladu z navodili določenega kakovostnega razreda po standardu SIST EN ISO 5817:2014. Med varjenjem kontrolirajo izvedbo spajanja oziroma izvedejo kontrolo preddeformacij in temperature med posameznimi

varki. Po kontroli izvedbe notranjih zvarov na zajede, pore in velikost zvara potrdijo zvarjenec z žigom ali označbo (*zeleno piko*) na za to določenih mestih. Kontrola po varjenju zajema vizualni videz zvarov (*velikost, položaj*), če so na zvaru obrizgi ali površinske pore. Preverijo višino zvara, ki je lahko $< 1 \text{ mm} + 0,1 \cdot b$ (b – *debelina materiala*), robne zajede med posameznimi varki, ki pa so lahko $< 0,5 \text{ mm}$ za kakovostni razred B ali C. Prav tako preverijo izvedbo iztekov oziroma zaključkov zvarov. Kontrola, ki se izvaja, zajema več pomembnih podrobnosti izvedbe vizualne kontrole:

- *Geometrija opazovanja* – pod tem pojmom razumemo – kot pogleda, pod katerim oko gleda površino in razdaljo med očesom in površino.
- *Kot pogleda* – naj bi bil 90° , da bi se lahko videla celotna površina. Možen je tudi manjši kot, vsekakor pa ne manjši kot 30° , ker obstaja možnost, da se pomembni koti ne opazijo več. Za izboljšanje kota pogleda opazovanja si pomagamo z zrcalom. Svetloba, ki pada na površino, naj bi vpadala s strani, kar omogoča ustvarjanje odtenkov, hkrati pa tudi okrepi celoten kontrast. Paziti moramo, da svetloba ne gre v oči opazovalca.
- *Razdalja opazovanja* – med očesom in opazovano površino je največ 60 centimetrov brez pripomočkov. Te uporabimo nad to razdaljo, ko gre za slabo dostopnost do preizkuševalne površine za odkrivanje finih razpok na površini. Če pa površina ni dostopna za normalen pregled, pa za pregled uporabimo tako imenovani endoskop.
- *Osvetlitev površine* – osvetljena mora biti z dnevno ali belo svetlobo, katere jakost ne sme biti prevelika in še omogoča odkrivanje zahtevnih detajlov na kontrolirani površini. Ta jakost je praviloma 500 luksov za navadne kontrole in 1000 luksov za zahtevnejše, kot so razpoke ipd.
- *Vrednotenje ostrosti bližnjega videnja* – se dogaja periodično v obliki opravljanja letne kontrole vida osebe, ki kontrolo izvaja. Gre za človeško oko oziroma senzor, ki ga je treba redno kalibrirati.

Meril, ki jih uporabljamo, je več in so prilagojena na način meritve višine zvarnega spoja. Slika 27 prikazuje merilnik Inox, »polž« in Cambridge, s katerimi lahko na zvaru izmerimo vse potrebno za njegovo vrednotenje.



Slika 27: Merilnik Inox, »polž« in Cambridge

Vir: (Palfinger, 2018)

4.1.2 Ultrazvočna kontrola (UT)

Pri tem preizkusu zvočni valovi v obliki snopa delujejo na trdo telo oziroma preizkušane z določeno hitrostjo, ki je večja, čim večja je napetost v lokalnem območju. Ultrazvočno valovanje se tako odbija nazaj v ultrazvočno glavo naprave in nam na ekranu optično prikaže rezultate meritve oziroma napako tam, kjer odstopa odboj ultrazvoka. Za to so lahko krivi vključki žlindre, poroznost, razpoka ali mesto zlepa.



Slika 28: Ultrazvočni pregled s pomočjo instrumenta

Vir: (Instro, 2018)

Namen ultrazvočne neporušitvene preiskave je odkrivanje notranjih nehomogenosti ali prekinitev, nepopolnosti oblike in velikosti. Obseg ultrazvočnega pregleda nam določijo zahteve konstrukterja, ki so podane na načrtu za posamezni zvar. Predhodno je treba površine pripraviti in očistiti. Za omogočanje zadovoljivega stika mora biti površina gladka, ker v nasprotnem primeru privede do napačne razlage napake. Po opravljenem čiščenju se na podlagi

namena pregleda, zahtev in specifikacije izbere eden izmed merilnih ultrazvočnih detektorjev. To je odvisno od več dejavnikov:

- debeline in oblike materiala in stanja površine,
- vrste in metalurško stanje testiranega materiala,
- tipa, lege in usmeritev za nepravilnosti, ki so bile odkrite.

Po izbiri ultrazvočnega detektorja je treba nastaviti še ostale parametre naprave, kot sta razpon in občutljivost.

V vseh testnih metodah, ki uporabljajo tehniko impulza, je časovna baza ultrazvočnega instrumenta določena na način, da je trajanje širjenja zvoka ali nekaterih drugih parametrov, ki so neposredno povezani z njo, navedeno na zaslonu. Ti parametri vključujejo ultrazvočno pot do reflektorja, njeno globino pod površino testiranja, njegovo projekcijo razdalje ali njegovo skrajšano projekcijo razdalje. Nastavitev časovne baze se izvede v dveh primerljivih odmevih z znano časovno razdaljo med njima. Razdalja med primerljivimi odboji znotraj časovnega obdobja je navadno tako velika, kot je mogoče. Levi rob vsakega naraščajočega odmeva se določi z uredbo osnovnega premika časa in širitev, tako da ustreza predhodnemu stališču, ki je vidno vzdolž vodoravne mreže na zaslonu. (P-NORM, 2018)

Ko je kalibriran čas, se mora občutljivost nastaviti v ultrazvočni aparat. Metode, ki se pri tem uporabljajo, so:

- Enojna reflektorska tehnika – Pri ocenjevanju odmeva v istem območju ultrazvočne dolžine poti se lahko uporabi samo en primerljiv reflektor na zadnji steni ali utoru.
- DAC (*dolžina – Amplituda Curve*) diagram tehnika. Ta tehnika uporablja amplitude odbojev od črte enakih reflektorjev (*npr. stranske vrtine ali ravno dno*) na različnih ultrazvočnih poteh dolžin v ustreznih blokih.
- AVG-diagram (*Distance Gain Velikost – DGS*). (P-NORM, 2018)

Po opravljenem preskusu je treba k ugotovitvam dodati poročilo, ki mora vsebovati vse potrebne podatke o ultrazvočnem preskusu, kot so:

- zahteve, ki se nanašajo na pogodbo, smernice o posebnih dogovorih itd.,
- kraj in datum testiranja,
- ime preskusnega laboratorija, potrdila, ime in preizkus glavnega preiskovalca,

- ime nadzornika,
- podatke testne opreme,
- podatke o instrumentu,
- podatke sond,
- podatke referenčnih blokov,
- podatke o preskusnem postopku,
- testiranje oz. obseg,
- položaj preskusne površine,
- referenčne točke in podatke o uporabljenem koordinatnem sistemu,
- območje nastavitve,
- tip in numerične vrednosti nastavitve občutljivosti,
- predlog o amplitudi,
- standard o sprejemljivosti,
- odstopanja od tega standarda. (P-NORM, 2018)

Na koncu se navedejo še rezultati testov, kot je navedba globine, navedba dolžine in največji »echo« amplitude ter rezultati ocene o sprejemljivosti preskusa.

4.1.3 Kontrola s tekočimi penetranti (PT)

Kontrola s tekočimi penetranti se opravi od štiriindvajset do osemindvajset ur po varjenju. Z njo odkrivamo površinske nehomogenosti, ki sežejo do površine in so na površini odprte (*razpoke, vključki, zlepi*). Za preiskavo je treba uporabiti sredstva (*čistilo, penetrant in razvijalec*) istega proizvajalca. Kontroliramo koren zvara s približno desetimi milimetri osnovnega materiala. Predhodno je treba površino očistiti nečistoč do suhega stanja, nato pa s pršenjem ali mazanjem na površino naneseemo penetrant, ki je na preskušancu do šestdeset minut. Pri kontroli s fluorescentnimi penetranti, kot kaže slika 28, uporabljamo UV-svetilko. Pri običajnih preiskavah s penetranti pa se uporablja lupa, prenosna luč, za dokumentiranje pa se lahko uporabi fotoaparati.



Slika 29: Pregled s tekočimi penetranti (PT)

Vir: (ZAG, 2018)

Naloga preizkuševalca, ki je za preskus strokovno usposobljen, je:

- da pripravi vse potrebo za pregled,
- da razčisti morebitne nejasnosti in zahteva manjkajoče podatke,
- da opravi pregled skladno z zahtevami in navodili,
- da napravi zapis o pregledu in pripravi poročilo,
- da nedvoumno označi mesta, ki jih je treba popraviti.

Po opravljenem pregledu kontrolor vsa opažanja zabeleži v zapis, ki mora ravno tako vsebovati vse potrebne podatke za izdelavo poročila, skice in ocene. Poročilo mora vsebovati:

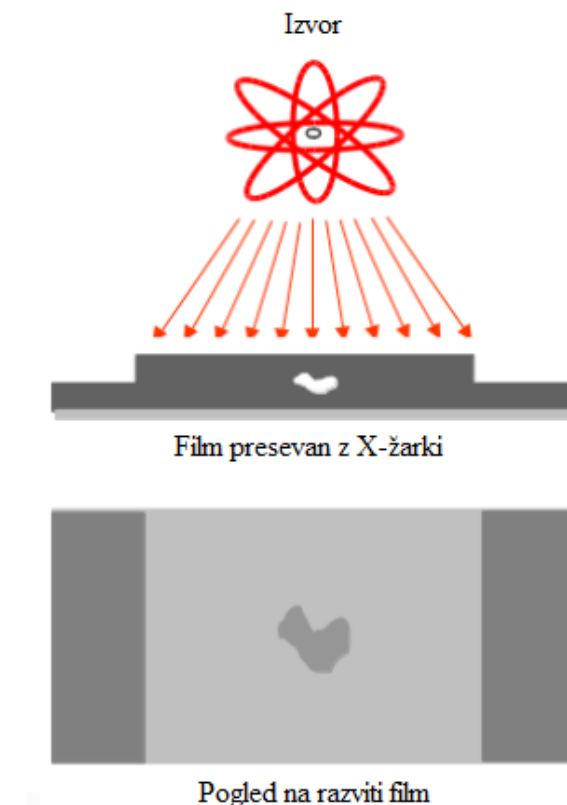
- ime naročnika oz. proizvajalca, kraj in datum pregleda,
- referenčne standarde, predpise, navodila,
- podatke o predmetu pregleda,
- zahteve naročnika,
- ime preizkuševalca in ustanove,
- material, vrsto spoja, postopek varjenja,
- obseg pregleda, dolžino pregledanih zvarov,
- vrsto pregleda (*pregled priprave, pregled med varjenjem, končni pregled*),
- tip uporabljenega penetranta, sarže komponent,
- porabljeni čas pri preiskavi (*penetriranje, čiščenje, sušenje, razvijanje*),

- vrsto sredstva za izpiranje penetranta,
- uporabo pripomočkov,
- ugotovitve in zaključek. (P-NORM, 2018)

Sprejemljivost napak se ocenjuje glede na zahteve standardov, predpisov ali posebnih zahtev naročnika (*morajo biti navedene*). (P-NORM, 2018)

4.1.4 Radiografska kontrola (RT)

Radiografska kontrola se opravi s tako imenovanim rentgenom, ki s pomočjo X- ali žarkov gama in ustvarjenim ionizirajočim sevanjem oziroma elektromagnetnim valovanjem visokih energij preseva vzorec. Potrebna napetost za prodor žarkov do globine 100 mm v železo je 400 kV. Tako se pokažejo morebitne volumetrične napake v notranjosti materiala oziroma zvara. Pri takšnih napakah je zmanjšana intenziteta sevanja, kar se dobro vidi na filmu (*slika 30*).

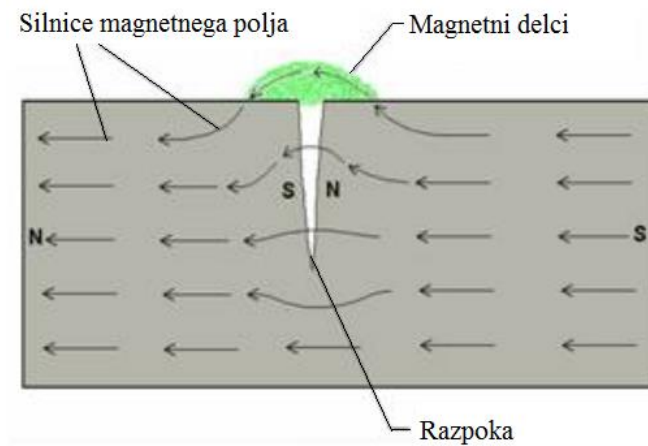


Slika 30: Radiografski pregled (RT)

Vir: (Qtechna, 2018)

4.1.5 Kontrola z magnetnimi delci (MT)

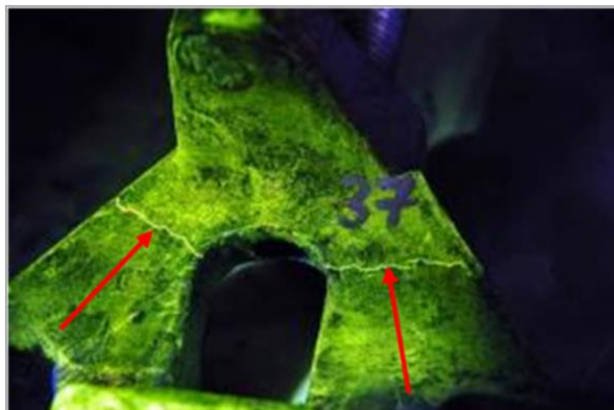
Pri tej preiskavi lahko vidimo površinske razpoke, na katerih se zaradi distroziije magnetnega polja magnetni delci nakopičijo na napaki. Magnetno polje ustvarimo umetno z direktno ali indirektno indukcijo. Silnice magnetnega polja tako spremenijo smer poteka in tečejo skozi magnetne delce, ki se tako primejo površine na napaki, kar lahko vidimo na sliki 31.



Slika 31: Potek magnetnega polja

Vir: (Qtechna, 2018)

Na sliki 32 vidimo rezultat kontrole oziroma razpoko v materialu, na katero so se prijeli magnetni delci.



Slika 32: Kontrola z magnetnimi delci (MT)

Vir: (ZAG, 2018)

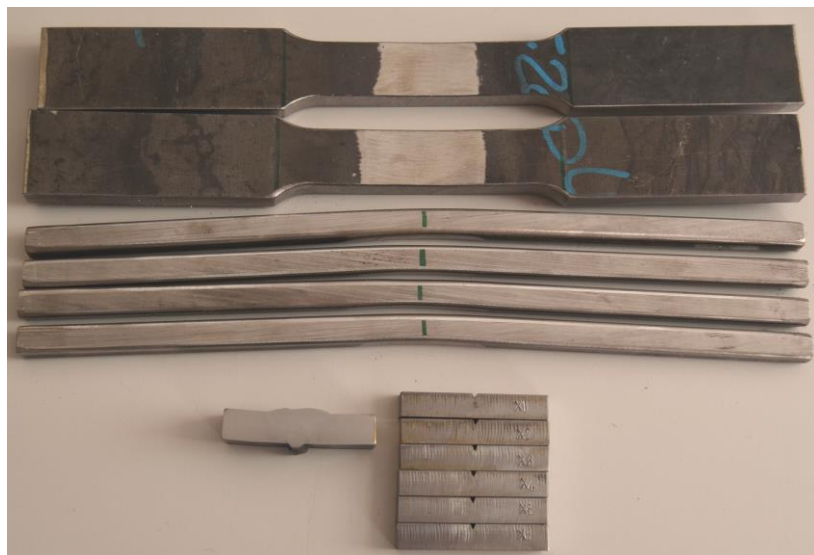
Zraven razpok s tem površinskim testiranjem lahko odkrijemo še pore in vključke, ki povzročajo površinsko nehomogenost. Za tovrstni pregled materiala morajo biti na voljo osnovni podatki:

- namen in predmet pregleda,
- katere faze proizvodnje so zajete v pregledu (*priprava, varjenje, popravilo, toplotna obdelava, končno stanje*),
- preskus del gradiva,
- način in postopek varjenja,
- meritve, oblika proizvoda (*oblikovanje*),
- kriterij sprejemljivosti ali standard.

Po opravljenem pregledu se oceni sprejemljivost napak v skladu z zahtevanim standardom, predpisi ali posebno zahtevo stranke, ki jo predhodno določi.

4.2 Porušitvene preiskave – DT (*distraction testing*)

To vrsto preiskave izvede zunanje izbrano podjetje, ki mu predložimo preskušance oziroma epruvete za testiranje (*slika 33*), ki so podvržene nateznemu in upogibnemu preizkusu, preizkusu žilavosti ter meritvi trdote. Zraven metalografske preiskave se opravijo tudi neporušitvene preiskave: vizualna, penetrantska in radiografska preiskava, ki jih opravljajo v podjetju samem. Slednje se ocenijo z oznako dosežena kakovost ali sprejemljivo. Porušitvene preiskave pa so opremljene s konkretnimi vrednostmi posameznih preskusov oziroma meritev, kot bo v nadaljevanju prikazano za obe vrsti zvarov (*HV in V-zvar*).



Slika 33: Epruvete za porušitvene preiskave

Vir: (Palfinger, 2018)



Slika 34: Epruvete po preiskavi

Vir: (Palfinger, 2018)

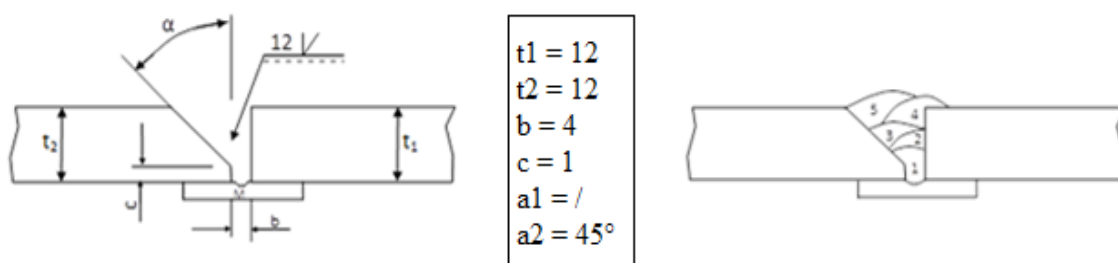
4.2.1 Parametri varilnega postopka (HV-zvar)

V nadaljevanju je prikazanih nekaj pomembnih parametrov varilnega postopka, nekateri od njih so bili predhodno podrobneje opisani. Gre za parametre, ki imajo pomembno vlogo pri varilnem postopku in so praviloma navedeni na Poročilu o varjenju.

Proizvajalec	PALFINGER d.o.o. Jaskova 18 2000 Maribor
Delovni nalog DN	9048
Kraj in datum varjenja	Maribor, 19. 7. 2018
Način varjenja	135 – avtomatično
Vrsta zvara	HV – polovični V-zvar
Preskuševalna ustanova	Institut za varilstvo d.o.o. Ptujška 19, SI-1000Ljubljana
Priprava zvarnega spoja	rezanje, brušenje
Osnovni material	plošča S690QL
Debelina osnovni material [mm]	12.00
Lega varjenja	PA
Smernica/standard	EN ISO 15614-1
Dodajni material	EN ISO 16834-A: G 69 4 M Mn3Ni1CrMo (ESAB OK AristoRod 69)

Zaščitni plin	EN ISO 14175: M21 (Ar + 18 % CO ₂)
Pretok plina	12–16 l/min
Medvarkovna temperatura	80–244 °C
Pulzno varjenje	Spray arc
Oddaljenost šobe od varjenca	~ 12–18 mm
Nagib gorilnika	75° / 15°

Slika 35 prikazuje pripravo zvarnega spoja z vsemi vrednostmi HV-zvara z neodstranljivo podložno letvijo ter zaporedje varjenja oziroma lego posameznih varkov.



Slika 35: Priprava HV-zvarnega spoja (*levo*) in zaporedje varjenja (*desno*)

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

V tabeli 7 so podrobneje prikazani posamezni parametri varjenja, ki so razdeljeni na vsak varek posebej. Tako je iz tabele razviden način varjenja, premer dodatnega materiala in njegova hitrost podajanja ter napetost, jakost toka in temperatura pri posameznem zvarku. Ne nazadnje so navedeni tudi vnosi energije, ravno tako glede na določen zvarek.

Tabela 7: Parametri varjenja (*HV-zvar*)

Varek št./ Prehod / ++	Nač. var.	Dod. mat. $\varnothing$ [mm]	T [°C]	Jakost toka [A]	Nap. var. [V]	Vrsta toka / polariteta	Hitrost varjenja [cm/min]	Hitrost var. žice [m/min] (*)	Vnos energije [kJ/cm] (*) $f=0,8$
1	135	1,2	RT	235	28,7	DC(+)	40	9,1	8
2	135	1,2	150	245	29,9	DC(+)	43	8,9	8,1
3	135	1,2	193	243	30	DC(+)	48	8,9	7,3
4	135	1,2	170	244	29,8	DC(+)	41	8,5	8,5
5	135	1,2	244	220	30,1	DC(+)	38	8,6	8,3

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

4.2.2 Rezultat preiskave predvidenega HV-zvar

V nadaljevanju so v tabelah predstavljeni rezultati preskusov na HV-zvaru. V tabeli 8 so prikazani rezultati nateznega preskusa z vrednostma natezne trdnosti, ki so v nedovoljenem območju. Rezultati ne dosežejo minimalne natezne trdnosti, ki je v tem primeru 770 N/mm².

NATEZNI PRESKUS – SIST EN ISO 4136:2013

Tabela 8: Rezultati nateznega preskusa (HV-zvar)

Vzorec	Dimenzije preskušanca $a, \bar{E} \times b$ [mm]	S_0 [mm ²]	F_m [kN]	R_m [N/mm ²]	A [%]	Mesto porušitve	Opombe
W1	11,31 x 25,04	283,2	219,09	724	/	Zvar	$R_m > R_{min}$
W2	11,68 x 25,09	293	227,09	763	/	Zvar	$R_m > R_{min}$
Zahteva: EN 10025-6 (S690QL); 770–940 N/mm ²							

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Tabela 9 prikazuje rezultate upogibnega preskusa na štirih vzorcih. Prva vzorca, ki sta bila preskušena na upogib preko korena zvara, sta preskus prestala brez porušitve. Slednja vzorca, ki sta bila preskušena preko temena zvara, pa sta se zaradi napake na zvaru v predelu korena porušila.

UPOGIBNI PRESKUS – SIST EN ISO 5173:2010

Tabela 9: Rezultati upogibnega preskusa (HV-zvar)

Vzorec	Stran v nategu	Deb. presku. t_s [mm]	Širina presku. b [mm]	Razmik med podporama [mm]	Premier trna $\phi = (100 \times t_s) / A - t_s$ [mm]	Doseže ni kot [°]	Opombe
W1	Side	10	12	90	60	180	Sprejemljivo
W2	Side	10	12	90	60	180	Sprejemljivo
W3	Side	10	12	90	60	95	Nesprejemljivo
W4	Side	10	12	90	60	135	Nesprejemljivo
Zahteva: SIST EN ISO 15614-1; $\phi = (100 \times t_s) / A - t_s$, $\alpha = 180^\circ$							

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

V tabeli 10 vidimo vrednosti preskusa žilavosti na šestih vzorcih po Charpyju. Vrednosti so kljub ostalim preskusom v mejah normale zaradi minimalnega odstopanja le-teh.

PRESKUS ŽILAVOSTI – SIST EN ISO 148-1:2017; SIST EN ISO 9016:2013

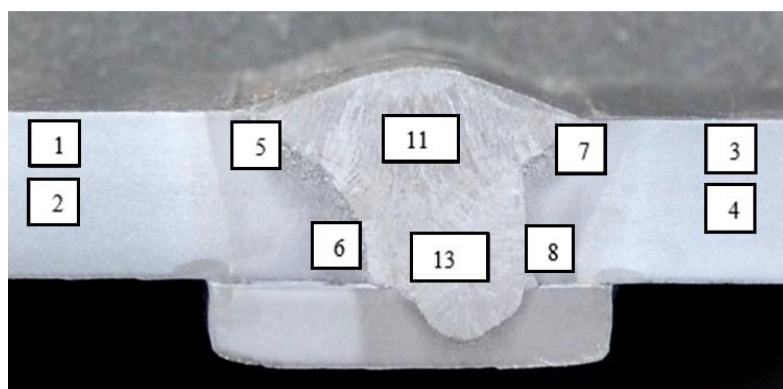
Tabela 10: Rezultati preskusa žilavosti (HV-zvar)

Vzorec	Širina [mm]	Višina	S_0 [mm ²]	KV ₂ [J] ⁴⁾	KV ₂ – preračunano [J/cm ²]	KV ₂ – povprečje [J]	Lega zareze
W1	10,03	8,04	80,6	46	57	50 ± 3 (62 ± 3,7)	VWT 0/1
W2	10,02	8,05	80,6	50	62		VWT 0/1
W3	10,03	8,02	80,4	54	67,2		VWT 0/1
W4	10,02	8,03	80,4	32	39,8	43 ± 2,6 (53,1 ± 3,2)	VHT 1/1
W5	10,02	8,03	80,4	54	67,2		VHT 1/1
W6	10,03	8,01	80,3	42	52,3		VHT 1/1
Zahteva: EN 10025-6 (S690QL); ≥ 27 J at -40 °C							

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Slika 36 nam prikazuje mesta, kjer je bil opravljen preskus trdote po Vickersu, katerega vrednosti so prikazane v tabeli 11. Gre za preskus vseh označenih območij na več mestih za toplotno nevplivno in toplotno vplivno območje ter zvar. Vrednosti so praviloma v mejah dovoljenega. Le v toplotno vplivnem območju na korenu zvara z oznako št. 8 zasledimo med mejnimi vrednostmi minimalno prekoračitev dovoljene trdote, ki kaže na zakalitev materiala v sled nepravilnega odvajanja toplote oziroma prehitrega ohlajanja taline.

MERITEV TRDOTE – SIST EN ISO 6507-1:2018; SIST EN ISO 9015-1:2012



Slika 36: Skica leg vtisov (HV-zvar)

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

⁴ Trenje naprave

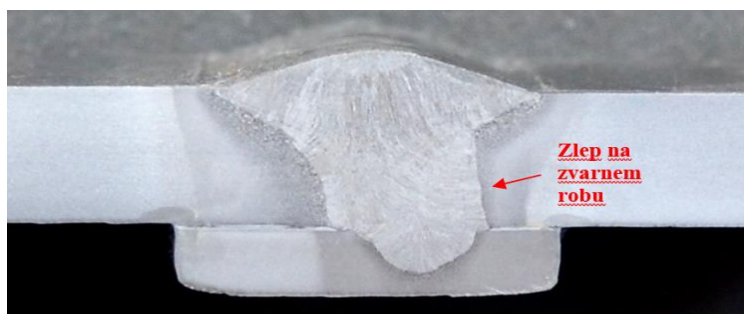
Tabela 11: Rezultati meritve trdnosti (HV-zvar)

		Območje	Lega vtiskov	Izmerjene vrednosti (HV 10)
Osnovni material	Toplotno nevplivano območje	1	OM, nevplivan, površina	248, 250, 248
		2	OM, nevplivan, sredina	273, 272, 275
		3	OM, nevplivan, površina	261, 259, 261
		4	OM, nevplivan, sredina	262, 262, 262
	Toplotno vplivano območje	5	OM, TVC, teme zvara	314, 306, 301, 278, 304
		6	OM, TVC, koren zvara	243, 247, 250, 225, 252
		7	OM, TVC, teme zvara	275, 306, 309, 315, 280
		8	OM, TVC, koren zvara	351, 423, 456, 418, 363
		9	OM, TVC, notranjost korena	/
		10	OM, TVC, notranjost korena	/
Zvar		11	Var, krovni sloj	269, 270, 270
		12	Var, krovni sloj	/
		13	Var, koren zvara	234, 230, 232
		14	Var, notranjost korena	/
Zahteva: SIST EN ISO 15614-11:2003 – group 3.1: max. 450 HV10				

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

V nadaljevanju je prikazana še zadnja preiskava testiranega HV-zvara, in sicer metalografska preiskava, pri kateri s pomočjo povečave vidimo napako na zvarnem spoju, o kateri so nam predhodno govorili rezultati opravljenih preskusov. Na sliki 37 je lepo viden pogost pojav varilske napake – zlep na zvarnem robu, ki pomeni nedopustno odstopanje oziroma napako.

METALOGRAFSKE PREISKAVE (*Metallographic Tests*) – SIST EN ISO 17639:2013



Slika 37: Makroskopska povečava (2-krat) (HV-zvar)

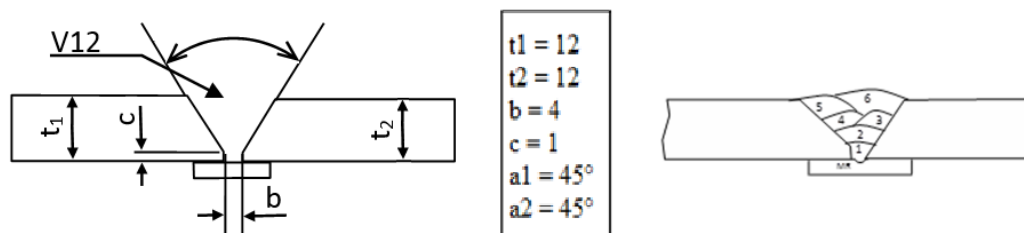
Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

4.2.3 Parametri varilnega postopka (V-zvar)

Tudi tukaj so ravno tako kot v primeru HV-zvara nanizani pomembni parametri varjenja, katerih podrobnejši opis je zgoraj.

Proizvajalec	PALFINGER d.o.o. Jaskova 18 2000 Maribor
Delovni nalog DN	9062
Kraj in datum varjenja	Maribor, 1. 8. 2018
Način varjenja	135 – avtomatsko
Vrsta zvara	V-zvar
Preskuševalna ustanova	Institut za varilstvo d.o.o. Ptujška 19, SI-1000Ljubljana
Priprava zvarnega spoja	rezanje, brušenje
Osnovni material	plošča S690QL
Debelina osn. mat. [mm]	12.00
Lega varjenja	PA
Smernica/standard	EN ISO 15614-1
Dodajni material	EN ISO 16834-A: G 69 4 M Mn3Ni1CrMo (OK AristoRod 69)
Zaščitni plin	EN ISO 14175: M21 (Ar + 18 % CO ₂)
Pretok plina	14–16 l/min
Medvarkovna temp.	140 °C
Pulzno varjenje	Spray arc
Oddalj. šobe od varjenca	~ 12–18 mm
Nagib gorilnika	90°

Slika 38 prikazuje pripravo zvarnega spoja z vsemi vrednostmi V-zvara z neodstranljivo podložno letvijo ter zaporedje varjenja oziroma lego posameznih varkov.



Slika 38: Priprava V-zvarnega spoja (levo) in zaporedje varjenja (desno)

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Tabela 12 enako kot tabela 7 prikazuje zelo podobne parametre varjenja z razliko enega dodatnega varka, ki ga je zaradi geometrije zvarnega spoja treba dodati.

Tabela 12: Parametri varjenja (V-zvar)

Varek št./ Prehod / ++	Nač. var.	Dod. mat. $\varnothing$ [mm]	T [°C]	Jakost toka [A]	Nap. var. [V]	Vrsta toka / polariteta	Hitrost varjenja [cm/min]	Hitrost var. žice [m/min] *)	Vnos energije [kJ/cm] *) $f=0,8$
1	135	1,2	RT	233	28,8	DC(+)	39	9,0	7,9
2	135	1,2	148	243	29,7	DC(+)	42	8,7	8,0
3	135	1,2	190	240	30	DC(+)	46	8,7	7,1
4	135	1,2	168	241	29,9	DC(+)	40	8,3	8,3
5	135	1,2	241	217	30	DC(+)	37	8,4	8,1
6	135	1,2	241	217	30	DC(+)	37	8,5	8,2

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

4.2.4 Rezultat preiskave izbranega V-zvara

V nadaljevanju so v tabelah predstavljeni rezultati preskusov na V-zvaru. V tabeli 13 so prikazani rezultati nateznega preskusa z vrednostmi, ki so v mejah dovoljenega. Če spomnim, so pri prejšnjem primeru HV-zvara te vrednosti pri obeh vzorcih odstopale od dovoljenega v sled ugotovljene varilske napake.

NATEZNI PRESKUS – SIST EN ISO 4136:2013

Tabela 13: Rezultati nateznega preskusa (V-zvar)

Vzorec	Dimenzije preskušanca $a, \bar{E} \times b$ [mm]	S_0 [mm ²]	F_m [kN]	R_m [N/mm ²]	A [%]	Mesto porušitve	Opombe
W1	11,93 X 24,91	297,2	237,9	800	/	Zvar	$R_m > R_{min}$
W2	11,91 X 24,95	297,1	237,4	799	/	Zvar	$R_m > R_{min}$
Zahteva: EN 10025-6 (S690QL); 770–940 N/mm²							

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Kot v predhodnem primeru so tudi tukaj vrednosti presušenih vzorcev na upogib preko korena in temena, a tokrat so vrednosti v mejah dovoljenega in tako sprejemljive.

UPOGIBNI PRESKUS – SIST EN ISO 5173:2010

Tabela 14: Rezultati upogibnega preskusa (V-zvar)

Vzorec	Stran v nategu	Deb. presku. t_s [mm]	Širina presku. b [mm]	Razmik med podporama [mm]	Premier trna $\phi = (100 \times t_s) / A - t_s$ [mm]	Doseženi kot [°]	Opombe
W1	Side	10	12	90	60	180	Sprejemljivo
W2	Side	10	12	90	60	180	Sprejemljivo
W3	Side	10	12	90	60	180	Sprejemljivo
W4	Side	10	12	90	60	180	Sprejemljivo
Zahteva: SIST EN ISO 15614-1; $\phi = (100 \times t_s) / A - t_s$, $\alpha = 180^\circ$							

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

V tabeli 15 je prikazan preskus žilavosti po Charpyju na vseh vzorcih in brez odstopanj.

PRESKUS ŽILAVOSTI – SIST EN ISO 148-1:2017; SIST EN ISO 9016:2013

Tabela 15: Rezultati preskusa žilavosti (V-zvar)

Vzorec	Širina [mm]	Višina	S_0 [mm ²]	KV_2 [J] ⁵	KV_2 – preračunano [J/cm ²]	KV_2 – povprečje [J]	Lega zareze
W1	10	8,01	80,3	53	/	52 J	Center vara
W2	10	8,01	80,3	50	/		
W3	10	8,01	80,3	53	/		

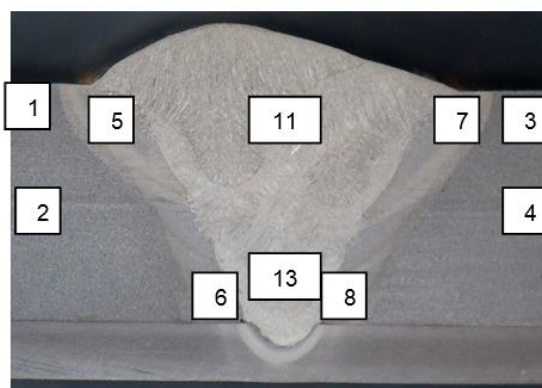
⁵ Trenje naprave

W4	10	8,00	80,2	55	/	53 J	Na fuzijski črti
W5	10	8,01	80,3	45	/		
W6	10	8,01	80,2	58	/		
W7	10	8,02	80,4	90	/	72 J	V HAZ, 2 mm od fuzijske črte
W8	10	8,02	80,4	75	/		
W9	10	8,02	80,4	50	/		
Zahteva: EN 10025-6 (S690QL); ≥ 27 J at -40 °C							

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Na sliki 39 so prikazana mesta testiranja, ki so kot vsi preskusi ali meritve določeni s standardom. Tudi ta meritev je brez odstopanj.

MERITEV TRDOTE – SIST EN ISO 6507-1:2018; SIST EN ISO 9015-1:2012



Slika 39: Skica leg vtisov (V-zvar)

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Tabela 16: Rezultati meritve trdnosti (V-zvar)

		Območje	Lega vtiskov	Izmerjene vrednosti (HV 10)
Osnovni material	Toplotno nevplivano območje	1	OM, nevplivan, površina	325, 318, 320
		2	OM, nevplivan, sredina	318, 322, 320
		3	OM, nevplivan, površina	318, 322, 324
		4	OM, nevplivan, sredina	320, 318, 334
	Toplotno vplivano območje	5	OM, TVC, teme zvara	300, 305, 303, 261, 285
		6	OM, TVC, koren zvara	246, 249, 231, 255, 226
		7	OM, TVC, teme zvara	310, 300, 290, 339, 240
		8	OM, TVC, koren zvara	243, 239, 260, 243, 222

		9	OM, TVC, notranjost korena	/
		10	OM, TVC, notranjost korena	/
Zvar		11	Var, krovni sloj	269, 270, 270
		12	Var, krovni sloj	/
		13	Var, koren zvara	234, 230, 232
		14	Var, notranjost korena	/
Zahteva: SIST EN ISO 15614-1 – group 3.1: max. 450 HV10				

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

Metalografska in tako zadnja preiskava testiranega V-zvara nam pove, da je alternativno izbran zvarni spoj brez makroskopsko vidnih napak in je tako boljša izbira.

METALOGRAFSKE PREISKAVE (*Metallographic Tests*) – SIST EN ISO 17639:2013



Slika 40: Makroskopska povečava (2-krat) (V-zvar)

Vir: (Institut za varilstvo, 2018)

5 SKLEP

V diplomskem delu sem skušal s pomočjo konkretnega primera izvedbe zvarnega spoja približati resnost ugotavljanja in zagotavljanja kakovosti na samem procesu, kakor tudi primerne izbire materialov in ostalih segmentov procesa, kot je zvarni spoj. Ker je v današnjem času zelo pomembna kakovost končnega produkta, velika konkurenca pa ne dopušča, da bi se zadovoljili z oceno dobro, si podjetje Palfinger prizadeva na vsakem koraku delovnega procesa zagotoviti le največjo možno kakovost. Tako je vsak segment tega procesa določen s standardom, kar prispeva k dodatnemu zvišanju kakovosti posameznega segmenta in s tem končnega produkta. Kljub vsemu pa ne smemo pozabiti na specifičnost postopka varjenja, ki lahko kljub vsem standardom spremeni želeni rezultat preiskav in preskusov, ki so jim na koncu podvrženi končni produkti oziroma varjenci. Preiskave pa s konkretnimi vrednostmi potrdijo ali ovržejo pričakovano kakovost procesa varjenja. Tako lahko te rezultate v nadaljevanju uporabimo za izboljšanje procesne zanesljivosti varilnega postopka, kar je tudi namen tega diplomskega dela. Ker pa ni popolnega zvara, je zmeraj prostor za izboljšave, k čemu prispevajo ravno takšni podatki.

Neporušitvene preiskave, kot so na primer vizualna, penetrantska in radiografska preiskava prvega, torej HV-zvara, so nam pokazale, da je zvarni spoj v mejah dovoljenega oziroma sprejemljiv za kakovostni razred B. Porušitvene preiskave (natezni, upogibni in preskus žilavosti ter meritev trdote) pa so nam pokazale, da so vrednosti preskušane HV-zvara pri naštetih preskusih, razen preskusa žilavosti, izven mej dovoljenega. Vzrok teh vrednosti nam je podrobneje prikazala metalografska preiskava, kjer je bila videti napaka na zvaru – zlep. Ker je zlep pogost pojav pri zvarnih spojih iz različnih razlogov, v dotičnem primeru predvidevamo, da je do tega pojava prišlo zaradi oblike zvarnega spoja oziroma s tem povezanega nepravilnega odvoda toplote. Neporušitvene preiskave drugo preiskovanega V-zvara so ravno tako pokazale sprejemljiv rezultat brez odstopanj. Porušitvene preiskave, predvsem natezni, upogibni in preskus trdnosti drugega preizkušnca, pa so pokazale občutno boljše vrednosti kot pri predhodnem HV-zvaru. Tudi ugotovitev makroskopske preiskave je pokazala, da je zvar brez makroskopsko vidnih napak. Preskus žilavosti je prav tako bil brez posebnosti.

Rezultati preiskav so nam torej pokazali, da so bile vrednosti nateznega preskusa pod mejo dovoljenega, vrednosti upogibnega preskusa negativne in meritve trdnosti previsoke, torej so rezultati nesprejemljivi. Tudi metalografska preiskava preskušane vzorca je pokazala napako

na zvarnem spoju, kar je še dodatno potrdilo našo domnevno vprašljivost izbire HV-zvara kot pravo izbiro za dotično konstrukcijo.

Vrednosti nateznega preskusa, ki so bile pri prvem vzorcu 724 N/mm^2 in pri drugem vzorcu 763 N/mm^2 , so nakazale, da gre za napako na zvarnem spoju. Zahtevane vrednosti opravljenega nateznega preskusa za izbrani material S690QL po standardu SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 pa so med 770 in 940 N/mm^2 . Tudi upogibni preskus je nakazoval napako v korenu zvarnega spoja, ker se je porušitev pojavila pri preskusu čez teme zvara. Prav tako previsoka vrednost trdnosti, ki je prekoračila mejo 450 HV , govori o zakalitvi v zvaru. Tako so ključnega pomena za definiranje vrste napake izsledki metakografske preiskave preiskuvanega vzorca, ki je pokazala prepogosto varilsko napako – zlep na zvarnem spoju. Zaradi tega smo na podlagi vrste izbranega zvarnega spoja in posledične napake ugotovili, da gre za napačno odvajanje toplote med procesom varjenja.

Glede na vsa ugotovljena dejstva je ključni predlog v izogib morebitnih napak oziroma za zagotovitev procesne zanesljivosti sprememba HV-zvara v V-zvar, s čimer zagotovimo boljši odvod toplote in se s tem izognemo morebitni napaki ter tako zagotovimo kakovostnejši zvarni spoj.

6 VIRI, LITERATURA

- Arpad, K. (2010). Osnovne napake v zvarih. *Varilna tehnika*, 20–23.
- Boris, J., & Janez, K. (1992). *Varjene konstrukcije - Varjeni spoji*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani - Fakulteta za strojništvo.
- Bučar, F. (2012). *Rojstvo države*. Ljubljana: Didakta.
- Esab. (6. avgust 2018). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja Esab: http://www.esab-okhandbuch.de/files/1B29126910_D13.pdf?u1533298654
- Grdun, V., & Godec, B. (4. februar 2002). MATERIALI IN TEHNOLOGIJE. *NEUGODNE MIKROSTRUKTURNE SESTAVINE V ZVARNIH SPOJIH KONSTRUKCIJSKIH JEKEL*, str. 247–253.
- Imk. (2018). <http://www.imk.si>. Pridobljeno iz www.imk.si: <http://www.imk.si/dejavnosti/certificiranje/certificiranje-varilcev-in-varilnih-postopkov/>
- Institut za varilstvo. (2018). *POROČILO O PRESKUŠANJU VARILNEGA POSTOPKA*. Maribor: Institut za varilstvo d.o.o., Ptujška 19, SI-1000 Ljubljana.
- Instro. (2. september 2018). <http://www.instro.si>. Pridobljeno iz https://infoslo.si/content/uploads/2017/04/EPOCH650_Side.jpg
- Kaljenje jekel. (2016). Pridobljeno iz https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww2.sts.si%2Farhiv%2Ftehn%2FProjekt7%2FSlike1%2Fkaljen10.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww2.sts.si%2Farhiv%2Ftehn%2FProjekt7%2Fkaljenje_jekel.htm&docid=yFdbWuzuq0rVqM&tbnid=vRed9BD802_icM%3A&vet=10ahUKEwiP
- Keše, D. (16. oktober 2017). www.razvoj-upd.si. Pridobljeno iz <http://www.razvoj-upd.si/wp-content/uploads/2017/07/9.-PLAMENSKO-VARJENJE.pdf>
- Mikulič, M. (2011). Pridobljeno iz spletnega mesta podjetja Mikulič: <http://www.metalmikulic.si/zica-za-varjenje-ez-sg3-1-0-zic-kolut-15kg>
- Palfinger. (13. julij 2018). Lasten vir.
- P-NORM, P. W. (2018).

- Qtechna. (2. september 2018). www.qtechna.si. Pridobljeno iz [www.qtechna.si: http://www.qtechna.si/sl/izobrazevanje/metode-ndt/radiografska-preiskava.html](http://www.qtechna.si/sl/izobrazevanje/metode-ndt/radiografska-preiskava.html)
- Radikovič, D. (2016). Navodila za uporabo. V *Varilna robotska celica* (str. 14). Lendava: Interno gradivo.
- Rak, I. (2008). *Tehnologija varjenja*. Ljubljana: Modrijan d.o.o.
- Struers. (8. avgust 2018). <https://www.struers.com>. Pridobljeno iz <https://www.struers.com: https://www.struers.com/Library>
- Šprajc, P. (2009). Napake pri varjenju ter njihovo ugotavljanje. *Varilna tehnika*, 21–23.
- Študentski net. (6. junij 2013). [www.studentski.net](http://studentski.net). Pridobljeno iz <http://studentski.net/gradivo/uljfstst2ogtvajrisanjevarjencev01?r=1>
- Temelji in slovar*. (2008). Ljubljana: SIST.
- Tušek, J. (2001). ZLEP - ZAHREBTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA. *Materiali in tehnologije*, 283–286.
- Tušek, J. (2015). *Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
- Voestalpine. (2018). www.voestalpine.com. Pridobljeno iz [www.voestalpine.com: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiulIz38aPdAhVCQhoKHUgOBpIQFjABegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.voestalpine.com%2Fstahl%2Fcontent%2Fdownload%2F4495%2Ffile%2FGrobbl ech_TLB_ALDUR%2520500-960_DE_0816.pdf&usg=AOvVaw3fgG](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiulIz38aPdAhVCQhoKHUgOBpIQFjABegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.voestalpine.com%2Fstahl%2Fcontent%2Fdownload%2F4495%2Ffile%2FGrobbl ech_TLB_ALDUR%2520500-960_DE_0816.pdf&usg=AOvVaw3fgG)
- ZAG. (18. avgust 2018). www.zag.si. Pridobljeno iz <http://www.zag.si/si/organizacijske-enote/materiali/laboratorij-kovine-korozija-protikorozijska-zascita/storitve/preiskave-in-preiskusanja/neporusitvene-preiskave-napak-in-poskodb-kovinskih-elementov-spojev>