

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR**

IZDELAVA IN MONTAŽA JEKLENE KONSTRUKCIJE

Kandidat: Marko Krajnc

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: gradbeništvo

Mentor predavatelj: Tadej Gruden, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Jožef Šumak, univ. dipl. inž. str.

Lektor: Špela Vadlan Jaušovec, prof. slov. jezika

Maribor, 2016

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Marko Krajnc, sem avtor diplomskega dela z naslovom izdelava in montaža jeklene konstrukcije, ki sem ga napisal pod mentorstvom Tadeja Grudna, univ. dipl. inž. grad.

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.

Zgornja Bačkova, januar 2017

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Tadeju Grudnu za vodenje in pomoč pri izdelavi diplomskega dela.
Za pomoč se zahvaljujem tudi g. Bojanu Dapčeviću.

Zahvala gre mentorju v podjetju Jožefu Šumaku in mojima staršema, s katerima skupaj delujemo v družinskem podjetju Montaža Krajnc s.p.

Hvala tudi moji ženi za pomoč in spodbudo med študijem.

POVZETEK

Diplomsko delo podaja osnovne informacije na področju izdelave in montaže jeklene konstrukcije. Postopek je opisan od oddaje ponudbe, naročila, izvedbe pa vse do montaže jeklene konstrukcije. Predstavljeno je jeklo kot osnovni material in njegove glavne značilnosti. Na kratko so predstavljeni pomembnejši preizkusi na jeklu. V delu je predelan celoten postopek izdelave konstrukcije v proizvodnji in montaže na terenu. Opisani so vsi materiali, ki so bili uporabljeni pri izdelavi konstrukcije. Opisani so vsi dodatni, spojni in sidrni materiali. Kakšna je zaščita jeklene konstrukcije pred rjo in katere so pozitivne lastnosti pocinkanja pred barvanjem.

Predstavljena je celotna dokumentacija, ki je potrebna za izdajo kovinske konstrukcije na trg. Kar pomeni, da je konstrukcija izdelana s standardom SIST EN 1090. Na osnovi preizkusnega elementa in tipskega preizkusa je predstavljen postopek pridobitve CE oznake. Vso dokumentacijo, ki je potrebna za izdajo konstrukcije na trg, je treba pregledati in jamčiti, da so podatki resnični in da ne zajemajo kopiranih obrazcev. Kaj je treba paziti pri izdelavi konstrukcije, kako pravilno izbirati material in ga testirati za izdajo certifikata.

Primer konstrukcije v delu je masivni jekleni objekt, ki je prirobnično vijačen v celoto. Njegova fasada in streha pa je pokrita z toplotno in zvočno izolacijskimi panelnimi ploščami. Konstrukcija je namenjena za proizvodnjo in skladiščenje materiala. Del konstrukcije je namenjen poslovnim prostorom, v katerih bo glede na prejšnjo situacijo zaposlenih dodatnih 5 ljudi.

Predelani so vsi postopki izdelave jeklene konstrukcije v proizvodnem objektu. Sledi razlaga orodja za pripravo, obdelavo, sestavo in varjenje konstrukcije. Priprava na zaščito pred rjo in sama zaščita konstrukcije sta, kot krajša postopka, opisana v delu.

Slikovno je prikazana in opisana kompletna montaža konstrukcije. Orodje in sredstva, ki jih potrebujemo za učinkovito in varno montažo takšne konstrukcije.

Strošek izdelave jeklene konstrukcije je s pomočjo prejetih popisov predstavljen v zadnjem poglavju. V tabelo so vpisani vsi stroški, ki so bili zajeti v ponudbi. Za tem pa tudi z grafikonom prikazani vsi dejanski končni stroški z dodatnimi deli.

Na koncu sledi nekaj grafičnih posnetkov fasade objekta v zaključenem stanju.

Ključne besede: jeklena konstrukcija, vroče pocinkanje, ST EN 1090, izdelava in montaža konstrukcije, strošek investicije.

ZUSAMMENFASSUNG

MANUFACTURE AND INSTALLATION STEEL CONSTRUCTION

In der Diplomarbeit werden die Grundinformationen im Bereich der Fertigung und Montage der Stahlkonstruktion dargestellt. Der Prozess wird vom Angebot, von der Bestellung, Fertigung und Montage der Stahlkonstruktion bis zum Einbau der Fenster und Türen beschrieben. Der Stahl als Grundmaterial und seine Haupteigenschaften werden dargestellt. Wichtige Tests am Stahl werden kurz dargestellt. In der Arbeit wird der ganze Prozess der Fertigung einer Konstruktion in der Werkstatt und die Montage im Außendienst beschrieben. Alle Sorten der Materialien, die in der Konstruktion eingebaut werden, werden genau beschrieben. Die Deckbeschichtung und der Schutz der Stahlkonstruktion vor dem Rost werden auch dargestellt. Es wird gezeigt, welche die positiven Eigenschaften des Feuerverzinkens vor dem normalen Deckanstrich der Farbe sind. Teilweise werden auch die Statik und die Projekte der einzigen Stahlelemente gezeigt.

Alle Dokumente, die für die Stahlkonstruktionen notwendig sind, die man auf den Markt bringt, werden in der Diplomarbeit besprochen. Das heißt, dass die Stahlkonstruktion im Standard ISO 1090 gefertigt wird. Auf der Grundlage des Testelementes und des Tests wird das Verfahren zum Erwerb der CE-Kennzeichnung dargestellt. Die ganze Dokumentation, die notwendig ist, um die Konstruktion auf den Markt zu bringen, muss kontrolliert werden. Es muss garantiert werden, dass die Angaben richtig sind und dass sich unter den Dokumenten keine kopierten Formulare befinden. Es wird auch gezeigt, worauf bei der Fertigung der Konstruktion aufgepasst und wie das Material richtig ausgewählt und getestet werden muss, damit es für das Zertifizieren reicht.

Ein Beispiel der Konstruktion ist das massive Gebäude aus Stahl, das mit Flanschen in das Ganze eingeschraubt wird. Seine Fassade und sein Dach werden mit Paneelplatten bedeckt, die zur Wärme- und Schallisolation dienen. Die Konstruktion ist für die Herstellung und Lagerung des Materials bestimmt. Ein Teil der Konstruktion ist für Geschäftsräume bestimmt, in denen hinsichtlich der vergangenen Situation zusätzliche 5 Angestellte beschäftigt werden.

Am Ende wird eine komplette Montage der Konstruktion mit Bildern gezeigt und beschrieben. Alle Werkzeuge und andere Hilfsmittel werden dargestellt, die man für eine sichere und gute Montage der Stahlkonstruktion braucht. Die Kosten der Fertigung der Stahlkonstruktion, die auf der Grundlage der empfangenen Daten erstellt wurden, werden im letzten Kapitel der Diplomarbeit gezeigt. In die Tabelle wurden alle Kosten eingetragen, die im Angebot

eingeschlossen wurden. Mit der Grafik werden alle tatsächlichen Kosten mit zusätzlichen Arbeiten gezeigt.

Am Ende gibt es einige graphische Aufnahmen der Fassade vom Gebäude im Endzustand.

Schlüsselwörter: Stahlkonstruktion, Feuerverzinken, ST EN 1090, Fertigung und Montage der Stahlkonstruktion, Investitionskosten.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	10
1.1	OPREDELITEV PROBLEMA	11
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	11
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	12
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	13
2	OSNOVNI POJMI NA PODROČJU IZDELAVE IN MONTAŽE JEKLENE KONSTRUKCIJE	14
2.1	JEKLENA KONSTRUKCIJA.....	14
2.2	JEKLO OD 20. STOLETJA DO DANES	14
2.3	OZNAČEVANJE IN MEHANSKE LASTNOSTI JEKLA	15
2.3.1	<i>Trdnost in trdota jekla</i>	<i>16</i>
2.3.2	<i>Napetost tečenja jekla ali meja plastičnosti</i>	<i>18</i>
2.3.3	<i>Charpyjev preizkus</i>	<i>19</i>
2.3.4	<i>Duktilnost</i>	<i>21</i>
2.4	VRSTE KONSTRUKCIJSKIH JEKEL	21
3	IZDELAVA IN MONTAŽA JEKLENE KONSTRUKCIJE PO SIST EN 1090	22
3.1	SIST EN 1090.....	22
3.1.1	<i>Izvedbeni razredi</i>	<i>22</i>
3.1.2	<i>Ključne osebe za zagotavljanje kakovosti.....</i>	<i>23</i>
3.1.3	<i>Certificiranje podjetja</i>	<i>23</i>
3.2	IZDELAVA JEKLENE KONSTRUKCIJE NA PRIMERU, POSLOVNO-PROIZVODNI OBJEKT LAR.....	27
3.2.1	<i>Priprava in oddaja ponudbe, podpis pogodbe in nabava materiala</i>	<i>28</i>
3.2.2	<i>Izdelava delavniške dokumentacije.....</i>	<i>30</i>
3.2.3	<i>Razrez materiala.....</i>	<i>31</i>
3.2.4	<i>Brušenje in vrtanje.....</i>	<i>33</i>
3.2.5	<i>Sestava in varjenje jeklenih elementov</i>	<i>34</i>
3.2.6	<i>Pocinkanje jeklene konstrukcije</i>	<i>38</i>
3.3	MONTAŽA JEKLENE KONSTRUKCIJE NA PRIMERU, POSLOVNO PROIZVODNI OBJEKT LAR	40
3.3.1	<i>Vijačenje konstrukcije.....</i>	<i>40</i>
3.3.2	<i>Sidranje konstrukcije</i>	<i>43</i>
3.3.3	<i>Povezovanje okvirjev in sestava objekta.....</i>	<i>45</i>
3.3.4	<i>Predaja tehnične dokumentacije.....</i>	<i>50</i>
4	STROŠKI IZGRADNJE JEKLENE KONSTRUKCIJE	51
4.1	PONUDBA	51
4.2	DODATNI IN KONČNI STROŠKI JEKLENE KONSTRUKCIJE	52
5	FASADE KONSTRUKCIJE	53

6	SKLEP	55
7	VIRI, LITERATURA.....	57

KAZALO SLIK

SLIKA 1: KONVERTER, VPIHOVANJE ZRAKA VIR: (BEG, 2013)	15
SLIKA 2: PREIZKUS PO ROCKWELLU.....	16
SLIKA 3: PREIZKUS PO BRINELLU VIR: (DUSHARME, 2016)	17
SLIKA 4: PREIZKUS PO VICKERSU VIR: (DUSHARME, 2016)	17
SLIKA 5: PRIKAZ NAPETOSTI TEČENJA, PRIMER ZA JEKLO KAKOVOSTI S275 VIR: (LASTNA RAZISKAVA)	18
SLIKA 6: NAPETOST TEČENJA PO KAKOVOSTI JEKLA VIR: (BEG, 2013)	19
SLIKA 7: PRIKAZ CHARPYJEVEGA PREIZKUSA VIR: (TWI LTD, 2016).....	20
SLIKA 8: CERTIFIKACIJSKI POSTOPEK VIR: (TÜV SÜD SAVA)	24
SLIKA 9: PRIMER NAPAKE NA ZVARU, ZAJEDA IN NEPRAVILEN ZAKLJUČEK ZVARA VIR: (LASTNA RAZISKAVA)	26
SLIKA 10: POSTAVITEV OBJEKTA V PROSTOR VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	28
SLIKA 11: NOVI DETAJL PRIKLJUČITVE STEBRA S PRIMARNIM STREŠNIM NOSILCEM VIR: (LASTNA RAZISKAVA) ...	30
SLIKA 12: STARI DETAJL PRIKLJUČITVE STEBRA S PRIMARNIM STREŠNIM NOSILCEM VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	31
SLIKA 13: PRINCIP REZANJA S PLAZMO VIR: (EGRA DIVO).....	32
SLIKA 14: PLAZEMSKO REZANJE VIR: (LASTNA RAZISKAVA).....	33
SLIKA 15: ORODJE ZA IZTISKOVANJE – PREBIJANJE OBDELOVANCA VIR: (LASTNA RAZISKAVA)	34
SLIKA 16: VARJENJE PO MAG POSTOPKU VIR: (MB-TECH D.O.O., 2015–2016).....	36
SLIKA 17: OBLIKA VARJENEGA SPOJA IN VRSTNI RED VARJENJA VIR: (LASTNA RAZISKAVA).....	37
SLIKA 18: PRIMER, POCINKANI STEBRI KONSTRUKCIJE NA GRADBIŠČU LAR VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	39
SLIKA 19: VIJAČNA ZVEZA LEVEGA IN DESNEGA DELA OKVIRJA V SLEMENU KONSTRUKCIJE LAR, VIJAČENO Z VIJAKI M24 VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	42
SLIKA 20: POSTAVITEV PRVEGA OKVIRJA KONSTRUKCIJE VIR: (LASTNA RAZISKAVA)	43
SLIKA 21: SIDRANJE STEBRA V BETONSKO PLOŠČO VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	43
SLIKA 22: POSTAVITEV OKVIRJA KONSTRUKCIJE VIR: (LASTNA RAZISKAVA)	45
SLIKA 23: POVEZAVA OKVIRJEV S STREŠNIMI NOSILCI IN PODKONSTRUKCIJAMI ZA OKNA VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	46
SLIKA 24: ŽLOTA, VIJAČENA S SFS VIJAKI VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016)	47
SLIKA 25: PRIMER PREDVRTANE LUKNJE GLEDE NA DEBELINO MATERIALA VIR: (SFS INTEC LTD., 2016)	48
SLIKA 26: PRIMER, LEVO VIJAČENJE PLOČEVINE NA CEV Z NAVADNIMI VIJAKI, DESNO VIJAČENJE S SFS VIJAKI VIR: (SFS INTEC LTD, 2016)	49
SLIKA 27: VIDNE ZATEGE NA STREHI IZ PALIČNEGA JEKLA PRIMER 30 MM	49
SLIKA 28: POGLED KONSTRUKCIJE V CELOTNI VELIKOSTI VIR: (LASTNA RAZISKAVA).....	50
SLIKA 29: FASADA 1 VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016).....	53

SLIKA 30: FASADA 2 VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016).....	53
SLIKA 31: FASADA 3 VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016).....	54
SLIKA 32: FASADA 4 VIR: (PROJEKTIRANJE ALJA, DAVID URBANIČ S.P., 2016).....	54

KAZALO TABEL

TABELA 1: ENERGIJA LOMA, CHARPYJEV PREIZKUS.....	20
TABELA 2: IZVEDBENI RAZREDI NA PRIMERIH OBJEKTOV VIR: (INTIHAR, 2014)	23
TABELA 3: PRIMERJALNA TABELA STROŠKOV VROČEGA POCINKANJA IN BARVANJA	39
TABELA 4: ČAS STRJEVANJA DO OBREMENTIVE KEMIČNEGA LEPILA GLEDE NA TEMPERATURO	44
TABELA 5: PONUDBA JEKLENE KONSTRUKCIJE JE ZAJEMALA NASLEDNJE POSTAVKE S CENAMI (EUR):	51

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: STROŠKI JEKLENE KONSTRUKCIJE VIR: (MONTAŽA KRAJNC S.P., 2016).....	52
--	----

1 UVOD

Zgraditi nov proizvodni objekt, ki odpira možnost prodaje izdelkov skoraj po celotni Evropi, so želje marsikaterega podjetnika, ki se ukvarja s prodajo raznih izdelkov. Podjetje, ki se ukvarja s prodajo transportnih sistemov, se je iz manjših najemniških prostorov iz Maribora preselilo v nov poslovni objekt v Lenart. Nov poslovni objekt odpira možnost prodaje izdelkov po večini Evrope. Izgradnja novih poslovnih prostorov pa ni dovolj za uspeh na trgu Evrope, ki je preplavljena s konkurenčnimi produkti. Glede na to, da živimo v času hitrih sprememb in pri tem občutimo še velike cenovne in časovne pritiske, smo prisiljeni slediti dogajanjem in novim trendom. Zato hoče podjetje svoje izume in izkušnje prenesti tudi v lastno proizvodnjo izdelkov in s tem konkurirati preostalim podjetjem, predvsem v južnem delu Evrope. Z na novo zgrajenim poslovno-proizvodnim objektom, katerega glavni del sestavlja jeklena konstrukcija, hoče podjetje zaživeti v okolju in uporabnikom prinesiti prednost pred tekmeci.

Mi kot podjetje, ki se ukvarja z izdelavo in montažo kovinskih konstrukcij, smo poslovno-proizvodni objekt izdelali in zmontirali na pripravljeno betonsko ploščo kot vroče pocinkano jekleno konstrukcijo. Jeklena konstrukcija, ki je predstavljena v diplomskem delu, velja kot masivna konstrukcija, narejena iz standardnih jeklenih profilov in je s pomočjo prirobnic in vijakov sestavljena v celoto. Celoten postopek izdelave in montaže jeklene konstrukcije s področji, kot so razrez materiala, priprava na varjenje, varjenje, zaščita materiala, sidranje in montaža konstrukcije so dela, ki so bila načrtovana vnaprej, po prejetju naročila za izvedbo s strani podjetja kot stranke. Tukaj je mišljeno predvsem delo po sistemu in evropskem standardu SIST EN 1090, ki velja kot obveza, od 1. 7. 2014, za vse proizvajalce jeklenih konstrukcij ali proizvajalce sestavnih delov za jeklene konstrukcije. Pomembna je predvsem dokazljivost in sledljivost materiala, ki ga podjetje uporabi v proizvodnji in ga vgradi ali obdela v element, ki gre nato kot izdelek na tržišče. Z opravljenim postopkom EN 1090 lahko proizvajalec svoj izdelek proda neposredno na tržišče po celotni Evropi. Prej so za podjetje, ki je želelo izvesti prodajo na tržišče, bila potrebna prilagajanja dokumentacije in predpisov za posamezno državo.

Diplomsko delo podaja osnovne informacije na področju izdelave in montaže jeklene konstrukcije. Obsega področja materialov, uporabljenih v proizvodnji konstrukcije, oblikovanja, rezanja, varjenja, čiščenja in zaščite kovine pred rjo. Sledi krajša predstavitev montaže konstrukcije in na koncu prikaz celotnih stroškov v zvezi z jekleno konstrukcijo.

1.1 Opredelitev problema

Diplomsko delo opisuje postopek izdelave in montaže jeklene konstrukcije poslovno-proizvodnega objekta Lar, namenjenega proizvodnji in prodaji transportnih sistemov. Predstavljeno je, kako izdelati in montirati jekleno konstrukcijo in pri tem upoštevati evropski standard SIST EN 1090.

Z delom preverjam, ali je bila pri izdelavi in montaži konstrukcije upoštevana zakonodaja po evropskem standardu. Preverjam ponudbene in končne stroške investicije za jekleno konstrukcijo. Je bila konstrukcija zgrajena po zadanem projektu in ali so bile upoštevane vse tehnične zahteve za učinkovito in varno izdelavo in montažo konstrukcije.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

- Predstavitev izdelave in montaže jeklene konstrukcije, predstavitev osnovnih pojmov in oseb v zvezi z izdelavo in montažo konstrukcije;
- Preučitev vseh postopkov izdelave konstrukcijskih elementov in obdelave kovine v proizvodnji;
- Preverjanje izdelave po veljavni zakonodaji in certificiranje postopka izdelave jeklene konstrukcije;
- Predstavitev primera izdelave in montaže jeklene konstrukcije, poslovno-proizvodni objekt Lar Lenart s praktičnega vidika;
- Preučitev vseh virov;
- Predstavitev stroškovne plati izdelave in montaže objekta.

1.3 Predpostavke in omejitve

Projekt, ki ga obravnavam v delu, je skoraj v celoti izvzet iz prakse izdelave in montaže kovinskih konstrukcij, pri katerem sem bil prisoten vse od oddaje ponudbe do montaže konstrukcije in nato izdaje ključnih dokumentov za oddajo konstrukcije na trg. Tukaj gre za nov poslovno-proizvodni objekt, zgrajen iz jeklene konstrukcije. Objekt je izdelan na lokaciji nove industrijske cone v Lenartu. Podjetje Gradbeništvo in projektiranje Alja mi je zaupalo in posredovalo podatke projekta za izvedbo ter razne popise in načrte za še lažje razumevanje in mi s tem odprlo možnost natančnejšega opisa zadane naloge v tem delu. Večino gradiva sem pridobil v našem družinskem podjetju, kjer sem sam poskrbel za detajle in opis elementov, ki jih potrebujem za dobro razlago diplomskega dela.

Predelati imam namen izgradnjo jeklene konstrukcije. Ker gradbena dela niso bila v naši izvedbi, imam tukaj določene omejitve glede natančnejšega opisa. Deloma tudi omejitve in nedostopnost zaradi zaupnih podatkov podjetja kot investitorja.

Glede na to, da je naše podjetje v novem zakonu certificiranja EN 1090 kratek čas, imam tukaj predpostavke glede količine podatkov s strani našega podjetja. Tukaj poskušam nadomestiti podatke s teorijo o zakonodaji s pomočjo mentorja v podjetju g. Jožeta Šumaka. Gospod Jože Šumak deluje v našem podjetju kot zunanji izvajalec, ki ima znanje, priporočila in s tem tudi pomembne izkušnje na tem področju.

Predpostavljam, da projekt za izvedbo ni vseboval vseh vrisanih detajlov. Zato smo kot podjetje izhajali iz svojih izkušenj in določene elemente spremenili. S tem, da smo si pridobili dovoljenje in potrditev s strani statičnega vidika konstrukcije, šele nato v svoji režiji izrisali delavniško dokumentacijo za izdelavo konstrukcije.

Predpostavljam, da je bila jeklena konstrukcija v popisu del za pripravo ponudbe preveč na splošno opisana in je nato pri izvedbi prišlo do raznih manjših dodatnih stroškov.

Predpostavke glede razpoložljivosti in točnosti podatkov, pomoč na obravnavanem projektu sem iskal v podjetju Projektiranje Alja s.p.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Način zbiranja podatkov bo predvsem iz same prakse, saj sem bil navzoč pri projektiranju, zbiranju podatkov o sami konstrukciji, naročilih materiala, izdelavi in pri montaži konstrukcije.

V diplomskem delu uporabljam vrste raziskovanja:

- metoda deskripcije – opisovanje posameznih pojmov,
- metoda kompilacije – uporaba izpiskov, citati in navedbe drugih avtorjev,
- induktivno-deduktivna metoda – sklepanje iz posameznih primerov na splošno in obratno, torej sklepanje na osnovi splošnega na posamezni primer,
- primerjalna metoda – primerjava enakih ali podobnih dejstev, pojavov, procesov ter ugotavljanja njihovih podobnosti in razlik,
- zgodovinska metoda – proces skozi krajše ali daljše časovno obdobje.

2 OSNOVNI POJMI NA PODROČJU IZDELAVE IN MONTAŽE JEKLENE KONSTRUKCIJE

2.1 *Jeklena konstrukcija*

Na začetku dela moram omeniti osnovi pojem, ki se pojavlja skozi celotno delo. Tukaj ne morem preskočiti besede jeklo.

Jeklo je železova zlitina, pri kateri je, poleg samega železa, najpomembnejši element ogljik. Ogljik ima najpomembnejši vpliv na uporabne lastnosti jekel, zato se imenujejo ogljikova jekla. Ta jekla poleg železa vsebujejo le ogljik ter manjše količine mangana, silicija in aluminija. Te tri elemente dodamo z namenom, da bi zmanjšali ali povsem izničili negativen vpliv nečistoč, kot so žveplo, fosfor, kisik in dušik. Proizvodnja jekla poteka iz predhodno pridobljenega železa. Danes večino železa pretvorijo v jeklo. V gradbeništvu se uporablja za izdelavo konstrukcij (Surovine, 2008).

Jeklena konstrukcija kot objekt predstavlja nosilno konstrukcijo, sestavljeno iz konstrukcijskega jekla, v večini primerov prirobnične izvedbe vijačeno v celoto.

2.2 *Jeklo od 20. stoletja do danes*

Na začetku 20. stoletja je bila uporaba jekla v konstrukcijske namene prekinjena zaradi neenotne kompozicije zmesi. Po takratni zakonodaji se je smelo uporabljati le jeklo. Jeklo je bilo razširjen material in se je v 20. stoletju uporabljal v ploščah, vijakih, žeblih in palicah. Konstrukcijsko jeklo je omogočalo hitro postavitve objektov velikih razponov in gradnjo nebotičnikov.

Danes se konstrukcijsko jeklo pridobiva s tako imenovanim oksidacijskim postopkom, izboljšana metoda prejšnjega postopka, kjer je vpihovanje zraka pod velikim pritiskom potekalo s pomočjo parnega stroja. Z vpihovanjem čistega kisika na surovo železo, kjer se temperatura dvigne do 1700 °C, v tako imenovanem konverterju danes pridobivamo dobro varljiv material z enakomerno trdnostjo in žilavostjo. Danes je jeklo najpogostejše recikliran material na svetu. Vse jeklo, ki je na trgu, se reciklira. Da bi pa zapolnili današnje potrebe, je jeklo treba pridobivati še iz železove rude. Med največje proizvajalce jekla v povprečju spada Kitajska.

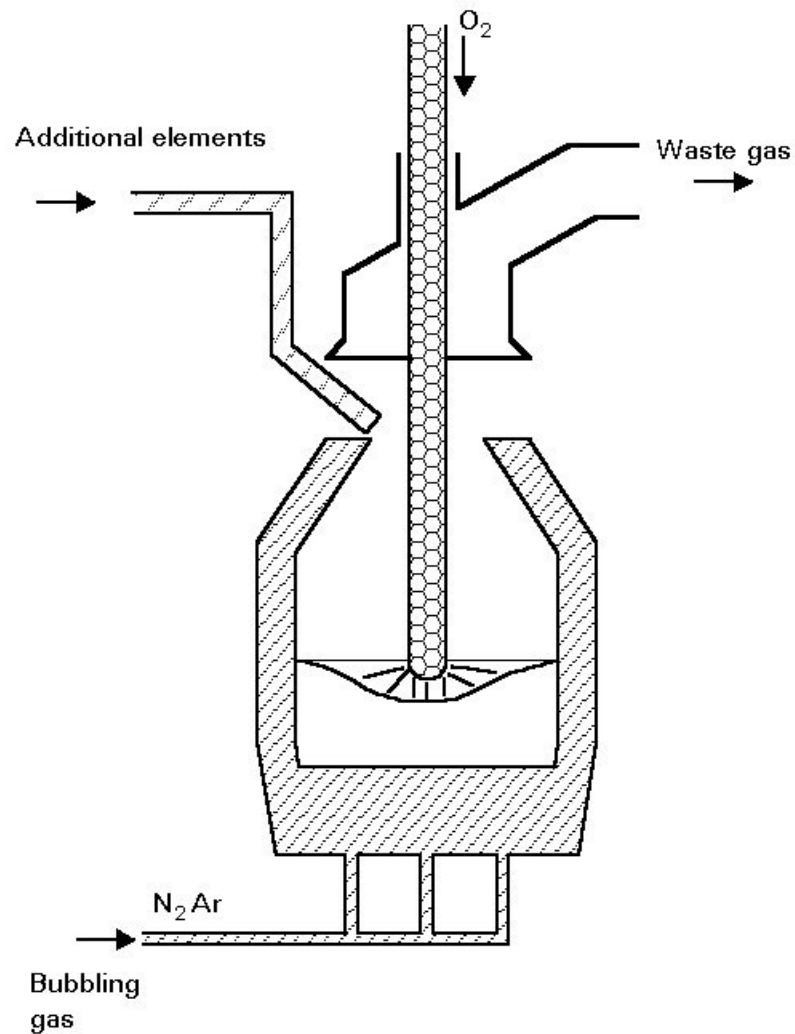


Figure 3 Basic oxygen converter

Slika 1: Konverter, vpihovanje zraka

Vir: (Beg, 2013)

2.3 Označevanje in mehanske lastnosti jekla

Konstruktivno jeklo označujemo s simboli, ki nam povedo, katero je jeklo, napetost tečenja v MPa, in razred lomne žilavosti. Tako predstavljam primer jekla z oznako S275JR:

S – oznaka za konstrukcijsko jeklo

275 – napetost tečenja v MPa, za debeline do 16 mm.

JR – razred lomne žilavosti, določen s Charpy V-testom

Kot že omenjeno, je jeklo železova zlitina, kjer je poleg železa najpomembnejši element ogljik. Ogljik v jeklu poveča trdnost in trdoto, zmanjša pa duktilnost, žilavost in varivost. Torej višja je napetost tečenja, bolj trdno je jeklo.

2.3.1 Trdnost in trdota jekla

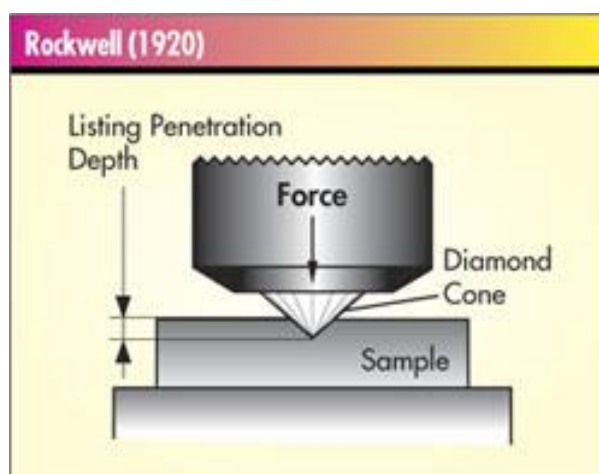
Prav tako kot ogljik poveča jeklu trdnost in trdoto, enako storita primesi, kot sta fosfor in mangan. Tudi drugi legirni elementi, ki so prisotni v manjših količinah, npr. niobij, nikelj, titan, vanadij.

Beseda trdnost pomeni odpornost materiala proti spremembi oblike. Trden material ni ne krhek in ne mehak. Trdnost materialov določimo s poizkusi, na preizkušancih standardnih oblik. Ti eksperimenti so si različni po vrsti materiala in obremenitvi. Preizkušanca obremenimo in silo povečujemo, pri tem pa sproti merimo silo vse do njegove porušitve. Največja napetost se pojavi v materialu, tik preden se ta poruši.

Trdota je lastnost trdne snovi, ki se upira deformaciji. V preizkušani material se vtisnejo geometrijski elementi.

Najbolj pogosti preizkusi, s katerimi v strojništvu izmerimo trdoto snovi:

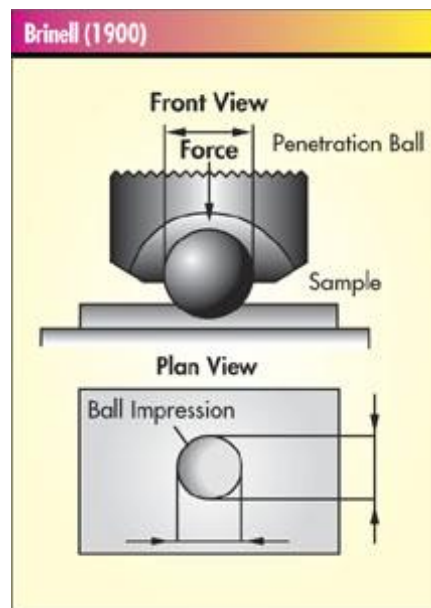
- Trdota po Rockwellu – vtis jeklene kaljene kroglice premera ali stožec s kotom 120° , z določeno silo. Ta metoda se razlikuje od drugih dveh, saj tukaj merimo globino vtisa, pri drugih pa površino.



Slika 2: Preizkus po Rockwellu

Vir: (Dusharme, 2016)

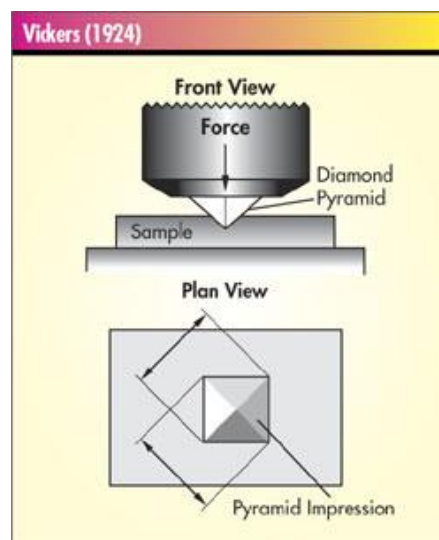
- Trdota po Brinellu – vtis kroglice s povečujočo se silo s časovno omejitvijo.



Slika 3: Preizkus po Brinellu

Vir: (Dusharme, 2016)

- Trdota po Vickersu – vtis diamantne piramide s kotom 136° . Sile obremenitve od 50 N do 1200 N.



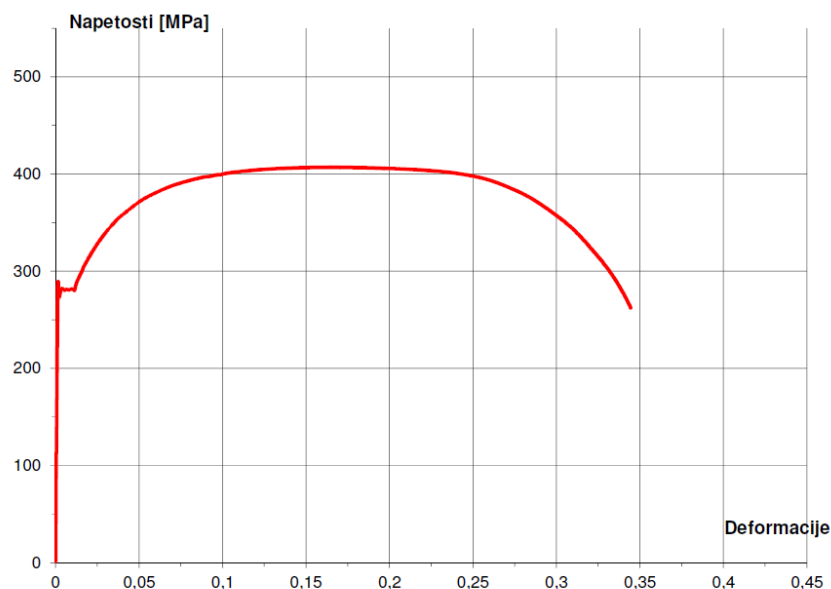
Slika 4: Preizkus po Vickersu

Vir: (Dusharme, 2016)

Kovinski materiali so pri preizkušanju hladni. Ti materiali se pri hladni deformaciji utrjujejo, zato je material okrog vtiska trši kot drugje. Tukaj moramo paziti, da so zaporedni vtiski dovolj narazen. Paziti moramo tudi, da je material za preizkus zadostne debeline.

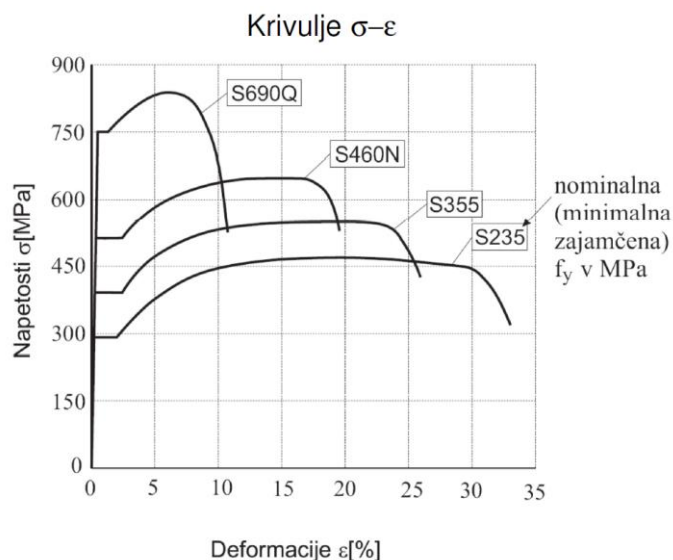
2.3.2 Napetost tečenja jekla ali meja plastičnosti

Mejno napetost, pred katero se začno kovine plastično deformirati, imenujemo napetost tečenja. Napetost tečenja jekla izmerimo z nateznim preizkusom. Natezni preizkus je osnovni mehanski preizkus. Končna napetost pri tem preizkusu nam poda vrednost jekla, ki predstavlja bistven element pri poimenovanju vrste jekla. S tem preizkusom ugotavljamo napetost tečenja, natezno trdnost in modul elastičnosti. V poizkusu material obremenimo na nateg z enoosno napetostjo, ki enakomerno narašča. Material se na začetku giblje v meji elastičnosti. Napetost se določi takrat, kadar po razbremenitvi natega ostane minimalni raztezek, ki se ne povrne v prvotno lego. Imenujemo ga trajni raztezek.



Slika 5: Prikaz napetosti tečenja, primer za jeklo kakovosti S275

Vir: (Lastna raziskava)

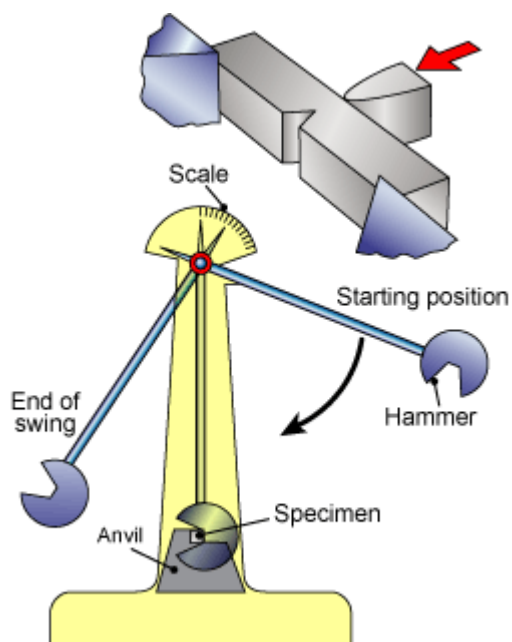


Slika 6: napetost tečenja po kakovosti jekla

Vir: (Beg, 2013)

2.3.3 Charpyjev preizkus

»Pri udarnem preizkusu merimo delo, ki je potrebno za prelom preizkušanca. Za ugotavljanje udarne žilavosti se najpogosteje uporablja udarni preizkus po Charpyju. Uporabljamo preizkušance z zarezo U ali V, ki so standardizirani. Preizkušanec položimo na podporo, z zarezo obrnjeno stran od udarnega kladiva. Udarno kladivo dvignemo v začetni položaj, navadno je kot $1 = 160^\circ$. Kladivo spustimo. Njegova potencialna energija se spreminja v kinetično. Ko kladivo udari v preizkušanec, se le-ta deformira najprej elastično, nato plastično. Pri določenem upogibu preizkušanca nastane na natezni strani ob zarezi razpoka, ki napreduje do popolne ločitve obeh delov preizkušanca. Kladivo se po prelomu preizkušanca dvigne na nasprotno stran do kota 2, ki je tem manjši, čim več energije se je porabilo za lom« (Andrej, Paulin, 1997).



Slika 7: Prikaz Charpyjevega preizkusa

Vir: (TWI Ltd, 2016)

Rezultat preizkusa je določena energija J-Joule, ki je bila potrebna za prelom preizkušanca.

Pomembno merilo je tudi prehodna temperatura žilavosti. Če je predvideno, da se bo neki konstrukcijski element uporabljal npr. pri 0 °C, potem mora imeti jeklo, ki bi ga lahko izbrali, prehodno temperaturo žilavosti pod -0 °C.

Tabela 1: Energija loma, Charpyjev preizkus

Mehaničke karakteristike			
Energija loma prilikom udara (Charpy)			
Temp °C	27J	40J	60J
20	JR	KR	LR
0	JO	KO	LO
-20	J2	K2	L2
-30	J3	K3	L3
-40	J4	K4	L4
-50	J5	K5	L5
-60	J6	K6	L6

Vir: (Označavanje čelika i osnove proračuna, 2013)

2.3.4 Duktilnost

»Duktilnost (ductility) je mehanska lastnost materiala, da prenese plastično deformacijo do velike obremenitve brez loma; nasprotje krhkosti; definirana je kot razmerje med plastično deformacijo in deformacijo na meji tečenja; duktilne konstrukcije so armiranobetonske in jeklene, prenesejo velike plastične deformacije, ne da bi se porušile« (Termania, 2010–2016)

2.4 Vrste konstrukcijskih jekel

Konstrukcijska jekla razdelimo v več vrst. Pomembna je predvsem pravilna izbira konstrukcijskega jekla zaradi kasnejše obdelave kovine, saj so jekla po lastnostih različna glede na žilavost, trdnost, zrnastost, varivost, korozijsko odpornost.

Poznamo običajna (mehka) konstrukcijska jekla, ki trdnost dosegajo na račun večje vsebnosti ogljika in izkazujejo zmerno lomno žilavost.

Potem imamo tudi normalizirana drobnozrnata konstrukcijska jekla, ki imajo povečano lomno žilavost pri kasnejši toplotni obdelavi (npr. krivljenje debelejših pločevin).

Termo-mehansko obdelana drobnozrnata jekla, struktura drobnozrnastosti jim omogoča višjo trdnost (f_y do 460 MPa), veliko lomno žilavost in odlično varivost.

Konstrukcijska jekla z izboljšano odpornostjo proti atmosferski koroziji (vremensko odporna jekla). To so običajna konstrukcijska jekla, ki jim je z dodatnim legiranjem zagotovljena povečana korozijska odpornost.

Drobnozrnata mikrolegirana jekla visoke trdnosti, s postopkom kaljenja in popuščanja (poboljšana jekla) s trdnostmi v razponu $f_y = 460$ MPa (S460) do $f_y = 960$ MPa Vir: (Beg, 2013).

3 IZDELAVA IN MONTAŽA JEKLENE KONSTRUKCIJE PO SIST EN 1090

3.1 SIST EN 1090

V naslednjih vrsticah bom opisal nekaj splošnih dejstev o standardu EN 1090, po katerem je izdelana tudi jeklena konstrukcija proizvodnega objekta Lar. Standard EN 1090 velja kot obveza za vse proizvajalce jeklenih konstrukcij od 1. 7. 2014. Torej, če hočeš prodati jekleno konstrukcijo na trg, moraš obvezno predložiti vse potrebne dokumente, ki dokazujejo, da je konstrukcija izdelana v skladu s standardom EN 1090. Standard s tem uvaja označevanje konstrukcije oz. elementov konstrukcije z znakom CE. Uvajajo se enotni tehnični predpisi za proizvodnjo. Pri proizvodnji konstrukcije je pomembna predvsem sprotna kontrola delavca, stroja, izdelka ter označevanje elementov, saj je le s tem zagotovljena sledljivost vgrajenega materiala.

Standard se deli na 3 dele:

- SIST EN 1090-1:2009+A1: 2012: izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij.
1 del: Zahteve za ugotavljanje skladnosti sestavnih delov konstrukcij.
- SIST EN 1090-2:2008+A1: izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij
2 del: Tehnične zahteve za izvedbo jeklenih konstrukcij.
- SIST EN 1090-3:2008+A1: izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij
3 del: Tehnične zahteve za izvedbo aluminijastih konstrukcij.

3.1.1 Izvedbeni razredi

Področja, ki so pomembna pri proizvodnji konstrukcij in ki jih pokriva SIST EN 1090, so dimenzioniranje, varjenje, protikorozijska zaščita, mehansko spajanje.

Standard se deli na 4 izvedbene razrede izdelave: EXC 4, EXC 3, EXC 2, EXC 1. Višji, kot je razred, večje so zahteve po kakovosti izdelave, kontroli in specialnih kadrih, kajti podjetje, ki je certificirano in ima priznani izvedbeni razred EXC 4, lahko izdeluje vse vrste konstrukcij. Naše podjetje lahko izdeluje konstrukcije izvedbenega razreda EXC 1, EXC 2 in je s tem

primerno usposobljeno, da izdelava konstrukcijo, kot je proizvodna hala. V spodnji tabeli sledi obrazložitev izvedbenih razredov na primerih objektov.

EXC 1	EXC 2	EXC 3	EXC 4
kmetijski objekti, skladišča, konstrukcije z enostavno izdelavo	stanovanjski objekti, poslovni objekti, proizvodne hale	cestni mostovi, železniški mostovi, športne hale, večji objekti z velikim številom obiskovalcev	energetski objekti, "posebni" objekti

Tabela 2: Izvedbeni razredi na primerih objektov

Vir: (Intihar, 2014)

3.1.2 Ključne osebe za zagotavljanje kakovosti

Omeniti je treba še ključne osebe v podjetju za kontrolo proizvodnje, pripravo in izdajo dokumentov. Osebe, ki so dejavne na tem področju, izvajajo kontrolo nad materialom, zalogo in potrebnimi dokumenti (dobavnice, naročilnice, a testi, označevanje materiala, proces izdelave). Izvajajo kontrole zvarov in preverjajo element kot celoto v možnih dimenzijskih odstopanjih. Preizkuse izvajajo strokovno in z ustrezno merilno opremo. Vsi preizkusi so ustrezno dokumentirani, saj se izdelek lahko odobri le na podlagi preizkusov.

Te osebe v podjetju so:

- Vodja kontrole
- Odgovorni varilni koordinator, mednarodni varilski tehnolog, mednarodni varilski specialist, oziroma mednarodni varilski mojster
- Oseba, ki je odgovorna za izdajo CE znaka in izjave o skladnosti

3.1.3 Certificiranje podjetja

Če hočemo zagotavljati kakovost v podjetju, ga je treba nadzorovati in izboljševati. Tukaj nastopijo razne presoje in certificiranje s strani podjetij, ki se s tem ukvarjajo, kajti vsako

podjetje si želi povečati kakovost. S tem bo lahko podjetje izdelovalo zahtevnejše izdelke in povečala se bo dodana vrednost.

Da podjetje pridobi certifikat od priglašene organa, mora za začetek izpolniti nekaj osnovnih zahtev. Podjetje mora imeti imenovane ključne osebe, ki skrbijo za kontrolo. Vsi varilci morajo biti certificirani, kar pomeni, da morajo imeti certifikat o opravljenem varilskem preizkusu. V podjetju morajo biti uvedeni varilni postopki in podana navodila za varjenje. Zagotovljen mora biti nadzor nad kakovostjo osnovnih in dodatnih materialov, tudi oprema mora biti pregledana in vzdrževana.

Nato proizvajalec določi tip proizvoda na podlagi preizkušanja, ki ga imenujemo začetni tipski preizkus, izvede kontrolo proizvodnje s tem, da izvaja preizkuse in kontrolo med proizvodnjo s predpisanim programom. Priglašeni organ pa izvede začetno preverjanje proizvodnega obrata in kontrole s tem, da izvaja stalni nadzor in ocenjevanje.



Slika 8: Certifikacijski postopek

Vir: (Tüv Süd Sava)

Predstavljam primer začetnega tipskega preizkusa iz našega podjetja. V naslednjem odstavku je našeta in opisana vsebina dokumentacije za začetni tipski preizkus. S tem je opisana tudi večina osnovnih pojmov glede certificiranja EN 1090.

- Poslovnik kakovosti – poslovnik določa načine zagotavljanja kakovosti v podjetju. Na začetku poslovnika sta predstavitev podjetja in naslov. Prikazan je organigram podjetja in opisani so vsi prostori in vse dejavnosti posameznega delavca. Našteti in opisani so vsi dokumenti, ki so potrebni za izdajo tehnične dokumentacije naročniku. Ti dokumenti so naštet v spodnjih točkah.
- Lista kontrole varjenja – kontrola varjenja pred začetkom dela in med varjenjem. Na listo se vpiše šifra artikla in delovni nalog. Preverja se: priprava zvarjencev, ustreznost

dodajnega materiala, ustreznost osnovnega materiala, vrstni red varjenja, varilna oprema, pogoji dela, ustreznost varilcev, deformacije, parametri varjenja, dimenzijska kontrola zvarov, očiščenost. Na listo se napiše, ali so postopki pravilni, če niso, se pripišejo morebitne opombe. Na koncu se napiše datum končanja. Listo kontrole podpišejo vodja del, vodja kontrole v delavnici in varilni inženir;

- Lista neskladnosti – obrazec za odkrivanje neskladja. Tukaj so dokumentirane odkrite napake med delom in opisani ukrepi za sanacijo, vključno s popravkom, pregledom in odobritvijo;
- Delovni nalog 0001/2016 – za vsak novi projekt oz. naročilo se odpre nov delovni nalog, ki je spisan pod določeno številko. Delovni nalog je lahko odlično sledilno sredstvo za iskanje določenega materiala in njegovih lastnosti s tem, da se na dobavljeni in nato tudi porabljeni kos materiala v proizvodnji napiše številka delovnega naloga;
- Načrt zvarjenja G_312 – načrt v določenem merilu, ki prikazuje sestavljen element z vsemi merami in označitvami zvarov;
- Kosovnica zvarjenja G_312 – kosovnica zvarjenja prikazuje vse podpozicije elementov (vrsta materiala, kakovost materiala, dimenzije in kilograme), ki so uporabljene v zvarjencu;
- Pogodba o varilnem nadzoru v prostorih podjetja – pogodba med podjetjem in varilnim nadzorom, ki je v našem primeru zunanji izvajalec;
- Spričevalo (Marko Krajnc); Spričevalo o opravljenem izobraževanju;
- Certifikat za izvajanje penetracijskih preiskav – uporablja se pri pregledu zvarov, v tem primeru s pomočjo rdečega in belega spreja. Namen tega penetranta je, da prodre v razpoke in pore. Zvari se najprej popršijo z rdečo barvo nato z belo barvo. Kjer izstopi rdeča barva, je vidna napaka na zvaru. Prvič se ocenjuje takoj po nanosu, drugič 10 min kasneje. Oseba, ki izvaja to preiskavo, mora imeti ustrezen certifikat za izvajanje preiskav s tekočimi penetranti.



Slika 9: Primer napake na zvaru, zajeda in nepravilen zaključek zvara

Vir: (Lastna raziskava)

- Certifikat za izvajanje vizualnih preiskav (Jožef Šumak): preiskava, kontrola zvarov in elementa vizualno;
- Certifikat IWE (Jožef Šumak): certifikat mednarodni varilski inženir;
- A test materiala HEA 140: a testi material s CE oznako in izjavo o skladnosti;
- A test materiala IPE 140: a testi material s CE oznako in izjavo o skladnosti;
- A test materiala pločevina $s = 12 \text{ mm}$: a testi material s CE oznako in izjavo o skladnosti;
- A test materiala pločevina $s = 15 \text{ mm}$: a testi, material s CE oznako in izjavo o skladnosti;
- A test materiala pločevina $s = 8 \text{ mm}$: a testi, material s CE oznako in izjavo o skladnosti;
- A test dodatnega materiala (varilna žica): a testi, material s CE oznako in izjavo o skladnosti;
- Certifikat testiranja varilca: certifikat o opravljenem varilskem preizkusu;
- Certifikat (WPQR), postopka: certifikat o opravljenem postopku varjenja;
- Zapis vizualnega pregleda zvarnih spojev NDT_VT poročilo: poročilo o vizualnem pregledu konstrukcije pred, med in po varjenju;
- Zapis NDT_PT pregleda zvarnih spojev: poročilo o ugotovitvah penetracijske preiskave;
- Navodilo za varjenje WPS 001/2016: navodilo za varjenje nam podaja debeline materialov in dimenzije zvara, ki so potrebne za določene debeline materiala.

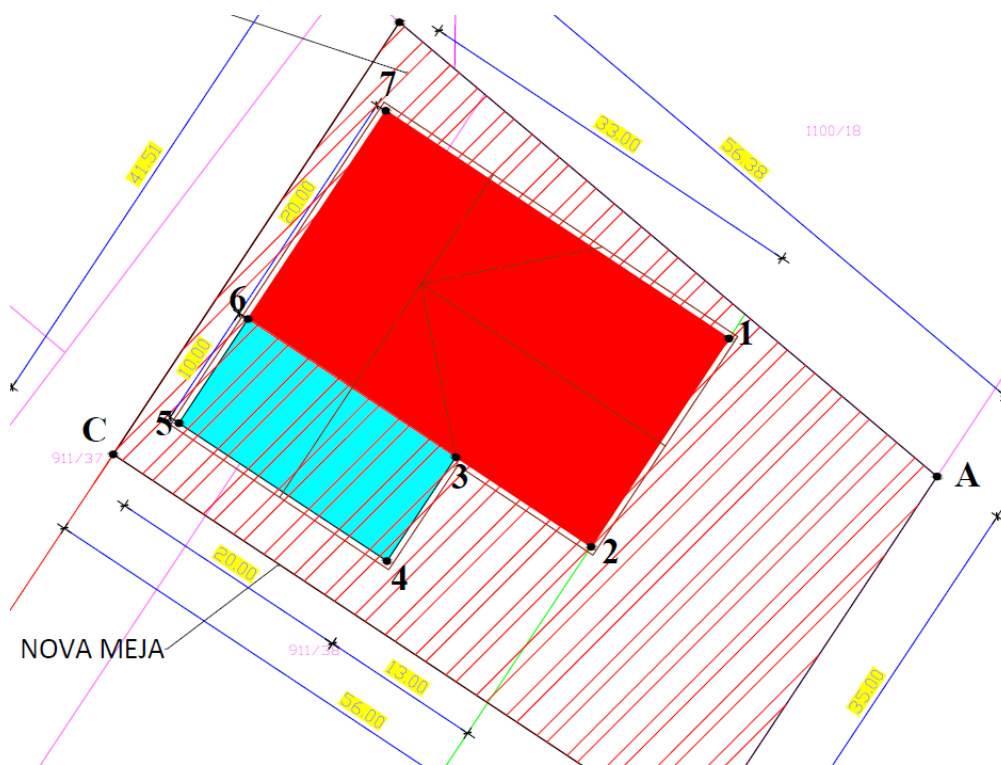
- Merilni protokol: Označuje mesta na načrtu, kjer izdelan element ni skladen s projektom, predpisana so določena odstopanja. V merilni protokol se vpišejo mere na načrtu in dejanske izmere na zvarjencu.
- Izjava o lastnostih št. 001/2016: Izjava, da so vsi materiali in kontrola v proizvodnji skladni z EN 1090. Po dokončanju izdelka podjetje izda izjavo o skladnosti, ki vsebuje: »ime in naslov proizvajalca ali njegovega zastopnika v EU, opis proizvoda: vrsta, namen uporabe, razpoznavni znaki, trgovsko ime ... navedbo tehnične specifikacije ali standarda, ki mu mora ustrezati, navedbo lastnosti in kakovostnih parametrov, ki opredeljujejo proizvod, posebne zahteve za uporabo proizvoda, ime in naslov preizkusnega laboratorija, če je vključen, številko certifikata, njegovo veljavnost ali številko poročila preizkusnega laboratorija, ime in položaj osebe, pooblaščen za podpis izjave o skladnosti v imenu proizvajalca. Izjava mora biti napisana v jeziku države, kjer se bo proizvod uporabljal (dovoljena oziroma zaželena pa je dvo- oziroma večjezična). Izjavi proizvajalec priloži spremno informacijo z oznako CE, ki jo namesti tudi na proizvod« (Bratož, 2014).
- CE oznaka 001/2016: »Obvezne sestavine oznake (etikete) so navedba sklicevanja na uporabljeni standard, ime in naslov proizvajalca ali pooblaščenega zastopnika, ki daje proizvod na trg, opis (klasifikacija) proizvoda in navedba končne uporabnosti, navedba karakteristik in doseženih vrednosti iz tabel ZA, CE znak v pravilni obliki in zadnji dve številki letnice leta, ko je bil proizvod dan na trg« (Bratož, 2014).
- Slika varjenca G_312: fotografiran končni zvarjeni element.

3.2 IZDELAVA JEKLENE KONSTRUKCIJE NA PRIMERU, POSLOVNO-PROIZVODNI OBJEKT LAR

Podjetje Lar se je odločilo zgraditi nov poslovno-proizvodni objekt na lokaciji industrijske cone v Lenartu. Njihova izbira je bila vroče pocinkana jeklena konstrukcija, pokrita in fasadno obdelana iz kovinskih panelnih plošč. Za izvajalca te jeklene konstrukcije je bilo izbrano naše podjetje.

Sledi nekaj osnovnih podatkov objekta. Proizvodna hala spada v izvedbeni razred EXC 2. Bruto tlorisna dimenzija skladišča s poslovnimi prostori bi znašala 33 m x 20 m. Dodan bi bil

nadstrešek s pokritim zunanjim skladiščem v bruto tlorisni izmeri 10 m x 20 m. Skupna bruto tlorisna površina torej znaša pribl. 1050 m². Prva sprememba je bila prav to, da smo, na željo investitorja, kasneje zunanji nadstrešek v projektu spremenili v zaprto skladišče tako kot preostali del. Dobili smo podaljšek zaprtega notranjega skladišča in s tem objekt, ki je po celotni obodni tlorisni površini zaprt. Oblika objekta je podolgovata in tlorisno v obliki črke L. Najvišja točka objekta meri 9,50 m. Streha je dvokapna z naklonom 15°. Skladišče je v pritličju, upravni del pa ima pritličje in 1. nadstropje.



Slika 10: Postavitev objekta v prostor

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

3.2.1 Priprava in oddaja ponudbe, podpis pogodbe in nabava materiala

Od podjetja Lar, kot prihodnjega naročnika, smo pridobili povabilo k oddaji ponudbe in s tem tudi popise materialov z načrti za izdelavo jeklene konstrukcije. Pred oddajo ponudbe sta vodilna člana ekipe podjetja Lar obiskala naše podjetje in si ogledala naše reference na področju jeklenih konstrukcij kot objektov.

V ponudbi smo upoštevali izdelavo in montažo vroče pocinkane jeklene konstrukcije, izvedbo zavetrovanja, podkonstrukcijo za fasado, podkonstrukcijo za vgradnjo oken in vrat, izdelavo delavniških načrtov z vsemi spojnimi materiali, vsemi prenosimi, dvigali in prevozi. V ponudbi je

bila vključena tudi priprava dokumentacije z vsemi certifikati, pregledi in potrebnimi meritvami. Celotna konstrukcija, ki je bila zajeta v popisu, je tehtala skupaj s pribitkom zvarov in vijakov 61 ton oz. 61.000 kg.

Kot najcenejši ponudnik z dobrimi priporočili je naše podjetje ta projekt uspešno pridobilo. Sledil je podpis pogodbe in s tem naročilo materiala za izdelavo konstrukcije. Odprl se je nov delovni nalog, katerega številka je pomembna, saj smo od takrat naprej ves porabljeni material za konstrukcijo Lar označevali s temi številkami delovnega naloga.

Posredovan statični model konstrukcije od podjetja Alja, David Urbanič s.p., nam je prikazal tudi izbrane vrste jeklenih profilov za različne elemente konstrukcije. Določeni jekleni profili kakovosti S275JR:

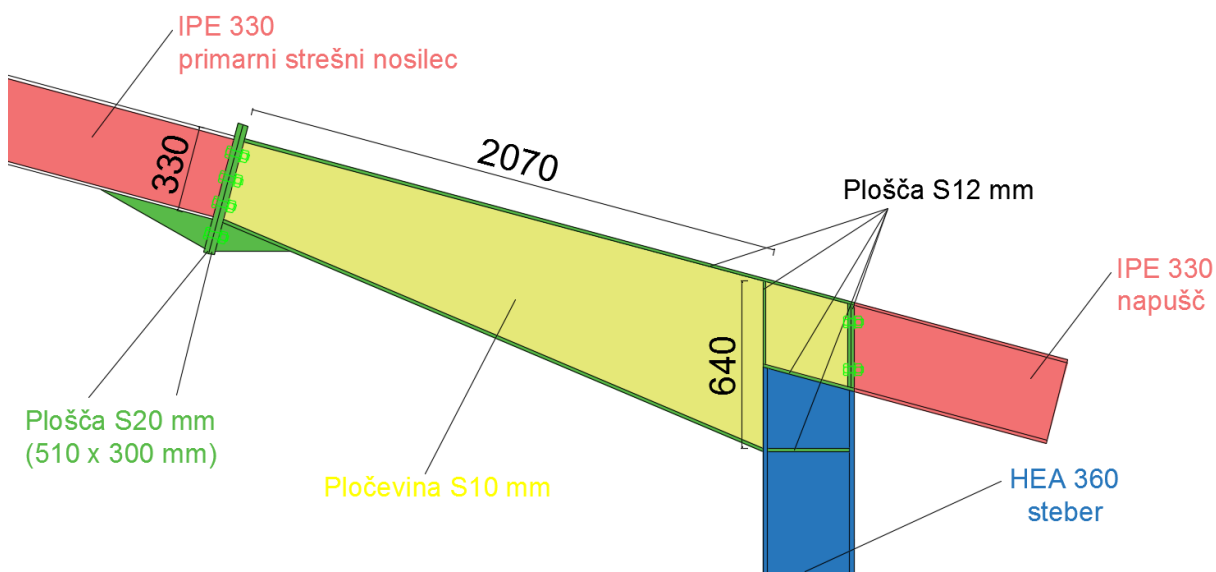
- HEA 360 (stebri konstrukcije skladišča)
- HEA 340 (stebri konstrukcije poslovnega dela)
- HEA 300 (vmesni stebri za podporo)
- IPE 330 (primarni strešni nosilec)
- HEA 100 (sekundarni strešni nosilec)
- HEA 240 (povezniki za ploščo poslovnega dela)
- HOP 100/100/5 (nosilci za stenske panele, okna in vrata)
- Palica $d = 30$ mm (jeklene palice za zavetrovanje)

Pri naročilu materiala je bilo treba navesti, da se bo izdelal objekt kot skladiščna hala, zaradi izdaje pravilnega materiala in s tem vseh certifikatov ter dokumentacije o testih za posamezno vrsto jeklenega profila. Ob prejetju materiala smo pridobili tudi vse potrebne certifikate, ki dokazujejo, da je material skladen in vsebuje oznako CE. Po dobavi materiala se je le-ta skladiščil na suhem, v naših proizvodnih prostorih. Posledica skladiščenja na prostem je rjavenje, to pa lahko privede do nezaželenih dodatnih stroškov, in sicer bi bilo treba v primeru nepravilnega skladiščenja nato opraviti postopek peskanja, da bi s površine odstranili nezaželeno rjo.

3.2.2 Izdelava delavniške dokumentacije

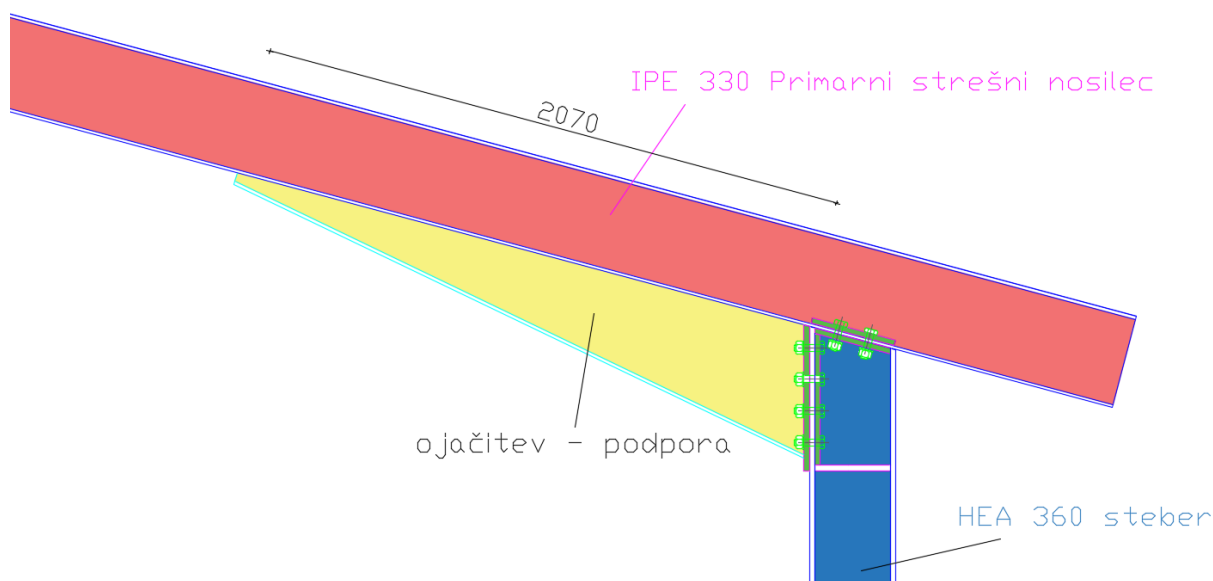
Glede na dobro izdelan projekt podjetja Alja, David Urbanič s.p., nam izdelava delavniške dokumentacije ni predstavljala težav. Glede na podane mere sem pri večini nosilcev pripisal dolžine, dodal priključne plošče in vrisal luknje za spoje. Strešne sekundarne nosilce HEA 100 sem razdelil na primerne dolžine in razdalje med njimi ter vrisal luknje za priključitev na primarne strešne nosilce IPE 330.

Spremenil pa sem detajl priključitve stebra HEA 360 in HEA 340 s primarnim strešnim nosilcem IPE 330. Vrisal sem potrebne spremembe z vsemi potrebnimi priključnimi ploščami. Vrisano spremembo nato, kot detajl, poslal projektantu v vednost, v ponovni preračun in potrditev konstrukcije. V tem detajlu smo se s tem znebili nepraktičnih prirobnic na stebrih in zvarjenega elementa ojačitve s primarnim strešnim nosilcem. Smo pa s spremembo prišli do zvarjenega elementa stebra in pribl. 2000 mm dolge in iz 640 mm na 330 mm po višini padajoče ojačitve iz pločevine, debeline 10 mm, ki je nato vijačno spojena s primarnim strešnim nosilcem. Pločevini debeline 10 mm služi kot pasnica, ki je zavarjena z zgoraj in spodaj, pločevina debeline 12 mm.



Slika 11: Novi detajl priključitve stebra s primarnim strešnim nosilcem

Vir: (Lastna raziskava)



Slika 12: Stari detajl priključitve stebra s primarnim strešnim nosilcem

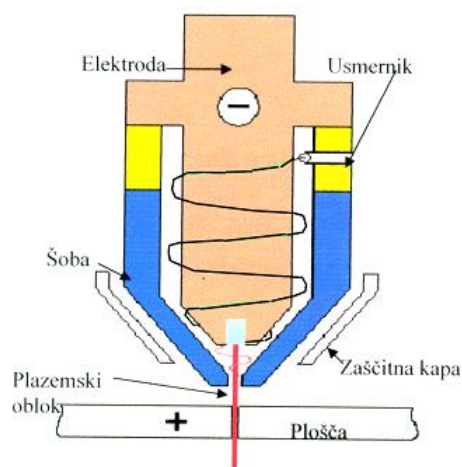
Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

3.2.3 Razrez materiala

Vse jeklene profile, ki so bili uporabljeni za to jekleno konstrukcijo, smo razrezali na določene dolžine na žagi. Sistem žage je lok s kroženjem žaginega lista z možnostjo nastavitve želenega kota. Imenujemo jo tudi tračna žaga, kjer žaga leti vedno v isti smeri preko dveh uležajenih kolutov. V našem primeru se je uporabljal kot 90° za kasneje pravokotno privarjene plošče, npr. sidrne plošče in kot 15° za naklonski kot pri stebrih in strešnih nosilcih. Vsi razrezani jekleni profili so se nato označili z mero dolžine in s pozicijsko številko, ki se je napisala na profil in prečrtala na načrtu. Ker bodo vsi elementi konstrukcije na koncu vroče pocinkani, so se na koncih jeklenih profilov, kjer kasneje pride do zaprtja s privarjeno ploščo, izrezovale odtočne zajede za iztek cinka pri pocinkanju.

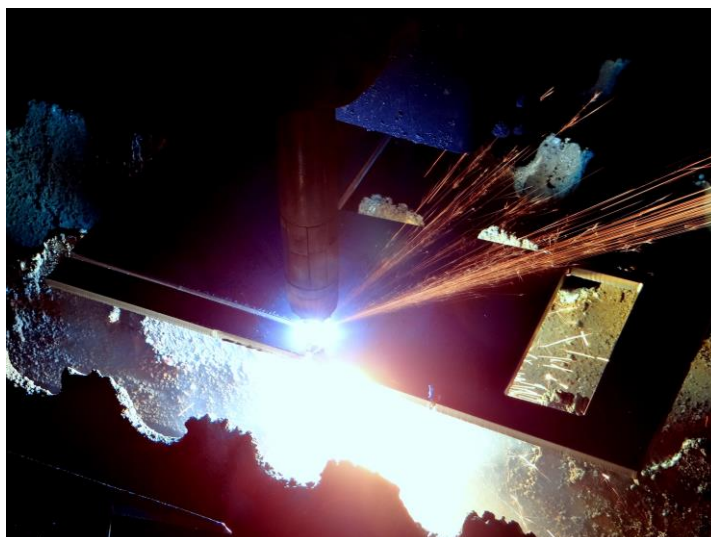
Istočasno je potekal razrez pločevine debeline od 5 mm do 25 mm. Po predhodnem izrisu potrebnih oblik in dimenzij ploščic v programu Autocad, se je nato vsaka oblika prenesla na CNC rezalnik, s katerim se je nato izrezala v končno obliko in želeno debelino. CNC ima tudi možnost ročnega vnosa podatkov enostavnih in manj zahtevnih oblik. Pri konstrukciji Lar je bilo večje število pravokotnih ploščic z enako dimenzijo in debelino. Tako je plazemski rezalnik za eno vrsto debeline pločevine, v idealnem primeru, samo enkrat prebijal pločevino in nato s programiranimi premiki izrezoval ploščice, pri katerih med njimi sploh ni nastajal odpad. Ostajala je le talilna žlindra, ki izteče, ko plazemski oblok reže s curkom v širini od 1,2 mm do

2,7 mm. Širina reza pa je odvisna od jakosti toka in velikosti šobe. Plazemski oblok je skoncentriran tok plina, ki brizga preko elektrode skozi ohlajeno šobo rezalnika. Oblok se samodejno prenese na pločevino, ker je pločevina na pozitivnem polu, šoba pa na negativnem polu. Skozi šobo prihaja tanek curek z visoko energijo, ki jo dovajamo na majhno površino. Tako se v našem primeru pri rezanju s plazmo segreti zrak spremeni v plazmo. Pri tem se ustvari visoka temperatura, ki kot snop izstopa skozi odprtino na šobi. Hitrost rezanja s plazmo je odvisna od debeline materiala, ki ga režemo, jakosti toka, pretoka zraka skozi šobo in oddaljenosti gorilnika od pločevine. Oddaljenost od pločevine znaša od 3 mm do 10 mm. Povprečna hitrost rezanja materiala za proizvodni objekt Lar je znašala 1500 mm/min.



Slika 13: Princip rezanja s plazmo

Vir: (Egradivo)



Slika 14: Plazemsko rezanje

Vir: (Lastna raziskava)

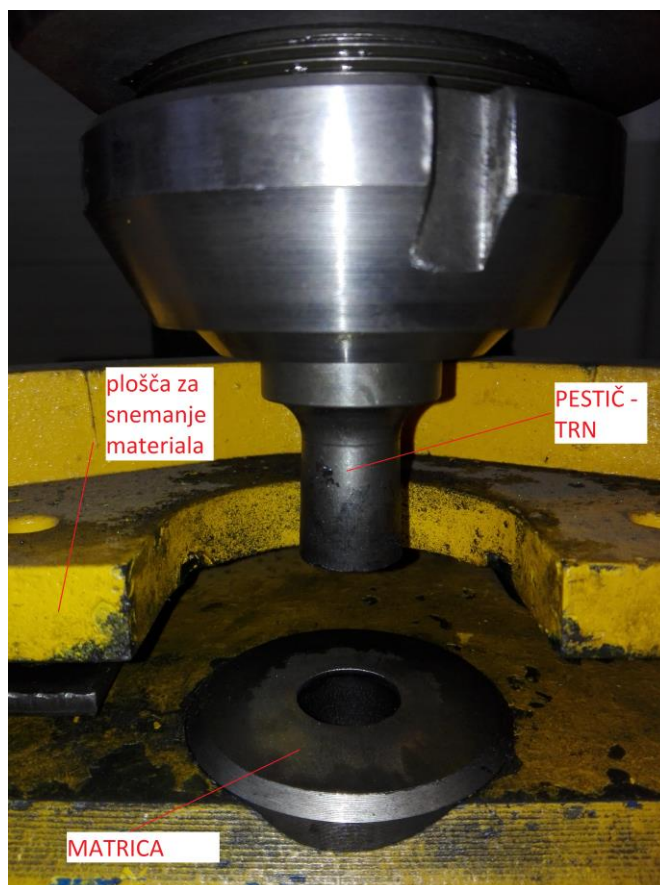
Na ploščice, ki so se izrezale na plazmi, smo nato napisali številke pozicije iz načrta.

3.2.4 Brušenje in vrtanje

Sledilo je brušenje materiala. Tukaj je mišljeno brušenje robov na ploščicah in čiščenje ostankov žlindre od rezanja CNC plazme. Robove ploščic je treba posneti, da ni ostrega roba. Večje kose se pobrusi z brusilko in brusilno ploščo, manjše pa počistimo v peskalnem stroju. Jekleni profili se pobrusijo na mestih, kjer se bo varilo na določeno fazo. Pobrušena faza je predpriprava za spajanje dveh kovinskih elementov. Pomeni pa, da na prihodnjem spoju pobrusimo kovinski element pod kotom 60° , s tem naredimo zajedo in prostor za zvar. Na ploščice, ojačitve in naležne plošče iz izrezane pločevine pa smo nato s pomočjo kosovnice in načrta po določenih pozicijah zarisali in nato zakirnali – označili prihodnje luknje ali navoje.

V pripravljene ploščice nato zavrtamo luknje pravilnega premera, kar odčitamo na načrtu. Naše vrtanje predstavlja način navadnega vrtanja, kjer kovinski element oz. obdelovanec miruje, stroj pa opravlja vrtilno gibanje svedra in gibanje vertikalno navzdol.

Sočasno so se na določenih ploščicah luknje iztisnile oz. prebijale na prebijalnem stroju, kjer ploščico položimo med pestič in matrico. Imenujemo ga tudi orodje za hladno iztiskavanje. S pomočjo tlačne sile, ki jo ustvari stroj, iz materiala iztisnemo luknjo v velikosti premera pestiča.



Slika 15: Orodje za iztiskovanje – prebijanje obdelovanca

Vir: (Lastna raziskava)

Na jeklenih profilih smo luknje prav tako hladno iztisnili s pomočjo hidravličnega ročnega prenosnega prebijalnega stroja, ki ga ročno preneseš na rob jeklenega profila, nastaviš na predviden del luknjanja in iztisneš luknjo. S tem postopkom smo iztisnili vse luknje na primarnih IPE 330 in sekundarnih strešnih nosilcih HEA 100 za konstrukcijo Lar. Prednost tega je predvsem manj porabljenega časa za delo proti običajnemu vrtanju. Predvideli in iztisnili smo tudi luknje za iztek cinka pri kasnejšem pocinkanju.

Po vrtanju in iztiskovanju je sledilo še povrtanje oz. čiščenje ostrih robov lukenj s stožčastim grezilom, predvsem zaradi neostrih robov ter kasnejšega lepšega naleganja vijakov. Vse luknje so bile izdelane z zračnostjo 2 mm, glede na vijak. Primer vijak M12, luknja premera 14 mm.

3.2.5 Sestava in varjenje jeklenih elementov

Po razrezu in pripravi elementov je sledila sestava in nato varjenje elementov konstrukcije. Sestavili smo celoten okvir konstrukcije. Se pravi, sestavili smo dva stebra z ojačitvijo in

primarna strešna nosilca. Kasneje smo jih tudi vijačno spojili. S tem smo preizkusili, ali dejanske izmere ustrezajo z načrtom, šele nato smo nadaljevali s sestavo. Vse plošče – prirobnice – smo sestavili z nosilci. Pri sestavi je potrebna natančnost in zbranost, saj je naslednji korak varjenje, ki dokončno poveže elemente v zvarjenec.

Varjenje je spajanje materialov v nerazdružljivo celoto z uporabo energije. Pri vsakem varjenju ne glede na obliko varjencev, vrsto materiala in tehnologijo izvajanja najprej izdelamo zvarni stik iz dveh koncev varjencev in nato var, ki skupaj z varjenci tvori zvarni spoj. Var je količina materiala, ki se je med varjenjem raztalila in strdila. Zvarni stik je medsebojna lega dveh ali več varjencev, ki imajo svoje robove primerno pripravljene, da lahko izdelamo želen zvarni spoj (dr. Karl Kuzman, 2010).

Konstrukcija je bila varjena z MAG postopkom. MAG (Metal Active Gas), z uporabo mešanice argona in CO₂, kjer se pri varjenju material tali z električnim oblokom, ki gori med varilno žico in varjencem. Namesto oplaščene elektrode uporabljamo pobakreno varilno žico, navito na kolutu. Žica se med varjenjem tali kot material za dodajanje, zato jo s posebnim pogonom potiskamo v držalo elektrode. V držalo dovajamo, poleg žice, tudi električni tok in zaščitni plin. Med varjenjem zaščitni plin obliva varilno žico in zvar. Plin stabilizira oblok in preprečuje oksidacijo zvara (podobno kot plašč elektrode pri elektro-obločnem varjenju). Potisni mehanizem podaja žico z enakomerno hitrostjo v držalo. Varilna žica je navita na kolutu, zato je varjenje hitro in brez prekinitev (MB-TECH d.o.o., 2015–2016).

Varilna žica, uporabljena pri varjenju konstrukcije Lar, je debeline 1,2 mm in je produkt kitajskega proizvajalca Huatong. Prav tako kot osnovni material, mora tudi žica imeti izjavo o lastnostih in oznako CE, kar pomeni, da je narejena po zahtevanem postopku in da vsebuje vse lastnosti, ki so potrebne za uporabo v standardu EN 1090. Varilna žica je z rezultatom nateznega preskusa pri 440 Mpa, kar pa za osnovni material z 275 Mpa brezpogojno zadošča. Npr. žica, ki ima rezultat nateznega preizkusa manjši, kot ga ima osnovni material, ni primerna za varjenje tistega materiala.

$$275 \text{ MPa} = 275 \text{ N/mm}^2 = 27,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$440 \text{ MPa} = 440 \text{ N/mm}^2 = 44,0 \text{ kg/mm}^2$$



Slika 16: Varjenje po MAG postopku

Vir: (MB-TECH d.o.o., 2015–2016)

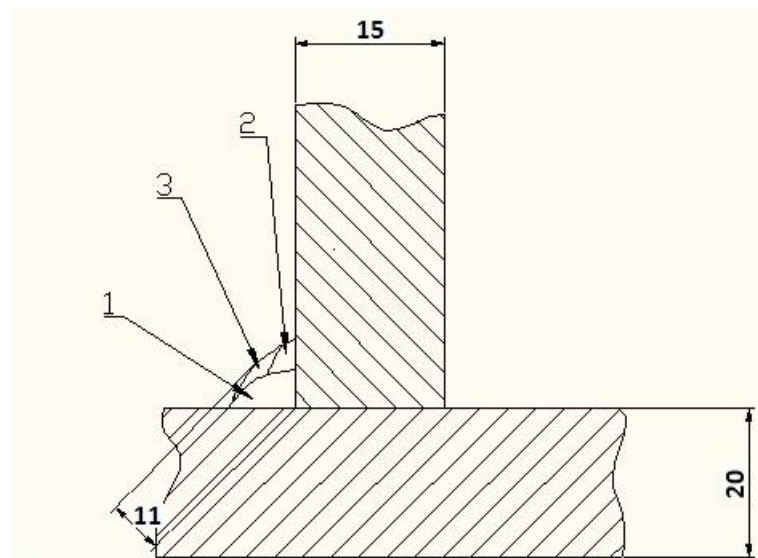
Konstrukcija spada v izvedbeni razred EXC2, kjer se upoštevajo standardne zahteve kakovosti. V našem primeru sta največkrat varjena elementa pločevina in nosilec, ki morata pred varjenjem biti popolnoma čista, brez maščob in drugih nečistoč. Oprema za varjenje mora biti pregledana. Varilci morajo imeti opravljeno certificiranje varjenja in certificiran varilni postopek. Na opremi je treba izbrati pravilne parametre za varjenje in šele nato lahko začnemo z varjenjem. Vsak varilec se mora po opravljenem varjenju določenega elementa podpisati na projekt elementa ali na za to posebej pripravljeni obrazec. S tem podjetje ohranja nadzor nad varilci in sledljivost. S takšnim ravnanjem zadostujemo standardu EN 1090.

Pred tem pa moramo imeti izdelani načrt varjenja oz. navodilo za varjenje oziroma podjetje mora imeti izdelan in certificiran postopek varjenja (WPQR). V tej certificirani proceduri so opisani postopki varjenja, temperature varjenja, kateri varilni in varjeni material lahko podjetje uporablja oz. kje so omejitve pri izdelavi. WPQR velja kot osnova pri varjenju in ga podjetje mora upoštevati pri vseh projektih. Pomemben del tega načrta je, da morajo biti vodeni vsi zapiski pred, med in po varjenju s strani varilnega koordinatorja.

Varjenje je bilo treba izvajati z navodilom za varjenje (WPS). WPS določa obliko zvara in vrstni red varjenja. Predstavljeni so vsi materiali, vrsta materiala, parametri varjenja, kontrola in druge posebne zahteve. Pri konstrukciji Lar je varilski specialist kontroliral kontrolo priprave zvarnega žleba, kotnost, ravnost, dimenzije pred, med in po varjenju ter kontrolo temperature predgrevanja, medvarkovne temperature. Medvarkovna temperatura je pomemben člen, še posebej, ko varimo v več slojih. WPQR nam narekuje, da se pri temperaturi prostora pod -20°C ne sme variti. Če je temperatura prostora manjša od 15°C , je potrebno predgrevanje

materiala. Pri konstrukciji Lar je bila temperatura prostora med varjenjem pri 17 °C, zato predgrevanje materiala ni bilo potrebno. Medvarkovna temperatura je temperatura med varjenjem, med posameznimi sloji varov, in sicer, če varimo večslojno – večvarkovno moramo izmeriti med posameznim varom t. i. medvarkovno temperaturo materiala, npr. z laserskim merilnikom toplote. WPQR nam narekuje, da medvarkovna temperatura ne presega 200 °C. Na to moramo biti pozorni in morebiti pred vsakim naslednjim varom počakati, da se material ohladi pod to temperaturo. V nasprotnem primeru lahko material okrog vara zakalimo, to pomeni, da spremenimo njegove prvotne lastnosti in material postane bolj trd in krhek. Zgodi se, da t. i. zrna zvara niso fina, ampak večja in bolj groba. To lahko ima za posledico lom oz. zvar lahko na tem mestu počí.

Eno od navodil WPS oz. verjetno najpogosteje uporabljeno navodilo pri konstrukciji Lar je bil kotni zvar, debelin materiala 20 mm in 15 mm. Za določitev velikosti zvara je bilo treba uporabiti običajno enačbo, $a=0,7 \times t$. Črka a pomeni velikost vara, črka t pa predstavlja tanjšo od obeh debelin materiala, ki jih varimo. Izračun za ta WPS nam poda rezultat velikosti vara 11 mm, kar pomeni, da smo na WPS-u imeli podano navodilo za kotni večvarkovni zvar. Spodnja slika prikazuje vrstni red nalaganja varov, da dobimo potrebno velikost končnega vara $a = 11 \text{ mm}$.



Slika 17: Oblika varjenega spoja in vrstni red varjenja

Vir: (Lastna raziskava)

3.2.6 Pocinkanje jeklene konstrukcije

Cinkanje je ena izmed najučinkovitejših in dolgoročno učinkovitih zaščit pred rjo oz. korozijo. Kovine se v naravi na splošno nagibajo v njihovo stabilno obliko. Pri železu temu pojavu pravimo rja. Pri cinkanju jekla v vroči talini cinka pride do vezave cinka in jekla, pri čemer se ustvari zaščitna oksidna plast. Elementi konstrukcije Lar so, sodeč po prejetih a testih po izvedbi vročega pocinkanja, bili v povprečju pocinkani v izmerjeni debelini 200 mikronov. Po zahtevi EN ISO 1461 (vroče kosovno cinkanje, prevleke na jeklenih predmetih, nanesene z vročim pocinkanjem) je dovolj povprečna debelina cinka na kovini 85 mikronov. Torej konstrukcija kakovostno glede antikorozijske zaščite ustreza zahtevam standarda EN 1090. Prednost pocinkanja kovine je dolgotrajna zaščita pred rjo. Trajanje zaščite pa je odvisno od atmosferskega oz. klimatskega okolja, v katerem bo konstrukcija. Po standardu EN ISO 14713 (antikorozijska zaščita železnih in jeklenih konstrukcij – Cinkove in aluminijeve prevleke) bi konstrukcija, glede na podeželsko atmosfero in začetno debelino nanosa cinka 100 mikronov, zdržala brez rjavenja minimalno 100 let. Glede na to, da ima pa konstrukcija povprečno debelino nanosa 200 mikronov, pa bi morala ta konstrukcija zdržati 200 let.

Pocinkanje konstrukcije smo izvedli v pocinkovalnici v Celju, kjer imajo eno največjih kadi za pocinkanje v Evropi. Pri posameznem zvarjencu za pocinkanje pa je kljub temu treba biti pozoren že v fazi projektiranja in kasnejši izdelavi, da ne presežeš dovoljene mere in teže za pocinkanje.

Postopek cinkanja zajema štiri glavne faze: nalaganje oz. obešanje elementov, kemijsko čiščenje, vroče cinkanje ter razlaganje in čiščenje.

Podjetje Lar se je za vroče pocinkanje konstrukcije odločilo predvsem zaradi določenih prednosti pred barvano konstrukcijo. Tukaj je prednost predvsem ekonomičnost in trajanje zaščite konstrukcije brez popravil in sanacij. Strošek cinkanja konstrukcije je znašal 0,27 EUR/kg. Strošek barvanja konstrukcije bi pa znašal 0,36 EUR/kg. Glede na skupno težo konstrukcije Lar bi ta razlika stroškovno znašala 5.490,00 EUR v korist pocinkanju.

Tabela 3: Primerjalna tabela stroškov vročega pocinkanja in barvanja

<i>Antikorozijska zaščita</i>	<i>Strošek (EUR/kg)</i>	<i>Skupni strošek (konstrukcija Lar), teža: 61000 kg</i>
Barvanje	0,36	21.960,00 EUR
Vroče pocinkanje	0,27	16.470,00 EUR

Vir: (Lastna raziskava)

Vroče cinkano prevleko odlikuje tudi mnogo boljša odpornost na mehanične obremenitve. Ta je 8-krat boljša od epoksidnih premazov ter 20-krat boljša od PVC premazov in epoksidnih prašnih nanosov (Pocinkovalnica d.o.o., 2016).



Slika 18: primer, pocinkani stebri konstrukcije na gradbišču Lar

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

3.3 MONTAŽA JEKLENE KONSTRUKCIJE NA PRIMERU, POSLOVNO PROIZVODNI OBJEKT LAR

Na splošno izraz montaža izhaja iz besede »mont«, kar pomeni grmaditi, kopičiti. V slovenščini lahko namesto tega izraza uporabimo tudi izraze, kot so sestavljanje, povezovanje, vgrajevanje, dograjevanje. Namen montaže je sestaviti izdelek, pri tem so uporabljeni različni izdelovalni postopki. Skupek vseh postopkov, ki so potrebni za izdelavo izdelka, pa imenujemo t. i. montažni proces. Za izvajanje montažnega procesa pa moramo imeti stroje in ljudi. Sredstva so montažni stroji, montažna orodja, montažni pripomočki, prostor, transportne naprave in kontrolne naprave. Ljudje oz. delavci pa so operaterji, strežniki, izvajalci montaže, nadzorniki in drugi (dr. Karl Kuzman, 2010).

V našem proizvodnem podjetju je montaža del proizvodnega procesa, kjer izdelek dobi končno uporabno vrednost. Ko so prvotni elementi konstrukcije Lar bili pripeljeni iz pocinkovalnice na gradbišče, se je začel pregled elementov, morebitno čiščenje odvečnega cinka in delna montaža konstrukcije. Čiščenje odvečnega cinka pomeni le kakšen štrleči, oster strjeni cink, npr. na robu nosilca ali plošče. Sprva so se elementi razložili na za to pripravljena mesta na gradbišču. Razdelili smo jih po vrsti glede na vtisnjene pozicije na elementih, da potem pri sami postavitvi konstrukcije ne bi bilo nepotrebne zamude časa pri iskanju elementov. Ker gradbena dela še niso bila čisto pri koncu, smo s postavitvijo konstrukcije začeli teden kasneje, kot je bilo sprva predvideno. Pri tem smo v pomoč pridobili montažni načrt, ki je prikazal postavitev posameznega okvirja konstrukcije. Vsi drugi okvirji so enaki, zato se je način dela ponavljal.

3.3.1 Vijačenje konstrukcije

Posamezni okvir konstrukcije smo na betonski plošči najprej sestavili. Okvir je bil vijačen z vijaki M24, kakovosti 10.9 (trdnostni razred). Višja je kakovost, višja je meja plastičnosti in natezna trdnost vijaka.

Ker je vijak M24, kakovosti 10.9, največkrat uporabljen v sestavi vsakega okvirja konstrukcije, s pomočjo enačbe predstavljam, kolikšna je maksimalna sila ($F_{\max}$), ki jo lahko prenaša vijak s premerom jedra navoja.

Podatki za izračun so naslednji:

- Prerez vijaka 24 mm
- Meja plastičnosti vijaka M24, kakovosti 10.9, znaša 900 N/mm²

Dopustno napetost σ_{dop} pri vijakih po navadi določamo v odvisnosti od meje plastičnosti σ_v .

$$\sigma_{\text{dop}} \approx 0,3 * \sigma_v$$

$$\sigma_{\text{dop}} \approx 0,3 * 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 270 \text{ N/mm}^2$$

Maksimalna sila F_{max} , ki jo lahko prenaša vijak s prerezom A, (premerom jedra navoja d_1):

$$A = d_1^2 * \pi / 4$$

$$A = 24^2 \text{ mm} * \frac{\pi}{4} = 452,39 \text{ mm}^2$$

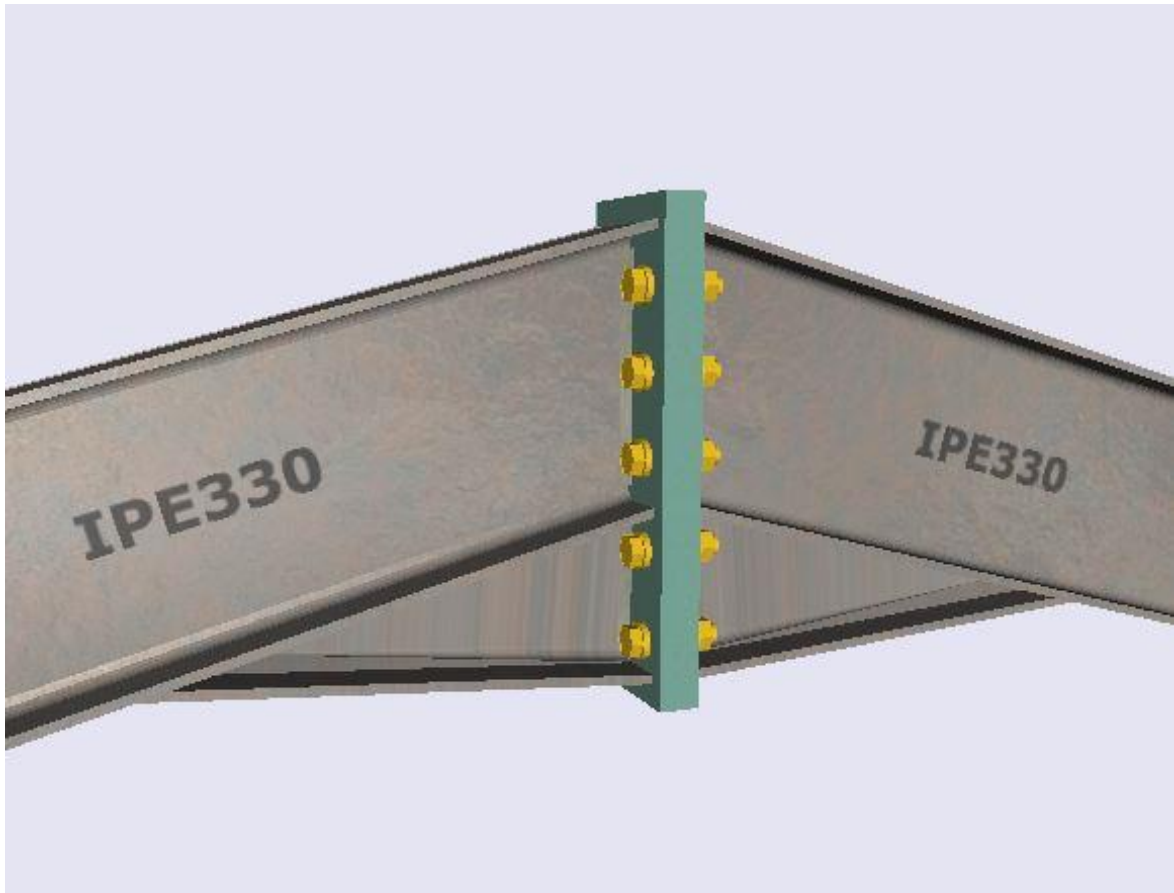
F_{max} – maksimalna sila:

$$F_{\text{max}} \leq A * \sigma_{\text{dop}}$$

$$F_{\text{max}} \leq 452,39 * 270 = 122145 \text{ N}$$

$$122145 \text{ N} = 12455 \text{ kg}$$

Dobimo, da mora biti maksimalna sila manjša ali enaka 122145 N ali 12455 kg, 12,4 ton. V primerjavi ima vijak M24, kakovosti 8.8, rezultat 8,9 ton (Kraut, februar 1976).



Slika 19: Vijačna zveza levega in desnega dela okvirja v slemenu konstrukcije Lar, vijačeno z vijaki M24

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

Okvir smo dokončali na tleh v horizontalnem položaju, privijačili smo ga v celoto in nato z avtodvigalom dvignili v vertikalni položaj. Nastavili smo okvir na njegovo mikrolokacijo in ga počasi v vertikalnem položaju spustili na betonsko ploščo. Mikrolokacija nam prikazuje natančno mesto sidranja oz. vijačenja v betonsko ploščo.

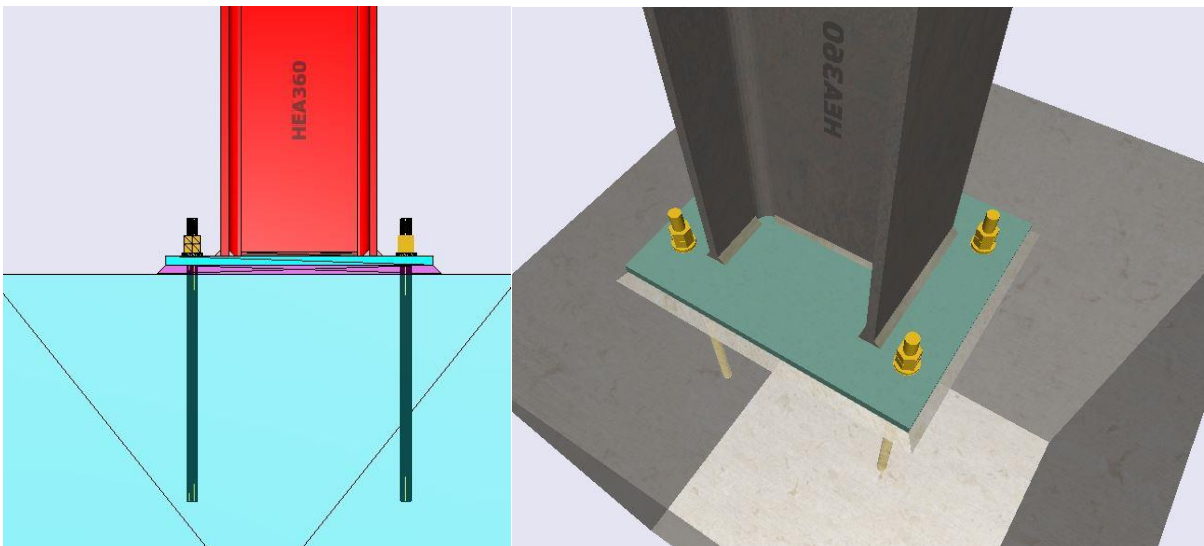


Slika 20: Postavitev prvega okvirja konstrukcije

Vir: (Lastna raziskava)

3.3.2 Sidranje konstrukcije

Ko je bil ta okvir postavljen na mestu mikrolokacije po projektu, smo ga na obeh straneh sidrali v betonsko ploščo. Sidra so bile navojne palice s podložko in matico na vrhu. Vgrajeno sidro je dolžine 350 mm in premera 24 mm.



Slika 21: Sidranje stebra v betonsko ploščo

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

Sidranje je potekalo s sistemom lepljenja s posebnim dvokomponentnim kemičnim lepilom, ki mora prav tako imeti certifikat in izjavo o lastnostih. Za vsak steber so se izvrtale štiri luknje premera 28 mm in globine 350 mm. Izvrtane luknje so se očistile odvečnega betonskega prahu s pomočjo sesanja iz luknje. Nato sta se v luknje vtisnila dvokomponentno kemično lepilo in sidro, palica M24. Lepilo se iztiska iz embalaže v poseben nastavek, ki je pritrjen na iztisni pištoli. Lepilo prihaja iz embalaže v dveh komponentah, ki se v nastavku zmešata. Od tukaj naprej se lepilo strjuje.

Ko so bila vsa sidra vtisnjena v betonsko ploščo, je bilo treba počakati, da se je lepilo začelo strjevati in šele nato je bilo možno deloma pritegovati konstrukcijo k betonski plošči. Konstrukcije nato ni bilo možno pritegniti z matico do polne vrednosti, saj lepilo potrebuje določen čas strjevanja, ki je odvisen od temperature ozračja in osnovnega materiala. Tako lahko glede na takratno temperaturo, 5 °C, na polno obremenimo oz. pritegnemo sidro šele 120 minut po lepljenju. Polna obremenitev v tem primeru pomeni pribl. 300 Nm. Spodnja tabela prikazuje čas do možne delne zategnitve in polne zategnitve oz. obremenitve sidra, ki je lepljeno z dvokomponentnim kemičnim lepilom.

Tabela 4: Čas strjevanja do obremenitve kemičnega lepila glede na temperaturo

Temperatura osnovnega materiala (°C)	-10 °C	-5 °C	0 °C	+5 °C	+10 °C	+20 °C	+30 °C
Čas strjevanja (delna obremenitev)	90 min.	90 min.	45 min.	25 min.	15 min.	6 min.	4 min.
Čas strjevanja (polna obremenitev)	24 h	28 h	14 h	4 h	160 min.	90 min.	50 min.

Vir: (Friulsider, 2011)

Maksimalna izvlečna sila, ki je potrebna, da pri naši globini sidranja 350 mm, nerazpokanemu betonu in strjenemu lepilu, zalepljeno sidro morebiti izvleče iz betona, znaša pribl. 140 KN = pribl. 14 ton. Pri takšni obremenitvi prej popusti oz. se zlomi navojna palica M24, ki ima rezultat max. sile pri 12,4 ton kot pa lepilo, s katerim je sidrano. To je izračun na eno sidro. Steber konstrukcije Lar pa je sidran s štirimi sidri. Torej, če bi hoteli izvleči steber iz plošče, potrebujemo silo 560 KN = pribl. 56 ton.

3.3.3 Povezovanje okvirjev in sestava objekta

Ko je bil prvi okvir konstrukcije sidran v ploščo, se je nadaljevala montaža naslednjega okvirja, ki smo ga stabilizirali s sidranjem v ploščo, podkonstrukcijami za okna in s strešno povezavo. Pri postavitvi se je vedno sproti preverjala načrtana linija in vertikala konstrukcije s pomočjo vodne tehtnice.

Podkonstrukcije za okna so sestavljeni jekleni okvirji iz cevi 100/100/5 mm. Okvirji imajo na straneh priključne plošče z luknjami za pritrditev na konstrukcijo.

Strešna povezava v tem primeru pa so sekundarni strešni nosilci HEA 100. Ko je bil naslednji okvir postavljen, smo ga povezali s temi nosilci in s tem začasno dodatno stabilizirali konstrukcijo. Sekundarni strešni nosilci so se pritrdili na primarne strešne nosilce z običajnimi pocinkanimi vijaki kakovosti 8.8 in debeline M12.

Pri montaži nam je bila v pomoč dvižna ploščad, ki dviguje do višine 12 m. Sekundarni strešni nosilec je operater s pomočjo avtodvigala dvignil na določeno mesto. Monterji so pa na dvižni ploščadi na različnih višinah vijakno pritrdjevali sekundarne nosilce s preostalim delom konstrukcije.



Slika 22: Postavitev okvirja konstrukcije

Vir: (Lastna raziskava)



Slika 23: Povezava okvirjev s strešnimi nosilci in podkonstrukcijami za okna

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

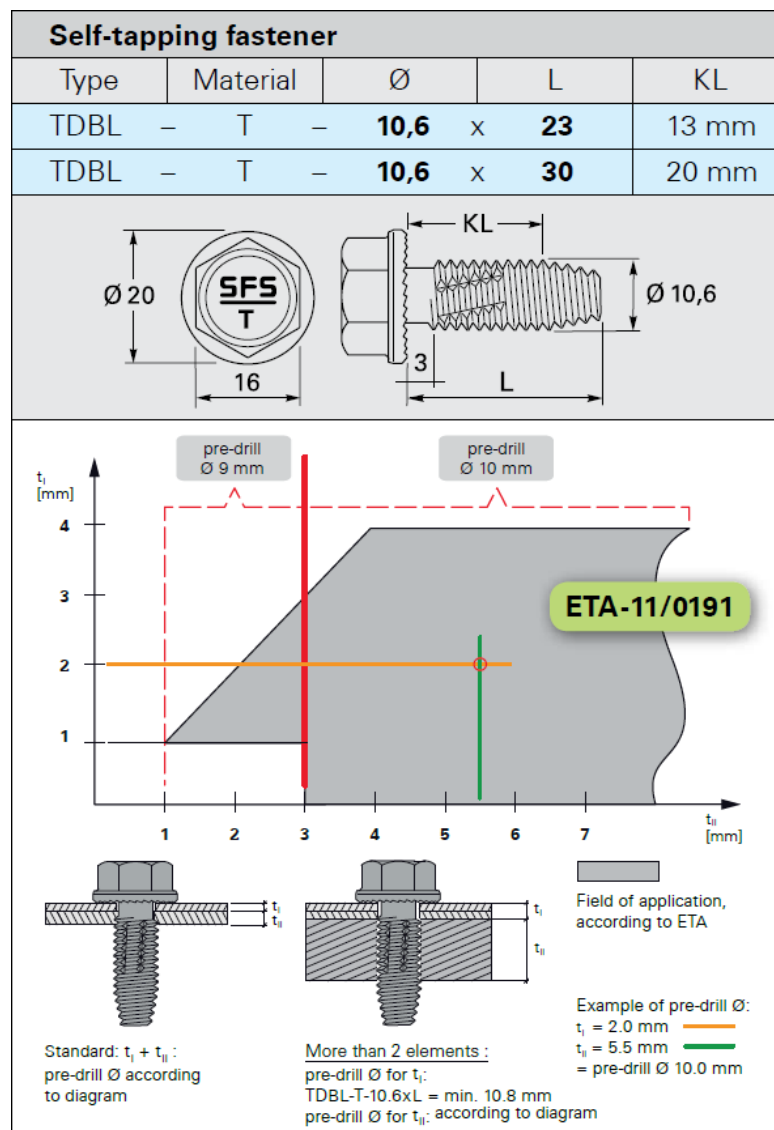
Montažo konstrukcije smo nadaljevali z enakim, ponavljajočim se postopkom dvigovanja okvirjev, vijačenja in sidranja.

Za zaključek montaže nam je ostala povezava sekundarnih strešnih nosilcev v žloti konstrukcije. To povezavo smo rešili s pomočjo montažnih sidrnih plošč. Plošče so bile izrezane pod kotom in upognjene, da so se lepo prilegale nosilcu v žloti in povezanem sekundarnem strešnem nosilcu HEA 100. Elemente smo pritrdjevali s pomočjo posebnih vijakov SFS, ki so posebej izdelani za pritrdjevanje pločevine na pločevino ali pločevine na nosilec, tudi cev. To pomeni, da niso potrebno matice in podložke. Za pritrdjevanje z vijaki smo potrebovali le zadosten premer predvrtane luknje v nosilec in nato smo s pomočjo udarnega vijačnika in vijakov pritrdili vse povezave sekundarnih strešnih nosilcev v žloti konstrukcije. Seveda imajo vijaki za izdelavo in montažo izdan certifikat, ki dovoljuje uporabo teh vijakov za vijačne zveze v konstrukcijah.

Sledila je samo še montaža – zateg na strešno konstrukcijo in nekaj manjših dodatnih del.

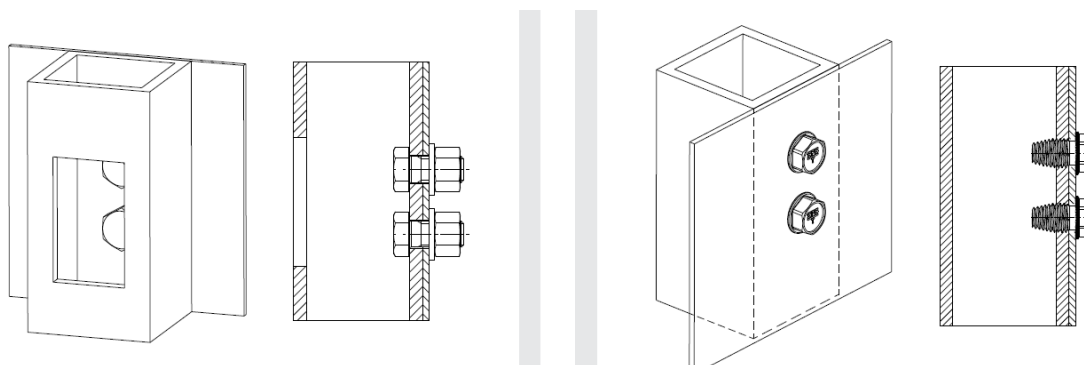


Slika 24: Žlota, vijačena s SFS vijaki
Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)



Slika 25: Premer predvrtane luknje glede na debelino materiala

Vir: (SFS Intec Ltd., 2016)



Slika 26: Primer, levo vijačenje pločevine na cev z navadnimi vijaki, desno vijačenje s SFS vijaki

Vir: (SFS Intec Ltd, 2016)



Slika 27: Vidne zatege na strehi iz paličnega jekla premera 30 mm



Slika 28: Pogled konstrukcije v celotni velikosti

Vir: (Lastna raziskava)

3.3.4 Predaja tehnične dokumentacije

Na koncu montaže in vseh dodatnih del je sledila predaja tehnične dokumentacije z naše strani. Dokumentacija je obsegala izjavo o skladnosti z vsemi pripadajočimi a testi osnovnega in dodatnega materiala, a testi varilcev, certifikati vročega pocinkanja in gradbeni dnevniki. Za zgrajen objekt se je izdala tudi garancija.

4 STROŠKI IZGRADNJE JEKLENE KONSTRUKCIJE

4.1 Ponudba

Tabela 5: Ponudba jeklene konstrukcije je zajemala naslednje postavke s cenami (EUR):

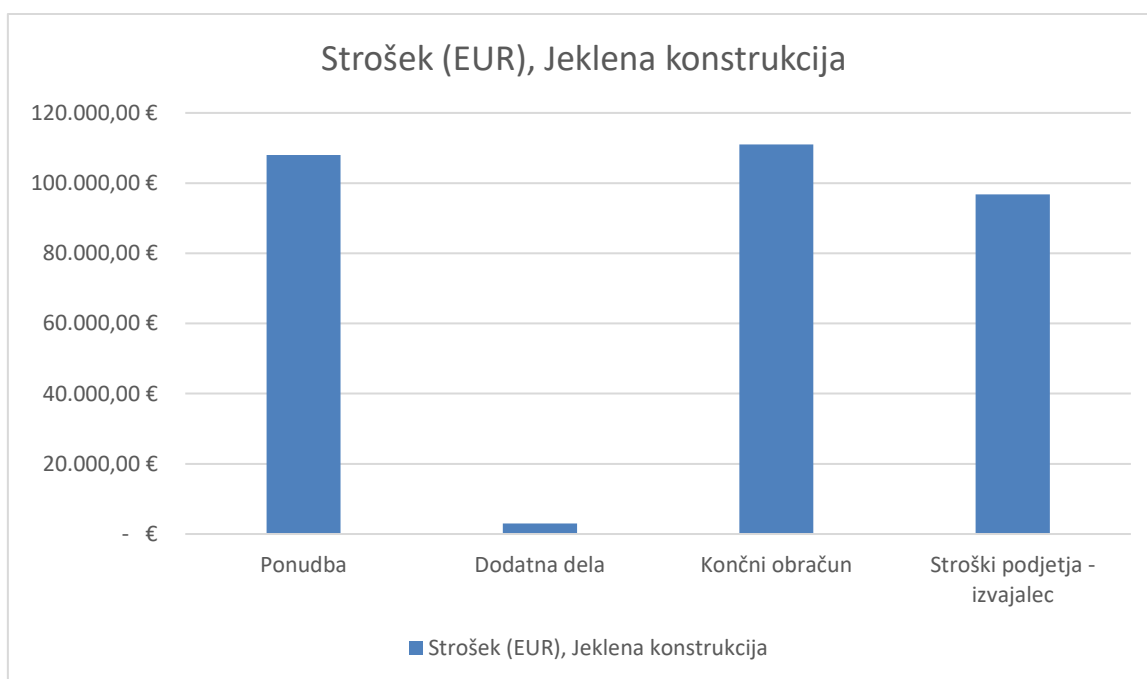
Dobava in montaža vroče cinkane jeklene konstrukcije hale po priloženem popisu, vključno ves material, vse delo, ves spojni material, vsi prenosi, dvigala in vsi prevozi.	89.941,43
Dobava in izvedba zavetrovanja, vključno ves material, vse delo, ves spojni material, vsi prenosi, dvigala in vsi prevozi.	1.334,25
Dobava in montaža podkonstrukcije za fasado, vključno ves material, vse delo, ves spojni material, vsi prenosi, dvigala in vsi prevozi.	4.337,41
Dobava in izdelava podkonstrukcije za vgraditev rolo vrat in oken, vključno ves material, vse delo, ves spojni material, vsi prenosi, dvigala in vsi prevozi.	6.300,00
Dobava in izdelava spojnih elementov, predvidenih 5 % teže celotne konstrukcije in podkonstrukcije.	4.069,52
Izdelava delavniških načrtov.	3.500,00
Priprava dokumentacije za pridobitev uporabnega dovoljenja, vključno vsi certifikati, vsi pregledi in vse potrebne meritve!	750,00
SKUPAJ z 2 % popusta:	108.027,96 EUR

Vir: (Montaža Krajnc s.p., 2016)

4.2 Dodatni in končni stroški jeklene konstrukcije

Med izdelavo in montažo jeklene konstrukcije se je pojavilo nekaj manjših dodatnih stroškov, predvsem zaradi dodatne izdelave podkonstrukcije za fasadne izolacijske plošče. Te podkonstrukcije tudi niso bile zajete v projektih, na osnovi katerih se je izdelovala ponudba. Zato te stroške štejemo k dodatnim stroškom. Podkonstrukcijske elemente je bilo treba pripraviti iz debelejšje pocinkane pločevine in jeklenih kotnikov in jih nato na gradbišču montirati med jeklene profile.

Podjetje je konstrukcijo izdelalo z želenim pozitivnim izidom, kar prikazuje tudi spodnji grafikon. V stroške podjetja so všteti vsi stroški v zvezi z materialom in zaščito le-tega, delovnim kadrom, gorivom, dokumentacijo in deloma s fiksnimi stroški podjetja v tem časovnem obdobju izdelave konstrukcije.



Grafikon 1: Stroški jeklene konstrukcije

Vir: (Montaža Krajnc s.p., 2016)

5 FASADE KONSTRUKCIJE



Slika 29: Fasada 1

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)



Slika 30: Fasada 2

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)



Slika 31: Fasada 3

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)



Slika 32: Fasada 4

Vir: (Projektiranje Alja, David Urbanič s.p., 2016)

6 SKLEP

Izdelava in montaža takšne jeklene konstrukcije, kot je opisana v tem delu, je za naše malo podjetje eden izmed večjih projektov katerega smo izdelali. Zato smo veseli, da nam je s skupnimi močmi uspelo izvesti objekt, katerega lahko s ponosom pokažemo bodočim strankam na tem področju.

Diplomsko delo predstavlja postopek izgradnje jeklene konstrukcije na primeru poslovno-proizvodnega objekta Lar. V uvodu smo razjasnili, kaj je jeklo in njegove glavne značilnosti. Omenjenih je nekaj zgodovinskih dejstev o jeklu, ki nam prikažejo pridobivanje jekla nekoč in danes. Opisano je tudi, kako preizkušamo trdnost jekla in kje so meje nepovratnih deformacij pri obremenitvah. Pri projektiranju jeklene konstrukcije moramo vedeti kakšnim obremenitvam bo objekt izpostavljen. Tukaj so pomembne mehanske lastnosti jekla, ki nam s pomočjo raznih preizkusov podajo rezultate, kje so meje preko katerih v praksi ne smemo.

Obsega področje standarda EN 1090/2. Opisan je primer testiranja in pridobitev certifikata CE. Konstrukcija, ki je bila zgrajena po standardu in je materialno razdeljena na osnovni material, dodatni material, zaščitni material in spojni material, je v obsegu tega standarda potrjena in vsebuje vse potrebno za doseganje le-tega. Z delom sem preveril ali so bili upoštevani vsi postopki za označitev konstrukcije s CE oznako. To lahko potrdim, saj je bil postopek upoštevan po vseh normativih. Glede na to, da je naše podjetje šele kratek čas v tem sistemu certificiranja elementov kot izdelkov, sem s pomočjo svojega mentorja v podjetju g. Šumaka preučil vse korake pridobivanja certifikata in izdaje certifikata za opisano jekleno konstrukcijo. Vsi predloženi dokumenti, ki so potrebni za izdelavo in montažo jeklene konstrukcije so bili upoštevani, pregledani in potrjeni s strani pristojnega organa za certificiranje. Vsi vgrajeni materiali so testirani in mogoča je sledljivost.

Delo opisuje področja v proizvodnji, kjer se srečujeta material in stroj. Razlaga nam delo in obravnava postopke priprave, obdelave in sestave elementov v proizvodnji in nato na gradbišču. Izdelava jeklene konstrukcije je potekala z nekaj spremembami na določenih elementih, saj projektant ni podal optimalne rešitve za izdelavo in kasnejšo montažo jeklene konstrukcije. Tukaj sklepam, da so bili delno pomanjkljivo sestavljeni popisni obrazci za izdajo ponudbe in kasnejšo izdelavo konstrukcije. Tudi načrti so bili delno pomanjkljivo izrisani, zato je bila potrebna modifikacija načrtov s strani našega podjetja, pri tem pa je tudi sledila ponovna potrditev sprememb statičnega izračuna. Vse spremembe na konstrukciji so bile sprejete in

odobrene, zato smo jih tudi upoštevali. S tem smo se izognili predvsem nepraktičnemu delu in s tem dodatnim stroškom pri izdelavi in montaži jeklene konstrukcije.

Pri montaži jeklene konstrukcije je opisano predvsem sidranje konstrukcijskih elementov v betonsko ploščo. Kjer smo uporabili dvokomponentno lepilo, ki je po trdnosti zelo vzdržljivo. To opisuje in potrjuje tudi postopek izračuna v tem poglavju dela. Prikazuje tudi čas strjevanja lepila, glede na zunanjo temperaturo. Predstavljeni so tudi posebni vijaki, ki so se uporabili pri vijačenju strešnega dela konstrukcije. Tukaj je mišljena žlota strehe. Vijaki so testirani in vzdržljivi, ter ustrezajo zahtevanim predpisom. Uporabljamo jih tudi v bodoče, saj so se izkazali za zanesljive. Njihova največja naloga in prednost, pa je, da nam omogočajo predhodno hitrejšo izdelavo in posledično tudi montažo jeklene konstrukcije.

Na koncu je prikazan graf s stroški, ki nam pove, da je bila konstrukcija v povpraševanju in ponudbi pripravljena na dobri osnovi in pri izgradnji jeklene konstrukcije ni bilo veliko dodatnih stroškov z morebitnimi spremembami in raznimi dodatnimi deli. Nekaj dodatnih stroškov se je nabralo predvsem pri podkonstrukciji za vijačenje panelnih plošč. Pri konstrukciji pa je bil izračun dokaj natančen, kljub spremembam da določenih detajlih. Vsi prejeti popisi so delo podjetja Projektiranje Alja s.p.

Podjetje se kot investitor v prihodnje najverjetneje ne bo srečevalo s prostorsko stisko, katere je bilo deležno do sedaj v manjših najemniških prostorih. S pridnostjo so dokazali, da je mogoče izgraditi tudi lastno proizvodno halo. Za preživetje pa v tej globalni tekmi ni dovolj le pridnost, ampak nova znanja in inovacije, saj le podjetje z več novimi dosežki vedno hitreje zaživi v proizvodnem okolju. Tudi naše podjetje stremi k temu s tem, da pokažemo, kdo smo. Kaj zmoremo pa nam omogočajo stranke in trg, ki nam zaupajo. V delu nisem omenil, da je dober končen izdelek, skupek dobre priprave, natančnosti, sodelovanja, in strokovnega razmišljanja ljudi, ki smo bili prisotni pri izdelavi in montaži konstrukcije. Pri tem gre velika zahvala našemu kadru v podjetju in partnerjem, ki so sodelovali v tem projektu.

Moj cilj v tem delu je bil dokaj nazorno prikazati celoten postopek izdelave in montaže jeklene konstrukcije. Da bi celoten postopek prikazal čim bolj natančno sem šel v detajle priprave, razreza in obdelave kovinskih elementov. Tudi izkušnje katere sem pridobil pri tem projektu so neprecenljive in jih bom lahko uporabil tudi v bodoče pri naslednjih izzivih kateri nas čakajo. Upam, da mi je postopek izdelave in montaže konstrukcije, uspelo opisati čim bolj natančno in razumljivo, tudi tistim ljudem, kateri se ne ukvarjajo s to stroko.

7 VIRI, LITERATURA

- Andrej, Paulin. (1997). *Mala slovenska enciklopedija metalurgije in materialov*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta.
- Beg, p. d. (2013). Mehanske lastnosti jekla. *Jeklene konstrukcije*, str. 4.
- Bratož, E. (2014). Skladnost kovinskih proizvodov. (str. 28–29). Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije.
- Dr. Karl Kuzman, d. I. (2010). *Moderno proizvodno inženirstvo*. Ljubljana: Grafis Trade.
- Dusharme, K. S. (Oktober 2016). *Quality digest*. Pridobljeno iz Quality digest:
http://www.qualitydigest.com/april04/articles/01_article.shtml
- Egradivo. (brez datuma). Pridobljeno iz E gradivo:
http://egradivo.ecnm.si/SIV/plazemsko_varjenje_in_rezanje.html
- Friulsider. (2011). *Friulsider*. Pridobljeno iz
http://www.friulsider.com/upload/docs/1/4617_KEM_UP+vinilestere+rev10.pdf
- Intihar, A. (2014). EN 1090, Predavanje EWE/EWT. (str. 1-14). Inštitut za varilstvo.
- Kraut, U. p. (februar 1976). Strojniški priročnik. V B. Kraut. Ljubljana: Strojniški Vestnik.
- Lastna raziskava. (brez datuma).
- MB-TECH d.o.o. (2015–2016). *Gradim.si*. Pridobljeno iz <http://www.gradim.si/naredi-sam/varjenje-mig-mag-tig-postopek.html>
- Montaža Krajnc s.p. (22. januar 2016). Ponudba hala LAR. *objava ponudbe LAR*. Sovjak, Slovenija: Aleksander Krajnc s.p.
- Označavanje čelika i osnove proračuna. (2013). *Metalne i drvene konstrukcije*, 2.
- Pocinkovalnica d.o.o. (2016). *Pocinkovalnica d.o.o.* Pridobljeno iz Spletno mesto podjetja Pocinkovalnica: <http://www.pocinkovalnica.si/cinkanje/cinkanje-ali-barvanje/>
- Projektiranje Alja, David Urbanič s.p. (2016). Apače: Projetiranje Alja, David Urbanič s.p.
- SFS Intec Ltd. (2016). TDBL Brochure. Leeds: SFS intec Ltd. T, Division Construction, Velika Britanija.
- Surovine. (2008). *Surovine*. Pridobljeno iz www.surovine.si: <http://www.surovine.si>

Termania. (2010–2016). *Termania.net*. Pridobljeno iz

<http://www.termania.net/slovarji/inzenirsko-seizmoloski-terminoloski-slovar/8279195/duktilnost?query=lastnost>

Tüv Süd Sava. (brez datuma). *Tüv Süd Sava*. Pridobljeno iz [http://www.tuv-sud.si/sava-](http://www.tuv-sud.si/sava-si/dejavnosti/storitve-v-industriji/jeklene-in-aluminijaste-konstrukcije-en-1090-1)

[si/dejavnosti/storitve-v-industriji/jeklene-in-aluminijaste-konstrukcije-en-1090-1](http://www.tuv-sud.si/sava-si/dejavnosti/storitve-v-industriji/jeklene-in-aluminijaste-konstrukcije-en-1090-1)

TWI Ltd. (2016). *TWI Ltd, Granta Park, Great Abington, Cambridge*. Pridobljeno iz Spletno

mesto TWI Ltd: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/>