

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**EKONOMSKA UPRAVIČENOST UVEDBE
LASERSKEGA VARJENJA HLADILNIH PLAŠČEV**

DIPLOMSKO DELO

Tjaš Saksida

Mentor: doc. dr. Miha Kovačič

Nova Gorica, 2011

ZAHVALA

Zahvaljujem se predavatelju doc. dr. Mihi Kovačiču za potrpežljivost in vzpodbudo pri nastajanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi gospodu Tomažu Škrlju iz podjetja Škrlj d.o.o., ki mi je omogočil izdelavo naloge, ter mentorju Edvinu Batisti, univ. dipl. ing met. specialistu varjenja, za obilico napotkov in veliko pomoč pri mojem delu in ustvarjanju diplomske naloge.

NASLOV

Ekonomska upravičenost uvedbe laserskega varjenja hladilnih plaščev

IZVLEČEK

Podjetje Škrlj d.o.o. proizvaja kvalitetne posode za prehrambeno in farmacevtsko industrijo iz nerjavnega jekla. Obstoječi postopek TIG varjenja ni omogočal nadaljnje količinske in kvalitativne rasti proizvodnje. Zato so se v podjetju odločili za posodobitev tehnologije varjenja, s čimer naj bi dosegli večjo proizvodno zmogljivost, izboljšali kvaliteto svojih proizvodov, obenem pa tudi zmanjšali stroške izdelave. V ta namen je podjetje investiralo v 3D CNC CO₂ laserski varilni sistem.

V diplomski nalogi podajamo osnovne značilnosti laserskega varjenja in obravnavamo lasersko varjenje uporabljenih materialov ter zahteve za zagotavljanje kakovosti zvarnih spojev.

Za postopek ugotavljanja ekonomske upravičenosti nove investicije smo izdelali primerjalno analizo stroškov izdelave hladilnega plašča pred in po posodobitvi ter finančno oceno vrednotenja uspešnosti projekta. Vrednotenje nove investicije smo opravili na osnovi metode interne stopnje prihranka.

Odločitev za uvajanje modernih, visoko produktivnih in fleksibilnih tehnologij varjenja je velikega pomena za uspešno poslovanje podjetja in njegovo nadaljnjo rast. Nova tehnologija omogoča povečanje obsega proizvodnje, skrajšanje izdelovalnih časov, racionaliziranje stroškov izdelave ter uvajanje novih proizvodov.

Tako s tehničnega kot tudi z ekonomskega vidika je bila naložba v CO₂ laserski varilni sistem povsem upravičena. Na podlagi izračunov smo ugotovili, da je izbran projekt zelo učinkovit, saj se je investicija povrnila pred načrtovanim rokom.

KLJUČNE BESEDE

CO₂ lasersko varjenje, hladilni plašč, posodobitev proizvodnje, investicija, izdelovalni stroški, finančna ocena, vrednotenje uspešnosti projekta

TITLE

Economic Justification of the Introduction of Laser Welding Pillow Plates

ABSTRACT

The company Škrlj d.o.o. produces high-quality stainless steel containers for the food and pharmaceutical industry. Conventional TIG welding process would not allow further quantitative and qualitative growth of production. For this reason, the company made a decision to update the welding technology in order to achieve larger production capacity and a higher product quality while simultaneously reducing manufacturing costs. For this reason company made an investment in 3D CNC CO₂ laser welding system.

This bachelor thesis introduces the basic features of CO₂ laser, laser welding technology of stainless steel materials and requirements for quality assurance of welded joints. The new investment is based on a comparative analysis of the cost of manufacturing the cooling jacket prior to and after the new investment as well as on financial evaluation of the performance evaluation of the project. Financial evaluation of new investments was made on the basis of internal rate of savings method.

The decision to introduce modern, highly productive and flexible welding technologies is of great importance for the company's success and its future economic growth. By adopting the new technology, the company becomes able to increase the volume of production, reduce the production time, streamline the costs of production and introduce new products. From technical as well as from economical viewpoint, the investment in CO₂ laser welding system is completely justified. Based on our calculations we assess the investment as very effective, since it balanced out more quickly than expected.

KEYWORDS

CO₂ laser welding, cooling jacket, modernization of production, investment, production costs, financial evaluation, economic justification

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev podjetja.....	1
1.2	Opis izdelave hladilnega plašča.....	2
1.3	Problematika.....	6
2	OSNOVE LASERSKEGA VARJENJA.....	8
2.1	Princip laserja.....	10
2.2	Tipi industrijskih laserjev za varjenje.....	13
2.3	Osnove CO ₂ laserske tehnologije.....	14
2.3.1	CO ₂ laserski varilni sistem.....	15
2.4	Delovni parametri laserskega varjenja nerjavnih jekel.....	16
2.4.1	Varivost nerjavnih avstenitnih jekel.....	17
2.4.2	Vrsta in oblika zvarnih spojev laserskega varjenja.....	18
2.4.3	Laserski parametri.....	19
2.4.4	Parametri varilnega postopka.....	22
2.5	Kakovost pri varjenju.....	26
2.6	Varnost pri varjenju.....	29
3	POSODOBITEV TEHNOLOGIJE VARJENJA HLADILNIH PLAŠČEV.....	32
3.1	Cilji projekta.....	32
3.2	Izračun proizvodnih stroškov varjenja.....	33

3.2.1	Kalkulacije izdelovalnih stroškov obstoječe tehnologije TIG varjenja..	37
3.2.2	Kalkulacije izdelovalnih stroškov laserske varilne tehnologije.....	39
3.3	Stroškovna primerjava obstoječe TIG in nove laserske tehnologije varjenja hladilnih plaščev	40
3.4	Kalkulacija potrebnih virov in cene virov financiranja	42
3.5	Amortizacijski načrt.....	42
3.6	Finančna ocena projekta	44
3.6.1	Bilanca stanja projekta.....	44
3.6.2	Realni denarni tok projekta.....	45
3.6.3	Individualna diskontna stopnja.....	46
3.6.4	Odplačilna doba.....	46
3.7	Učinkovitost projekta.....	49
4	REALIZACIJA CILJEV.....	51
4.1	Realizacija cilja povečanje proizvodnih zmogljivosti	51
4.2	Realizacija cilja znižanje proizvodnih stroškov.....	51
4.3	Realizacija cilja razvoj in rast podjetja	52
4.4	Realizacija cilja učinkovitost investicije.....	53
5	ZAKLJUČEK.....	54
6	LITERATURA.....	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Primer posode za prehrabeno industrijo s hladilnim plaščem	2
Slika 2: TIG varjenje hladilnega plašča (340 zvarnih točk/m ²)	4
Slika 3: Avtomatizirana naprava za TIG varjenje	5
Slika 4: Obodno TIG varjenje zgornje pločevine na spodnjo pločevino	5
Slika 5: Hladno plastično deformirana (napihnjena) zgornja pločevina	6
Slika 6: TIG – oksidiran zvar	7
Slika 7: Izgled in presek laserskega zvarnega spoja hladilnega plašča s posodo.....	9
Slika 8: Osnovne komponente laserja	10
Slika 9: Ojačanje svetlobe z absorpcijo fotona	11
Slika 10: Spontana emisija svetlobe.....	11
Slika 11: Ojačanje svetlobe s stimulirano emisijo	12
Slika 12: Primerjava med naravno in lasersko svetlobo	13
Slika 13: Tržni deleži svetovne prodaje laserjev v letu 2009.....	14
Slika 14: CNC laserski varilni sistem	15
Slika 15: Premik optike za prenos, oblikovanje in fokusiranje laserskega žarka	16
Slika 16: Tipične vrste in oblike zvarov primerne za lasersko varjenje	18
Slika 17: Interakcija laserja in materiala	20
Slika 18: Tipična načina laserskega varjenja	20
Slika 19: Premer fokusa žarka in globina žarišča v odvisnosti od fokusne razdalje..	22
Slika 20: Spreminjanje oblike zvara v odvisnosti od lege fokusa žarka na površini materiala	23

Slika 21: Plinska zaščita zvara pri varjenju.....	24
Slika 22: Vpliv moči žarka na obliko zvara (hitrost varjenja = konst)	25
Slika 23: Vpliv hitrosti varjenja na obliko zvara (moč žarka = konst)	26
Slika 24. Tipične napake pri laserskem varjenju	26
Slika 25: Izgled lasersko zavarjenega spoja na hladilnem plašču.....	29
Slika 26: Makro presek zvara na hladilnem plašču.....	29
Slika 27: Opozorila za nevarnost	31
Slika 28: 3D CNC varilni sistem.....	32
Slika 29 Proizvodni stroški TIG varjenja enote hladilnega plašča.....	40
Slika 30: Proizvodni stroški laserskega varjenja enote hladilnega plašča	40
Slika 31: Primerjava izdelovalnih stroškov na enoto proizvoda.....	41

KAZALO TABEL

Tabela 1: Kemična sestava in mehanske lastnosti najpogosteje uporabljenih avstenitnih nerjavnih jekel	3
Tabela 2: Primerjava postopkov laserskega in TIG varjenja	9
Tabela 3: Najpomembnejše vrste laserjev za obdelavo materiala.....	13
Tabela 4: Dopustna dimenzijska odstopanja pri laserskem varjenju	19
Tabela 5: Planirana proizvodnja hladilnih plaščev za obdobje 2010 – 2014.....	32
Tabela 6: Izdelovalni stroški za avtomatsko TIG varjenje.....	37
Tabela 7: Stroški dodatnih del pri TIG varjenju	38
Tabela 8: Celotni strošek avtomatskega TIG varjenja z dodatno obdelavo.....	38
Tabela 9: Izdelovalni stroški laserskega varjenja.....	39
Tabela 10: Primerjava stroškov izdelave na enoto proizvoda.....	40
Tabela 11: Viri financiranja projekta	42
Tabela 12: Amortizacijski načrt najetega kredita domače banke.....	42
Tabela 13: Amortizacijski načrt lastnih sredstev	43
Tabela 14: Amortizacijski načrt osnovnega sredstva.....	43
Tabela 15: Bilanca stanja ekonomske dobe projekta	44
Tabela 16: Realni denarni tok projekta	45
Tabela 17: Individualna diskontna stopnja virov financiranja	46
Tabela 18: Metoda odplačilne dobe	46
Tabela 19: Metoda vračanja naložbe.....	47
Tabela 20: Kriteriji izračuna učinkovitosti projekta	49

1 UVOD

Osnovni namen vsakega proizvoda je, da zadovolji uporabnika. Zato mora biti izdelek kakovosten, kar se lahko izraža skozi funkcionalnost, zanesljivost delovanja, učinkovitost, varnost, ekonomičnost, ekološko prijaznost in trajnost uporabe, nenazadnje pa tudi skozi zunanji izgled. Zahteve tržišča po vedno boljši kvaliteti proizvodov in storitev narekujejo stalno izboljševanje na vseh področjih delovanja podjetij (Bizjak, 1997).

Varjenje, ki se uporablja pri proizvodnji opreme za prehrabeno in farmacevtsko industrijo, ima pri omenjeni proizvodnji velik vpliv na končno kakovost in proizvodne stroške izdelka.

1.1 Predstavitev podjetja

Začetki podjetja Škrlj d.o.o. segajo v leto 1967, ko je Alojz Škrlj odprl popoldansko obrt, leta 1971 pa ustanovil zasebno delavnico s petimi zaposlenimi. Izdelovali so predvsem puhalnike za spravilo sena in mline za mletje živilske krme.

Prve posode iz nerjavnega jekla za vinarstvo so izdelali za lastne potrebe. V nekaj letih je proizvodnja izdelkov iz nerjavne pločevine povsem izpodrinila ostale proizvode. Leta 1988 se je začelo obdobje intenzivnejšega razvoja, ko je bil izdelan in preizkušen prototip pnevmatske stiskalnice za grozdje. Prvi izvozni posli so bili sklenjeni v letu 1991 s prodajo posod za vino v Avstrijo in Francijo.

Zaradi večanja obsega poslovanja je bilo leta 1992 ustanovljeno podjetje Škrlj d.o.o., katerega osnovna dejavnost je razvoj, proizvodnja in prodaja opreme za vinarstvo ter drugo živilsko in kemijsko industrijo. Leta 1995 se je pokazala potreba po razširitvi proizvodnih prostorov, zato je bil večji del proizvodnje iz delavnice v Vrhpolju preseljen na novo lokacijo v Batujah. Podjetje danes zaposluje 80 – 90 delavcev.

Največji delež proizvodnje podjetja je namenjen opremi za male in srednje vinarje. To so raznovrstne posode za vino in vinifikatorji ter pnevmatske stiskalnice za grozdje. V zadnjih letih je precej porasel delež proizvodnje različnih procesnih posod za farmacevtsko, pivovarsko, mlekarstvo in ostalo živilsko industrijo.

Podjetje izvozi 90 odstotkov svojih proizvodov, od tega največ v Avstrijo, Nemčijo, Španijo, Francijo, ZDA, Grčijo ter na Češko, Hrvaško in Portugalsko.

Sistem obvladovanja, načrtovanja in proizvodnje je urejen po standardih ISO 9001, EN 729-2 in PED. To dokazuje, da je podjetje odločeno utrjevati svoj položaj ter prodirati na nova svetovna tržišča, tako s kakovostnimi proizvodi kakor tudi s kakovostjo svojih storitev (Interna dokumentacija Škrlj d.o.o., 2010).

1.2 Opis izdelave hladilnega plašča



Slika 1: Primer posode za prehrabeno industrijo s hladilnim plaščem

Slika 1 prikazuje posode za farmacevtsko in prehrabeno industrijo, ki jih izdeluje podjetje Škrlj d.o.o. (Interna dokumentacija Škrlj d.o.o., 2010).

Posode in hladilni plašči so izdelani iz nerjavnih pločevin (Tabela 1), in sicer:

- a) osnovna tlačna posoda: 1.4301 (X5CrNi18-10) ali 1.4435 (X2CrNiMo18-14-3), debelina plašča 2,0 mm,
- b) hladilni plašč: 1.4301 (X5CrNi18-10), debelina 0,8 mm.

Tabela 1: Kemična sestava in mehanske lastnosti najpogosteje uporabljenih avstenitnih nerjavnih jekel

Oznaka jekla	Kemična sestava					Mehanske lastnosti pri 20°C		
	C (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Napetost tečenja (N/mm ²)	Natezna trdnost (N/mm ²)	Raztezek A5 (%)
X5CrNi 18 10	Max. 0,07	Max. 1,0	17,0 do 19,5	8,0 do 10,5	/	225	500 do 700	45
X2CrNiMo 18 14 3	Max. 0,03	Max. 1,0	17,0 do 19,0	12,5 do 15,0	2,5 do 3,5	235	500 do 700	40

V tabeli 1 sta podani dve različni sestavi jekla. Od namena uporabe oziroma od pogojev uporabe same posode je odvisno, iz katere vrste jekla je izdelana. Razlika je v kemični sestavi jekla – prva sestava je osnovna, drugi pa je dodan Mo element, ki služi za večjo trdnost in zaščito same strukture. Podane mehanske lastnosti veljajo v okolju s temperaturo 20°C.

Hladilni plašč je varjen na posode po postopku laserskega varjenja brez uporabe dodajanja materiala.

Končna obdelava zunanjih in notranjih površin posode ter zvarov (pasiviranje, brušenje, mehansko poliranje, elektropoliranje) je odvisna od namena uporabe in zahtev naročnika.

Posode morajo biti izdelane v skladu z zahtevami in standardi prehranske in farmacevtske industrije (EN 729-2 v, AD 2000-Merkblatt HP0, smernice 97/23/EG PED, Modul D).

Sistem obvladovanja, načrtovanja in proizvodnje je urejen po standardu ISO 9001.

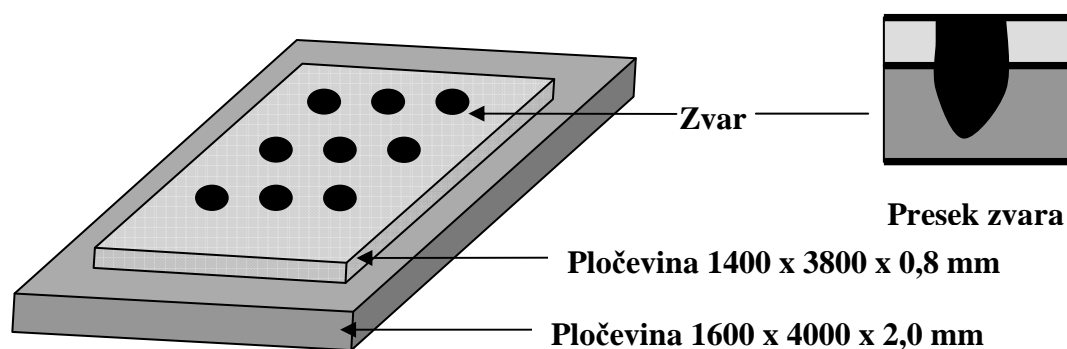
Postopki varjenja, ki se uporabljajo v proizvodnji, so najmodernejši postopki obločnega varjenja v zaščitni atmosferi (MIG in TIG). Za razrez pločevin se, poleg konvencionalnih načinov, uporablja tudi CO₂ laser.

Nekatere posode za prehrabeno in farmacevtsko industrijo morajo imeti opremo za kontrolo in regulacijo temperature – vgrajen hladilni oziroma grelni sistem. Ta sistem omogoča uporabniku, da aktivno poseže v biološke, fizikalne in kemijske procese, ki se v posodi odvijajo, ter jih sproti prilagaja in vodi v želeno smer.

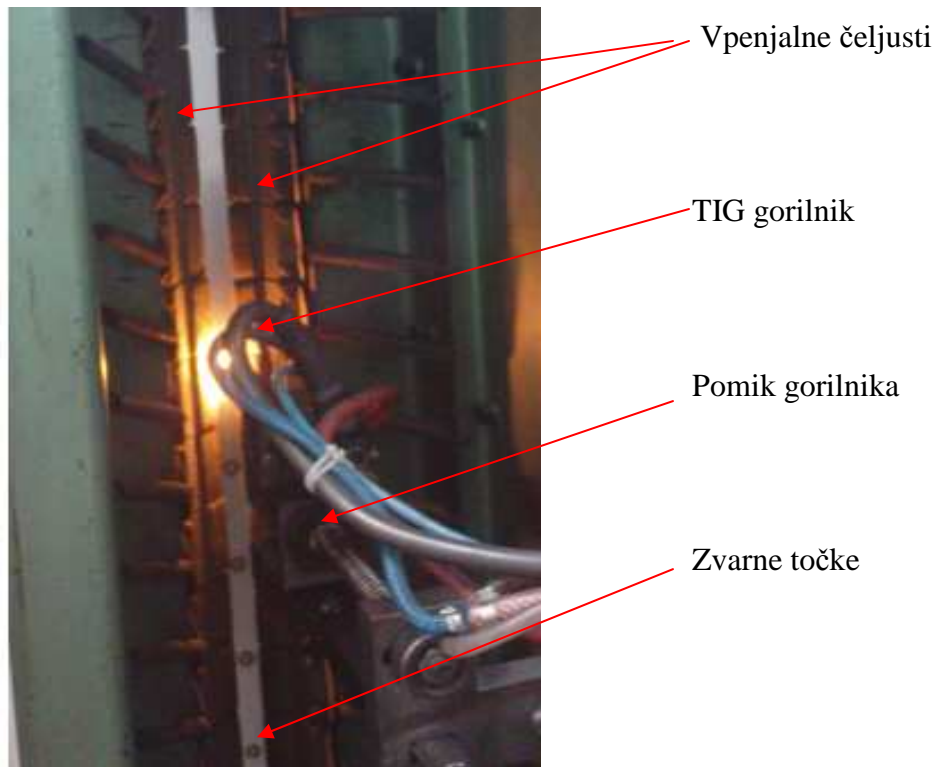
Dvojni plašč je del površine posode, preko katerega s pretokom hladilnega oziroma grelnega medija vplivamo na temperaturo v posodi. Navzven izbočena zunanja pločevina in plašč posode tvorita vmesni prostor, po katerem se pretaka hladilni ali grelni medij. Za regulacijo pretoka hladilnega medija uporabljamo različne vrste ventilov, ki jih lahko ročno ali avtomatsko upravljamo s pomočjo temperaturnega regulatorja. Minimalna debelina plašča posode v območju dvojnega plašča je 2,0 mm. Najvišji dovoljeni tlak v dvojnem plašču je 6 barov, delovni pa 3 bare.

Izdelava hladilnega plašča poteka po naslednjih fazah:

- a) Na osnovno, nosilno pločevino velikosti 1600 x 4000 mm in debeline 2,0 mm se položi tanjša pločevina velikosti 1500 x 3800 mm in debeline 0,8 mm (Slika 2). Pločevini sta postavljeni druga ob drugo tako, da pri varjenju ni vmesne reže.
- b) Vari se po postopku TIG v zaščitni atmosferi argona. Postopek varjenja je avtomatiziran
- c) Slika 3).
- d) Premer zvarne točke je 8 – 10 mm. Razporeditev zvarnih točk po površini (340 zvarnih točk/m² hladilnega plašča) je odvisna od namena uporabe končnega izdelka oziroma od posode in od debeline pločevin v spoju.

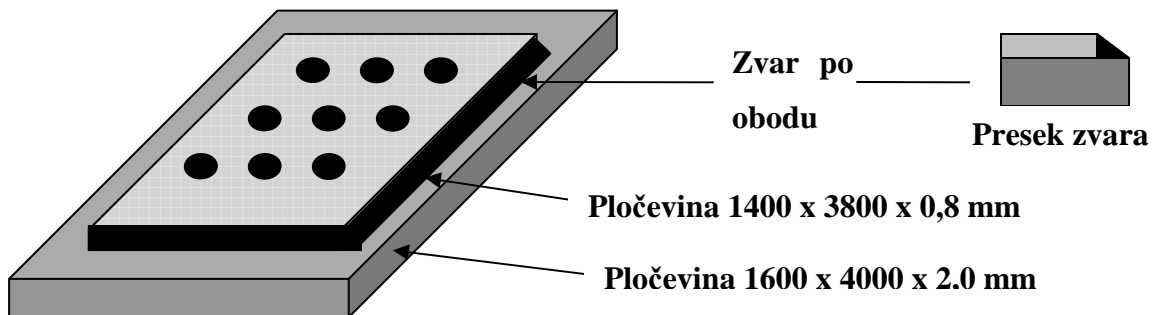


Slika 2: TIG varjenje hladilnega plašča (340 zvarnih točk/m²)



Slika 3: Avtomatizirana naprava za TIG varjenje

e) Po varjenju točk se po TIG postopku po celotnem obodu zavari zgornja, tanjša pločevina na spodnjo, debelejšo pločevino (Slika 4). Postopek varjenja je ročen.



Slika 4: Obodno TIG varjenje zgornje pločevine na spodnjo pločevino

Po varjenju se zavarjeni pločevini z valjanjem oblikuje v plašč posode. Spodnja, debelejša pločevina se sočelno zavari po postopku TIG z dodajanjem materiala.

- f) Temu postopku sledi napihovanje zavarjenih pločevin s tlakom 20 – 25 barov. Pod kontroliranim pritiskom se zgornja, tanjša pločevina plastično deformira (Slika 5), pri čemer med posameznimi zvarnimi točkami nastanejo "kanali" za pretok hladilnega sredstva oziroma tekočine.



Slika 5: Hladno plastično deformirana (napihnjena) zgornja pločevina

1.3 Problematika

- a) Majhna produktivnost obstoječe TIG varilne naprave

Proizvodnja posod s hladilnim plaščem je izrazito sezonska proizvodnja. Čas varjenja 1m^2 hladilnega plašča z dodatnimi operacijami brušenja, poliranja in kemične obdelave površine znaša 2,95 ure.

Kapaciteta obstoječe avtomatizirane naprave za TIG varjenje je največ 5000 m^2 hladilnih plaščev na leto. Ta kapaciteta ne omogoča povečanja proizvodnje in s tem pridobivanja novih ali večjih naročil s kratkimi dobavnimi roki.

b) Oksidiranost pločevin na mestih varjenja

Kljub intenzivni dodatni zaščiti z argonom se pri TIG varjenju na mestu zvarne točke pojavlja oksidiranost zvara in pločevin (Slika 6). Ker se za izdelavo posod za prehrabeno in farmacevtsko industrijo zahteva visoka kvaliteta površine nerjavne pločevine, je po varjenju potrebno površino pločevine mehansko in kemično očistiti. Te dodatne ročne operacije čiščenja (brušenja, poliranja in kemične obdelave površine) povečujejo stroške izdelave in zahtevajo uporabo tehnologij čiščenja, ki so ekološko problematične.



Slika 6: TIG – oksidiran zvar

Vse to narekuje uvedbo nove, modernejše tehnologije laserskega varjenja, ki bi bila zanesljiva, fleksibilna in gospodarna.

2 OSNOVE LASERSKEGA VARJENJA

Za varjenje in rezanje se v današnjem času največ uporabljajo CO₂ in Nd-YAG oziroma vlakenski in disk laserji.

Za lasersko varjenje je značilno:

1. visoka gostota energije v točki vpada žarka na varjenec omogoča velike hitrosti varjenja in majhne (zanemarljive) poškodbe varjenca,
2. velika natančnost, s katero lahko kontroliramo premikanje žarka in spremembo njegove moči, kar omogoča visoko in konstantno kvaliteto zvarov,
3. možnost varjenja različnih kombinacij materialov, ki jih po klasičnih postopkih varjenja ni mogoče variti,
4. enostavna in fleksibilna avtomatizacija postopka varjenja; laserski žarek se lahko hitro in zlahka s svetlobno hitrostjo prenaša od njegovega vira do varjenca in se oblikuje neposredno na materialu, ki ga varimo, kar omogoča enostavno in fleksibilno integracijo v proizvodno linijo ali sistem,
5. v postopku varjenja ne prihaja do majhnih deformacij, zato po varjenju ni potrebna naknadna obdelava varjenca,
6. brezkontaktno varjenje; varilna optika je od materiala, ki ga varimo, oddaljena 100 – 300 mm, kar zagotavlja varjenje tudi težko dostopnih zvarov brez " obrabe" orodja,
7. energetska in ekološko prijazna tehnologija varjenja.

Visoke gostote moči fokusiranih laserskih žarkov ponujajo široke možnosti uporabe laserjev na področju rezanja in varjenja kovinskih materialov. V tabeli 2 je prikazana primerjava postopkov laserskega in TIG varjenja (Tabela 2).

Tabela 2: Primerjava postopkov laserskega in TIG varjenja

Tehnološke karakteristike	Lasersko varjenje	TIG varjenje
Kvaliteta zvarov	Odlična	Dobra
Hitrost varjenja	Visoka	Srednja
Vnos toplote v varjenec	Nizek	Zelo velik
Zahteve za pripravo varjencev pred varjenjem	Visoke	Nizke
Globina uvara	Velika	Srednja
Možnost varjenja materialov različnih kvalit	Velika	Majhna
Možnost varjenja različnih oblik in debelin	Velika	Srednja
Nadzor – monitoring varilnega procesa	Zelo dober	Slabši
Možnost avtomatizacije	Odlična	Slabša
Investicijski stroški	Visoki	Nizki
Obratovalni – vzdrževalni stroški	Srednji	Nizki
Strošek orodij	Visok	Srednji



Slika 7: Izgled in presek laserskega zvarnega spoja hladilnega plašča s posodo

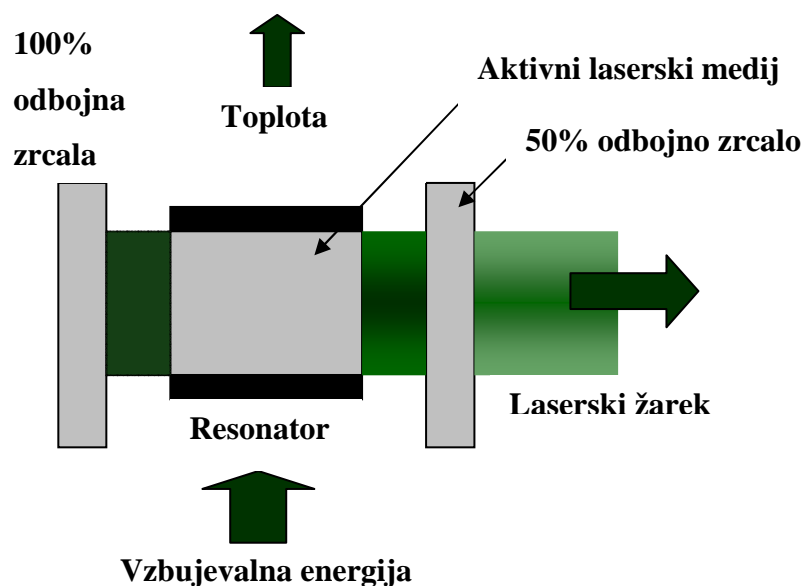
Slika 7 prikazuje zunanji izgled in prerez zvarnega spoja hladilnega plašča s posodo. Zvar ni oksidiran, prav tako zvar ne poškoduje notranje strani posode (Interna dokumentacija Škrlić d.o.o., 2010).

2.1 Princip laserja

Z besedo LASER označujemo vire svetlobe, s katerimi proizvajamo, s tako imenovano inducirano ali vzbujeno emisijo, elektromagnetno (svetlobno) sevanje določene frekvence.

Beseda **LASER** je kratica za **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (*ojačevanje svetlobe s stimulirano emisijo sevanja*) in je ime naprave, ki emitira ozek snop svetlobe natančno določene valovne dolžine v območju med ultravijolično in infrardečo svetlobo.

Laserska svetloba je torej elektromagnetno valovanje oziroma sevanje. Pojmujemo jo kot tok fotonov (delcev brez mase). Laserska svetloba nastane v procesih interakcije med svetlobo in aktivnim laserskim medijem, ki je lahko trdna snov, plin ali laserska dioda (Slika 8) (Beyer in ostali, 1995).



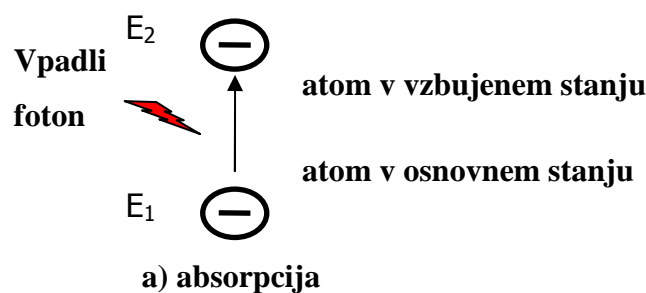
Slika 8: Osnovne komponente laserja

Snovi, iz katerih so narejeni laserski mediji, imajo to lastnost, da se atomi, ki se navadno nahajajo v termičnem ravnovesju in so v osnovnem oziroma najnižjem

energijskem stanju, vzbudijo iz osnovnega energijskega stanja (E_1) v višje energijsko stanje (E_2), če jih vzbujamo z zadostno optično, električno ali kemično energijo.

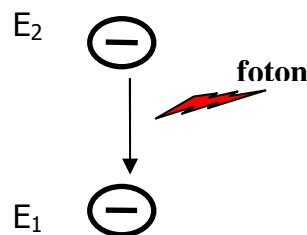
Atomi lahko prehajajo iz enega v drugo energijsko stanje ali nivo na tri načine.

- a) Z **absorpcijo**, kjer atom preide v višje stanje tako, da absorbira foton; foton ustreznih frekvence (energije) se absorbira v atomu in ga vzbudi, kar pomeni, da ga "prestavi" v vzbujeno stanje. Absorpcija torej poveča število atomov v vzbujenem stanju (Slika 9).



Slika 9: Ojačanje svetlobe z absorpcijo fotona

- b) S **spontano emisijo svetlobe** atom sam od sebe preide iz višjega energijskega stanja (E_2) v nižje energijsko stanje (E_1) in pri tem odda foton. Oddani foton je identičen vpadnemu (stimulirajočemu) – ima namreč enako frekvenco, fazo in polarizacijo (Slika 10).

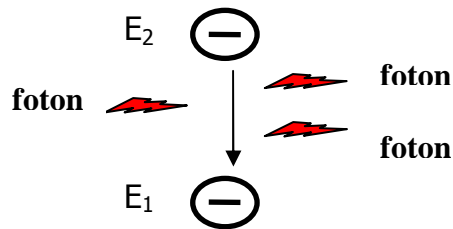


b) spontana emisija

Slika 10: Spontana emisija svetlobe

- c) S **stimulirano emisijo** svetlobe, kjer atom z (E_2) zadene foton, ki povzroči, da atom preide v nižje energetske stanje (E_1) in pri tem odda dodaten foton. Zaradi stimulirane emisije pride pri prehodu skozi snov pod določenimi pogoji do rasti

števila fotonov, kar se manifestira kot naraščanje jakosti svetlobe. Tudi ti fotoni imajo enako frekvenco in enako fazo valovanja kot fotoni, ki imajo stimulirajoči foton ter se gibljejo v isti smeri. Svetloba se torej ojača. Laser pa torej deluje kot ojačevalnik svetlobe (Slika 11).



c) stimulirana emisija

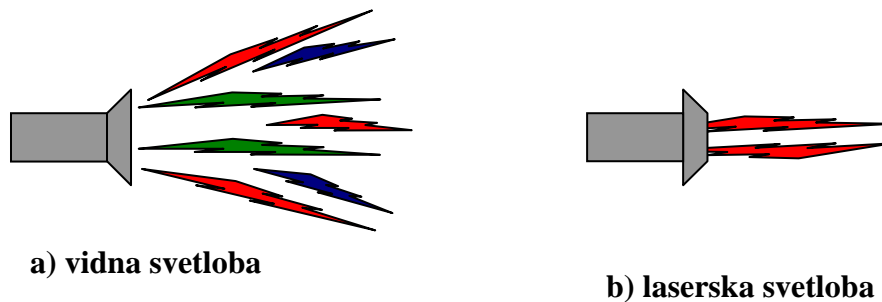
Slika 11: Ojačanje svetlobe s stimulirano emisijo

Ogljikov ali dioksidni laser (CO_2 laser) je plinski laser, pri katerem je aktivni laserski medij mešanica plinov $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He}$, ki oddaja infrardečo svetlobo z valovno dolžino $10,6 \mu\text{m}$.

Osnovne karakteristike laserske svetlobe so:

- svetloba je monohromatična (enobarvna); vsi fotoni laserskega žarka imajo enako valovno dolžino,
- je časovno in prostorsko koherentna; vsi fotoni imajo isto smer valovanja ter enako in stalno fazno razliko; valovanje posameznih fotonov je praktično vzporedno,
- je polarizirana (elektromagnetno valovanje je v eni ravnini – nihanja električnega in magnetnega vektorja so pravokotna na smer širjenja valov),
- energijo žarka lahko fokusiramo na zelo majhno površino, s čimer dosežemo visoke gostote moči, kar omogoča različne procese obdelave materiala.

Na sliki 12 je prikazana primerjava med naravno oziroma vidno svetlobo ter enobarvno, fokusirano svetlobo laserskega žarka (Slika 12).



Slika 12: Primerjava med naravno in lasersko svetlobo

2.2 Tipi industrijskih laserjev za varjenje

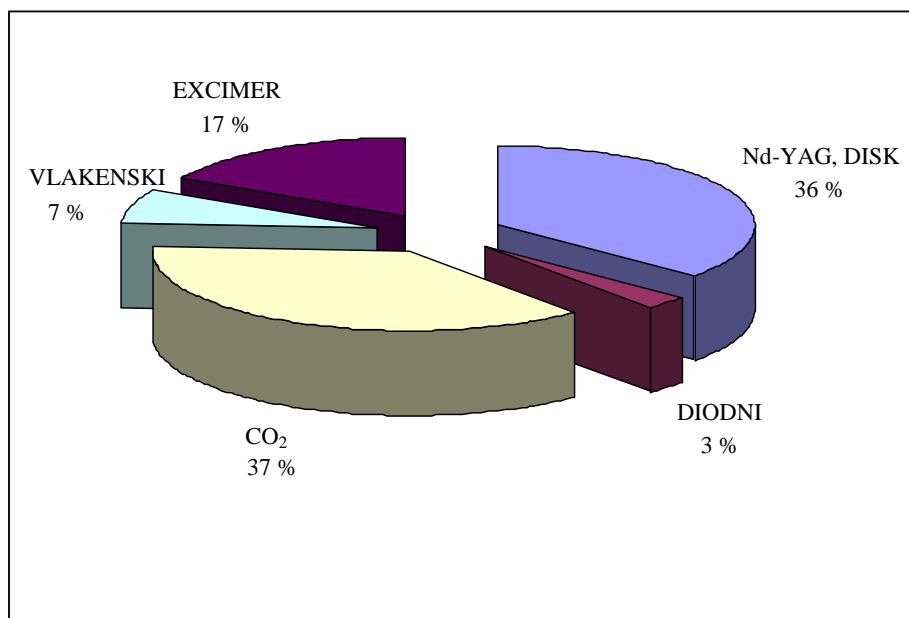
Razlika v valovni dolžini laserske svetlobe in s tem tudi energije laserskega žarka omogoča drugačen način uporabe različnih vrst laserjev v industrijski proizvodnji (Tabela 3) (Trumpf GmbH, 2007).

Tabela 3: Najpomembnejše vrste laserjev za obdelavo materiala

Vrsta laserja	Laserski medij	Vir črpalne svetlobe	Valovna dolžina (μm)	Uporaba
Plinski laser (gas laser)	Plin ali para $\text{CO}_2 + \text{He} + \text{N}_2$	Razelektritev plina	10,6	CO_2 laser varjenje, rezanje, vrtanje, označevanje
			0,632	HeNe laser – rdeči laser merilna tehnika
			0,039 – 0,358	Excimer laser – UV vrtanje, merilna tehnika
Trdi laser (solid state laser)	Kristali; dopirani z optično aktivnimi ioni	Optični: bliskavica, diodni laser	1,08	Yt vlakenski laser in disk laser varjenje, rezanje, vrtanje, označevanje
			1,06	Nd: YAG – infra rdeči laser varjenje, rezanje, vrtanje, označevanje
			0,532	SHG Nd: YAG – zeleni laser varjenje Cu, Ag, označevanje
			0,357	THG Nd: YAG – UV laser varjenje Cu, Au, Ag, označevanje v elektroniki
Polprevodniški laser (semiconductor laser)	Polprevodnik: laserska dioda	Električni	670 – 880	GaInP: varjenje plastičnih mas, spajkanje, vzbujanje trdih laserjev
			780 – 880	GaInAs: varjenje plastičnih mas, spajkanje

CO_2 laser ostaja najpomembnejši laser v industriji za varjenje, rezanje, vrtanje in graviranje skoraj vseh vrst kovinskih materialov, predvsem zaradi visoke kvalitete

laserskega žarka, zanesljivosti ter cenovne ugodnosti in dostopnosti robustno oblikovanih in dobro izdelanih industrijskih CNC naprav (Slika 13). Podatke o tipih laserjev in njihovih tržnih deležih smo pridobili s spletne strani (Laser Focus Word Magazine, 2010).



Slika 13: Tržni deleži svetovne prodaje laserjev v letu 2009

2.3 Osnove CO₂ laserske tehnologije

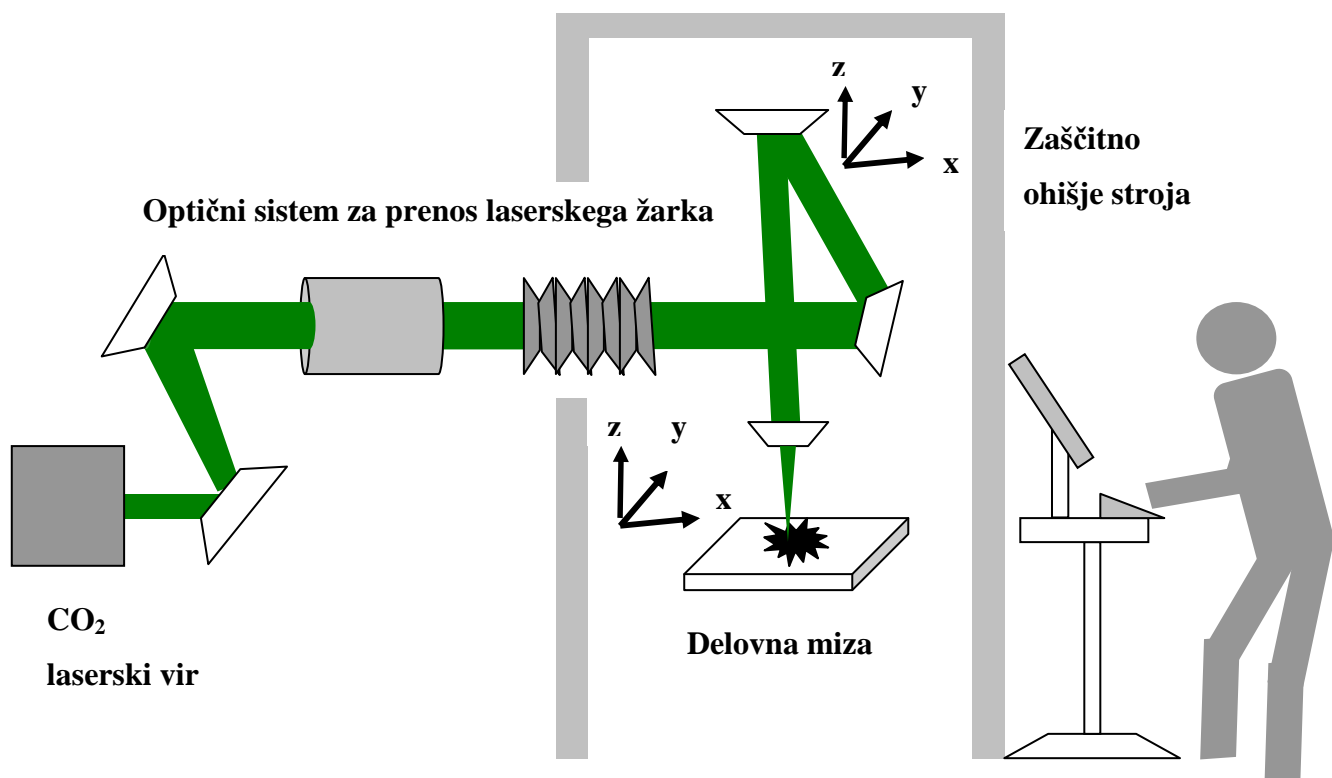
Laserski varilni sistemi so bolj ali manj zapletena oprema, ki mora za izvedbo kvalitetnega varjenja izpolnjevati določene zahteve glede na:

- kvaliteto in debelino materiala ter velikost varjenca,
- dimenzijska odstopanja,
- obliko in geometrijo zvarnega spoja,
- zahtevano kvaliteto zvarnega spoja,
- zahtevano produktivnost in
- stopnjo avtomatizacije.

2.3.1 CO₂ laserski varilni sistem

Laserski varilni sistem je sestavljen iz naslednjih elementov (Slika 14):

1. CO₂ laserski vir,
2. optika za prenos žarka od vira do varjenca,
3. optika za oblikovanje in fokusiranje žarka na površini materiala,
4. koordinatna miza z manipulacijskimi pripravami (orodje za vpenjanje in ravnanje z varjencem),
5. CNC krmilnik za spremljanje in nadzor varilnega procesa ter za krmiljenje varilnih parametrov in stroja,
6. sistem oskrbe s plini,
7. varnostni sistemi in ohišje naprave.



Slika 14: CNC laserski varilni sistem

Pri varjenju in ostali obdelavi materialov z laserji se za realizacijo relativnega gibanja med obdelovancem in laserskim žarkom uporabljajo predvsem linearni sistemi, portalni sistemi ali industrijski roboti (Trumpf GmbH, 2007).

Pri dvodimenzionalnem (2D) in trodimenzionalnem (3D) varjenju imamo tako tri tipe linearnih sistemov:

1. pri fiksnem varjencu se premika celotni sklop optike za prenos, oblikovanje in fokusiranje žarka (Slika 15),
2. pri fiksnem laserju in celotnem sklopu se premika varjenec,
3. kombiniran premik varjenca ter celotnega sklopa optike za prenos, oblikovanje in fokusiranje žarka.



Slika 15: Premik optike za prenos, oblikovanje in fokusiranje laserskega žarka

2.4 Delovni parametri laserskega varjenja nerjavnih jekel

Kakovost zvara pri laserskem varjenju je odvisna od številnih parametrov, ki jih lahko združimo v štiri skupine (Beyer, 1997):

a) Parametri, povezani z varivostjo materiala:

- kemična sestava materiala,
- debelina materiala in
- zahtevane mehanske in korozijske lastnosti zvarnega spoja.

- b) Parametri, povezani z vrsto in obliko spoja (odvod toplote, prekinjen ali neprekinjen zvar, zahtevana globina uvara – prevaritev, deformacije, notranje napetosti).
- c) Laserski parametri, povezani s karakteristikami žarka (način varjenja):
- moč žarka,
 - porazdelitev moči žarka (TEM),
 - valovna dolžina in
 - polarizacija svetlobe.
- d) Parametri, povezani s parametri varilnega postopka:
- premer in fokus žarka (jakost žarka),
 - lega fokusa v odnosu do površine materiala, ki ga varimo,
 - hitrost varjenja,
 - zaščitni plin (vrsta plina, tlak, pretok, velikost zaščitne sobe, ...).

2.4.1 Varivost nerjavnih avstenitnih jekel

Posode in hladilni plašči so izdelani iz nerjavnih pločevin, in sicer:

- a) osnovna tlačna posoda: 1.4301 (X5CrNi18-10) ali 1.4435 (X2CrNiMo18-14-3), debeline 2,0 mm,
- b) hladilni plašč: 1.4301 (X5CrNi18-10), debeline 0,8 mm.

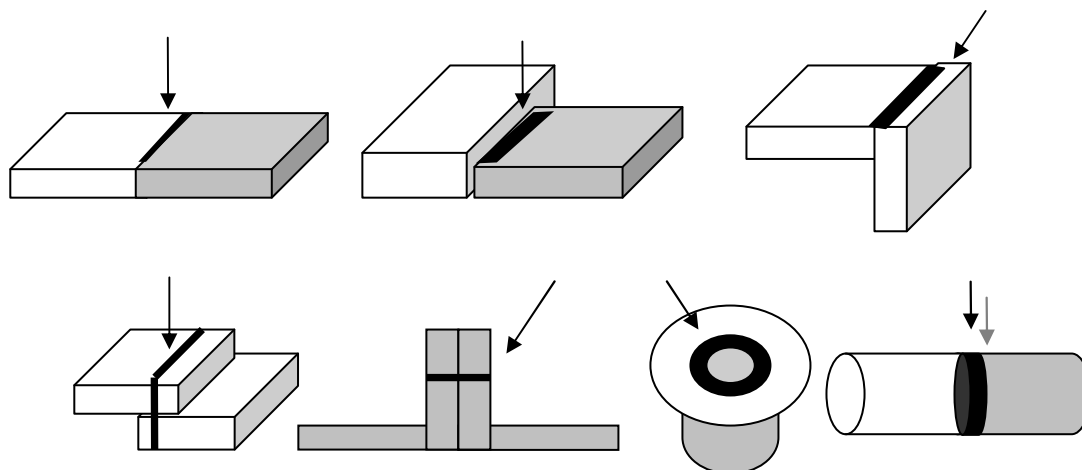
Nerjavni jekli 1.4301 in 1.4435 imata dobro varivost po vseh postopkih varjenja, vključno z laserskim varjenjem.

Pri laserskem varjenju teh jekel obstaja nevarnost razpok in zmanjšanja korozijske obstojnosti zvarnega spoja. Te težave odpravimo s pravilno izbiro kemične sestave

jekla, pravilno pripravo varjencev, ustrezno tehnologijo varjenja, natančno definiranimi parametri varjenja ter z dobro zaščito mesta varjenja z zaščitnim plinom.

2.4.2 Vrsta in oblika zvarnih spojev laserskega varjenja


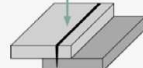
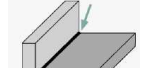
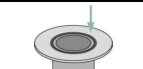
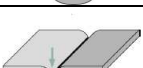
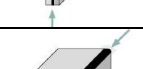
Pri dani kvaliteti materiala in laserskega žarka je kvaliteta zvara odvisna tudi od parametrov, ki so povezani z vrsto in obliko zvarnega spoja ter samo kvaliteto priprave materiala pred varjenjem. Na sliki 16 so prikazani tipični zvarni spoji (Slika 16) (Zbirka predavanj, 2001 in 2002).



Slika 16: Tipične vrste in oblike zvarov primerne za lasersko varjenje

Lasersko varjenje zahteva skrbno pripravo materiala pred postopkom varjenja. Material mora biti popolnoma čist (nemasten in brez ostalih nečistoč na površini). Tudi posamezni elementi konstrukcije morajo biti pripravljene v ozkih dimenzijskih tolerancah (Tabela 4) (Beyer, 1995).

Tabela 4: Dopustna dimenzijska odstopanja pri laserskem varjenju

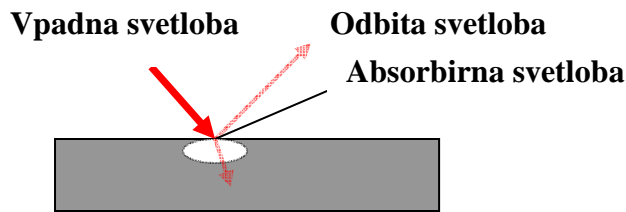
Vrsta zvarnega spoja	Varjenec – najv. odstopanje		Laser – najv. odstopanje	
	najv. širina reže Δs (mm)	zamik pločevin Δh (mm)	horizontalno Δ_{laser} (mm)	vertikalno Δ_{laser} (mm)
	0,1 če je debelina < 1,0 mm, najv. 10 %	0,2 če je debelina < 1,0 mm, najv. 20 %	$\pm 0,05$	$\pm 0,25$
	0,1	/	nekritično	$\pm 0,25$
	0,25	/	$\pm 0,05$	$\pm 0,25$
	0,1	$\pm 0,5$	$\pm 0,15$	$\pm 0,25$
	0,1	$\pm 0,25$	$\pm 0,10$	$\pm 0,25$
	0,2	0,5	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$

Za doseg konstantne kvalitete zvarnih spojev je potrebno zagotoviti še zadostno togost, natančnost in ponovljivost vpenjalnega in manipulacijskega orodja za varjenec in varilno optiko.

2.4.3 Laserski parametri

Lasersko varjenje je termičen postopek. Žarek, kot izvor sevalne energije, je fokusiran na ali pod površino materiala, ki ga varimo. S fokusiranjem dosežemo zadostno površinsko gostoto moči, da se material segreje, stali in nazadnje upari.

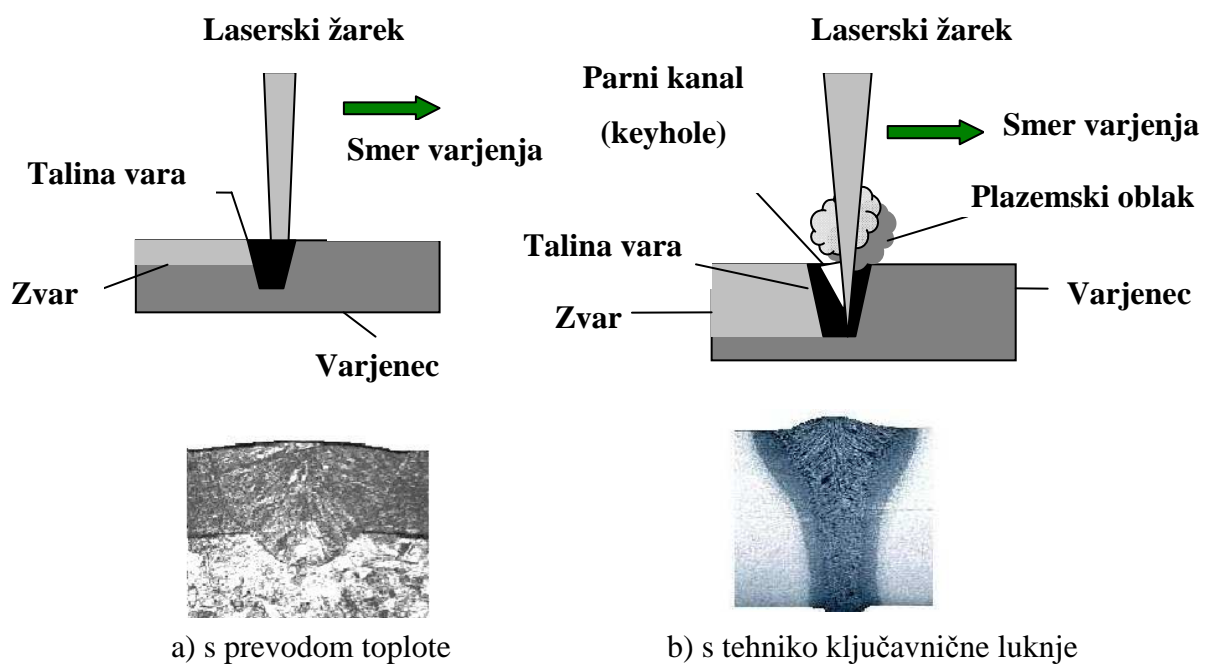
Ko laserski žarek obseva površino varjenca, se en del žarka od varjenca odbije, drugi del pa se absorbira (Slika 17). Količina absorbirane energije v materialu je na splošno odvisna od valovne dolžine laserske svetlobe, gostote moči žarka (koncentracije dovedene energije) in od vrste materiala ter njegove površinske obdelave.



Slika 17: Interakcija laserja in materiala

Svetlobna moč žarka, ki jo absorbira varjenec, se na površini materiala po zapletenih mehanizmih spremeni v toploto in se širi s toplotno prevodnostjo v material. Material se segreva, tali ali uparja, glede na stopnjo jakosti žarka in naravo materiala. Pretvorba svetlobne energije v toplotno energijo se izvrši v času 10^{-13} sekunde. To kratkotrajno vzajemno vplivanje med žarkom in materialom med varjenjem se odraža v obliki nataljenega področja v zvaru in je določeno z jakostjo žarka ter s širjenjem nastajajoče toplote v materialu (Trumpf GmbH, 2007).

Tako ločimo dva načina laserskega varjenja (Slika 18):



Slika 18: Tipična načina laserskega varjenja

1. Varjenje s toplotno prevodnostjo

Pri nižjih jakostih (10^5 W/cm^2) se površina varjenca zaradi absorpcije laserskega žarka segreje do temperature tališča, toplota se s površine širi v material s prevajanjem, kar vodi do nastanka plitkega in širšega vara. Ta način varjenja je primeren za varjenje tanjših materialov.

2. Varjenje s tehniko ključavnične luknje (keyhole)

Pri jakostih $\geq 10^6 \text{ W/cm}^2$ se material pod laserskim žarkom upari in tvori luknjo v obliki ključavnice (keyhole), premer katere je blizu premera laserskega žarka. Energija laserskega žarka se popolnoma absorbira na stenah luknje in od tu se prenaša v material. Posledica takšnega delovanja žarka je nastanek globokih in ozkih zvarov z razmerjem globina : širina $\geq 4 : 1$. Pri varjenju s pravilno hitrostjo vzdržujemo to ključavnično luknjo neprekinjeno po celotni dolžini zvara. Zaradi dejstva, da se energija absorbira v materialu vzdolž optične osi žarka po celotni debelini materiala, lahko s tem načinom varjenja dosežemo visoke hitrosti varjenja in varimo debelejša materiala.

Za elektromagnetno valovanje laserske svetlobe sta značilni električno in magnetno polje. Močno električno polje povzroči v kovinskih parah razelektritev, kar privede do toplotno ioniziranega materiala v področju medsebojnega vplivanja, imenovanega plazemski oblak.

Plazemski oblak, ki nastaja med varjenjem, ima na vpadni laserski žarek naslednje učinke:

- a) absorbira pomemben del laserskega žarka in mu preprečuje, da bi neposredno dosegel varjenec, kar pomeni izgubo energije laserskega žarka;
- b) pregreti plazemski oblak lahko deluje kot drugoten vir toplote s površine, ki seva svojo toploto v varjenec, kar pogosto povečuje širino zvara; kadar je učinek plazemskega oblaka zelo močan, ima zvar značilno obliko glavnice žeblija;
- c) lahko tudi spremeni kakovost žarka, in sicer s tem, da spremeni pogoje optičnega fokusiranja; dejansko se lahko žarišče žarka odmakne od svoje prvotne lege, kar vpliva na kvaliteto zvarov.

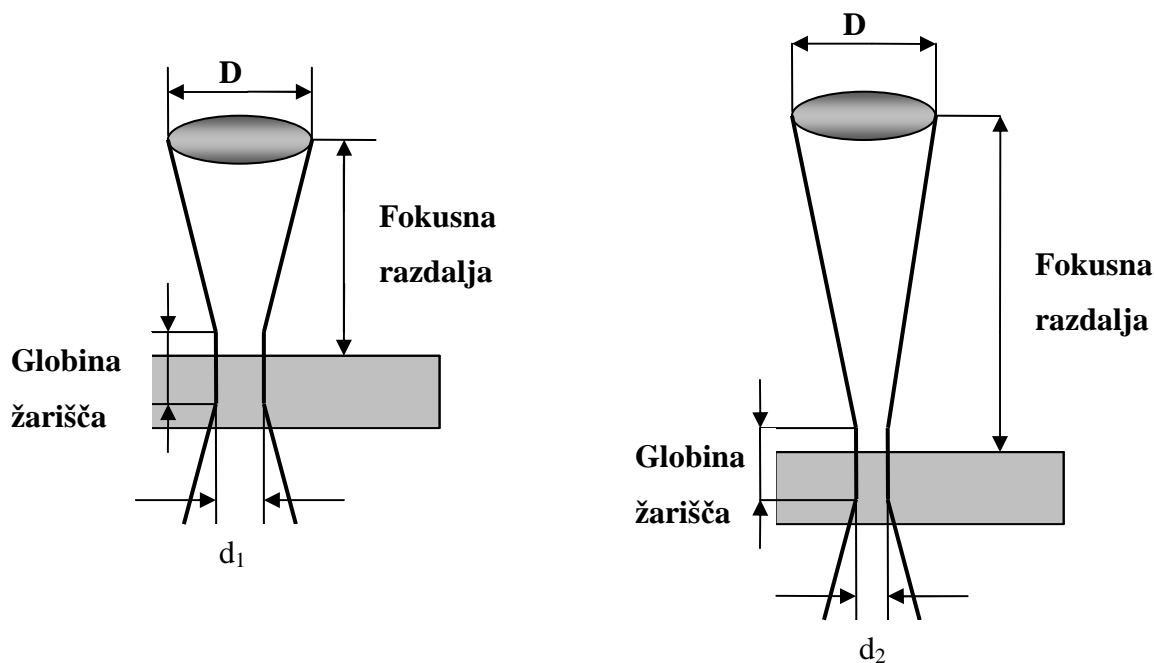
Pomembno je, da plazemski oblak čim bolj zmanjšamo z uporabo ustreznih zaščitnih plinov ter s pravilnim pretokom procesnega zaščitnega plina.

2.4.4 Parametri varilnega postopka

Fokusna razdalja in premer laserskega žarka v gorišču

Fokusirna optika (leča ali zrcalo) koncentrira žarek v točki s premerom, ki je odvisen od premera žarka pred vstopom v lečo in od goriščne razdalje leče. Manjša ko je fokusna razdalja, manjši je premer žarka v fokusu in globina fokusa ter obratno. Manjši ko je premer žarka v fokusu, višja je njegova gostota moči (Slika 19) (Trumpf GmbH, 2007).

Drug pomemben parameter pri varjenju je **globina žarišča koncentriranega žarka** (Slika 19). To je dolžina na optični osi laserskega žarka, kjer se jakost žarka zmanjša za določen odstotek, oziroma se premer žarka poveča za določeno vrednost. V praksi mora biti globina žarišča enaka globini uvara.



Slika 19: Premer fokusa žarka in globina žarišča v odvisnosti od fokusne razdalje

Pri kratki fokusni razdalji in majhnem premeru fokusiranega žarka dosežemo največje hitrosti varjenja, vendar je globina uvara plitka. Takšno fokusiranje laserskega žarka uporabljamo za varjenje tankih materialov. Visoke varilne hitrosti na debelejših materialih pa dosežemo samo z velikimi fokusnimi razdaljami.

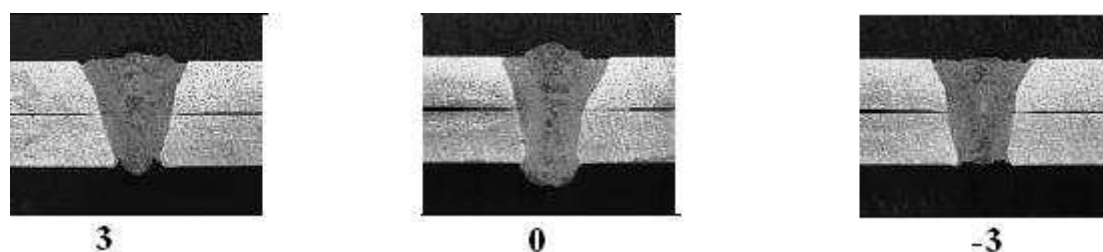
Kjub temu, da kvaliteta žarka z večanjem fokusne razdalje pada, v praksi stremimo k čim večji fokusni oddaljenosti zaradi:

- minimalnega onesnaževanja fokusirne optike z obrizgi in dimi,
- večje globine fokusa, s tem pa tudi večje globine uvara in manjše občutljivosti na odstopanja oddaljenosti varilne optike od površine varjenja,
- boljše dostopnosti laserskega žarka pri varjenju težje dosegljivih mest varjenja.

Praktično dosežemo pri izhodnem žarku premera 30 mm, ki je fokusiran z lečo z žariščno razdaljo 150 mm, premer žarka v gorišču približno 0,150 mm.

Položaj fokusa glede na površino varjenca

Pri varjenju tankih materialov (debeline < 5 mm) se fokus žarka nahaja na površini varjenca. Pri varjenju debelejših materialov (> 10 mm) pa se žarišče nahaja v dani globini varjenca. Slika 20 prikazuje vpliv parametra na geometrijo zvara (Beyer, 1995).



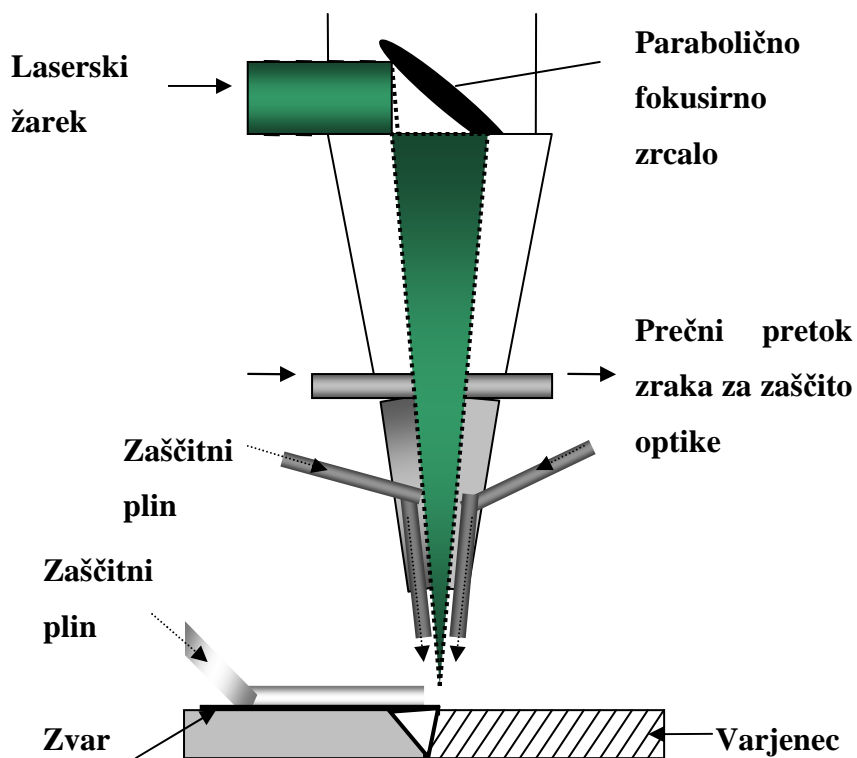
Slika 20: Spreminjanje oblike zvara v odvisnosti od lege fokusa žarka na površini materiala

Zaščitni plin pri varjenju avstenitnih nerjavnih jekel

Funkcije zaščitnega plina pri CO₂ laserskem varjenju so:

1. zaščita taline vara in področja segretega osnovnega materiala pred oksidacijo ter nadzorovanje fizikalno-metalurških procesov, ki potekajo pri varjenju,
2. zmanjševanje količine nastajajoče plazme in odpihovanje le-te s področja medsebojnega vpliva laserskega žarka in materiala,
3. zaščita varilne optike pred obrizgi in dimi, ki nastajajo v procesu varjenja.

Vrsta in pretok plina sta odvisna od kvalitete materiala, ki ga varimo in od uporabljene moči laserja. Plin dovajamo centralno (koaksialno z laserskim žarkom ali preko zunanje plinske šobe ali kombinirano). Vedno je usmerjen proti točki vpadanja laserskega žarka na material (Slika 21) (Trumpf GmbH, 2007).



Slika 21: Plinska zaščita zvara pri varjenju

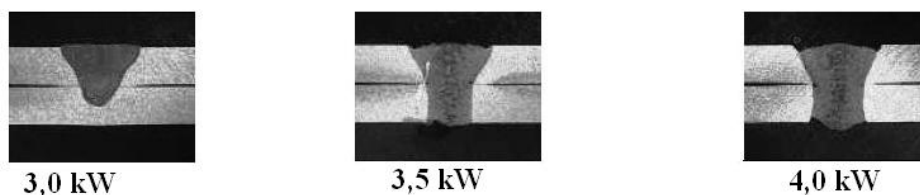
Najprimernejši zaščitni plin za lasersko CO₂ varjenje je helij. Helij je nevtralen plin z najmanjšo molekulsko maso, največjo toplotno prevodnostjo in največjo energijo ionizacije in je torej najprimernejši plin za odpravljanje oblikovanja plazme. Vendar pa zaradi njegove visoke cene nadomeščamo del helija s cenejšim argonom. Uporabljeni morajo biti zelo čisti plini (Jamnikar, 2003).

Zaščitni plini za lasersko varjenje nerjavnih jekel so:

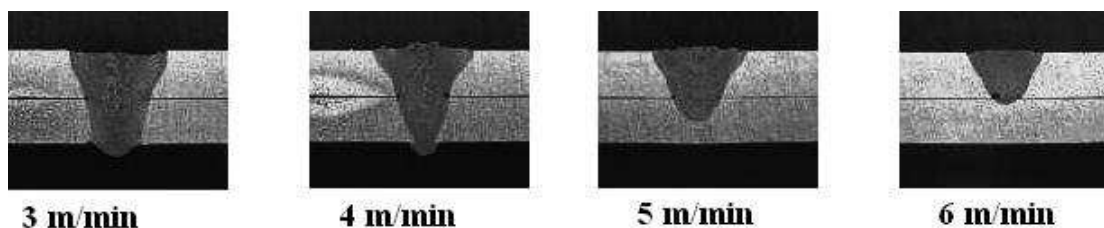
1. argon 5.0 (99,999 %),
2. 70 % argona + 30 % helija,
3. 50 % argona + 50 % helija,
4. helij 5.0 (99,999 %),
5. dušik 5.0 (99,99 %) kot dodatni zaščitni plin za zaščito korenske strani.

Moč laserskega žarka in hitrost varjenja

Moč laserskega žarka mora biti prilagojena debelini materiala, ki ga varimo; večja debelina materiala zahteva tudi večje moči. Globina uvara in sama geometrija zvara sta močno odvisni tudi od hitrosti varjenja. Pri kontinuurnem varjenju se uvar pri dani varilni hitrosti povečuje s povečanjem moči žarka in zmanjšuje s povečanjem hitrosti varjenja (Slika 22 in Slika 23) (Beyer, 1995).



Slika 22: Vpliv moči žarka na obliko zvara (hitrost varjenja = konst)

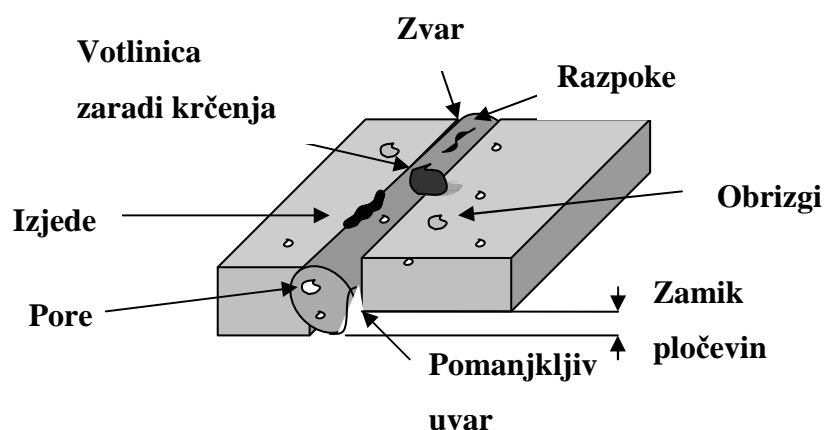


Slika 23: Vpliv hitrosti varjenja na obliko zvara (moč žarka = konst)

Vsekakor pa je izbira moči žarka in hitrosti varjenja kompromis med produktivnostjo, ki zahteva uporabo največjih hitrosti varjenja, in zahtevano kakovostjo zvara.

2.5 Kakovost pri varjenju

Kakovost zvarnega spoja mora ustrezati zahtevani obremenitvi, korozijski obstojnosti in varnosti konstrukcije. Zaradi stroškov, ki so povezani z zagotavljanjem kakovosti zvarov, je v industrijskih razmerah nemogoče pričakovati, da bi bili zvari popolnoma brezhibni. Napake, ki se pojavljajo pri laserskem varjenju, lahko združimo v različne skupine (Slika 24).



Slika 24. Tipične napake pri laserskem varjenju

Podjetje Škrlj d.o.o. ima sistem obvladovanja, načrtovanja in vodenja proizvodnje urejen po standardih ISO 9001 in s tem tudi po evropskem standardu SIST EN ISO 3834, ki obravnava zasnovano zagotovitev kakovosti varjenih izdelkov. S tem sodobnim pristopom do zagotavljanja kakovosti podjetje kontinuirano, sistematično in celovito obvladuje kakovost v vseh fazah nastajanja in uporabe proizvoda (Interna dokumentacija Škrlj d.o.o., 2010).

Standard SIST EN ISO 3834 vsebuje vrsto temeljnih standardov, ki obravnavajo vsa pomembna področja: od materialov, varilcev in varilnih postopkov do varilnih strojev in kontrole kakovosti. SIST EN ISO 3834 namreč ugotavlja vse dejavnike, ki lahko pri varjenju vplivajo na kakovost proizvoda in ki jih je treba preveriti v vseh fazah – pred, med in po varjenju.

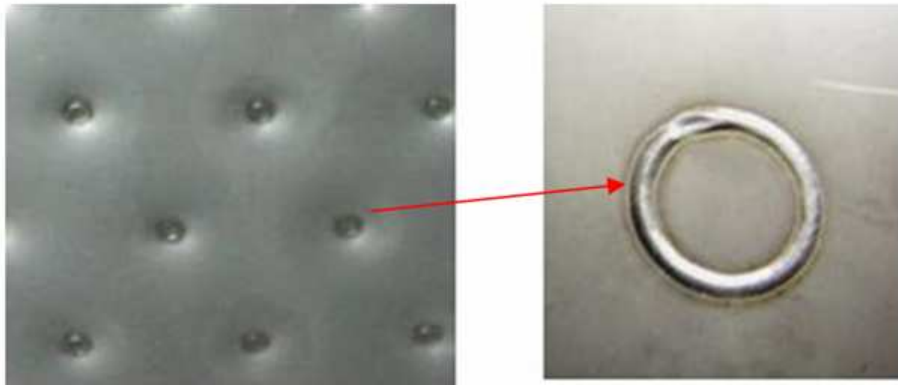
Posebej za lasersko varjenje pa dodatno velja standard EN ISO 13919-1.

V skladu z določili standarda SIST EN ISO 3834 se mora v procesu izdelave proizvoda z varjenjem ali konstrukcije z uporabo primernih tehnik in ustreznih postopkov zagotoviti strokovno izvedbo določil, ki so predpisana že v fazi načrtovanja varjene konstrukcije, zlasti pa je treba upoštevati sledeče vidike (Batista, 2010):

- a) priprava sestavnih delov konstrukcije (npr. razrez, preoblikovanje, posnemanje zvarnih robov, itd.) ne sme povzročati poškodb, razpok ali sprememb mehanskih lastnosti, ki bi škodljivo vplivale na varnost in zanesljivost proizvodov v celotnem času njihove uporabe,
- b) za doseg predpisane stopnje sprejemljivosti se varjenje izvaja v skladu z določili standardov SIST EN ISO 3834 -2:
 - pregled zahtev za proizvod je popolnoma dokumentiran,
 - potrjena je dokumentacija o varjenju konstrukcije,
 - varilci in strojni varilci so priznani – atestirani po ustreznem standardu,
 - nadzor varilskih del vrši osebje za nadzor varjenja z ustreznim tehničnim znanjem,

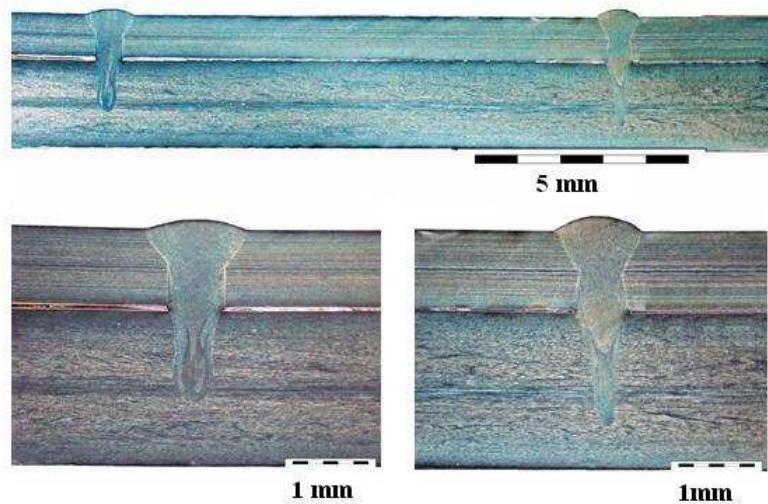
- proizvodna oprema, varnostne naprave in zaščitna oblačila so v skladu z zahtevami standardov za pripravo, rezanje, varjenje, transport in dviganje,
 - proizvodna oprema je redno vzdrževana, kar se izvaja skladno z načrtom vzdrževanja,
 - popolnoma dokumentiran načrt izdelave,
 - izvršena sta popis in odobritev varilnega postopka ter ustrezna navodila za delo,
 - postopek skladiščenja in ravnanja z dodajnimi in pomožnimi materiali je v skladu s priporočili dobavitelja,
 - osnovni materiali so skladiščeni tako, da so zaščiteni pred vplivi okolja; poleg tega imajo ohranjene identifikacijske oznake,
 - vrši se kontrola pred varjenjem, med varjenjem in po njem, skladno z zahtevami postopka,
 - izdelana so poročila o kakovosti in s tem so izpolnjene zahteve glede jamstva za izdelek,
- c) vzpostavljeni in izvajani morajo biti primerni postopki sledljivosti za identifikacijo materialov – od prevzema, prek proizvodnje do končnih preskusov in prevzema izdelane konstrukcije.

Na slikah 25 in 26 so prikazani kvalitetni laserski zvarni spoji na hladilnem plašču; zvarni spoji so visoke kvalitete. Površina je kovinsko čista. Zvari so brez notranjih napak (Slika 25 in Slika 26) (Škrlj in drugi, 2010).



Slika 25: Izgled lasersko zavarjenega spoja na hladilnem plašču

Na sliki 26 je prikazan zvar premera: 10 mm, čas varjenja: 0,9 sekunde



Slika 26: Makro presek zvara na hladilnem plašču

2.6 Varnost pri varjenju

CO₂ laserji emitirajo svetlobo visoke gostote moči v območju nevidnega infrardečega območja svetlobnega spektra. V skladu s standardom EN 60825-1 (safety of laser products) je CO₂ laserski varilni sistem, glede na stopnjo njegove potencialne nevarnosti, klasificiran v 4. razred (laserji visokih moči nevarni za oči in

kožo, nevarni tudi zaradi difuznih odbojev, nevarnost požara) (Zbirka predavanj, 2001 in 2002).

Vrste nevarnosti v laserskih sistemih so:

1. nevarnosti zaradi učinkov laserske svetlobe; laserska svetloba in svetloba sekundarnih, difuznih sevanj lahko:
 - neposredno povzroči poškodbe oči in/ali kože,
 - povzroči vžig vnetljivih snovi (požar in eksplozije) in
 - aktivira reakcije, pri katerih se sproščajo strupene snovi,
2. nevarnosti zaradi drugih učinkov komponent laserskega sistema; komponente laserskega sistema povzročajo nevarnosti zaradi:
 - visokih električnih napetosti in
 - nenadnih hitrih premikov linearnih komponent.

Lasersko svetlobo v bližnjem infrardečem spektru roženica prepušča, mrežnica pa je ne zaznava. V primeru preosvetlitve zato ne pride do očesnega refleksa, kar pomeni, da je ta svetloba za oko še posebej nevarna. Ta svetloba se popolnoma absorbira v roženici in povzroča močne opekline, lahko pa tudi trajne poškodbe. Prav tako trajno poškoduje mrežnico. Stopnja poškodbe očesa je odvisna od valovne dolžine laserske svetlobe, jakosti in trajanja izpostavljenosti.

Koža je močno absorptivna za lasersko svetlobo, zaradi česar lahko pride do močnih opeklin.

Stik z visoko električno napetostjo lahko povzroči trajne poškodbe ali celo smrt. Zato mora popravila in vzdrževanje stroja opravljati le strokovno usposobljena oseba.

Hitrosti premikov linearnih komponent laserskega sistema so izredno visoke (do 100 m/min), zaradi česar obstaja nevarnost hujših poškodb. Da bi se to nevarnost

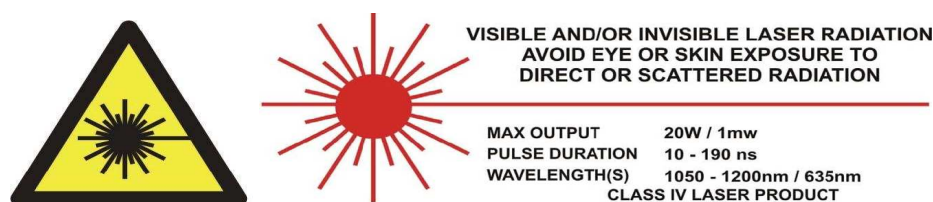
preprečilo, je celoten varilni sistem zaprt v ohišje, dostop do premikajočih se komponent pa je preprečen še z dodatnimi varnostnimi ukrepi.

Največje dopustne ekspozicije (ožarčenje) – stopnja sevanja, ki izpostavljeni osebi v normalnih okoliščinah ne povzroča škodljivih posledic – so podane v evropskih varnostnih standardih EN 60825-1 za laserje in laserske naprave.

Zato so nujni sledeči pristopi k laserski varnosti:

1. Zaščitno ohišje varilnega sistema mora popolnoma (nepresevno) zapreti nevarno lasersko sevanje. Ohišje mora biti robustno, imeti mora visoko stopnjo nepresevnosti, dostop med obratovanjem pa mora biti popolnoma onemogočen.
2. Na poti žarka ne sme biti površin, ki bi utegnile povzročiti nevarne odboje žarka.
3. V podjetju mora biti določena strokovna oseba, ki je odgovorna in pristojna za določitev primernih varnostnih in kontrolnih ukrepov ter za izvajanje le-teh.
4. Nepooblaščenim osebam mora biti dostop do laserskega varilnega sistema in dostop do nevarnega območja omejen. Nevarno območje mora biti varovano s fizičnimi preprekami oziroma zaporami in označeno mora biti z vidnimi opozorilnimi znaki (svetlobni znaki in opozorila, Slika 27).
5. Obvezna je uporaba osebnih zaščitnih sredstev.
6. Priporočljivi so redni oftalmološki pregledi osebja, ki dela v okolju z laserji visokih moči.
7. Popravila in vzdrževanje laserskega sistema sme opravljati le pooblaščen in ustrezno strokovno usposobljena oseba.

Vsi laserski sistemi 4. varnostnega razreda morajo biti izdelani in uporabljeni v skladu z zahtevami evropskega standarda o varnosti laserjev EN 60825-1 (Zbirka predavanj, 2001 in 2002).



Slika 27: Opozorila za nevarnost

3 POSODOBITEV TEHNOLOGIJE VARJENJA HLADILNIH PLAŠČEV

Investicija v projekt posodobitve varilne tehnologije, to je nakup laserskega varilnega sistema 3D CNC laser DOMINO s 5 kW laserjem (Slika 28) (Prima Industrie s.p.a., 2010), se je izvršila v prvi polovici leta 2010.



Slika 28: 3D CNC varilni sistem

3.1 Cilji projekta

Cilji projekta investiranja v novo tehnologijo:

1. Podjetje želi povečati proizvodno zmogljivost (Tabela 5).

Tabela 5: Planirana proizvodnja hladilnih plaščev za obdobje 2010 – 2014

	2010	2011	2012	2013	2014
Planirana proizvodnja hladilnih plaščev (m ²)	3.900	6.000	8.500	9.500	12.000

Maksimalna kapaciteta obstoječe tehnologije varjenja TIG znaša približno 5000 m² hladilnih plaščev na leto (oziroma 0,9 m²/h), kar zavira povečanje proizvodnje posod s hladilnim plaščem in s tem tudi nadaljnjo rast podjetja. Zato želi podjetje svojo produktivnost povečati na minimalno 2,5 m²/h.

Proizvodnja posod s hladilnim plaščem ni serijska proizvodnja, temveč izrazito sezonska proizvodnja za znanega naročnika, zato si podjetje želi imeti moderno in fleksibilno tehnologijo, s pomočjo katere bi skrajšali dobavne roke proizvodov in se približali željam kupcev.

2. Podjetje želi znižati proizvodne stroške.
3. Podjetje želi z uvedbo nove laserske tehnologije omogočiti rast in razvoj podjetja.
4. Eden izmed glavnih ciljev je čim večja učinkovitost investicije; investicija naj se povrne znotraj ekonomske dobe projekta (5 let).

3.2 Izračun proizvodnih stroškov varjenja

Poznavanje stroškov je nujno za pravilno izvedbo kalkulacije in za vrednotenje projekta.

V kalkulacijah so upoštevani investicijski stroški, stroški financiranja in neposredni izdelavni stroški, ki so vezani na efektivno obratovalno uro naprave in prevedeni na izdelovalne stroške ene enote proizvoda (1 m² hladilnega plašča).

Ker je laserska varilna oprema že vključena v proizvodni proces, smo v nalogi za analizo dejanskih učinkov uporabili pokalkulacijo stroškov stroškovnega mesta varjenja. Pokalkulacija je izdelana na osnovi dejanskih stroškov in drugih povratnih informacij iz proizvodnje.

Metodo kalkulacije z enakovrednimi števili pa smo uporabili zato, ker jo je mogoče uporabljati takrat, ko med višinami stroškov za posamezne proizvode obstaja določeno konstantno razmerje.

Pri izdelavi hladilnih plaščev se vedno uporabljajo enake kvalitete in dimenzije nerjavnih pločevin (enaki stroški materiala), le postopek varjenja je drugačen. Zato lahko končni proizvod stroškovnega mesta varjenja prevedemo na enakovredne osnovne enote ali proizvode, ki so izraženi v 1 m² hladilnega plašča. Na ta način zajamemo vse stroške, ki jih povzroča proizvodnja ene enote (1m²) hladilnega plašča, za posamezen postopek varjenja, pri čemer ostalih neposrednih stroškov materiala ni potrebno upoštevati.

Ker so indirektni stroški, ki so navadno povezani z delom celotnega podjetja, izredno težko določljivi, jih pri kalkulacijah nismo upoštevali. Ti stroški so namreč po posameznih stroškovnih mestih razporejeni po različnih ključih in bi morda vodili do napačnih rezultatov in zaključkov (Vončina, 2007).

a) Stroški amortizacije

Stroški amortizacije so zajeti v stroških delovanja naprave. Uporabljena je metoda amortiziranja enakih letnih zneskov (linearna metoda), ki smo jo preračunali na enoto izdelka (m² plašča).

TIG varilna oprema je skoraj že amortizirana, zato smo pri stroških amortizacije upoštevali dejansko amortizacijsko osnovo (po podatkih podjetja).

b) Stroški porabe električne energije

Pri kalkulaciji stroškov porabe električne energije smo upoštevali priključno moč varilnih naprav, naprav za hlajenje, pomožnih naprav, naprav za odsesavanje dima in plinov, ki nastajajo pri varjenju, ter kompresorskih naprav za proizvodnjo komprimiranega zraka.

Cena električne energije znaša 0,13 €/kWh (po računu elektrodistribuijskega podjetja).

c) Stroški porabe tehničnih plinov

Podjetje oskrbuje varilna delovna mesta s plini iz stabilnih rezervoarjev (utekočinjeni plini) in s plini iz jeklenk.

Cene plinov po računih dobavitelja so:

1. argon za TIG varjenje Ar 5.0: 1,57 €/kg (1 kg = 0,61 m³), utekočinjen iz rezervoarja,
2. dušik za zaščito korenske strani vara N₂ 5.0: 0,49 €/kg (1 kg = 0,872 m³), utekočinjen iz rezervoarja,
3. laserski plin – plinska mešanica 140,0 €/kg (1 kg = 4,010 m³), iz jeklenke,
4. zaščitna plinska mešanica za laser Ar-He (50/50): 45,0 €/kg (1 kg = 3,350 m³), iz jeklenke,
5. dušik za ventilacijo poti laserskega žarka N₂ 6.0: 2,9 €/kg (1 kg = 0,872 m³), iz jeklenke.

Dejanska poraba plina je bila odčitana na merilcih pretokov plina na varilnih napravah.

d) Stroški potrošnega materiala

Strošek porabe potrošnega materiala (volframove elektrode, zaščitne šobe, material za brušenje in poliranje, osebna zaščitna sredstva) je bil določen na osnovi povprečne dejanske porabe teh materialov v proizvodnji.

e) Stroški vzdrževanja in rezervnih delov

Stroški vzdrževanja varilne opreme so planirani na osnovi tehničnih zahtev rednega letnega vzdrževanja te opreme, ki jih v tehnični dokumentaciji navaja njihov izdelovalec.

Letni znesek vzdrževanja in rezervnih delov smo razdelili na urne kalkulativne zneske in jih upoštevali pri izračunu obratovalnih stroškov varilne naprave.

Morebitne razlike med vkalkuliranimi stroški vzdrževanja in njihovimi dejanskimi stroški se ob koncu leta pripišejo izrednim prihodkom ali odhodkom.

f) **Stroški dela**

Stroški dela na stroškovnih mestih izdelave hladilnega plašča znašajo 29,50 €/h.

Pri izračunu mesečnih stroškov delavca oziroma delovnega mesta so upoštevane sledeče postavke:

- neto plača delavca,
- akontacija dohodnine,
- prispevki, ki jih mesečno plača delavec (osnovno zdravstveno zavarovanje, ZPIZ, zaposlovanje, starševsko varstvo),
- prispevki, ki jih plača podjetje (osnovno zdravstveno zavarovanje, ZPIZ, zaposlovanje, starševsko varstvo, poškodbe pri delu),
- regres in prehrana,
- prevoz na delo,
- dopust, boleznine in drugi izostanki,
- fiksni materialni stroški podjetja na osebo (sanitarna voda, čiščenje, ogrevanje itd.).

3.2.1 Kalkulacije izdelovalnih stroškov obstoječe tehnologije TIG varjenja

Izdelovalni stroški in stroški dodatnih del so prikazani v tabelah 6 in 7, pri čemer se pri kalkulacijah upošteva:

- efektivno število delovnih ur: 1.360 ur/leto (enoizmensko delo),
- čas avtomatskega varjenja 1 m² hladilnega plašča: 1,05 h/m² hladilnega plašča,
- čas dodatnega varjenja, brušenja, poliranja in pranja: 1,90 h/m² hladilnega plašča.

V tabeli 8 pa so prikazani celotni stroški izdelave za enoto hladilnega plašča po TIG postopku (Tabela 8).

Tabela 6: Izdelovalni stroški za avtomatsko TIG varjenje

STROŠKI		IZDELOVALNI STROŠKI				
		(€/h)		€/m ²		
INVESTICIJSKI STROŠKI	Naprava za avtomatsko TIG varjenje Amortizacijska osnova: 21.700,00 €/leto	15,95		16,75		
ELEKTRIČNA ENERGIJA	Priključna moč: 6,60 kW	0,86		0,90		
	Cena: 0,13 €/kWh					
POTROŠNI MATERIAL	Varilni plin Ar	poraba: 0,66 m ³	1,69	2,82	1,77	1,65
		cena: 2,57 €/m ³				
	Zaščitni plin N ₂	poraba: 0,3 m ³ /h	0,17		0,18	
		cena: 0,56 €/m ³				
	W-elektroda	poraba: 0,05 kos/m ²	0,34		0,34	
		cena: 6,80 €/kos				
Zaščitna keramična šoba	poraba: 0,05 kos/m ²	0,26	0,26			
	cena: 5,20 €/kos					
VZDRŽEVANJE IN REZERVNI DELI	Planiran strošek: 1.425,00 €/leto	0,54		0,63		
STROŠKI DELA	Čas varjenja 1 m ² hlad. plašča: 1,05 h	29,50		30,98		
	Stroški dela: 29,50 €/h					
SKUPAJ:		49,67		50,91		

Tabela 7: Stroški dodatnih del pri TIG varjenju

STROŠEK		IZDELOVALNI STROŠKI			
		(€/h)		(€/m ²)	
INVESTICIJSKI STROŠKI	TIG varilna naprava in pomožne naprave Amortizacijska osnova: 2.500,00 €/leto	1,84		3,50	
ELEKTRIČNA ENERGIJA	Priključna moč: 2,40 kW	0,31		0,60	
	Cena električne energije: 0,13 €/kWh				
POTROŠNI MATERIAL	Varilni zaščitni plin Ar	poraba: 0,25 m ³ /h	0,64	6,96	13,24
		cena: 2,57 €/m ³			
	W-elektroda	poraba: 0,02 kos/m ²	0,12		
		cena: 6,80 €/kos			
	Zaščitna keramična šoba	poraba: 0,03 kos/m ²	0,10		
		cena: 5,20 €/kos			
Material za brušenje, poliranje, pranje, osebna zaščitna sredstva	poraba: 1 komplet/h	6,10			
	cena: 6,10 €/komplet				
VZDRŽEVANJE IN REZERVNI DELI	Letni strošek: 1.425,00 €/leto	1,05		1,10	
STROŠEK DELOVNE SILE	Varjenje, brušenje, poliranje, pranje: 1,90 h	29,50		56,05	
	Strošek dela: 29,50 €/h				
SKUPAJ:		39,66		74,49	

Tabela 8: Celotni strošek avtomatskega TIG varjenja z dodatno obdelavo

STROŠEK	(€/h)	(€/m ²)
Avtomatsko TIG varjenje	49,67	50,91
Dodatna obdelava	39,66	74,49
SKUPAJ:		125,40

Strošek izdelave hladilnega plašča velikosti 1 m² je 125,40 € (Interna dokumentacija Škrlić d.o.o., 2010).

3.2.2 Kalkulacije izdelovalnih stroškov laserske varilne tehnologije

Izdelovalni stroški laserskega varjenja so predstavljeni v tabeli 9, pri čemer smo upoštevali:

- število učinkovitih delovnih ur letno 1.360 ur x 1,5 = 2040 ur (predvideno na planirano proizvodnjo),
- dejanski čas varjenja 1m² hladilnega plašča: 0,31 h/m².

Tabela 9: Izdelovalni stroški laserskega varjenja

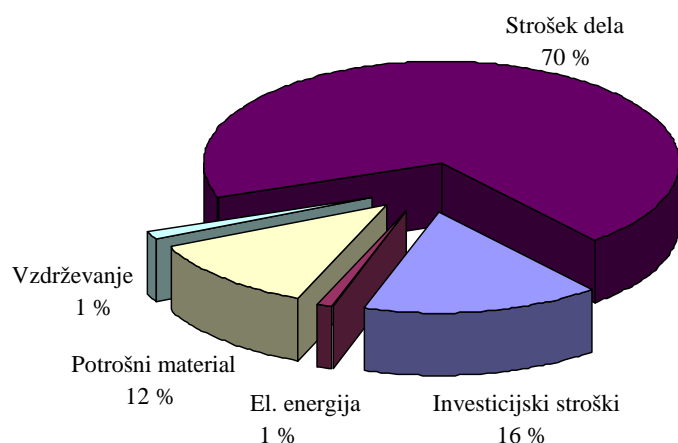
STROŠEK		IZDELOVALNI STROŠKI				
		(€/h)		(€/m ²)		
INVEST. STROŠKI	CNC laserski varilni sistem z montažo in usposabljanjem cena: 968.344,06 € Amortizacijska doba: 5 let (193.668,81 na leto)	94,94		29,43		
	Priključna moč naprav: 48,5 kW Cena električne energije: 0,13 €/kWh	6,30		2,10		
POTROŠNI MATERIAL	Laserski plin He-N ₂ -CO ₂	poraba: 0,02 m ³ /h cena: 33,74 €/m ³	0,67	12,97	0,22	4,38
	N ₂ ventilacija poti žarka	poraba: 2 m ³ /h cena: 3,32 €/m ³	6,46		2,21	
	Varilni zaščitni plin Ar-He (50/50)	poraba: 0,48 m ³ /h cena: 11,22 €/m ³	5,39		1,80	
	Komprimiran zrak	poraba: 45 m ³ /h cena: 0,01 m ³ /h	0,45		0,15	
SERVIS, VZDRŽEVANJE IN REZERVNI DELI	Planirani strošek: 16,900 €/leto	8,28		2,76		
STROŠKI DELA	Čas priprave in posluževanja stroja: 0,5 h	14,75		4,92		
	Strošek dela: 29,50 €/h					
SKUPAJ:		137,24		43,59		

3.3 Stroškovna primerjava obstoječe TIG in nove laserske tehnologije varjenja hladilnih plaščev

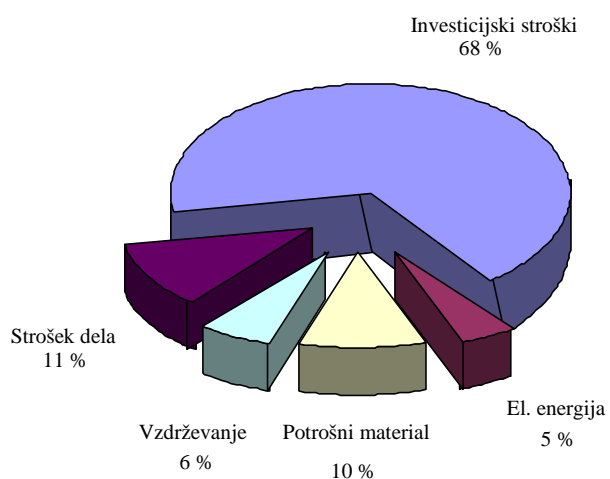
V primerjavi s TIG varjenjem je varjenje z laserjem veliko učinkovitejše ob precej manjših proizvodnih stroških. Stroški izdelave 1 m² hladilnega plašča po obeh postopkih varjenja so podani v tabeli 10, prikazani pa so na slikah 29 in 30.

Tabela 10: Primerjava stroškov izdelave na enoto proizvoda

	Avtomatsko TIG varjenje z dodatno obdelavo	Lasersko varjenje
Strošek izdelave 1 m ² hladilnega plašča (€/m ²)	125,40 (100 %)	43,59 (34,76 %)



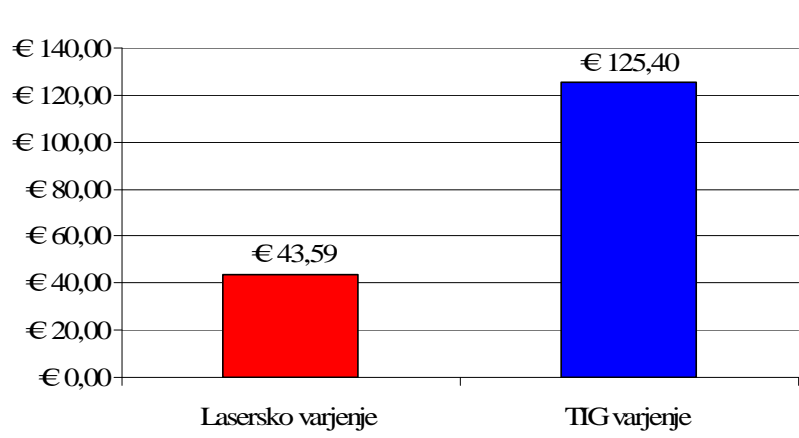
Slika 29: Proizvodni stroški TIG varjenja enote hladilnega plašča



Slika 30: Proizvodni stroški laserskega varjenja enote hladilnega plašča

Najvišji strošek pri TIG varjenju predstavlja strošek dela, le-ta predstavlja 70 odstotkov vseh stroškov. Strošek dela je pri TIG varjenju sestavljen iz stroška dela same operacije varjenja ter stroška dodatne operacije. Pri laserskem varjenju pa so najvišji investicijski stroški v novo tehnologijo, ti predstavljajo 68 odstotkov vseh stroškov.

Z uvedbo nove tehnologije se poveča produktivnost, poleg tega pa se stroški izdelave na enoto proizvoda pri laserskem varjenju znižajo na tretjino stroškov pri TIG varjenju (Slika 31), saj pri laserskem načinu varjenja stroškov dodatnih del nimamo.



Slika 31: Primerjava izdelovalnih stroškov na enoto proizvoda

3.4 Kalkulacija potrebnih virov in cene virov financiranja

Podjetje je za financiranje projekta zagotovilo 50 odstotkov lastnih sredstev, druga polovica pa je z naslova kratkoročnega kredita pri domači banki. V tabeli 11 so prikazani deleži virov sredstev (Tabela 11).

Tabela 11: Viri financiranja projekta

Viri financiranja	v €
Kratkoročni domači kredit	422.950
Lastna sredstva	422.950
SKUPAJ	845.900

3.5 Amortizacijski načrt

Amortizacijski načrt za odplačevanje kratkoročnega kredita domače banke je prikazan v tabeli 12. Trajanje kredita je pet let in se obrestuje letno po obrestni meri 6,5 %.

Tabela 12: Amortizacijski načrt najetega kredita domače banke

Leto	Anuiteta v €	Obresti v €	Razdolžnina v €	Ostatak glavnice v €
0				422.950
1	112.081,75	27.491,75	84.590	338.360
2	106.583,40	21.993,40	84.590	253.770
3	99.816,20	15.226,20	84.590	169.180
4	95.586,70	10.996,70	84.590	84.590
5	90.088,35	5.498,35	84.590	0
SKUPAJ	504.156,40	81.206,40	422.950	

Amortizacijski načrt lastnih sredstev za dobo 5 let je prikazan v tabeli 13. Lastna sredstva se kot depozit obrestujejo letno po 3,25-odstotni obrestni stopnji (Tabela 13).

Tabela 13: Amortizacijski načrt lastnih sredstev

Leto	Anuiteta v €	Obresti v €	Razdolžnina v €	Ostatak glavnice v €
0				422.950
1	98.335,88	13.745,88	84.590	338.360
2	95.586,70	10.996,70	84.590	253.770
3	92.837,53	8.247,53	84.590	169.180
4	90.088,35	5.498,35	84.590	84.590
5	87.339,20	2.749,20	84.590	0
Skupaj	464.187,66	41.237,66	422.950	

V tabeli 14 je podan amortizacijski načrt osnovnega sredstva (laserskega varilnega sistema) (Tabela 14):

$$A = \frac{\text{amortizacijska osnova}}{\text{ocenjena življenjska doba}} = \frac{968.334,06 \text{ €}}{5 \text{ let}} = 193.666,81 \text{ €}$$

Tabela 14: Amortizacijski načrt osnovnega sredstva

Amortizacijski načrt osnovnega sredstva v €				
Leto	Amortizacijska osnova	Amortizacijska stopnja	Letna anuiteta	Neamortizirani del
2010	193.666,81	20 %	38.733,36	154.933,45
2011	193.666,81	20 %	38.733,36	116.200,09
2012	193.666,81	20 %	38.733,36	77.466,72
2013	193.666,81	20 %	38.733,36	38.733,36
2014	193.666,81	20 %	38.733,36	0

3.6 Finančna ocena projekta

Vsaka nova investicija predstavlja za podjetje določeno tveganje. Da bi potrdili pravilnost odločitve v novo naložbo, se poslužujemo določenih metod vrednotenja (statičnih in dinamičnih ocen) s kazalniki učinkovitosti (Vončina, 2007).

3.6.1 Bilanca stanja projekta

Bilanca stanja projekta nam služi kot osnova za vpogled v prihodkovni in odhodkovni vidik projekta skozi obravnavano dobo. Razliko med prihodki in odhodki imenujemo dobiček ali izguba. Vrednosti so prikazane v tabeli 15.

Tabela 15: Bilanca stanja ekonomske dobe projekta

Struktura	Ekonomska doba projekta					SKUPAJ
	Leta	1	2	3	4	
	2010	2011	2012	2013	2014	
PRIHODKI v €	147.258,00	490.860,00	695.385,00	777.195,00	981.720,00	3.092.418,00
Razlika v proizv. stroških	147.258,00	490.860,00	695.385,00	777.195,00	981.720,00	3.092.418,00
ODHODKI v €	276.382,56	300.620,21	329.253,01	339.183,51	216.157,16	1.461.596,45
POSL. ODHODKI	248.890,81	278.626,81	314.026,81	328.186,81	210.658,81	1.380.390,05
Stroški mater. in str. dela	55.224,00	84.960,00	120.360,00	134.520,00	16.992,00	412.056,00
Amortizacija opreme	193.666,81	193.666,81	193.666,81	193.666,81	193.666,81	968.334,05
ODHODKI FINANCIRANJA	27.491,75	21.993,40	15.226,20	10.996,70	5.498,35	81.206,40
Obresti domačega kredita	27.491,75	21.993,40	15.226,20	10.996,70	5.498,35	81.206,40
CELOTNI BRUTO DOBIČEK v €	-129.124,56	190.239,79	366.131,99	438.011,49	765.562,84	1.630.821,55
DAVKI IZ DOBIČKA v €	0,00	47.559,95	91.533,00	109.502,87	191.390,71	407.705,39
ČISTI DOBIČEK v €	-129.124,56	142.679,84	274.598,99	328.508,62	574.172,13	1.223.116,16

V tabeli 15 sta prikazana prihodkovni in odhodkovni vidik skozi ekonomsko dobo projekta. Prihodkovno stran predstavlja stroškovna razlika med avtomatsko TIG in lasersko tehnologijo varjenja. Odhodkovno pa sestavljajo poslovni odhodki ter odhodki financiranja. Iz tabele je razvidno, da imamo v prvem letu negativno razliko med prihodki in odhodki. Dejavniki, ki pomembno vpliva na prikazani rezultat, je sama investicija, instaliranje, ter uvajanje in zato je planirana nižja proizvodna

količina. V drugem letu projekt preide na polno planirano proizvodno količino, zato je tudi pozitivna razlika prikazana kot čisti dobiček.

Vendar pa nam bilanca stanja projekta ne ponuja dovolj informacij, da bi z njimi lahko ocenili učinkovitost projekta.

Osnova za izračun učinkovitosti projekta je prikaz realnega denarnega toka projekta (Tabela 16).

3.6.2 Realni denarni tok projekta

Tabela 16: Realni denarni tok projekta

Struktura	Ekonomska doba projekta					SKUPAJ
	Leta	1	2	3	4	
	2010	2011	2012	2013	2014	
PRILIVI v €	147.258,00	490.860,00	695.385,00	777.195,00	981.720,00	3.092.418,00
Razlika v proizv. stroških	147.258,00	490.860,00	695.385,00	777.195,00	981.720,00	3.092.418,00
ODLIVI v €	222.159,75	323.693,35	396.299,20	424.199,57	505.989,06	2.240.700,93
I. INVESTICIJA	845.900,00	84.590,00	84.590,00	84.590,00	84.590,00	1.184.260,00
Lastna sredstva	422.950,00	0	0	0	0	422.950,00
Kredit domače banke	422.950,00	84.590,00	84.590,00	84.590,00	84.590,00	761.310,00
II. ODHODKI	52.979,75	154.513,35	227.119,20	255.019,57	336.809,06	1.056.440,93
a) POSLOVNI ODHODKI	25.488,00	84.960,00	120.360,00	134.520,00	169.920,00	535.248,00
Stroški mater. in str. dela	25.488,00	84.960,00	120.360,00	134.520,00	169.920,00	535.248,00
b) ODHODKI FINANCIRANJA	27.491,75	21.993,40	15.226,20	10.996,70	5.498,35	81.206,40
Obresti domačega kredita	27.491,75	21.993,40	15.226,20	10.996,70	5.498,35	81.206,40
c) DAVKI IZ DOBIČKA	0,00	47.559,95	91.533,00	109.502,87	191.390,71	439.986,17
NETO PRILIV v €	-751.621,75	251.756,65	383.675,80	437.585,43	530.320,94	851.717,07
Kumulativni neto priliv	-751.621,75	-499.865,10	-116.189,30	321.396,13	851.717,07	1.703.434,14

V tabeli 16 je prikazan realni denarni tok projekta, ki prikazuje razliko med prilivi in odlivi projekta. Razlika v proizvodnih stroških predstavlja prihodke projekta, odlivi pa so sestavljeni iz investicije ter odhodkov projekta.

Razlika med prilivi in odlivi je prikazana po letih kot neto priliv projekta. Za nazornejši pogled pa služi kumulativni neto priliv, ki prikazuje uspešnost projekta vezano na predhodno obračunsko leto.

Projekt je z vidika neto prilivov že v drugem letu obratovanja dosegel pozitivno razliko med prilivi in odlivi. Kumulativni neto priliv pa prikazuje, da se kumulirane vrednosti prilivov pojavijo kot pozitivna razlika šele v letu 2013.

3.6.3 Individualna diskontna stopnja

Tabela 17: Individualna diskontna stopnja virov financiranja

Vrsta finančnega vira	Znesek v €	Delež vira	Obrestna mera	Ponderirana vrednost obr. mere
		v %	v %	v %
	1	2	3	4 = 2 x 3
Lastna sredstva	422.950,00	50,00 %	3,25 %	1,63 %
Kredit domače banke	422.950,00	50,00 %	6,50 %	3,25 %
SKUPAJ	845.900,00	100,00 %		4,88 %

Individualna diskontna stopnja je ponderirana vrednost obrestnih mer finančnih virov, s katerimi se investicija financira (Tabela 17).

3.6.4 Odplačilna doba

Če hočemo ugotoviti, kdaj se nam naložba povrne, moramo uporabiti metodo odplačilne dobe (Tabela 18).

To je statičen kazalec, ki predstavlja:

a) odplačilno dobo,

Tabela 18: Metoda odplačilne dobe

Leto	Ekonomska doba projekta					SKUPAJ
	2010	2011	2012	2013	2014	€
Čisti dobiček	-129.124,56	142.679,84	274.598,99	328.508,62	574.172,13	1.223.116,16
Povprečni letni donos						271.803,59
Kumulativni čisti dobiček	-129.125,00	13.555,00	288.154,00	616.663,00	1.190.835,00	8.985.193,00
Investicija	169.180,00	169.180,00	169.180,00	169.180,00	169.180,00	845.900,00

V tabeli 18 je prikazan kazalec čistega dobička iz bilance stanja projekta. Kazalec čistega dobička nam služi za izračun povprečnega letnega donosa projekta celotne obravnavane ekonomske dobe projekta (4,5 let). Obravnavana ekonomska doba je 4,5 let zaradi instaliranja, uvajanja in posledično nižje planirane proizvodne količine, saj se je ustaljen potek proizvodnje začel v drugi polovici leta 2010.

$$t = N/d \tag{1}$$

t = odplačilna doba

N = vrednost naložbe

d = dobiček od naložb (letna vrednost)

$$t = N/d = 845.900 \text{ €} / 271.803,59 = 3,11 \text{ leta}$$

Statičen kazalec odplačilne dobe $t = N/d$ izračunamo po formuli (1)

Za pregled nad terminologijo vračila naložbe uporabimo metodo vračanja naložbe (Tabela 19).

Tabela 19: Metoda vračanja naložbe

Leto	Doba vračanja naložbe					2014
	0	2010	2011	2012	2013	
Povprečni donos/leto v €		135.901,79	271.803,59	271.803,59	271.803,59	5
Ostanek glavnice ob koncu obračunskega leta v €	845.900,00	709.998,21	438.194,62	166.391	0	

V tabeli 19 je prikazana doba vračanja naložbe. Naložba se ob koncu poslovnega leta zmanjša za znesek povprečnega letnega donosa (271.803,59)

Prvo leto je povprečni letni donos za polovico nižji (135.901,79), saj se normalno poslovanje prične v drugi polovici leta 2010. Nato sledi leto na koncu katerega se znesek naložbe zniža za znesek povprečnega letnega donosa. Izjema nastane leto 2013 v katerem se v drugi polovici leta naložba povrne zato je ob koncu poslovnega leta vrednost ostanka naložbe enaka 0.

b) aktualiziran dobiček na enoto naložbe.

$$de = \text{celotni dobiček } (D) / \text{ celotno naložbo } (N) \quad (2)$$

$$de = 1,45 \text{ enote}$$

Kazalec skupnega dobička na enoto naložbe predstavlja razmerje med skupnim donosom in vrednostjo naložbe. V obravnavanem primeru se nam enota naložbe v obravnavanem obdobju povrne za 1,45 enote.

3.7 Učinkovitost projekta

V tabeli 19 je zajeta tržno finančna ocena projekta, ki služi za izračun kriterijev učinkovitosti projekta.

Tabela 20: Kriteriji izračuna učinkovitosti projekta

Ekonomska doba projekta						
Leta	1	2	3	4	5	SKUPAJ
	2010	2011	2012	2013	2014	v €
INVESTICIJA	169.180,00	169.180,00	169.180,00	169.180,00	169.180,00	845.900,00
NETO PRILIV	-74.901,75	167.166,65	299.085,80	352.995,43	475.730,94	1.190.077,43
PRILIVI	147.258,00	490.860,00	695.385,00	777.195,00	981.720,00	3.092.418,00
ODLIVI	222.159,75	323.693,35	396.299,20	424.199,57	505.989,06	1.902.340,57

S pomočjo kriterijev izračuna učinkovitosti projekta (Tabela 20) lahko pri 4,88-odstotnem obrestovanju virov financiranja (Tabela 17) izračunamo:

- neto sedanjo vrednost naložbe, v nadaljevanju NSV naložbe,
- neto sedanjo vrednost projekta, v nadaljevanju NSV projekta,
- interno stopnjo donosnosti, v nadaljevanju IRR.

a) NSV naložbe = 770.759,91 €

NSV naložbe je vrednost vseh diskontiranih odlivov naložbe skozi celotno ekonomsko dobo projekta; v našem primeru znaša 770.759,91 €.

b) NSV projekta = 1.030.751,22 €

Kazalec NSV projekta je dinamičen kazalec, ki predstavlja razliko med vsemi diskontiranimi prilivi in vsemi diskontiranimi odlivi. Projekt je sprejemljiv, če je NSV projekta $>$ ali $= 0$. V našem primeru je kazalec NSV > 0 (1.030.751,22), kar dokazuje, da je projekt na osnovi tega kazalca sprejemljiv.

d) IRR interna stopnja donosnosti = 275 %

Interna stopnja donosnosti je kazalec, ki pokaže sprejemljivost naložbe projekta.

Je tista diskontna stopnja, pri kateri je neto sedanja vrednost prilivov enaka 0.

Če je IRR večji od diskontne stopnje virov financiranja, to pomeni, da je naložba sprejemljiva.

Pri obravnavani naložbi v lasersko varilno tehnologijo je IRR (275 %) večji od individualne diskontne stopnje (4,88 %). Torej je naložba v nakup 3D CNC laserja z vidika učinkov projekta sprejemljiva.

4 REALIZACIJA CILJEV

4.1 Realizacija cilja povečanje proizvodnih zmogljivosti

- Povečanje proizvodne zmogljivosti:

V podjetju so z odločitvijo o nakupu 3D CNC 5kW laser DOMINO, na podlagi karakteristik tehnologije ter testiranj, skrajšali proizvodni čas 1m^2 hladilnega plašča iz obstoječih $2,95\text{ h/m}^2$ na $0,31\text{ h/m}^2$. Tolikšno skrajšanje proizvodnega časa hladilnega plašča pa omogoča realizacijo zastavljenih ciljev, prikazanih v tabeli 5. Ob povečani zmogljivosti tehnologije je podjetje sposobno realizirati večja že obstoječa naročila ter sprejeti naročila bodočih naročnikov.

- Kvaliteta in estetski videz proizvoda:

Estetski videz zvara prikazuje primerjava med zvarom s TIG tehnologijo (Slika 6), ter laserskim zvarom (Slika 25). Na slikah zvarov je razvidna razlika med tehnologijama. Na podlagi testiranj in prilagajanj varilne opreme za varjenje je bila odpravljena oksidacija zvara. Oksidacija zvarov nastaja zaradi poškodb pločevine pri TIG varjenju zaradi pregretja materiala. Z uvedbo sodobne laserske tehnologije je čas varjenja za dve tretjini krajši, pa tudi pregrevanje materiala je manjše, kar dviguje kvaliteto samega zvara.

4.2 Realizacija cilja znižanje proizvodnih stroškov

- Podjetje je skrajšalo proizvodni čas 1m^2 hladilnega plašča iz $2,95\text{ h/m}^2$ na $0,31\text{ h/m}^2$.

- Ker pri laserskem varu ni pregrevanja materiala, je oksidacija odpravljena, s tem pa tudi naknadno delo po varjenju (poliranje, brušenje, kemično čiščenje). Z odpravo dodatnega dela se je čas proizvodnje skrajšal za $1,90\text{ h/m}^2$, ekonomski prihranek zaradi te odprave pa znaša $74,49\text{ €/m}^2$.

4.3 Realizacija cilja razvoj in rast podjetja

- Razširitev proizvodnega asortimenta:

Poleg hitrejše in ekonomične izdelave laserska tehnologija omogoča tudi fleksibilnost pri varjenju nerjavnih kovin (Slika 16).

Obstoječa TIG varilna tehnologija omogoča zgolj horizontalno varjenje. CNC laserska tehnologija pa s pomočjo rotacijske varilne optike omogoča tako varjenje pod določenim kotom kot tudi varjenje v obliki kroga oziroma ovalno varjenje.

Ob manjših spremembah na laserski optiki lahko obstoječi laser opravlja rezanje nerjavnih pločevin. S tem si podjetje v prihodnosti želi razširi asortiment storitev in možnosti za lastno proizvodnjo. Podjetje želi tudi opravljati storitve za zunanje kupce.

- Povečanje ugleda in zaupanja kupcev:

Z nudenjem sodobnejše, hitrejše, kvalitetnejše in bolj prilagodljive tehnologije je pričakovati večje zanimanje tržišča. Podjetje s posodobitvijo zagotavlja kvaliteto zvarnih spojev po prehrabnih in farmacevtskih standardih (EN 729-2 v, AD 2000-Merkblatt HP0, smernice 97/23/EG PED, Modul D).

- Izboljšanje delovnih pogojev:

V nasprotju s TIG tehnologijo je celotni CNC laserski sistem v zaprtem ohišju. Delavec spremlja potek varjenja skozi zaščitno steklo in tako je dostop do varjenca onemogočen vse dokler se operacije na varjencu ne zaključijo (Slika 14). Sistem zagotavlja izpolnjevanje evropskih varnostnih standardov EN 60825-1 za laserje in laserske naprave.

Ob odpravi dodatnega ročnega brušenja, poliranja ter čiščenja s kemikalijami je tudi onesnaževanje okolice operacij in okolja veliko manjše oziroma je v veliki večini odpravljeno.

4.4 Realizacija cilja učinkovitost investicije

- Naložba se ob predvideni povečani proizvodnji povrne v 3,11 leta, kar je znotraj zastavljenih ciljev v ekonomski dobi projekta 5 let.
- Kazalci NSV projekta, NSV naložbe ter IRR kazalci so sprejemljivi in kažejo na učinkovitost projekta.

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo obravnavali problematiko izdelave hladilnih plaščev v podjetju Škrlj d.o.o. ter izvršili finančno oceno investicije nove proizvodne tehnologije. Za boljše razumevanje problema in zahtevnosti investicije z vidika doseganja zastavljenih ciljev smo v nalogi tudi širše prikazali delovanje samega laserskega varilnega sistema kot proizvodnega orodja. Poznavanje te problematike nam je omogočilo lažjo obravnavo kriterijev ekonomske analize, izdelavo ocen upravičenosti investicije ter komentiranje rezultatov zaključne ocene.

Menimo, da je bila odločitev o investiranju v novo proizvodno tehnologijo pravilna ter ekonomsko upravičena za rešitev problema izdelave hladilnih plaščev. Izbran projekt je na podlagi izračunov zelo učinkovit, saj se investicija povrne pred načrtovano dobo. Tako s tehničnega kot tudi z ekonomskega vidika je bila investicija v CO₂ laserski varilni sistem povsem upravičena.

Najpomembnejše značilnosti nove laserske varilne tehnologije, ki se sedaj uporablja v proizvodnem procesu izdelave hladilnih plaščev v podjetju Škrlj d.o.o., so:

1. Velika proizvodna storilnost in zanesljivost – povečanje obsega proizvodnje in skrajšanje izdelovalnih časov.
2. Prilagodljivost – razširitev sedanjega proizvodnega programa ter uvajanje novih proizvodov, s čimer je poskrbljeno tudi za nadaljnji razvoj in rast podjetja. V podjetju si namreč želijo kmalu izvesti dodelavo obstoječe laserske tehnologije, s tem pa ponuditi storitev rezanja nerjavnih jekel.
3. Visoka kvaliteta in estetski videz proizvodov (po prehrabnih in farmacevtskih standardih) pomeni povečanje zaupanja kupcev.
4. Gospodarnost in ekonomičnost, kar se kaže v:
 - trikrat manjših stroških izdelave na enoto proizvoda,
 - trikrat krajših izdelovalnih časih na enoto proizvoda in
 - racionalizaciji stroškov (skrajšanje pretočnih časov v proizvodnem procesu).
5. Odprava dodatnih del brušenja in poliranja.
6. Povečanje ugleda podjetja – laserska tehnologija močno prispeva k zanesljivosti, varnosti in trajnosti uporabe proizvoda.

7. Izboljšanje delovnih pogojev ter ohranjanje okolja – popolnoma avtomatizirano varjenje v zaprtem oziroma zaščitnem ohišju ter odprava dodatnih ročnih del, ki so potrebna pri TIG varjenju (brušenja in poliranja), imata v primerjavi z doslej uporabljano tehnologijo TIG varjenja precej manj negativnih vplivov na delovno in bivalno okolje.
8. Tudi z ekonomskega vidika je investicija ob predvideni povečani proizvodnji upravičena, saj so izpolnjeni vsi cilji učinkovitosti investicije.

6 LITERATURA

Bizjak, F. (1997). Reinženiring in razvoj podjetja. Nova Gorica: Educa.

Interna dokumentacija in katalogi proizvodov podjetja Škrlj d.o.o.

(www.sk.group.biz)

Zbirka predvanj »Laserski sistemi« (tipi industrijskih laserjev, laserska optika, laserski obdelovalni procesi), pdf dokumenti. (2001 in 2002) Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko, Univerza v Ljubljani.

Laser processing (2007). CO₂ lasers, Technical documentation, Trumpf GmbH & Co, Nemčija.

Beyer, E. (1995). Basics of laser welding, Springer, Berlin.

Laser Focus Word Magazine, www.optoiq.com

Jamnikar, S. (2003). Izbira plinov – Varjenje in rezanje z laserjem, Celje: Messer Slovenija.

Batista, E. (2010). Zagotovitev kvalitete varilskih del pri obločnih načinih varjenja, Predavanja, Fotokop d.o.o.

Škrlj, T., Škrlj, M., Batista, E. (2010). Preizkusi varjenja hladilnih plaščev s CO₂ in vlaknenim laserjem, Poročilo, Fotokop d.o.o.

The laser solution (2010). Katalog podjetja PRIMA INDUSTRIE s.p.a, Torino, Italija. www.primaindustrie.com in navodila za delo z laserjem.

Vončina, S. (2007). Gradivo iz vaj pri predmetu Ekonomika in organizacija projektov. Nova Gorica: Poslovno-tehniška fakulteta, Univerza v Novi Gorici.