Analiza zavarenih spojeva okvira motocikla primjenom programa Sysweld

Čović, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:911814

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Luka Čović

Zagreb, 2019.godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić, dipl. ing.

Student:

Luka Čović

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **LUKA ČOVIĆ** Mat. br.: 0035195625

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza zavarenih spojeva okvira motocikla primjenom programa Sysweld**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of weld joints on motorbike chasis using Sysweld software**

Opis zadatka:

U teorijskom dijelu rada potrebno je obraditi primjenu numeričkih simulacija koje se koriste pri oblikovanju zavarenih konstrukcija te detaljnije opisati Sysweld programski paket. Opisati TIG tehnologiju zavarivanja s naglaskom na zavarivanje cijevnih okvira motocikala. Navesti koji su materijali najčešće koriste u tu svrhe te za njih navesti adekvatne dodatne materijale i zaštitne plinove.

U eksperimentalnom dijelu rada je potrebno propisati prikladnu tehnologiju zavarivanja, pripremu spoja i parametre zavarivanja za odabrani promjer i debljine stjenke cijevi. Odabrana kritična spojna mjesta konstrukcije motocikla potrebno je analizirati u programu Sysweld te dobivene rezultate usporediti s vrijednostima mehaničkih ispitivanja. Zaključno, ocijeniti primijenjenu tehnologiju zavarivanja i mogućnost primjene programa Sysweld u realnoj proizvodnji cijevnih okvira.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
02. svibnja 2019.

Rok predaje rada:
04. srpnja 2019.

Predviđeni datum obrane:
10. srpnja 2019.
11. srpnja 2019.
12. srpnja 2019.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Ivica Garašić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc Ivici Garašiću na svim znanjima darovanima tijekom studija te dostupnosti i otvorenosti prilikom svakog novog problema i nedoumice. Također se zahvaljujem i na mogućnosti odabira teme te formuliranja sadržaja prema osobnim afinitetima.

Zahvaljujem se Maji Jurici Remenar, dr. sc., te Ivanu Juriću, mag. ing. mech., na velikoj pomoći tijekom izrade diplomskog rada te na znanju i trudu uloženom u ovaj projekt.

Luka Čović

SADRŽAJ

POPIS SLIKA IV
POPIS TABLICA VI
POPIS JEDNADŽBI VII
POPIS OZNAKA VIII
POPIS KRATICA IX
SAŽETAK X
SUMMARY XI
1. Uvod 1
1.1. Povijesni razvoj motocikala 2
1.2. Današnji motocikli 4
2. Funkcije i tipovi šasije 5
2.1. Cijevne šasije 5
2.2. „Trellis“ šasija 6
2.3. Cijevno oslonjena šasija („Tubular backbone frame“ eng.) 7
2.4. „Backbone Frame“ eng. 7
2.5. „Monocoque šasija“ fra. 8
2.6. „Twin – spar“ šasija 9
3. Zavarivanje šasije motocikla 11
3.1. Elektrolučno zavarivanje 11
3.2. Plinsko zavarivanje 12
3.3. Problemi i upozorenja prilikom izvođenja zavarivanja 13
3.3.1. Distorzija 13
3.3.2. Ukrute 14
3.3.3. Priprema krajeva cijevi za zavarivanje 15
3.3.4. Odabir cijevi prema dimenzijama 15
3.3.5. Izrada WPS-a 16
4. Korozijska zaštita šasije motocikla 17
4.1. Najčešće vrste i oblici korozije na šasiji motocikla 17
4.1.1. Opća korozija 18
4.1.2. Galvanska korozija 18
4.1.3. Korozija u procijepu 19
4.1.4. Jamičasta ili rupičasta korozija 20
4.1.5. Prohrđavanje 20
4.1.6. Bubrenje 20
4.1.7. Crvičasta ili filiformna korozija 20
4.2. Metode zaštite šasije motocikla 21
4.2.1. Nanošenje galvanskih prevlaka 21
4.2.2. Nanošenje premaza – bojanje 23
4.2.3. Elektrostatsko nanošenje praškastih prevlaka 25
4.2.4. Anodizacija aluminija – eloksiranje 26

5. Numeričke simulacije u zavarivanju 28
5.1. *Simufact* 29
5.2. *Abaqus* 29
5.3. *Sysweld* 30
6. Eksperimentalni dio 31
6.1. Materijal šasije i njegov kemijski sastav 34
6.2. Zavarljivost 25CrMo4 36
6.3. Tehnologija zavarivanja 37
6.3.1 Priprema spoja 38
6.3.2. Izvedba zavarivanja 39
6.4. Korozijska zaštita uzoraka 41
6.4.1. Provođenje postupka mokrog lakiranja 42
6.4.2. Provođenje postupka elektroplastifikacije 44
6.5. Simulacija zavarivanja korištenjem programa Sysweld 45
6.5.1. Visual Mesh 46
6.5.2. Visual Weld 50
6.5.3. Visual Viewer 56
6.5.4. Rezultati simulacije i zaključci 57
ZAKLJUČAK 67
LITERATURA 69
PRILOZI 71

POPIS SLIKA

Slika 1: Motocikl na parni pogon, 1868. godina [1] ... 2
Slika 2: Preteča današnjih motocikala - „Kostolomac“ Daimlera i Maybacha [1] ... 3
Slika 3: Motocikl korišten 1914. godine, Harley Davidson [1] ... 3
Slika 4: Honda D, prvi model, 1947.godina [1] ... 4
Slika 5: Primjer današnjeg motocikla – Yamaha MT – 10 [2] ... 4
Slika 6: Cradle Frame šasija [1] ... 6
Slika 7: „Trellis“ triangulirana šasija – KTM Duke 200 [1] ... 6
Slika 8: Cijevno oslonjena šasija Kawasaki Z800 [1] ... 7
Slika 9: Šasija u T zavarenoj izvedbi, 1960. godina Ossa GP 250cc [1] ... 8
Slika 10: Monocoque šasija John Norton, 1973. godina [1] ... 8
Slika 11: Twin – spar šasija, Yamaha R1 [1] ... 9
Slika 12: Primjer izbjegavanja distorzije prilikom zavarivanja [4] ... 13
Slika 13: Prikaz pravilnog redoslijeda zavarivanja u smislu izbjegavanja distorzije [4] ... 13
Slika 14: Pravilna izrada ukruta i zavarivanje istih [4] ... 14
Slika 15: Razlog postavljanja ukrute [4] ... 14
Slika 16: Dobivanje cijevi spremnih za zavarivanje rezanjem i brušenjem [4] ... 15
Slika 17: Primjer WPS – a [5] ... 16
Slika 18: Galvanska korozija mehanizam nastanka [7] ... 18
Slika 19: Aluminijska šasija izvedena s mnogo vijčanih spojeva [9] ... 19
Slika 20: Mehanizam nastanka jamičaste korozije [8] ... 20
Slika 21: Shema uređaja za galvanizaciju – niklanje i kromiranje [7] ... 21
Slika 22: Primjer niklane i kromirane pločice [11] ... 22
Slika 23: Kromirani dijelovi Harley Davidsona [12] ... 23
Slika 24: Mehanizam nastanka filma kod vodorazrijedivih premaza [13] ... 24
Slika 25: Bojani rezervoar Harley Davidsona [14] ... 24
Slika 26: Zaštita šasije praškastim prevlakama [16] ... 25
Slika 27: Postrojenje u kojem se provodi elektrostatsko nanošenje praškastih prevlaka [17] ... 26
Slika 28: Eloksiranje aluminijske šasije bicikla [18] ... 27
Slika 29: Prikaz postupaka koji se mogu simulirati koristeći Simufact [20] ... 29
Slika 30: Prikaz simulacije u programu „Simufact“ [19] ... 29
Slika 31: Dijagram toka rada *Abaqus* CAE programa[19] ... 30
Slika 32: Prikaz mogućnosti korištenja „*Sysweld*“ programa [21] ... 30
Slika 33: Primjer šasije automobila u NASCAR – u [22] ... 31
Slika 34: Primjer pravilne triangulacije [23] ... 32
Slika 35: Prikaz konstrukcije korištenjem SW2016 programa ... 33
Slika 36: Etape ispitivanja kemijskog sastava ... 35
Slika 37: Zavarljivost elemenata [25] ... 36
Slika 38: Oblik cijevi kakav je potrebno dobiti glodanjem ... 38
Slika 39: Cijev nakon pripreme ... 38
Slika 40: Prikaz spoja SW2016 ... 39
Slika 41: Izvođenje zavarivanja ... 39
Slika 42: Zavareni spoj netom nakon zavarivanja ... 40
Slika 43: Prikaz makroizbrusaka ... 40
Slika 44: Norma ISO 12944 - 5 ... 41
Slika 45: Prikaz zahtjeva norme DIN 55633 ... 42
Slika 46: Uzorci prije i nakon rezanja i sačmarenja ... 42
Slika 47: Temeljni sloj Hempadur Zink ... 43

Slika 48: Drugi sloj Hempathane 2K PUR 43
Slika 49: Zaštita postupkom elektrostatskog nanošenja praška 44
Slika 50: Prikaz mreže elemenata napravljene na zavaru 46
Slika 51: Prikaz mreže elemenata napravljene na gornjoj cijevi 47
Slika 52: Prikaz mreže elemenata na donjoj cijevi 47
Slika 53: Prikaz mreže elemenata na cijelom spoju 48
Slika 54: Prikaz površine za izmjenu topline s okolinom (hlađenje) 48
Slika 55: Prikaz linije zavarivanja (crveno) 49
Slika 56: Welding Advisor – Izbornik 1 50
Slika 57: Welding Advisor – Izbornik 2 51
Slika 58: Welding Advisor – Izbornik 3 51
Slika 59: Welding Advisor – Izbornik 4 52
Slika 60: Welding Advisor – Izbornik 5 53
Slika 61: Welding Advisor – Izbornik 6 54
Slika 62: Odabrani elementi koji su stegnuti i nepomični u x,y,z smjeru te njihovim rotacijama 54
Slika 63: Welding Advisor – Izbornik 9 55
Slika 64: Prikaz dimenzija koje definiraju „zeppelin“ 56
Slika 65: Prikaz rezultata prve iteracije 58
Slika 66: Prikaz rezultata druge iteracije 59
Slika 67: Temperaturna raspodjela u području zavarenog spoja gledano s vanjske strane 60
Slika 68: Prikaz presjeka zavara u YZ ravnini 61
Slika 69: Prikaz presjeka modela zavara koji je prihvaćen kao konačno rješenje 62
Slika 70: Pogleda zavara koji je prihvaćen kao konačno rješenje 63
Slika 71: Prikaz maksimalnih temperatura postignutih tijekom zavarivanja 64
Slika 72: Prikaz deformacija komada nakon zavarivanja 65
Slika 73: Prikaz naprezanja po Von Misesu 66
Slika 74: Prikaz naprezanja prema teoriji srednjih naprezanja (vlak-gore; tlak-dolje) 66

POPIS TABLICA

Tablica 1: Podjela motocikala s obzirom na tip šasije [3] 10
Tablica 2: Prednosti i nedostatci MIG/MAG postupka zavarivanja [4] 12
Tablica 3: Odabir cijevi prema dimenzijama [4] 15
Tablica 4: Kemijski sastav 25CrMo4 [24] 34
Tablica 5: Kemijski sastav uzorka 25CrMo4 35
Tablica 6: Parametri zavarivanja 37
Tablica 7: Stupnjevi pripreme površine 43
Tablica 8: Prikaz kemijskog sastava materijala X20Cr13 [26] 45
Tablica 9: Mehanička svojstva materijala X20Cr13 [26] 45
Tablica 10: Prva iteracija 57
Tablica 11: Druga iteracija 58
Tablica 12: Konačni parametri-posljednja iteracija 62

POPIS JEDNADŽBI

Jednadžba 1 37

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	%	Istezanje
C_{ekv}	%	Ekvivalentni udio ugljika
d	mm	Promjer
d_s	μm	Debljina zaštitnog sloja
$E(Q)$	J/mm	Unos topline
F	N	Sila savijanja
HV	-	Tvrdoća po Vickersu
I_{zav}	A	Jakost struje zavarivanja
KV	J	Udarni rad loma
l	mm	Duljina
R_m	MPa	Vlačna čvrstoća
$R_{p0.2}$	MPa	Granica razvlačenja pri deformaciji od 0.2 %
s	mm	Debljina stijenke
S_a	-	Stupanj pripreme površine
T	℃	Temperatura
t_{zav}	s	Vrijeme zavarivanja
v_{zav}	mm/s	Brzina zavarivanja
q	l/min	Protok zaštitnog plina
σ_{vm}	N/mm^2	Zaostala naprezanja prema Von Misesu
ε_{zav}	mm	Duljinske deformacije prilikom zavarivanja

POPIS KRATICA

Kratica	Opis
C	Ugljik
Cr	Krom
C4-L	Kategorija korozivnosti
ESI	eng. Engineering System International
Fe	Željezo
MAG	Elektrolučno zavarivanje u zaštiti aktivnog plina (eng. Metal Active Gas)
MIG	Elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog plina (eng. Metal Inert Gas)
Mn	Mangan
Mo	Molibden
NASCAR	eng. National Association for Stock Car Auto Racing
Ni	Nikal
P	Fosfor
Pb	Olovo
pH	Vrijednos mjere kiselosti, snaga vodika (lat. Potentia hydrogenii)
PUR	Poliuretan
RAL	germ. Reichs-Ausschub fur Lieferbedingungen Gutesicherung
SW	eng. Solidworks
Si	Silicij
S	Sumpor
TIG	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina (eng. Tungsten Inert Gas)
WG	Grupa zavarivanja (eng. Welding group)
WP	Geometrija Zeppelina pri zavarivanju (eng. Welding pool)
WPS	Specifikacija postupka zavarivanja (eng. Welding Procedure Specification
ZUT	Zona utjecaja topline
Zn	Cink

SAŽETAK

Cijevne šasije kroz povijest mijenjale su se s ciljem poboljšanja sigurnosti, nosivosti, voznih svojstava itd. Trend korištenja lakših materijala vidljiv je u svim poljima pa tako i pri izradi šasija. Odabran je niskolegirani krom molibdenski čelik zbog svojih svojstava kao što su čvrstoća, krutost, otvrdnjivost, otpornost na trošenje, otpornost na koroziju, dobra obradivost, dobra zavarljivost. Napravljen je Solidworks model šasije prilikom čega su korištene dimenzije uzete iz pravilnika Motostudent natjecanja. Isti materijal, 25CrMo4, je zaštićen na dva načina, elektrostatskim postupkom nanošenja praška i postupkom mokrog lakiranja. Za oba postupka zaštite osigurana je odlična korozijska postojanost. Provedena je i priprema spoja te zavarivanje istog uz definirane parametre. Nakon toga je model spoja napravljen u Sysweld programu u kojem je pomoću numeričkih metoda simulirano zavarivanje te su dobiveni rezultati koji prikazuju raspodjelu temperatura, naprezanja i deformacija prilikom zavarivanja.

Ključne riječi: šasija, CrMo čelik, Solidworks model šasije, elektrostatska zaštita materijala, mokro lakiranje, priprema spoja i zavarivanje, numeričke metode, Sysweld, simulacija, raspodjela temperatura, naprezanja i deformacija prilikom zavarivanja

SUMMARY

Chassis design and manufacturing have been changing in order to achive safety, payload and driving condition improvement throughout the history. The trend of lightweight materials use is visible in all fields, even while making chassis. Low - alloyed chrome molybdenium steel is selected in application due to its properties such as stiffness, cureablility, wear resistance, corrosion resistance, good workability and good weldability. The Solidworks entire chassis model was made by using the dimensions taken from the Motostudent competition rule book.

The same material, 25CrMo4, has been protected from corrosion impact by using two different methods, electrostatic powder application and wet lacquer method. It is provided with excellent corrosion resistance stability for both protection procedures. The preparation of the joint and welding were carried out along the defined parameters. Then the model is made in the Sysweld program in which welding simulation was accomplished. The results of the simulation have been presented by showing distribution of temperature, strain and deformation while welding.

Key words: chassis, low - alloyed chrome molybdenium steel, Solidworks model of chassis, electrostatic powder application, wet lacquer method, preparation and welding, welding simulation, distribution of temperature, strain and deformation during welding.

1. Uvod

Šasije motocikla izrađuju se zavarivanjem aluminijskih, čeličnih, magnezijevih legura. Nekada se koriste i karbonska vlakna u izradi šasija u slučajevima kada su zahtjevi na čvrstoću veliki te se traži mala masa vozila. Prilikom izrade šasije od karbonskih vlakana cijena je bitno veća u usporedbi s šasijama načinjenim od konvencionalnih materijala koji se koriste u izradi šasije. Danas se najčešće šasije izrađuju od aluminija, čelika, specifično, krom molibden čelika zbog izrazito prihvatljivih mehaničkih svojstava koje je moguće dobiti za relativno nisku cijenu. Svrha šasije motora je jasna, služi kao nosivi element na kojeg se uglavnom vijčanim spojevima spajaju ostali dijelovi koji sačinjavaju motocikl, kao naprimjer motor, uređaj za hlađenje, rezervoar, prednje vilice... Osim toga također štiti osjetljivije dijelove prilikom pada.

Izrada šasije je iscrpan i temeljit posao kojeg treba shvatiti dosta ozbiljno zbog sigurnosti motorista. Gledano s financijske strane, krivo konstruiranje iste može donijeti velike gubitke. Takav slučaj dogodio se u automobilskoj industriji prilikom izrade *Toyotinih* modela, *Tundra, Tacoma, Sequoia SUV* što ih je koštalo sve skupa 3,4 milijardi dolara, a zamjena šasije bila je potrebna na čak 1,5 milijuna vozila. Cijena šasije za automobil *Tacoma* inače iznosi oko 4500 dolara, a zbog dodatnih radova nakon reparacije ili zamjene iznosila je 15 000 dolara. U ovom slučaju pogreška je napravljena prilikom provođenja korozijske zaštite što je dovelo do smanjenja čvrstoće esencijalnih dijelova šasije što je nedopustivo.

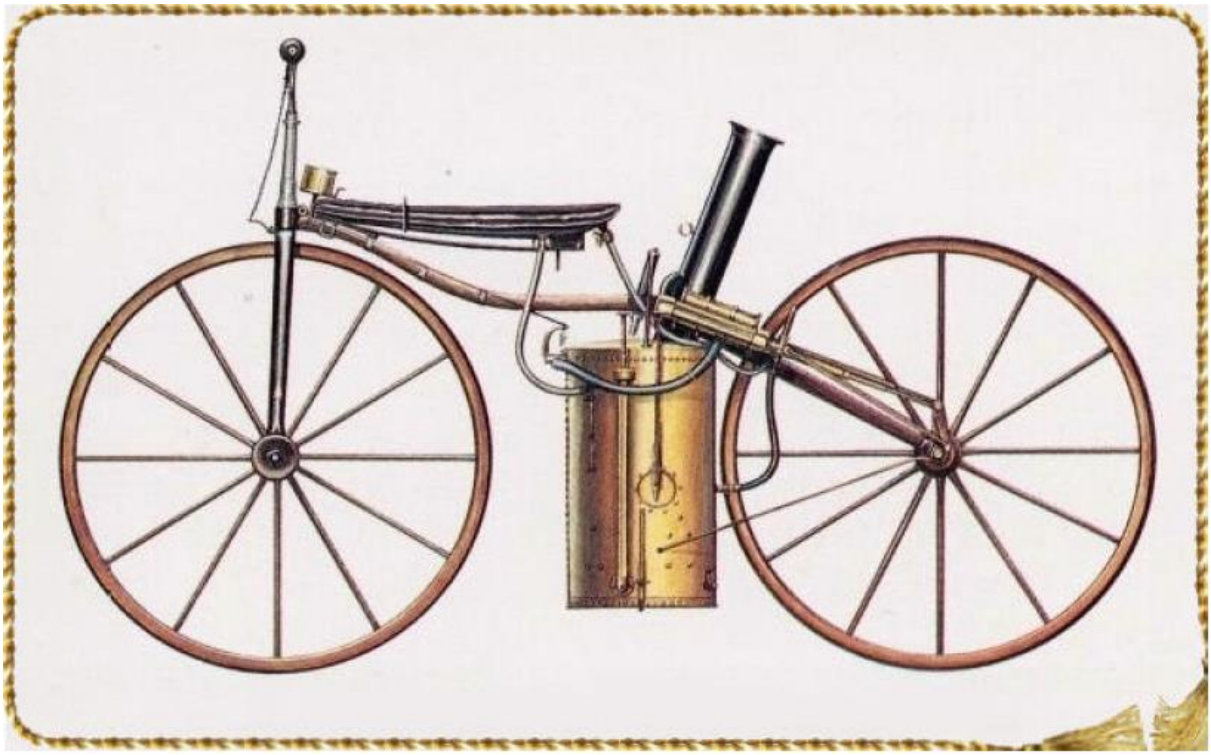
Motostudent natjecanje je akademsko natjecanje među timovima sveučilišta širom svijeta. Održava se kroz tri semestra a cilj natjecanja je upoznati studente s timskim radom, radom u sektoru industrije, potaknuti kreativnost i inovacijske sposobnosti studenata. Cilj ovog rada jest osigurati materijale za buduće naraštaje te im olakšati odabir materijala, definiranje tehnologije zavarivanja uz dokazanu čvrstoću jednog spoja šasije. Zbog tajnosti dokumenata, dimenzije šasije u *Motostudent* natjecanju i ovom radu nisu usklađene, ali ih je lako preadaptirati, u slučaju pojave interesa studentica i studenata za izradu vlastitog motocikla na *Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.*

U eksperimentalnom dijelu odabran je materijal za izradu šasije koji je zadovoljio zahtjeve na čvrstoću i kemijsku postojanost te je provedena korozijska zaštita konstrukcije. Nakon odabira materijala, šasija je konstruirana u alatu *Solidworks* držeći se pravila za konstruiranje triangulirane cijevne šasije te je izveden jedan zavareni spoj kao dokaz tehnologije uz

provedeno ispitivanje svojstava koristeći programski alat *Sysweld* koji kao pozadinu svog rada koristi metodu konačnih elemenata.

1.1. Povijesni razvoj motocikala

Prvi motocikl izumljen je 1868. godine kada je *Sylvester Howard Roper* izradio motocikl na parni pogon kao što se vidi na slici 1. [1]



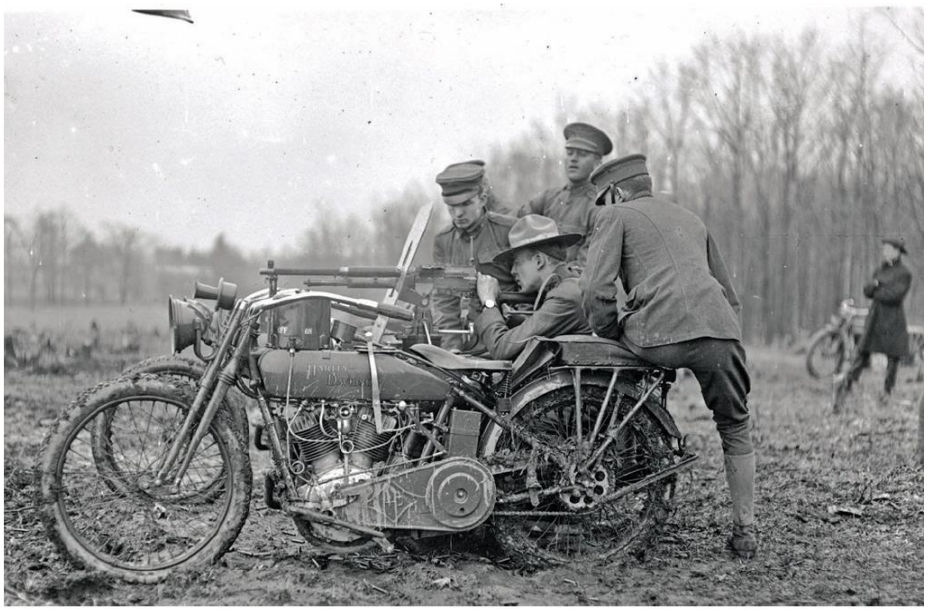
Slika 1: Motocikl na parni pogon, 1868. godina [1]

Prvi naftom pogonjeni motocikl izumljen dvadesetak godina kasnije, točnije 1885. od strane dvojice njemačkih inovatora, *Gottelieba Daimlera i Wilhelma Maybacha*. Bio je to motocikl koji je koristio jednocilindarski Otto motor koji je bio smješten u centar tada drvene šasije pod službenim imenom *Daimler Reitwagen*, ali poznat pod nazivom „*Kostolomac*“ zbog ne baš dobrih voznih svojstava i tendenciji da izbaci vozača sa sjedala na pod. „*Kostolomac“* je prikazan na slici 2. [1]



Slika 2: Preteča današnjih motocikala - „Kostolomac“ Daimlera i Maybacha [1]

Poveznica rata i razvoja motocikala je velika. U početku Prvog svjetskog rata 1914. godine, motocikli su se smatrali pouzdanim i neovisnim vozilima te su korišteni uglavnom za isporuku pisama ili u nekim slučajevima čak i prilikom samog ratovanja kao što se vidi na slici 3. Procijenjeno je da je Američka vojska koristila čak 20 000 motocikala od kojih je većina bila Harley Davidson, koji je nakon rata postao najveći proizvođač motocikala u svijetu. [1]



Slika 3: Motocikl korišten 1914. godine, Harley Davidson [1]

Nakon rata 1920-ih godina broj motocikala naglo je porastao. Na tržište su se priključila neka imena kao što su BMW i Moto Guzzi dok su se nakon Drugog svjetskog rata tržištu priključile istočnjačke velesile u današnjoj industriji motocikala kao npr. Honda i Kawasaki.[1]



Slika 4: Honda D, prvi model, 1947.godina [1]

1.2. Današnji motocikli

U današnjem svijetu, motocikli imaju različitu funkciju, ovisno o dijelu svijeta u kojem promatramo njihovu ulogu. U razvijenim dijelovima svijeta predstavljaju uglavnom luksuz, koriste se kao rekreacija ili kao simbol osobnog identiteta vozača dok se u slabije razvijenim dijelovima svijeta koriste kao prijevozna sredstva zbog nižih cijena prilikom kupovine u odnosu na automobile te manje potrošnje goriva. Slika 5 prikazuje Yamahin model MT-10. [1]



Slika 5: Primjer današnjeg motocikla – Yamaha MT – 10 [2]

2. Funkcije i tipovi šasije

Šasija motocikla je komponenta koja služi da bi držala ostale komponente zajedno te se izrađuje od raznih materijala kao naprimjer čelika, aluminija ili magnezija. Odabirom materijala pokušavaju se kombinirati svojstva koja će polučiti izrazite performanse te ujedno biti i praktična, dobrih voznih karakteristika, dovoljno, ali ne i previše savitljiva te sigurna u vožnji.

Da bi se postigla dobra vozljivost šasija mora biti otporna na utjecaje savijanja i torzije tako da os naginjanja ostane u ravnini s prednjim kotačem prilikom opterećenja konstrukcije od strane prijenosa momenta, izbočina na cesti, zavoja i kočenja.

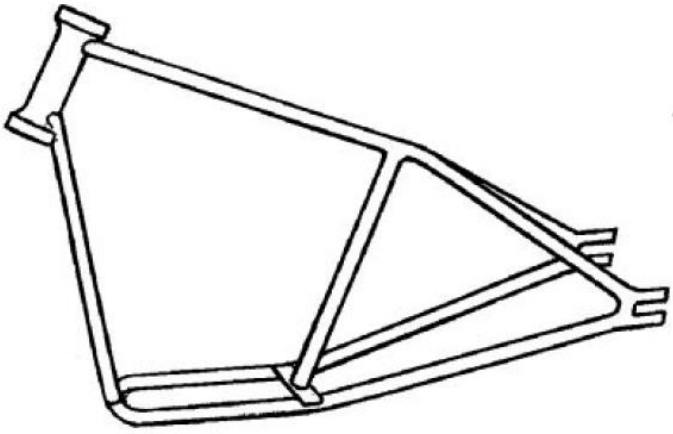
Prijašnje konstrukcije šasija izgledale su dosta jednostavno, napravljene u obliku čeličnih cijevi oblika dijamanta na koje se zakačio motor te je visio. Kako se povećavala snaga motora takve izvedbe su izbačene iz uporabe zbog dodatnog povećanja naprezanja na samu šasiju te su konstruktori trebali dodati još materijala koji će učvrstiti šasiju, spriječiti savijanje i pomicanje dijelova koje može prouzročiti havariju.

Šasija ima dvije funkcije, statičku i dinamičku. Statička je vezana uz masu vozača ili dodatno suvozača, masu motora i prijenosa te ostalih komponenata koje sačinjavaju cjelinu kao naprimjer spremnik za gorivo i ulje. Dinamička funkcija mora osigurati precizno upravljanje, dobro držanje ceste i udobnost vožnje.

Danas postoje razni tipovi šasija koje se ovisno o proizvođaču razlikuju. [1]

2.1. Cijevne šasije

Cijevne šasije su prve šasije koje su korištene pri izradi a preuzete su od bicikala. Prije uvođenja stražnje opruge, većina šasija je bila oblika dijamanta dok je nakon toga prihvaćena „Cradle Frame“ prikazana na slici 6. „Cradle frame“ zapravo znači „koljevkasta“ šasija zbog svog oblika gdje postoji minimalno tri točke prihvata motora. Jedna prihvatna točka se nalazi na gornjoj cijevi dok su druge dvije na donjim cijevima koje su usporedne s tlom. [1]



Slika 6: Cradle Frame šasija [1]

2.2. „Trellis“ šasija

Proizvodnja ovakvih šasija zahtijeva dosta zavarivanja i izrade pripoja. Prednost ovakvog oblika izvedbe šasije je ta što se dobivaju odlična mehanička svojstva dok je zahtjev za minimalnom mogućom masom zadovoljen. Neki od današnjih divova u industriji motocikala koriste ovu izvedbu šasije zbog ranije nabrojenih svojstava ali i zbog činjenice da je geometrija dosta složena te ju je lako naplatiti. Dakle cijena ovakvih šasija daleko veća u usporedbi s cijevnim šasijama. Ovakve šasije su kritičnih mehaničkih svojstava kada su u pitanju vibracije koje se ne mogu izbjeći ali i na to se može dobro utjecati korištenjem kraćih cijevi većeg radijusa. Primjer „Trellis“ šasije prikazan je na slici 7. [1]



Slika 7: „Trellis“ triangulirana šasija – KTM Duke 200 [1]

2.3. Cijevno oslonjena šasija („Tubular backbone frame“ eng.)

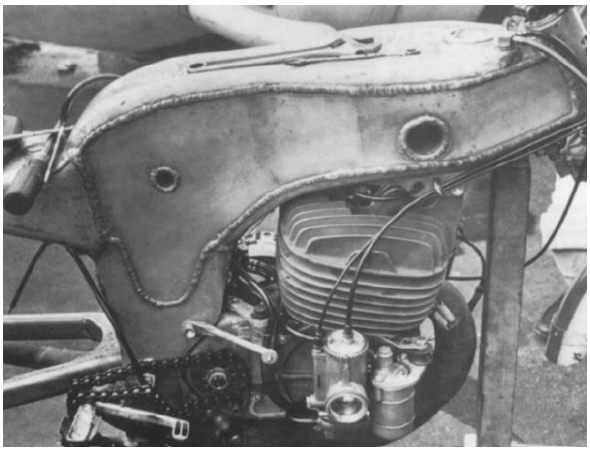
Ova vrsta šasije koristi cijevi koje se spajaju zavarivanjem i čine cjelovitu konstrukciju. U praksi šasija nema veliku prihvaćenost od strane konstruktora unatoč svojoj strukturnoj učinkovitosti i jednostavnosti. Strukturna učinkovitost predstavlja omjer mase konstrukcije i mase koju konstrukcija može nositi. Upravo ta jednostavnost u nekim situacijama može biti nedostatak, naprimjer prilikom odabira motora kojeg će šasija nositi, ne preporučuje se uzimanje glomaznih tipova motora. Idealna izvedba ove šasije bi sadržavala jednu ravnu cijev koja spaja upravljačku glavu tj. volan i stražnji ovjes tj. područje ispod sjedala motocikla. Značenje riječi backbone predstavlja oslonac tj. „kičmu“ („kralježnicu“) koju u ovoj izvedbi čini jedna cijev na koju se vješa motor i drugi elementi dok s donje strane nema točaka prihvata za motor i druge elemente. Šasija je prikazana na slici 8. Dakle, logično je zašto je ova šasija rijetko moguća na glomaznim motorima. Na motorima srednjih dimenzija moguće je koristiti ovu šasiju tako da se postave limovi koji predstavljaju kutije u koje će se postavljati određeni elementi motora. Drugi način da ova konstrukcija postane prihvatljiva je korištenje savijene cijevi kao oslonca na koju se zakači motor. [1]



Slika 8: Cijevno oslonjena šasija Kawasaki Z800 [1]

2.4. „Backbone Frame“ eng.

Ova šasija se izrađuje kada se želi postići dobra krutost i mali troškovi izrade te se izrađuje u malim serijama. Konačni proizvod je teži od jednako krute cijevne izvedbe šasije zbog viškova materijala koji su evidentni u ovoj izvedbi. Najčešći tip ovakve šasije je u obliku slova T u zavarenoj izvedbi prema slici 9. Unatoč velikim masama šasije i krutosti, strukturna učinkovitost, dakle omjer mase šasije i nosivosti šasije je jako malen. [1]



Slika 9: Šasija u T zavarenoj izvedbi, 1960. godina Ossa GP 250cc [1]

2.5. „Monocoque šasija“ fra.

Riječ „monocoque“ na francuskom jeziku znači ljuska tako da je ova šasija nalik na šasiju koja se koristi kod aviona. Ove šasije se mogu izrađivati od kompozitnih materijala kao što su karbonska vlakna koja imaju jako dobru strukturnu učinkovitost. Jedan od nedostataka ovakve izvedbe je slaba pristupačnost prilikom održavanja što čini održavanje jako teškim i skupim. Motori koji koriste ovakvu šasiju su ekskluzivni i koriste se na posebnim natjecanjima te nije preporučljivo ovakvu šasiju koristiti u normalnim, cestovnim uvjetima. Prikazana je na slici 10. [1]



Slika 10: Monocoque šasija John Norton, 1973. godina [1]

2.6. „Twin – spar“ šasija

Ovaj oblik šasije se danas najčešće koristi kod sportskih motocikala i motocikala za utrke, pa čak ga se može vidjeti na nekim brdskim motociklima. Većinom se izrađuje iz aluminija i sastoji se od dvije grede sa svake strane motora ili mjenjačke kutije koje se kasnije spajaju u prednjem i u stražnjem dijelu šasije, dakle na upravljačkoj jedinici i prihvatima za „swing arm pivot“ eng. Ranije spominjane grede se uglavnom izrađuju predimenzionirane da bi se osigurala čvrstoća, a izrađuju se na tri načina:

- ekstruzijom cijevi s korištenjem unutarnjeg orebrenja
- izrada iz limova
- lijevanje.

Strukturna učinkovitost ovog tipa šasije nije na visokoj razini, no može se regulirati dodavanjem materijala koji će osigurati dovoljnu čvrstoću čak i za utrke. Ako se izrađuje iz aluminija njena masa je dosta smanjena u odnosu na čeličnu, koja je češća.

Prednosti ove šasije su razne, pogotovo u svijetu moto natjecanja gdje je korištenjem ove šasije omogućen lakši pristup motoru te je ostavljen dovoljan prostor u kojeg se vrlo lako može smjestiti ispušni sustav i sustav za hlađenje, upravo zbog činjenice da ova šasija nema donje cijevi ili kolijevke, dakle točke prihvata su na gornjim dijelovima šasije. Primjer šasije je prikazan na slici 11. [1]



Slika 11: Twin – spar šasija, Yamaha R1 [1]

Tablica 1: Podjela motocikala s obzirom na tip šasije [3]

TIP ŠASIJE	**MOTOCIKL**
Backbone šasije (okvirne šasije)	Honda CB92 Benly
	MZ TS250
Single cradle (jednostruka koljevkasta šasija)	Honda CG125
Half-duplex cradle (polukoljevkasta dupleks)	Suzuki GSX250
	Suzuki TS50ER
Full duplex cradle (cijela koljevkasta dupleks)	Norton Manx
	Suzuki TS50X
Beam ili Twin spar (gredna šasija)	Yamaha FZR600
	Honda VFR750F
	1944 Piaggio MP5
Monocoque šasija	2000 Kawasaki Ninja ZX-12R
	2007 Kawasaki 1400GTR
	2008 Kawasaki Ninja ZX-14
	2011 Ducati 1199
	2013 Ducati 899
	2015 Ducati 1299
	2016 Ducati 959

U tablici 1 prikazani su modeli različitih proizvođača od kojih se većina i danas koristi u prometu te su raspoređeni prema vrsti šasije koju posjeduju.

3. Zavarivanje šasije motocikla

Iz dana u dan postaje sve popularnije šasije izrađivati iz materijala kao što je aluminij, posebno „*twin spar"* šasije. Za izradu ovog tipa šasije potrebni su uvjeti i znanje koje imaju pogoni u motoindustriji.

Za naše potrebe, dakle izradu jedne šasije preporuča se biranje jedne od ovih metoda zavarivanja ovisno o tipu šasije i profilu koji se uzima kao gradivni element jedne šasije:

- zavarivanje čeličnih ili aluminijskih cijevnih šasija
- zavarivanje čeličnih, aluminijskih ili šasija od nehrđajućeg čelika u oblicima šasije kao što su: backbone, monocoque ili twin spar šasije
- lijevane izvedbe backbone aluminijske šasije za koju je potrebna dobro opremljena radionica.

Dakle postoje dvije osnovne metode koje su podijeljene na razne tehnike izvođenja, a to su elektrolučno zavarivanje i plinsko zavarivanje koje su opisane sa svojim prednostima i nedostatcima. [4]

3.1. Elektrolučno zavarivanje

Elektrolučno zavarivanje je jedan od najčešće upotrebljavanih načina zavarivanja u cjelokupnoj praksi.

MAG zavarivanje, koje koristi prema svom nazivu aktivne plinove, često se u praksi naziva i CO_2 zavarivanje. Ovdje se dodatni materijal nalazi u obliku žice koji se kontinuirano dodaje u spoj koji je zaštićen od vanjskih utjecaja, oksidacije protokom aktivnih plinova. Aktivni plin može biti sami CO_2 ili kombinacija CO_2 i argona u točno definiranom omjeru (najčešće 82/18 ili 95/5).

MIG zavarivanje, koje koristi prema svom nazivu inertne plinove. Većina cjevastih šasija se izrađuje korištenjem ovog postupka te je ovaj postupak lako automatizirati. Iako se samo povezuje sa zavarivanjem čeličnih cijevi, ovaj postupak je moguće koristiti i na aluminiju i nehrđajućem čeliku. [4]

Neke od prednosti MIG/MAG postupaka su naveden u tablici 2.

Tablica 2: Prednosti i nedostatci MIG/MAG postupka zavarivanja [4]

Prednosti	**Nedostatci**
• Mali unos topline, izbjegava se distorzija i omogućena je veća brzina rada jer nema dugih hlađenja • Čisti zavari • Obuka zavarivača, osnovna • Dobro popunjavanje spojeva, nije potrebna posebna priprema	• Mogući problemi pri zavarivanju tankih stijenki • Skupa oprema koja je potrebna za izradu šasije, jeftini modeli opreme trebaju se izbjegavati

TIG zavarivanje, također poznato kao zavarivanje argonom, dok se u Americi naziva Heli-arc koristi Wolframovu elektrodu. Zaštitni plin je argon koji štiti od oksidacije i utjecaja vanjskih čimbenika. Ovim zavarivanjem izrađuju se zavari veće kvalitete te može biti korišteno pri zavarivanju čelika, nehrđajućih čelika, aluminija, titana pa čak i magnezija. Nedostatak TIG zavarivanja u odnosu na MIG/MAG zavarivanje je dugotrajnost procesa i veći unos topline koji može dovesti do distorzije i zaostalih naprezanja. Moguće ga je koristiti na svim debljinama stijenke cijevi te se primjenjuje za zavarivanje limova. Najčešći dijelovi koji se izrađuju ovim postupkom su rezervoar, auspusi te neki tipovi šasije kao naprimjer backbone šasije. Također u odnosu na MIG/MAG zavarivanje cijena je dosta veća. [4]

3.2. Plinsko zavarivanje

Plinsko zavarivanje se koristi većinom za izradu rezervoara, bilo čeličnih ili aluminijskih, izradu ispušnog sustava, te posebno za izradu ekspanzijske komore dvotaktnog motora. Kvaliteta zavara je lošija nego primjerice kod TIG zavarivanja dok je prednost u odnosu na TIG zavarivanje ta što unesena toplina nije toliko koncentrirana pa je hlađenje u zoni zavara brže. Bronze welding je zapravo najčešća korištena metoda plinskog zavarivanja kada govorimo o šasijama. Moguće ju je koristiti prilikom izrade cjevastih čeličnih struktura gdje je glavna prednost manji unos topline. Također izvođenje ove vrste plinskog zavarivanja ne zahtijeva veliko iskustvo i znanje što se tiče zavarivača, ali uvijek je potrebno definirati temperature tališta i paziti da unos topline ne bi bio nizak što može dovesti do problema s adhezijom spoja. [4]

3.3. Problemi i upozorenja prilikom izvođenja zavarivanja

Na probleme koji se javljaju najlakše je utjecati iskustvom i već od prije stečenim znanjem. U knjizi „*Motocycle Handling and Chassis Design*“ autora Tony Froalea prikazani su najčešći problemi i najlakši načini nošenja s istima. [4]

3.3.1. Distorzija

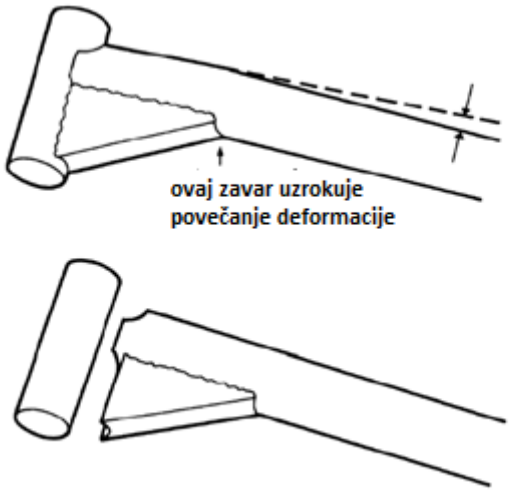
Distorzija je gotovo neizbježna prilikom zavarivanja te se stoga trebaju izmjeriti dimenzije i definirati kutovi i odstupanja koja su dozvoljena i propisana normom. Distorzija se javlja prilikom hlađenja te je potrebno preventivno djelovati na nju. Način na koji je moguće izbjeći istu prikazan je na slici 12. [4]



Slika 12: Primjer izbjegavanja distorzije prilikom zavarivanja [4]

Alternativna metoda sprječavanja pojave distorzije je korištenje pripoja kao prve operacije prilikom zavarivanja a nakon toga izvođenje zavarivanja. Ovom metodom dobije se mala distorzija, ali povećana naprezanja pri dodatnom unosu topline. [4]

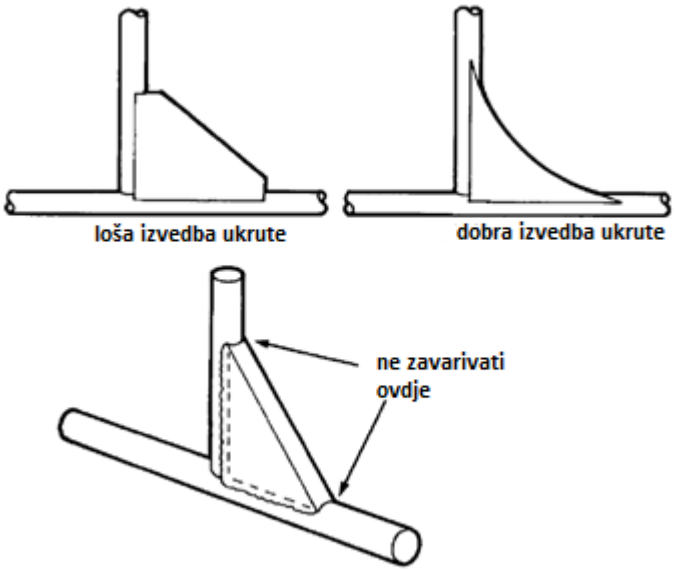
Tehnologičnost te pravilan raspored zavarivanja prikazan je na slici 13.



Slika 13: Prikaz pravilnog redoslijeda zavarivanja u smislu izbjegavanja distorzije [4]

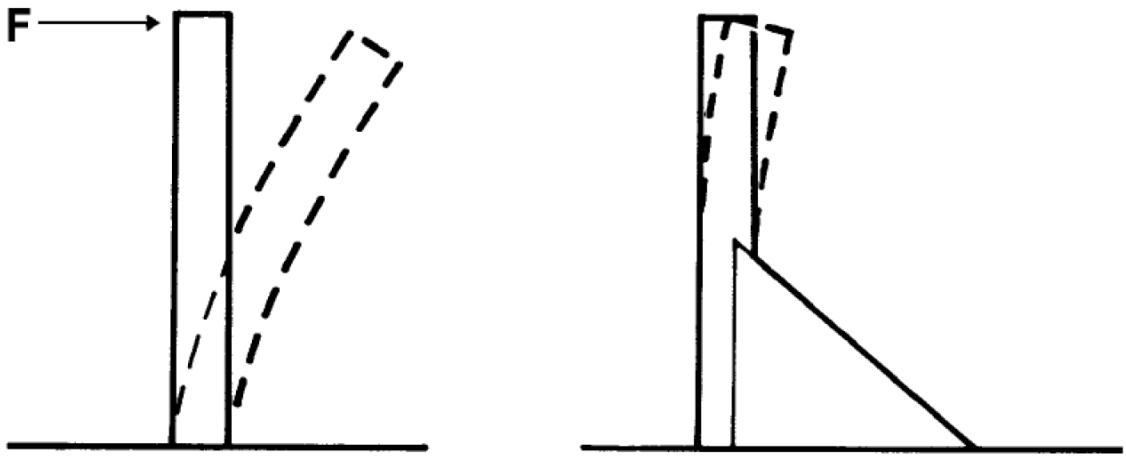
3.3.2. Ukrute

Ukrute kao što im i ime nalaže se postavljaju da bi povećali krutost konstrukcije. Prilikom postavljanja ukrute cilj je minimizirati koncentraciju naprezanja u točki i postaviti naprezanje da ga prenosi linija. Pravilnom izradom ukrute također se može utjecati na smanjenje koncentracije naprezanja kao što je prikazano na slici 14. [4]



Slika 14: Pravilna izrada ukruta i zavarivanje istih [4]

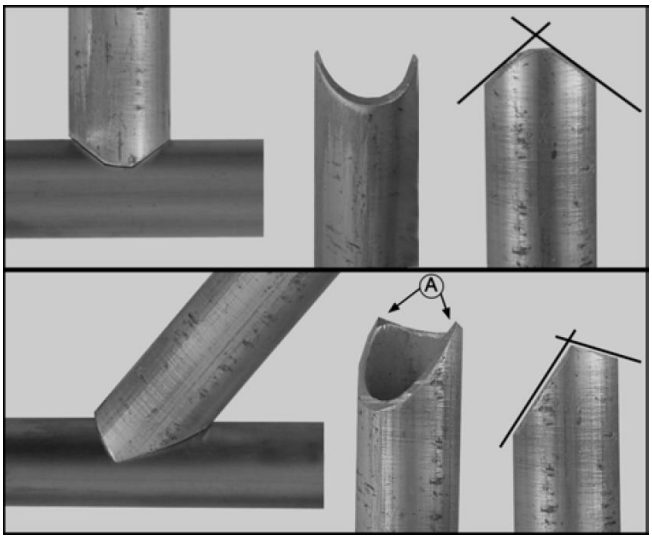
Ukrutom se sprječava veliki utjecaj savijanja na konstrukciju prema slici 15. Sila koja djeluje na kraku duljine (l) radi maksimalno naprezanje savijanja. Ako se postavi ukruta koja dolazi do pola duljine (l/2) dobije se osam puta kruća konstrukcija zbog toga što se savijanje u odnosu na duljinu mijenja na treću potenciju. [4]



Slika 15: Razlog postavljanja ukrute [4]

3.3.3. Priprema krajeva cijevi za zavarivanje

Cijevi koje se koriste prilikom izrade šasije potrebno je pripremiti na jedan od načina za zavarivanje. Prvi način, koji se koristi u dobro opremljenim postrojenjima je glodanje cijevi. U postrojenjima koja su malo oskudnija opremom pa tako i u kućnoj izradi šasija koristi se rezanje krajeva cijevi te brušenje. Ovom kombinacijom mogu se dobiti prihvatljivi oblici za daljnje zavarivanje, a metoda je prikazana na slici 16. [4]



Slika 16: Dobivanje cijevi spremnih za zavarivanje rezanjem i brušenjem [4]

3.3.4. Odabir cijevi prema dimenzijama

Promjer cijevi kao i debljina stijenke su definirane dimenzijama, masom i snagom motora te ovise o odabranom tipu šasije. Preporučene vrijednosti su dane u tablici 3. [4]

Tablica 3: Odabir cijevi prema dimenzijama [4]

TIP ŠASIJE	PROMJER (mm)	DEBLJINA STIJENKE (mm)	TIPIČNE DIMENZIJE (mm)
Triangulirana šasija	13-25	1-2	15 x 1; 15 x 1,5
			25 x 1; 25 x 1,5
Savijena višecijevna šasija	22-38	1,2-2	22 x 1,5; 22 x 2
			38 x 1,2; 38 x 2
Cijevna backbone šasija	50-75	1,2-2	50 x 1,2; 50 x 1,5
			75 x 1,2; 75 x 2
Fabricated backbone	limovi	Čelik - 0,75 - 1	Al - 1,2 - 1,5

3.3.5. Izrada WPS-a

WPS, je akronim koji znači Welding Procedure Specification, ili na hrvatskom SPZ, Specifikacija Postupka Zavarivanja. Dokument je koji olakšava shvaćanje zadaća zavarivačima. Propisuje ga osoba odgovorna za izvedbu konstrukcije, dakle tehnolog. Dokument WPS treba biti verificiran od strane akreditirane institucije. WPS dokument se nalazi neposredno uz radno mjesto i nadohvat je ruke zavarivača, poslovođe zavarivanja, inženjera za zavarivačke radove i inspektora za zavarivačke radove, a treba sadržavati osnovne podatke neophodne za uspješno izvođenje zavarivačkih radova.

Primjer dokumenta prikazan je na slici 17.

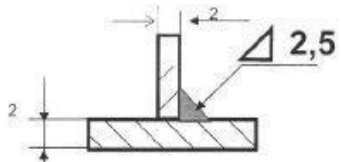
ZKK d.o.o.
Park Rudolfa Kropeka 2
40 000 ČAKOVEC
040 / 311-170, 311-226

SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA PROIZVOĐAČA WPS
WPS-MAG-1-29/Z-12 12 196

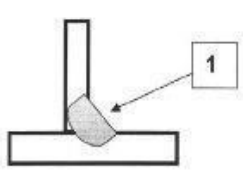
Dokument QA-WPS-MAG	R 0
Primjena od	01.01.2007.
Stranica 1/1	

Mjesto:	Čakovec	Ispitna ustanova:	ZKK d.o.o – Čakovec
Postupak zavarivanja proizvođača:	MAG 135	Ispitivač:	Mlinarić Josip ing. EWE
Oznaka – Br:	Z-12 12 196	Vrsta pripreme i čišćenje:	Rezanje-škare
Atest Postupka – Br:		Specifikacija osnovnog materijala:	Č.0361;Č.0147
Proizvođač:	PROMMING d.o.o. Čakovec	1.1 prema CEN ISO/TR 15608; 2004	
Ime zavarivača:	[redacted]	Debljina izradka (mm) :	2,0
Postupak zavarivanja:	Mag 135– EN ISO 4063	Vanjski promjer (mm) :	
Vrsta spoja:	FW (kutni)	Položaj zavarivanja :	PG - EN ISO 6947:2011
Pojedinosti pripreme žlijeba (crtež*) :			

Oblik spoja



Redosljed zavarivanja



Pojedinosti za zavarivanje:

Prolaz zavara	Postupak	Promjer dodatnog materijala	Jakost struje A	Napon V	Vrsta struje/ polaritet	Brzina žice	Brzina zavarivanja	Unos Topline
1	MAG 135	1,0 mm	90-110	17-19	=,+			

Dodatni materijal:	G3Si1 -HRN EN 440	Dodatne informacije*):	
Klasa i trgovački naziv:	VAC 60 (EZ CO2)	Njihanje (max. širina prolaza):	
Posebni propisi za sušenje:		Njihanje: amplituda, frekvencija, vrijeme zadržavanja:	
Prašak za zavarivanje:			
Zaštitni plin:	Krysal 18 M21- HRN EN 439	Pojedinosti za impulsno zavarivanje:	
Zaštitna korijena:		Razmak kontaktne vodilice:	10 mm
Vrsta W-elektrode / promjer:		Pojedinosti za plazma zavarivanje:	
Pojedinosti o žljebljenju:		Kut nagiba pištolja (plamenika):	
Pojedinosti o podlozi za zavarivanje :			
Temperatura predgrijavanja:			
Međuslojna temperatura:		Ispitivač:	Mlinarić Josip, ing. EWE
Naknadna toplinska obrada i/ili otvrdnjavanje:		Potpis ispitivača:	
Vrijeme, temperatura, postupak:	Radiona 20 °C, MAG		
Brzina zagrijavanja i hlađenja*):			
Proizvođač / Firma:	PROMMING d.o.o. Čakovec	Ispitna ustanova:	Zavod za kontrolu kvalitete d.o.o. Park Rudolfa kropeka 2, Čakovec
Potpis:	M. P.	ZKK d.o.o. ČAKOVEC, Park R. Kropeka 2 MB: 3415333 M. P.	Datum: 04.12.2012.
Datum: 04.12.2012.			

*) Ako se zahtjeva

Slika 17: Primjer WPS – a [5]

4. Korozijska zaštita šasije motocikla

Korozijsku zaštitu je bitno provesti ispravno da bi se smanjili eventualni gubitci kao što je spomenuto u uvodu. Nakon svake izrade šasije ona se podvrgava korozijskoj zaštiti da bi se osigurala postojanost u uvjetima eksploatacije, dakle u vožnji pri atmosferskim uvjetima. Na postojanost šasije utječu razni faktori kao naprimjer temperatura, koja oscilira ovisno o godišnjem dobu, mehanička oštećenja koja su neminovna, dakle udarci, ogrebotine, sam sastav atmosfere itd. S ekonomskog stajališta najbitnije je postići optimum što se tiče cijene i dugotrajnosti, budući da za svaku šasiju treba biti definiran životni vijek te mora ispunjavati sve garancijske zahtjeve, a cilj je to postići uz minimalnu moguću cijenu.

4.1. Najčešće vrste i oblici korozije na šasiji motocikla

Kao što je već ranije navedeno, utjecaj na koroziju motornih vozila i njihovih dijelova, pa tako i na šasiju motocikla, imaju atmosferski zagađivači kao što su sumporni dioksid, dušikovi oksidi, vodikov sulfid ili amonijak i njima srodne tvari.

Korozijsko razaranje konstrukcija u auto i moto industriji može se podijeliti na strukturnu i kozmetičku koroziju. Strukturna korozija dovodi do perforacije koja se odvija iznutra prema van. Nastaje na mjestima gdje se skupljaju različiti onečišćivači te uzrokuju oštećenja zaštitnih prevlaka i daljnjeg razaranja korozijom. Kozmetička se korozija najčešće pojavljuje na obojenim površinama. Do oštećenja sloja boje može doći zbog niza mehanizama kao što su različiti električni potencijali, katodna nepovezanost, galvanski efekt, crvičasta korozija, a oštećenja se javljaju u vidu malih jamica ili rupica na laku ili boji.

Da bi korozijska zaštita bila što bolje i kvalitetnije izvedena, potrebno je razlučiti najčešće oblike korozijskih oštećenja. Pojam korozije vozila obuhvaća nekoliko vrsta i oblika korozije koji uzrokuju različite veličine oštećenja od neznatnih do onih znatnih i opasnih i upravo je zato važno detektirati i klasificirati oblike korozije i njihov utjecaj. Najčešće se pojavljuju:

- opća korozija
- galvanska korozija
- korozija u procijepu
- rupičasta korozija
- prohrđavanje
- bubrenje
- crvičasta ili filiformna korozija. [6]

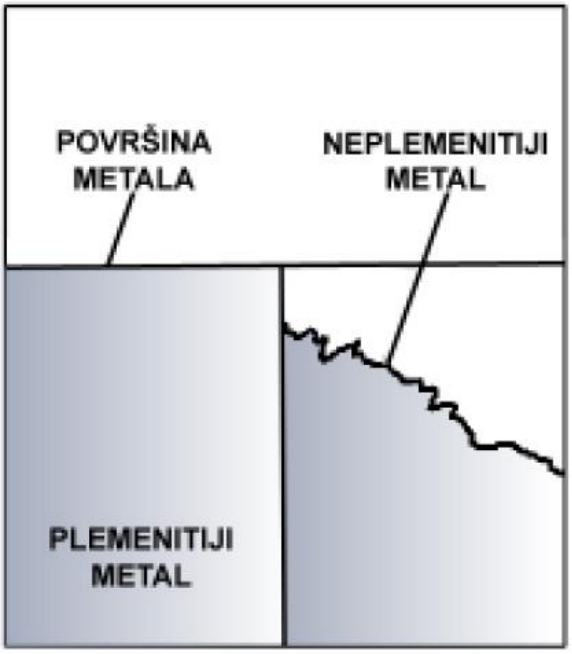
4.1.1. Opća korozija

Opća ili jednolika korozija najraširenija je oblik korozije. Nastupa tako da zahvaća približno jednako čitavu površinu materijala koji je izložen agresivnom mediju i zbog toga je ovaj oblik korozije tehnički najmanje opasan (lako se prati i lako je predvidjeti kada oštećeni dio treba popraviti ili zamijeniti).

U auto i moto industriji javlja se na nezaštićenim ili slabo zaštićenim površinama. Uzrokuje ljuštenje gornjeg sloja materijala. [7]

4.1.2. Galvanska korozija

Spada pod kontaktnu koroziju, a javlja se u dodiru dvaju metala različitih elektrodnih potencijala ionizacije uz prisustvo elektrolita te nastaje galvanski članak koji je prikazan na slici 18 u kojem je neplemenitiji metal onaj koji se troši tj. anoda. Najčešća pojava ovog oblika korozije javlja se kod upotrebe aluminijskih šasija koje dolaze u izravan kontakt s niskougljičnim čelikom te dolazi do trošenja. Također se može koristiti i u obrnutom smjeru tj. kao korozijska zaštita. U tom slučaju na čelik se galvanski nanosi tanka cinkova prevlaka koja korodira i sprječava koroziju samog čelika. [7]



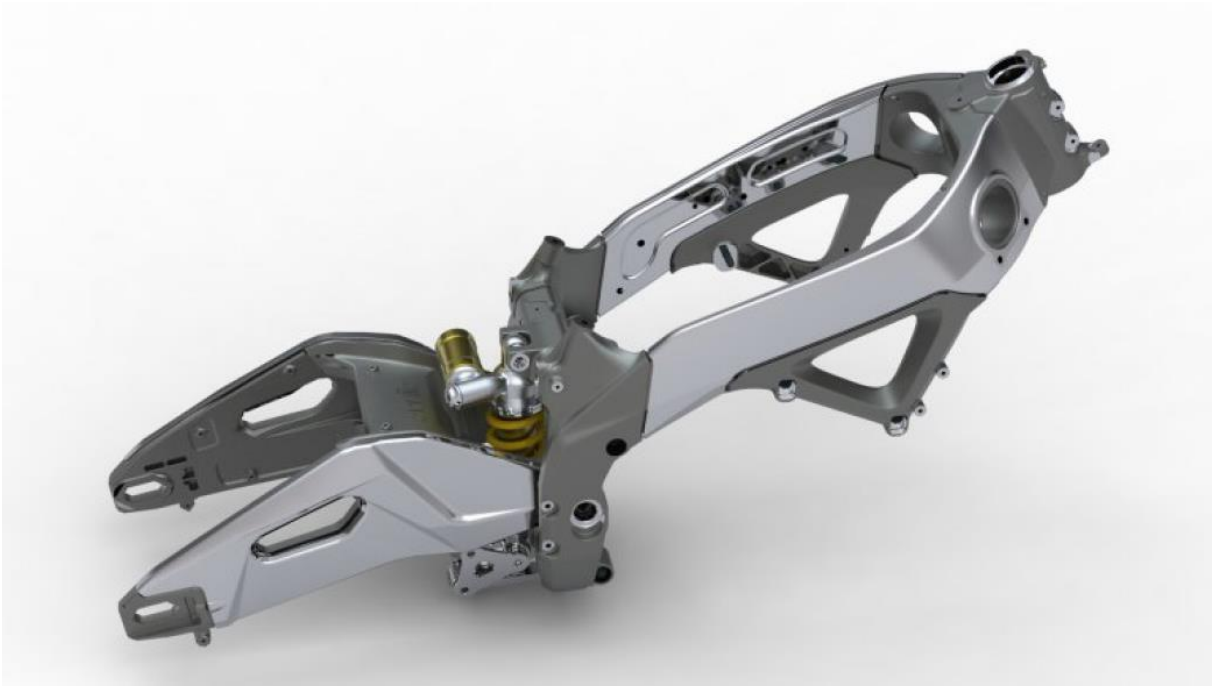
Slika 18: Galvanska korozija mehanizam nastanka [7]

4.1.3. Korozija u procijepu

Najopasniji tip korozijskog oštećenja koji se direktno dovodi u kontakt s krivim oblikovanjem konstrukcije. Pojava ove vrste korozije je moguća kod šasija lijevane izvedbe zbog niza vijčanih spojeva koji su potencijalni procijepi i geometrije koja je složenija te pri krivoj konstrukciji može predstavljati procijep. Kod cijevnih šasija ovaj oblik je rjeđi zbog kružnog poprečnog presjeka cijevi od kojih je napravljena šasija te nemogućnosti zadržavanja elektrolita na njima. Kod cjevastih šasija mogućnost pojave ovog oblika korozije je usko vezana s krivom izvedbom zavara te otvaranja prostora koji predstavlja procijep. [8]

Mehanizam i jačina pojave jamica ovise o vrsti materijala kao i o uvjetima izloženosti površina okolišu. Objašnjava se ili razlikom koncentracije metalnih iona između jamice i njene okoline ili putem oksidacije tj. povećanjem sadržaja kisika u elektrolitu u odnosu na nedostatak kisika u metalu.

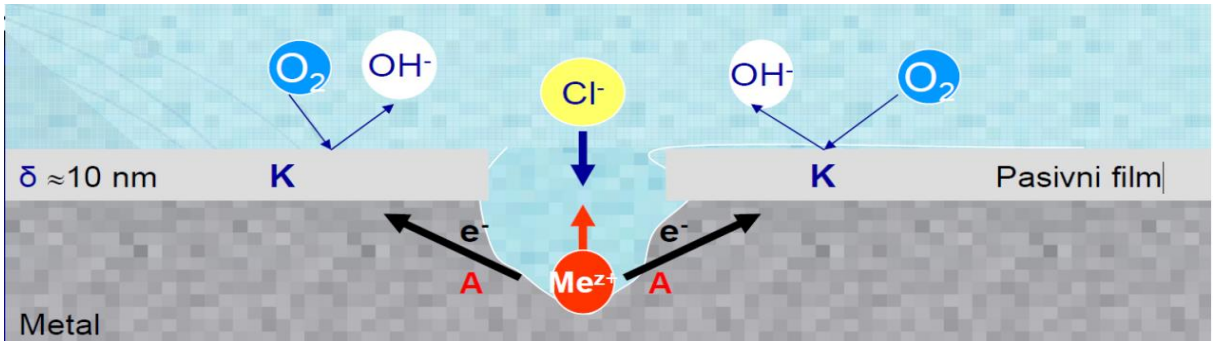
Ova korozijska pojava predstavlja najveći problem u autoindustriji upravo zbog kompleksnosti automobila kao cjeline i niza spojeva komponenti koji su potencijalni procijepi. Primjer kompleksne šasije na kojoj postoji mogućnost pojave korozije u procijepu je prikazana na slici 19. Metali ili legure koje imaju sposobnost stvaranja pasivnih slojeva ili oksidnih zaštitnih filmova, a to su aluminijske legure ili nehrđajući čelici, posebno su osjetljivi na pojavu jamica u kontaktu s kloridnim medijem. [6]



Slika 19: Aluminijska šasija izvedena s mnogo vijčanih spojeva [9]

4.1.4. Jamičasta ili rupičasta korozija

Spada pod lokalni oblik korozijskog razaranja i najčešće je uzrokovana kloridima. Uvjeti da dođe do pojave ovog oblika korozije su postojanje pasivnog filma, aktivator (najčešće kloridi) te oksidans. Smanjenje sklonosti jamičastoj koroziji može se postići mijenjanjem materijala, dodatkom nekih legirnih elemenata, smanjenjem temperature, povećanjem pH vrijednosti, deaeracijom, poliranjem površine, čišćenjem površine te katodnom ili anodnom zaštitom. Mehanizam nastanka te vrste korozije prikazan je na slici 20. [8]



Slika 20: Mehanizam nastanka jamičaste korozije [8]

4.1.5. Prohrđavanje

Prohrđavanje može dovesti do značajnih strukturnih oštećenja koja mogu ostati neopažena sve dok ne postanu vidljiva na vanjskim površinama nakon prodiranja u metal iznutra. Popravci su najčešće teško izvedivi i vrlo skupi, a uglavnom zahtijevaju zamjenu oštećenih dijelova novima. Najčešći uzrok ove vrste korozije je prljavština koja se s kolnika sakuplja u hrpicama u džepovima i teško dostupnim dijelovima karoserije. U kontaktu s metalnom površinom uz prisustvo slanog elektrolita nakupine dovode do nastanka korozije. Ipak najbitniji uzrok nastanku ovog tipa korozije predstavlja nedostatna zaštita čeličnih limova koji se nalaze na šasiji s ciljem nošenja drugih elemenata. [7]

4.1.6. Bubrenje

Bubrenje se javlja na laku i boji na vanjskim spojevima ili unutar mjehura gdje dolazi do zadržavanja prljavštine, vode ili soli. Pojava bubrenja se sprječava pocinčavanjem. [7]

4.1.7. Crvičasta ili filiformna korozija

Nastaje na metalnoj površini ispod sloja boje. Isprva se pojavljuje u obliku mreže tankih niti. Ne oštećuje ni ne razara komponente karoserije ali ima znatan utjecaj na vanjski izgled. Obično se pojavljuje ondje gdje je relativna vlažnost između 55-85 %.[7]

Posljednja dva oblika korozijskog razaranja ne spadaju u strukturnu koroziju već utječu na vizualni izgled šasije pa se svrstavaju u kozmetičku koroziju.

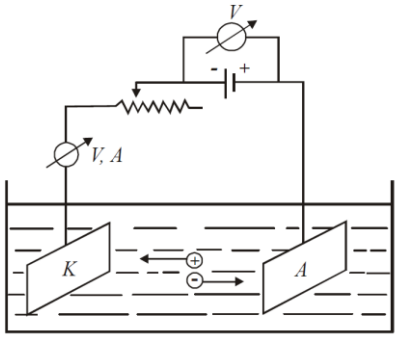
4.2. Metode zaštite šasije motocikla

Nakon konstruiranja šasije potrebno je provesti korozijsku zaštitu s ciljem sprječavanja pojave i prodiranja korozije koja može stvoriti disfunkcionalnost šasije. Najčešća korozijska zaštita koja se provodi jest:

- nanošenje galvanskih prevlaka - kromiranje i niklanje
- nanošenje premaza - bojenje
- elektrostatsko nanošenje prašaka
- anodizacija – za dijelove napravljene od aluminija.[4]

4.2.1. Nanošenje galvanskih prevlaka

Najšire primjenjivan postupak nanošenja metalnih prevlaka je galvanizacija. Pripada elektrokemijskim postupcima u kojima je predmet koji se zaštićuje vezan za katodu izvora istosmjerne struje, a shema uređaja je prikazana na slici 21. U elektrolitu se nalaze metalni ioni koji dolaze sa anode, koja je najčešće od materijala koji se nanosi kao prevlaka. Anoda se otapa, stvaraju se metalni ioni koji se nanose kao prevlaka. Anoda može biti i neki drugi metal, nevezano uz prevlaku, ali tada se treba naknadno unositi ione metala ovisno o željenoj prevlaci. [7]



Slika 21: Shema uređaja za galvanizaciju – niklanje i kromiranje [7]

Niklanje je prema svojoj definiciji postupak stvaranja zaštitnog sloja nikla. Provodi se ovisno o materijalu koji se štiti. Za čelične predmete može se provoditi direktno ili češće preko podsloja bakra iz cijanidne ili kisele kupelji. Mogu se štititi i predmeti od bakra koji se nikluju direktno. U novije vrijeme nikluju se i predmeti od cinkovog lijeva pa čak i od aluminija nakon specijalne predobrade.[7]

Kromiranje se može podijeliti na dekorativno i tvrdo kromiranje. Niklene prevlake ipak postepeno gube sjaj i površinski korodiraju te se ponekad one same zaštićuju tankim kromnim

slojem koji se naziva dekorativni sloj. Kromna prevlaka je zbog pasivnosti kroma postojana prema atmosferijama, u neutralnim otopinama čak i kod povišenih temperatura. također kromne prevlake su izvanredno tvrde što povećava otpornost prema trošenju. Mehanizam reakcije nije isti kao kod niklanja, anoda se u ovom postupku ne otapa te je potrebno dodavati kromne soli koje će nadoknaditi deficit kroma u kupelji. Tvrdo kromiranje ima primarnu svrhu povećanja tvrdoće i otpornost prema trošenju, a vrši se direktno tj. bez međuslojeva. Pri tvrdom kromiranju dobivaju se 100 - 1000 puta deblje prevlake nego pri dekorativnom. [7]

Moto i auto industrija koristi ovaj postupak vrlo često zbog sjaja i blještavosti koju stvara ovaj postupak. Dolazi do stvaranja tvrdog gornjeg sloja koji osigurava zaštitu od korozije i smanjeno trošenje. Nikal se većinom koristi za svrhu korozijske zaštite dok se krom koristi većinom zbog dekorativnih svojstava. [10]

Iako česta pojava kao korozijska zaštita šasije koristi se kada je potrebno udovoljiti prvoklasnim zahtjevima budući da je skupa u odnosu na druge navedene korozijske zaštite. Također nije primjerena za korištenje na šasijama koje imaju velike zavare ili ogrebotine zbog svojstva da ne može prikriti eventualne nedostatke pa ova opcija nije prva na listi gledajući sa stajališta prikrivanja estetskih nedostataka koji su napravljeni prilikom izrade šasije. Slika 22 prikazuje usporedbu nikane i kromirane pločice [4]



Slika 22: Primjer niklane i kromirane pločice [11]

Jedna od glavnih stvari gdje treba biti oprezan s kromiranjem ili niklanjem je ta da su česte pojave vodikove krhkosti. Vodik ostaje zarobljen na granicama zrna u čeliku što može dovesti do velikih katastrofa. Ovu teoriju potvrđuje činjenica da je kromiranje u Formuli 1 dugo bilo zabranjeno zbog smanjene sigurnosti tj. velikog rizika. Na slici su prikazani kromirani dijelovi na motociklu marke Harley Davidson.[4]



Slika 23: Kromirani dijelovi Harley Davidsona [12]

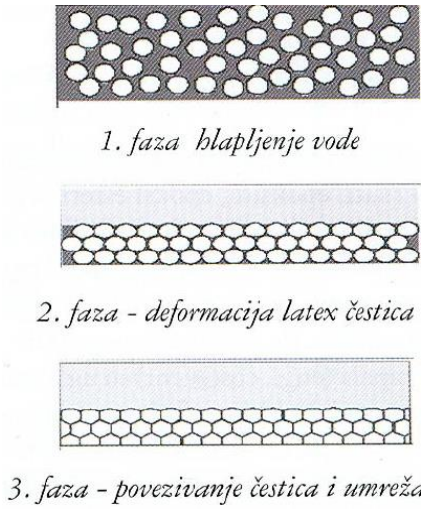
4.2.2. Nanošenje premaza – bojanje

Pojava novih boja je postala svakodnevica stoga najbitnije je držati se preporuke proizvođača. Ranije su se često koristile celulozne boje kojima se štitio rezervoar ili neki drugi dijelovi dok se danas češće koriste vodorazrjedive boje zbog svoje manje štetnosti. [4]

Vodorazrjedivi premazi su razvijeni sa ciljem zamjene organskih otapala vodom koja je neotrovna i nezapaljiva. Voda kod vodorazrjedivih boja ima funkciju otapala/ razrijeđivača.

Mehanizam nastanka filma kod fizikalno sušivih vodorazrjedivih boja sastoji se od 3 etape, prikazane na slici 24. [13]:

- hlapljenje vode i vodotopivih otapala, koji ostavljaju gusto složeni sloj dispergiranih čestica
- deformacija čestica iz njihovog sfernog oblika - stvaranje kontinuiranog filma, slabijih svojstava
- proces u kojem se polimerne čestice umrežavaju jačajući film koji se naziva koalescencija.



Slika 24: Mehanizam nastanka filma kod vodorazrijedivih premaza [13]

Unatoč tome što je emajliranje stara metoda zaštite također se treba uzeti u obzir prilikom odabira zaštitnog sredstva jer boje često ne zadovoljavaju sve zahtjeve šasije. Nanošenje boje se može dovesti do jedne estetski zavidne razine kao što je prikazano na slici 25.



Slika 25: Bojani rezervoar Harley Davidsona [14]

4.2.3. Elektrostatsko nanošenje praškastih prevlaka

Postupak prevlačenja praškastim prevlakama je vrlo ekološki prihvatljiv postupak, a budući da je ekologičnost važan zahtjev u današnjoj proizvodnji, sve više se ulaže u razvoj ovakvih prevlaka te se iste sve više primjenjuju. Kako su praškaste prevlake krute čestice, nemaju štetnih organskih para što utječe na sigurnost i poboljšanje uvjeta rada za osobu koja vrši aplikaciju prevlake. Osim toga prašak je moguće reciklirati te se time povećava iskoristivost i smanjuje cijena proizvodnje. Praškaste prevlake pokazuju odlična svojstva zaštite od korozije, ogrebotina i udaraca te su zapravo najmodernija metoda današnjice u koju ulažu razne industrije kao naprimjer automobilska, zrakoplovna i prehrambena. Primjer šasije zaštićene ovim postupkom prikazan je na slici 26. [15]



Slika 26: Zaštita šasije praškastim prevlakama [16]

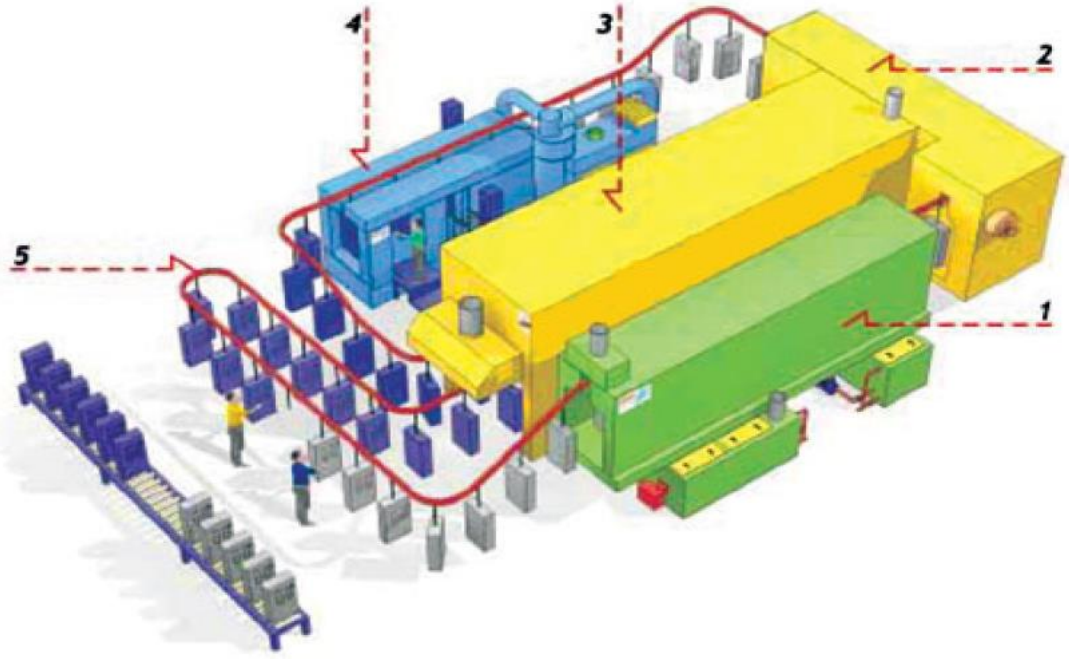
Elektrostatsko nanošenje epoksidnog praška je primarni postupak nanošenja zbog svoje velike prednosti nanošenja gdje su gubitci svedeni na minimum, zbog djelovanja elektrostatske sile, što je od velike važnosti budući da je poprečni presjek šasije u dosta slučajeva kružnog oblika.[1]

Etape procesa mogu se podijeliti na tri razine, prema bojama kao na slici 27.

Zelena boja označava početak procesa a u prvoj etapi se provodi vješanje uzoraka, omaščivanje istih, pranje i ispiranje te sušenje.

Nakon toga uzorci su uneseni u područje žute boje gdje se nanosi električki nabiveni polimerni prah te se provodi pećenje.

Slijedeća etapa je prikazana plavom bojom a sastoji se od ohlađivanja, kontrole i skidanja uzoraka. [17]



Slika 27: Postrojenje u kojem se provodi elektrostatsko nanošenje praškastih prevlaka [17]

4.2.4. Anodizacija aluminija – eloksiranje

Za razliku od ostalih metala aluminij se rijetko obrađuje galvanskim putem. Eloksiranje ili anodizacija je elektrokemijski proces kojim se na površini aluminija formira isti zaštitni sloj, ali je on barem tisuću puta deblji. Bitna razlika kod ovog postupka u odnosu na galvanske postupke je ta što kod anodne oksidacije metal koji se obrađuje ulazi u sastav zaštitnog sloja. Anodna oksidacija se može provesti uz pomoć istosmjerne i/ili izmjenične struje. Ipak primjenom istosmjerne struje dobivaju se slojevi koji imaju bolja antikorozivna svojstva. Postupak se sastoji od:

- pripreme površine koju je potrebno odmastiti i dekapirati, obično uranjanjem u 20 %-tni natrij hidroksid
- ispiranja vodom i obradi u 30%-tnoj nitratnoj kiselini
- ispiranja te eloksiranja (ako se zahtjeva visok sjaj, vrši se prije eloksiranja elektropoliranje koristeći otopine koje uklanjaju mikrohrapavosti ili kemijsko poliranje).
- ispiranje i po potrebi bojanje vodenim otopinama specijalnih organskih boja za aluminij
- ispiranje i siliranje- začepljivanje pora koje osigurava efektivnu debljinu zaštitne prevlake te antikorozivnost i trajnost obojenog sloja
- sušenje. [7]

Poznato je da aluminij ima solidnu otpornost na koroziju. Može ju zahvaliti prirodnim formiranjem tankog sloja oksida, u kontaktu s kisikom, koji sprečava daljnju koroziju. U novije vrijeme u uporabi je eloksiranje u boji (siva, zlatna, crvena, crna, plava) zbog estetike a primjer zaštite šasije bicikla prikazan je na slici 28.[4]



Slika 28: Eloksiranje aluminijske šasije bicikla [18]

5. Numeričke simulacije u zavarivanju

Korištenjem numeričkih simulacija u zavarivanju često se mogu postići velike uštede. Proces numeričke simulacije zavarivanja se koristi s ciljem smanjenja broja eksperimenata i prototipa čime nam vrijeme potrebno za nekakva prva shvaćanja drastično opada. Također je moguće koristiti numeričke simulacije u svrhu smanjenja investicijskih troškova pa i troškova proizvodnje. Nakon izvršenja numeričkih simulacija izuzima se najpovoljniji scenarij te se na njega nastavlja nadograđivati priča. [19]

Podjela područja numeričkih simulacija zavarivanja određena iskustveno:

- Koristi se za usporedbu nekoliko različitih tehnologija tako da se uspoređuju međusobni izlazni parametri koji su dobiveni različitim unosom ulaznih parametara.
- Koristi se za procjenu vijeka trajanja cijele konstrukcije ili samo određenog dijela iste. Uzima u obzir i postupak zavarivanja te zaostala naprezanja kao posljedicu izvođenja zavarivanja.
- Koristi se za predviđanje krhkog loma također korištenjem podataka o zaostalim naprezanjima.
- Koristi se za predviđanje deformacija tijekom zavarivanja pomoću lokalno globalnog pristupa ili planera procesa zavarivanja. [19]

Najčešća područja primjene numeričkih simulacija:

- Energetika
- Autoindustrija (motoindustrija)
- Brodska industrija
- Avionska industrija.

Danas su u primjeni najčešće korišteni sljedeći programi za numeričku simulaciju:

- *Simufact*
- *Abaqus*
- *Sorpas*
- *Sysweld*. [19]

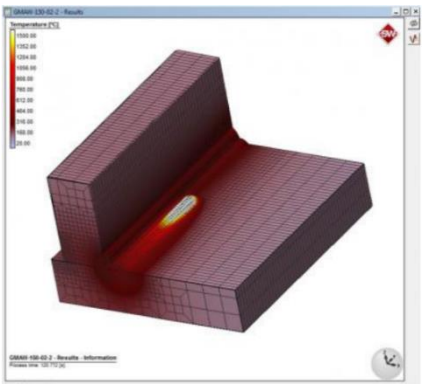
5.1. *Simufact*

Simufact program za simulaciju zavarivanja osim zavarivanja pokriva niz ostalih procesa proizvodnje metala. Procesi se mogu podijeliti u tri grupe kao što je prikazano na slici 29. Prva grupa vezna je uz kovačke postupke, druga uz postupke spajanja i treća uz aditivne postupke. [20]



Slika 29: Prikaz postupaka koji se mogu simulirati koristeći Simufact [20]

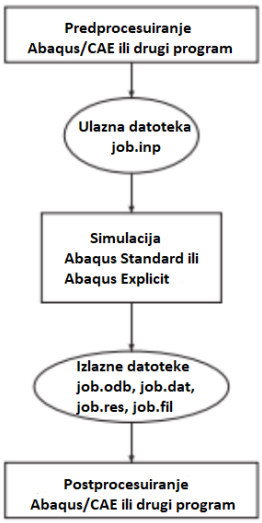
Simufact omogućuje korisniku jednostavno modeliranje procesa koji ne zahtijeva preveliko znanje o funkcioniranju softwarea time da je baza podataka velika te se koriste rezultati iz baze koji su predefinirani i provjereni. Vrijeme unosa ulaznih parametara je skraćeno te se pozornost pridaje samom procesu zavarivanja. Sučelje programa prikazano je na slici 30. [19]



Slika 30: Prikaz simulacije u programu „Simufact“ [19]

5.2. *Abaqus*

Program *Abaqus* omogućava rješenje niza problema neovisno o složenosti istih. Temelji se na metodi konačnih elemenata. Velika prednost programa je ta da sadrži velik broj modela materijala koji se koriste u inženjerskim problemima (gume, polimeri, kompoziti, velik broj metala). Ima mogućnost rješavanja problema poput naprezanja, deformacija, pomaka u čvorovima konačnih elemenata, dinamike fluida te prijenosa topline. [19]



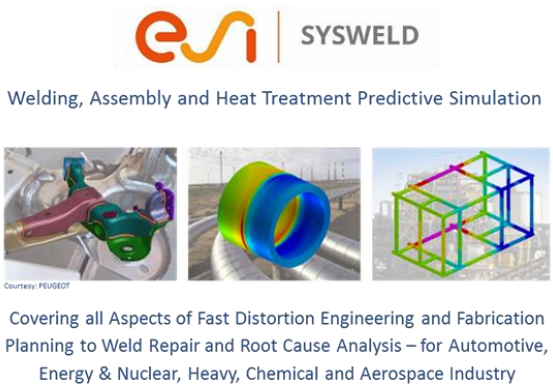
Slika 31: Dijagram toka rada *Abaqus* CAE programa[19]

5.3. *Sysweld*

Sysweld je program za numeričku analizu ESI grupe. sastoji se od tri potprograma koji ga sačinjavaju:

- *Visual Mesh*
- *Visual Weld*
- *Visual Simulation.*

Područje primjene programa je u određenim granama strojarstva, aviondustrije, autoindustrije, motoindustrije itd. Program nudi široku bazu materijala, postupaka zavarivanja te različitih mogućnosti grafičkih prikaza nakon simulacije. Izvršavanje simulacija se vrši uzimajući u obzir sve fizičke fenomene koji su uključeni u proces toplinske obrade. Neke od mogućnosti primjena prikazane su na slici 32. [19]



Slika 32: Prikaz mogućnosti korištenja „*Sysweld*“ programa [21]

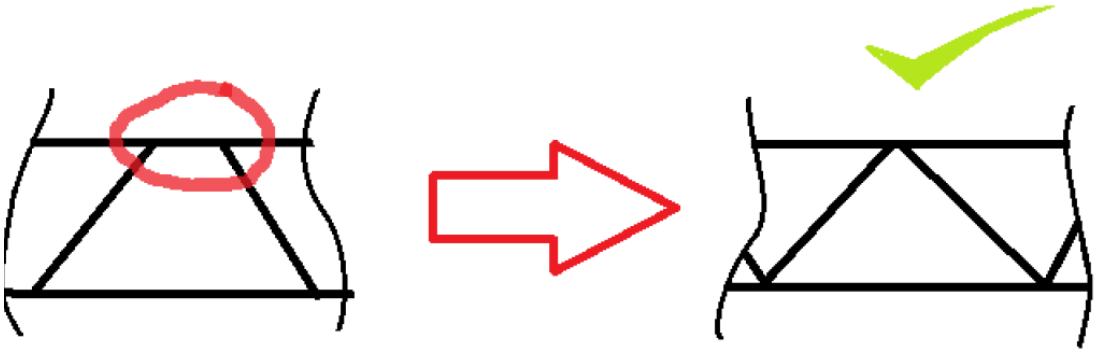
6. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu odabran je materijal za izradu šasije. Pregledom dostupne literature koja je dostupna na internetu te upoznavanjem materijala koji se najčešće koriste za izradu šasije odbir je pao na poboljšani niskolegirani krom molibdenski čelik. Karakteristike ovih materijala ih čine poželjnima u mnogo područja izrade konstrukcija. Glavne karakteristike su im čvrstoća, krutost, otvrdnjivost, otpornost na trošenje, otpornost na koroziju, dobra obradivost, dobra zavarljivost. Koljenasta osovina je dio automobila koja je kod kućnih majstora morala biti napravljena od krom molibdenskog čelika, a također i NASCAR je odabirao isti materijal za izradu koljenaste osovine. Osim koljenaste osovine prema učestalosti korištenja za izradu šasije najčešći odabir jest krom molibdenski čelik zbog već ranije spomenutih svojstava.



Slika 33: Primjer šasije automobila u NASCAR – u [22]

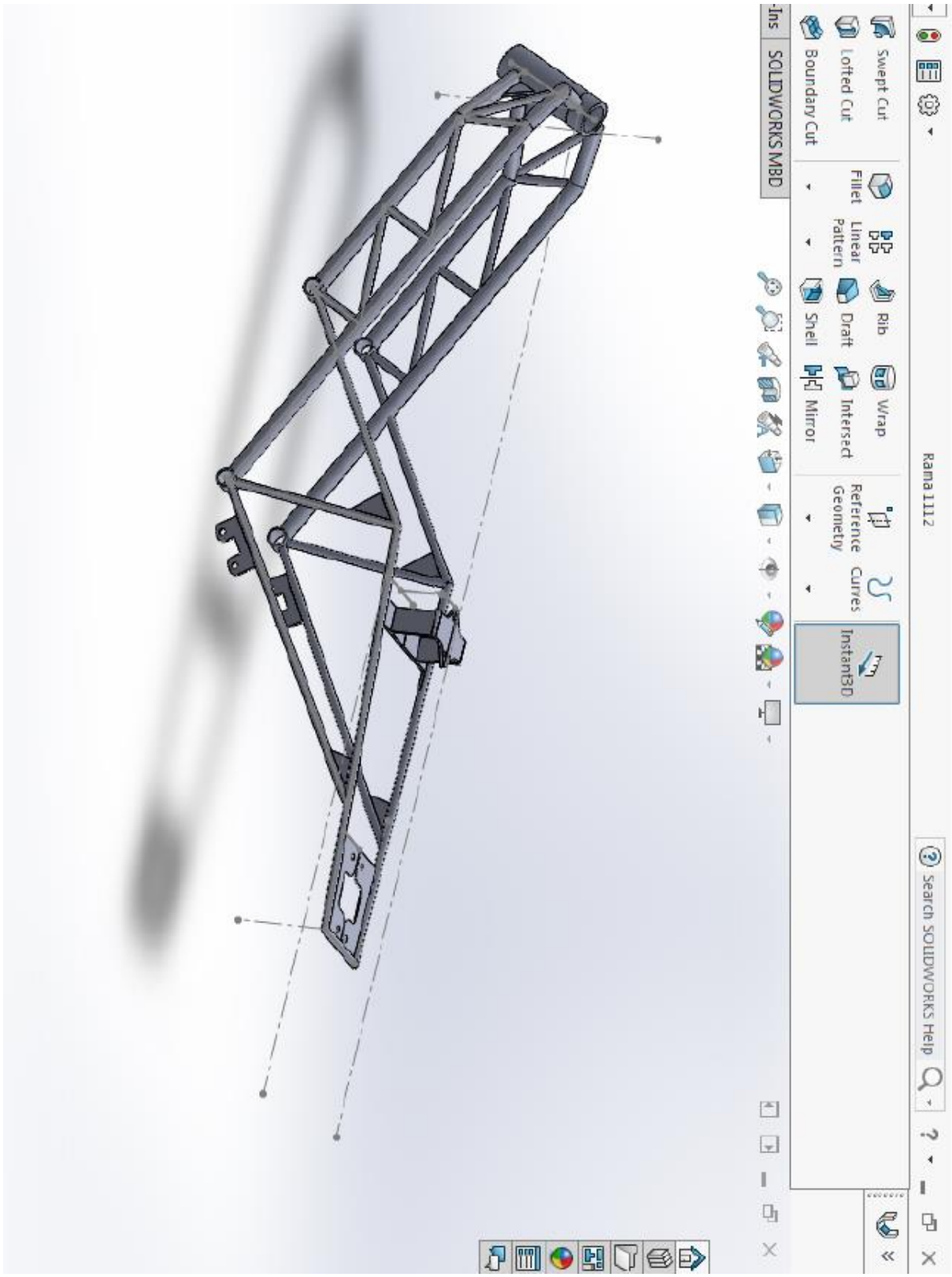
Nakon odabira materijala napravljen je odabir tipa šasije. Odabrana je cijevna triangulirana šasija te je konstruirana u alatu Solidworks. Triangulacija je postupak kojim se dobije na krutosti prilikom konstruiranja šasije. Objašnjena na primjeru kvadratnog okvira na kojeg se djeluje određenom silom te se on savija. Umetanjem dijagonale te stvaranjem dva trokuta i nakon toga djelovanjem sile na kvadratni okvir ne dolazi do savijanja jer se umetanjem dijagonale poveća krutost prema slici 34.



Slika 34: Primjer pravilne triangulacije [23]

Konstruiranje se sastoji od skice na papiru na kojem su poštovani zahtjevi koji su dani od udruge Motostudent. Zahtjeva nema puno te je ostavljen veliki prostor u kreativnom smislu. Zadane su dimenzije kao što su duljina između krajeva ručki volana koja mora biti minimalno 450 mm, udaljenost najdonje točke motocikla od tla mora biti minimalno 100 mm, širina zadnjeg dijela motora kod sjedala mora biti maksimalno 450 mm, maksimalna širina područja kod fara mora iznositi 600 mm te visina od sjedala do repa motocikla mora biti maksimalno 150 mm. Zadani su također zahtjevi nosivosti te sile koje mora podnositi, a ostalo što se tiče konstruiranja šasije dano je na odabir konstruktoru iste.

Okvirni izgled šasije prikazan je na slici 35. Zbog nedefiniranih dimenzija koje se dobiju tek nakon uplate sredstava udruzi MotoStudent čiji pravilnik nalaže etapnu izradu segmenata koji čine motocikl, dimenzije prihvata samog motora na šasiju te još niz drugih dimenzija su određene „od oka“, te su spremne za doradu ako bi se projekt realizirao.



Slika 35: Prikaz konstrukcije korištenjem SW2016 programa

6.1. Materijal šasije i njegov kemijski sastav

Pod krom molibdenske čelike spadaju niskolegirani čelici širokog raspona i s dosta varijacija, ovisno o željenim svojstvima. Koriste se za razne primjene pa tako i za izradu šasija, bilo bicikala, trkaćih automobila pa i motocikala. Nisu lagani kao što je aluminij, ali njihova prednost je visoka vrijednost vlačne čvrstoće te su uvjetno lako zavarljivi. Unatoč tome što sadržavaju krom to ne mora značiti da su korozijski postojani poput nehrđajućih čelika.

Kemijski sastav ovog čelika se kreće u definiranim rasponima prema kojima ugljika mora biti manje ili jednako od 0,22 – 0,29; silicija manje ili jednako od 0,4; mangana manje ili jednako 0,6 – 0,9; fosfora manje ili jednako 0,035; sumpora manje ili jednako 0,035; kroma u rasponu od 0,9 – 1,2 i molibdena u rasponu od 0,15 – 0,3. Rasponi su prikazani u tablici 4.

Tablica 4: Kemijski sastav 25CrMo4 [24]

Kem. Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Udio (%)	0,22-0,29	0,4	0,6-0,9	0,035	0,035	0,9-1,2	0,15-0,3

Za određivanje kemijskog sastava cijevi 25CrMo4 čelika koje su korištene u daljnjim istraživanjima korišten je Olympusov uređaj DELTA XFR koji na temelju X- zraka definira specifičan kemijski sastav ispitivanog uzorka. Ispitivanje kemijskog sastava može se podijeliti na pet etapa:

- kalibriranje uređaja
- postavljanje uzorka u olovnu posudu (olovo služi kao barijera prolasku X zraka)
- postavljanje i uključivanje uređaja koji se nalazi na uzorku
- provođenje ispitivanja zračenjem
- analiza rezultata sa displeja te prikaz istih u tablici 5.



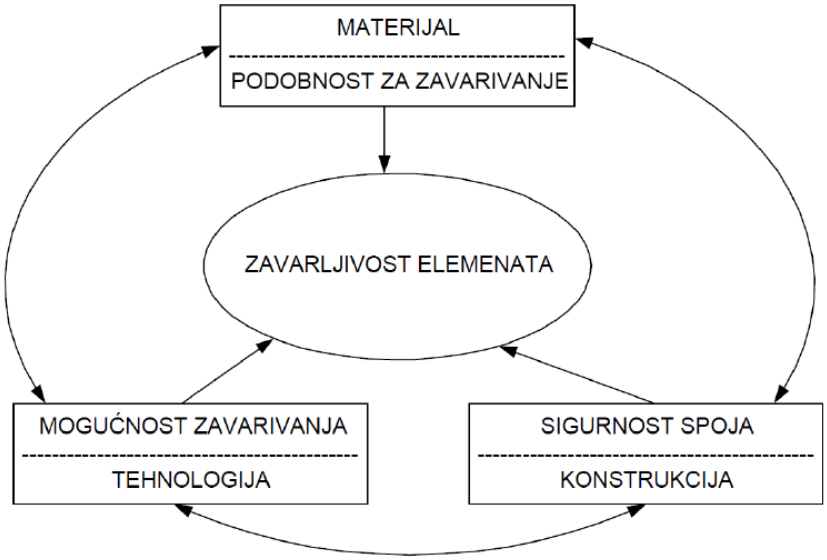
Slika 36: Etape ispitivanja kemijskog sastava

Tablica 5: Kemijski sastav uzorka 25CrMo4

Kemijski element	**Udio (%)**	**Odstupanje (+/- %)**
Si	0,7	0,06
P	0,463	0,006
S	0,67	0,01
Cr	1,12	0,03
Mn	0,58	0,03
Fe	86,72	0,27
Ni	0,33	0,04
Cu	2,58	0,06
Zn	6,54	0,08
Mo	0,239	0,007
Pb	0,08	0,02

6.2. Zavarljivost 25CrMo4

Definicija zavarljivosti kaže da je materijal zavarljiv kada, koristeći određen postupak zavarivanja, za određenu namjenu te se postiže homogen zavaren spoj odgovarajućom tehnikom zavarivanja, koji odgovara postavljenim zahtjevima o njegovim mehaničkim svojstvima, a ujedno zadovoljava kao sastavni dio čitave konstrukcije. Zavarljivost elemenata ovisi o samom materijalu na način da različiti materijali imaju različita svojstva, kao naprimjer toplinsku vodljivost, mikrostrukturu itd. Ovisi također o tehnologiji zavarivanja zbog različitih unosa topline, brzina zavarivanja, dodatnih materijala, različitih zaštitnih atmosfera itd., ovisno o postupku koji se koristi. Sigurnosti spoja uzima u obzir koje debljine se zavaruju, pristupačnost mjestu zavara i niz drugih uvjeta koji mogu utjecati na sigurnost konstrukcije. [25]



Slika 37: Zavarljivost elemenata [25]

Ocjena zavarljivosti se dobije raznim pokusima:

- ispitivanjem sklonosti povećanju tvrdoće
- ispitivanjem sklonosti starenju
- ispitivanjem sklonosti krhkom lomu
- ispitivanjem sklonosti toplim pukotinama
- ispitivanjem sklonosti lamelarnim pukotinama
- ispitivanjem sklonosti pukotinama u visokočvrstim materijalima. [25]

Također je moguće ocijeniti zavarljivost izračunavanjem koeficijenta ekvivalentnog ugljika C_{ekv} prema formuli (1):

$$C_{ekv} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10} \qquad (1)$$

Jednadžba 1

Prema vrijednostima izračunatim ovom formulom ocjenjujemo da je:

- zavarljivost DOBRA (C_{ekv} < 0,25%)
- zavarljivost ZADOVOLJAVAJUĆA (0,25% < C_{ekv} < 0,35%)
- zavarljivost OGRANIČENA (0,35% < C_{ekv} < 0,45%)
- zavarljivost LOŠA (C_{ekv} > 0,45%)

Osim ovog izraza postoje i niz drugih koji imaju razlike u postavljenim ciljevima autora, uvjetima rada i osnovnom materijalu. [26]

Prema tablici 4 udio ugljika se kreće između 0,22 i 0,29 % pa je vrijednost najgoreg slučaja uzeta u razmatranje budući da uređaj kojim se mjeri kemijski sastav nije u mogućnosti odrediti udio ugljika. Ostale vrijednosti koje su nam potrebne za izračunavanje C_{ekv} se nalaze u tablici 6. Nakon uvrštavanja vrijednosti ugljika od 0,29 % dobiven je C_{ekv} u vrijednosti od 0,4769 dok prilikom uvrštavanja vrijednosti ugljika od 0,22 % dobivena je vrijednost C_{ekv} od 0,4069. Dakle u najgorem slučaju dobije se materijal koji je loše zavarljiv, dok u najboljem slučaju zavarljivost je ograničena.

6.3. Tehnologija zavarivanja

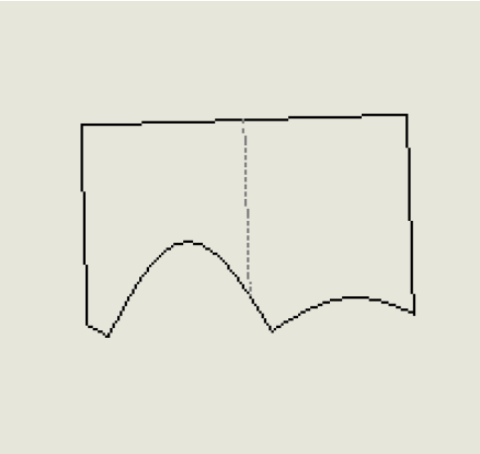
Korištenjem literature te uz iskustveno znanje odabran je 141, TIG postupak zavarivanja zbog potpune kontrole unosa topline budući da se radi sa tankostijenim cijevima. Neki parametri koje je bitno spomenuti su prikazani u tablici 6.

Tablica 6: Parametri zavarivanja

I_{zav} (A)	U_{zav} (V)	v_{zav} (mm/s)	Dodatni materijal	Zaštitni plin	Protok zaštitnog plina	Strujni izvor
50-80	10-15	2-5	Bohler DMO - IG	100% Ar	7-10 l/min	DC-

6.3.1 Priprema spoja

Postoji više načina na koje se može pripremiti cijevni spoj. U suradnji s Katedrom za Alatne strojeve pri Fakultetu strojarstva i brodogradnje za definirani spoj korišten je postupak glodanja te je dobiven oblik koji razvijen izgleda prema slici 38.



Slika 38: Oblik cijevi kakav je potrebno dobiti glodanjem

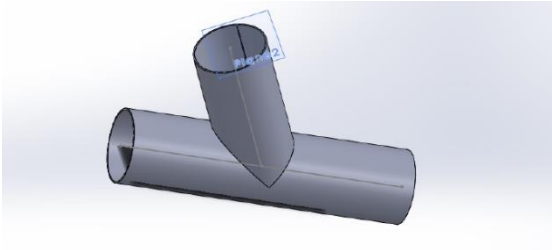
Dakle ako gledamo bokocrt cijevi, potrebno je cijev pripremiti tako da fiktivno zarežemo cijev kroz simetralu pod kutem od 60° u odnosu na otvor cijevi te drugo rezanje kroz simetralu pod kutem od 30°. Pripremljena cijev prikazana je na slici 39.



Slika 39: Cijev nakon pripreme

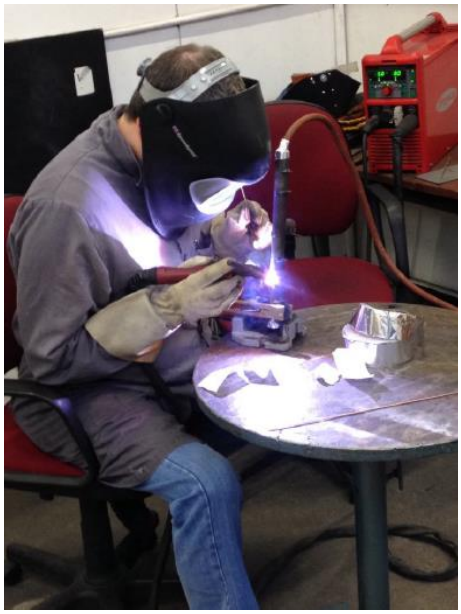
6.3.2. Izvedba zavarivanja

Zavarivanje je provedeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Kao što je već ranje rečeno korišten je postupak TIG. Spoj koji se zavaruje može se vidjeti na slici 40.



Slika 40: Prikaz spoja SW2016

Potrebno je uzeti u obzir da je ovaj spoj cijevni priključak te da je potrebno osigurati protok zaštitnog plina kroz donju i gornju cijev. Dakle donja cijev je zatvorena s jedne strane u potpunosti dok je s druge strane stavljen dotok argona koji je hermetički zatvoren te je time osigurana zaštita donje cijevi. Gornja cijev zaštićena je tako da je kroz simetralu gornje cijevi na donjoj cijevi napravljena rupa veličine 10 mm te je osiguran protok zaštitnog plina i kroz gornju cijev koja je naravno s druge strane zatvorena uz osiguran odušak zbog tlakova koji bi se u gornjoj cijevi mogli stvoriti. Protok plina je definiran u vrijednosti od q = 7 - 10 l/min te je definirano da prije uspostavljanja luka zaštitni plin mora strujati t = 0,4 - 0,6 s kako bi se pištolj i okoliš očistili od atmosferskog zraka i 10 -15 s nakon gašenja luka kako bi se spriječila oksidacija još neohlađenog zavara i ZUT-a. Izvođenje zavarivanja prikazano je na slici 41.



Slika 41: Izvođenje zavarivanja

Zavareni spojevi prikazani su na slici 42 netom nakon zavarivanja



Slika 42: Zavareni spoj netom nakon zavarivanja

Nakon ohlađivanja spoja, provedeno je rezanje istog tako da bi se dobili makroizbrusci na kojima je promatrano područje zavara i ZUT-a gdje nisu uočene neke veće nepravilnosti prema slici 43.



Slika 43: Prikaz makroizbrusaka

6.4. Korozijska zaštita uzoraka

Čitava zaštita provedena je od strane firme Iveković-TZM te je u dogovoru sa inženjerima firme odlučeno u razmatranje uzeti kategoriju korozivnosti C4-L. Vijek trajanja sustava je opisan zadnjim slovom, u našem slučaju L. Predstavlja pretpostavljeni vremenski protok od trenutka prvog nanošenja do prvog održavanja a specificira se prema ISO 12944.

- nizak - L (2-5 godina)
- srednji - M (5-15 godina)
- visok - H (više od 15 godina).

Nakon odabrane kategorije korozivnosti odabrani su postupci zaštite. Prvi koji je odabran provodi se prema ISO 12944-5 te se odnosi na mokro lakiranje.

Table A.1 — Paint systems for low-alloy carbon steel for corrosivity categories C2, C3, C4, C5-I, C5-M

Substrate: Low-alloy carbon steel

Surface preparation: For Sa 2½, from rust grade A, B or C only (see ISO 8501-1)

System No.	Priming coat(s)				Subsequent coat(s)	Paint system		Expected durability (see 5.5 and ISO 12944-1)												Corresponding systems in Table				
	Binder [d]	Type of primer [e]	No. of coats	NDFT µm [b]	Binder	No. of coats	NDFT µm [b]	C2			C3			C4			C5-I			C5-M							
								L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	A.2	A.3	A.4	A.5 (I)	A.5 (M)
A1.01	AK, AY	Misc.	1-2	100	—	1-2	100																A2.04				
A1.02	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	—	1	60																A2.08	A3.10			
A1.03	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-3	120																A2.02	A3.01			
A1.04	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-4	160																A2.03	A3.02			
A1.05	AK	Misc.	1-2	80	AK	3-5	200																	A3.03	A4.01		
A1.06	EP	Misc.	1	160	AY	2	200																		A4.06		
A1.07	AK, AY, CR [c], PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	2-4	160																A2.03 A2.05	A3.05			
A1.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	AY, CR, PVC	2-3	160																	A3.12	A4.10		
A1.09	AK, AY, CR [c], PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	200																	A3.04 A3.06	A4.02 A4.04		
A1.10	EP, PUR	Misc.	1-2	120	AY, CR, PVC	3-4	200																		A4.06	A9L.01	
A1.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	AY, CR, PVC	2-4	200																	A3.13	A4.11		
A1.12	AK, AY, CR [c], PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	240																		A4.03 A4.05		
A1.13	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	AY, CR, PVC	3-4	240																		A4.12		
A1.14	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	AY, CR, PVC	4-6	320																			A9L.06	
A1.15	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-3	120																A2.06	A3.07			
A1.16	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-4	160																A2.07	A3.08			
A1.17	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	EP, PUR	2-3	160																	A3.11	A4.13		
A1.18	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-5	200																	A3.09			
A1.19	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 [e]	EP, PUR	3-4	200																		A4.14		

ISO 12944-5:2007

Slika 44: Norma ISO 12944 - 5

Kao temeljni sloj odabran je Hempadur Zink te je definirana njegova debljina (d_s) od minimalno 100 µm. Nakon temeljnog sloja nanesen je Hempathane 2K PUR RAL-a koji za ovo ispitivanje nije bio jedan od zahtjeva pa je uzet RAL 9010. Debljina drugog sloja je minimalno 60 µm te ukupna vrijednost debljine iznosi minimalno 160µm.

Drugi postupak koji je napravljen jest elektrostatsko nanošenje praškastih prevlaka koji se naziva još i elektroplastifikacija. Provodi se prema normi DIN 55633 te je odabir prikazan na slici 45.

Tabelle A.1 — Beispiele für Pulver-Beschichtungssysteme auf unlegiertem Stahl oder niedriglegiertem Stahl

Nr	Oberflächen-vorbereitungs-grad[A]	Grundbeschichtung(en)			Deckbeschichtung(en)			Beschichtungssystem		Schutzdauer nach DIN EN ISO 12944-1													
		Binde-mittel	Anzahl der Schichten	NDFT µm	Binde-mittel	Anzahl der Schichten	NDFT µm	Anzahl der Schichten	NDFT gesamt µm	Korrosivitätskategorie													
										C2			C3			C4			C5-I			C5-M	
										L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
P1.1	Sa 2 ½	EP	1	80	—	—	—	1	80														
P1.2	Sa 2 ½	—	—	—	EP/SP, SP, PUR	1	80	1	80														
P1.3	Sa 2 ½		—	—		2	60	2	120														
P1.4	Sa 2 ½	EP	1	60		1	60	2	120														
P1.5	Sa 2 ½		1	80		1	80	2	160														
P1.6	Sa 2 ½		1 bis 2	100		1	80	2 bis 3	180														

[A] Alternative, in gleicher Weise geeignete Vorbereitungs- und Vorbehandlungsverfahren sind zulässig.

Legende

EP = Epoxidharz
EP/SP = Epoxid/Polyesterharz
SP = Polyesterharz
PUR = Polyurethan (isocyanat härtendes OH-funktionelles Polyesterharz)

L = niedrig (en: low)
M = mittel (en: medium)
H = hoch (en: high)

Slika 45: Prikaz zahtjeva norme DIN 55633

Debljine i slojevi koji se koriste pri zaštiti postupkom elektoplastifikacije su definirani tako da prvi, temeljni sloj je epoksi sloj debljine minimalno 60 µm, dok je drugi, posljednji sloj napravljen u RAL-u 8025 također minimalno 60 µm.

6.4.1. Provođenje postupka mokrog lakiranja

Uzorci su doneseni u firmu Iveković – TZM u sirovom stanju, prema normi ISO 12944 - 5 potrebno provesti predoperaciju pripreme površine prema ISO 8501-1. Definiran je stupanj pripreme Sa $2_{1/2}$ prema tablici 7 dok su uzorci prije i nakon rezanja i sačmarenja prikazani na slici 46.



Slika 46: Uzorci prije i nakon rezanja i sačmarenja

Tablica 7: Stupnjevi pripreme površine

Standardni stupnjevi primarne pripreme površine metodom abrazivnog čišćenja	
Sa 3	Čišćenje mlazom abraziva do vizualno čistog čelika
Sa $2_{1/2}$	Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva
Sa 2	Temeljito čišćenje mlazom abraziva
Sa 1	Lagano čišćenje mlazom abraziva

Nakon rezanja i sačmarenja uslijedio je postupak nanošenja prvog sloja Hempadur Zink u minimalnoj debljini od 100 μm što je prikazano na slici 47.



Slika 47: Temeljni sloj Hempadur Zink

Sloj se nanosi uz pomoć zračnog pištolja i provodi se ručno. Nakon temeljnog sloja slijedi sušenje i polimerizacija te nanošenje drugog sloja, dvokomponentnog poliuretana Hempathane 2K PUR RAL-a 9010 u minmalnoj debljini od 60 μm prema slici 48.



Slika 48: Drugi sloj Hempathane 2K PUR

6.4.2. Provođenje postupka elektroplastifikacije

Kod elektroplastifikacije proces je automatiziran. Sastoji se od predoperacija kao što je sačmarenje pa slijedi vješanje elemenata koji se postavljaju na automatski sustav pokretan po vodilicama koji se kreće od odjeljenja do odjeljenja pogona te se dobije gotov zaštićen proizvod. Nakon vješanja, uzorak ide u komore u kojima se provodi ispiranje odmašćivanje te nanovo ispiranje. Nakon ispiranja uzorak ulazi u komoru za sušenje gdje se suši pri nekih 100°C. Slijedi elektrostatsko nanošenje praška koje funkcionira na principu suprotnih naboja opisano u teorijskom dijelu. Nakon nanošenja praška, uzorak ide u peć gdje, ovisno o debljini i obliku materijala, ostaje određeno vrijeme na 190°C te nakon toga izlazi vani gdje se hladi te se nakon ohlađivanja pomiče s proizvodne trake. Zaštićeni komad je prikazan na slici 49.



Slika 49: Zaštita postupkom elektrostatskog nanošenja praška

6.5. Simulacija zavarivanja korištenjem programa Sysweld

Kao što je već ranije spomenuto *Sysweld* je numerički program ESI grupacije koji se sastoji od 3 dijela ili bolje rečeno potprograma:

- *Visual Mesh*
- *Visual Weld*
- *Visual Viewer*

Program je korišten kod simulacije zavarivanja T-spoja dvaju cijevi različitih dimenzija, materijala X20Cr13 koji spada u martenzitne nehrđajuće čelike. Dimenzije odnosno promjeri (d) cijevi su:

- Φ25x1 mm
- Φ13x1,5 mm.

Razlog zbog kojeg je korišten materijal X20Cr13 je taj što je baza podataka ograničena te je pronađen materijal koji bi svojstvima bio sličan materijalu koji se koristi pri zavarivanju u stvarnosti. Jedna od prednosti ovog materijala je ta da ima oko 12 - 14 posto Cr, a krom je element koji u strukturi postiže bolju korozijsku otpornost. Mehanička svojstva i kemijski sastav predstavljen je u idućim tablicama.

Tablica 8: Prikaz kemijskog sastava materijala X20Cr13 [26]

C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**
0.16 – 0.25	Max.1	Max. 1.5	Max 0.04	Max. 0.015	12 - 14

Tablica 9: Mehanička svojstva materijala X20Cr13 [26]

Rm - vlačna čvrstoća (MPa)	650-950
$R_{p0.2}$ - granica razvlačenja pri def. od 0.2 %	450-600
KV –Udarni rad loma (J)	20-25 (+20 °C)
A – Min. istezljivost (%)	10-12
Vikers tvrdoća (HV)	480-520

Uz napomenu da su svi rezultati dati za materijal koji je poboljšan.

6.5.1. Visual Mesh

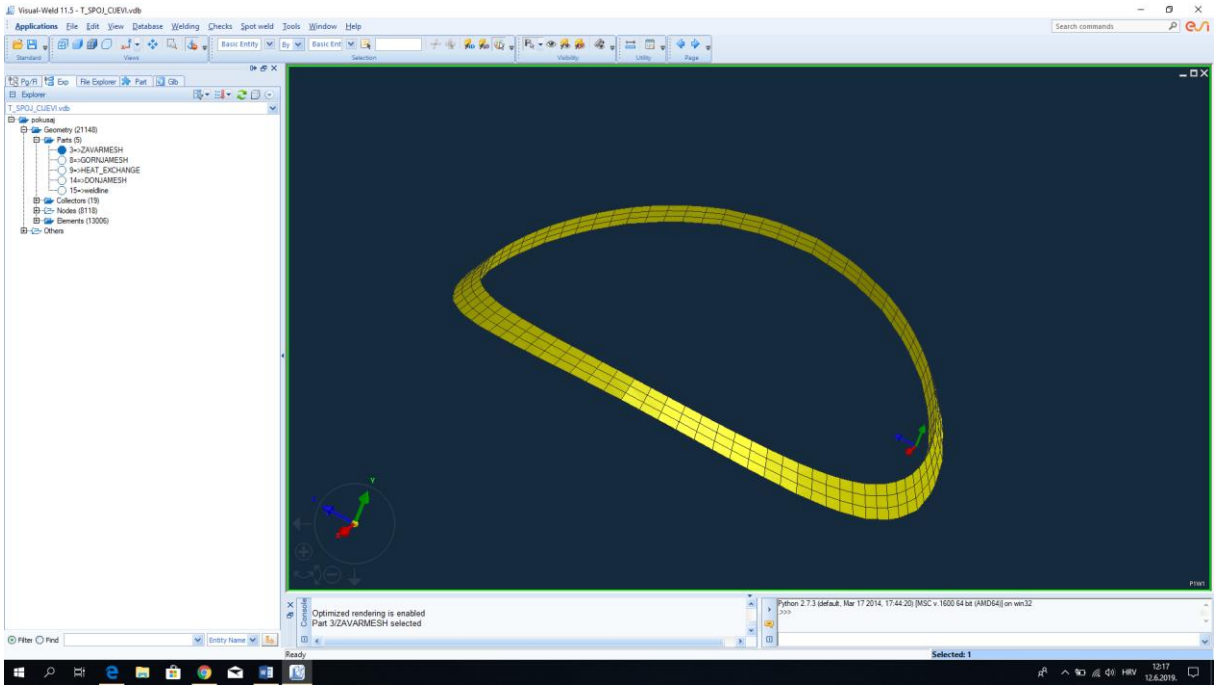
Izrada modela se zapravo sastoji od dva dijela. Prvo je potrebno definirati model tako da se unutar programa *Solidworks* nacrtaju dvije cijevi pod pravim kutom koje tvore T – spoj. Također je potrebno definirati i zavar koji se koristi pri daljnjim razmatranjima.

Nakon što je model napravljen potrebno ga je spremiti u formatu koji će program *Visual Mesh* moći pročitati, a to je .IGS format.

Otvaranjem dokumenta u *Visual Meshu* cilj je korištenjem opcija *Node i Curve* te nakon toga Flat opcije napraviti presjeke koji će se „provlačiti kroz volumen“ da bi kreirali mrežu elemenata na kojima će se vršiti simulacija. Definiranjem presjeka otvorena je mogućnost postavljanja više elemenata na toj definiranoj površini. Postavljanje broja elemenata radi se korištenjem opcije *2D Topo Mesh*. Kada su presjeci u potpunosti definirani potrebno je otvoriti *3D Map* te „provući presjeke kroz volumen“. Nakon svakog novo definiranog presjeka potrebno je odraditi *Check* opciju koja osigurava spajanje *Nodova* koji su blizu onoliko koliko se definira minimalna tolerancija udaljenosti.

Sav posao napravljen je za zavar tako da je definiran trokutni presjek te su korištene krivulje dodira zavara i gornje cijevi te zavara i donje cijevi uz krivulju dodira gornje i donje cijevi.

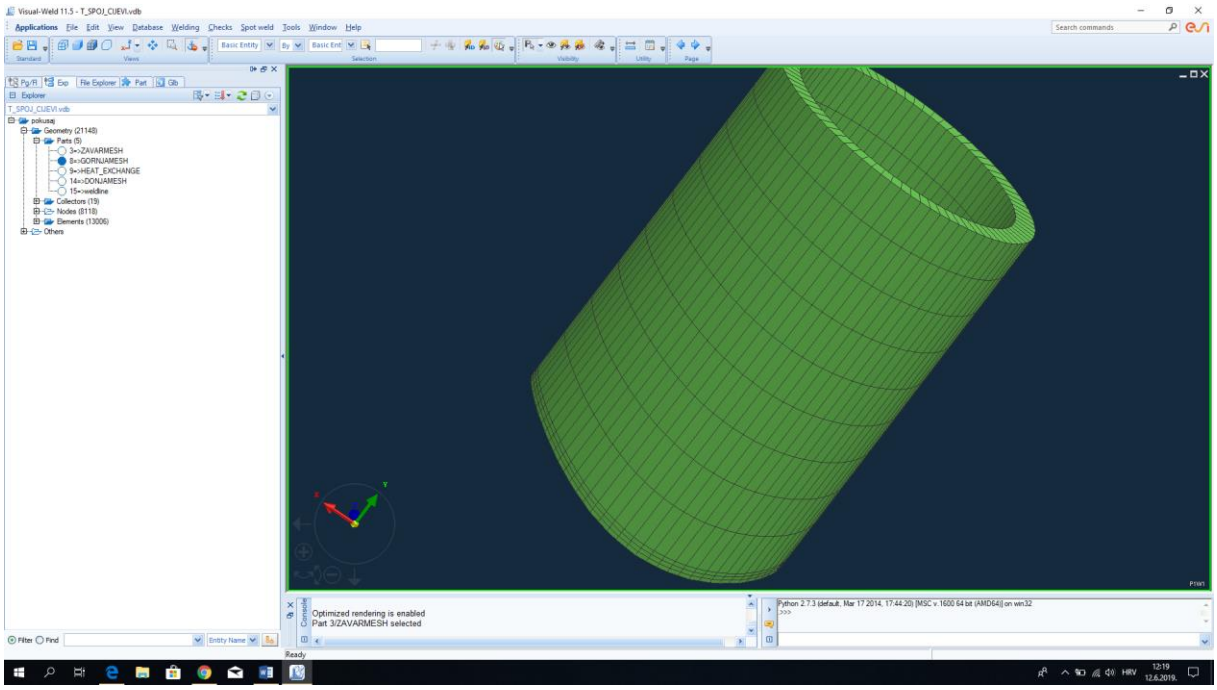
Mreža elemenata na području zavara prikazana je na slici 50.



Slika 50: Prikaz mreže elemenata napravljene na zavaru

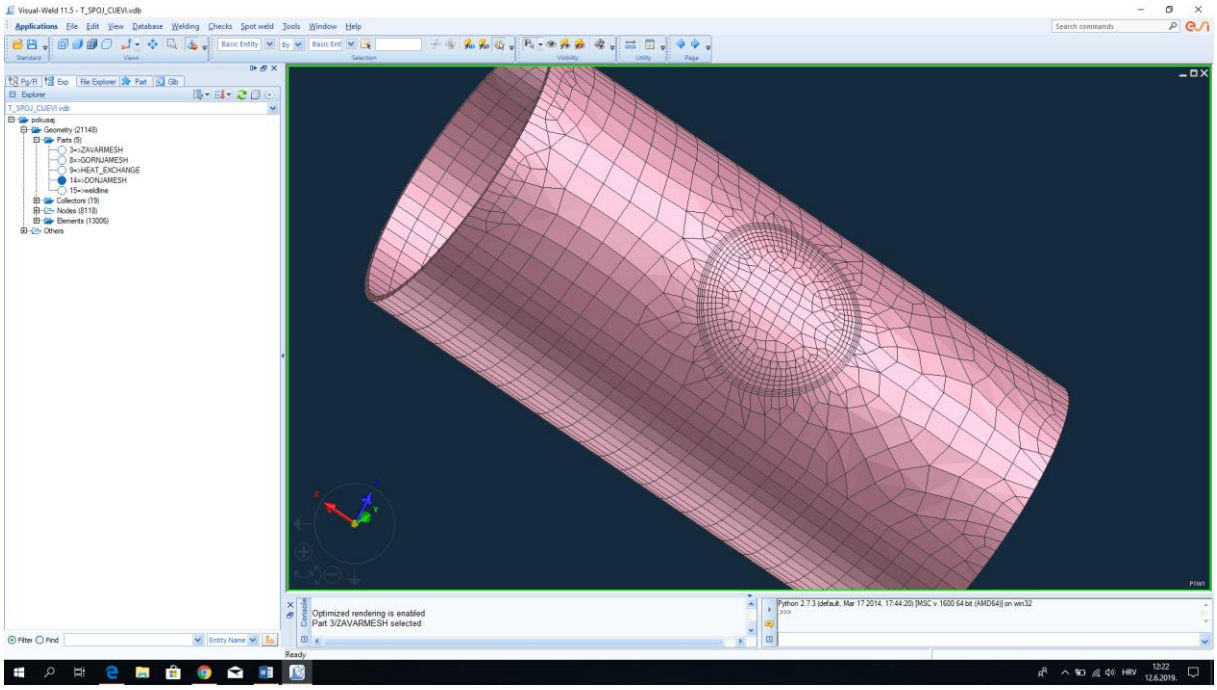
Gornja cijev je definirana s dvije površine ili kasnije gledano volumena, prvi volumen je ZUT na kojem je mreža elemenata gušća jer nam je potrebnija stroža kontrola materijala na tom

dijelu, te drugi dio koji ima rjeđu mrežu. Mreže za oba dijela gornje cijevi prikazane su na slici 51.



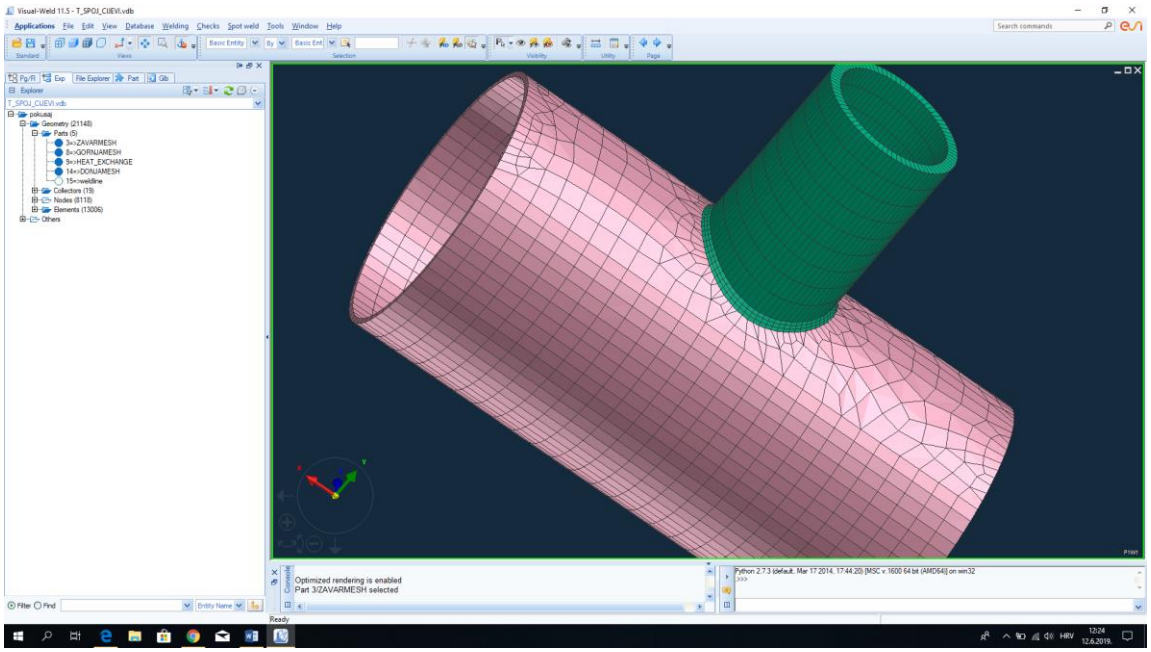
Slika 51: Prikaz mreže elemenata napravljene na gornjoj cijevi

Ista stvar je primijenjena i na donjoj vodoravnoj cijevi koja je podijeljena na dva dijela, stroži i blaži, tako da je uz pomoć opcije *Split surfac*e izdvojena površina ZUT-a donje cijevi te dio materijala oko ZUT-a. Na slici 52 prikazana je mreža elemenata za donju cijev.



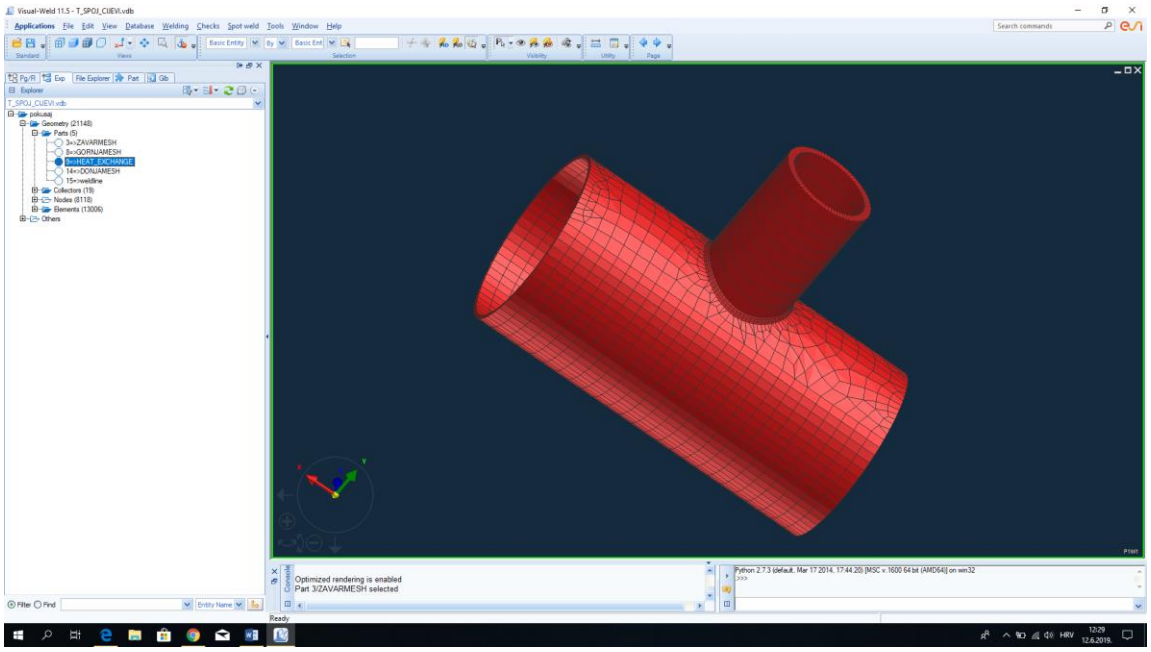
Slika 52: Prikaz mreže elemenata na donjoj cijevi

Dobiveni model je prikazan na slici 53 te se sastoji od 13 500 elemenata.



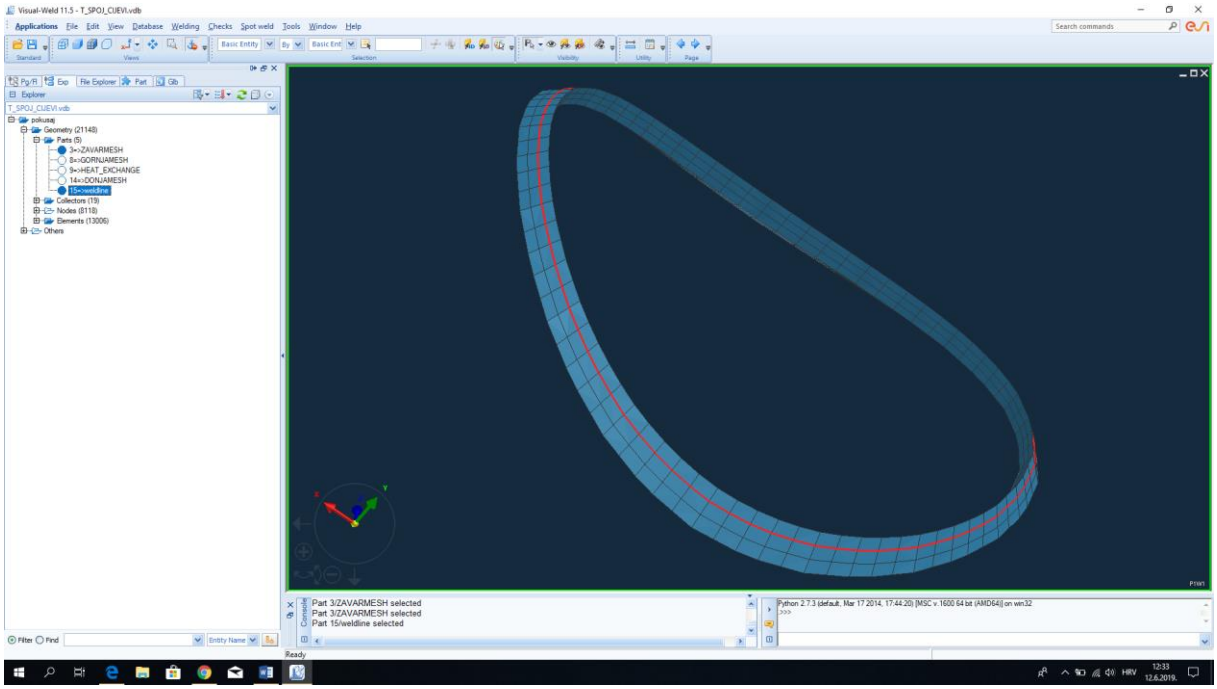
Slika 53: Prikaz mreže elemenata na cijelom spoju

Prije korištenja drugog dijela programa, *Visual Welda*, potrebno je napraviti određene pripremne radnje, kao naprimjer definirati korištenjem *2D Extract from 3D Mesh* opcije površinu koja će izmjenjivati toplinu s okolinom. Ta površina je prikazana na slici 54 i služi da bi se definirao odvod topline, označena je sa _heat_exchange.



Slika 54: Prikaz površine za izmjenu topline s okolinom (hlađenje)

Još jedna pripremna radnja koju je potrebno obaviti je definirati liniju zavarivanja, putanju po kojoj će se izvor topline kretati. Definiramo je otvaranjem opcije *Welding*, *Create trajectory* te definiramo tri čvora, početni, sljedeći koji definira smjer zavarivanja, te krajnji koji je na istom mjestu kao i početni, a prikazana je na slici 55.



Slika 55: Prikaz linije zavarivanja (crveno)

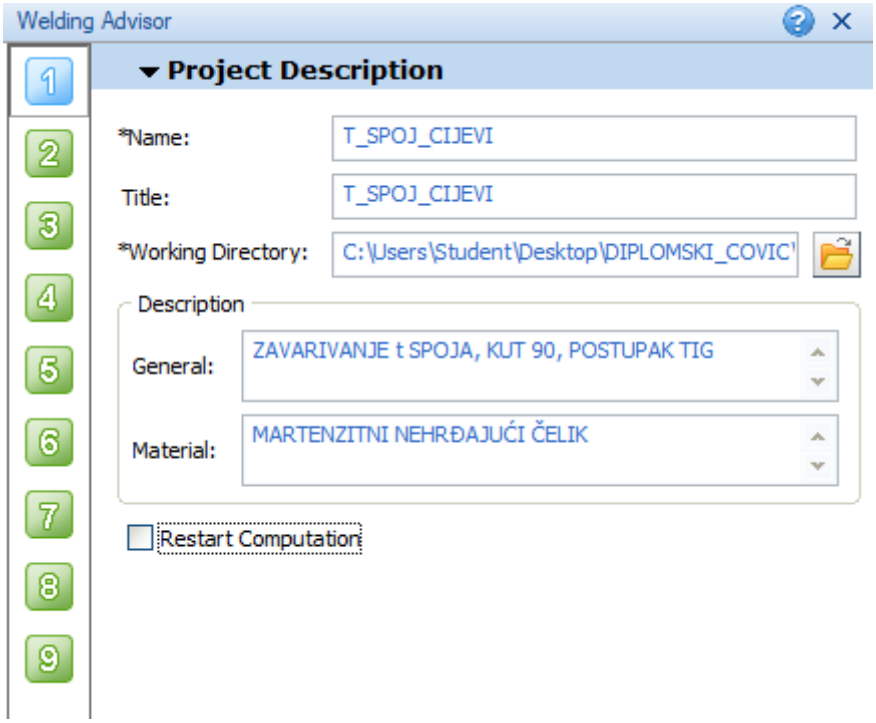
Potrebno je još definirati jedan korak do otvaranja *Visual Welda*. Pretpostavka programa je da se komad na kojem se izvodi zavarivanje nalazi u zraku. Možemo reći da komad „lebdi“ a ova pretpostavka je potvrđena i u dijelu u kojem je napravljen Part koji će se koristiti za hlađenje. Taj Part predstavlja sve površine koje izmjenjuju toplinu, tj. zaključak je da ni jedna površina nije oslonjena i da sve površine izmjenjuju toplinu ovisno samo o odvođenju i materijalu samom tj. njegovoj toplinskoj vodljivosti. Koristeći prethodno definiranu logiku potrebno je definirati kolektor, što bi značilo, grupaciju elemenata koji služe za izvršenje određene radnje na njima. Kolektor je definiran na donjoj cijevi te se koristiti prilikom fiktivnog stezanja u *Visual Weldu* popunjavanjem prozora *Clamping Condition*. Taj kolektor predstavlja elemente koji su stegnuti i omogućuju spoju da „lebdi“ bez ikakve smetnje.

6.5.2. Visual Weld

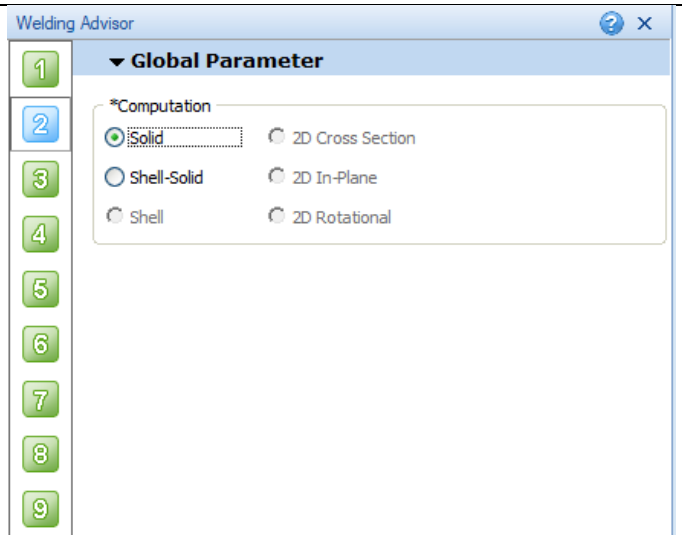
Nakon što su svi dodatni uvjeti zadovoljeni, otvara se *Sysweldov* potprogram *Visual Weld* u kojem se definira proces, parametre, hlađenje, stezanje, sile i naprezanja. Otvara se *Weld Advisor* te ispunjavaju izbornici prema rasporedu:

1. *Project Description*
2. *Global Parameter*
3. *Component Properties*
4. *Welding Process*
5. *Cooling Condition*
6. *Clamping Condition*
7. *Loads and Deformation*
8. *Contact Definition*
9. *Solution Parameter*.

Prvi izbornik koji se treba ispuniti jest *Project Description* koji nam služi za definiranje mjesta spremanja podataka i rezultata te opis samog projekta i njegovog cilja. U drugom izborniku odabiremo *Global Parameter* te ga postavljamo na Solid u slučaju rada na 3D modelu. Iduće slike predstavljaju prethodno opisana dva izbornika.

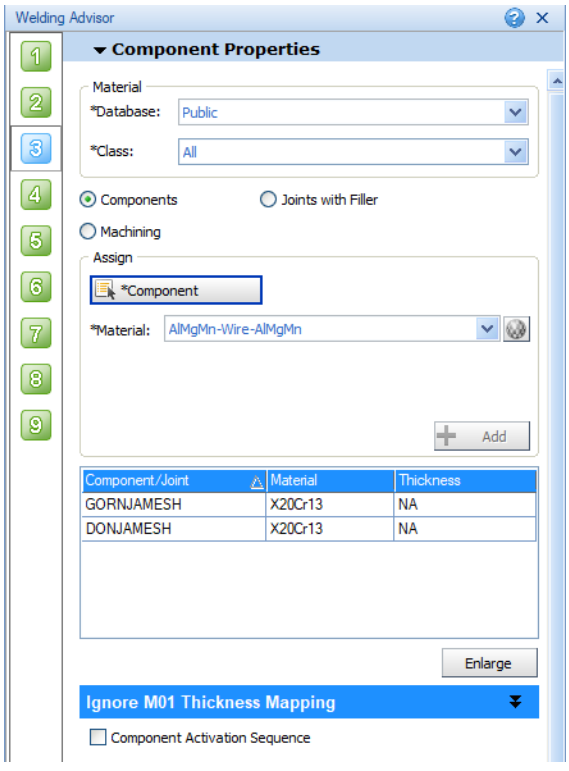


Slika 56: Welding Advisor – Izbornik 1



Slika 57: Welding Advisor – Izbornik 2

U trećem izborniku potrebno je definirati materijale za osnovni materijal, u našem slučaju zavaruju se obje cijevi istog materijala, prethodno spomenutog, X20Cr13. U slučaju zavarivanja ovog materijala dodatni materijal može biti ili isti tj. sličan kao i osnovni materijal ili AISI 300 ili Inconel koji su bolji odabir sa strane pojave hladnih pukotina. U našem slučaju korišten je isti materijal, dakle X20Cr13 koji je definiran promjenom u izborniku 3 s *Components* na *Joints and filler*. Izbornik je prikazan na slici 58.



Slika 58: Welding Advisor – Izbornik 3

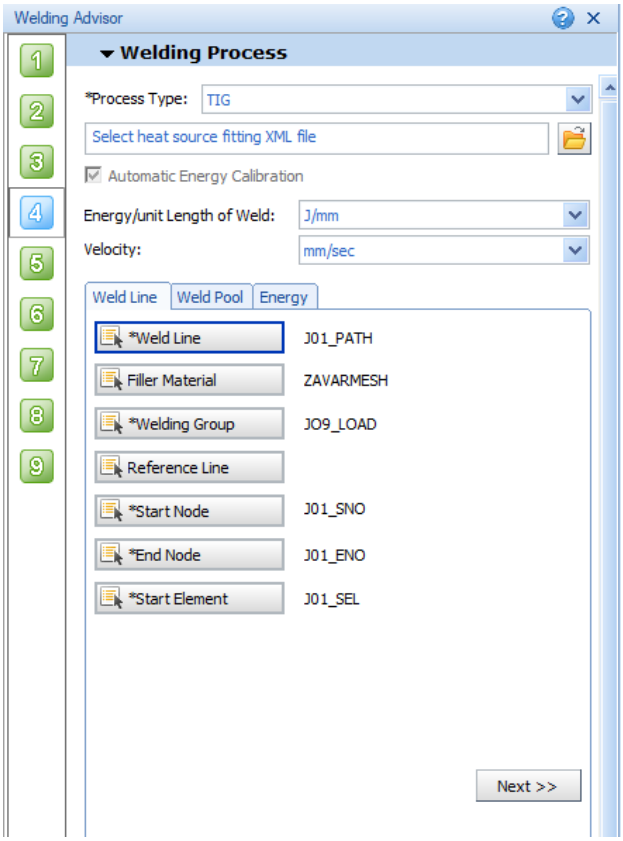
Četvrti izbornik, *Welding Process* je najkompleksniji te u njemu ima dosta elemenata na koje je potrebno obratiti pozornost. Potrebno je definirati *Process Type* te u skočnom prozoru odabrati TIG proces zavarivanja. Također je potrebno postaviti mjerne jedinice na *J/mm* te *mm/s*.

Nakon toga imamo 3 podgrupe podatka koje se defintiraju da bi proces bio konačno određen.

Prva grupa se naziva *Weld line* te je unutar te grupe potrebno odabrati liniju zavarivanja koja je ranije određena te je uvrstiti u stablo kao jedan Part. Automatskim odabirom linije zavarivanja ispunjavaju se dijelovi u kojima su postavljeni podatci o početnom i krajnjem čvoru te početnom elementu. Nakon toga potrebno je definirati *Welding group* što znači grupu elemenata na koje će unos topline centrirano biti apliciran. Ti elementi se mogu shvatiti kao izvori, žarišta električnog luka tj. izvora topline.

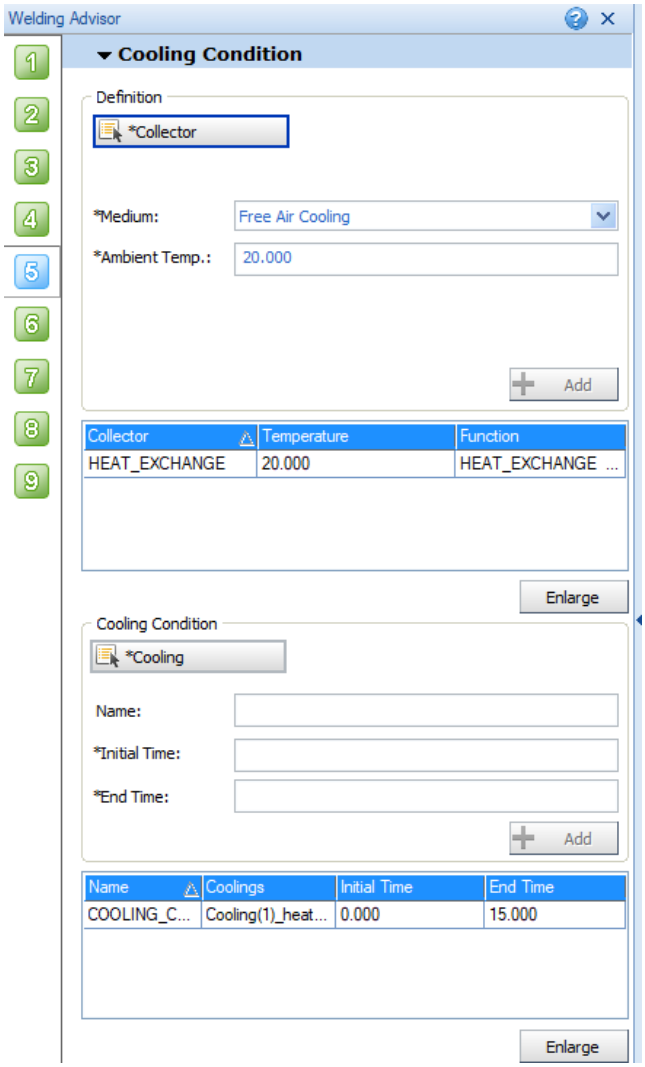
Druga grupa koja je definirana je *Weld Pool* gdje je potrebno definirati brzinu i trajanje zavarivanja te dimenzije električnog luka koji je aproksimiran modelom nalik na „zeppelin“.

Treća grupa predstavlja unos topline koji je definiran brojčano te predstavlja također jedan od utjecajnijih parametara. Izbornik 4 je prikazan na slici 59.



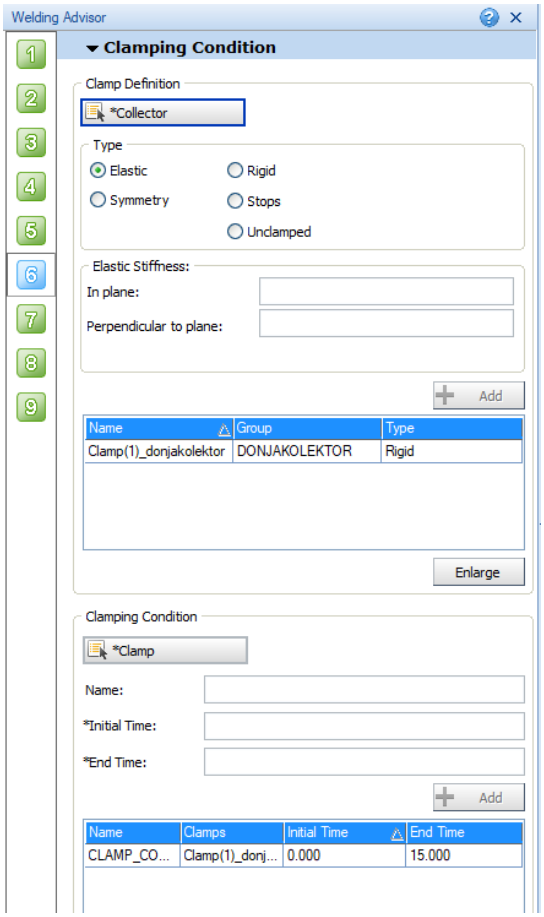
Slika 59: Welding Advisor – Izbornik 4

U petom izborniku koji je prikazan na slici 60 definiramo uvjete hlađenja, *Cooling Condition,* tako da se umetne prethodno napravljeni *Part, _heat_exchange*, koji predstavlja 2D površinu koja konvekcijom izmjenjuje toplinu s okolinom temperature 20°C.

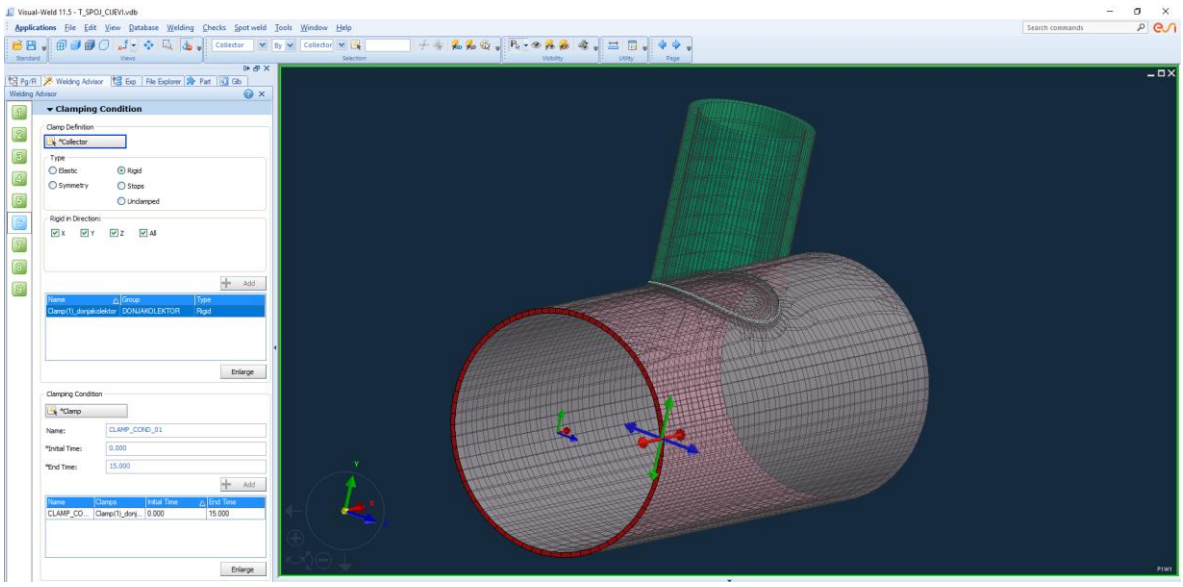


Slika 60: Welding Advisor – Izbornik 5

Šesti izbornik, slika 61, predstavlja stezanje komada uz prethodno spomenutu pretpostavku da je komad „u zraku“ tj. da „lebdi“. Odabire se kolektor te se opisuje kao kruti kolektor koji je nepomičan u sve 3 osi a prikazan je na slici 62. Budući da su ti elementi dio donje cijevi, a ona dio sklopa gornje cijevi i zavara, elementi su nepomični što implicira da je i cijeli sklop nepomičan.

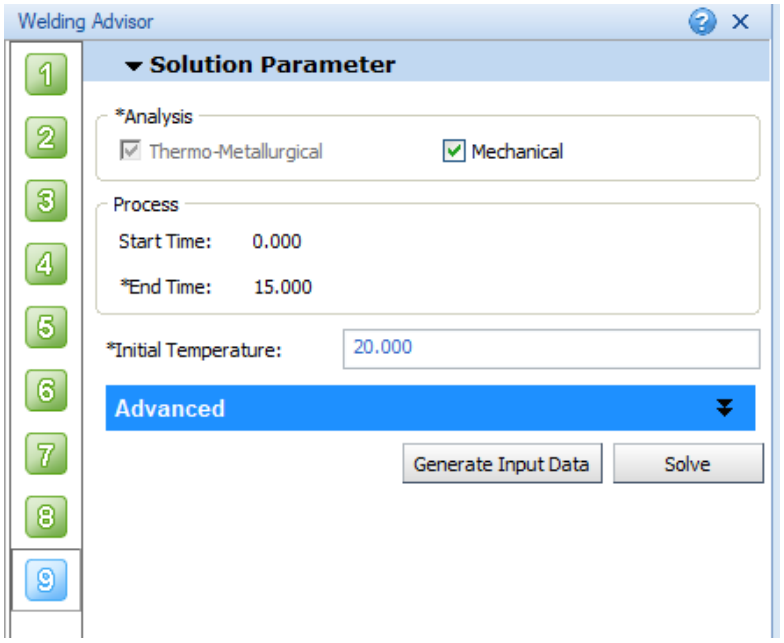


Slika 61: Welding Advisor – Izbornik 6



Slika 62: Odabrani elementi koji su stegnuti i nepomični u x,y,z smjeru te njihovim rotacijama

Sedmi i osmi izbornik vezan je uz opterećenja i naprezanja, pa je u ovom diplomskom radu izostavljen, dok deveti izbornik predstavlja izbornik u kojem generiramo rezultate pritiskom na *Generate imput data.*



Slika 63: Welding Advisor – Izbornik 9

Nakon unosa svih izbornika, otvara se *Computation Manager* te se pokreće računanje i izrada simulacije te se prebacuje u *Visual Viewe*r.

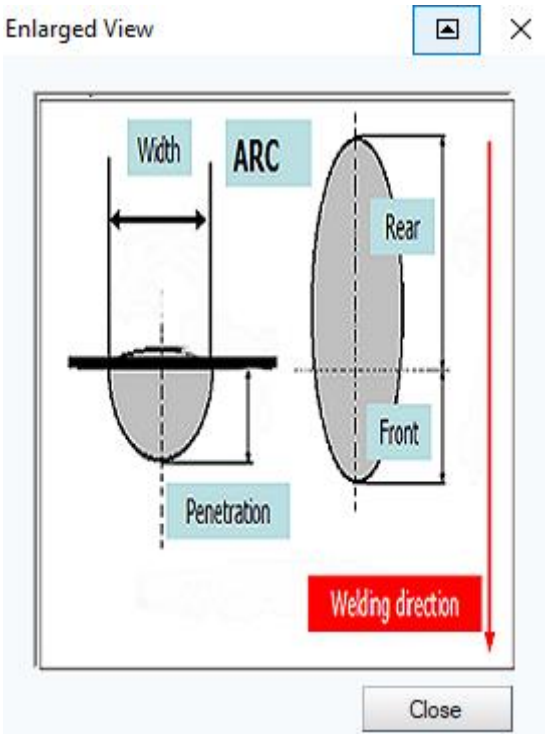
6.5.3. Visual Viewer

Posljednji u grupi potprograma se naziva *Visual Viewer* u kojemu se razmatraju rezultati simulacije. Koristimo opciju *Contour* te odabiremo *Temperature Nod* ali uz uvjet da se promatraju maksimalne temperature. Odabire se opcija *Display* te definira skala koja ima 3 razdiobe podijeljene prema temperaturama na 20 – 800 °C, 800 -1500 °C,1500-1800°C.

Razlozi ovakve podjele leže u tome da nam prva razdioba predstavlja osnovni materijal prikazan plavom bojom, druga razdioba predstavlja ZUT te je označena zelenom bojom i treća razdioba predstavlja zavar a označava se ljubičastom bojom. Svaki 3D element će se nakon unesene topline koja je definirana u *Visual Weldu* dobiti prema skali jednu od tri boje ovisno o udaljenosti od izvora topline. Konačni cilj je dobiti geometriju sličnu onoj u stvarnosti te time kalibrirati izvor topline. Da bi promatranje imalo smisla geometriju zavara promatra se uvijek u istoj ravnini koristeći opciju *Section View*.

Dakle zaključak ovog paragrafa je da na geometriju zavara može se utjecati mijenjanjem tri parametra:

1. *Welding Group* – mijenjanjem elemenata, žarišta na koje utječe unos topline
2. *Weld Pool* – definiranjem „zeppelina“ (ranije objašnjeno) prema slici 64.



Slika 64: Prikaz dimenzija koje definiraju „zeppelin“

3. *Energy* – definiranjem unosa topline.

6.5.4. Rezultati simulacije i zaključci

Rezultati simulacije zavarivanja služe kao kalibracija izvora topline. Prikazuju se temperature na uzorku prilikom zavarivanja te se uz pomoć promjene i definiranja skale dobije podjela na tri boje koje predstavljaju zavar, ZUT i osnovni materijal. Kao što je već ranije rečeno cilj je dobiti izgled zavara koji minimalno odstupa od izgleda zavara dobivenog pri zavarivanju u stvarnosti.

Svi predstavljeni rezultati vrijede za v_{zav} = 3 mm/s ; t_{zav} = 15 s ; te otprije definiranu skalu temperatura. U daljnjem predstavljanju rezultata koristeći tablice bit će unesene kratice koje predstavljaju prethodno nabrojane parametre kojima se utječe na geometriju. Kratice redom znače:

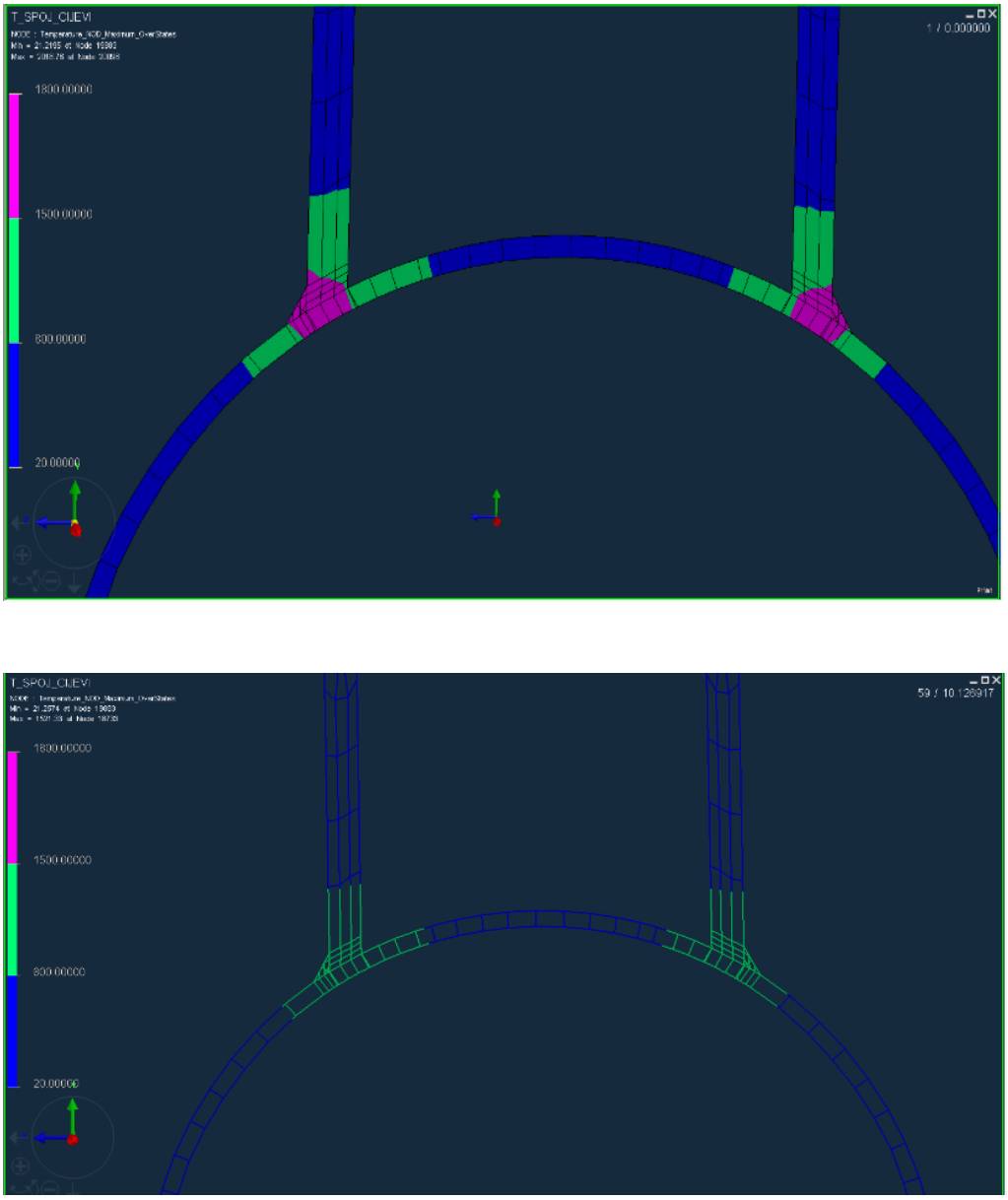
- WG = *Welding Group*
- WP = *Weld Pool* (1.znamenka-širina, 2.znamenka-duljina, 3.znamenka-penetracija)
- E = *Energy.*

Tablica 10: Prva iteracija

WG	JO1_LOAD	JO1_LOAD
WP	111	333
E	50	50

U prvoj iteraciji korišteni su elementi u WG koji se nazivaju JO1_LOAD a sastoje se od zavara, ZUT-a gornje i donje cijevi te dijela na spoju dva ZUT-a čiji vrh se naslanja na kut zavara koji je u dodiru s obje cijevi.

WP je definiran na dva načina kao element s dimenzijama 111 te 333 uz isti unos topline. Zaključeno je da promjenom dimenzija „zeppelina“ se utječe na koncentraciju topline tako da je pri dimenzijama 111 „centriraniji“ unos topline dok povećanjem dimenzija na 333 dobivamo „razvučeniju“ sliku unosa topline te djelomično preklapanje u nodovima na početku/kraju zavarivanja. Zaključci su vidljivi na slici 65.

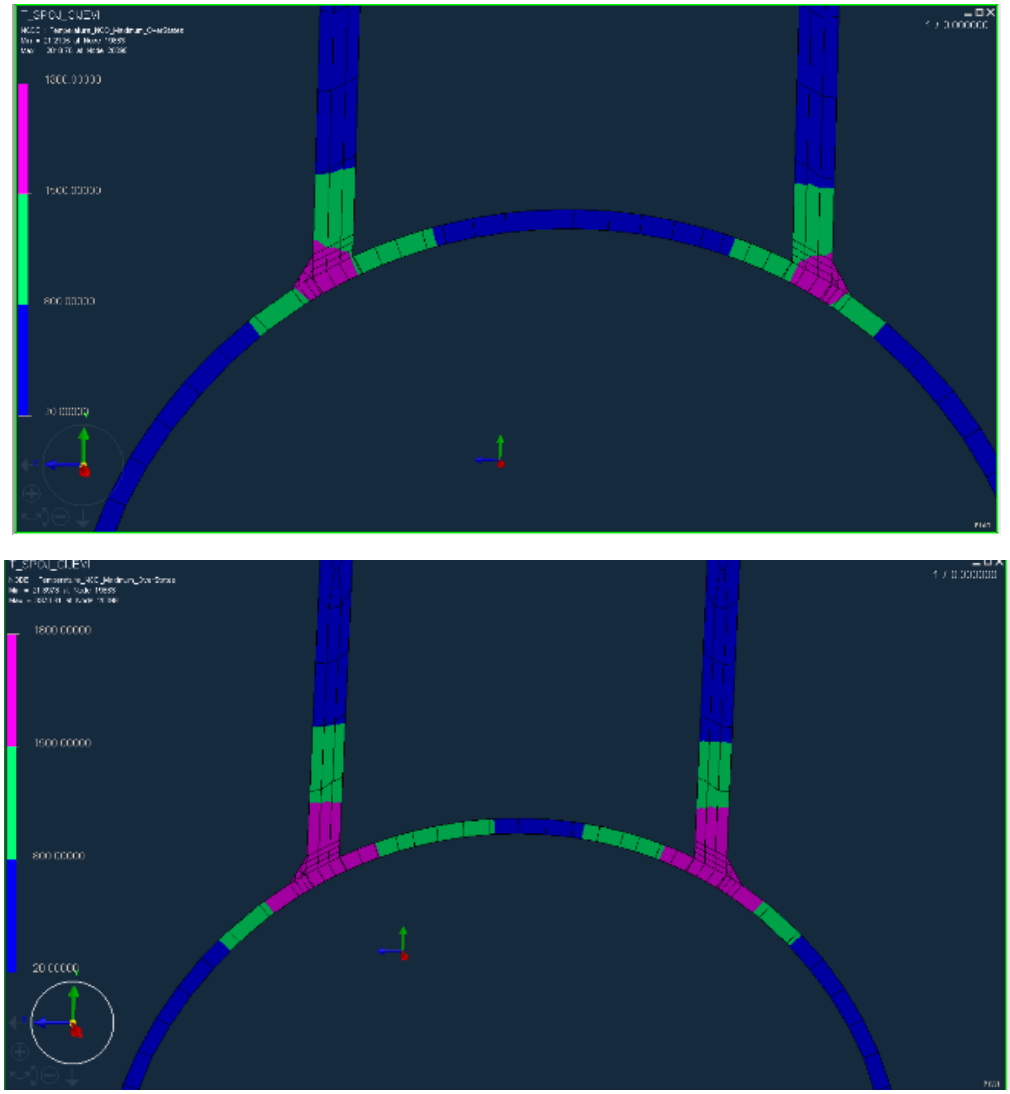


Slika 65: Prikaz rezultata prve iteracije

Iduća iteracija provedena je između istih elemenata, dakle WG nije mijenjan dok je WP ostavljen u oba slučaja na 111. Jedina promjena napravljena je na unosu topline koji je povećan 2 puta,a rezultati su prikazani na slici 66.

Tablica 11: Druga iteracija

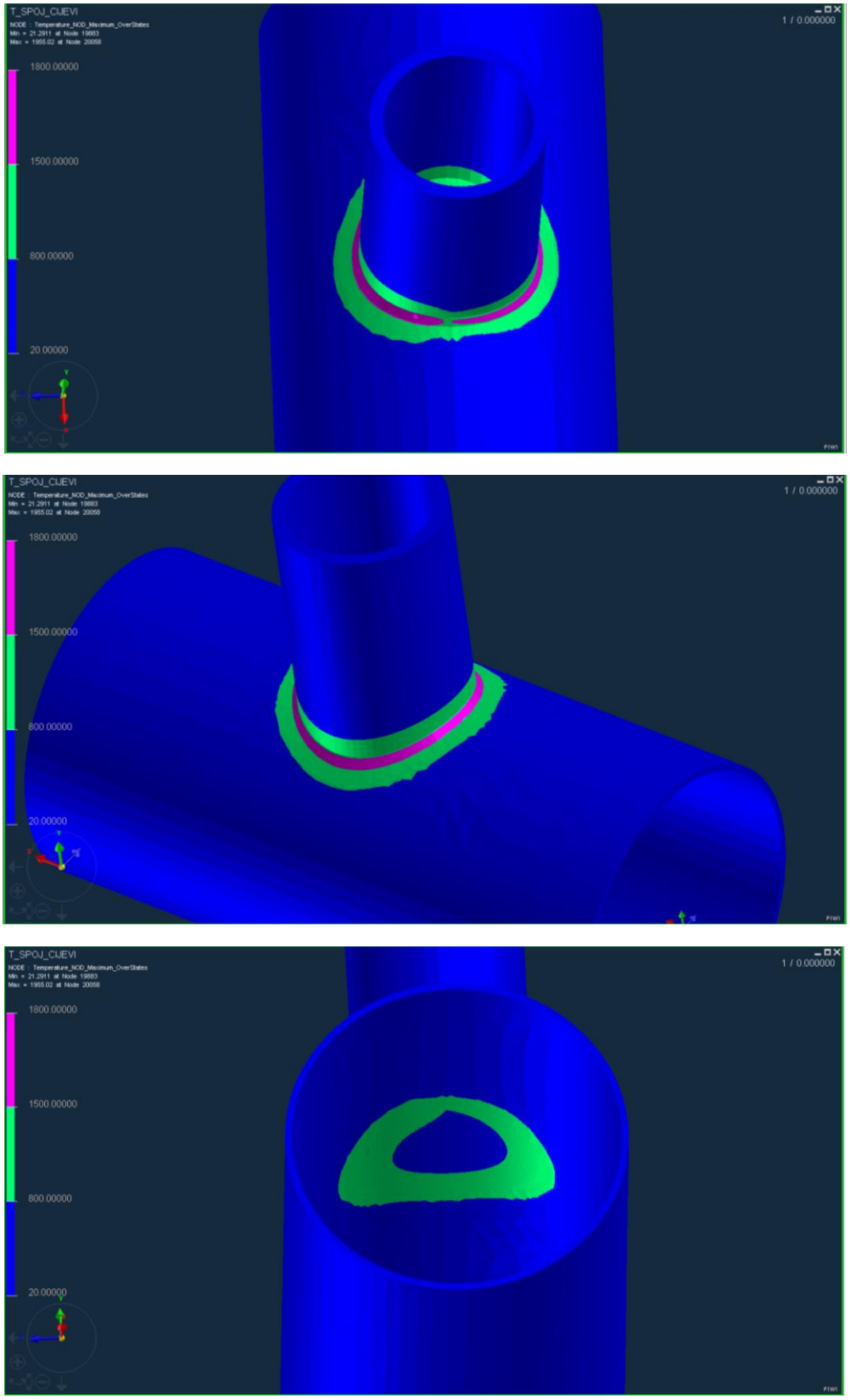
WG	JO1_LOAD	JO1_LOAD
WP	111	111
E	50	100



Slika 66: Prikaz rezultata druge iteracije

Prema slikama druge iteracije jasno je da kada su stijenke tanje cilj je pripaziti na protaljivanje, koje je i u jednom i u drugom slučaju vidljivo. Što je veći unos topline za iste WG i WP bit će i veće protaljivanje.

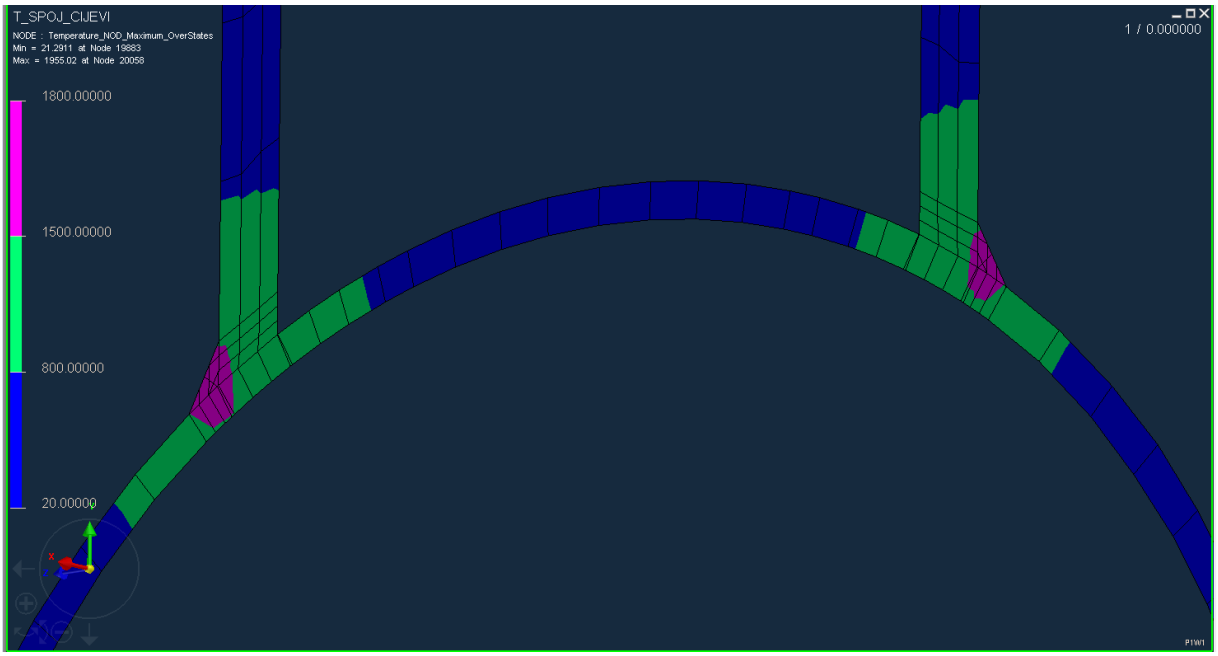
Prilikom zavarivanja komada koji imaju deblje stijenke, program se može koristiti da bismo odredili koliki utjecaj na samo zavarivanje ima korijenska zaštita ovisno o protaljenosti komada.



Slika 67: Temperaturna raspodjela u području zavarenog spoja gledano s vanjske strane

Na slici 67 prikazana je geometrija zavara te ZUT. Jasno se vidi da je ZUT na donjoj cijevi raširenija zbog postavke zavarivanja te odabrane linije zavarivanja koja uz elemente koji su odabrani ne uspijeva isto ugrijati jednu i drugu cijev. Možda odlučujući parametar koji igra ulogu u širini ZUT-a je debljina cijevi tj. stijenka cijevi koja je za pola milimetra tanja kod donje cijevi. Na slici je vidljivo da na početku zavara nije postignuta odgovarajuća temeperatura te bi se moglo zaključiti da je neprotaljen. Naravno u stvarnosti ovaj problem bi se mogao riješiti tako da zavarivač produži zavar preko točke početka zavarivanja što bi isti vjerojatno intuitivno i uradio dok program ne dopušta preklapanje.

U ovom slučaju odabran je WG JO9_LOAD koji je sastoji od susjednih elemenata linije zavarivanja. Za WP uzete su dimenzije 3 5 3 dok je za E tj. unos topline uzeta vrijednost od 49 J/mm. Na slici 68 prikazani su rezultati zavarivanja u definiranoj ravnini.



Slika 68: Prikaz presjeka zavara u YZ ravnini

Iz rezultata se da zaključiti da su parametri na desnoj strani zavara bolje pogođeni zbog toga što je zahvaćena stijenka gornje cijevi dok donja cijev nije ni blizu protaljivanja. Na desnoj strani zahvaćeno je više elemenata gornje cijevi te je donja cijev blizu protaljivanja. U idućim iteracijama moguće je još jedino utjecati na WG tako da se elementi na jednoj strani odaberu kao elementi na kojima se unosi toplina a na drugoj strani da se izostave ili promijeniti brzinu zavarivanja.

Napravljena je još jedna iteracija koja je prihvaćena kao konačno rješenje, radi se o promjeni parametra brzine zavarivanja.

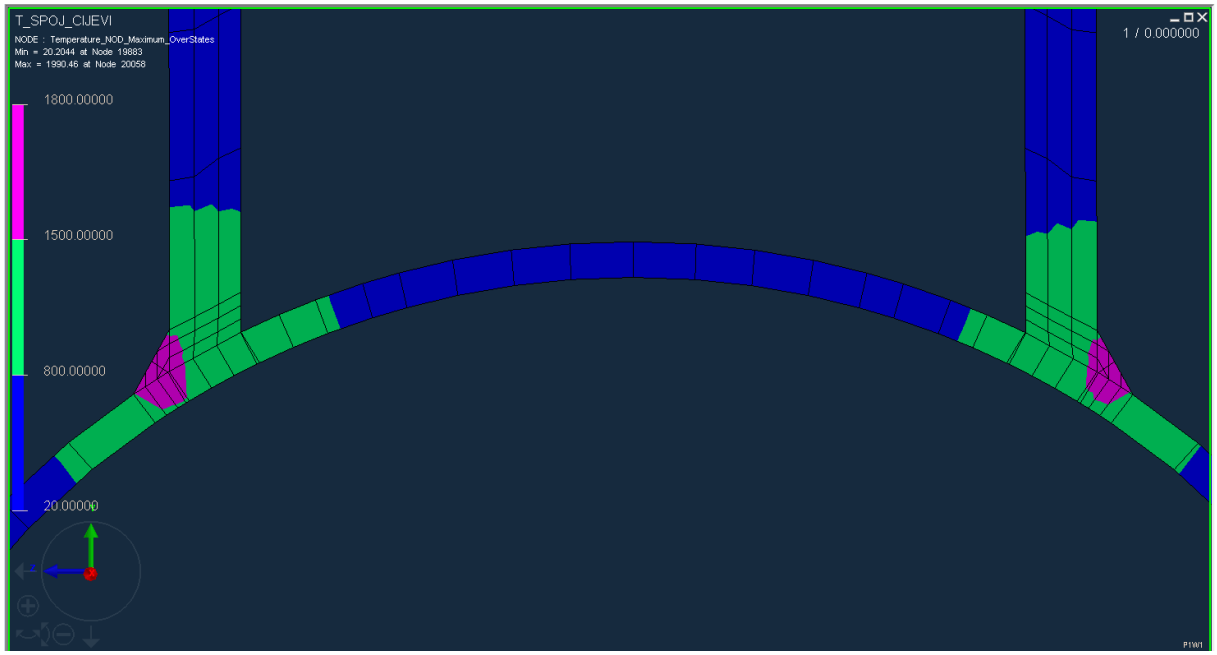
Dodatna iteracija donosi prikaz koji ćemo prihvatiti kao relevantan rezultat te nam objašnjava koliki utjecaj ima brzina zavarivanja na formu zavara. Dobivena je bolja geometrija smanjenjem unosa topline i povećanjem brzine zavarivanja za 33%. Nova brzina zavarivanja iznosi 4 mm/s dok je unos topline smanjen na vrijednost od 42 J/mm. Novi parametri koji su korišteni prikazani su u tablici 12.

Tablica 12: Konačni parametri-posljednja iteracija

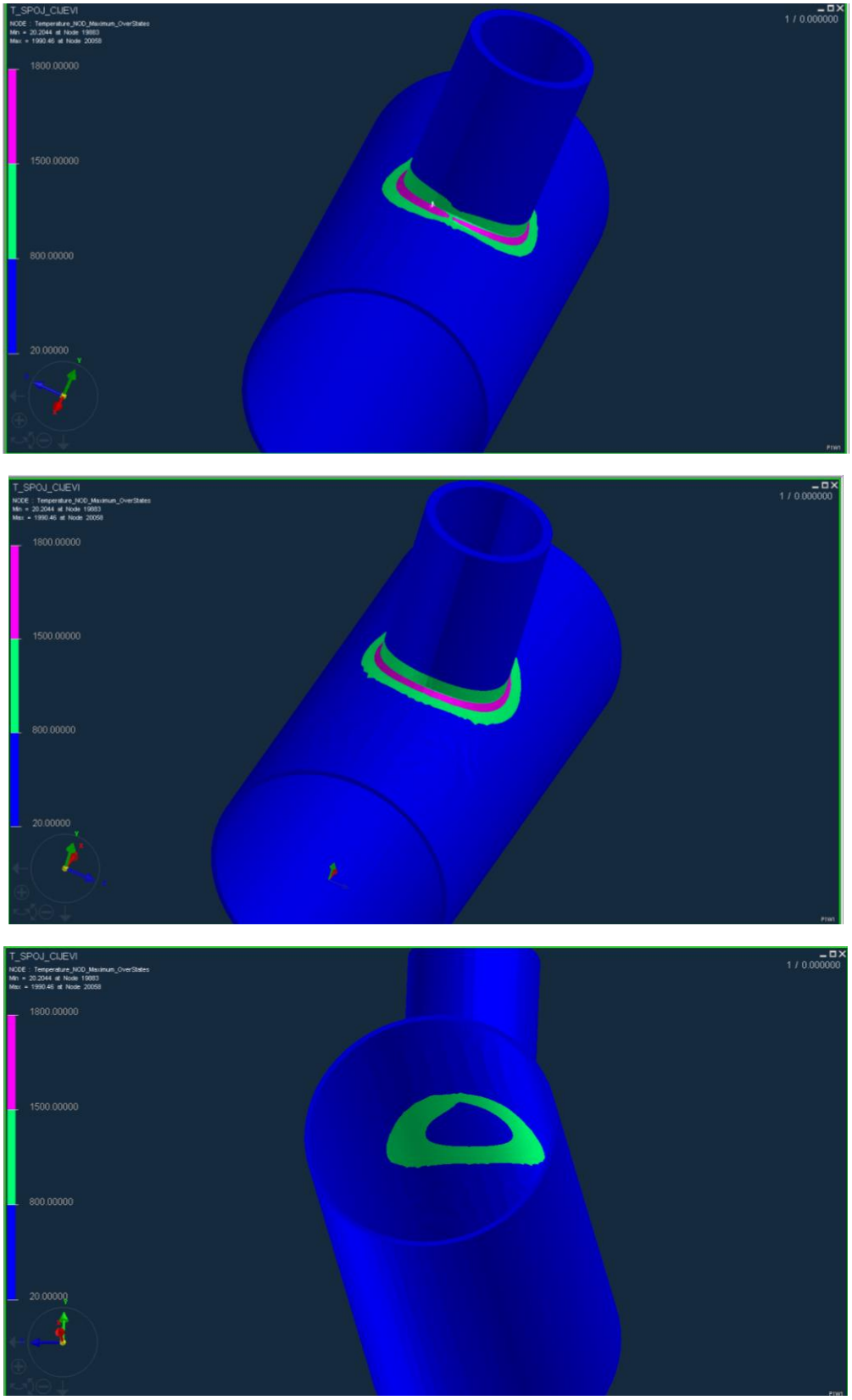
WG	JO9_LOAD
WP	353
E	42

Konačni parametri zapravo prikazuju kraj postupka kalibracije izvora topline.

Slike 69 i 70 prikazuje temperature koje aproksimiraju izgled zavara iz tri bitna kuta te je prikazan relevantni presjek koji je promatran i u ostalim iteracijama.

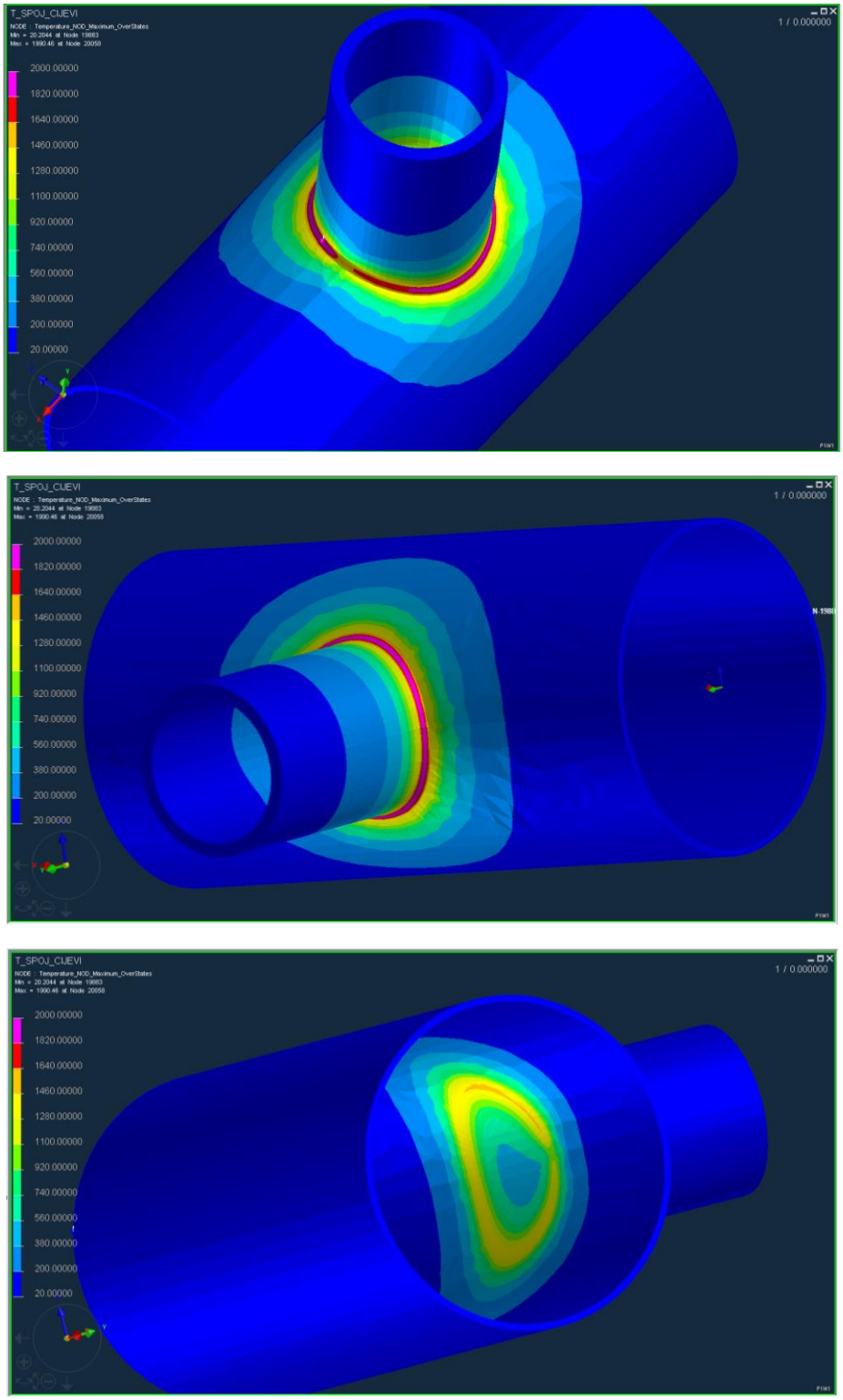


Slika 69: Prikaz presjeka modela zavara koji je prihvaćen kao konačno rješenje



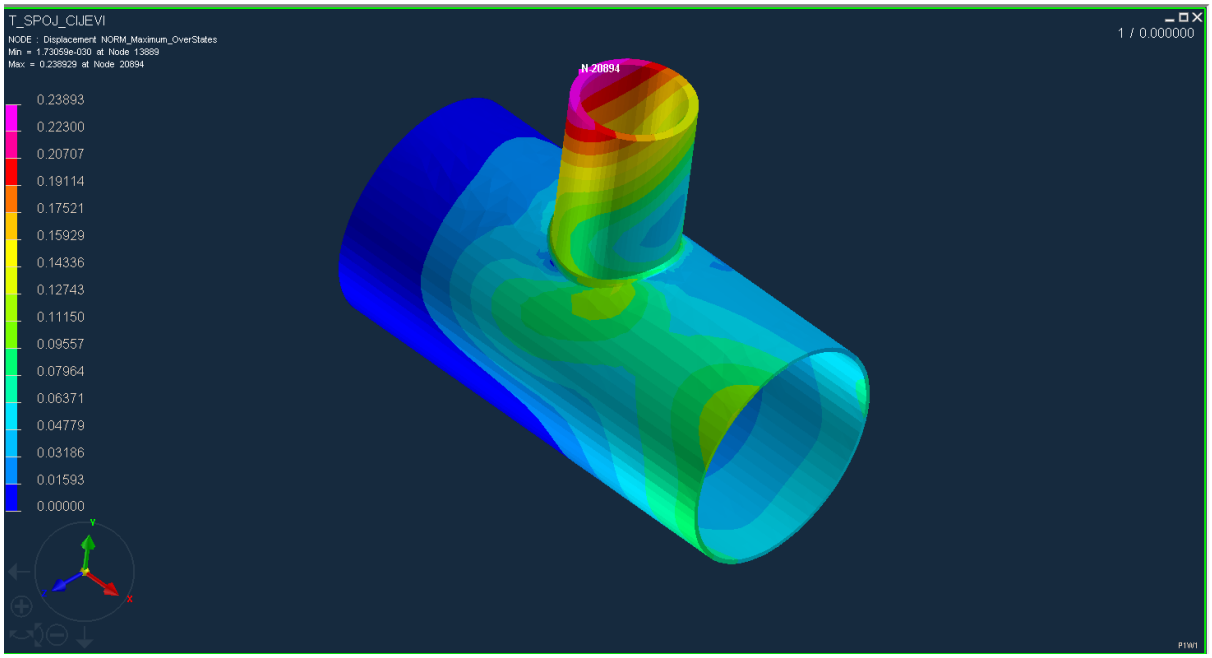
Slika 70: Pogleda zavara koji je prihvaćen kao konačno rješenje

Na slici 71 prikazani su rasponi maksimalnih temperatura koje su postignute tijekom zavarivanja. Vidljivo je da je maksimalna vrijednost u području zavara te da iznosi od 1640-2000 °C dok su u području ZUT-a temperature u rasponu od 560-1640 °C.



Slika 71: Prikaz maksimalnih temperatura postignutih tijekom zavarivanja

Slika 72 prikazuje deformacije komada nakon zavarivanja. Rezultati pokazuju da se maksimalna deformacija dogodila u čvoru N-20894 te je označena kao područje obojeno ljubičastom bojom. Iznos maksimalne deformacije je 0,23893 mm. Također je vidljivo da deformacija gotovo nema ili su minimalne na mjestima na kojima su postavljene stezaljke. Ta mjesta su obojena plavom bojom a predstavljaju područja u iznosu od 0 mm deformacije.



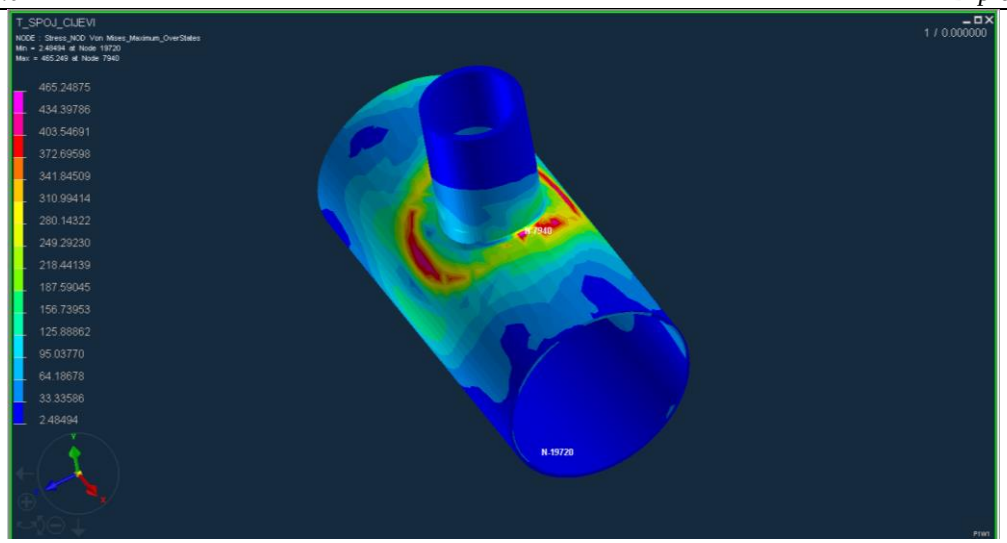
Slika 72: Prikaz deformacija komada nakon zavarivanja

Iduće slike predstavljaju raspodjelu zaostalih naprezanja prema Von Mises-ovoj teoriji. Nakon toga se provjera vršila sa srednjim naprezanjima koja je obavezna zbog toga što Von Mises-ova formula za izračunavanje može izračunati samo iznos naprezanja dok se smjer naprezanja ne zna (vlačno ili tlačno naprezanje).

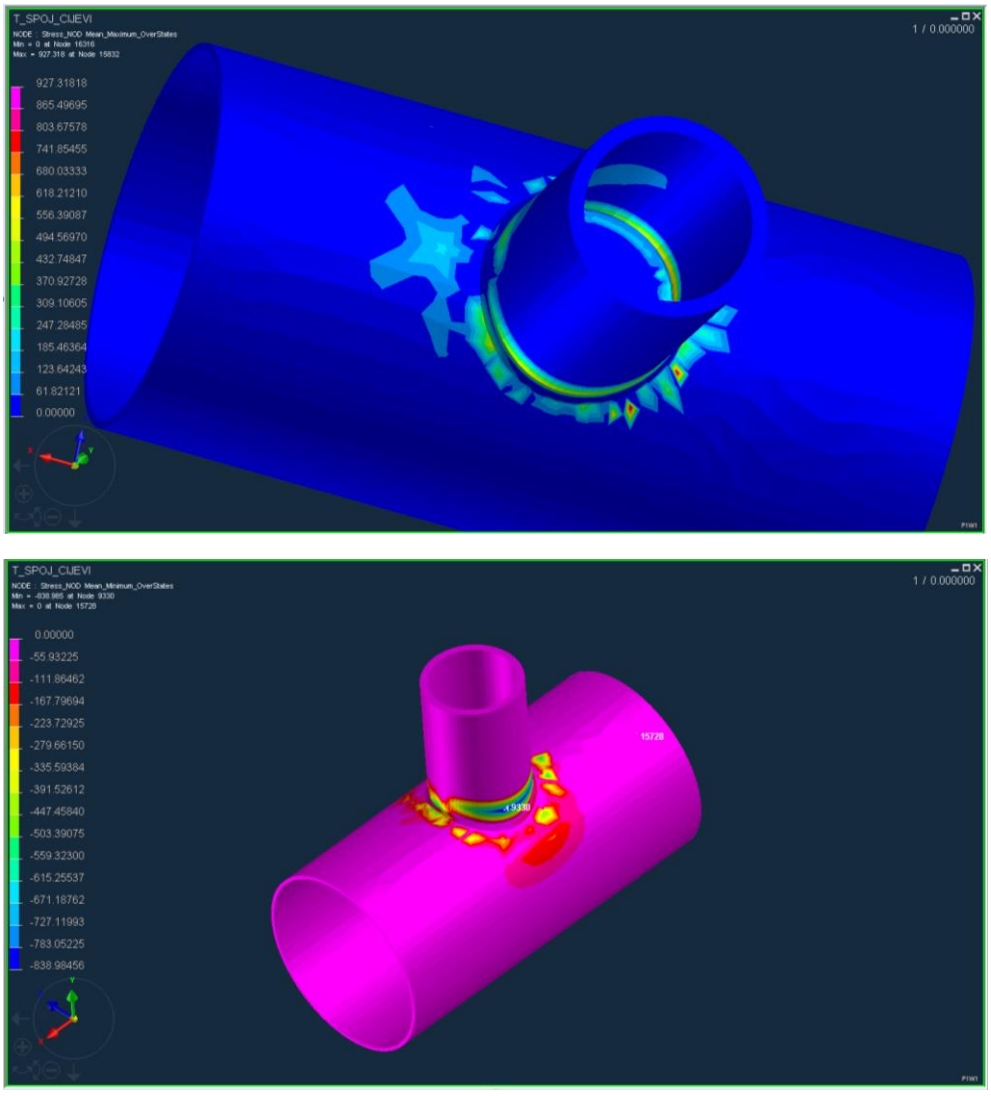
Kao što je rečeno, srednja naprezanja prikazuju smjer naprezanja. Postavljen je kriterij maksimalnih srednjih naprezanja te su dobivena područja koja su vlačno opterećena. Također je postavljen kriterij minimalnih srednjih naprezanja te dobivamo područja opterećena tlačno.

Dobiveni rezultati prikazuju da su maksimalna naprezanja po Von Misesu prisutna u području ZUT-a dok su prema iznosu druga najveća u području samog zavara. Najveća vrijednost zaostalih naprezanja prema Von Misesu iznosi 465 N/mm^2.

Utjecaj na rezultate kako pri simulaciji tako i u stvarnosti može se postići dodatnom toplinskom obradom tipa žarenjem kao što je za ovaj materijal i specificirano.



Slika 73: Prikaz naprezanja po Von Misesu



Slika 74: Prikaz naprezanja prema teoriji srednjih naprezanja (vlak-gore; tlak-dolje)

ZAKLJUČAK

Kroz rad je prikazano donošenje odluka u smislu odabira materijala, pripreme spoja, definiranja parametara zavarivanja i izvođenje zavarivanja te korozijske zaštite. Naglasak je stavljen na dio sa simulacijom u kojem se želi pokazati raspored temperatura, naprezanja i deformacija koje se događaju prilikom zavarivanja.

CrMo čelik je materijal odabira zbog mehaničkih svojstava te strukturne učinkovitosti. Priprema spoja provedena je glodanjem. U slučaju pripreme tankih stijenki bolja opcija obrade je glodanje zbog osiguravanja potpunog nalijeganja cijevi na cijev. Druga opcija pripreme spoja je kombinacija rezanja korištenjem šablone i brušenja koja se koristi kod cijevi većih promjera te debljih stijenki. Zavarljivost materijala je uvjetno jednostavna. Analizom kemijskog sastava te uvrštavanjem u formulu izračunata je vrijednost C_{ekv} te je zaključena ograničena prema lošoj zavarljivosti. Samo zavarivanje je provedeno koristeći propisane parametre te je provedena zaštita korijena zavara korištenjem protoka zaštitnog plina.

Korozijska zaštita napravljena je na komadima koristeći dvije različite metode. Mokro lakiranje je metoda koja se bolje uklapa u plan zaštite sa stajališta financija budući da je jeftinija. Nedostatak ove metode zaštite je ljudski faktor. Nanošenje slojeva se može razlikovati u debljinama na određenim površinama, pogotovo prilikom zaštite zakrivljenih površina što cijev jest. Druga metoda zaštite, elektrostatsko nanošenje praška, je skuplja, ali osigurava uniformnu debljinu sloja. Oba postupka dovoljno su „dobra“ te je samo razlika u namjeni i količini, kada koristiti prvi, a kada drugi postupak zaštite.

Rad sadrži CAD model napravljen u programu Solidworks čiji spoj je promatran unutar Sysweld programa. Provođenjem simulacije odabrani su najutjecajniji parametri pri zavarivanju koji su podijeljeni u tri grupe. Grupa elemenata zavarivanja predstavlja one elemente na koje unos topline utječe. Druga važna grupa predstavlja sami izgled „zeppelina“ koji aproksimira izvor topline te se sastoji od tri dimenzije čije vrijednosti iterativnim postupkom mijenjamo. Zadnja stavka koja je iterativno mijenjana je unos topline.

Dobiveni rezultati prikazuju izgled programski dobivenog zavara kojeg uspoređujemo s idealnim ili s onim dobivenim pri stvarnom zavarivanju. Nakon što su zavari dovoljno slični smatra se da je izvor kalibriran. Kalibriranjem izvora pretpostavlja se da su parametri zavarivanja određeni te da se rezultati simulacije prihvaćju kao relevantni.

Rezultati se dijele u tri grupe. Prva grupa rezultata prikazuje maksimalne temperature prilikom zavarivanja. Iz rezultata je jasno da su najveće temperature u području zavara i ZUT-a dok su

sve manje kako se odmičemo od trajektorije zavarivanja. Program koristi jedno pojednostavljenje koje je pri korištenju simulacije u cilju shvaćanja stvarnog zavarivanja potrebno uzeti u razmatranje. Model površine koja izmjenjuje toplinu s okolinom ne sadrži dodirnu površinu na koju se komad naslanja tako da prilikom zavarivanja komada kao što su ploče je potrebno definirati elemente koji će biti naslonjeni na podlogu prilikom zavarivanja. Kod cijevi je isti slučaj samo što je dodirna površina manja.

Druga grupa rezultata opisuje deformacije koje se događaju prilikom zavarivanja te se jasno vidi da su minimalne deformacije nastale na dijelovima koji se nalaze daleko od izvora topline, a istodobno najbliže stezaljkama komada. Ako se program koristi na nekim komadima kod kojih su zavari blizu, potrebno je veću pažnju usmjeriti na odabir steznih elemenata. Za spoj predstavljen u radu ovaj dio smatran je manje važnim budući da je uzet samo jedan spoj na šasiji motocikla te je promatrano područje oko zavara i sam zavar. U slučaju istovremenog zavarivanja više spojeva male udaljenosti jednog od drugog potrebno je odabrati što manje elemenata stezanja da bi utjecaj na rezultate deformacija bio minimiziran. Najveće deformacije prikazane su na području spoja kao je i očekivano.

Promatrana su i naprezanja te je zaključeno da spoj ima umjereno visoka naprezanja u smislu da su zaostala naprezanja graničnih veličina u usporedbi s granicom tečenja. Smanjenje zaostalih naprezanja se regulira tako da se provodi toplinska obrada nakon zavarivanja prema preporuci. Smanjenje zaostalih naprezanja postiže se i smanjenjem unosa topline, povećanjem brzine zavarivanja i utjecajem na geometriju izvora topline.

LITERATURA

[1] Carlos F. do Vieira L. Structural Evaluation of a Motocycle Frame [diplomski rad] Universidade do Porto, 2014.

[2] https://www.yamaha-motor.eu/gb/en/products/motorcycles/hyper-naked/mt-10/, preuzeto 30.5.2018.

[3] Nasful Faez M. Structural Dynamic Investigation of Motocycle Chassis[završni rad], Universiti Malaysia Pahang, 2016.

[4] Froale T., Motorcycle Handling and Chassis Design, the art and science, 2002.

[5] https://docplayer.net/88644782-Uvod-u-projektiranje-tehnologije-zavarivanja-zavarljivost-i-ispitivanje-zavarenih-spojeva.html, preuzeto 30.5.2018.

[6] Juraga I: [seminarski rad] Mazda, korozijski zadatak i oštećenja, Zagreb,1997.

[7] Alar V., Šimunović V., Juraga I.; Teorijske osnove korozijskih procesa i metode zaštite, 2011. Autorizirana predavanja

[8] Alar V. Pojavni oblici korozijskih oštećenja 2017. Autorizirana predavanja

[9]https://motomatters.com/analysis/2011/08/08/the_trouble_with_the_ducati_desmosedici_.html , preuzeto 31.5.2018.

[10] https://www.corrosionpedia.com/definition/1705/nickel-chrome-plating, preuzeto 31.5.2018.

[11] https://forums.1911forum.com/showthread.php?t=427713, preuzeto 31.5.2018.

[12] http://www.motorcycle-usa.com/photo-gallery/2005-sturgis/ , preuzeto 31.5.2018.

[13] Juraga I., Stojanović I., Alar V., Šimunović V., Mikić M., Mogućnosti primjene vodorazrijedivih premaza u brodogradnji, Pula, 2008.

[14] https://www.hdforums.com/forum/softail-models, preuzeto 3.6. 2018.

[15] Ladavac A., Zaštitna svojstva praškaste prevlake na aluminiju, [završni rad], Zagreb 2015.

[16] http://www.cfpowdercoating.com/Gallery_motorcycle.htm, preuzeto 3.6. 2018.

[17] https://www.alpron.hr/business-areas/powder-coating/, preuzeto 3.6. 2018.

[18] https://bikerumor.com/2019/06/10/proteam-bicycle-care-ceramic-frame-coating-repels-dirt-water-more/, preuzeto 3.6. 2018.

[19] Lisičak I., Primjena programa Visual Weld 11.0. za određivanje optimalne temperature predgrijavanja [završni rad], Fakultet Strojarstva i Brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2016.

[20] https://www.simufact.com/fields-of-application.html, preuzeto 15.6. 2019.

[21] https://www.esi-group.com/sites/default/files/resource/brochure_flyer/6447/g.om_.17.24.a_flyer_210x280_virtual_assembly_lq.pdf, preuzeto 15.6. 2019.

[22] https://macsmotorcitygarage.com/video-inside-the-2017-nascar-chassis/, preuzeto 3.6. 2018.

[23] V. International Competition MotoStudent, Competition Regulations 2017-2018

[24] https://www.saarstahl.de/sag/en/products/index.shtml, preuzeto 15.6. 2019.

[25] FSB Racing Team; Projekt Formula Student – Strix, Zagreb 2017.

[26] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=81, preuzeto 15.6. 2019.

PRILOZI

I. CD-R disc