

Utjecaj uvođenja robotizacije na produktivnost zavarivanja kod izrade zateznih elemenata

Cerovec, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:064826>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-17**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository - Polytechnic of Međimurje Undergraduate and Graduate Theses Repository](#)





MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Marko Cerovec, JMBAG - 0336010413

**Utjecaj uvođenja robotizacije na produktivnost kod
izrade zateznih elemenata**

Završni rad

Čakovec, veljača 2024.



MEDIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Marko Cerovec, JMBAG – 0336010413

**Utjecaj uvođenja robotizacije na produktivnost kod
izrade zateznih elemenata**

**The impact of the introduction of robotization on the
productivity of welding in the production of tensile
elements**

Završni rad

Mentor:

Mr. sc. Vjeran Panić

Čakovec, veljača 2024.



MEDIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

PRIJAVA TEME I OBRANE ZAVRŠNOG/DIPLOMSKOG RADA

Stručni prijediplomski studij:

Računarstvo

Održivi razvoj

Menadžment turizma i sporta

Stručni diplomski studij Menadžment turizma i sporta:

Pristupnik: MARKO CEROVEC, JMBAG: 0336010413
(ime i prezime)

Kolegij: ZAVARIVANJE II
(na kojem se piše rad)

Mentor: VJERAN PANIĆ, PREDAVAC
(ime i prezime, zvanje)

Naslov rada: UTJECAJ UVODENJA ROBOTIZACIJE NA
PRODUKTIVNOST ZAVARIVANJA KOD IZRADJE
ZATEZNIH ELEMENATA

Naslov rada na engleskom jeziku: THE IMPACT OF THE INTRODUCTION OF

ROBOTIZATION ON THE PRODUCTIVITY OF WELDING IN THE PRODUCTION
OF THE TENSILE ELEMENTS

Članovi povjerenstva: 1. TOMISLAV HUBLIN, V. PRED., predsjednik
(ime i prezime, zvanje)

2. MARIO ŠERČER, PRED., član
(ime i prezime, zvanje)

3. VJERAN PANIĆ, PRED., mentor
(ime i prezime, zvanje)

4. TIBOR RODIGER, V. PRED., zamjenski član
(ime i prezime, zvanje)

Broj zadatka: 2023-OR-9

Kratki opis zadatka: PRISTUPNIK NA PRIMJERU PROIZVODNJE
ZATEZNIH ELEMENATA ZAVARIVANJEM ANALIZIRA
RAZLIKE IZMEĐU IZRADJE RUČNIM POSTUPKOM
I IZRADJE ROBOTIZIRANIM POSTUPKOM. KROZ
ASPEKTE EKONOMIČNOSTI I PRODUKTIVNOSTI
TE OPRAVDANOSTI ULAGANJA U ROBOTIZACIJU.

Datum: 4.7.2024.

Potpis mentora:

Predgovor

Tema ovog završnog rada je ekonomičnost proizvodnje u lokalnom poduzeću DELTABLOC Components d.o.o. jer sam tamo zaposlen zadnjih 5 godina i od osobnog mi je interesa svako poboljšanje kojem mogu doprinijeti u poslovanju.

Zahvaljujem se mentoru mr. sc. Vjeranu Paniću na pomoći tijekom izrade završnog rada i savjetima kojima je uvelike pomogao u pripremi završnog rada. Također, zahvaljujem se svim profesorima na prenesenom znanju.

Na kraju bi se zahvalio svojoj obitelji na podršci tijekom izrade završnog rada, a ujedno i tijekom studija.

Popis korištenih kratica

MAG – elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina

MIG – elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina

TIG – zavarivanje netaljivom volframovom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina

TTT – tri translacijska kretanja

RTT – jedno rotacijsko i dva translacijska kretanja

RRT – dva rotacijska kretanja i jedno translacijsko

RRR – tri rotacijska kretanja

AC – izmjenična struja

DC – istosmjerna struja

Sažetak

U ovom završnom radu obrađene su ekonomičnost i produktivnost u izradi zateznih elemenata u poduzeću DELTABLOC Components d.o.o. Rad se sastoji od dva dijela. U uvodnome dijelu obrađena je povijest robotike. Opisan je postupak MAG zavarivanja i pojašnjeni su parametri zavarivanja: struja, napon i brzina zavarivanja, protok plina, tehnike rad. Navedena je podjela industrijskih robota i načini na koji oni rade i koriste se u proizvodnji. Navedene su komponente robotske stanice za zavarivanje. Objašnjenje zateznih elemenata i njihova namjena, te opis poduzeća u kojem je odrađen praktični dio rada.

U praktičnom dijelu opisan je proizvodni ciklus zateznih elemenata za ručnu proizvodnju i proizvodnju na robotskoj liniji. Opisani su proizvodni ciklusi ručnog i robotiziranog postupka te su izračunate i prikazane strukture troškova za obje varijante. Usporedbom troškova prikazana je isplativost uvođenja robotizacije te prednosti uvođenja iste.

Ključne riječi: *MAG zavarivanje, robotizirano zavarivanje, ekonomičnost, produktivnost, zatezni elementi*

Abstract

In this final paper, the economy and productivity in the production of tensioning elements at the company DELTABLOC Components d.o.o. are analyzed. The paper consists of two parts. The introductory part covers the history of robotics. The MAG welding process is described, and the welding parameters such as current, voltage and welding speed, gas flow, and working techniques are explained. The division of industrial robots and the ways in which they operate and are used in production are outlined. The components of a robotic welding station are listed. An explanation of the tensioning elements and their purpose, as well as a description of the company where the practical part of the work was carried out, are provided.

In the practical part, the production cycle of tensioning elements for manual production and production on the robotic line is described. The production cycles of both the manual and robotic processes are detailed, and the cost structures for both variants are calculated and presented. A cost comparison demonstrates the profitability of introducing robotics and the advantages of its implementation.

Key words: *MAG welding, robotized welding, cost-effectiveness, productivity, tension elements*

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	MAG ZAVARIVANJE	3
2.1.	Parametri MAG zavarivanja	6
2.1.1.	Struja zavarivanja	6
2.1.2.	Napon električnog luka	7
2.1.3.	Brzina zavarivanja	7
2.1.4.	Slobodni kraj žice	7
2.1.5.	Protok zaštitnog plina	8
2.1.6.	Promjer elektrode	8
2.1.7.	Tehnika rada	8
3.	ROBOTIZACIJA / ROBOTSKO ZAVARIVANJE	10
3.1.	Podjela robota	11
3.1.1.	Vrste pogona	11
3.1.2.	Geometrija radnog prostora	12
3.1.3.	Načini upravljanja kretanjem	12
3.2.	Osnovne komponente robotskih stanica za zavarivanje	13
3.3.	Ostale komponente robotskih stanica za zavarivanje	16
3.4.	Načini programiranja robota za zavarivanje	18
4.	ZATEZNI ELEMENTI	20
4.1.	Namjena	22
4.2.	Tehnologija	23

4.3. Poduzeće Deltabloc Components d.o.o.	24
5. PRAKTIČNI DIO - ANALIZA	27
6. IZRADA ZATEZNIH ELEMENATA RUČNIM MAG POSTUPKOM	28
6.1. Komponente	28
6.2. Proizvodni ciklus	30
6.3. Struktura troškova	34
7. IZRADA ZATEZNIH ELEMENATA ROBOTIZIRANIM ZAVARIVANJEM	40
7.1. Komponente	40
7.1.1. Roboti OTC Daihen FD-V8L	41
7.1.2. Izvori struje OTC WB-P400	44
7.1.3. Upravljačke jedinice i privjesak za učenje FD11	45
7.1.4. Ostale komponente	46
7.2. Proizvodni ciklus	49
7.3. Struktura troškova	56
8. USPOREDBA TROŠKOVA	62
8.1. Isplativost uvođenja robotiziranog zavarivanje	62
9. ZAKLJUČAK	64
10. Izjava o autorstvu	65
11. Literatura	66
12. Popis ilustracija	67
13. Popisa tablica	69

1. UVOD

„Pojava industrijskih robota dogodila se onog trenutka kada tehnološki razvoj dostigao razinu za oslobođenjem čovjeka od opasnog fizičkog i monotonog rada i nastojanja za većim profitom. Automatizacija postupaka zavarivanje počela se razvijati nakon Drugog svjetskog rata. Sredinom 1960-ih godina dolazi do svestranije primjene automata za zavarivanje. Sa njima se moglo automatski upravljati mehaničkim veličinama (pozicioniranje, brzina gibanja). To znači automatsko upravljanje pištolja ili elektrode u odnosu na izradak. Krajem 1970-ih godina nagli razvoj sofisticiranih robota i mikroročunala omogućava izradu robotiziranih zavarivačkih stanica. Glavna komponenta robotizirane zavarivačke stanice je robot, obično sa šest upravljanih osi. Na vrhu ruke robota montiran je pištolj za zavarivanje. Uz robot potreban je i manipulator sa steznim napravama za pričvršćivanje radnog komada. Sa gibanjem robota i manipulatora upravlja računalo. Značajke robota radni prostor, broj stupnjeva slobode gibanja, brzine pojedinih zglobova, točnost pozicioniranja, nosivost, ponovljivost radnji, masa, vrsta pogona, upravljanje robota i način programiranja ključni su elementi ocjenjivanja podobnosti zavarivačkog robota za izvršenje željenih zadataka.“ (Gojić, 2008.).

Robotsko zavarivanje revolucioniralo je industriju zavarivanja, kombinirajući umjetnost i znanost zavarivanja u vrlo precizan i učinkovit proces. Robotsko zavarivanje zahtijeva preciznost i dosljednost, programiranje robota omogućuje stvaranje dosljednih zavara, bez obzira na razinu vještine operatera. Dodatno, napredne tehnike zavarivanja, kao što su lasersko zavarivanje i otporno zavarivanje, mogu stvoriti estetski ugodne zavare koji nisu mogući s ručnim zavarivanjem. Znanost o robotskom zavarivanju temelji se na fizici zavarivanja i prijenosu topline, kao i na kemiji materijala za zavarivanje i njihovim svojstvima. Zavarivanje uključuje prijenos topline s alata za zavarivanje na materijale koji se spajaju, uzrokujući njihovo topljenje i spajanje. Svojstva materijala koji se zavaruju, kao što su talište i toplinska vodljivost, moraju se pažljivo razmotriti kako bi se osigurao jak, izdržljiv zavar. Senzori i kontrolni sustav također su kritične komponente robotskog zavarivanja, osiguravajući da se postupak zavarivanja izvodi sigurno i precizno. Robotsko zavarivanje ima širok raspon primjena, posebice u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji. Ove industrije zahtijevaju visoku razinu preciznosti i dosljednosti, što robotsko zavarivanje čini idealnim rješenjem. Osim toga, robotsko zavarivanje nudi nekoliko prednosti u odnosu na ručno zavarivanje, uključujući povećanu učinkovitost, smanjenje troškova rada i poboljšanu sigurnost. Robotsko zavarivanje također može smanjiti količinu otpadnog materijala, dodatno smanjujući troškove i utjecaj na

okoliš. Sve u svemu, korištenje robotskog zavarivanja može dovesti do značajnih ušteda troškova i povećane produktivnosti za tvrtke koje usvoje ovu tehnologiju.

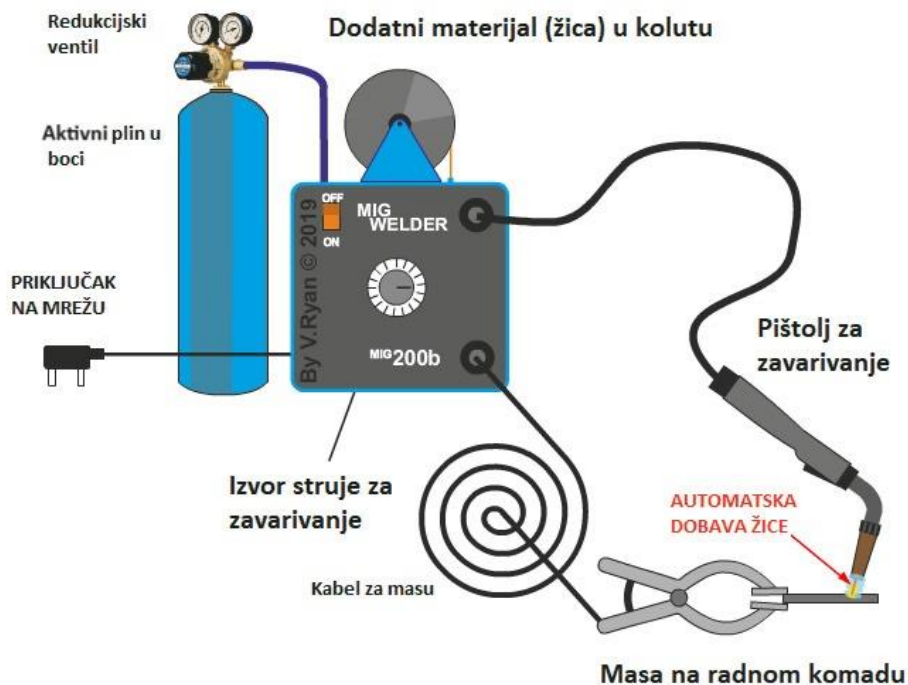
U kontekstu globalizacije tržišta i kontinuiranog rasta potražnje za novim proizvodima, automatizacija postrojenja postaje ključna za maksimiziranje proizvodnje, uz istovremeno smanjenje vremena i troškova proizvodnje. Vrijednost proizvoda sastoji se od troškova sirovina i troškova prerade u konačni proizvod, te je nužno da cijena gotovog proizvoda pokrije te troškove i donese profit. Automatizacija postrojenja omogućuje nadmašivanje ljudske sposobnosti u brzini, snazi i preciznosti, što rezultira smanjenjem troškova proizvodnje i povećanjem kvalitete proizvoda. Time se postiže konkurentnost na tržištu.

Prednosti automatizacije su mnogobrojne: povećanje kapaciteta proizvodnje, smanjenje troškova, minimalni zahtjevi za održavanjem...

2. MAG ZAVARIVANJE

„Dva procesa elektrolučnog zavarivanja taljivom žicom u zaštitnoj atmosferi plina koriste sličnu tehnologiju, ali se razlikuju u vrsti zaštitnog plina koji se koristi. Kod ovog postupka električni luk se stvara između taljive elektrode u obliku žice i radnog komada, a cijeli se proces odvija u zaštitnoj plinskoj atmosferi inertnog (Metal Inert Gas) ili aktivnog (Metal Active Gas) plina.. Shematski prikaz ove vrste zavarivanja vidimo na slici 1.“ (Karaga, 2015).

Slika 1. Shematski prikaz MAG zavarivanja

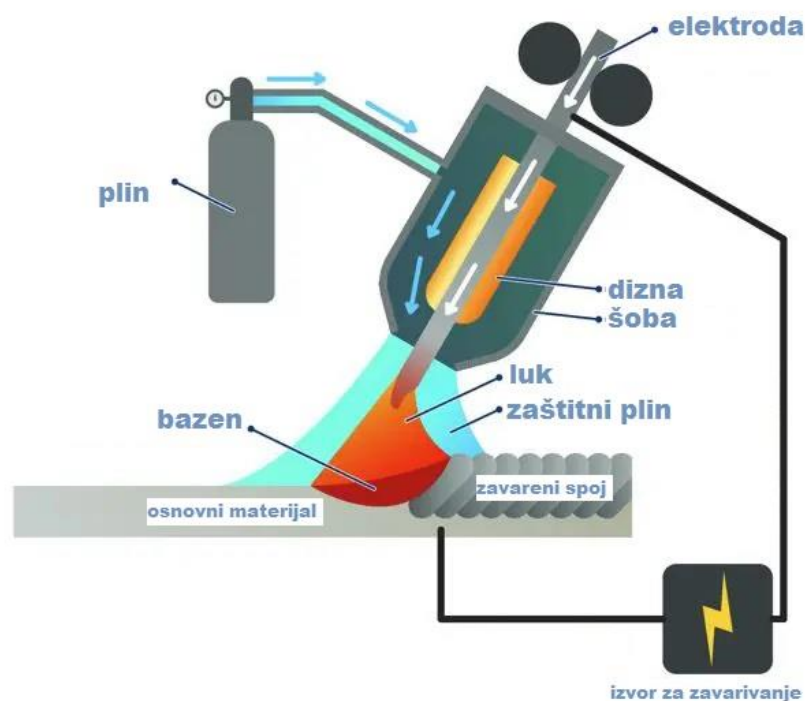


Izvor: <https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja>

(Datum pristupa: 28.04.2024.)

Kod MIG zavarivanja kada se primjenjuju inertni zaštitni plinovi kao što su argon, helij i njihove mješavine, nema reakcije rastaljenog metala s zaštitnim plinom. Tak se plinovi koriste za zavarivanje materijala kao što su aluminij, bakar i njihove legure te nehrđajući čelici. Kod MAG zavarivanja koriste se aktivni zaštitni plinovi CO₂ ili njegove mješavine sa argonom, helijem i kisikom. Koriste se za zavarivanje nelegiranih konstrukcijskih čelika. Na slici 2 shematski je prikaz MAG postupka.

Slika 2. Prikaz MAG postupka



Izvor: <https://metron.ba/mig-mag-postupak-zavarivanja/> (Datum pristupa: 28.04.2024.)

„Pogonski sustav dovodi žicu kroz cijevni paket konstantnom brzinom u pištolj i električni luk. Žica istovremeno služi kao dodatni materijal i elektroda, a njenim taljenjem popunjava se pripremljeni žlijeb. Postupak može biti poluautomatski, gdje je dodavanje žice mehanizirano, dok se pištolj vodi ručno. Drugi način je da je pištolj pokretan nekim mehanizmom ili je nepomičan, dok je radni komad pomičan. Kada se zavarivanje odvija na većim udaljenostima od 5 metara od izvora struje, obično se primjenjuje dodatni pogon za dodavanje žice smješten u samom pištolju. To se naziva push-pull sistem. Primjena tog sustava sprječava gužvanje žice unutar cijevnog paketa. Zaštitni plinovi koji se koriste u ovom postupku štite rastaljeni metal od utjecaja okolne atmosfere, a dovode se na mjesto zavarivanja kroz posebnu sapnicu na pištolju koja se nalazi oko kontaktne cjevčice.“ (Kantolić , 2018).

Prednosti MAG postupka:

- Omogućeno brzo zavarivanje, što povećava produktivnost
- Korištenje žice kao elektroda omogućava kontinuirano zavarivanje
- Pogodan za različite materijale, čelike, aluminij i njegove legure, nehrđajuće čelike i druge metale
- Moguće zavarivanje tanjih i debljih materijala
- Postupak osigurava stabilan električni luk, što rezultira visokom kvalitetom zavara
- Postupak je pogodan za robotsko zavarivanje

Nedostatci MAG postupka:

- Osjetljivo na propuh i vjetar
- Površine koje se zavaruju moraju biti dobro očišćene
- Tijekom zavarivanja dolazi do prskanja rastaljenog materijala
- Mogućnost poroznosti
- Ograničena kontrola toplinskog unosa

2.1. Parametri MAG zavarivanja

„Parametri zavarivanja su ključni za postizanje kvalitetnog zavarenog spoja. Najvažniji parametri su napon električnog luka, struja zavarivanja, brzina zavarivanja, promjer elektrode, slobodni kraj žice, položaj zavarivanja i tehnika rada. Podešavanjem ovih parametara regulira se prijenos metala u električnom luku, što direktno utječe na kvalitetu zavarenog spoja. Struja i napon ovise o izlaznim karakteristikama izvora, napon ovisi ne samo o duljini luka već i o slobodnom kraju žice i vrsti zaštitnog plina. MAG postupak zahtijeva izvor struje koji osigurava prikladan odnos struje zavarivanja i napona. Koristi kontinuiranu žicu kao dodatan materijal, a vrlo je važno da se brzina taljenja žice izjednači s brzinom dodavanja žice. Kako bi se postigla takva karakteristika, mnogi MIG/MAG uređaji konstruirani su tako da imaju ravnu naponsku izlaznu karakteristiku (karakteristika konstantnog napona). Zavarivaču je vrlo teško držati pištolj tako da ne mijenja visinu električnog luka. Kada se promijeni visina električnog luka, ravna naponska izlazna karakteristika osigurava da se pri maloj promjeni visine napona luka struja značajno mijenja. Ako dođe do smanjenja visine električnog luka, opada i iznos njegovog napona, što uzrokuje rast struje zavarivanja koja brže tali dodatni materijal u obliku žice, povećavajući tako razliku visine između osnovnog i dodatnog materijala.“ (Karaga, 2015).

2.1.1. Struja zavarivanja

„Za zavarivanje MAG postupkom najčešće se koristi neizravni polaritet istosmjerne struje. Ova vrsta električne veze daje stabilniji električni luk, ravnomjerniji prijenos dodatnog materijala, relativno male gubitke uslijed prskanja i veću dubinu penetracije. Istosmjerna struja izravnog polariteta rijetko se koristi, jer električni luk postaje vrlo nestabilan, iako je koeficijent taljenja veći, pri isto jakosti struje zavarivanja, od koeficijenta taljenja sa neizravnim polaritetom.“ (Milićević, 2011. str. 162)

2.1.2. Napon električnog luka

„Napon zavarivanja utječe na način prijenosa metala u električnom luku, stabilnost električnog luka, te njegovu duljinu i širinu. Duljina luka je proporcionalna naponu. Dulji električni luk zahtijeva veći napon, što rezultira širim zavarom i manjom penetracijom.“ (Kantolić, 2018).

2.1.3. Brzina zavarivanja

„Povećanjem brzine zavarivanja smanjuje se unos topline na radni komad i depozit rastaljenog dodatnog materijala po duljini zavara. Brzina zavarivanja je faktor koji direktno utječe na ekonomsku stranu zavarivanja i produktivnost. Podešava se u skladu s položajem zavarivanja i jakosti struje zavarivanja. Kako se brzina mijenja, tako će se mijenjati izgled profila zavara i njegova mehanička svojstva. Povećanjem brzine, profil zavara bi se suzio, a penetracija smanjila, dok bi se smanjenjem brzine dogodilo suprotno.“ (Kantolić, 2018).

2.1.4. Slobodni kraj žice

„Slobodni kraj žice se smatra onim dijelom od kontaktne vodilice do početka električnog luka. Dužina slobodnog kraja žice se mijenja sa promjenom udaljenosti pištolja za zavarivanje od radnog komada. Kako se nalazi u strujnom krugu zavarivanja, ta dužina slobodnog kraja žice bitno utječe na proces zavarivanja. Pri konstantnoj brzini dovođenja žice, povećanjem dužine slobodnog kraja žice smanjuje se jačina struje za zavarivanje, jer se povećava električni otpor prolazu struje. Samim time, povećava se koeficijent taljenja, to jest količina rastaljenog dodatnog materijala – žice, ali dolazi do smanjenja dubine penetracije i nepravilnog oblika zavara. Luk postaje nestabilan. U praksi potrebno je da dužina slobodnog kraja žice bude što manja kako bi električni luk bio što stabilniji. Mijenjanjem tog parametra utječe na jakost struje zavarivanja tako da povećanjem slobodnog kraja žice poraste otpor protoku struje te se jakost

struje smanji. Za konstantnu dubinu penetracije vrlo je bitno održavati jednaku duljinu slobodnog kraja žice.“ (Milićević, 2011. str. 163)

2.1.5. Protok zaštitnog plina

„Zaštitni plin služi za zaštitu područja zavara od reakcija s okolnom atmosferom i tako izravno utječe na oblik profila zavara, brzinu zavarivanja i stabilnost električnog luka. Protok zaštitnog plina podešava se u skladu s jakosti struje, uvjetima zavarivanja i karakteristikama spoja. Uslijed povećanja jakosti struje, protok zaštitnog plina obavezno se mora povećati kako bi se smanjila mogućnost pojave grešaka u zavaru.“ (Kantolić, 2018).

2.1.6. Promjer elektrode

„Kemijski sastav žice sličan je materijalu koji se zavaruje. Najčešći promjeri elektroda koji se koriste su 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm, 1,6 mm i 3,2 mm. Elektrode manjih promjera koriste se za zavarivanje tanjih materijala, dok se veći promjeri koriste za deblje materijale jer koriste više struje, što stvara veći depozit materijala. Kako se žica ponaša kao elektroda i dodatni materijal, potrebno je voditi računa da se skladišti u čistim i suhim prostorima kako ne bi došlo do pojave grešaka u zavarenim spojevima.“ (Karaga, 2015).

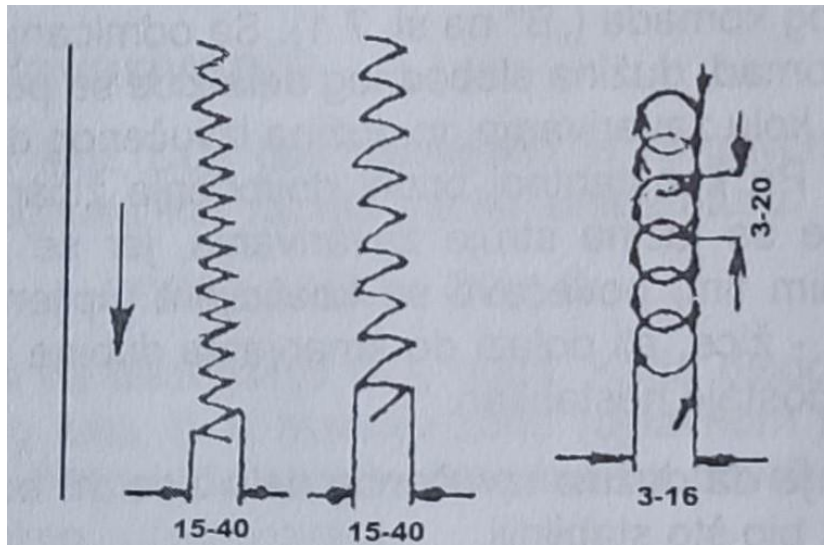
2.1.7. Tehnika rada

Kod MAG zavarivanja postoje tri osnovne tehnike rada:

1. Lijeva tehnika – pištolj za zavarivanje se pomiče s lijeve strane prema desnoj. Pogodna za tanke materijale zbog manje dubine penetracije.
2. Desna tehnika – pištolj za zavarivanje se pomiče s desne strane prema lijevoj. Pogodna za zavarivanje debljih materijala, omogućuje veću penetraciju.
3. Okomita tehnika – pištolj se pomiče odozdo prema gore ili odozgo prema dolje. Omogućuje zavarivanje u teško dostupnim položajima.

Vođenje pištolja pri zavarivanju sa slike 3.

Slika 3. Osnovni načini vođenja pištolja, odnosno vrha žice



Izvor: Milićević R. (2011.): *Zavarivanje – postupci – ispitivanje – zaštita*

- „pravocrtno kretanje bez poprečnog njihanja, za zavarivanje dijelova malih debljina u horizontalnom položaju, za sve slučajeve zavarivanja odozgo nadolje, pri zavarivanju u više prolaza.“ (Milićević, 2011. str. 164)
- „kretanje sa poprečnim njihanjem vrha žice u odnosu na os zavarenog spoja, za izvođenje sučeljenih zavarenih spojeva pri zavarivanju dijelova srednjih i velikih debljina, i to u svim položajima zavarivanja.“ (Milićević, 2011. str. 163)
- „kretanje vrha žice u obliku petlje, za zavarivanje kutnih spojeva u horizontalnom položaju i pri izvođenju zavara popune kod sučeljenih zavarenih spojeva u horizontalnom položaju, to jest u slučajevima kada je potrebno nanijeti veće količine rastaljenog dodatnog materijala.“ (Milićević, 2011. str. 163)

3. ROBOTIZACIJA I ROBOTSKO ZAVARIVANJE

Pojam robot obično se odnosi na industrijskog robota, također poznatog kao robot manipulator ili robotska ruka. Roboti imaju mnogo definicija ovisno o tome kako i gdje se koriste. Industrijski roboti imaju vrlo visoku fleksibilnost i sposobnost manevriranja. Slika 4 prikazuje industrijske robote u proizvodnji.

Glavne komponente industrijskih robota su:

- Mehanička struktura ili manipulator koji se sastoji od niza krutih dijelova povezanih zglobovima. Ponašanje robota određeno je rukom koja omogućuje pokretljivost, zglobovima koji omogućuje fleksibilnost i vrhom robota koji obavlja operacije koje robot zahtijeva.
- Aktuator (pogon) pomicanjem zglobova dovodi manipulator u određeni pokret. Najčešće se koriste električni i hidraulički motori, iako se ponekad koriste i pneumatski motori.
- Senzori detektiraju stanje manipulatora (proprioceptivni senzori) i po potrebi stanje okoline (heteroceptivni senzori).
- Kontrolni sustav (računalo) može kontrolirati i pratiti kretanje manipulatora.

Slika 4. Industrijski roboti



Izvor:

<https://www.proel-automatizacija.com/industrijski-robot/> (Datum pristupa: 19.03.2024.)

Industrijski roboti se zbog svojih karakteristika uspješno koriste u proizvodnim procesima. Tijekom proizvodnog procesa bilo koji materijal može se premjestiti s jedne lokacije u tvrtki na drugu radi skladištenja, daljnje obrade, sastavljanja i pakiranja. Fizička svojstva objekta ne mijenjaju se tijekom ovog prijenosa. Sposobnost robota da pokupi predmete, transportira ih u svemir duž unaprijed definirane putanje i otpusti ih čini ga idealnim za rukovanje materijalom. Proces proizvodnje uključuje pretvorbu proizvoda iz sirovina u konačni proizvod, pri čemu se mehanička svojstva mogu promijeniti zbog strojne obrade ili izgled proizvoda može se promijeniti zbog montaže. Sposobnost robota da manipuliraju objektima (koji se obrađuju) i alatima čini ih prikladnima za proizvodne procese.

Primjeri proizvodnje su:

- zavarivanje
- brušenje i bušenje
- lasersko rezanje i rezanje vodenim mlazom
- montaža...

3.1. Podjela robota

U osnovi, roboti se razlikuju po veličini, materijalima kojima rukuju, motorima koji pokreću njihove zglobove, vrstama senzorskih sustava i računalnih sustava. Općenite podjele mogu se napraviti prema vrsti pogona, geometriji radnog prostora i načinu upravljanja kretanjem.

3.1.1. Vrste pogona

Kretanje ruke i zglobova robota postiže se pomoću pogonskog sustava robota. Pogonski sustav određuje brzinu pokreta ruke, snagu i performanse manipulatora. Pogonski sustav određuje područje primjene robota manipulatora.

U upotrebi su najčešće jedan od tri sljedeća pogona:

- Električni motor
- Hidraulički motor
- Pneumatski motor

Danas se najviše koriste elektromotori, uglavnom istosmjerni, izmjenični i koračni jer su jeftini, ne zauzimaju puno prostora i mogu se primijeniti složeni algoritmi upravljanja. Roboti pogonjeni hidrauličkim motorima najčešće se koriste za velika opterećenja. Osim što su brzi i snažni, hidraulički motori također mogu održati stabilan položaj zbog nestlačive prirode ulja. Za male robote najčešće se koriste pneumatski motori jer su relativno jeftini i imaju velike brzine.

3.1.2. Geometrija radnog prostora

Podjela s obzirom na geometriju radnog prostora je:

- Pravokutna ili TTT – 3 translacijske (linearne) osi
- Cilindrična ili RTT – 2 translacijske i 1 rotacijska os
- Sferna ili RRT – 1 translacijska i 2 rotacijske osi
- Rotacijska ili RRR – 3 rotacijske osi
- SCARA ili RRRT – 1 translacijska i 3 rotacijske

3.1.3. Načini upravljanja kretanjem

Postoje dva osnovna načina kretanja vrha manipulatora:

- Od točke do točke (Point-to-point motion)
- Kontinuirano kretanje po putanji (Continuous path)

Prilikom pomicanja s jedne točke na drugu, vrh manipulatora se pomiče duž zadane točke u radnom prostoru. Put između točaka nije bitan, već točnost pozicioniranja. Ova vrsta kretanja koristi se u diskretnim operacijama kao što je točkasto zavarivanje te podizanje i spuštanje objekata. Pri kontinuiranom kretanju duž putanje, vrh robotske ruke kreće se duž unaprijed određene putanje u trodimenzionalnom prostoru. Važna je putanja i točnost pozicioniranja. Koriste se za bojanje, zavarivanje ili lijepljenje. Osim vrste pogona, geometrije radnog prostora i načina upravljanja kretanjem, robot ima i mnoge druge karakteristike: broj osi, maksimalnu brzinu, maksimalnu težinu nosivosti, domet, hod, ponovljivost, točnost, orijentaciju alata, preciznost i radno okruženje.

3.2. Osnovne komponente robotskih stanica za zavarivanje

Robotski manipulator – osnovna mehanička struktura robota koja omogućuje pokretljivost i manipulaciju alatima ili predmetima. Sastoje se od serije zglobova ili zglobnih spojeva koji omogućuju rotaciju i kretanje u više osi. Poveznice su segmenti između zglobova koji povezuju različite dijelove robota. Često su izrađene od čvrstih materijala poput metala ili plastike i pružaju strukturalnu potporu manipulatoru.

Na kraj robotskog manipulatora montiraju se alati za izvođenje specifičnih zadataka kao što su pištolj za zavarivanje, hvataljke, alat za obradu, senzori i kamere. Senzori su vrlo važni dijelovi robotskog manipulatora koji omogućuju detekciju i praćenje položaja, orijentacije i drugih parametara. Pomažu u upravljanju, omogućuju precizno pozicioniranje i kontrolu pokreta.

Robotski manipulatori su osnova automatiziranih sustava u industriji i drugim područjima gdje je potrebna precizna i repetitivna manipulacija. Njihova prilagodljivost, točnost i efikasnost čine ih ključnim alatima za poboljšanje produktivnosti i smanjenje troškova u mnogim aplikacijama. Na slici 5 prikazan je primjer robotskog manipulatora za zavarivanje za ugrađenim pištoljem za zavarivanje tvrtke Daihen.

Slika 5. *Robotski manipulator*



Izvor: <https://servus.hr/proizvodi/zavarivanje/robot-za-zavarivanje-fd-v6/>

(Pristup:20.03.2024.)

Upravljačka jedinica – je ključni dio robotskog sustava koji upravlja radom robota, nadzire njegove pokrete i osigurava izvršavanje željenih zadataka. U kontekstu robotike, upravljačka jedinica obično se sastoji od hardverskih i softverskih komponenti koje omogućuju programiranje, nadzor i kontrolu robota tijekom rada. Računalna jedinica je srce upravljačke jedinice koja izvršava softverske programe i algoritme za upravljanje robotom. To može biti u obliku ugrađenog računala ili vanjskog računala koje se povezuje s robotskim sustavom. Kontrolne kartice koje su hardverske komponente koje upravljaju izlazima i ulazima robota, uključujući motore, senzore, ventile i druge aktuatorne. One pretvaraju naredbe iz programske opreme u fizičke pokrete robota. Sigurnosni sustav je važna komponenta upravljačke jedinice koja osigurava siguran rad robota. To uključuje nadzor brzine, ograničenje pokreta, detekciju prepreka, sigurnosne prekidače i druge sigurnosne mjere.

Upravljačka jedinica je centralni element robotskog sustava koji omogućuje precizno, pouzdano i sigurno upravljanje robotom tijekom izvođenja različitih zadataka. Integracija naprednih softverskih i hardverskih komponenti u upravljačku jedinicu omogućuje robotskim sustavima da budu fleksibilni, prilagodljivi i učinkoviti u različitim okruženjima i primjenama. Na slici 6 prikazana je upravljačka jedinica tvrtke OTC.

Slika 6. *Upravljačka jedinica*



Izvor: <https://servus.hr/proizvodi/zavarivanje/robot-kontroler-fd-11/> (Pristup: 20.03.2024.)

Izvor struje – uređaji koji omogućuju pretvaranje električne energije iz izvora napajanja u odgovarajuću struju potrebnu za izvođenje zavarivačkih operacija. Postoje različiti tipovi izvora struje koji se koriste u zavarivanju, a odabir ovisi o specifičnim zahtjevima procesa zavarivanja. Transformatorski izvori struje koriste transformatorsku tehnologiju za smanjenje ili povećanje napona kako bi se generirala odgovarajuća struja za zavarivanje. To su pouzdani izvori struje koji se često koriste u zavarivanju. Invertorski izvori struje koriste elektroničke komponente za regulaciju i pretvaranje električne energije u odgovarajuću struju za zavarivanje. Oni su kompaktniji, lakši i često pružaju veću kontrolu nad parametrima zavarivanja u usporedbi s transformatorskim izvorima. Na slici 7 prikazan je uređaj za izvor struje za zavarivanje tvrtke OTC.

Slika 7. Izvor struje za zavarivanje



Izvor: <https://servus.hr/proizvodi/zavarivanje/welbee-w400-ac-mig/> (Pristup: 20.03.2024.)

3.3 Ostale komponente robotske stanice

Komponente koje se još koriste kod robotskog zavarivanja su: pištolj za zavarivanje, čistači pištolja, dodavači žice i kontroler.

Pištolji za zavarivanje su specifično dizajnirani pištolji prilagođeni za upotrebu u automatiziranim zavarivačkim sustavima koji uključuju robote. Ovi pištolji imaju karakteristike koje ih čine prikladnima za integraciju s robotskim manipulatorima i osiguravaju preciznu i pouzdanu zavarivačku operaciju. Primjer pištolja je na slici 8. Neke od ključnih karakteristika pištolja za robotsko zavarivanje su:

- Robusna konstrukcija – pištolji za robotsko zavarivanje izrađeni su od izdržljivih materijala kako bi izdržali intenzivnu upotrebu u industrijskim okruženjima. Takva konstrukcija osigurava dugotrajnost i pouzdanost tijekom zavarivanja.
- Precizna vođenja – visokokvalitetna vođenja i spojevi omogućuju precizno vođenje električnog luka tijekom zavarivanja. To osigurava konstantnu kvalitetu zavara.
- Integrirani senzori – neki pištolji za robotsko zavarivanje mogu biti opremljeni integriranim sensorima za detekciju položaja i orijentacije, što omogućuje precizno pozicioniranje i kontrolu tijekom zavarivanja.

Slika 8. Pištolj za robotsko zavarivanje



Izvor: <https://servus.hr/proizvodi/potrosni-dijelovi/migmag-gorionik-abirob-w-600-vodom-hladen/> (20.03.2024.)

Stanice za čišćenje gorionika sa slike 9 su specijalizirana oprema koja se koristi za čišćenje zavarivačkih gorionika. Dizajnirane su da učinkovito uklone prskotine, šljaku i druge ostatke koji se nakupljaju na zavarivačkom gorioniku tijekom zavarivanja. Opremljene su uređajima za rezanje žice, čišćenje gorionika i prskanje otopine protiv naljepljivanja.

Slika 9. Jedinica za čišćenje



Izvor: <https://servus.hr/proizvodi/potrosni-dijelovi/jedinica-ciscenje-brs/> (Pristup: 20.03.2024.)

Kontroler ili *teach panel* na slici 10 je specifična vrsta upravljače ploče ili kontrolne jedinice koja se koristi za programiranje i upravljanje robotima. *Teach panel* obično sadrži niz kontrola, zaslona i tipki koje omogućuju korisniku da programira pokrete i zadatke robota, kao i da konfigurira parametre zavarivanja ili druge operacije.

Slika 10. Kontroler (teach panel)



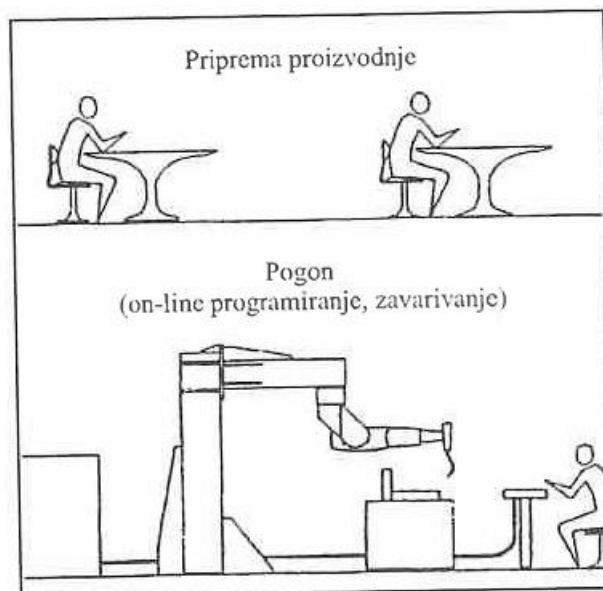
Izvor: <https://servus.hr/proizvodi/zavarivanje/robot-kontroler-witp-bezicni/> (Pristup: 20.03.2024.)

3.4. Načini programiranja robota za zavarivanje

Programiranje robota za zavarivanje može se obavljati na nekoliko načina, ovisno o potrebama, razini složenosti i preferencijama korisnika. Neke od uobičajenih vrsta programiranja robota za zavarivanja su:

- *Online* programiranje – programiranje robota koje se izvodi na njegovom radnom mjestu. Ova metoda uključuje ručno vođenje robota kroz seriju pokreta operatera. Operater fizički vodi robot kroz željene pokrete, pri čemu se svaki pokret sprema i pohranjuje u memoriju robota. Dvije pohranjene točke sa svojim položajima i parametrima zavarivanja čine program. Zatim se ti pokreti reproduciraju u određenom slijedu kada se pokrene zavarivački proces. Ova metoda zahtijeva uvježbano osoblje koje ne treba biti visokokvalificirano na području robotike, ali radi izbora parametara zavarivanja mora biti dobro izvježbano u zavarivanju. Najveći nedostatak online programiranja je što je robotska stanica za zavarivanje tijekom programiranja neproduktivna. O ovisnosti složenosti komada programiranje ove vrste može biti dugotrajno i podložno greškama. Nakon programiranja potrebno je isprobavanje programa i ispravljanje grešaka kao postoje. Ovakvo programiranje zahtijeva veće serije i nije podložno čestim promjenama programa.

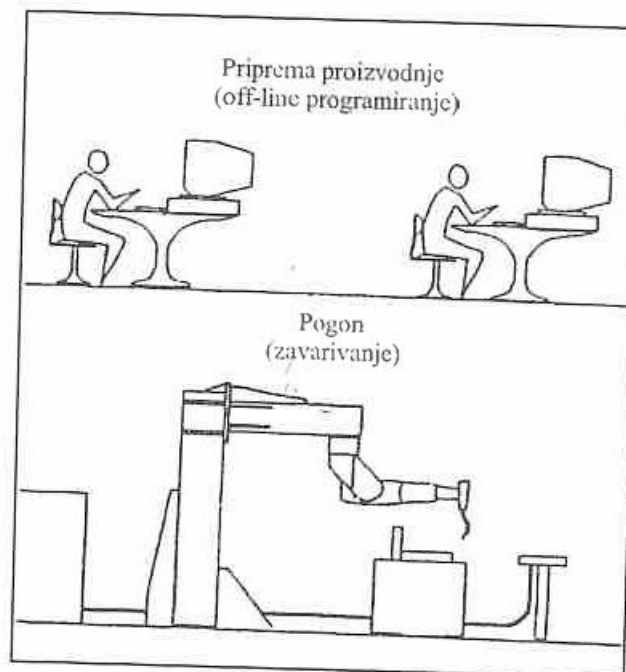
Slika 11. Shematski prikaz online programiranja



Izvor: Gojić M. (2008.): *Tehnike spajanja i razdvajanja materijala*, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Zagreb

- *Offline* programiranje – Kod ovog pristupa, programiranje se izvodi na mjestu neovisnom o robotu. Kod ovog programiranja robot nesmetano obavlja svoju funkciju bez prekidanja. Za razliku od online programiranja kod ove se metode koristi odgovarajući programski jezik koji su povezani sa CAD sustavima kako bi se uključili podaci o geometriji stanice za zavarivanje, robota i komada. S obzirom da radni komad često nije fiksiran na istom mjestu i uskim tolerancijama nužna je grafička simulacija programa. Simulacija omogućava korisniku optimiziranje projektirane robotske stanice. Korisnik dobiva trodimenzionalni prikaz programiranog procesa. Ova vrsta programiranja omogućuje ekonomičnu proizvodnju vrlo malih serija, pa čak i pojedinačnih proizvoda.

Slika 12. Shematski prikaz *offline* programiranja



Izvor: Gojić M. (2008.): *Tehnike spajanja i razdvajanja materijala*, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Zagreb

4. ZATEZNI ELEMENTI

Zatezni elementi su proizvodi koji čine veliku većinu ukupnog broja proizvedenih proizvoda poduzeća. Engleski naziv je *tension bar* ili njemački *zugband*. Oni se betoniraju zajedno sa ostalim dijelovima armature u betonske blokove koji se tada pomoću krajeva zateznih elemenata i spojnih elemenata spajaju. Slika 13 prikazuje proizvedene zatezne elemente koji su spakirani i spremni za utovar.

Slika 13. Zatezni elementi



Izvor: Fotografirao autor

Postoji veliki broj različitih zateznih elemenata. Razlikuju se po dimenzijama, broju i vrsti profila te smještaju betonskoga željeza na profilima. Sa 14 i 15 vidljivi su različiti zatezni elementi. Ovakvi proizvodi se rjeđe proizvode i nisu namijenjeni za robotiziranu proizvodnju. Zbog svojih dimenzija i oblika također nisu u mogućnosti biti proizvođeni na trenutnoj automatiziranoj stanici za zavarivanje.

Slika 14. Zatezni elementi



Izvor: Fotografirao autor

Slika 15. Zatezni elementi



Izvor: Fotografirao autor

4.1. Namjena

Na slici 16 nalazi se jedan montirani betonski zid u kojem se nalaze željezne armature i zatezni elementi sa kojima se spajaju. Betonskim zidovima se smanjuje rizik od nesreća. Sprečavaju prelazak vozila u suprotnu traku i sudar sa vozilima iz suprotnog smjera. Postoje i posebno dizajnirani betonski zidovi koji mogu smanjiti buku koja dolazi od prometa, štiteći stanovnike koji žive uz autocestu. Betonske barijere odvajaju različite trake na autocestama, kao što su brze trake, spore trake ili trake za hitne slučajeve. Betonski zidovi na autocestama igraju vitalnu ulogu u poboljšanju sigurnosti, smanjenju buke i očuvanju okoliša.

Slika 16. Betonski zid na autocesti



Izvor:

https://www.advantageaustria.org/se/news/Austrian_DELTABLOC_provides_safety_barriers_for_the_.en.html (Pristup: 13.03.2024.)

4.2. Tehnologija

Prvi korak u izradi zateznih elemenata uključuje odabir i pripremu betonskog čelika koji se reže i oblikuje prema potrebama i specifikacijama projekta, osiguravajući precizne dimenzije i oblik potrebne za optimalno funkcioniranje u betonskoj konstrukciji. Profili Y, T i I oblika također se režu na potrebne dimenzije i vrši se kontrola čeljusti.

Dio profila koji se nalazi izvan betonskog zida potrebno je pocinčavanje. Postupak vrućeg pocinčavanja zaštićuje čelik od hrđanja to jest korozije. Vruće pocinčavanje i kontrola izvodi se sukladno normama HRN EN ISO 1461. Cinčanje profila je ključni proces za osiguranje njihove dugotrajnosti.

Zavarivanje se izvodi MAG postupkom. Certifikat o sposobnosti za izvođenje zavarivačkih radova prema HRN EN ISO 3834-2 koji se odnosi na nosive zavarene spojeve od čelika za armiranje i čelične konstrukcije.

Tehnologija zavarivanje se izvodi prema Specifikacijama postupka zavarivanja tako zvanim SPZ listama. Svaki zavara ima svoju SPZ listu. Na njoj se nalazi vrsta materijala, dimenzije materijala, veličina zavara, priprema spoja prije zavarivanja te redoslijed zavarivanja. Upisani su parametri zavarivanja, postupak kojim se zavaruje, dodatni materijal (žica) i zaštitni plin.

Ove liste su pod nadzorom Inženjera zavarivanja i Managera kvalitete.

Svaka faza procesa zateznih elemenata podliježe rigoroznoj kontroli kvalitete.

4.3. Poduzeće Deltabloc Components d.o.o

Proizvodno poduzeće Deltabloc Components započinje poslovati pod nazivom Tremak od 2012. godine sa samo tri djelatnika. Primarna djelatnost tvrtke je zavarivanje to jest izrada metalnih konstrukcija. Godine 2018. izgrađena je nova proizvodna hala u kojoj se sada nalazi sva proizvodnja. Sredinom 2021. tvrtka prelazi pod vlasništvo Deltabloc International iz Austrije te mijenja naziv u Deltabloc Components. Na slici 17 nalazi se proizvodna hala.

Poduzeće se bavi proizvodnjom metalnih konstrukcija i armatura za potrebe čeličnih zaštitnih ograda, zaštita od buke i zidova na cestama i autocestama. Proizvodi koji se najčešće proizvode su zatezni elementi koji čine 90% kapaciteta proizvodnje. Od ostalih proizvoda proizvode se spojni elementi te ostali elementi koji nisu serijski proizvođeni.

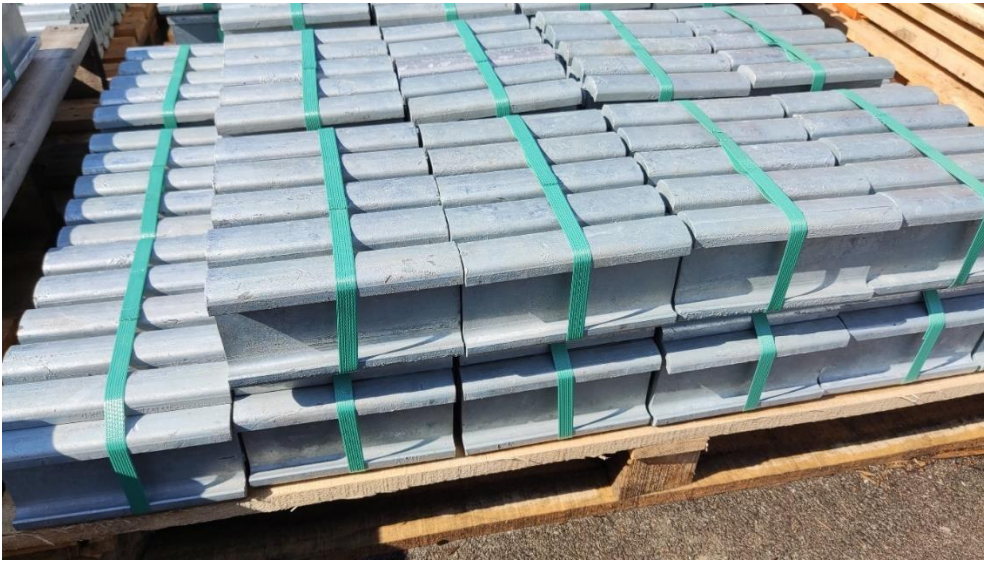
Slika 17. *Proizvodna hala DBC-a*



Izvor: Fotografirao autor

Spojni elementi ili spojnice su elementi pomoću kojih se spajaju zatezni elementi. Engleskog naziva *coupling* ili njemačkog *kupplung* izrezani su iz 12 metara dugog I profila, te se režu na manje dimenzije. Na slici 18 prikazani su spojni elementi koji se nakon rezanja prevoze na proces vrućeg pocinčavanja nakon kojeg su spremni za transport.

Slika 18. *Zapakirani spojni elementi*



Izvor: Fotografirao autor

Od ostalih elemenata to su pomoćni elementi koji se povremeno koriste, te neki od njih imaju samo estetsku svrhu. Neki od njih su kao na slici 19 limeni poklopac, na slici 20 armaturne mreže, armaturne vilice te mnogi drugi koji nisu serijske proizvodnje.

Slika 19 *Limeni poklopac*



Izvor: Fotografirao autor

Slika 20 *Armaturne mreže*



Izvor: Fotografirao autor

5. PRAKTIČNI DIO - ANALIZA

Provođenje analize produktivnosti uključuje nekoliko koraka kojima se prikupljaju, analiziraju i interpretiraju podaci kako bi se razumjela učinkovitost proizvodnog procesa. Ciljevi su povećanje proizvodne brzine, poboljšanje kvalitete zavora, smanjenje troškova proizvodnje te usporedba troškova između ručne metode i robotskog zavarivanja. U praktičnome dijelu opisani su uređaji i komponente korištene za izradu zateznih elemenata, posebno za ručnu proizvodnju i posebno za robotsku proizvodnju. Zajednički dijelovi su osnovni materijal kao što su armaturne šipke i pocinčani profili koji su osnovni dijelovi svakog zateznog elementa. Žica za zavarivanje je ista i kod ručnih aparata za zavarivanje i kod robotskog zavarivanja. Baterije sa plinom su jednake i koriste se za ručno i robotsko zavarivanje. Nakon navođenja svih komponenti prelazi se na proizvodni ciklus i cjelokupni opis izrade. Nabava armaturnih šipki i rezanje istih na potrebne dimenzije. Nabava pocinčanih profila i brušenje. Rezanje šipki i brušenje profila prati se pomoću lista na kojima su navedeni brojevi artikala i potrebne dimenzije te se nakon rezanja upisuju vrijeme rezanja i datume te charge materijala pomoću koje možemo pratiti tijekom sljedivosti materijala. Mjerenje vremena potrebno za završetak jednog proizvoda te broj proizvedenih zateznih elemenata u određenom vremenskom periodu. Brzina zavarivanja je jedan od ključnih čimbenika na kojima se vidi razlika u odnosu ručnog zavarivanja prema robotiziranom zavarivanju. Velika razlika u početnoj investiciji također je faktor gdje se vidi velika razlika u ulaganju. Nakon sakupljenih podataka uspoređena su prosječna vremena ciklusa između ručnog i robotiziranog zavarivanja. Troškovi materijala, rada, energije, žice, plina, osobni dohodci radnika i investicija.

Svi ovi prikupljeni podaci prikazani su pomoću grafikona kako bi se bolje prikazali troškovi.

6. IZRADA ZATEZNIH ELEMENATA RUČNIM – MAG POSTUPKOM

Prikaz procesa izrade zatezних elemenata korištenjem ručnog MAG postupka zavarivanja, uključujući pripremu, izvedbu i kontrolu. Opis korištenog aparata za zavarivanje i dodatnih materijala, te struktura svih troškova.

6.1. Komponente

Uređaji koje koristimo su aparat za zavarivanje u kojem se nalazi žica za zavarivanje i spojen je na bateriju plina.

Aparat za zavarivanje koji je korišten za ručnu proizvodnju zatezних elemenata je OTC P452E. To je visokoeffikasni aparat za zavarivanje, poznat po svojoj pouzdanosti, preciznosti i svestranosti.

Ključne specifikacije

- Tip aparata: Inverterski zavarivački aparat
- Procesi zavarivanja: MIG/MAG, TIG
- Ulazni napon: 400V trofazni
- Raspon struje zavarivanja: 50A – 450A
- Dužina ciklusa rada: 60% pri 450A
- Vrsta plina: Aktivni plinovi za MAG, inertni za MIG i TIG
- Težina: 80kg

Na slici 21 prikazan je aparat za zavarivanje OTC P452E u proizvodnoj hali.

Slika 21. *Aparat za zavarivanje OTC P452E*



Izvor: Fotografirao autor

Značajke ovo uređaja su:

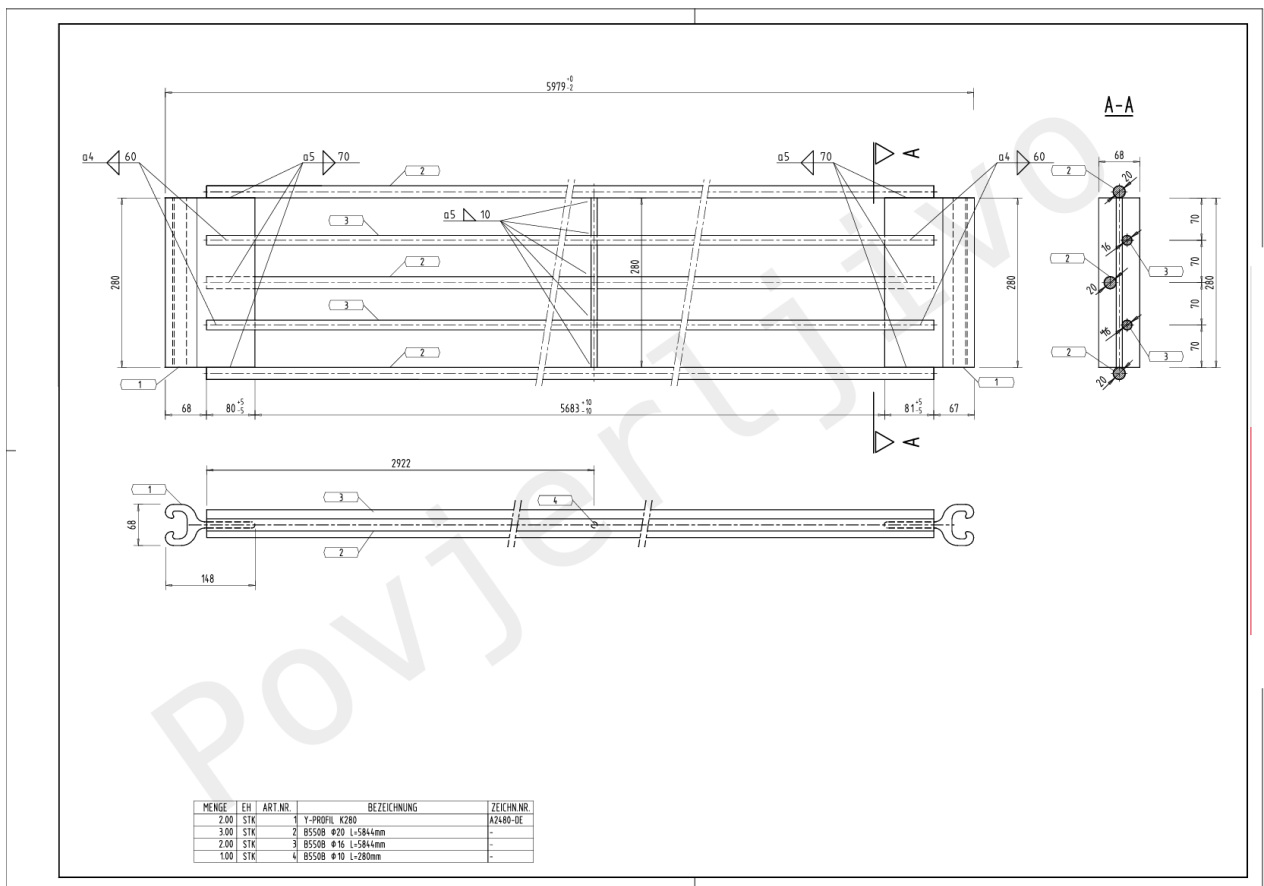
- Inverterska tehnologija: Ova tehnologija koristi elektroničke komponente za pretvaranje struje i regulaciju parametara zavarivanja, što rezultira brojnim prednostima u odnosu na tradicionalne transformatorske zavarivačke aparate.
Inverterska tehnologija koristi elektroničke sklopove za pretvaranje ulaznog izmjeničnog napona (AC) i istosmjerni napon (DC), a zatim ponovno u visokofrekventni izmjenični napon.
- Automatska kontrola napona: Aparat automatski prilagođava napon prema postavljenoj struji zavarivanja, osiguravajući stabilan zavarivački luk.
- Zaštitne funkcije: Ugrađene zaštite od pregrijavanja, prednapona i podnapona povećavaju sigurnost i dugovječnost aparata.

Njegove napredne značajke i inverterska tehnologija čine ga idealnim izborom za profesionalne zavarivače u različitim industrijama. Ostale komponente koje se koriste kod ručnog zavarivanja su: žica za zavarivanje i zaštitni plin.

6.2. Proizvodni ciklus

Proizvodni ciklus započinje primitkom narudžbe. Na narudžbi ispisani su artikl i broj potrebnih komada. Nakon toga ispisujemo nacrt na slici 22 prema kojem se izrađuje proizvod.

Slika 22 Nacrt zateznog elementa



Izvor: <https://extranet.deltabloc.com/en> (Pristup: 05.05.2024.)

Navedeni zatezni elementi su jedni od najvećih gledajući po dimenzijama. Sastoje se od dva y profila i od pet šipki betonskoga željeza. Sa nacрта očitavamo dimenzije proizvoda, dimenzije profila i šipki te duljine i vrste zavarara. Dvije šipke promjera 16 koje se nalaze sa donje strane zavaruju se sa kutnim a4 zavarom duljine 60 milimetara. Dvije bočne šipke promjera 20 zavarujemo sučeljenim zavarima a5 duljine 70 milimetara. Središnju šipku na gornjoj stranice promjera 20 zavarujemo kutnim a5 zavarom duljine 70 milimetara. Na sredini se nalazi šipka promjera 10 koja daje stabilnost proizvodu kako ne bi došlo do savijanja zbog njegove duljine. Ta šipka se zavaruje sa a5 zavarima duljine 10 milimetara.

Nakon razrade nacrtu priprema se repromaterijal, profili i betonsko željezo sa slike 23. Betonsko željezo reže se na dimenzije prema nacrtu. Kupuju se 12 metara dugi komadi koji se tada režu na potrebne dimenzije. Profili se režu na dimenzije kod kooperanta, taj kooperant je ujedno i cinčaona pa zbog ekonomskih razloga i prijevoza jeftinije je rezanje kod njih zbog toga što se komadi mogu odmah krenuti na proces vrućeg pocinčavanja. Nakon transporta profila kod nas oni se bruse to jest skida im se vanjski sloj cinka zbog lakšeg i kvalitetnijeg zavarivanja. Vidljivo je sa slike da se profili bruse na mjestima zavara i da nije potrebno puno brušenja.

Slike 23 Repromaterijal



Izvor: Fotografirao autor

Planovi prema kojima se reže betonsko željezo i bruse profili nalaze se u tablicama 1 i 2. U tablicama se nalaze podaci o artiklu, dimenzijama betonskog željeza i profila, broj potrebnih komada. Kasnije radnici u proizvodnji koji režu i bruse upisuju svoja imena, datume, smjenu, broj odrađenih komada i šaržu. Šaržu se nalazi na karticama sa kojima dolazi betonsko željezo i profili, a dobavlja ih proizvođač. Pomoću njih se vodi evidencija od kojih je šarži izrađen koji proizvod kako bi u slučaju reklamacije ili nekih drugih grešaka mogli brzo saznati o kojem je repromaterijalu riječ.

Tablica 1 Plan za rezanje betonskog željeza

9883	20	L= 5840 mm	1080	Baranašić	Dragun S.	27.04.2024.	1	200	4102552
		Robot							
9883	16	L= 5840 mm	720	Baranašić	Dragun S.	27.04.2024.	1	200	4201315
		Robot							

Izvor: Izradio autor

Tablica 2 Plan za brušenje profila

9883	Y-280	720	150	Međimurec M.		2	26.04.2024.	16:20 h - 17:50 h	649036
	Robot		80	Juras D.		1	27.04.2024.		649036

Izvor: Izradio autor

Na slici 24 nalazi se šablona sa zateznim elementom prema kojoj se proizvode. Šablona se prilagođava na dimenzije koje su nam potrebne po nacrtu i priprema se kako bi svaka betonska šipka bila na svojem mjestu.

Slike 24 Šablona sa zateznim elementom



Izvor: Fotografirao autor

Šablone se izrađuju za sve vrste zateznih elemenata. Neke su nepromjenjive zbog toga što se neki artikli češće proizvode i u većem broju, a neke se izmjenjuju prema potrebama kupca.

6.3. Struktura troškova

Izrada strukture troškova je ključni korak u razumijevanju ukupnih troškova proizvodnog procesa i otkrivanja područja za optimizaciju. Struktura troškova uključuje: materijalne troškove (trošak armaturnih šipki, profila, žice za zavarivanje, zaštitnog plina), troškovi rada (plaće radnika), troškovi energije (potrošnja električne energije), amortizacija (trošak nabave i amortizacije opreme).

Cijena armaturnih šipki

Težina 1 metra armaturne šipke je 2,47kg. Cijena 1 kilograma je 0,63 €.

Za izradu jednog zateznog elementa potrebne su 3 šipke Ø20 duljine 5,84m, 2 šipke Ø16 duljine 5,84m i 1 šipka Ø10 duljine 0,28m.

$$\text{Ukupna duljina } \varnothing 20 \text{ šipki} = 5,84m * 3 = 17,52m$$

$$\text{Ukupna težina } \varnothing 20 \text{ šipki} = 17,52 * 2,47 = 43,27kg$$

$$\text{Ukupna cijena } \varnothing 20 \text{ šipki} = 43,27 * 0,63\text{€} = 27,26\text{€}$$

$$\text{Ukupna duljina } \varnothing 16 \text{ šipki} = 5,84m * 2 = 11,68m$$

$$\text{Ukupna težina } \varnothing 16 \text{ šipki} = 11,68 * 2,47 = 18,45kg$$

$$\text{Ukupna cijena } \varnothing 16 \text{ šipki} = 18,45 * 0,63\text{€} = 11,62\text{€}$$

$$\text{Ukupna duljina } \varnothing 10 \text{ šipki} = 0,28 * 1 = 0,28m$$

$$\text{Ukupna težina } \varnothing 10 \text{ šipki} = 0,28 * 2,47 = 0,7kg$$

$$\text{Ukupna cijena } \varnothing 10 \text{ šipki} = 0,7 * 0,63\text{€} = 0,44\text{€}$$

Ukupna cijena armaturnih šipki = **39,32 €**

Cijena profila

Jedan kilogram Y-profila duljine 0,28m je 6,5 kg. Jedan kilogram ima cijenu od 3,45€.

Nama su potrebna 2 Y-profila svaki sa jedne strane zateznog elementa.

$$13 * 3,45 = 44,85€$$

Cijena Y-profila je 44,85€ na koju dodajemo usluge rezanje i cinčanja kooperanta od 11,16€.

Ukupna cijena za profile je **56,01 €**.

Utrošak plina

Duljina zavora je 6 a5 zavora po 0,07m , 4 a4 zavora po 0,06m i 9 a3 zavora po 0,01m.

Ukupna duljina koju zavarujemo je 0,75m.

1000 litara mješavine je cijene 10 € = 0,01€ po litri

Protok plina je 9 l/min.

Brzina zavarivanja 0,2 m/min.

$$\text{Ukupno vrijeme zavarivanja} = \frac{\text{Ukupna duljina zavora}}{\text{Brzina zavarivanja}} = \frac{0,75 \text{ m}}{0,2 \text{ m/min}} = 3,75 \text{ min.}$$

$$\text{Utrošak plina u litrama} - 9 \text{ l/min} * 3,75 \text{ min} = 33,75 \text{ l}$$

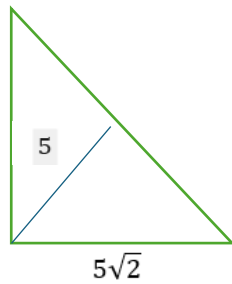
$$\text{Utrošak plina u eurima} - 33,75 \text{ l} * 0,01 \text{ €} = 0,3375 \text{ €}$$

Utrošak udvostručujemo zbog toga što zavarujemo sa dva aparata pa je ukupni utrošak = **0,675€**

Utrošak žice

Cijena jednog koluta žice od 15kg je 40€. 1kg je 2,66€.

Potrebno je izračunati površine presjeka svih zavora kako bi dobili ukupnu masu zavora to jest ukupnu masu utrošene žice.



$$A_5 = \frac{(5\sqrt{2})^2}{2} = \frac{25 * 2}{2} = 25 \text{ mm}^2$$

$$A_4 = \frac{(4\sqrt{2})^2}{2} = \frac{16 * 2}{2} = 16 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{(3\sqrt{2})^2}{2} = \frac{9 * 2}{2} = 9 \text{ mm}^2$$

Ukupna duljina zavara a5 je 0,84m, a4 je 0,48m i a3 je 0,18m.

$$V_{a5} = A * l = 25 \text{ mm}^2 * 840 \text{ mm} = 21000 \text{ mm}^3$$

$$V_{a5} = 21 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{a5} = V_{a5} * \rho_{FeC}$$

$$m_{a5} = 21 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{a5} = 0,165 \text{ kg}$$

$$V_{a4} = A * l = 16 \text{ mm}^2 * 480 \text{ mm} = 7680 \text{ mm}^3$$

$$V_{a4} = 7,68 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{a4} = V_{a4} * \rho_{FeC}$$

$$m_{a4} = 7,68 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{a4} = 0,06 \text{ kg}$$

$$V_{a3} = A * l = 9 \text{ mm}^2 * 180 \text{ mm} = 1620 \text{ mm}^3$$

$$V_{a5} = 1,62 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{a5} = V_{a5} * \rho_{FeC}$$

$$m_{a5} = 1,62 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{a5} = 0,0127 \text{ kg}$$

Ukupna masa zavara $m_{uk} = m_{a5} + m_{a4} + m_{a3} = 0,165 + 0,06 + 0,0127 = 0,2377 \text{ kg}$

Trošak žice $T_{\dot{z}} = 0,2377 \text{ kg} * 2,66 \text{ €/kg} = \mathbf{0,6323 \text{ €}}$

Troškovi energije

Snaga uređaja u kW - $P = U * I * \eta$

$$P = 30 \text{ V} * 230 \text{ A} * 0,8$$

$$P = 5520 \text{ W} = 5,52 \text{ kW}$$

Učinkovitost uređaja $\eta = 0,8$

Vrijeme zavarivanje $T = 3,75 \text{ min} = 0,0625 \text{ h}$

Cijena električne energije $C = 0,02253 \text{ €/kWh}$

Potrošnja energije = $5,52 \text{ kW} * 0,0625 \text{ h} = 0,345 \text{ kWh}$

Ukupni trošak energenata = $0,345 \text{ kWh} * 0,022563 \text{ €/kWh} = 0,007784 \text{ €}$

Ukupni trošak energenata dva aparata = $0,007784 \text{ €} * 2 = \mathbf{0,015568 \text{ €}}$

Troškovi rada

Kod troškova rada računamo osobni dohodak koji iznosi 20€ po satu. S obzirom na rad dva radnika ukupni osobni dohodak je 40€ po satu.

$$T_{OD} = 40\text{€}/60 \text{ min} = 0,667 \text{ €/min}$$

Ukupni trošak rada pomnožimo osobni dohodak sa vremenom rada koji je zbroj vremena zavarivanja i vremena pripreme.

$$T_R = T_{OD} * t_R = 0,667 * 36,25 = \mathbf{24,16 \text{ €}}$$

$$t_R = t_Z + t_P = 3,75 + 32,5 = 36,25 \text{ min}$$

Vrijeme zavarivanja smo već izračunali a vrijeme pripreme uključuje rezanje armaturnih šipki, brušenje profila, spajanje zateznog elementa prije u šablone prije zavarivanja i vrijeme pakiranja gotovih proizvoda.

Amortizacija

Amortizacija opreme je proces raspodjele troška nabave opreme tijekom njenog korisnog vijeka trajanja.

Ukupna investicija u proizvodnji zateznih elemenata sa ručnim MAG postupkom je u cijeni aparata za zavarivanje. S obzirom na rad dvoje zavarivača oni koriste dva aparata za zavarivanje. Cijena jednog OTC P452E iznosi 5672 € tako da je investicija u ručno zavarivanje 11344 €.

$$\text{Godišnja amortizacija} = \frac{\text{Nabavna vrijenost}}{\text{Koristan vijek trajanja}} = \frac{11344}{10} = 1134,4 \text{ €}$$

$$\text{Mjesečna amortizacija} = \frac{1134,4}{12} = 94,53 \text{ €}$$

Mjesečna amortizacija za zavarivačke aparate OTC P452E iznosi 94,53 €. Ovaj iznos ćemo raspodijeliti po jedinici proizvoda kako bi dobili kalkulaciju za jedan proizvod.

$$\text{Amortizacija po jedinici} = \frac{\text{Mjesečna amortizacija}}{\text{Mjesečni broj proizvedenih jedinica}} = \frac{94,53}{1320} = 0,0716\text{€}$$

Broj proizvedenih jedinica po smjeni dobije se kada dva radnika pomnožimo sa 60 i sa 7,5 te podijelimo sa ukupnim vremenom rada po komadu.

$$2 * 60 * 7,5/27=33 \text{ komada}$$

S obzirom na rad u dvije smjene dolazimo do 66 komada dnevno. Uzimamo radni mjesec od 160h to jest 20 radnih dana.

$$\text{Mjesečni broj proizvedenih jedinica} = 66 * 20 = 1320 \text{ kom}$$

Tablica 3 *Tablica troškova ručnog zavarivanja*

Kategorija troškova	Iznos (€)
Materijalni troškovi	
-Armaturne šipke	39,32
-Profili	56,01
-Žica za zavarivanje	0,6323
-Zaštiti plin	0,675
Troškovi energije	0,015568
Troškovi rada	24,16
Amortizacija	0,0716
Ukupna cijena izrade zateznog elementa	120,89
Investicija	11344

Izvor: Izradio autor

7. IZRADA ZATEZNIH ELEMENTA ROBOTIZIRANIM ZAVARIVANJEM

Robotske stanice za zavarivanje su industrijske radne stanice opremljene robotima i drugom automatiziranom opremom za izvođenje zavarivačkih operacija. Ove stanice obično uključuju industrijske robote ili automatizirane strojeve specijalizirane za zavarivanje, kao i dodatnu opremu poput zavarivačkih alata, sustava za nadzor, sustava za upravljanje, sigurnosnih mjera i drugih potrebnih komponenti.

Robotske stanice za zavarivanje obično se koriste u proizvodnim okruženjima gdje je potrebno visokokvalitetno i ponovljivo zavarivanje. Prednosti korištenja robotskih stanica za zavarivanje uključujući veću preciznost, bržu izvedbu, smanjenje grešaka i troškova te poboljšanu sigurnost za radnike. Ova tehnologija je posebno korisna u industriji automobila, brodogradnji, metaloprerađivačkoj industriji i drugim sektorima gdje se često koristi zavarivanje.

7.1. Komponente

Robotska stanica za zavarivanje sastoji se od više komponenti. Na slici 25 prikazani su dijelovi robotske stanice za zavarivanje.

- Dvije robotske ruke OTC Daihen FD-V8L
- Tri upravljačke jedinice
- Dva izvora struje OTC Welbee WB-P400
- Dvije stanice za čišćenje sapnice, rezanje žice i nanos sredstva protiv naljepljivanja
- Okretni stol sa šablonama
- Dva regulatora plina
- Dizalica za prijenos tereta

U sklopu upravljačkih jedinica nalazi se privjesak za učenje kojim se on-line programira. Obije robotske ruke programirane svoje putanje svaka na svoju stranu. Svaka ima zaseban izvor struje, izvor plina i svoju zasebnu stanicu za čišćenje. Obije robotske ruke na pištolju imaju ugrađen „shock“ senzor koji detektira koliziju to jest sudar za radnim komadom ili okretnim stolom i nakon toga sprječava daljnji rad.

Slika 25. Robotska stanica za zavarivanje



Izvor: Fotografirao autor

7.1.1. Roboti OTC Daihen FD-V8L

Na slici 26 nalazi se zavarivački robot FD-V8L, to je model zavarivačkog robota proizveden od strane tvrtke OTC Daihen. Obično se koriste u industrijskim postrojenjima za automatizirane zavarivačke zadatke.

Opremljen je za sve poslove zavarivanja i manipulaciju tereta do 8kg. Integrirane veze i kablovi koji su potrebni za *SynchroFeed* procese zavarivanja su prethodno instalirani. Zahvaljujući velikoj dužini ruku, robot je pogodan za velike radne prostore.

Njegova primjena u industriji omogućuje visoku preciznost, povećanu produktivnost i dosljednu kvalitetu zavarivanja. Idealan je za zavarivanje u različitim industrijama. Koristi visoko napredne senzore i kontrolne algoritme za postizanje izuzetno preciznih zavarivačkih spojeva. Može izvoditi različite vrste zavarivanja, uključujući MIG, MAG, TIG i točkasto zavarivanje. Može se integrirati sa različitim sustavim upravljanja i može biti povezan s drugim robotskim stanicama za složene proizvodne linije.

Dijelovi koji se zavaruju postavljeni su fiksno u okretni stol. Robot tada automatski izvodi zavarivanje prema unaprijed definiranim programima. Potrebno je redovito održavanje robota, uključujući čišćenje, podmazivanje i provjeru kalibracije. Ovakvi roboti igraju ključnu ulogu u modernizaciji proizvodnih procesa i postizanju veće konkurentnosti na tržištu.

Slika 26. *Robotska ruka OTC*



Izvor: Fotografirao autor

Slika 27 prikazuje detaljne tehničke specifikacije zavarivačkog robota FD-V8L, uključujući kinematičke karakteristike, opseg rada, maksimalne brzine, zakretne momente i radne uvjete.

Slika 27 Tehnički podaci robotske ruke OTC

Model		FD-V8L	
Kinematika		Vertikalni	
Broj osi rotacije		6	
Točnost pozicioniranja		± 0,08 mm (Bilješka 1)	
Nosivost ruke robota		8 kg	
Snaga pogona		5000 W	
Pogon		AC Servo Motor	
Enkoder		Apsolutni enkoder	
Opseg rada	Ruka	J1 (Rotacija)	± 170° (±50°) (Bilješka 2)
		J2 (Vertikalno)	-155° ≈ +1000° (Bilješka 3)
		J7	
	Zglob	J3*(Rotacija)	-80° ≈ +105°
		J4 (Rotacija)	+155° (±180°)
		J5 (Savijanje)	-50° ≈ +230°
		J6 (Rotacija)	+360°
Maksimalna brzina	Ruka	J1 (Rotacija)	3,40 rad/s (195°/s) (3,05 rad/s [175°/s]) (Bilješka 2)
		J2 (Vertikalno)	3,49 rad/s (200°/s)
		J7	
	Zglob	J3*(Rotacija)	3,49 rad/s (200°/s)
		J4 (Rotacija)	7,50 rad/s (430°/s)
		J5 (Savijanje)	7,50 rad/s (430°/s)
		J6 (Rotacija)	11,00 rad/s (630°/s)
Maksimalno opterećenje	Zakretni moment	J4 (Rotacija)	17,6 Nm
		J5 (Vertikalno)	17,6 Nm
		J6 (Rotacija)	7,8 Nm
		J4 (Rotacija)	0,43 kgm ²
		J5 (Savijanje)	0,43 kgm ²
		J6 (Rotacija)	0,09 kgm ²
Radni prostor		7,48 m ² x 340°	
Temperatura radnog prostora		0 - 45°C	
Vlažnost radnog prostora		20% - 80% (Bez kondenzacije)	
Masa		273 kg	
Maksimalna nosivost		20 kg (Bilješka 4)	
Položaj instalacije		Pod, zid, strop	
Boja		Bijela	

Izvor: <https://servus.hr/wp-content/uploads/2017/09/FD-V8L.pdf> (Pristupano: 02.05.2024.)

7.1.2. Izvori struje OTC WB-P400

Dva izvora struje sa slike 28 pogodni su za zavarivanje čeličnih materijala, korozivno otpornih čelika i legura aluminija. Više mogućnosti zavarivanja sukladno tipu osnovnih materijala. Vrlo visoka stabilnost električnog luka i u području velikih brzina zavarivanja.

Slika 28 Izvori struje OTC P400



Izvor: Fotografirao autor

Tehničke specifikacije OTC P400 izvora struje:

- Nazivna frekvencija 50/60 Hz
- Maksimalna nazivna izlazna struja 400 A
- Nazivni napon opterećenja 34 V
- Maksimalni napon praznog hoda 80 V
- Stupanj zaštite IP 23
- Regulacija struje zavarivanja – fina regulacija
- Broj uvjeta zavarivanja – 100
- Raspon radne temperature: -10 - +40°C
- Masa: 62kg
- Statička karakteristika: Karakteristike konstantnog napona

7.1.3. Upravljačke jedinice i privjesak za učenje FD11

Upravljačka jedinica na slici 29 obavlja osnovne operacije kao što su uključivanje i isključivanje motora, zaustavljanje i hitno zaustavljanje, prebacivanje između automatskog načina rada i ručnog to jest načina za učenje.

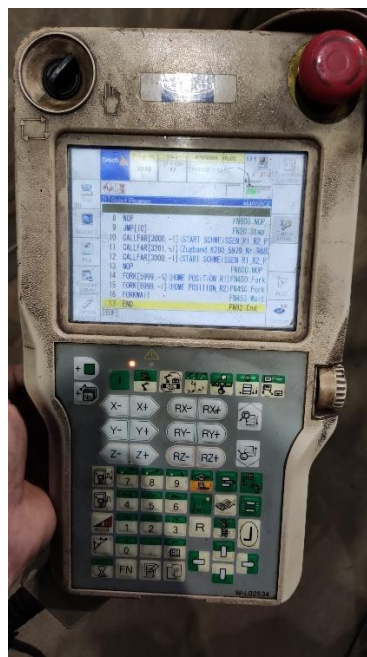
Slika 29 Upravljačke jedinice OTC



Izvor: Fotografirao autor

Za programiranje robota koristi se privjesak za učenje sa slike 30. Uz moguće programiranje vrši se i unos parametara zavarivanja.

Slika 30 Privjeska za učenje

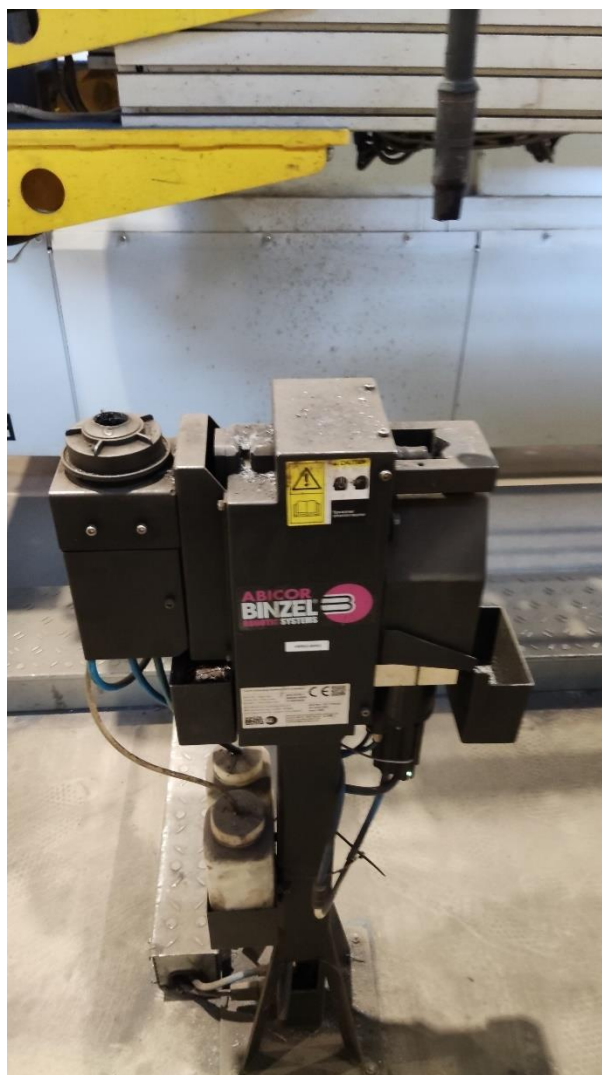


Izvor: Fotografirao autor

7.1.4. Ostale komponente

Ostale komponente koje se nalaze su sustavu automatiziranog zavarivanja su: stanice za čišćenje, regulatori plina, dizalica za prijenos tereta. Na slici 31 nalazi se Binezlova stanica za čišćenje. Sastoji se od stanice za čišćenje šobe sa kojom se skidaju prskotine. Ubrizgivač koji omogućuje prskanje sredstva protiv naljepljivanja, stege za rezanje žice koja reže vrh žice kako bi se osiguralo optimalno paljenje električnog luka. Ove stanice osiguravaju optimalno vremenski usklađene procese, doprinose povećanoj dostupnosti i učinkovitosti postrojenja.

Slika 31 Stanica za čišćenje



Izvor: Fotografirao autor

Regulatori plina ERW2 na slici 32 su uređaji koji se koriste za kontrolu protoka plina. Plin koje se koristi u ovome slučaju je Corgon mješavina argona i ugljikovog dioksida u omjeru 82% argona i 18% ugljikovog dioksida. Na slici 33 se nalaze baterije plina koji se koristi za proizvodnju. Regulatori plina održavaju konstantan pritisak plina te imaju ugrađene mehanizme koji štite od prekomjernog pritiska. Igraju ključnu ulogu u osiguravanju stabilnosti procesa i kvalitete završnih proizvoda te osiguravaju ekonomičnost u proizvodnji koristeći optimalnu količinu plina za zavarivanje.

Slika 32 *Regulatori plina ERW2*



Izvor: Fotografirao autor

Slika 33 *Baterije plina - Corgona*



Izvor: Fotografirao autor

Na slici 34 se nalazi vertikalno okretni stol koji služi za manipulaciju i okretanje gotovog proizvoda i zamjenu sa sljedećim proizvodom.

Slika 34 Okretni stol



Izvor: Fotografirao autor

Žica koje se koristi za zavarivanje dolazi u kolutima. Za zavarivanje koristi se žica promjera 1,2 milimetara. Ova vrsta žice često se koristi za zavarivanje čelika s niskim i srednjim udjelom ugljika, kao što su konstrukcijski čelici. Karakterizira je dobra zavarljivost, visoka produktivnost i pouzdanost u procesu zavarivanja.

Slika 35 Žica za zavarivanje

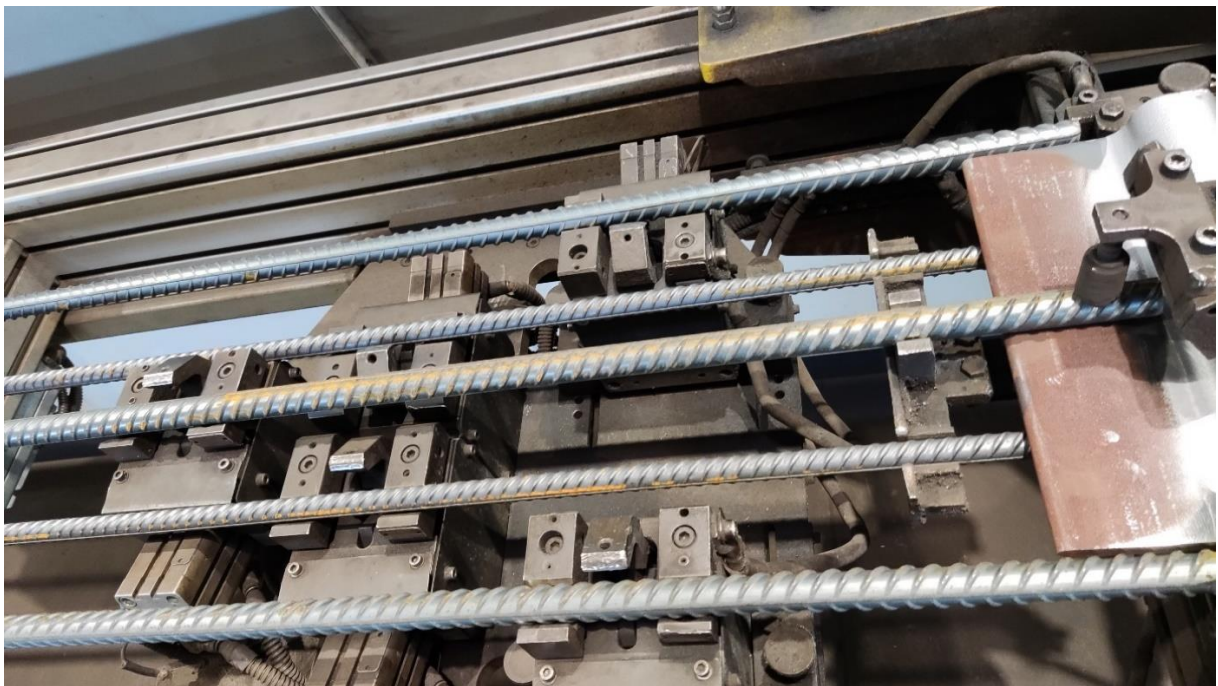


Izvor: <https://zetehna.com.ba/MAGMAWELD.html> (Pristupano: 05.05.2024.)

7.2. Proizvodni ciklus

Nakon pripreme repromaterijala započinje se prilagođavanjem šablone. Robotska linija za zavarivanje trenutno ima mogućnost za zavarivanje 12 vrsta zateznih elemenata. Svi su oni dimenzijama slični pa je zamjena šablona brza. Duljine proizvoda variraju od 5979 milimetara do 6069 milimetara. Jedna strana je fiksna dok je druga pokretna i na njoj se prilagođava duljina. Isto je i sa profilima oni su širina od 120 do 280 milimetara te se isto tako pokretnim graničnicima prilagođavaju na potrebnu širinu. Na slici 36 nalazi se dio šablone sa hvataljkama koje se zatvaraju kako bi betonsko željezo ostalo na mjestu tijekom zavarivanja. Ispod svake hvataljke nalaze se senzori od kojih svi moraju biti aktivni kako bi se mogao pokrenuti proces automatiziranog zavarivanja.

Slika 36 Šablona za zavarivanje



Izvor: Fotografirao autor

Na slici 37 vidimo hvataljke u zatvorenom položaju nakon kojeg možemo pokrenuti proces.

Slika 37 *Hvataljke u zatvorenom položaju*



Izvor: Fotografirao autor

Prije početka zavarivanje potrebno je odrediti parametre zavarivanja. U tablici 4 vidljiva je specifikacija postupka zavarivanja. U ovome slučaju odabran je sučeljeni a5 zavar koji se koristi za spajanje bočnog dijela profila sa krajem jedne šipke betonskog željeza. Iz tablice očitujemo sve potrebne podatke koji nam trebaju kako bi tehnički kvalitetno i estetski prihvatljivo zavarili navedeni spoj. U ovoj WPS listi (uputstvu za zavarivanje) specificiran je osnovni i dodatni materijal, postupak zavarivanja, žica za zavarivanje, zaštitni plin. Postupci i korišteni materijal moraju biti normirani.

Tablica 4 Specifikacija postupka zavarivanja



Specifikacija postupka zavarivanja (SPZ) /

SPZ br. / WPS nr. Rev.

Scweißanweisung (WPS)

DBC-RO-01

Proizvođač / Hersteller	DELATABLOC Components d.o.o.
Br. Atesta postupka / WPQR nr.	9.FSB ZK-17660-1-2021-001
Kvalifikacija Zavarivača / Schweißprüfung	HRN EN ISO 14732
Postupak zavarivanja / Schweißprozess	135 (MAG) – Robotizirano
Vrsta Spoja / Nahtart	FW, C7. ISO 17660-1

Osnovni materijal / Grundwerkstoff	Kvaliteta materijala / Material Qualität	Dimenzija / Maße [mm]	Br. Grupe ISO 15608 / Gruppen nr. ISO 15608
Materijal 1 / Material 1	S355J2	10	1.2
Materijal 2 / Material 2	B550B	∅20	

Maksimalni C_{uv} / Maximaler C_{uv}	0,45
Položaj zavarivanja / Schweißposition	PA

Priprema spoja, redosljed zavarivanja / Nahtvorbereitung, Schweißfolge:

Dimenzije / Maße	Priprema spoja / Nahtvorbereitung	Redosljed zavarivanja / Schweißfolge
$t_1 = 10 \text{ mm}$ $t_2 = \varnothing 20 \text{ mm}$ a_5		
Napomena / Bemerkung :		
Čišćenje spoja / Reinigung der Schweißfuge: Četkanje / Brušenje		

Pojednosti za zavarivanje / Schweißdetails:

Br. / Nr.	Postupak / Schweißprozess	Promjer dodatnog materijala / Zusatzstoff Durchmesser [mm]	Struja / Strom [A]	Napon / Spannung [V]	Vrsta struje, polaritet / Stromart, polarität	Brzina dodavanja žice / Zusatzstoff Geschwindigkeit [m/min]	Brzina zavarivanja / Schweißgeschwindigkeit [cm/min]	Unos topline / Hitzeneingang [kJ/cm]
1-2	135	1.2	220-240	21-23	DC+	6-7	25-35	6,33-10,59

Dodatni materijal / Zusatzstoff:

Br. / Nr.	Oznaka / Bezeichnung	Norma / Norm	Naziv / Name	Proizvođač / Hersteller
1-2	G 46 4 M21 4S1 / G 42 3 C1 4S1	EN ISO 14341-A	Welding Wire G4S1	Linde

Zaštitni plin / Schutzgas:

Br. / Nr.	Oznaka / Bezeichnung	Norma / Norm	Naziv / Name	Proizvođač / Hersteller	Protok / Fluss [l/min]
1-2	M21	ISO 14175	CORGON 18 (82% Ar + 18% CO ₂)	Linde	12 – 16

Ostale informacije / Andere Informationen:

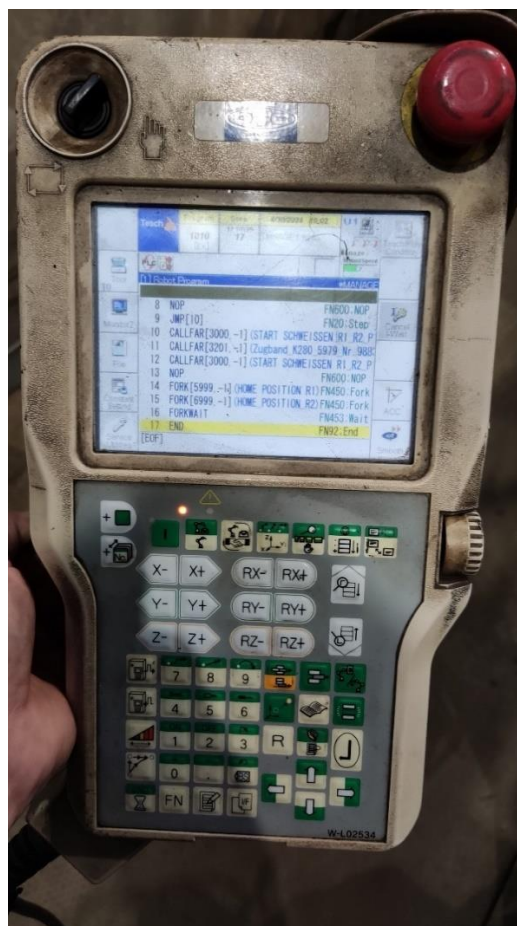
Zaštita korijena / Wurzelschutz:	-	Temperatura predgrijavanja / Vorwärmtemperatur [°C]	-
Žljebljenje / Ausfugen	-	Međuslojna temperatura / Zwischenlagentemperatur [°C]	≤ 250
Podloga za zavarivanje / Wurzelunterlage	-		
Njihanje (max. širina) / Pendlung (max. Breite) [mm]	14		
Prekid zavara / Schweißnaht unterbrechung	Najmanje jedna u korijenu i završnom zavaru		
Popravci / Reparatur	Samo zu dozvolu ispitivača		
Kriterij prihvatljivosti grešaka / Akzeptierung von Unregelmäßigkeiten	Klasa C, EN ISO 5817		

Mjesto / Ort	Datum	Izradio / Erstellt	Potpis / Unterschrift
Turčišće	29.4.2024.	Zdravec Karlo mag.ing.mech. IWE/EWE	

Izvor: Privatna arhiva poduzeća

Nakon svih priprema dolazimo do programiranja. Pristupa se on-line programiranju pomoću privjeska za učenje. Osim programiranja robotskih ruka programira se i okretni stol. Robotske ruke kreću se pomoću tipki na privjesku. Na slici 38 se nalazi privjesak za učenje. Na ekranu je prikaz jednog dijela programa za određeni proizvod u kojem se nalaze pod programi za početak zavarivanja, program za zavarivanje određenih proizvoda i „Home“ programi po kojima se robotske ruke vraćaju na početni položaj. Sa stražnje strane privjeska nalazi se tipka za uključenje motora pomoću kojih se kreću robotske ruke. Tipka mora biti stalno pritisnuta inače dolazi do gašenja motora i prekida kretanja. Pomoću tipki možemo mijenjati robotske ruke koje trenutno kontroliramo ili okretni stol. Također su tu tipke za promjenu brzina, načini rada, koordinatni sustavi. Raspoloživi koordinatni sustavi su kartezijev koordinatni sustav (kretanje po zglobovima), koordinatni sustav robota i koordinatni sustav alata u ovome slučaju pištolja.

Slika 38 Prikaz dijela programa

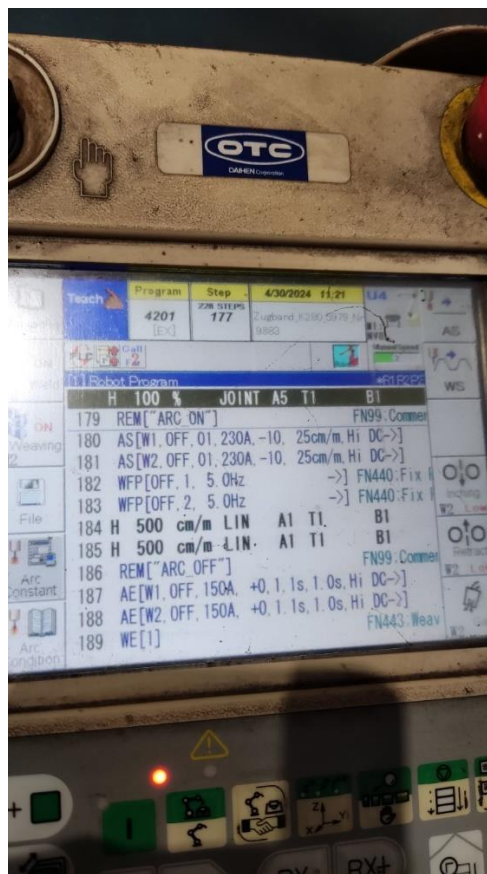


Izvor: Fotografirao autor

Prvi dijelovi programa su kretanje pištolja. Određuje se odabirom vrste interpolacije. Kada se nalazimo dalje od radnog komada koristi se interpolacija po krivulji (JOINT), kod koje se svaka os pomiče neovisno. Njena brzina može biti 0-100% nazivne brzine. To je najbrži način kretanja i koristi se kada se približavamo radnom komadu ili odmičemo od njega. Kada se pištolj nalazi u blizini radnog komada koristi se linearna interpolacija (LIN) kod kojeg je gibanje pravocrtno. Brzinu unosimo sami i može iznositi od 300 do 1000 cm/min. Ova vrsta interpolacije koristi se i kod zavarivanja ravnih kontura. Kod zavarivanja komada kružnih dimenzija koristimo kružnu interpolaciju (CIR).

Na slici 37 vidimo dio programa prije početka zavarivanja. AS (arc start) ili početak luka za zavarivanje je naredba kojom započinje zavarivanje i uspostava električnog luka. U toj naredbi nalaze se i parametri zavarivanja sa slike 39. Dvije su takve naredbe zbog toga što svaka robotska ruka ima svoju. Sljedeća naredba je WFP kojom započinje njihanje. Nakon toga su linearna kretanja koja označuju putanju zavarivanja. Naredbe AE i WE su arc end i wave end kojima se zaustavlja zavarivanje i njihanje.

Slika 39 Dio programa sa zavarivanjem



Izvor: Fotografirao autor

Parametri za početak zavarivanja kao što su jakost struje, dužina električnog luka, brzina zavarivanja. Struju zavarivanja mjerimo u amperima (A) i može varirati ovisno o vrsti zavarivačkog procesa, debljini i vrsti materijala, veličini elektrode. Dužina električnog luka omogućuje prilagodbu udaljenosti između elektrode i radnog materijala, što utječe na penetraciju, stabilnost luka i izgled zavara. „Slope time“ se odnosi na vremenski period koji je potreban da se postigne određeni zavarivački parametar. Ovo vrijeme omogućuje postupno povećanje struje kako bi se izbjeglo naglo početno opterećenje luka. „Initial current“ ili početna struja zavarivanja odnosi se na struju koja se primjenjuje na početku zavarivanja, odnosno kada započne kontakt između elektrode i radnog komada. Previsoka početna struja može rezultirati prekomjernim zagrijavanjem i spljoštenim početkom zavara, dok preniska može otežati pokretanje luka i rezultirati neujednačenim početkom zavara. Slika 40 prikazuje sučeljeni a5 zavar. Sa slike su vidljive prskotine oko zavara međutim one nam ne igraju veliku ulogu pa ih ostavljamo.

Slika 40 *Sučeljeni zavar*



Izvor: Fotografirao autor

Zavarivanje se nastavlja po istome procesu. Na slika 41 se vidi procesu uslijed zavarivanja.

Slika 41 *Proces zavarivanja*



Izvor: Fotografirao autor

Na slici 42 je prikazana zavaren cijela jedna strana zateznog elementa. Ovdje nam je bitan redoslijed zavarivanja pa počinjemo za sučeljenim, kutni, sučeljeni i završavamo sa kutnim sa suprotne strane šipke.

Slika 42 *Zavareni komad*



Izvor: Fotografirao autor

7.3. Struktura troškova

Struktura troškova kod robotizirane proizvodnje zateznih elemenata sastoji se većinom od istih troškova kao i kod ručnog zavarivanja.

Cijena armaturnih šipki

Cijena armaturnih šipki ista je kao i kod ručnog zavarivanja.

$$\text{Ukupna duljina } \varnothing 20 \text{ šipki} = 5,84m * 3 = 17,52m$$

$$\text{Ukupna težina } \varnothing 20 \text{ šipki} = 17,52 * 2,47 = 43,27kg$$

$$\text{Ukupna cijena } \varnothing 20 \text{ šipki} = 43,27 * 0,63\text{€} = 27,26\text{€}$$

$$\text{Ukupna duljina } \varnothing 16 \text{ šipki} = 5,84m * 2 = 11,68m$$

$$\text{Ukupna težina } \varnothing 16 \text{ šipki} = 11,68 * 2,47 = 18,45kg$$

$$\text{Ukupna cijena } \varnothing 16 \text{ šipki} = 18,45 * 0,63\text{€} = 11,62\text{€}$$

$$\text{Ukupna duljina } \varnothing 10 \text{ šipki} = 0,28 * 1 = 0,28m$$

$$\text{Ukupna težina } \varnothing 10 \text{ šipki} = 0,28 * 2,47 = 0,7kg$$

$$\text{Ukupna cijena } \varnothing 10 \text{ šipki} = 0,7 * 0,63\text{€} = 0,44\text{€}$$

Ukupna cijena armaturnih šipki = **39,32 €**

Cijena profila

Jedan kilogram Y-profila duljine 0,28m je 6,5 kg. Jedan kilogram ima cijenu od 3,45€.

Nama su potrebna 2 Y-profila svaki sa jedne strane zateznog elementa.

$$13 * 3,45 = 44,85\text{€}$$

Cijena Y-profila je 44,85€ na koju dodajemo usluge rezanje i cinčanja kooperanta od 11,16€.

Ukupna cijena za profile je **56,01 €**.

Utrošak plina

Duljina zavora je 6 a5 zavora po 0,07m , 4 a4 zavora po 0,06m i 9 a3 zavora po 0,01m.

Ukupna duljina koju zavarujemo je 0,75m.

1000 litara mješavine je cijene 10 € = 0,01€ po litri

Protok plina je 9 l/min.

Brzina zavarivanja 0,2 m/min.

$$\text{Ukupno vrijeme zavarivanja} = \frac{\text{Ukupna duljina zavora}}{\text{Brzina zavarivanja}} = \frac{0,75 \text{ m}}{0,2 \text{ m/min}} = 3,75 \text{ min.}$$

$$\text{Utrošak plina u litrama} - 9 \text{ l/min} * 3,75 \text{ min} = 33,75 \text{ l}$$

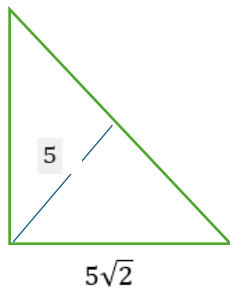
$$\text{Utrošak plina u eurima} - 33,75 \text{ l} * 0,01 \text{ €} = 0,3375 \text{ €}$$

Utrošak udvostručujemo zbog toga što zavarujemo sa dva robota pa je ukupni utrošak = **0,675€**

Utrošak žice

Cijena jednog koluta žice od 15kg je 40€. 1kg je 2,66€.

Potrebno je izračunati površine presjeka svih zavora kako bi dobili ukupnu masu zavora to jest ukupnu masu utrošene žice.



$$A_5 = \frac{(5\sqrt{2})^2}{2} = \frac{25 * 2}{2} = 25 \text{ mm}^2$$

$$A_4 = \frac{(4\sqrt{2})^2}{2} = \frac{16 * 2}{2} = 16 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{(3\sqrt{2})^2}{2} = \frac{9 * 2}{2} = 9 \text{ mm}^2$$

Ukupna duljina zavara a5 je 0,84m, a4 je 0,48m i a3 je 0,18m.

$$V_{a5} = A * l = 25 \text{ mm}^2 * 840 \text{ mm} = 21000 \text{ mm}^3$$

$$V_{a5} = 21 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{a5} = V_{a5} * \rho_{FeC}$$

$$m_{a5} = 21 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{a5} = 0,165 \text{ kg}$$

$$V_{a4} = A * l = 16 \text{ mm}^2 * 480 \text{ mm} = 7680 \text{ mm}^3$$

$$V_{a4} = 7,68 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{a4} = V_{a4} * \rho_{FeC}$$

$$m_{a4} = 7,68 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{a4} = 0,06 \text{ kg}$$

$$V_{a3} = A * l = 9 \text{ mm}^2 * 180 \text{ mm} = 1620 \text{ mm}^3$$

$$V_{a5} = 1,62 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{a5} = V_{a5} * \rho_{FeC}$$

$$m_{a5} = 1,62 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{a5} = 0,0127 \text{ kg}$$

Ukupna masa zavara $m_{uk} = m_{a5} + m_{a4} + m_{a3} = 0,165 + 0,06 + 0,0127 = 0,2377 \text{ kg}$

Trošak žice $T_z = 0,2377 \text{ kg} * 2,66 \text{ €/kg} = \mathbf{0,6323 \text{ €}}$

Troškovi energije

Snaga uređaja u kW - $P = U * I * \eta$

$$P = 30 \text{ V} * 230 \text{ A} * 0,8$$

$$P = 5520 \text{ W} = 5,52 \text{ kW}$$

Učinkovitost uređaja $\eta = 0,8$

Vrijeme zavarivanje $T = 3,75 \text{ min} = 0,0625 \text{ h}$

Cijena električne energije $C = 0,02253 \text{ €/kWh}$

Potrošnja energije = $5,52 \text{ kW} * 0,0625 \text{ h} = 0,345 \text{ kWh}$

Ukupni trošak energenata = $0,345 \text{ kWh} * 0,022563 \text{ €/kWh} = 0,007784 \text{ €}$

Ukupni trošak energenata dva robota = $0,007784 \text{ €} * 2 = \mathbf{0,015568 \text{ €}}$

Troškovi rada

Kod troškova rada računamo osobni dohodak koji iznosi 20€ po satu. S obzirom na rad dva radnika ukupni osobni dohodak je 40€ po satu.

$$T_{OD} = 40\text{€}/60 \text{ min} = 0,667 \text{ €/min}$$

Isto tako uračunavamo i stanicu robota koja iznosi 130€ po satu.

$$T_{RO} = 100\text{€}/60 \text{ min} = 1,67\text{€/min}$$

Ukupni trošak rada pomnožimo osobni dohodak sa vremenom rada koji je zbroj vremena zavarivanja i vremena pripreme.

$$T_R = (T_{OD} + T_{RO}) * t_R = 2,337 * 13 = \mathbf{30,381 \text{ €}}$$

$$t_R = t_Z + t_P = 3,75 + 9,25 = 13 \text{ min}$$

Vrijeme pripreme se u ovome slučaju smanjuje zbog toga što nema vremena spajanja zateznog elementa u šablone što kod ručnog zavarivanja oduzima puno vremena.

Amortizacija

Ukupna investicija u robotiziranu proizvodnju je 600.000€.

$$\text{Godišnja amortizacija} = \frac{\text{Nabavna vrijenost}}{\text{Koristan vijek trajanja}} = \frac{600000}{10} = 60000\text{€}$$

$$\text{Mjesečna amortizacija} = \frac{60000}{12} = 5000 \text{ €}$$

Mjesečna amortizacija za robotiziranu proizvodnju iznosi 5000 €. Ovaj iznos ćemo raspodijeliti po jedinci proizvoda kako bi dobili kalkulaciju za jedan proizvod.

$$\text{Amortizacija po jedinici} = \frac{\text{Mjesečna amortizacija}}{\text{Mjesečni broj proizvedenih jedinica}} = \frac{5000}{2760} = 1,812\text{€}$$

Broj proizvedenih jedinica po smjeni dobije se kada dva radnika pomnožimo sa 60 i sa 7,5 te podijelimo sa ukupnim vremenom rada po komadu.

$$2 * 60 * 7,5 / 13 = 69 \text{ komada}$$

S obzirom na rad u dvije smjene dolazimo do 138 komada dnevno. Uzimamo radni mjesec od 160h to jest 20 radnih dana.

$$\text{Mjesečni broj proizvedenih jedinica} = 138 * 20 = 2760 \text{ kom}$$

Tablica 5 *Tablica troškova robotiziranog zavarivanja*

Kategorija troškova	Iznos (€)
Materijalni troškovi	
-Armaturne šipke	39,32
-Profili	56,01
-Žica za zavarivanje	0,6323
-Zaštiti plin	0,675
Troškovi energije	0,015568
Troškovi rada	30,381
Amortizacija	1,812
Ukupna cijena izrade zateznog elementa	128,85
Investicija	600000

Izvor: Izradio autor

8. USPOREDBA TROŠKOVA

Usporedba troškova ručnog zavarivanja sa robotiziranim prikazana je u **TABLICI**.

Tablica 6. *Usporedba troškova*

Kategorija troškova	Ručno zavarivanje	Robotizirano zavarivanje
Materijalni troškovi	96,64 €	96,64 €
Troškovi energenata	0,015568 €	0,015568 €
Troškovi rada	24,16 €	30,381 €
Amortizacija	0,0716 €	1,812 €
Ukupni troškovi	120,89 €	128,85 €

Izvor: Izradio autor

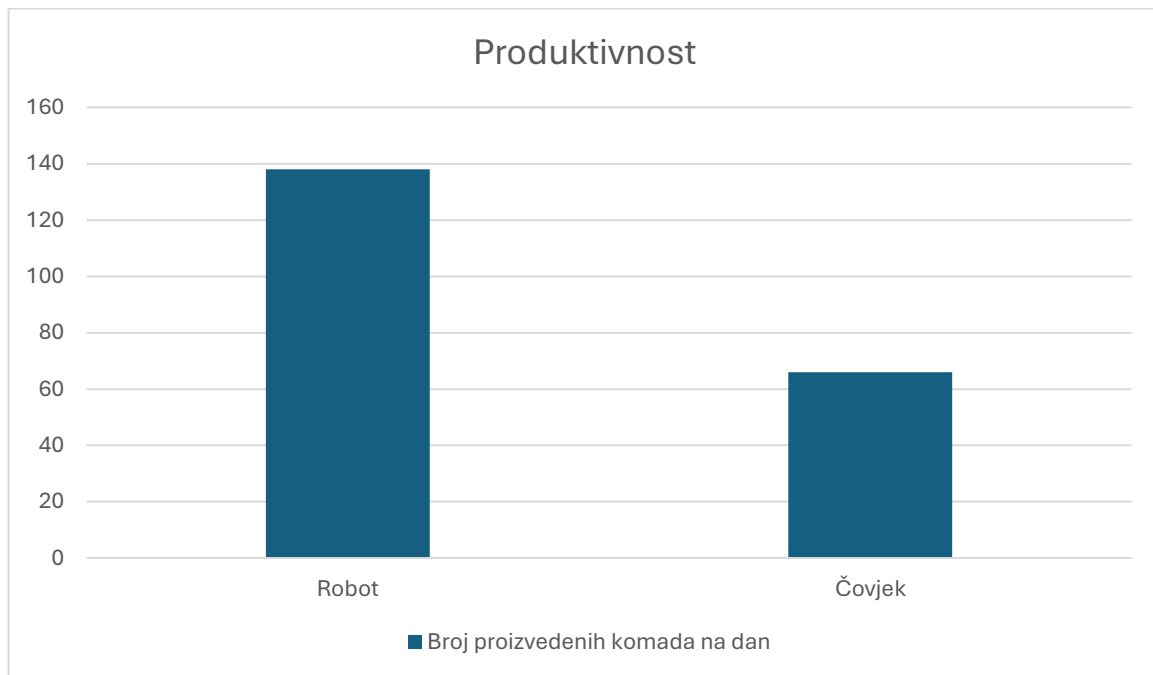
Iz prikazane tablice vidljivo je da su troškovi izrade jednog zateznog elementa porasli nakon uvođenja robotiziranog zavarivanja za 6,58%.

8.1. Isplativost uvođenja robotiziranog zavarivanja

Usporedbom proizvodnog ciklusa prije i nakon uvođenja robotizacije prikazani su u sljedećim grafovima. Uvođenje robotiziranog zavarivanja ima velik utjecaj na proizvodnju. Uz povećanu produktivnost s obzirom na to da su roboti brži i precizniji od radnika u zavarivanju. To za rezultat daje veću količinu gotovih proizvoda u istom vremenu. Robotizirano zavarivanje primjenjuje se na velike serije kako bi se isplatilo. Za pojedinačne komade zbog vremena programiranja nije ekonomski isplativo. Izuzetno je bitna priprema komada što znači da nema geometrijskih nepravilnosti koje bi dovele do grešaka kod zavarivanja. Čovjek se u toj situaciji može prilagoditi nepravilnostima. Sa slike 43 vidljiva je usporedba proizvedenih komada robotske linije i čovjeka. Broj od 138 komada sa robotske linije je prosjek izrađenih komada u godini dana. Broj od 66 komada koje proizvedu radnici je norma koja je postavljena od strane rukovoditelja proizvodnje. Vidljivo je da robotizirana linija za zavarivanje proizvede i više nego

dvostruko komada od ručne proizvodnje, točnije to je 109,09% više proizvedenih komada. Također treba uzeti u obzir da intenzitet proizvodnje kod robota je jednak na početku dana i na kraju, a čovjekov intenzitet pada tijekom vremena.

Slika 43 *Prikaz produktivnosti*



Izvor: Izradio autor

9. ZAKLJUČAK

Na temelju proučenih teorijskih činjenica i napravljenih troškovnih analiza u realnoj proizvodnji izvode se slijedeći zaključci:

1. Povećanje produktivnosti je ono čemu teže sva poduzeća u svim vrstama proizvodnje. U što manje vremena proizvesti što više proizvoda ili usluga bez pada kvalitete. Broj poslova koji se zamjenjuju robotima raste iz godine u godinu i taj broj će u budućnosti biti sve veći.
2. Uvođenje robotiziranog zavarivanja u poduzeće Deltabloc Components odlučeno je zbog potrebe izrade velikih serija zateznih elemenata.
3. Usporedbom troškova izrade zateznih elemenata ručnim i robotiziranim postupcima uočene su sličnosti i razlike bitne za ispravnu odluku treba li ili ne uvesti robotizirano zavarivanje.
4. Troškovi materijala su jednaki u obje varijante kod proizvodnje jednakog zateznog elementa.
5. Troškovi rada su veći kod robotiziranog zavarivanja zbog cijene rada robota. Također amortizacija za ručno zavarivanje je puno manja zbog početne investicije koja je kod robotiziranog zavarivanja višestruko veća.
6. Logično je da je početna investicija kod robotiziranog zavarivanja puno veća, ali se ta investicija isplati zbog brže proizvodnje zateznih elemenata na dnevnoj bazi. Povećanje produktivnosti od približno 109% na dan je i više nego isplativa investicija.
7. Dugoročni benefiti koje nam daje robotizirano zavarivanje uključuje i poboljšanu sigurnost te veću kvalitetu zavara. Smanjuje se potreba za popravcima zbog dosljednosti zavara. Sigurnost je povećana zbog toga što je smanjena izloženost radnika. Smanjena je opasnost od opekline, izlaganja UV zračenju i udisanju štetnih plinova i para.
8. Poslovi zavarivanja su često nepredvidivi i zahtijevaju prilagodbu u čemu čovjek ima prednost te robotizacija neće u potpunosti istisnuti ljudski faktor sa ovih poslova.
9. U ovom konkretnom slučaju obrađenom u ovom završnom radu, uvođenje robotiziranog zavarivanja zateznih elemenata se definitivno ISPLATI.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

Bana Josipa Jelačića 22/a, Čakovec

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, internetskih i drugih izvora) bez pravilnog citiranja. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom i nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Marko Čerovec (ime i

prezime studenta) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću,

izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog rada pod naslovom

Utjecaj uvođenja robotizacije na produktivnost
zavaračnika kod izrade zatezanih elemenata

te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

Čerovec Marko

(vlastoručni potpis)

Literatura

1. <https://autoline.nz/otc-daihen/> (Datum pristupa: 20.03.2024.)
2. <https://extranet.deltabloc.com/en> (Datum pristupa: 05.05.2024.)
3. Gojić M. (2008.): *Tehnike spajanja i razdvajanja materijala*, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Zagreb
4. https://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Robotika_uvod.pdf (Datum pristupa: 19.03.2024.)
5. <https://www.proel-automatizacija.com/industrijski-robot/> (Datum pristupa: 19.03.2024.)
6. <https://servus.hr/> (Datum pristupa: 20.03.2024.)
7. <https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja> (Datum pristupa: 28.04.2024.)
8. <https://var.rs/sve-o-zavarivanju/migmag-zavarivanje-co2-zavarivanje/> (Datum pristupa 28.04.2024.)
9. D. Kantolić: Završni rad, Robotizirano MAG zavarivanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
10. I. Karaga: Diplomski rad, Analiza primjene tehnike njihanja pri robotiziranom MAG zavarivanju, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
11. K. Major: Diplomski rad, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.
12. Milićević R. (2011.): *Zavarivanje – postupci-ispitivanje-zaštita*, Beograd
13. J. Purgar: Završni rad, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2022.
14. V. Panić: Zavarivanje, predavanja iz kolegija „Zavarivanje 2“ /Datum pristupa: 24.06.2024.)

Popis ilustracija

Slika 1. Shematski prikaz MAG zavarivanja	3
Slika 2. Prikaz MAG postupka	4
Slika 3. Osnovni načini vođenja pištolja, odnosno vrha žice	9
Slika 4. Industrijski roboti	10
Slika 5. Robotski manipulator	13
Slika 6. Upravljačka jedinica	14
Slika 7. Izvor struje za zavarivanje	15
Slika 8. Pištolj za robotsko zavarivanje	16
Slika 9. Jedinica za čišćenje	17
Slika 10. Kontroler (teach panel)	17
Slika 11. Shematski prikaz online programiranja	18
Slika 12. Shematski prikaz offline programiranja	19
Slika 13. Zatezni elementi	20
Slika 14. Zatezni elementi	21
Slika 15. Zatezni elementi	21
Slika 16. Betonski zid na autocesti	22
Slika 17. Proizvodna hala DBC-a	24
Slika 18. Zapakirani spojni elementi	25
Slika 19. Limeni poklopac	26
Slika 20. Armaturne mreže	26
Slika 21. Aparat za zavarivanje OTC P452E	29
Slika 22. Nacrt zateznog elementa	30
Slika 23. Repromaterijal	31
Slika 24. Šablona sa zateznim elementom	33
Slika 25. Robotska stanica za zavarivanje	41
Slika 26. Robotska ruka OTC	42
Slika 27. Tehnički podaci robotske ruke OTC	43
Slika 28. Izvori struje OTC P400	44
Slika 29. Upravljačka jedinica OTC	45
Slika 30. Privjesak za učenje	45
Slika 31. Stanica za čišćenje	46
Slika 32. Regulatori plina ERW2	47

Slika 33. Baterije plina - Corgon	47
Slika 34. Okretni stol	48
Slika 35. Žica za zavarivanje	48
Slika 36. Šablona za zavarivanje	49
Slika 37. Hvataljke u zatvorenom položaju	50
Slika 38. Prikaz dijela programa	52
Slika 39. Dio programa sa zavarivanjem	53
Slika 40. Sučeljeni zavar	54
Slika 41. Proces zavarivanja	55
Slika 42. Zavareni komad	55
Slika 43. Prikaz produktivnosti	63

Popis tablica

Tablica 1. Plan za rezanje betonskog željeza	32
Tablica 2. Plan za brušenje profila	32
Tablica 3. Tablica troškova ručnog zavarivanja	39
Tablica 4. Specifikacija postupka zavarivanja	51
Tablica 5. Tablica troškova robotiziranog zavarivanja	61
Tablica 6. Usporedba troškova	62