

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**ANALIZA IZDELAVE VRVNEGA BOBNA PRI
ROČNEM IN ROBOTSKEM VARJENJU**

Kandidat: Goran Rajnar

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić, univ. dipl. gosp. inž.

Mentor v podjetju: dr. Timi Gomboc

Lektor: Ivo Podojsteršek, prof. slov. in univ. dipl. komp.

Maribor, 2023

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Goran Rajnar sem avtor diplomskega dela z naslovom Analiza izdelave vrvnega bobna pri ročnem in robotskem varjenju, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darka Friščića, univ. dipl. gosp. inž..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Murska Sobota, april 2023

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Darku Friščiću za predano znanje že v času študija, ter za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela.

Zahvala gre tudi podjetju BJB Strojno ključavničarstvo, ki mi je omogočilo izdelavo diplomskega dela, kakor tudi mentorju dr. Timiju Gombocu za strokovno pomoč

Posebna zahvala gre mojemu dekletu Ines, ki mi je ves čas študija stala ob strani, kakor tudi staršem za razumevanje in podporo.

POVZETEK

V diplomskem delu obravnavam analizo izdelave vrvnega bobna in med sabo primerjam postopek ročnega načina varjenja z robotskim postopkom varjenja. Diplomsko delo je nastalo na podlagi obravnave realnega primera v podjetju BJB strojno ključavničarstvo, ki je zaradi večjega obsega naročil pred dilemo, nadaljevati izdelavo vrvnih bobnov z obstoječim proizvodnim postopkom, ali investirati v posodobitev tehnološke opreme, natančneje robotske celice.

V prvem delu diplomskega dela sem s pomočjo strokovne literature predstavil tehnike spajanja materialov s poudarkom na MIG/MAG varjenju. Opisal sem proces varjenja MIG/MAG, tehnološke značilnosti postopka in potrebno opremo za varjenje MIG/MAG. Prikazane so tudi prednosti in slabosti varjenja z omenjenim postopkom.

V nadaljevanju je v praktičnem delu predstavljen celoten potek izdelave vrvnega bobna. Na podlagi praktičnega primera sem pridobil potrebne podatke in jih nato v sklopu analize izdelave vrvnega bobna predstavil in izračunal lastno stroškovno ceno. Poglavje je razdeljeno na ročni postopek izdelave in na robotski postopek izdelave vrvnega bobna. V tabeli analiza dela ročnega varjenja in v tabeli analiza dela pri robotskem načinu varjenja so opisane posamezne aktivnosti in čas trajanja, ki predstavljajo izhodišče za izračun normativnih časov

V zaključku diplomskega dela sem primerjal med sabo oba načina izdelave, tako iz vidika stroškov kakor tudi same kvalitete. Izračunal sem prihranek in s pomočjo grafov prikazal vrednost stroškov pri obeh postopkih izdelave. V sklopu krovne teme sem opisal področje varnosti, ki je zelo pomemben faktor v procesu izdelave. Na koncu sem v zaključnem sklepu podal odgovor na zastavljene hipoteze in predstavil svoj pogled o finančni smiselnosti investiranja v robotizirani način proizvodnje.

Diplomsko delo ponuja dragocen pogled na prednosti in slabosti obeh proučevanih proizvodnih postopkov ter zagotavlja pomembna spoznanja za podjetja, ki se srečujejo s podobnimi tehnološkimi izzivi.

Ključne besede: *stroškovna kalkulacija, varjenje, MIG/MAG varjenje, normativni čas, stroški, varnost.*

ABSTRACT

Analysis of rope drum fabrication in manual and robotic welding

In my thesis I analyse and compare the technological process of manufacturing a rope drum between a classic manual (hand) welding process and a robotic welding process. The thesis is based on a real case study of the company BJB machine locksmithing, which due to an increase in the volume of orders, is faced with the dilemma of whether to continue the production of rope drums with the existing production process, or to invest in the modernisation of technological equipment, more specifically the robotic cell.

In the first part of the thesis, I present material joining techniques based on professional literature, with emphasis on MIG/MAG welding. I describe the MIG/MAG welding process, the technological characteristics of the process, and the necessary equipment for MIG/MAG welding. I also present the advantages and disadvantages of this welding method.

In the practical part of the thesis, I describe the entire process of manufacturing a rope drum. Based on a practical example, I collected the necessary data, presented and calculated the actual cost of manufacturing a rope drum in the analysis section. The chapter is divided into the manual manufacturing process and the robotic manufacturing process of the rope drum. The analysis of manual welding and the analysis of the robotic welding method include a description of individual activities and the duration of each step, which serve as the basis for calculating the normative times.

In the conclusion of the thesis, I compare the two manufacturing methods in terms of cost and quality. I calculated the savings and presented the cost values for both manufacturing methods using graphs. As part of the pearson set assignment theme, I described the area of safety which is a very important factor in the manufacturing process. Finally, I provide an answer to the hypotheses posed in the introduction and present my view on the financial feasibility of investing in a robotized manufacturing process.

The thesis offers valuable insights into the advantages and disadvantages of both studied production methods and provides important findings for companies facing similar technological challenges.

Keywords: *cost calculation, welding, MIG/MAG welding, normative time, costs, safety.*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	7
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	7
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	8
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	8
2	PREDSTAVITEV PODJETJA	9
3	PREDSTAVITEV IZDELKA – VRVNI BOBEN	10
4	PREGLED TEORIJE	12
4.1	OBLOČNI VARILNI POSTOPKI	13
4.1.1	<i>Varilni oblok.....</i>	<i>13</i>
4.1.2	<i>Varilni parametri.....</i>	<i>14</i>
4.1.3	<i>Dodajni material.....</i>	<i>15</i>
4.1.4	<i>Lege varjenja.....</i>	<i>16</i>
4.2	VARJENJE MIG IN MAG.....	17
4.2.1	<i>Proces varjenja MIG/MAG.....</i>	<i>17</i>
4.2.2	<i>Oprema za varjenje MIG/MAG</i>	<i>18</i>
4.2.3	<i>Dodajni material za varjenje MIG/MAG.....</i>	<i>20</i>
4.2.4	<i>Zaščitni plini za varjenje MIG/MAG</i>	<i>20</i>
4.2.5	<i>Tehnološke značilnosti varjenja MIG/MAG</i>	<i>21</i>
4.2.6	<i>Prednosti in slabosti MIG/MAG VARJENJA ter njegova uporaba</i>	<i>22</i>
5	ANALIZA VARJENJA VRVNEGA BOBNA	23
5.1	POSTOPEK IZDELAVE	27
5.2	ROČNI POSTOPEK IZDELAVE VRVNEGA BOBNA.....	30
5.2.1	<i>Analiza dela ročnega postopka izdelave.....</i>	<i>33</i>
5.2.2	<i>Izračun stroškov ročnega postopka izdelave</i>	<i>34</i>
5.2.3	<i>Stroškovna kalkulacija ročnega postopka izdelave</i>	<i>38</i>
5.3	ROBOTSKI POSTOPEK IZDELAVE VRVNEGA BOBNA	39
5.3.1	<i>Postopek izdelave z robotskim načinom varjenja</i>	<i>44</i>
5.3.2	<i>Izračun stroškov pri robotskem postopku izdelave</i>	<i>50</i>
5.3.3	<i>Stroškovna kalkulacija robotskega postopka izdelave.....</i>	<i>55</i>
5.4	STROŠKOVNA PRIMERJAVA OBEH NAČINOV IZDELAVE	57
5.5	PRIMERJAVE KVALITETE ZVARNEGA SPOJA.....	59

6	VARNOST.....	61
7	SKLEP.....	63
8	VIRI IN LITERATURA	66

KAZALO SLIK

SLIKA 1: LINIJA ZA PRIDELAVO SOKA.....	9
SLIKA 2: 3D MODEL VRVNEGA BOBNA	10
SLIKA 3: GOZDARSKI VITEL	11
SLIKA 4: RAZDELITEV POSTOPKOV VARJENJA	12
SLIKA 5: VPLIV JAKOSTI VARILNEGA TOKA IN OBLOČNE NAPETOSTI NA OBLIKO VARA.....	14
SLIKA 6: OZNAKE ZA LEGE OBLOČNEGA VARJENJA.....	16
SLIKA 7: SHEMATSKI PRIKAZ MAG VARJENJA.....	18
SLIKA 8: OPREMA ZA VARJENJE	19
SLIKA 9: KOLUT VARILNE ŽICE	20
SLIKA 10: SESTAVNI KOSI VRVNEGA BOBNA	27
SLIKA 11: SPODNJA PLOŠČA IN NOTRANJA CEV	28
SLIKA 12: SPODNJA PLOŠČA IN OJAČITEV	28
SLIKA 13: ZGORNJA PLOŠČA Z ZAVORNIM OBROČEM	29
SLIKA 14: 3D MODEL VRVNEGA BOBNA Z ZVARI	29
SLIKA 15: VARILNI IZVOR JESS PROPULSE 400.....	31
SLIKA 16: ZABOJ S SESTAVNIMI KOSI	32
SLIKA 17: PRIPRAVA SESTAVNIH KOSOV	32
SLIKA 18: PROCES VARJENJA	32
SLIKA 19: VARILNI ROBOT ABB IRB 1600.....	40
SLIKA 20: VARILNI IZVOR VPS 4000 DIGIT.....	41
SLIKA 21: ROBOTSKE GORILNIKE ABIROB W500	42
SLIKA 22: SISTEM ZA ČIŠČENJE GORILNIKE IN ODREZ ŽICE	43
SLIKA 23: KRMILNIK ABB IRC 5.....	44
SLIKA 24: PRIKAZ ROBOTSKEGA VARJENJA VRVNEGA BOBNA.....	45
SLIKA 25: PRIPRAVA KOSOV ZA ROBOTSKE VARJENJE	45
SLIKA 26: PRIPRAVA ZGORNJE PLOŠČE ZA ROBOTSKE VARJENJE.....	46
SLIKA 27: VRVNI BOBEN PO KONČANEM ROBOTSKEM VARJENJU	46
SLIKA 28: POSTAVITEV KONČANIH BOBNOV NA PALETO	47
SLIKA 29: GRAF PRIMERJAVE STROŠKOV PRI OBEH POSTOPKIH IZDELAVE	57

SLIKA 30: GRAF PRIMERJAVA STROŠKOV PRI RAZLIČNIH KOLIČINAH	58
SLIKA 31: PRIMERJAVA ZVARA MED ROČNIM IN ROBOTSIM NAČINOM IZDELAVE.....	59
SLIKA 32: PRIMERJAVA ZVARA NA ZAVORNEM OBROČU	59
SLIKA 33: ROČNI NAČIN IZDELAVE (LEVO) IN ROBOTSKI (DESNO).....	60
SLIKA 34: VARNOSTNA OPREMA ZA VARJENJE	61

KAZALO TABEL

TABELA 1: ANALIZA DELA ROČNEGA VARJENJA.....	33
TABELA 2: PODATKI ZA IZRAČUN STROŠKOV	35
TABELA 3: STROŠKOVNA KALKULACIJA ROČNEGA VARJENJA	38
TABELA 4: ANALIZA DELA PRI ROBOTSKEM NAČINU VARJENJA	48
TABELA 5: PODATKI ZA IZRAČUN STROŠKOV ROBOTSKEGA NAČINA VARJENJA	50
TABELA 6: STROŠKOVNA KALKULACIJA ROBOTSKEGA VARJENJA	56

SEZNAM KRATIC

MAG - Metal active gas (obločno varjenje s tanko žico v zaščiti aktivnih plinov)

MIG - Metal inert gas (obločno varjenje s tanko žico v zaščiti nevtralnih plinov)

MMA - varjenje z oplasčeno elektrodo

TIG - Tungsten inert gas (obločno varjenje z netaljivo elektrodo v zaščiti inertnih plinov)

EPP - varjenje elektro pod praškom

ABB - Asea Brown Boveri

UT - ultrazvočna preiskava

RT - radiografska preiskava

MT - kontrola s pomočjo magnetnih delcev

PT - penetrantska preiskava

1 UVOD

Tehnologija (pametni telefoni, prenosni računalniki, pametne naprave za dom, avtonomna vozila) je postala sestavni del vsakdanjega življenja, saj oblikuje način dela, komuniciranje in celo interakcijo s svetom okoli nas. Poskrbela je, da so številni vidiki vsakdanjega življenja bolj priročni in učinkoviti.

Prav tako je tehnologija na področju robotike v zadnjih letih doživela velik razcvet in se vse pogostejše uporablja v vsakdanjem življenju. Robotika je pomembno vplivala na številne panoge, od proizvodnje in prometa do zdravstva in maloprodaje. Eden od najbolj očitnih načinov uporabe robotike v vsakdanjem življenju je proizvodnja. Robotika se že vrsto let uporablja v tovarnah za povečanje hitrosti proizvodnje. Delo, ki ga opravi robot, je veliko bolj natančno, zmogljivo, ponovljivo, predvsem pa opravljeno v veliko krajšem času. Z robotizacijo delovnih mest razbremenimo delo človeka in zagotavljamo višji varnostni standard v procesu dela. Vsi ti dejavniki zagotavljajo višjo kvaliteto izdelkov, večjo produktivnost, rezultat tega pa je zmanjšanje stroškov proizvodnje.

Ker se bo tehnologija robotike še naprej razvijala, bo verjetno imela še večjo vlogo v vsakdanjem življenju, kar bo prineslo nove koristi in priložnosti, vendar je prav tako pomembno, da tehnologijo uporabljamo odgovorno in uravnoteženo ter tako zagotovimo, da so njene koristi čim večje, negativni vplivi pa čim manjši.

Eden glavnih negativnih učinkov uporabe robotike je izguba delovnih mest. Avtomatizacija nalog in procesov z robotiko lahko v nekaterih panogah povzroči izgubo delovnih mest. To lahko povzroči večjo brezposelnost in finančno nestabilnost za tiste, ki izgubijo delo. To je še posebej zaskrbljujoče za delovna mesta, kjer poteka ponavljajoče se delo in se zahteva nizko kvalificirani kader. Drugi negativni učinek so stroški. Uvedba robotske tehnologije je lahko draga zlasti za mala in srednje velika podjetja. To lahko obremeni finance teh podjetij in jim otežuje tekmovanje z večjimi podjetji, ki si lahko privoščijo naložbe v robotsko tehnologijo.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Diplomsko delo je nastalo na podlagi obravnave realnega problema. Problem, s katerim se bom ukvarjal v diplomskem delu, je izdelava vrvnega bobna. Vrvni boben je sestavni del gozdarskih vitel in je zgrajen iz več delov, ki so med seboj zvarjeni. Zaradi pridobitve večjega obsega naročil izdelave vrvnega bobna se v podjetju soočajo z izzivom, ali nadaljevati z obstoječim postopkom izdelave ali pa je bolj smiselno v proizvodni proces izdelave umestiti varilni robot. V diplomskem delu bom primerjal izdelavo med ročnim in robotskim načinom varjenja ter skušal na podlagi izračunov podkrepiti svojo trditev, da je robotski način varjenja vrvnega bobna učinkovitejši.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je na podlagi analize obeh načinov varjenja izbrati tisti postopek, ki je učinkovitejši, in izbiro tudi ustrezno utemeljiti.

Cilj diplomskega dela:

- Predstaviti osnovne tehnike varjenja.
- Prikazati postopek izdelave vrvnega bobna.
- Izmeriti čas izdelave pri obeh postopkih varjenja
- Prikazati izmerjene čase.
- Prikazati stroške pri obeh načinih varjenja.
- Primerjati med sabo oba postopka varjenja.

Diplomsko delo temelji na naslednjih hipotezah:

- **H1:** Varjenje s pomočjo robota je učinkovitejše od ročnega varjenja.
- **H2:** Kvaliteta zvarnega spoja pri robotskem varjenju je v primerjavi z ročnim načinom varjenja večja.
- **H3:** Pri ročnem načinu varjenja porabimo več dodatnega materiala.
- **H4:** Pravilna priprava dela zmanjša verjetnost nastanka poškodb.

1.3 Predpostavke in omejitve

Moja predpostavka je, da bo z uvedbo robota proizvodni proces bolj kakovosten in stroškovno učinkovitejši.

Za obravnavo zastavljene problematike je ključnega pomena poznavanje tematike. Zaradi obsežnosti tematike in poslovne skrivnosti bodo nekatera področja omejeno predstavljena.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu so bile uporabljene naslednje raziskovalne metode:

- metoda deskripcije (za opisovanje dejstev in pojavov),
- metoda kompilacije (za pridobivanje spoznanj in stališč iz strokovne literature),
- metoda študija primera,
- metoda zbiranja podatkov iz internetnega vira,
- metoda dedukcije (logično sklepanje na temelju splošnih zaznav),
- metoda sinteze (oblikovanje zaključkov na osnovi lastnih spoznanj).

2 PREDSTAVITEV PODJETJA

Podjetje BJB Strojno ključavničarstvo je družinsko podjetje z več kot desetletno tradicijo. Del dejavnosti v podjetju predstavlja izdelava linij za proizvodnjo sokov iz različnih vrst sadja in zelenjave ter polnjenje le-teh, izdelava linij za proizvodnjo bučnega olja ter izdelava stiskalnic za hladno stiskanje olja vseh vrst.

Podjetje se ukvarja tudi z izdelavo nadstreškov za avtomobile in terase, jeklenih konstrukcij, kakor tudi z izdelavo notranjih in zunanjih ograj za balkone, stopnišča, vrtove itd.

Ponujajo tudi naslednje storitve:

- struženje,
- rezkanje,
- razrez cevi in profilov,
- varjenje,
- razrez in upogib pločevine,
- laserski razrez.

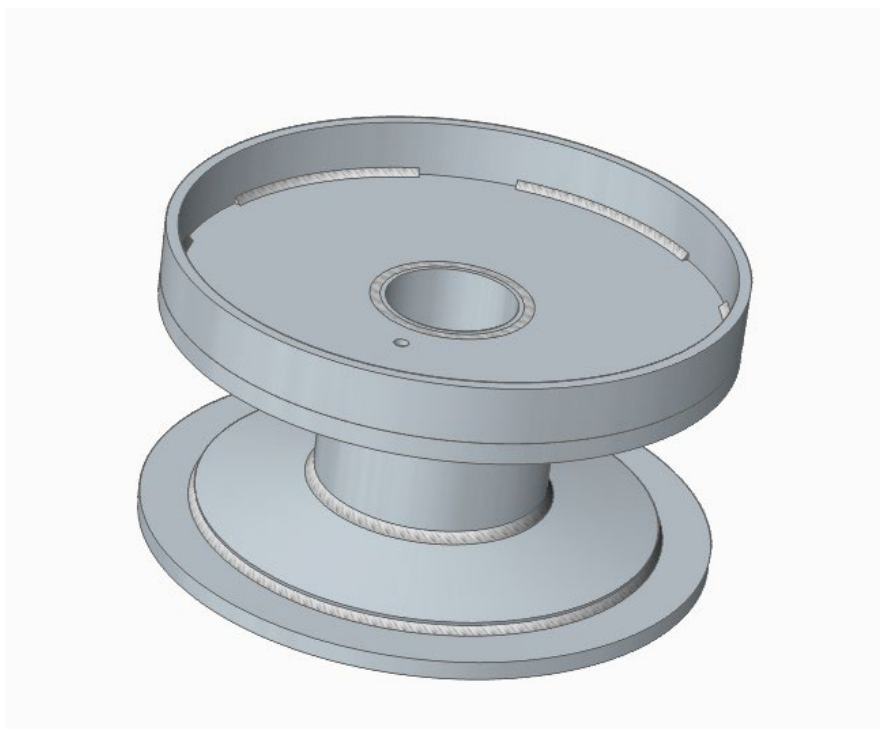


Slika 1: Linija za pridelavo soka

Vir: (<https://www.bjb.si/sl/izdelki/category/5>)

3 PREDSTAVITEV IZDELKA – VRVNI BOBEN

Vrvni boben je osrčje gozdarske vitle, na katerem je navita vlečna vrv. Je kompleksna zadeva, ki je ni mogoče izdelati iz enega samega velikega surovca. Sestavljena je iz več sestavnih delov, ki so med seboj spajani s tehniko varjenja v neločljivo zvezo. V osnovi je sestavljen iz dveh plošč, med katerima sta privarjeni notranja in zunanja cev. Spodnja plošča ima dodatno ojačitev, medtem ko je na zgornjo ploščo privarjen zavorni obroč.



Slika 2: 3D model vrvnega bobna

Vir: (lastni vir, 2023)

Osnovna funkcija gozdarskega vitla je spravilo lesa. Uporabljamo ga predvsem na hribovitih in težko dostopnih mestih v gozdu. S pomočjo jeklene vrvi, ki je ovita okrog vrvnega bobna, lahko privlečemo hlodovino do mesta, ki je dostopna za druga transportna sredstva.

»Gozdarski vitel je pomemben sestavni element vsakega gozdarskega traktorja, brez katerega bi bil transport lesa iz sečišča do gozdne ceste precej bolj zapleten in nevaren. Gozdarski vitel omogoča privlačenje lesa od mesta podiranja do gozdne vlake (oz. traktorja) in nato vlačenje po vlaki.

Običajno je nameščen na zadnjo stran traktorja nad naletno desko. Skupaj z naletno desko lahko tvori traktorski priključek. Takšna oblika je primerna predvsem za občasno delo v gozdu. Traktorji, ki so namenjeni izključno delo v gozdu, imajo vitel vgrajen.

Vitli so lahko mehanski, hidravlični ali elektrohidravlični. V preteklosti so se uporabljali predvsem mehanski vitli, ki niso imeli daljinskega upravljanja, njihovo delovanje pa je bilo grobo. Danes prednjačijo hidravlični in elektrohidravlični vitli z daljinskim upravljanjem.



Slika 3: Gozdarski vitel

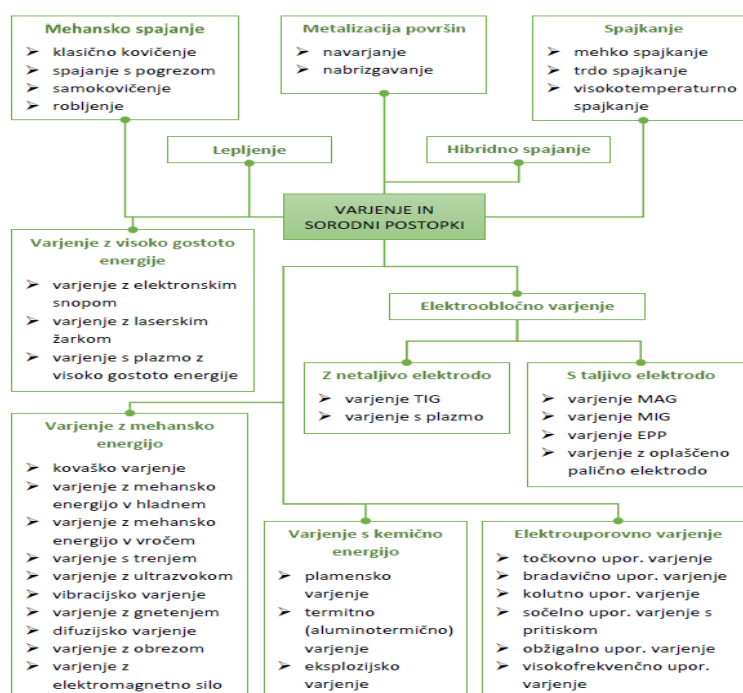
Vir: (<https://uniforest.si/proizvod/gozdarski-vitel-50-e-er>)

Najpogostejše jih delimo glede na število bobnov. Poznamo enobobenski ali dvobobenski vitel. Dvobobenski imajo dva bobna z vrvjo in omogočajo istočasno delo z večjim številom hlodov kot enobobenski. Pri dvobobenskih razvlačujemo dve vrvi in lahko naenkrat privežemo več lesa. Vsak boben ima ločeno upravljanje.

Zmogljivosti vitlov so različne. Pomembna je predvsem vlečna sila, ki pove zmogljivost vlečenja vitla. Višja kot je, več lesa naenkrat lahko vitel vleče. Zmogljivosti gozdarskih vitlov so različne in sežejo preko 100 kN. Za občasna dela v gozdu se običajno uporabljajo manj zmogljivi vitli, medtem ko imajo specializirani traktorji za delo v gozdu nameščene močnejše vitle.« (Gozdarski vitel, 2023)

4 PREGLED TEORIJE

»Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov so izdelovalne tehnologije, pri katerih z energijo v trajno, trdno in neločljivo zvezo povežemo dva ali več kovinskih ali nekovinskih elementov. Spajamo najrazličnejše materiale z zelo različno vrsto energije. Varjenje je najbolj prepoznaven postopek med tehnikami spajanja materialov v trajno zvezo. Na splošno ga delimo po različnih merilih, na primer glede na vrsto uporabljene energije za segrevanje in taljenje osnovnega in dodatnega materiala, glede na temperaturo spajanja, vrsto zaščitnega medija, stopnjo avtomatizacije, glede na vrsto in obliko uporabljenega dodatnega materiala, glede na lego varjenja in drugo.« (Tušek, 2014)



Slika 4: Razdelitev postopkov varjenja

Vir: (Tušek, 2014)

»Varjenje ima danes v industrijski proizvodnji pomembno vlogo, saj je postalo zaradi učinkovitosti in ekonomičnosti eden glavnih tehnoloških postopkov pri proizvodnji in vzdrževanju kovinskih delov, predvsem zaradi učinkovitosti in ekonomičnosti.« (Čretnik, 2008)

4.1 Obločni varilni postopki

»Najpogosteje od vseh postopkov varjenja materialov v trajno neločljivo zvezo uporabljamo vse vrste obločnih tehnik. Od teh so v industriji najširše uporabljeni ročno obločno varjenje z oplašeno elektrodo, varjenje MAG in varjenje TIG. Poleg omenjenih postopkov obločnega varjenja poznamo še varjenje MIG, varjenje s plazmo in varjenje pod praškom ter še nekatere druge postopke.

Pri obločnem varjenju uporabljamo električni varilni oblok kot vir toplote za izdelavo zvara, navara in zvarnega spoja. Poznamo številne postopke in načine, ki jih razlikujemo po različnih merilih. Najpogosteje jih delimo glede na vrsto elektrode (taljiva, netaljiva), vrsto zaščitnega medija (varjenje v zaščiti plinov in pod praškom, varjenje z oplašeno palično elektrodo, varjenje brez dodatne zunanje zaščite), vrsto zaščitnega plina (varjenje v zaščiti aktivnih plinov, varjenje v zaščiti nevtrálnih plinov), glede na gostoto energije (klasično varjenje in varjenje z visoko gostoto energije), glede na stopnjo avtomatizacije (ročno, polavtomatsko, avtomatsko, robotizirano varjenje) ter glede na druga manj pomembna merila.

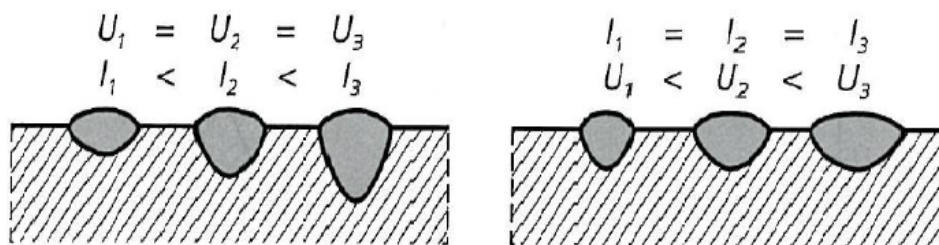
K osnovni opremi pri elektroobločnem varjenju spada vir energije oziroma vir varilnega toka, elektroda (taljiva, netaljiva), varilni oblok in dodatna oprema. K dodatni varilni opremi spadajo varilni kabli, oprema za dovod zaščitnega medija, merilni inštrumenti, razne vpenjalne klešče, sponse, čeljusti, oprema za čiščenje zvara in varilnih žic, oprema za sušenje elektrod in praška ter osebna zaščitna sredstva za varilca in pomožno varilno osebje.« (Tušek, 2014)

4.1.1 Varilni oblok

»Varilni oblok je orodje, s katerim varilec, avtomat ali robot opravlja želeno delo; to je da z njim izdela var, zvar, navar ali zvarni spoj. S strojniškega vidika je varilni oblok vir toplotne energije, ki z zapletenimi procesi nastane iz električne energije. S fizikalnega vidika pa je varilni oblok električno praznjenje v ioniziranem plinu. Varilni oblok, ki gori med negativno elektrodo (katodo) in pozitivno elektrodo (anodo), je del tokokroga, skozi katerega se prevaja varilni tok.

Dolžina obloka je pomemben parameter vsakega obločnega varjenja, čeprav je pravzaprav ne merimo, ker je izjemno zapleteno. Dolžina obloka se pri varjenju s taljivo elektrodo stalno spreminja, pri varjenju z netaljivo elektrodo pa je lahko stalna.

Dolžina obloka je skoraj v linearni povezavi z obločno napetostjo. Pri daljši dolžini obloka je padec napetosti večji, oblok gori stabilneje, širina obloka na varjencu je večja, kar pomeni, da dobimo širše teme vara.



Slika 5: Vpliv jakosti varilnega toka in obločne napetosti na obliko vara

Vir: (Tušek, 2014)

Pri ročnih obločnih varjenjih mora varilec regulirati dolžino obloka z vodenjem gorilnika oziroma vodenjem elektrode. Pri avtomatskih varjenjih, ko se žice dovajajo na mesto varjenja s pogonskim sistemom, z elektromotorjem, pa poznamo notranjo tokovno regulacijo dolžine obloka in zunanjo ali napetostno regulacijo dolžine obloka.« (Tušek, 2014)

4.1.2 Varilni parametri

»Najpomembnejši varilni parametri, ki določajo proces varjenja, vplivajo na količino pretaljenega osnovnega in dodatnega materiala ter na obliko vara, so jakost toka, obločna napetost, hitrost varjenja, vrsta toka in polariteta pri varjenju z enosmernim varilnim tokom, premer varilne žice in njena hitrost dovajanja v točko taljenja, dolžina prostega konca žice in nagib oziroma lega elektrode glede na smer varjenja. Najpomembnejši parameter je jakost toka, ki najbolj določa količino pretaljenega dodatnega in osnovnega materiala. Z večanjem jakosti toka se povečuje hitrost taljenja elektrode, ki je dodatni material, vnos energije v varjenec in s tem globino uvara. Drugi pomembni parameter je obločna napetost, to je padec napetosti v obloku. Obločno napetost moramo meriti čim bližje na obeh koncih obloka. V praksi to pomeni, da pri obločnem varjenju merimo tudi padec napetosti pri prenosu toka iz kontaktne šobe v žico ali iz varilnih klešč v elektrodo ter padce napetosti v oplaščeni elektrodi, pri varjenju EPP in varjenju MAG/MIG padec napetosti v prostem koncu žice ter pri varjenju TIG tudi padec napetosti v netaľjivi volframovi elektrodi.

S hitrostjo varjenja vplivamo na količino vnesene toplotne energije in s tem na maso pretaljenega osnovnega materiala. S premerom varilne žice ali elektrode vplivamo na obliko obloka, gostoto energije v njem in s tem na obliko vara. Pri tanjšem premeru varilne elektrode in pri nespremenjenih ostalih parametrih povečamo predvsem količino raztaljenega dodatnega materiala.« (Tušek, 2014)

4.1.3 Dodajni material

»Pri obločnih varjenjih skoraj vedno uporabljamo dodajni material, ki se tali zaradi obločne toplotne energije. V industriji uporabljamo dodatne materiale za obločna varjenja v obliki oploščanih paličnih elektrod, strženskih okroglih žic, masivnih okroglih žic, varilnih trakov, ploščatih masivnih žic, strženskih varilnih trakov in varilnih prahov različne zrnatosti. Skoraj vsak obločni postopek zahteva primeren dodajni material. Oplaščene palične elektrode uporabljamo za ročno obločno in gravitacijsko varjenje. Razlika med elektrodami je le v tem, da za ročno obločno varjenje uporabljamo elektrode, dolge od 250 mm do 450 mm, in s premerom od 5 do 8 mm, za gravitacijsko varjenje so dolge 1000 mm ali več in imajo premer od 6 do 10 mm ali celo več mm.

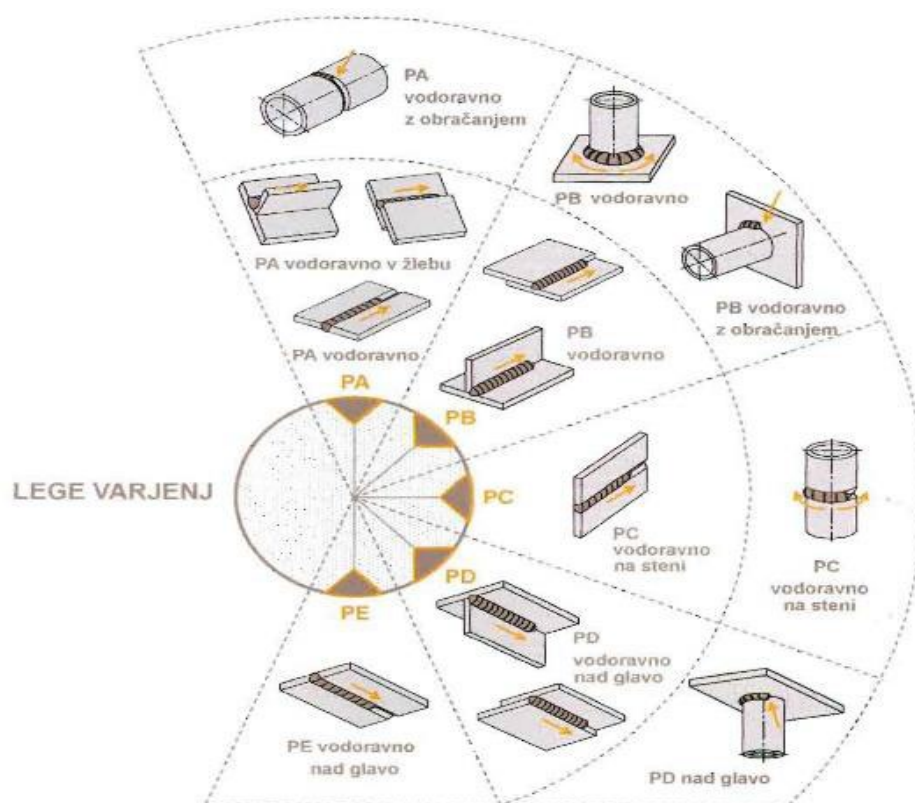
Za varjenje MIG/MAG in EPP (elektro pod praškom) uporabljamo žice, navite na kolut. Lahko so masivne, po celotnem prečnem preseku enake sestave, ali strženske, ki imajo v sredini preseka stržen za ugodnejše varjenje. Glede na obliko uporabljamo za varjenje MIG/MAG okrogle ali ploščate žice, za varjenje pod praškom pa okrogle, ploščate ali varilne trakove. Najpogostejše uporabljene okrogle žice za varjenje MAG/MIG imajo premer 0,8 do 2,4 mm in za varjenje pod praškom od 1,2 do 6 mm. Ploščate žice so običajno pravokotnega preseka in debeline od 0,3 do 0,6 mm ter širine od 1,5 do 5 mm.

Za varjenje TIG, mikroplazmo in plamensko ter ročno lasersko varjenje uporabljamo varilne palice z različnimi premeri. Za varjenje TIG in plamensko varjenje od 0,8 do 3,2 mm, za lasersko in mikroplazemsko varjenje pa od 0,1 do 0,8 mm.

Splošne zahteve glede kakovosti izdelave in prodaje dodatnih materialov na trgu so izredno visoke. Po eni strani gre za kakovost dimenzij in toleranc izdelave ter kemične sestave samih materialov, iz katerih izdelamo zvar in zvarni spoj, po drugi za kakovost pakiranja, skladiščenja in dobave dodatnih materialov do uporabnikov. Prav zato so bili sprejeti številni standardi, ki veljajo tudi v Sloveniji, da je pri nakupovanju, prevzemanju in dostavljanju dodatnih materialov čim manj nesporazumov in drugih nejasnosti.« (Tušek, 2014)

4.1.4 Lege varjenja

»Pri talilnih obločnih varjenjih poteka varjenje pri različnih varjenih konstrukcijah v zelo različnih legah. Nekatere najznačilnejše so označene po standardu SIST EN ISO 6947. Sicer poznamo štiri osnovne lege varjenja. Prva je vodoravna, ki po omenjenem standardu nosi oznako PA, druga je horizontalna, ki jo označujemo s PC, tretja vertikalna, ki nosi več oznak, kar je odvisno od smeri varjenja in vrste varjencev, četrta pa nadglavna z oznako PE. Ostale lege varjenja so vmesne« (Tušek, 2014)



Slika 6: Oznake za lege obločnega varjenja

Vir: (Tušek, 2014)

4.2 Varjenje MIG in MAG

»Varjenje MAG pomeni, da celoten proces gorenja varilnega obloka in taljenja osnovnega in dodatnega materiala poteka v zaščiti aktivnega plina. Za aktivni zaščitni plin uporabljamo čisti plin CO₂ z drugimi plini (Ar, He, N₂, O₂). Aktivni plin pomeni, da plin med procesom gorenja obloka, taljenja materialov in strjevanja taline vara kemično reagira. Najbolj aktiven plin je ogljikov dioksid (CO₂), ki med varjenjem razpade v ogljik in kisik.

Postopek MAG uporabljamo predvsem za varjenje malolegiranih konstrukcijskih jekel, mikrolegiranih drobnozrnatih jekel, krom-molibdenovih jekel in pogosto tudi za varjenje visokolegiranih in visokotrdnostnih jekel. Pri varjenju MIG uporabljamo le inertne, to je nevtralne pline, kot sta argon in helij ter njuni mešanici. Varjenje MIG uporabljamo predvsem za varjenje neželeznih kovin.

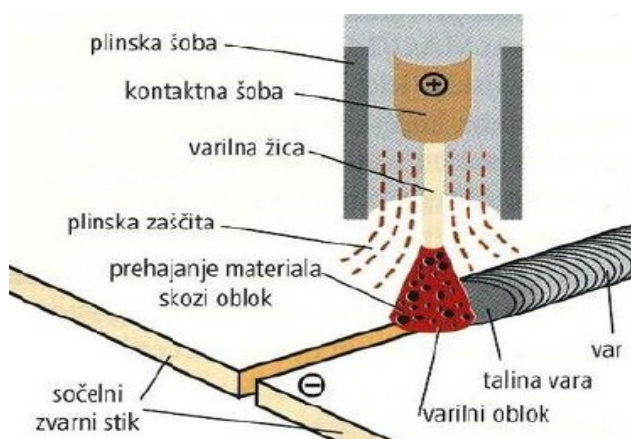
V obeh postopkih uporabljamo dodatni material v obliki okrogle ali ploščate masivne ali strženske žice, ki je navita na kolut in doteka na mesto varjenja med varjenjem s konstantno hitrostjo. Za vire varilnega toka uporabljamo predvsem usmernike, inverterske ali sinergijske vire toka, ki nam dajejo enosmerni varilni tok. Skoraj vedno varimo z enosmernim tokom, ki ima lahko stalno vrednost, utripno z eno samo frekvenco ali pa varilni tok niha z dvema različnima frekvencama.« (Tušek, 2014)

4.2.1 Proces varjenja MIG/MAG

»Pri varjenju MIG/MAG žica doteka na mesto varjenja s konstantno hitrostjo. To je hitrost, ki jo izberemo pred varjenjem in večinoma določa jakost varilnega toka. Ko se žica na začetku varjenja dotakne varjenca, steče varilni tok, ki ogreje in raztali konico žice, kar omogoči vžig obloka s kratkim stikom. Ko oblok zagori, se v njem med varjenjem tali žica in v obliki kapljic prehaja skozi oblok v talino vara ali pa prehaja iz žice v talino vara s kratkim stikom. Ko se vključi varilni tok, se odpre tudi elektromagnetni ventil, ki omogoča pretok plina za zaščito prostega konca žice in taline vara. Pri tem je pomembno, da plin steče prej kot zagori oblok, kar imenujemo predpih, in da se po ugasnitvi obloka plin skozi gorilnik za trenutek še pretaka, kar imenujemo zapih. Dolžina obloka se regulira z notranjo ali tokovno regulacijo. Varilni tok teče iz vira toka prek kontaktne šobe na žico, po njej v varilni oblok in po njem v osnovni material. Prav zato je pomembno, da so žice popolnoma okrogle, čiste in izdelane v predpisanem tolerančnem območju, da se električni tok iz kontaktne šobe v varilno žico prevaja

brez iskrenja in brez povečane kontaktne upornosti. Podobno kot za žice velja tudi za kontaktne šobe, da morajo biti izdelane v predpisanem tolerančnem območju.

V prostem koncu žice se del električne energije pretvori v toplotno. Podobno se zgodi v obloku. Dolžina prostega konca žice in dolžina obloka sta pomembna parametra, ki zelo vplivata na procese pri varjenju MIG/MAG. Vrsta zaščitnega plina vpliva na površinsko napetost taline vara, kar nadaljnje vpliva na obliko vara in tudi lastnosti vara. Z večanjem jakosti toka se poveča globina prevaritve, z večanjem obločne napetosti pa se podaljša oblok in poveča širina temena vara« (Tušek, 2014)



Slika 7: Shematski prikaz MAG varjenja

Vir: (Tušek, 2014)

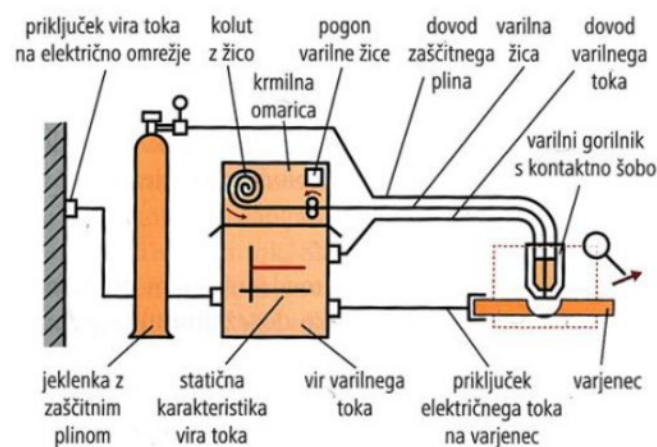
4.2.2 Oprema za varjenje MIG/MAG

»Oprema je za oba postopka enaka. Na splošno je sestavljena iz vira varilnega toka, krmilne omarice in koluta za žico, cevne paketa z gorilnikom in jeklenke za zaščitni plin. V praksi uporabljamo skoraj izključno vire toka za enosmerni tok in z vodoravno ali rahlo padajočo statično karakteristiko. Glede na navedeno razdelitev virov toka pa za varjenje MAG/MIG uporabljamo poleg varilnih usmernikov tudi varilne inverterje in sinergijske vira varilnega toka.

Vir varilnega toka je priključen na omrežno napetost, kar pomeni, da izmenični omrežni tok spreminja v enosmerne ustrezne jakosti in napetosti. Na krmilni omarici, ki je najpogostejše samostojna enota, nastavljamo varilne parametre. Lahko pa je krmilna omarica vgrajena v vir toka. Na krmilni omarici nastavljamo hitrost žice, pretok zaščitnega plina in parametre varilnega toka. Običajno z gumbom na gorilniku vključimo pogon žice, odpre se magnetni ventil za pretok plina in vključi se varilni tok, kar omogoča začetek varjenja. Ko prenehamo

variti, izključimo gumb na gorilniku, pogon žice se ustavi in varilni tok preneha teči. Istočasno se zapre elektromagnetni ventil za pretok plina. Opisani način varjenja je znan kot dvotaktni sistem vžiganja in ugašanja varilnega obloka. Poznamo tudi širitaknega, ki ga za varjenje MIG/MAG ne uporabljamo prav pogosto, ampak pogosteje za varjenje TIG. Sodobne krmilne enote, ki so lahko samostojne ali v okviru vira toka, omogočajo izbiro parametrov po predhodnih programih (sinergijski viri). Večina krmilnih enot je v sodobnih virih opremljena z računalniškim procesorjem, ki omogoča krmiljenje in shranjevanje varilnih aranžmajev za točno določen osnovni in dodajni material ter druge pogoje varjenja.

Pogon varilne žice je običajno v krmilni omarici ali na samem viru toka. Vsekakor je smiselno, da je žica gnana z več pari pogonskih koles, kar zagotavlja zanesljiv, stalen in enakomeren pogon žice. Če je pogon žice v viru toka ali krmilni omarici in je ta ob viru toka, je običajno dolžina cevne paketa omejena na 3 m. Pri večjih razdaljah moramo izbrati kombinirane pogone varilnih žic, kar pomeni, da moramo med virom toka in varilnim mestom namestiti dodaten pogon za varilno žico.



Slika 8: Oprema za varjenje

Vir: (Tušek, 2014)

»Push-pull« sistem je lahko v krmilni omarici ali drugi dodatni samostojni varilni enoti, lahko pa celo na varilnem gorilniku. Poznamo tudi varilne naprave za varjenje MIG/MAG, v katerih je manjši kolot z varilno žico skupaj s pogonom v varilnem gorilniku. Tak sistem uporabljamo predvsem za varjenje aluminija, ker je masa koluta z žico majhna, tako da za varilca ni večja obremenitev. Pri močnejših napravah za varjenje z višjimi varilnimi tokovi mora biti med varjenjem varilni gorilnik vodno hlajen.« (Tušek, 2014)

4.2.3 Dodajni material za varjenje MIG/MAG

»Pri varjenju MIG/MAG skoraj vedno uporabljamo dodajne materiale v obliki žice, ki je navita na kolut. Uporabljamo masivne in strženske žice. Po prečnem prerezu so lahko okrogle ali ploščate. Izbira vrste je pogojena s številnimi dejavniki. Pozorni moramo biti na nabavo teh materialov pri proizvajalcih in dobaviteljih. Pri tem so nam lahko v veliko pomoč različni mednarodno uveljavljeni standardi, ki veljajo tudi v Sloveniji. Osnovno pravilo, ki velja pri izbiri dodajnih materialov za varjenje MIG/MAG je, da jih podobno kot za druge postopke varjenja izbiramo predvsem glede na vrsto osnovnega materiala, ki ga varimo.« (Tušek, 2014)



Slika 9: Kolut varilne žice

Vir: (<https://www.varez.si/image/cache/data/Potro%C5%A1ni%20material/MAG-varilna-zica-HTW50-SG2-15-kg-180x180.jpg> , 2022)

4.2.4 Zaščitni plini za varjenje MIG/MAG

»Osnovna naloga zaščitnih plinov in plinskih mešanic je, da ščitijo elektrodo (konico žice), varilni oblok, talino vara in območje okoli vara pred atmosferskim vplivom, da stabilizirajo gorenje obloka in ugodno vplivajo na obliko obloka, odgor in prigor elementov iz taline vara.

Zaščitni plini za varjenje in rezanje so obravnavani v standardu SIST EN ISO 14175. Pri izbiri zaščitnega plina so najpomembnejše fizikalno-kemične lastnosti plinov in delno tudi njihova cena. Fizikalno-kemične lastnosti plinov, pomembne za varjenje, so toplotna prevodnost, ionizacijska in disociacijska energija, gostota, električna prevodnost, kemična aktivnost, temperatura utekočinjenja, specifična toplota, entalpija in topnost plina v kovini.« (Tušek, 2014)

»Za MAG varjenje se je prvotno uporabljal čisti CO₂, ki daje ob nižji ceni zadovoljivo kvaliteto. Odlikuje ga predvsem dober uvar in majhna poroznost, slabost pa je večje število obrizgov. V zadnjem času po MAG postopku varimo s plinskimi mešanicami, ki imajo pred čistim CO₂ številne prednosti. Aktivnemu plinu (CO₂ ali O₂) dodamo inertne pline (Ar, He). Klasična mešanica vsebuje 18–20% CO₂ ali do 6% O₂ v Ar.« (Gliha & Pučko, 2007)

4.2.5 Tehnološke značilnosti varjenja MIG/MAG

»Med vsemi obločnimi postopki se je zadnje desetletje najbolj uveljavilo varjenje MAG. Postopek omogoča visoko produktivnost, relativno hitro priučitev varilcev in varjenje visokokakovostnih varov. Jakost toka je najpomembnejši parameter tudi pri varjenju MIG/MAG. Z jakostjo toka ogrejemo prosti konec žice, v obloku pa se energija električnega toka pretvori v toploto, s katero talimo material. Z jakostjo toka je določena globina uvara. Pri varjenju MIG/MAG s klasičnimi viri določamo jakost toka predvsem z nastavitvami za hitrost žice na krmilni omarici ali na samem viru toka in z dolžino prostega konca žice med samim varjenjem.

Po postopku MAG lahko varimo v vseh legah. Za različne lege moramo izbrati ustrezne parametre in pravo tehnologijo varjenja. V vodoravni, in tudi v drugih legah, po navadi varimo v desno. Varilci pogosto varijo v levo, zaradi preglednosti dogajanj v obloku in talini vara pa nagnejo gorilnik za več kot 15° glede na navpično os. Ta način je za varilca najugodnejši in glede kakovosti sprejemljiv, če se ne zahteva globoka prevaritev. Za globoko prevaritev, predvsem pri zvarjanju kotnih zvarov, moramo variti v desno in gorilnik voditi skoraj pravokotno na linijo varjenja. Prav prevelik nagib gorilnika in slabo vodenje le-tega pogosto povzročita zlepljen medvarjencem in dodajnim materialom ali med posameznimi varki.« (Tušek, 2014)

4.2.6 Prednosti in slabosti MIG/MAG VARJENJA ter njegova uporaba

PREDNOSTI

V primerjavi z ročnim obločnim postopkom z oplašeno palično elektrodo dosegamo pri varjenju MIG/MAG višji talilni učinek, priučitev za varilca je enostavnejša, med varjenjem nastaja manj dima in manj odpadnega materiala. Prav tako je potrebno za čiščenje zvara manj časa. Z uporabo strženskih žic dosegamo visoko kakovost zvarov.

Prednosti:

- zelo produktiven postopek in kvalitetna površina krovnih varov,
- velik talilni učinek in velika hitrost varjenja,
- primeren za avtomatizacijo in robotizacijo,
- enostavnost priučitve.

POMANJKLJIVOSTI

»Postopka MIG/MAG ne moremo uporabiti na prostem, zaradi slabše zaščite taline vara. Na prostem ga lahko uporabimo le, če varimo s primernimi samozaščitnimi strženskimi žicami. Kakovost zvara je predvsem pri uporabi masivnih žic nižja v primerjavi z varjenjem z oplašeno, predvsem bazično elektrodo.« (Gliha & Pučko, 2007)

Slabosti:

- omejitve pri varjenju na prostem zaradi plinske zaščite,
- pri MAG in varjenju s strženskimi žicami nevarnost vključkov v žlindre,
- drage aparature.

Uporaba:

- varjenje konstrukcij, cevovodov, rezervoarjev,
- varjenje vseh kvalitet in debelin materialov,
- visoko produktivno in robotsko varjenje.

5 ANALIZA VARJENJA VRVNEGA BOBNA

Analiza dela je proces preučevanja delovnega mesta ali določene delovne operacije z namenom, da bi razumeli njene zahteve, ki so potrebni za učinkovito opravilo. Vključuje razčlenitev delovnega mesta na sestavne dele, opredelitev ključnih nalog in analizo zahtev delovnega mesta. Analiza dela se običajno izvaja z različnimi metodami, kot so opazovanje, intervjuji in vprašalniki. V proces je pomembno vključiti tudi zaposlene, saj imajo dragocen vpogled v delo in način njegovega opravljanja.

Na splošno je analiza dela pomembno orodje, ki ga je mogoče uporabiti za izboljšanje zasnove, upravljanja in uspešnosti delovnih mest in organizacij. Delodajalcem lahko pomaga razumeti zahteve delovnega mesta, pomaga pa lahko tudi pri prepoznavanju in obvladovanju morebitnih tveganj za zdravje in varnosti. Vse to prispeva k večji produktivnosti, zadovoljstvu pri delu in varnemu delovnemu okolju.

Eden najpomembnejših faktorjev, ki neposredno vplivajo na stroške, je čas izdelave. Daljši čas izdelave pomeni višje stroške dela, daljšo uporabo opreme in materiala ter morebitne višje splošne stroške. Poleg tega lahko daljši čas izdelave povzroči manjšo učinkovitost, večje težave pri nadzoru kakovosti in manjšo konkurenčnost na trgu. Z natančnim merjenjem in skrajšanjem časa izdelave lahko proizvajalci zmanjšajo stroške, povečajo produktivnost in ostanejo konkurenčni v svojih panogah. Zato je za analizo izdelave zelo pomembno, da imamo čim bolj točne podatke, predvsem ko se odločamo za spremembe v proizvodnem procesu.

Za določanje časov izdelave obstaja več načinov: (Buchmeister & Polajner, 2000)

- določanje časa izdelave v celoti,
- določanje časa izdelave po sestavnih elementih,
- določanje časa s pomočjo nomogramov,
- določanje časa izdelave s sistemi vnaprej določenih časov,
- določitev časa izdelave s snemanjem.

V diplomskem delu sem se odločil za metodo določanje časa izdelave s snemanjem. To pomeni, da sem na podlagi dejanske izdelave vrvnega bobna zabeležil čas posameznih aktivnosti, ki jih je izvedel varilec. Testna serija, ko si je varilec nastavljal parametre in spoznal celoten delovni proces, ni zajeta v snemanja za določitev časa.

SESTAVNI ELEMENTI ČASA IZDELAVE IN NORME

Skupni čas dela, ki je potreben za izvedbo nekega opravila, je sestavljen iz naslednjih elementov: (Buchmeister & Polajner, 2000)

- t_{pz} – pripravljalno zaključni čas je potreben za pripravo delovnega mesta za neko opravilo in ureditev delovnega mesta za neko opravilo in ureditev tega delovnega mesta po opravljenem delu ;
- t_t – tehnološki čas se porabi za izvedbo nekega dela z učinkom, takšnega, pri katerem pride do sprememb oblike, dimenzije ali strukture materiala, ne glede če se delo izvede strojno ali ročno;
- t_p – pomožni čas se porabi za izvedbo pomožnih opravil, ki omogočajo izvedbo tehnoloških opravil;
- t_d – dodatni čas služi za nadomestitev tistih delavčevih izgub v delovnem dnevu, za katere sam ni kriv (zajet je s koeficientom K_d).

Tehnološki in pomožni čas skupaj imenujemo čas izdelave (t_i) in predstavlja tisti čas, ko se nekaj na izdelku dogaja.

- t_i – čas izdelave predmeta, ki upošteva tehnološki in pomožni čas z vključenima koeficientoma K_n in K_o (koeficient za sprostitev človeka) ;
- t_l – norma za en predmet dela – je seštevek tehnološkega, pomožnega in dodatnega časa;
- t_{N1} – čas za izdelavo enega predmeta dela, ki vključuje pripravljalno- zaključni čas;
- t_N – čas naročila je čas, potreben za izdelavo nekega dela v celoti, celotne serije.

Enačba za čas izdelave pri varjenju s CO₂

Pripravljalno zaključni čas:

$$t_{pz} = t_{pzp} + t_{pzz} \text{ [min]}, \quad (5.1)$$

kjer je:

- t_{pz} – pripravljalno- zaključni čas [min],
- t_{pzp} – pripravljalni čas [min],
- t_{pzz} – zaključni čas [min].

Normativni čas za kos:

$$t_l = [t_t + t_p \cdot (1 + K_n \cdot K_o)] \cdot (1 + K_d) \text{ [min]} \quad (5.2)$$

kjer je :

- t_l – normativni čas za kos [min/kos],
- t_t – tehnološki čas [min],
- t_p – pomožni čas [min],
- K_n – koeficient napora,
- K_o – koeficient okolice,
- K_d – dopolnilni koeficient.

Celotni predpisani čas za serijo

$$t_N = t_{pz} + Z_N \cdot t_l \text{ [min]}. \quad (5.3)$$

STROŠKOVNA KALKULACIJA

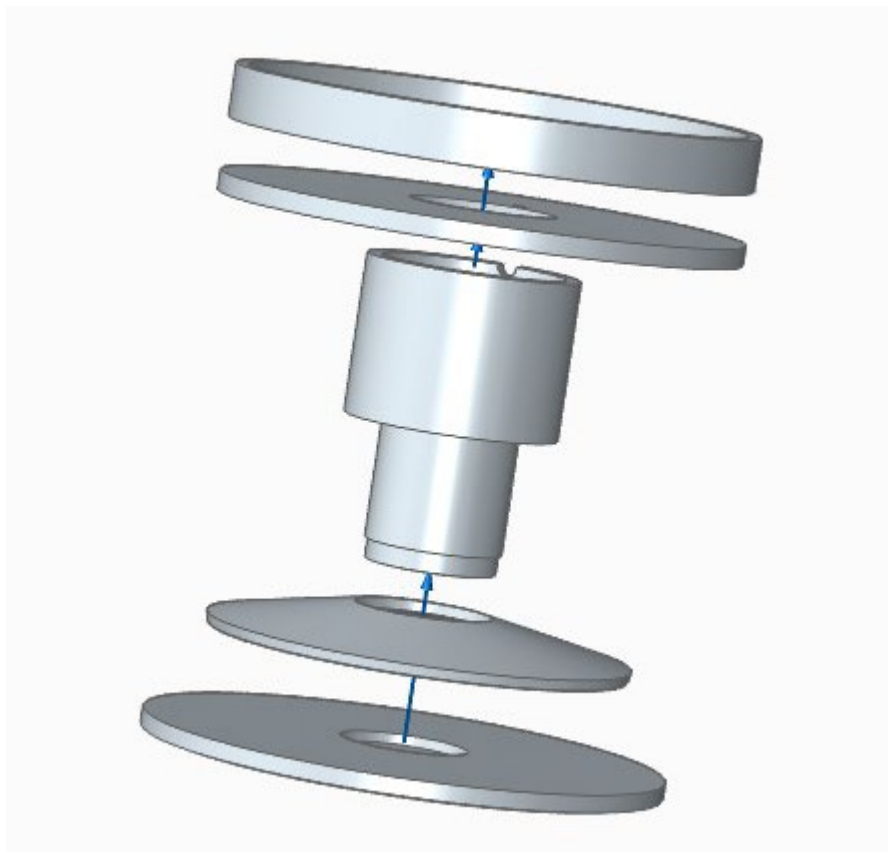
Stroškovna kalkulacija je proces, v katerem se določijo in ovrednotijo stroški, ki so povezani z izvedbo določenega projekta, proizvoda ali storitve. Cilj stroškovne kalkulacije je določiti ceno, ki jo bo potrošnik plačal za proizvod ali storitev in s tem omogočiti optimalni način izvedbe projekta. Za izvedbo stroškovne kalkulacije se uporabljajo različne metode, od katerih imajo nekatere boljšo natančnost, druge pa so bolj preproste in hitre.

Stroškovna kalkulacija je pomemben del procesa načrtovanja in izvedbe projektov, saj omogoča podjetju, da računa in upošteva vse stroške, ki so povezani z izvedbo projekta. To omogoča podjetju, da se odloči, ali je projekt rentabilen in če je tako, kakšni so potencialni dobički. Prav tako lahko podjetje na podlagi stroškovne kalkulacije sprejme učinkovitejše odločitve glede načina izvedbe projekta in s tem zmanjša stroške.

Za izračun stroškovne kalkulacije bom uporabil obrazec, ki ga uporabljajo na Fakulteti za strojništvo v Mariboru. Izdelan je bil v laboratoriju za načrtovanje proizvodnih sistemov. Obrazec je sestavljen iz različnih rubrik, vsaka je označena z zaporedno številko, imenom podatka, enoto in opombo. Pri nekaterih je zraven napisana enačba, kako izračunati določeno vrednost. Obrazec na začetku zajema podatke o številu izdelanih kosov v seriji, normativni in pripravljalno zaključni čas, potem sledijo podatki o stroju (nabavna vrednost, priključna moč, ipd.) in nato stroški, ki nastanejo pri izdelavi.

5.1 Postopek izdelave

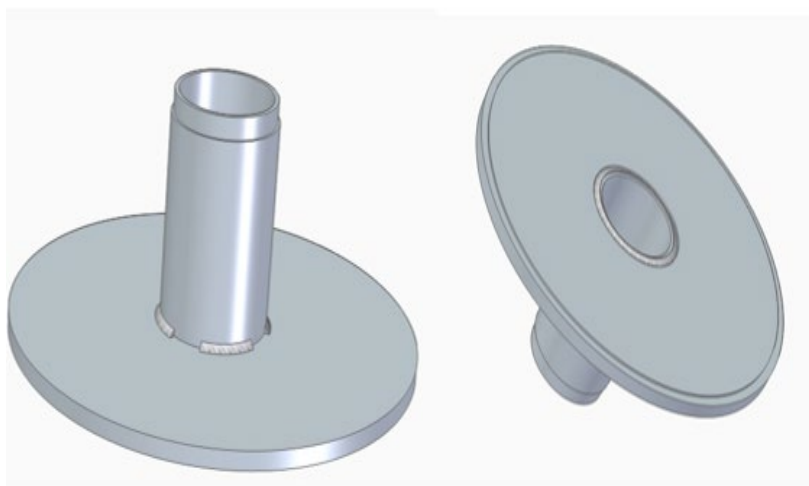
Vrvni boben je sestavljen iz 6 kosov. Vsi sestavni kosi so iz nelegiranega konstrukcijskega jekla z oznako (S355J2G3). To jeklo je sestavljeno iz različnih kemičnih elementov, ki mu dajejo posebne lastnosti. Znano je po svoji visoki trdnosti in vzdržljivosti, odporno je proti koroziji in ga ni težko variti. Zaradi teh lastnosti je idealna izbira za številne aplikacije.



Slika 10: Sestavni kosi vrvnega bobna

Vir: (lasten vir, 2023)

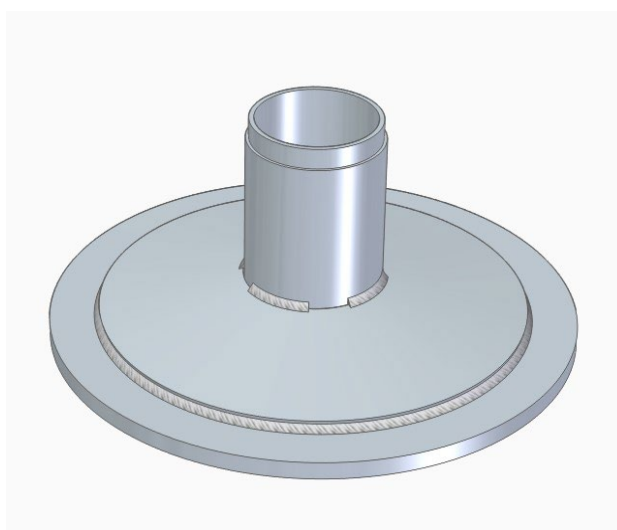
Varjenje vrvnega bobna je sestavljeno iz več delovnih operacij. Najprej je potrebno med sabo spojiti spodnjo ploščo in notranjo cev. Notranja cev je v skladu z načrtom predhodno obdelana, tako da so mere v predpisanem tolerančnem območju. Med notranjo cevjo in spodnjo ploščo je z zgornje strani predpisan kotni zvar (5Δ ; 4x50), kar pomeni štirikrat zvar debeline 5mm, ter dolžine 50 mm. Na spodnji strani med spodnjo ploščo in cevjo pa imamo predpisan polovični zvar ($7V$, 305), kar pomeni debeline 7 mm in dolžine 305 mm.



Slika 11: Spodnja plošča in notranja cev

Vir: (lastni vir, 2023)

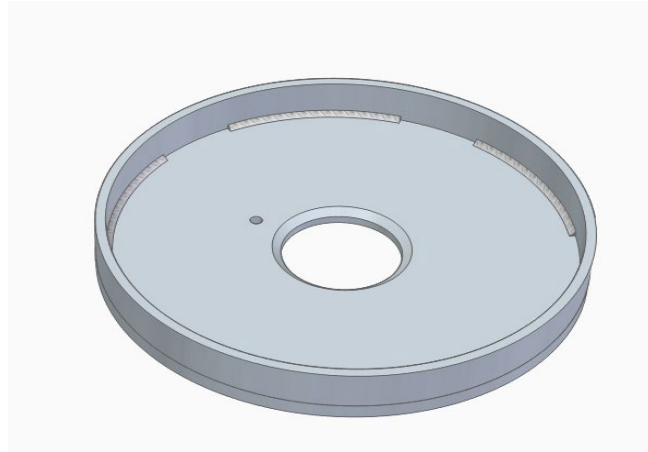
Naslednja delovna operacija je varjenje spodnjega dela plošče in ojačitve. Predpisani zvar je dolžine ($5\Delta, 1000$) in ga je potrebno v skladu z načrtom pozneje na stružnici obdelati. Tudi med notranjo cevjo in ojačitvijo je predpisan zvar ($5\Delta; 4 \times 50$).



Slika 12: Spodnja plošča in ojačitev

Vir: (lastni vir, 2023)

Ko imamo v skladu z načrtom spodnji del vravnega bobna končan, sledi spajanje med spodnjo in zgornjo ploščo. Še pred pričetkom varjenja zunanje cevi, na zgornjo ploščo s pomočjo priprave privarimo zavorni obroč.



Slika 13: Zgornja plošča z zavornim obročem

Vir: (lastni vir, 2023)

Nato sledi varjenje zunanje cevi, ki služi kot povezava med spodnjo in zgornjo ploščo, okrog katere se potem navija jeklena vrv. Preden začnemo s procesom varjenja, moramo biti pozorni na pravilno lego zunanje cevi in zgornje plošče. V skladu z načrtom mora biti luknja (z navojem M12) na zgornji plošči poravnana z izrezanim utorom na zunanji cevi. Med zunanjo cevjo in obema ploščama sta predpisana kotna zvara (5Δ , 500), s tem da na zgornji strani v skladu z načrtom na enem delu (tam, kjer je izrezani utor) ni vara. Zadnja delovna operacija je polovični zvar ($7V$, 305) med notranjo cevjo in zgornjo ploščo. Na koncu sledi še CNC obdelava vravnega bobna, ki pa ni predmet diplomskega dela, zato bom opis te delovne operacije izpustil.



Slika 14: 3D model vravnega bobna z zvari

Vir: (lastni vir, 2023)

5.2 Ročni postopek izdelave vrvnega bobna

Postopek ročnega MAG varjenja vrvnega bobna se je izvedel z varilnim aparatom JESS PROPULS 400. Varilni aparat je robusten, vodno hlajen in zaradi svoje fleksibilnosti varjenja različnih materialov (aluminij, jeklo in nerjavno jeklo) idealen za intenzivno varjenje v najtežjih okoljih. Uporaba je enostavna, parametre nastavljamo preko preglednega panela v ročnem ali sinergijskem načinu (na podlagi izbrane debeline žice in materiala se avtomatsko nastavi hitrost podajanja žice). Aparat odlikuje zanesljiv vžig, velika hitrost varjenja ter stabilen varilni tok.

Tehnični podatki za varilni aparat JESS PROPULS 400:

- omrežna napetost: 400V, 3 faze,
- delovna napetost: 14,5–34 V,
- varovalka: 20A (počasna),
- max. poraba energije: 22 kVa,
- nastavitveno območje: 10–400 A,
- premer varilne žice: 0,6–1,6 mm,
- št. pogonskih koles: 4,
- pogonski motor : 100W,
- nazivna hitrost podajalne: 0,5–25 m/min,
- način hlajenja: hlajenje z vodo,
- teža: 119 kg brez podajalne,
- dimenzija: 910 x 340 x 1420 (mm) z podajalno,
- gorilnik: MB EVO PRO 501.



Slika 15: Varilni izvor JESS PROPULSE 400

Vir: (Lasten vir, 2022)

Podatki za delovno operacijo ročnega varjenja so:

- dodajni material: varilna žica CARBOFIL 1 SG2, premera 1,2 mm (15 kg kolut),
- zaščitni plin: Ferroline C18 (sestava: 82 % Argona, 18 % CO₂), jeklenka 50 L/200 bar,
- varilni tok: 210 A,
- hitrost dovajanja žice: 10 m/min,
- premer žice: 1,2 mm,
- pretok plina: 12 L/min,
- napetost toka: 27 V.

Do potrebnih podatkov za izračun sem prišel s snemanjem posameznih aktivnosti. Medtem ko je delavec izvajal določeno aktivnost, sem izmerili čas. Zajel sem tehnološke čase, ki nastopajo v procesu varjenja, kakor tudi pripravljajno zaključne čase za pripravo dela oziroma delovnega mesta pred procesom dela in po končanem delu. V snemanje ni zajeta poskusna serija, v katero spada nastavljanje parametrov in spoznavanje delovnega procesa. Izmerjeni časi so zbrani spodaj v preglednici. Pri izračunu normativnega časa je potrebno upoštevati dodatne koeficiente (koeficient okolice, koeficient napora in dopolnilni koeficient).

Koeficienti dodatnega časa:

- koeficient napora $K_n = 0,17$ (preglednica 4, stran 100 v gradivu (Buchmeister & Polajner, 2000),
- koeficient okolice $K_o = \max [k_{01}, k_{02}] = k_0 = 1,75$ (preglednica 5, stran 103 v gradivu (Buchmeister & Polajner, 2000),
- dopolnilni koeficient $K_d = 0,15$ (izbran na podlagi rešenih primerov v knjigi (Buchmeister & Polajner, 2000).



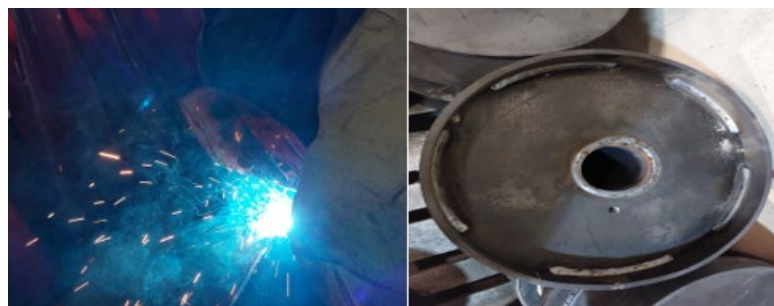
Slika 16: Zaboje s sestavnimi kosi

Vir: (lasten vir, 2022)



Slika 17: Priprava sestavnih kosov

Vir: (lasten vir, 2022)



Slika 18: Proces varjenja

Vir: (lasten vir, 2022)

5.2.1 Analiza dela ročnega postopka izdelave

Tabela 1: Analiza dela ročnega varjenja

FS Maribor LANPS		Izdaja 0 1 2 3 4 5 6						Sifra izdelka	502.05.00.0		
Nazivizdelka - poz.		Vrvni boben						Št. operacije:	Sif. SM / Sif. DM	Naziv DM:	Ročno varjenje
Nazivoperacije:		Ročno varjenje									
Material v operaciji:		S355J2G3									
Orodje:		Varilni izvor JESS PROPULS 400									
$t_1 = (t_i + t_p \cdot (1 + K_n \cdot K_o)) \cdot (1 + K_d) = (18,9 + 18,36 \cdot (1 + 0,17 \cdot 1,75)) \cdot (1 + 0,15) = 49,13 \text{ min}$										$K_n = 0,17$	
$t_{pz} = t_{pzo} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_n \cdot K_o) = 26,4 \cdot (1 + 0,15) \cdot (1 + 0,17 \cdot 1,75) = 39,39 \text{ min}$										$K_d = 0,15$	
$t_N = t_{pz} + Z_n \cdot t_1 = 39,39 + 150 \cdot 49,13 = 7408,89$										$K_o = 1,75$	
Izdelal:		Goran Rajnar				Dne: 10.01.2023			Kontroliral:		Dne: 10.01.2023
Zap. št.	Faza	Element dela				Analiza		t_{elo}	t_{pzo}	Beleške	
1		Preskrba dokumentacije in prevzem							3		
2		Spoznavanje z delom							2		
3		Priprava polizdelkov in postavitve palete za odlaganje gotovih izdelkov							3		
4		Namestitev varilne priprave							2		
5		Vklon stroja in nastavitve parametrov, odpiranje reducirnega ventila za plin, kratek preizkus							3		
6		Vpenjanje spodnje plošče in notranje cevi (označevanje zvarov)						1,5			
7		Primik gorilnika (varilne pištole)						0,2			
8		Varjenje 1. zvara in manipulacija				t_1		1,1			
9		Odložitev gorilnika						0,07			
10		Vizualna kontrola + čiščenje zvara						0,7			
11		Priprava spodnje plošče in notranje cevi						0,8			
12		Primik gorilnika (varilne pištole)						0,2			
13		Varjenje (polovični V zvar dolžine 305 mm)				t_1		1,4			
14		Odložitev gorilnika						0,07			
15		Vizualna kontrola + čiščenje zvara						0,8			
16		Priprava zgornje plošče in zavornega obroča (označevanje zvarov)						1,4			
17		Primik gorilnika (varilne pištole)						0,2			
18		Varjenje zavornega obroča na zgornjo ploščo				t_1		3			
19		Odložitev gorilnika						0,07			
20		Vizualna kontrola + čiščenje zvara						1			
21		Namestitev plošče za ojačitev (označevanje zvarov)						0,9			
22		Primik gorilnika (varilne pištole)						0,2			
23		Varjenje plošče za ojačitev in notranje cevi				t_1		1,1			
24		Odložitev gorilnika						0,07			
25		Priprava in postavitve za varjenje spodnje plošče in plošče za ojačitev						1			
26		Proces varjenja				t_1		6			
27		Odložitev gorilnika						0,07			
28		Vizualna kontrola in čiščenje zvara						2,5			

29		Priprava zgornje plošče in zunanje cevi		1	
30		Primik gorilnika (varilne pištole)		0,2	
31		Varjenje zgornje plošče in zunanje cevi	t ₁	2,5	
32		Odložitev gorilnika		0,07	
33		Vizualna kontrola in čiščenje zvara		1,2	
34		Namestitev/priprava za varjenje spodnje plošče z zgornjo ploščo		1,3	
35		Primik gorilnika (varilne pištole)		0,2	
36		Varjenje zunanje cevi s ploščo za ojačitev	t ₁	2,6	
37		Odložitev gorilnika		0,07	
38		Vizualna kontrola in čiščenje zvara		1,2	
39		Primik gorilnika (varilne pištole)		0,2	
40		Varjenje polovičnega V zvara na zgornji plošči	t ₁	1,2	
41		Odložitev gorilnika		0,07	
42		Vizualna kontrola in čiščenje zvara		0,8	
43		Odlaganje izdelka		0,3	
44		Izklop stroja			0,4
45		Pospravljanje delovnega mesta			3
46		Čiščenje in menjava plinskih šob, kontaktnih šob, menjava koluta žice, menjava jeklenke, s plinom...			8
47		Zaključevanje in vračanje dokumentacije			2
			Σt _t = 18,9 min		
			Σt _{tp} = 18,36 min		
			Σt _{pzo} = 26,4 min		

Vir: (lasten vir, 2023)

5.2.2 Izračun stroškov ročnega postopka izdelave

Za potrebe izračuna stroškov so v spodnji tabeli 2 zbrani podatki. Do večine podatkov sem prišel na podlagi povpraševanja pri ponudnikih dotičnega materiala. Nekatere vrednosti (OC) so ocenjene na podlagi izkušenj, kajti čisto vseh vrednost ne moremo natančno določiti zaradi različnih dejavnikov, ki vplivajo na porabo in se pokažejo šele sčasoma skozi proizvodni proces.

Tabela 2: Podatki za izračun stroškov

Opis	Vrednost	Enota
Število kosov v seriji	150	Kos/serija
Število serij na leto	8	ser/leto
Trajanje projekta	5	Let
Normativni čas	49,13	min/kos
Gostota varilne žice	7850	Kg/m ³
Premjer varilne žice	0,0012	m
Hitrost varilne žice	10	m/min
Cena varilne žice (15kg kolut)	66,76	€
Pretok zaščitnega plina	0,012	m ³ /min
Masa zaščitnega plina (jeklenka)	20,2	kg/jek
Gostota zaščitnega plina	1,71	kg/m ³
Cena zaščitnega plina (jeklenka)	157,88	€/jek
Število kontaktnih šob	(OC) 30 kos na serijo	kos/ser
Število plinskih šob	(OC) 10 kos na serijo	kos/ser
Cena kontaktne šobe	0,78 (10 kos)	€/kos
Cena plinske šobe	4,36	€/kos

Vir: (lasten vir, 2023)

Masa porabljene varilne žice na kos $m_{\text{žice/kos}}$ [kg/kos]

$$\begin{aligned}
 m_{\text{žice/kos}} &= \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot V_{\text{žice}} \cdot t_l \cdot \rho_{\text{žice}} = \\
 &= \left(\frac{\pi \cdot 0,0012 \text{m}^2}{4} \right) \cdot 10 \text{m/min} \cdot 18,9 \text{min} \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 1,68 \text{ kg/kos}
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

Masa porabljene varilne žice v času trajanja projekta [kg/proj]

$$m_{\text{žice/proj}} = m_{\text{žice/kos}} \cdot t_{\text{projekta}} \cdot i \cdot z_n \cdot \left(1 + \frac{d_0}{100}\right) = \quad (5.5)$$

$$= 1,68 \text{ kg/kos} \cdot 150 \text{ kos} \cdot 8 \text{ ser/leto} \cdot 5 \text{ let} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{100}\right) = 10120,32 \text{ kg/proj}$$

kjer je:

d_0 – delež neporabljene žice pri kolutu/sodu $d_0 = 0,4 \%$ (ocenjeno: ostanek žice v cevnem paketu, rezanje žice).

Število menjav koluta žice v času projekta i_k [kol/proj]

$$i_k = \frac{m_{\text{žice/proj}}}{m_{\text{kol}}} = \frac{10120,32 \text{ kg}}{15 \text{ kg}} = 674,69 \Rightarrow 675 \text{ kolotov/projekt} \quad (5.6)$$

Število menjav koluta žice v seriji i_{kser} [kol/ser]

$$i_{kser} = \frac{i_k}{i \cdot t_{proj}} = \frac{675}{5 \cdot 8} = 16,87 \Rightarrow 17 \text{ kolotov/serijo} \quad (5.7)$$

Strošek varilne žice [€/h]

$$S_{\text{žice}} = \frac{60}{t_1} m_{\text{žice/kos}} \cdot C_{\text{žice}} \cdot \left(1 + \frac{d_0}{100}\right) =$$

$$= \frac{60}{49,13} \cdot 1,68 \text{ kg} \cdot 4,45 \text{ €/kg} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{100}\right) = 9,17 \text{ €/h} \quad (5.8)$$

Masa porabljenega plina na kos $m_{\text{plina/kos}}$ [kg/kos]

$$m_{\text{plina/kos}} = q_{\text{plina}} \cdot (t_l + \text{število začetkov in prekinitev varjenj} \cdot \left(\frac{t_{\text{pred}} + t_{\text{povp}}}{60}\right)) \cdot \rho_{\text{plina}} =$$

$$= 0,012 \text{ m}^3/\text{min} \cdot (18,9 \text{ min} + 8 \cdot \left(\frac{2\text{s} + 2\text{s}}{60\text{s}}\right)) \cdot 1,75 \text{ kg/m}^3 = 0,41 \text{ kg/kos} \quad (5.9)$$

kjer je:

t_{pred} – čas predvpihovanja zaščitnega plina $t_{\text{pred}} = 2\text{s}$

t_{povp} – čas povpihovanja zaščitnega plina $t_{\text{povp}} = 2\text{s}$

Masa porabljenega plina na projekt $m_{plina/proj}$ [kg/projekt]

$$\begin{aligned} m_{plina/proj} &= m_{plina} \cdot Z_N \cdot i \cdot t_{proj} = \\ &= 0,41 \text{ kg/kos} \cdot 150 \text{ kos} \cdot 8 \text{ ser/leto} \cdot 5 \text{ let} = 2460 \text{ kg} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Število potrebnih menjav jeklenk plina na projekt i_j [jeklenk/projekt]

$$i_j = \frac{m_{plina/projekt}}{m_{jeklenke}} = \frac{2460 \text{ kg}}{20,2 \text{ kg}} = 121,78 \Rightarrow 122 \text{ jeklenk /projekt} \quad (5.11)$$

Število potrebnih menjav jeklenk plina na serijo i_{serija} [jeklenk/serija]

$$i_{serija} = \frac{i_j}{i \cdot t_{projekta}} = \frac{122}{8 \cdot 5} = 3,05 \Rightarrow 4 \text{ jeklenke/serija} \quad (5.12)$$

Strošek plina [€/h]

$$S_{plina} = \frac{60}{t_1} \cdot m_{plina} \cdot \frac{C_{pl}}{m_j} = \frac{60}{49,13} \cdot 0,41 \text{ kg/kos} \cdot \frac{157,88}{20,2} = 3,91 \text{ €/h} \quad (5.13)$$

Strošek kontaktnih šob [€/h]

$$S_{kšob} = \frac{60}{t_1} \cdot \frac{C_{kš}}{Z_n} \cdot i_{kš} = \frac{60}{49,13} \cdot \frac{0,078 \cdot 30}{150} = 0,019 \text{ €/h} \quad (5.14)$$

Strošek plinskih šob [€/kos]

$$S_{pšob} = \frac{60}{t_1} \cdot \frac{C_{pš}}{Z_n} \cdot i_{pš} = \frac{60}{49,13} \cdot \frac{4,36 \cdot 10}{150} = 0,35 \text{ €/h} \quad (5.15)$$

Celotni stroški orodja [€/h]

$$\begin{aligned} S_{orodja} &= S_{žice} + S_{plina} + S_{kšob} + S_{pšob} = \\ &= 9,17 \text{ €/h} + 3,91 \text{ €/h} + 0,019 \text{ €/h} + 0,35 \text{ €/h} = 13,45 \text{ €/h} \end{aligned} \quad (5.16)$$

5.2.3 Stroškovna kalkulacija ročnega postopka izdelave

Tabela 3 spodaj poleg podatkov o izdelavi izdelka, število kosov v seriji ter normativnih časov zajema tudi podatek o stroju (nabavna vrednost, amortizacijska doba, priključna moč stroja,...), ter ostalih stroškov, ki nastanejo pri izdelavi izdelka. Do podatkov sem prišel s pomočjo lastnega gradiva, povpraševanja ter s pomočjo izračunov (pri nekaterih rubrikah je zraven pripisana enačba). Za nabavno vrednost stroja sem upošteval nabavno vrednost novega stroja. Seveda pa obstaja omejitev pri kalkulacijah, kajti čisto vse stroške je težko zajeti, saj so težje določljivi in se pokažejo šele sčasoma. Take stroške zajemamo z raznimi dodatki (manipulacijski dodatek, dodatek za splošne proizvodne stroške, dodatek za strošek uprave in prodaje). Dodatki so določeni s pomočjo učnega gradiva. (Buchmeister & Polajner, 2000)

Tabela 3: Stroškovna kalkulacija ročnega varjenja

Št.	Podatek	Enota	Opomba	Obdelovalni stroj			
				Varilni izvor JESS PROPULS 400			
1	Število kosov v seriji	kos/ser	Z_N	150			
2	Število serij na leto	ser/leto	i	8			
3	Normativni čas	min/kos	t_1	49,13			
4	Pripravljalno-zaključni čas	min/ser	t_{pz}	38,39			
5	Nabavna vrednost stroja	€		6.800			
6	Priključna moč stroja	kW	$\times \left(\frac{0,67}{0,99}\right)$ prikl. moči	14,89			
7	Površina delovnega mesta	m ²		19			
8	Amortizacijska doba	leta		5			
9	Koristna kapaciteta stroja	h/leto	2 izmeni	3000			
10	Odpis	€/h	$\frac{(5)}{(8) \cdot (9)}$	0,45			
11	Obresti (%)	€/h		/			
12	Stroški vzdrževanja (4 %)	€/h	$\frac{(5) \cdot 4}{100 \cdot (9)}$	0,09			
13	Stroški prostora $\left(100 \cdot \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{leto}}\right)$	€/h	$\frac{(7) \cdot \dots}{(9)}$	0,63			
14	Stroški energije $\left(0,2 \cdot \frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)$	€/h	(6) ·	2,98			
15	Stroški orodja	€/h	Sorodja	13,45			
16	Stroški na stroju	€/h	$\frac{(10) + (11) + (12)}{+ (13) + (14) + (15)}$	17,6			
17	Bruto osebni dohodek delavca	€/h		12,46			
18	Dodatni stroški (izmet,...) (5%)	€/h	$\frac{(16) \cdot \dots}{100}$	0,88			

19	Stroški delovnega mesta	€/h	$(16) + (17) + (18)$	30,94			
20	Stroški po kosu	€/kos	$\frac{(3) \cdot (19)}{60}$	25,33			
21	Stroški namenskih vpenjalnih naprav in specialnih orodij	€		300			
22	Stroški programiranja (NC)	€		0			
23	Stroški priprave (pri 1. seriji)	€/kos	$\frac{(21) + (22)}{(1) \cdot (2)}$	0,25			
24	Stroški priprave po kosu	€/kos	$\frac{(4) \cdot (19)}{60 \cdot (1)}$	0,13			
25	Stroški izdelave	€/kos	$(20) + (23) + (24)$	25,71			
26	Posebni stroški obdelave	€/kos	0				
27	Skupni izdelovalni stroški	€/kos	$(25) + (26)$	25,71			
28	Dodatek za splošne proizvodne stroške (20%)	€/kos	$\frac{(27) \cdot \dots}{100}$	5,14			
29	Dodatek za stroške uprave in prodaje (35%)	€/kos	$\frac{(27) \cdot \dots}{100}$	8,99			
30	Lastna cena (brez DDV, stroškov materiala)	€/kos	$(27) + (28) + (29)$	39,84			

Vir: (lasten vir, 2023)

5.3 *Robotski postopek izdelave vrvnega bobna*

Ker zaenkrat v podjetju še nimajo lastnega robota, s katerim bi si pomagali pri izdelavi vrvnega bobna, sem si za potrebe načrtovanja in analize izdelave pomagal s pomočjo podatkov, pridobljenih z implementacijo projekta pri zunanjem izvajalcu. Že večkrat je ob večjem naročilu podjetje sodelovalo z zunanjem izvajalcem predvsem pri varjenju dolgih zvarov, ki so časovno potratni in za uspešno izvedbo zahtevajo usposobljenega varilca.

Prvi korak pri robotskem varjenju je priprava varilnega robota in varilnega sistema za opravljanje varjenja. To vključuje programiranje robota za izvedbo želene varilne poti (hitre in delovne gibe), ustrezne parametre varjenja, intervale čiščenja, izbiro primerne varilne opreme in pripravo varilnega materiala. Poleg tega je pomembno tudi zagotoviti ustrezno varnostno opremo in izobraževanje za operaterje, ki bodo upravljali z robotom in varilno opremo.

Postopek robotskega MAG varjenja vrvnega bobna je bil izveden v robotski varilni celici. Robotsko varilno celico sestavlja:

- varilni robot IRB 1600,
- varilni izvor VPS 4000 digit,

- gorilnik ABIROB A350 GC,
- krmilna omarica ABB IRC 5,
- sistem za čiščenje gorilnika in odrez varilne žice TCS-FP.

VARILNI ROBOT ABB IRB 1600

Šestosni varilni robot ABB IRB 1600 so razvili z namenom ustvariti prilagodljiv, hiter in kompakten ter sorazmerno majhen industrijski robot. Osi robota poganjajo servomotorji. Upravljamo ga lahko s pomočjo učnega panela ali pa na operacijskem panelu.

Tehnični podatki varilnega robota IRB 1600 :

- priključna napetost: 400 V / 50 Hz,
- število osi: 6,
- masa: 250 kg,
- max. nosilnost : 6 kg ,
- delovna temperatura: 0 do 45°C,
- ponovljiva natančnost: 0.05 mm,
- postavitev: stoječa,
- max. polmer dosega: 1500 mm.



Slika 19: Varilni robot ABB IRB 1600

Vir: (https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/30265-9301859.jpg, 2023)

VARILNI IZVOR VPS 4000 digit

Varilni izvor VPS 4000 digit omogoča tri različne postopke varjenja: MIG/MAG klasično, MIG/MAG pulzno v zaščiti plinov in MMA z oplaščeno elektrodo. Priporoča se za varjenje konstrukcijskih jekel, CrNi jekel, aluminija in aluminijastih materialov. Področje uporabe je zelo široko od avtomobilske industrije pa vse do strojegradnje in ladjedelništva. (VPS 4000 digit, 2023)

Tehnični podatki:

- priključna napetost 3–400 V / 50Hz,,
- varovalka (počasna): 30 A,
- območje varilnega toka: 30–400 A,
- varilna napetost: 15,5–34 V,
- intermitenca 50 % : 400 A ,
- intermitenca 100 % : 283 A .
- premer varilne žice: 0,8–1,6 mm
- dimenzije: 653 x 300 x 595 mm
- masa: 46 kg



Slika 20: Varilni izvor VPS 4000 digit

Vir: (https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/63123-5314409.jpg, 2023)

GORILNIK ABIROB W500

MIG/MAG gorilnik ABIROB W500 podjetja Abicor Binzel zagotavlja z robustno zasnovo in enostavnim delovanjem ekonomično in stabilno varjenje. Zaradi svoje oblike lahko z njim varimo tudi na težko dostopnih mestih.

Tehnični podatki:

- hlajenje: vodno hlajenje,
- premer varilne žice: 0,8–1,6 mm,,
- zmogljivost: 330 A CO₂ / 300 A mešanica M21,
- tip gorilnika: zakrivljen.

Na gorilniku je prav tako integriran »šok senzor«, ki preprečuje morebitno trčenje robota. Senzor deluje na mehanski osnovi na tak način, da ob povečanju momenta nad mejno vrednostjo izklopi servo pogon robota.



Slika 21: Robotski gorilnik ABIROB W500

Vir:(https://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/Germany/Pictures/Images_ROBO/ABIROB-W/P_ABIROB_W_655x117_WEB_2014.jpg ,2023)

SISTEM ZA ČIŠČENJE GORILNIKA IN ODREZ VARILNE ŽICE TCS - FP

Sistem za čiščenje nam poleg čiščenja služi tudi za namaščenje plinske šobe. Je obvezen del vsake robotske celice, saj nam zagotavlja boljšo kakovost zvara. Časovni interval čiščenja se določi v varilnem programu.

Vsebuje:

- sistem za zaščito gorilnika s sredstvom proti sprijemanju obrizgov,
- škarje za odrez varilne žice,
- rotacijsko frezalo za čiščenje obrizgov iz šobe gorilnika.

Podobno kot pri čiščenju gorilnika je tudi pri škarjah za odrez varilne žice v programu določen časovni interval. Prednost je, da imamo vedno pripravljeno enako dolžino žice za varjenje.



Slika 22: Sistem za čiščenje gorilnika in odrez žice

Vir: (https://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/USA/Pictures/Images_ROBO/Torch_Maintenance_Stations/TCS-FP-Hero.jpg, 2023)

KRMILNIK ABB IRC 5

Slika 23 prikazuje krmilnik podjetja ABB. Namen krmilnika ABB IRC5 je vodenje robota ABB IRB 1600. Krmilnik IRC5 na podlagi naprednega dinamičnega modeliranja samodejno optimizira delovanje robota s skrajšanjem časa cikla in zagotavlja natančno pot. Na krmilnik lahko povežemo do osem signalov.



Slika 23: Krmilnik ABB IRC 5

Vir: (https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/30265-2663583.webp, 2023)

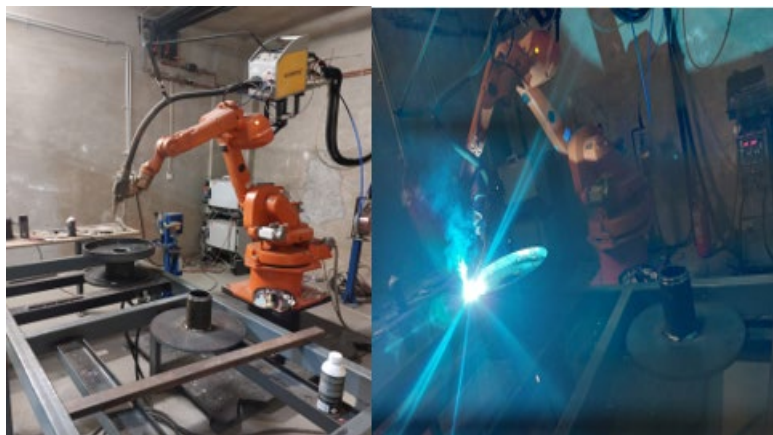
OPTIČNA ZAVESA

Varnostna optična zavesa je del zaščitne -varnostne ograje. Uporablja se na nevarnih mestih v industriji z namenom preprečitve poškodbe ljudi in pravočasne zaustavitve stroja. Deluje tako, da če se prekine žarek med optičnim oddajnikom in sprejemnikom varnosti, rele modul izklopi stroj. Med delovanjem avtomatskega režima mora biti optična zavesa aktivirana.

5.3.1 Postopek izdelave z robotskim načinom varjenja

Podobno kot pri ročnem načinu varjenja, so vsi sestavni kosi potrebni za izdelavo vrvnega bobna predhodno obdelani v skladu z načrtom. Delovni potek je nekoliko drugačen kot pri ročnem načinu varjenja. Operacija robotskega načina varjenja se odvija v 2 korakih, v katero je vključeno tudi pomožno delo operaterja.

V prvem koraku robot spoji spodnji del plošče in notranjo cev (predpisan kotni zvar 5 Δ ; 4x50 mm). Seveda mora prej delavec pravilno postaviti notranjo cev in spodnjo ploščo na ustrezno mesto v pripravi, kajti robot ima sprogramirano delovno pot (hitri in delovni gibi), tako da vari v točno določeni poziciji.



Slika 24: Prikaz robotskega varjenja vrvnega bobna

Vir: (lasten vir, 2022)

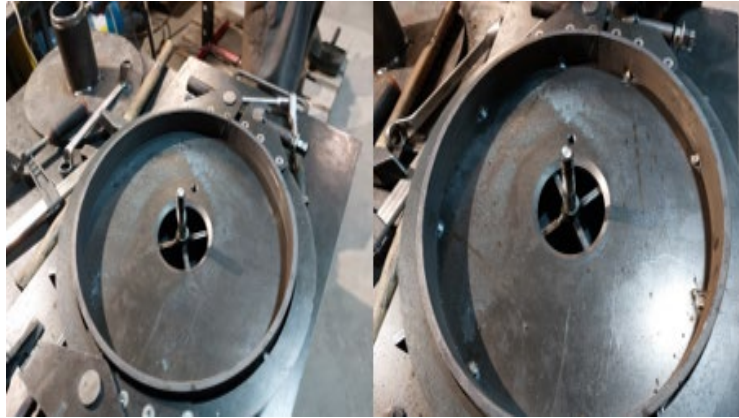
V drugem koraku pa sledi varjenje preostalih sestavnih delov. Najprej je potrebno spojena kosa iz prvega koraka vzeti iz priprave in pripraviti ostale sestavne dele za nadaljnje varjenje. Potem delavec vstavi ploščo za ojačitev in jo z nekaj točkovnimi vari fiksira.



Slika 25: Priprava kosov za robotsko varjenje

Vir: (lasten vir, 2022)

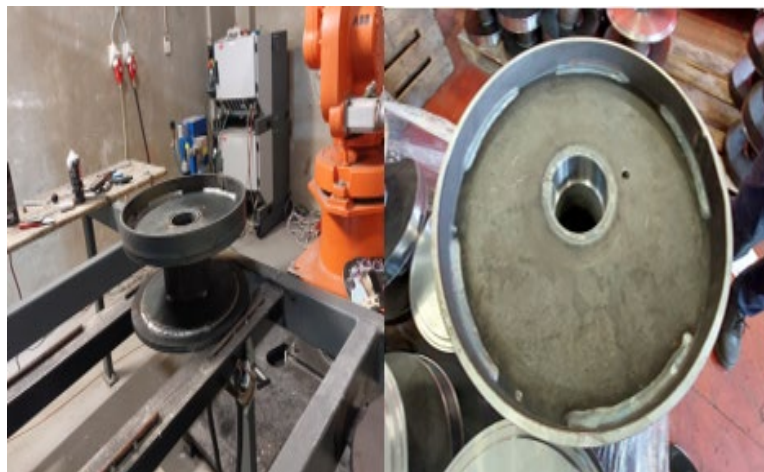
Prav tako s pomočjo priprave iz ročnega varjenja s točkovnimi vari fiksira zavorni obroč na zgornjo ploščo in nato vstavi še zunanjo cev med spodnji in zgornji del vrvnega bobna in jo prav tako fiksira s točkovnim varjenjem.



Slika 26: Priprava zgornje plošče za robotsko varjenje

Vir: (lasten vir, 2022)

Sedaj imamo vse pripravljeno za varjenje robota v drugem koraku. Delavec postavi boben na točno določeno mesto v pripravi in nato lahko začnemo z varjenjem. Najprej začne z varjenjem zavnega obroča in zgornje plošče, nato sledi varjenje polovičnega v zvara (7V, 305 mm) med notranjo cevjo in zgornjo ploščo. Sledi varjenje spodnjega dela plošče in ojačitve (5Δ, 1000 mm), in nato še varjenje zunanje cevi na obe plošči (5Δ, 500 mm), s tem da na zgornji strani v skladu z načrtom na enem delu (tam kjer je izrezani utor) ni vara. Ko je program končan, obrnemo boben in sledi še zadnje varjenje polovičnega v zvara (7V, 305 mm) med spodnjo ploščo in notranjo cevjo.



Slika 27: Vrvni boben po končanem robotskem varjenju

Vir: (lasten vir, 2022)

Sicer si sledita operaciji ena za drugo, vendar sem za potrebe ponazoritve procesa opisal vmesni postopek. Tako da v času ko robot vari, si delavec že pripravlja naslednji kos in ga potem samo zamenja.



Slika 28: Postavitev končanih bobnov na paletu

Vir: (lasten vir, 2022)

Podatki za delovno operacijo robotskega varjenja so:

- dodajni material: varilna žica MAG CARBOFIL 1 SG 2, 1,2 mm 300 kg (SOD),
- zaščitni plin: Ferroline C18 (sestava: 82 % Argona, 18 % CO₂), jeklenka 50 L/200 bar,
- varilni tok: 255 A,
- hitrost dovajanja žice: 16 m/min,
- premer žice: 1,2 mm,
- pretok plina: 15 L/min,
- napetost toka: 29 V.

Do potrebnih podatkov za izračun smo prišli s snemanjem posameznih aktivnosti. Zajel sem tehnološke čase, ki nastopajo v procesu varjenja, kakor tudi pripravljajno zaključne čase za pripravo dela oziroma delovnega mesta pred procesom dela in po končanem delu. Vsi izmerjeni

časi delavca in aktivnosti robota so zbrani v preglednici 4. V snemanje ni zajeta poskusna serija, v katero spada nastavljanje parametrov in spoznavanje delovnega procesa. Izmerjeni časi so zbrani spodaj v preglednici.

Koeficienti dodatnega časa:

- koeficient napora $K_n = 0,15$ (preglednica 4, stran 100 v gradivu (Buchmeister & Polajner, 2000),
- koeficient okolice $K_o = \max [k_{01}, k_{02}] = k_1 = 1,2$ (preglednica 5, stran 103 v gradivu (Buchmeister & Polajner, 2000),
- dopolnilni koeficient $K_d = 0,15$ (izbran na podlagi rešenih primerov v knjigi (Buchmeister & Polajner, 2000).

Tabela 4: Analiza dela pri robotskem načinu varjenja

FS Maribor LANPS							Sifra izdelka	502.05.00.0		
		Izdaja 0 1 2 3 4 5 6					Št. operacije:		Naziv DM:	Robotsko varjenje
Nazivizdelka - poz.	Vrvni boben						Šif. SM / Šif. DM			
Nazivoperacije:	Varjenje z robotom									
Material v operaciji:	S355J2G3									
Orodje:	Varilni robot ABB IRB 1600									
$t_1 = (t_t + t_p \cdot (1 + K_n \cdot K_o)) \cdot (1 + K_d) = (6,3 + 11,48 \cdot (1 + 0,15 \cdot 1,2)) \cdot (1 + 0,15) = 21,88 \text{ min}$								$K_n = 0,15$		
$t_{pz} = t_{pzo} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_n \cdot K_o) = 29 \cdot (1 + 0,15) \cdot (1 + 0,15 \cdot 1,2) = 39,35 \text{ min}$								$K_d = 0,15$		
$t_N = t_{pz} + Z_n \cdot t_1 = 39,35 + 150 \cdot 21,88 = 3321,35 \text{ min}$								$K_o = 1,2$		
Izdelal:		Goran Rajnar		Dne: 18.01.2023		Kontroliral:		Dne: 18.01.2023		
Zap . Št.	Faza	Element dela				Analiza		t_{elo}	t_{pzo}	Beleške
1		Preskrba dokumentacije in prevzem							3	
2		Spoznavanje z delom							2	
3		Priprava polizdelkov in postavitve palete za odlaganje gotovih izdelkov							3	
4		Namestitve varilne priprave za potrebe ročnega varjenja							2	
5		Vklon stroja in nastavitve parametrov, odpiranje reducirnega ventila za plin, kratek preizkus							3	
6		Vklon glavnega stikala robotske celice, vklon hlajenja, kontrola vseh naprav							1	
7		Nastavitev programa							1	
8		Postavitev spodnje plošče in notranje cevi na ustrezno mesto v pripravi				t_p	0,75			
9		Postavitev vrhnega bobna na ustrezno mesto v pripravi				t_p	1,3			
10		Umik iz robotske celice in zagon programa				t_p	0,08			
11		Primik gorilnika (hitri gib) za varjenje spodnjega dela plošče in notranje cevi					0,02			
12		Proces varjenja (5D , 4x 50mm)					0,25			
13		Odmik gorilnika in pomik k naslednji poziciji					0,03			

14		Proces varjenja zavornega obroča		1,2	
15		Odmik gorilnika in pomik k naslednji poziciji		0,03	
16		Proces varjenja polovičnega v zvara		0,5	
17		Odmik gorilnika in pomik k naslednji poziciji		0,03	
18		Proces varjenja spodnjega dela in plošče za ojačitev		1,6	
19		Odmik gorilnika in pomik k naslednji poziciji		0,03	
20		Proces varjenja zunanje cevi (zgoraj)		0,8	
21		Odmik gorilnika in pomik k naslednji poziciji		0,02	
22		Proces varjenja zunanje cevi (spodaj)		1	
23		Odmik gorilnika (konec programa)		0,04	
24		Delavec obrne boben	t_p	0,5	
25		Nastavitev in zagon novega programa (umik iz celice)	t_p	0,15	
26		Primik gorilnika		0,03	
27		Proces varjenja polovičnega v zvara (spodnja plošča)		0,5	
28		Odmik gorilnika na čistilno postajo TCS (čiščenje gorilnika)		0,18	
29		Vrnitev gorilnika v začetno izhodišče (konec programa))		0,04	
30		Vizualna kontrola in čiščenje zvarov	t_p	2	
31		Odstranitev vravnega bobna iz priprave in postavitve novega	t_p	1,5	
32		Odstranitev zvarjenega dela iz priprave (spodnja plošča + cev) in namestitev novih kosov	t_p	1	
33		Postavitev končanih kosov na paleto	t_p	1	
PRIPRAVA NASLEDNJEGA KOSA MED PROCESOM ROBOTSKEGA VARJENJA					
34		Fiksiranje plošče za ojačitev na spodnjo ploščo (postavitev, primik gorilnika, proces varjenja, odmik gorilnika)	t_p	0,7	
35		Namestitev zavornega obroča in zgornje plošče v pripravo ter fiksiranje (postavitev, primik gorilnika, proces varjenja, odmik gorilnika)	t_p	1,5	
36		Postavitev in fiksiranje zunanje cevi med obe plošči (postavitev, primik gorilnika, proces varjenja, odmik gorilnika)	t_p	1	
37		Čiščenje šobe (uporaba silikonskih sprejev)			0,6
38		Izklop stroja			0,4
39		Čiščenje in menjava plinskih šob, kontaktnih šob, menjava koluta žice, menjava jeklenke, s plinom (na serijo)			8
40		Pospravljanje delovnega mesta			3
41		Zaključevanje in vračanje dokumentacije			2
			$\Sigma t_t = 6,3 \text{ min}$		
			$\Sigma t_p = 11,48 \text{ min}$		
			$\Sigma t_{pzo} = 29 \text{ min}$		

Vir: (lasten vir,2023)

5.3.2 Izračun stroškov pri robotskem postopku izdelave

Podobno kot pri ročnem načinu varjenja sem do potrebnih podatkov za izračun stroškov prišel na podlagi povpraševanja pri različnih ponudnikih. Tudi v tej tabeli so nekatere vrednosti (OC) ocenjene na podlagi izkušenj.

Tabela 5: Podatki za izračun stroškov robotskega načina varjenja

Opis	Vrednost	Enota
Število kosov v seriji	150	Kos/serija
Število serij na leto	8	ser/leto
Trajanje projekta	5	Let
Normativni čas	21,88	min/kos
Gostota varilne žice	7850	Kg/m ³
Premjer varilne žice	0,0012	m
Hitrost varilne žice	15	m/min
Cena varilne žice (300 kg sod)	1325,7	€
Pretok zaščitnega plina	0,015	m ³ /min
Masa zaščitnega plina (jeklenka)	20,2	kg/jek
Gostota zaščitnega plina	1,71	kg/m ³
Cena zaščitnega plina (jeklenka)	157,88	€/jek
Število kontaktnih šob	(OC) 30 kos na serijo	kos/ser
Število plinskih šob	(OC) 10 kos na serijo	kos/ser
Cena kontaktne šobe	1,22 (10)	€/kos
Cena plinske šobe	12,4	€/kos

Vir: (lasten vir, 2023)

Masa porabljene varilne žice robota na kos $m_{\text{žice/robot}}$ [kg/kos]

$$\begin{aligned}
 m_{\text{žice/robot}} &= \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{\text{žice}} \cdot t_t \cdot \rho_{\text{žice}} = \\
 &= \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,0012 \text{ m}^2}{4} \cdot 16 \text{ m/min} \cdot 6,3 \text{ min} \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,89 \text{ kg/kos} \quad (5.17)
 \end{aligned}$$

Masa porabljene varilne žice robota v času trajanja projekta [kg/proj]

$$\begin{aligned}
 m_{\text{žice/proj}} &= m_{\text{žice/robot}} \cdot t_{\text{projekta}} \cdot i \cdot z_n \cdot \left(1 + \frac{d_0}{100}\right) = \\
 &= 0,89 \text{ kg/kos} \cdot 5 \text{ let} \cdot 8 \text{ ser/leto} \cdot 150 \text{ kos} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{100}\right) = 5361,36 \text{ kg} \quad (5.18)
 \end{aligned}$$

kjer je:

d_0 – delež neporabljene žice pri kolutu/sodu $d_0 = 0,4 \%$ (ocenjeno: ostanek žice v cevnem paketu, rezanje žice).

Število menjav soda z žico v času projekta i_{krobot} [kol/proj]

$$i_{\text{krobot}} = \frac{m_{\text{žice/proj}}}{m_{\text{kol}}} = \frac{5361,36 \text{ g}}{300 \text{ kg}} = 17,87 \Rightarrow 18 \text{ sodov/projekt} \quad (5.19)$$

Število menjav soda z žico v seriji i_k [kol/ser]

$$i_{\text{kser}} = \frac{i_k}{i \cdot t_{\text{proj}}} = \frac{18}{5 \cdot 8} = 0,45 \text{ sod/serijo} \Rightarrow 1 \text{ sod/serijo} \quad (5.20)$$

Strošek varilne žice [€/h]

$$\begin{aligned}
 S_{\text{žice}} &= \frac{60}{t_1} m_{\text{žice/robot}} \cdot C_{\text{žice}} \cdot \left(1 + \frac{d_0}{100}\right) = \\
 &= \frac{60}{21,88} \cdot 0,89 \text{ kg} \cdot 4,42 \text{ €/kg} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{100}\right) = 10,83 \text{ €/h} \quad (5.21)
 \end{aligned}$$

Masa porabljenega plina na kos [kg/kos]

$$m_{plina/kos} = q_{plina} \cdot (t_l + \text{število začetkov in prekinitev varjenj} \cdot (\frac{t_{pred} + t_{povp}}{60})) \cdot \rho_{plina} =$$

$$= 0,015 \text{ m}^3/\text{min} \cdot (6,3 \text{ min} + 8 \cdot (\frac{2s+2s}{60s})) \cdot 1,75 \text{ kg/m}^3 = 0,18 \text{ kg/kos} \quad (5.22)$$

kjer je:

t_{pred} – čas predvpihovanja zaščitnega plina $t_{pred} = 2s$

t_{povp} – čas povpihovanja zaščitnega plina $t_{povp} = 2s$

Masa porabljenega plina na projekt [kg/projekt]

$$m_{plina/proj} = m_{plina} \cdot Z_N \cdot i \cdot t_{proj} = 0,18 \text{ kg/kos} \cdot 150 \cdot 8 \cdot 5 = 1080 \text{ kg} \quad (5.23)$$

Število potrebnih menjav jeklenk plina na projekt i_j [jeklenk/projekt]

$$i_j = \frac{m_{plina/celota}}{m_{jeklenke}} = \frac{1080 \text{ kg}}{20,2 \text{ kg}} = 53,47 \Rightarrow 54 \text{ jeklenk /projekt} \quad (5.24)$$

Število potrebnih menjav jeklenk plina na serijo $i_{jserija}$ [jeklenk/serija]

$$i_{jserija} = \frac{i_j}{i \cdot t_{projekta}} = \frac{54}{8 \cdot 5} = 1,35 \Rightarrow 2 \text{ jeklenki/serija} \quad (5.25)$$

Strošek plina [€/h]

$$S_{plina} = \frac{60}{t_1} \cdot m_{plina} \cdot \frac{c_{pl}}{m_j} = \frac{60}{21,88} \cdot 0,19 \text{ kg/kos} \cdot \frac{157,88}{20,2} = 4,07 \text{ €/h} \quad (5.26)$$

Strošek kontaktnih šob [€/h]

$$S_{kšob} = \frac{60}{t_1} \cdot \frac{c_{kš} \cdot i_{kš}}{Z_n} = \frac{60}{21,88} \cdot \frac{0,122 \cdot 30}{150} = 0,067 \text{ €/h} \quad (5.27)$$

Strošek plinskih šob [€/kos]

$$S_{pšob} = \frac{60}{t_1} \cdot \frac{c_{pš} \cdot i_{pš}}{Z_n} = \frac{60}{21,88} \cdot \frac{12,4 \cdot 10}{150} = 2,27 \text{ €/h} \quad (5.28)$$

Celotni stroški orodja [€/h]

$$S_{orodja} = S_{žice} + S_{plina} + S_{kšob} + S_{pšob} =$$

$$= 10,83 \text{ €/h} + 4,07 \text{ €/h} + 0,067 \text{ €/h} + 2,27 \text{ €/h} = 17,24 \text{ €/h} \quad (5.29)$$

IZRAČUN STROŠKOV MED PRIPRAVO NASLEDNJEGA KOSA

Podatke za izračun stroškov pomožnega delavca sem vzel iz tabele (2) za ročno varjenje. Prav tako bo v enačbah spodaj uporabljen čisti čas varjenja za potrebe fiksiranja kosov in znaša približno 1/3 časa, ki je predstavljen v tabeli (4) za pripravo naslednjega kosa med procesom varjenja robota.

Masa porabljene varilne žice na kos $m_{\text{žice/varilec}}$ [kg/kos]

$$\begin{aligned} m_{\text{žice/varilec}} &= \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{\text{žice}} \cdot t_t \cdot \rho_{\text{žice}} = \\ &= \frac{\pi \cdot 0,0012 \text{ m}^2}{4} \cdot 10 \text{ m/min} \cdot 1,07 \text{ min} \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 = 0,09 \text{ kg/kos} \end{aligned} \quad (5.30)$$

Masa porabljene varilne žice v projektu [kg/proj]

$$\begin{aligned} m_{\text{žice/proj}} &= m_{\text{žice/varilec}} \cdot t_{\text{projekta}} \cdot i \cdot z_n \cdot \left(1 + \frac{d_0}{100}\right) = \\ &= 0,09 \text{ kg/kos} \cdot 150 \text{ kos} \cdot 8 \text{ ser/leto} \cdot 5 \text{ let} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{100}\right) = 542,16 \text{ kg} \end{aligned} \quad (5.31)$$

kjer je:

d_0 – delež neporabljene žice pri kolutu/sodu $d_0 = 0,4 \%$ (ocenjeno: ostanek žice v cevnem paketu, rezanje žice).

Število menjav koluta žice na v času projekta i_k [kol/proj]

$$i_k = \frac{m_{\text{žice/proj}}}{m_{\text{kol}}} = \frac{542,16 \text{ kg}}{15 \text{ kg}} = 36,14 \Rightarrow 37 \text{ kolotov/projekt} \quad (5.32)$$

Število menjav koluta žice v seriji i_k [kol/ser]

$$i_{kser} = \frac{i_k}{i \cdot t_{proj}} = \frac{37}{5 \cdot 8} = 0,93 \Rightarrow 1 \text{ kolut/serijo} \quad (5.33)$$

Strošek varilne žice [€/h]

$$S_{žice} = \frac{60}{t_1} m_{žice/varilec} \cdot C_{žice} \cdot \left(1 + \frac{d_0}{100}\right) =$$

$$= \frac{60}{21,88} \cdot 0,09 \text{ kg} \cdot 2,78 \text{ €/kg} \cdot \left(1 + \frac{0,4}{100}\right) = 0,69 \text{ €/h} \quad (5.34)$$

Masa porabljenega plina na kos [kg/kos]

$$m_{plina/kos} = q_{plina} \cdot (t_l + \text{število začetkov in prekinitev varjenj} \cdot \left(\frac{t_{pred} + t_{povp}}{60}\right)) \cdot \rho_{plina} =$$

$$= 0,012 \text{ m}^3/\text{min} \cdot (1,07 \text{ min} + 20 \cdot \left(\frac{2s+2s}{60s}\right)) \cdot 1,75 \text{ kg/m}^3 = 0,064 \text{ kg/kos} \quad (5.35)$$

kjer je:

t_{pred} – čas predvpihovanja zaščitnega plina $t_{pred} = 2s$

t_{povp} – čas povpihovanja zaščitnega plina $t_{povp} = 2s$

Masa porabljenega plina na projekt [kg/projekt]

$$m_{plina/proj} = m_{plina} \cdot Z_N \cdot i \cdot t_{proj} = 0,064 \text{ kg/kos} \cdot 150 \cdot 8 \cdot 5 = 384 \text{ kg} \quad (5.36)$$

Število potrebnih menjav jeklenk plina na projekt i_j [jeklenk/projekt]

$$i_j = \frac{m_{plina/celota}}{m_{jeklenke}} = \frac{384 \text{ kg}}{20,2 \text{ kg}} = 18,99 \Rightarrow 19 \text{ jeklenk /projekt} \quad (5.37)$$

Število potrebnih menjav jeklenk plina na serijo $i_{jserija}$ [jeklenk/serija]

$$i_{jserija} = \frac{i_j}{i \cdot t_{projekta}} = \frac{19}{8 \cdot 5} = 0,475 \Rightarrow 1 \text{ jeklenka/serija} \quad (5.38)$$

Strošek plina [€/h]

$$S_{plina} = \frac{60}{t_1} m_{plina} \cdot \frac{c_{pl}}{m_j} = \frac{60}{21,88} \cdot 0,064 \text{ kg/kos} \cdot \frac{157,88}{20,2} = 1,37 \text{ €/h} \quad (5.39)$$

Strošek kontaktnih šob [€/h]

Ocenjena vrednost porabe kontaktnih šob je 5 kontaktnih šob na serijo.

$$S_{kšob} = \frac{60}{t_1} \cdot \frac{C_{kš} \cdot i_{kš}}{Z_n} = \frac{60}{21,88} \cdot \frac{0,078 \cdot 5}{150} = 0,0071 \text{ €/h} \quad (5.40)$$

Strošek plinskih šob [€/kos]

Ocenjena vrednost porabe plinskih šob sta 2 plinski šobi na serijo. (5.41)

$$S_{pšob} = \frac{60}{t_1} \cdot \frac{C_{pš} \cdot i_{pš}}{Z_n} = \frac{60}{21,88} \cdot \frac{4,36 \cdot 2}{150} = 0,159 \text{ €/h}$$

Celotni stroški orodja [€/h]

$$\begin{aligned} S_{orodja} &= S_{žice} + S_{plina} + S_{kšob} + S_{pšob} = \\ &= 0,69 \text{ €/h} + 1,37 \text{ €/h} + 0,0071 \text{ €/h} + 0,159 \text{ €/h} = 2,23 \text{ €/h} \end{aligned} \quad (5.42)$$

5.3.3 Stroškovna kalkulacija robotskega postopka izdelave

V tabeli 6 je prikazana stroškovna kalkulacija robotskega varjenja in ročnega varjenja za pripravo naslednjih kosov. Nabavno vrednost robotske celice sem dobil na podlagi povpraševanja pri ponudniku in predstavlja ceno nakupa nove z namenom, da dobimo na koncu realno vrednost stroškov, ki ni vezana na določeno podjetje. Do ostalih podatkov v tabeli sem, enako kot pri ročnem načinu varjenja, prišel s pomočjo lastnega gradiva, povpraševanj in s pomočjo izračunov. Ker čisto vseh stroškov ne moremo upoštevati, saj so težje določljivi in se pokažejo šele s časom, take stroške zajemamo z raznimi dodatki (manipulacijski dodatek, dodatek za splošne proizvodne stroške, dodatek za strošek uprave in prodaje). Dodatki so določeni s pomočjo učnega gradiva (Buchmeister & Polajner, 2000).

Tabela 6: Stroškovna kalkulacija robotskega varjenja

Št.	Podatek	Enota	Opomba	Obdelovalni stroj	
				Varilni robot ABB IRB 1600	Varilni izvor JESS PROPULS 400
1	Število kosov v seriji	kos/ser	Z_N	150	
2	Število serij na leto	ser/leto	i	8	
3	Normativni čas	min/kos	t_1	21,88	
4	Pripravljalno-zaključni čas	min/ser	t_{pz}	39,35	
5	Nabavna vrednost stroja	€		42.000	6.800
6	Priključna moč stroja	kW	$x (\frac{1}{2})$ prikl. moči	17	11
7	Površina delovnega mesta	m ²		26	
8	Amortizacijska doba	leta		5	5
9	Koristna kapaciteta stroja	h/leto	2 izmeni	3000	3000
10	Odpis	€/h	$\frac{(5)}{(8) \cdot (9)}$	2,8	0,45
11	Obresti (%)	€/h	/	/	/
12	Stroški vzdrževanja (4 %)	€/h	$\frac{(5) \dots}{100 \cdot (9)}$	0,14	0,09
13	Stroški prostora ($100 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{leto}}$)	€/h	$\frac{(7) \cdot \dots}{(9)}$	0,86	
14	Stroški energije ($0,2 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$)	€/h	(6) ·	3,4	2,2
15	Stroški orodja	€/h	Sorodja	17,24	2,23
16	Stroški na stroju	€/h	$(10) + (11) + (12) + (13) + (14) + (15)$	24,01	5,4
17	Bruto osebni dohodek delavca	€/h		12,46	
18	Dodatni stroški (izmet,...) (3%)	€/h	$\frac{(16) \cdot \dots}{100}$	0,72	0,16
19	Stroški delovnega mesta	€/h	$(16) + (17) + (18)$	30,96	11,79
20	Stroški po kosu	€/kos	$\frac{(3) \cdot (19)}{60}$	15,58	
21	Stroški namenskih vpenjalnih naprav in specialnih orodij	€		200	300
22	Stroški programiranja (NC)	€		800	0
23	Stroški priprave (pri 1. seriji)	€/kos	$\frac{(21) + (22)}{(1) \cdot (2)}$	1,08	
24	Stroški priprave po kosu	€/kos	$\frac{(4) \cdot (19)}{60 \cdot (1)}$	1,4	
25	Stroški izdelave	€/kos	$(20) + (23) + (24)$	18,06	
26	Posebni stroški obdelave	€/kos	0		
27	Skupni izdelovalni stroški	€/kos	$(25) + (26)$	18,06	
28	Dodatek za splošne proizvodne stroške (20%)	€/kos	$\frac{(27) \cdot \dots}{100}$	3,61	
29	Dodatek za stroške uprave in prodaje (35%)	€/kos	$\frac{(27) \cdot \dots}{100}$	6,32	
30	Lastna cena (brez DDV, stroškov materiala)	€/kos	$(27) + (28) + (29)$	27,99	

Vir: (lasten vir, 2023)

5.4 Stroškovna primerjava obeh načinov izdelave

V tem poglavju bom prikazal stroškovno primerjavo obeh postopkov izdelave in prikazal upravičenost investicije v robotiziran proces izdelave. Dobljene podatke iz stroškovne kalkulacije bom primerjal med sabo in predstavil prihranek v stroških izdelave med obema načinoma izdelave.

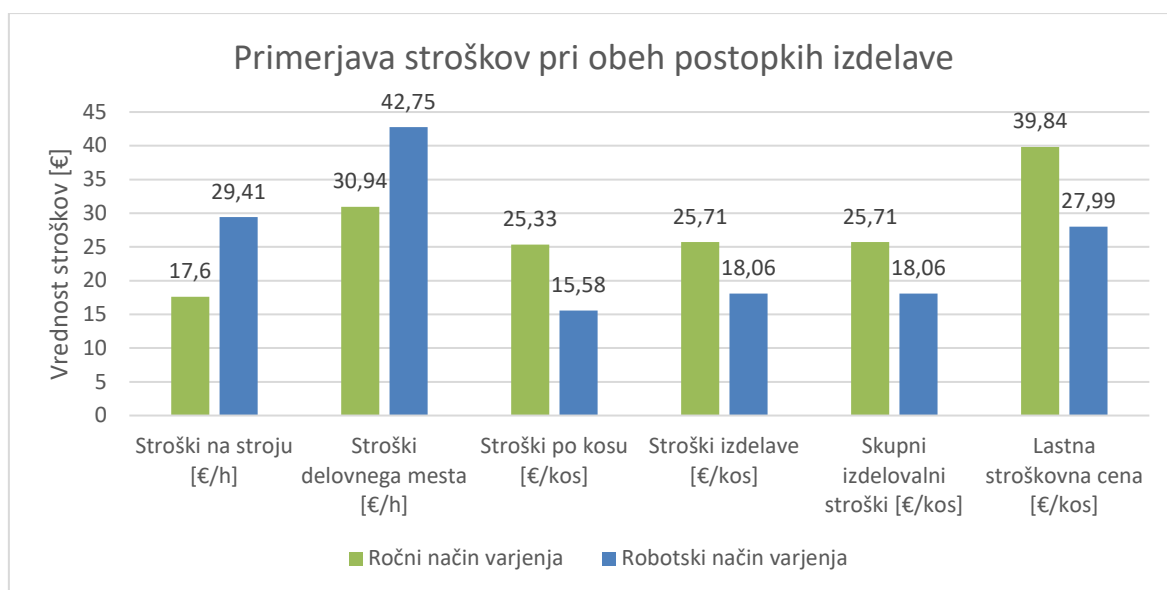
Na podlagi lastne stroškovne cene obeh postopkov izdelave vrvnega bobna bom poskušal opravičiti smotrnost investicije v robotski način izdelave. Iz tabele 3 je razvidno, da je lastna stroškovna cena ročnega načina izdelave 39,84 €, medtem ko je iz tabele 6 moč razbrati, da je lastna stroškovna cena robotskega načina izdelave 26,12 €. Prihranek je torej razlika obeh postopkov izdelave.

$$P = (LSC_2 - LSC_1) = (39,84 \text{ €/kos} - 27,99 \text{ €/kos}) = 11,85 \text{ €/kos}$$

P – prihranek

LSC_1 – lastna stroškovna cena ročnega varjenja

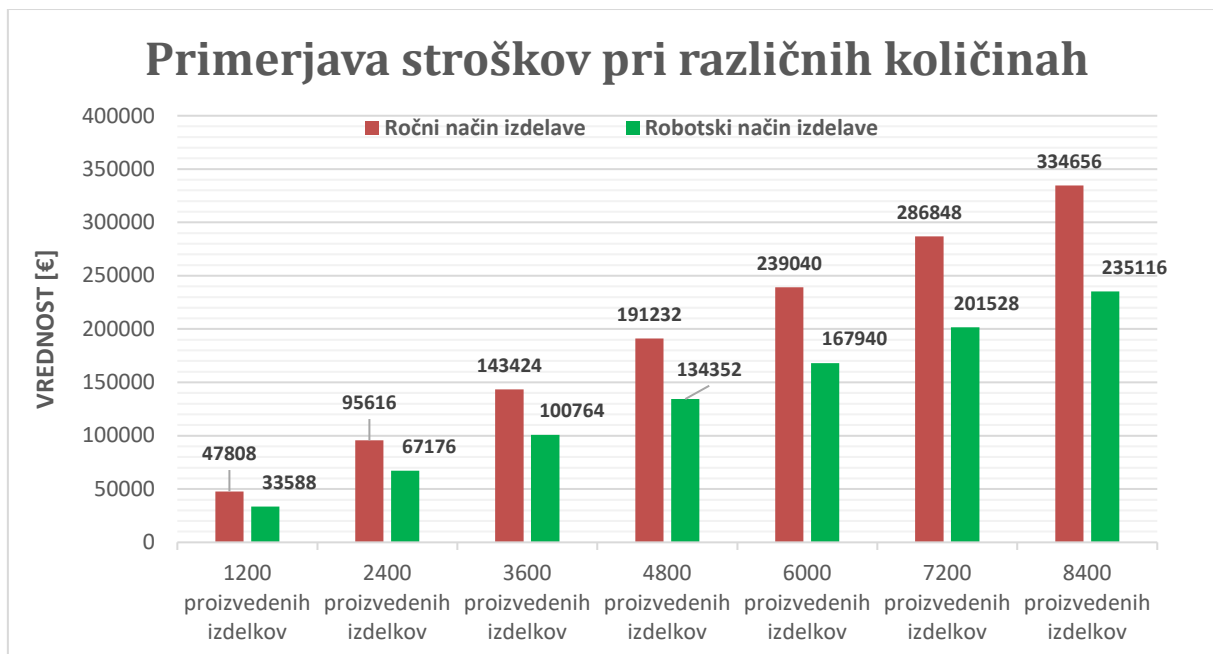
LSC_2 – lastna stroškovna cena robotskega varjenja



Slika 29: Graf primerjave stroškov pri obeh postopkih izdelave

Vir: (lasten vir, 2023)

Če gledamo samo nabavno vrednost strojev pri obeh postopkih izdelave, je postopek ročnega načina izdelave vrvnega bobna cenejši od robotskega načina izdelave. Ampak s pomočjo stroškovne kalkulacije je razvidno, da to ne drži.



Slika 30: Graf primerjava stroškov pri različnih količinah

Vir: (lasten vir, 2023)

Lastna stroškovna cena namreč upošteva vse stroške, ki so neposredno ali posredno vezani na izdelavo izdelka. Glede na enako količino proizvedenih vrstnih bobnov se razlika v investiciji, ki je na začetku v prid ročnega načina izdelave, obrne že po 3. letu, oziroma po 3545 izdelanih kosih. Glavni dejavnik je normativni čas in pripravljajno zaključni čas, ki sta nižja pri robotskem načinu izdelave, kar hkrati tudi pomeni, da lahko proizvedemo v enakem časovnem obdobju več kosov.

Če analiziramo sliko 29, vidimo, da so stroški na stroju in stroški delovnega mesta nižji pri ročnem načinu varjenja prav zaradi nižje nabavne vrednosti stroja, manjše površine delovnega mesta itd. Vsi ostali kazalniki pa so v prid robotskega načina izdelave prav zaradi manjše vrednosti normativnega časa izdelave. Prav tako pa moramo upoštevati dejstvo, da je ponovljivost in natančnost izdelave pri robotskem načinu izdelave veliko boljša v primerjavi z ročnim, kajti upoštevati moramo še človeški faktor.

5.5 Primerjave kvalitete zvarnega spoja

Prednosti robotskega načina varjenja ni samo v hitrosti in ponovljivosti, ampak tudi v kvaliteti zvara. Kot lahko opazimo na slikah spodaj, so zvari pri robotskem načinu varjenja mnogo bolj zvezni. Zaradi neenakomernega vnosa toplote, kar je posledica neenakomerne hitrosti varjenja, so zvari pri ročnem načinu varjenja nezvezni, površina je bolj valovita in tudi estetsko manj privlačna.



Slika 31: Primerjava zvara med ročnim in robotskim načinom izdelave

Vir: (lasten vir, 2023)

Prav tako obstaja pri ročnem načinu varjenja veliko večja verjetnost nastanka razpok v varu zaradi neenakomernega dovajanja toplote. Pride lahko tudi do zajed, ki nastanejo zaradi previsoke jakosti varilnega toka, oziroma nepravilne pozicije gorilnika (razdalja kontaktne šobe do zvarjenca). Najpogosteje se pojavi na robovih.



Slika 32: Primerjava zvara na zavornem obroču

Vir: (lasten vir, 2023)

Med možne napake spadajo tudi obrizgi, ki so posledica dotikanje varilne žice na zvarjenec, prevelike razdalje med kontaktno šobo in mestom varjenja ter nepravilno nastavljeni parametri varjenja.



Slika 33: Ročni način izdelave (levo) in robotski (desno)

Vir: (lasten vir, 2023)

Seveda obstajajo za bolj podrobno analizo kvalitete zvarov naprednejše tehnike odkrivanja napak v zvaru, kot so ultrazvočna preiskava (UT), radiografska preiskava (RT), kontrola s pomočjo magnetnih delcev (MT), penetrantska preiskava (PT) itd. V mojem diplomskem delu sem se osredotočil le na vizualno preiskavo zaradi morebitnih stroškov in obsežnosti diplomskega dela ter tudi na podlagi dosedanjih izkušenj z izdelavo vrvnih bobnov, kjer do sedaj niso imeli omembe vrednih reklamacij zaradi same kvalitete zvarnih spojev.

6 VARNOST

Z varjenjem je povezanih veliko tveganj. Ker pri varjenju prihaja do izredno visokih temperatur, isker in obrizgov, sproščanja strupenih plinov, potencialno škodljive ultravijolične in infrardeče svetlobe, je še kako pomembno, da poskrbimo za ustrezno varnost pri delu.

Varilec za opravljanje svojega dela potrebuje ustrezen certifikat, s katerim izkazuje svojo strokovno usposobljenost. Tovrstni certifikat pa ni zgolj potrdilo o prejetem znanju varjenja, pač pa tudi znanje o varnosti pri delu in vse, kar sodi zraven pri postopku varjenja. Pridobljeni certifikat je tako prvi korak na poti do varnega varjenja.

Varilec je lahko učinkovit, če uporablja ustrezno osebno zaščitno opremo. Zaradi visokih temperatur in možnosti isker je zelo pomembno, da je koža varilca ustrezno zaščiten. Najpomembnejše pri zaščitni opremi je, da je iz negorljivega materiala, ki nas med varjenjem ščiti pred poškodbami in hkrati dovolj trpežen, da zaradi ponavljajočih se gibov ne pride do prehitre obrabe. Seveda ne smemo pozabiti tudi na negorljive rokavice in čevlje.



Slika 34: Varnostna oprema za varjenje

Vir: (<https://www.sqs.si/wp-content/uploads/2021/01/pripomocki-za-varjenje-2.jpg>, 2023)

Obvezna oprema vsakega varilca je varilna maska. Nadvse pomembno je, da poskrbimo za zaščito obraza in predvsem oči. Poleg žarečih delcev taline je izredno nevarno svetlobno sevanje, ki lahko močno poškoduje vid, v kolikor ne uporabljamo ustrezne varilne maske. Za zaščito varilci uporabljajo varilne maske z zatemnjenim steklom in posebnim UV filtrom.

Varilna maska mora izpolnjevati varnostne standarde za varjenje, ki se razlikujejo med državami. Po standardu mora samozatemnitveni varilni filter za oči svetlobo varilnega obloka ustrezno filtrirati, sama maska pa mora biti odporna proti obrizgom in udarcem. Izbor je odvisen predvsem od vrste varjenja.

Stranski produkt varjenja so tudi strupeni plini, ki ogrožajo ne samo zdravje varilca, ampak vseh oseb, ki se nahajajo v prostoru. Zato mora biti prostor dobro prezračen ali pa še bolje, če je varilno mesto opremljeno z odsesovalno filtrskimi napravami, ki odvajajo varilne dime neposredno na mestu izvora. Obstajajo sistemi za odvajanje varilnega dima, odsesovalne nape, gorilniki, ki imajo vgrajeno odsesavanje in še bi lahko naštevali.

Je pa še mnogo drugih potencialnih nevarnosti, ki jih v tem poglavju nisem omenil. Seveda je delodajalčeva vloga pri zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu velika, vendar je tudi vsak posameznik odgovoren, da delo opravlja s čim manj tveganja, in spoštuje predpise in ukrepe o varnosti in zdravju pri delu ter pazljivo opravlja svoje delo.

7 SKLEP

V diplomskem delu sem predstavil konkreten primer iz podjetja, ki se sooča z izzivom, ali je smiselno investirati v posodobitev proizvodnega sistema ali pa nadaljevati proces izdelave vrvnega bobna na obstoječ način.

V prvem delu sem predstavil podjetje, opisal najpogostejše načine varjenja, predvsem varjenje s postopkom MIG/MAG ter prikazal prednosti in slabosti varjenja s tem postopkom. V drugem delu diplomske naloge sem potem najprej predstavil obstoječ način izdelave vrvnega bobna, analiziral proces izdelave s postopkom ročnega varjenja in s pomočjo stroškovne kalkulacije izračunal lastno stroškovno ceno.

V nadaljevanju diplomskega dela sem potem s pomočjo podatkov, pridobljenih iz implementacije projekta pri zunanjem izvajalcu, predstavil komponente, ki sestavljajo robotsko celico, analiziral proces izdelave vrvnega bobna s postopkom robotskega varjenja in na podlagi stroškovne kalkulacije izračunal lastno stroškovno ceno. Lastna stroškovna cena je namreč tisti faktor, na podlagi katerega se lastniki podjetij odločajo glede investicij in ustrezne izbire postopkov izdelave.

Diplomsko delo temelji na naslednjih hipotezah: H1: »Varjenje s pomočjo robota je učinkovitejše od ročnega varjenja«. Hipotezo 1 lahko potrdimo, saj smo s pomočjo analize dela dokazali, da je normativni čas pri robotskem postopku izdelave vrvnega bobna 2,25 krat krajši od ročnega postopka izdelave. Robot dela hitreje in dosledneje kot človek, kar skrajša čas, potreben za dokončanje dela, pa tudi za razliko od človeka robot ne potrebuje odmor oziroma počitek in lahko dela neprekinjeno.

H2: »Kvaliteta zvarnega spoja pri robotskem varjenju je v primerjavi z ročnim načinom varjenja večja«. Tudi drugo hipotezo lahko načeloma potrdimo, saj je kvaliteta zvarov pri robotskem postopku izdelave večja v primerjavi z ročnim postopkom varjenja. Za popolno potrditev hipoteze bi bila poleg vizualne kontrole zvarov potrebna bolj podrobna analiza kvalitete zvarov s pomočjo ultrazvočne in radiografske kontrole, kontrole z magnetnimi delci in ostalimi naprednimi metodami preiskav.

H3: »Pri ročnem načinu varjenja porabimo več dodatnega materiala.« Tretjo hipotezo, ki trdi, da z ročnim postopkom izdelave vrvnega bobna porabimo več materiala kot v primerjavi z robotskim postopkom izdelave, lahko tudi potrdimo. Vzrok za to lahko iščemo v človeškem faktorju, kajti človek v primerjavi z robotom ni sposoben variti konstantno enako. Roboti lahko

za vsak spoj dosledno uporabijo enako količino materiala, medtem ko človek tega ni sposoben. Prav tako so roboti programirani tako, da vsakič varijo popolnoma enako pot, kar zagotavlja, da so zvarni spoji natančni in je posledično manj odpadnega materiala.

H4: »Pravilna priprava dela zmanjša verjetnost nastanka poškodb.« Čeprav v tem diplomskem delu nismo šli v podrobno analizo varnosti pri obeh postopkih priprave, pa smo omenili potencialne nevarnosti, ki nastanejo pri varjenju, in kako jih zmanjšati. S pravilno pripravo dela lahko močno zmanjšamo tveganje za nastanek poškodb, tako da uporabljamo ustrezno zaščitno opremo, da so kosi pravilno nameščeni, da je delovno mesto urejeno in da so zaposleni strokovno usposobljeni. Robotski način priprave pa omogoča še dodatne prednosti, ko gre za ustrezno pripravo dela, vključno z avtomatizacijo, doslednostjo, natančnostjo, varnostnimi funkcijami in zasnovo delovnega mesta. Z uporabo robotskega varjenja lahko proizvajalci še dodatno zmanjšajo verjetnost poškodb in ustvarijo varnejše delovno okolje.

Čeprav so stroški nakupa robotskih varilnih strojev višji od stroškov nakupa ročnih varilnih strojev, se naložba dolgoročno povrne zaradi večjega števila proizvedenih izdelkov. Robotski varilni stroji imajo večjo zmogljivost kot ročni varilni stroji, kar pomeni, da je mogoče v krajšem času izdelati več izdelkov. To ne vodi le k povečanju prihodkov, temveč tudi pomaga zmanjšati stroške dela.

Poleg tega so robotski varilni aparati varnejši od ročnih varilnih aparatov. Delujejo lahko v nevarnih okoljih, ne da bi bili človeški delavci izpostavljeni varnostnim tveganjem. To ne varuje le delavcev, temveč tudi zagotavlja, da proizvodni proces ni prekinjen zaradi varnostnih težav.

Robotski postopek varjenja bo sicer zelo težko v celoti nadomestil ročno varjenje pri maloserijskih izdelkih, saj je nabavna vrednost, priprava in programiranje robota bistveno dražje v primerjavi z ročnim varjenjem, vendar lahko zmanjšamo nabavno vrednost tako, da se odločimo namesto investicije v novo robotsko varilno celico za nakup rabljene robotske varilne celice. Problem pri postopkih izdelave, ki temeljijo na ročnem načinu varjenja, je tudi pomanjkanje usposobljenih varilcev na trgu.

Na koncu je analiza pokazala, da je robotsko varjenje v primerjavi z ročnim varjenjem učinkovitejša in stroškovno učinkovitejša metoda proizvodnje. Čeprav je začetna naložba v

robotske varilne aparate morda višja, se zaradi večje hitrosti (krajši normativni čas) in zmogljivosti proizvodnje dolgoročno izplača.

8 VIRI IN LITERATURA

- Buchmeister, B., & Polajner, A. (2000). *Priprava proizvodnje za delo v praksi*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.
- Čretnik, D. (2008). *Tehnologija spajanja in preoblikovanja*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- Gliha, V., & Pučko, B. (2007). *Postopki spajanja*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.
- Gozdarski vitel*. (8. 4 2023). Pridobljeno iz <https://www.gozd-les.com/gozdna-dela/gozdarski-stroji/gozdarski-vitel>
- Polajner, A., Buchmeister, B., & Leber, M. (2002). *Organizacija proizvodnje*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.
- Tušek, J. (2014). *Varjenje in sorodne tehnike spajanja v neločljivo zvezo*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
- VPS 4000 digit*. (09. 04 2023). Pridobljeno iz <https://www.daihen-varstroj.si/varilni-aparati/varjenje-po-mig-mag-postopku/vps/vps-4000-digit-slo.html>