

ODRŽAVANJE CO2 LASERSKIH REZAČA METALA

Marić, Filip

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:327602>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO

Filip Marić

ODRŽAVANJE CO₂ LASERSKIH REZAČA METALA

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO


Filip Marić

ODRŽAVANJE CO₂ LASERSKIH REZAČA METALA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Tomislav Božić dipl.ing.stroj.

Karlovac, 2022.

 VELEUČILIŠTE U KARLOVCU Karlovac University of Applied Sciences	Klasa: 602-11/___-01/___
	Ur.broj: 2133-61-04-___-01
ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA	
Datum:	

Ime i prezime	Filip Marić	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta		
JMBAG		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	preddiplomski	X specijalistički diplomski
Naziv studija	Specijalistički diplomski stručni studij strojarstva	
Godina upisa		
Datum podnošenja molbe		
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

Naslov teme na hrvatskom:	Održavanje CO ₂ laserskih rezača metala
Naslov teme na engleskom:	Maintenance of CO ₂ laser metal cutters
Opis zadatka: Završni rad sastoji se od dva dijela, teoretskog i eksperimentalnog (praktičnog). U teoretskom dijelu rada objasniti osnovne podjele laserskih rezača metala. U nastavku rada definirati protokol i tehnološku kompoziciju održavanja strojeva ovoga tipa. Navesti i razraditi sigurnosne mjere prilikom rukovanja operatera sa laserskim rezačima metala. U eksperimentalnom dijelu rada definirati dijagram toka servisnih aktivnosti te dokumentirati servisne radnje. Aktivnosti dokumentirati foto dokumentacijom. U zaključku donijeti rezultate provedenih servisnih radnji s osnove kvalitete rezanja prije i nakon servisa. Rad napraviti sukladno pravilniku o izradi završnih radova na VuKa Karlovac.	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA:

Izjavljujem da sam ja - student Filip Marić , matični broj: 0246060413, upisan na Veleučilište u Karlovcu smjer specijalistički studij proizvodnog strojarstva akademske godine 2019/2020., radio ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja na Veleučilištu u Karlovcu i za vrijeme radnog staža u tvrtki PRO d.o.o. Ovim putem bih se htio zahvaliti mentoru Tomislavu Božiću na pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

Filip Marić ing. stroj.

Karlovac, 11.2.2022.

SAŽETAK

Pod pojmom održavanja smatraju se sve aktivnosti koje se koriste da bi neki sustav bio u ispravnom stanju. Korištenjem raznih strategija i modela održavanja tvrtke odabiru vlastiti način održavanja svojih postrojenja. Cilj ovog rada je opisati načine održavanja, nabrojati strategije i prikazati princip održavanja CO₂ laserskih rezača u jednoj proizvodnoj tvrtki.

U uvodnom dijelu rada definiran je pojam održavanja i značenje istog u industriji. Opisan je razvoj i podjela strategija održavanja, definirane su značajke, tehnologije održavanja kao i utjecaj informacijskih sustava. Opisana je tehnologija laserskog rezanja, te nabrojane i definirane osnovne komponente jednog CO₂ laserskog rezača.

U posljednjem, praktičnom dijelu rada detaljno je popraćen godišnji servisni zahvat na laserskom rezaču. Posebna pozornost pridana je svakom koraku prilikom servisnog zahvata i tehničkoj dokumentaciji stroja sa preporučenim intervalima redovnog i preventivnog održavanja od strane proizvođača.

Ključne riječi: održavanje, strategije održavanja, CO₂ laserska tehnologija, intervali preventivnog održavanja.

SUMMARY

The term maintenance includes all activities used to keep a system in good condition. Using a variety of maintenance strategies and models, companies choose their own way of maintaining their facilities. The aim of this paper is to describe the methods of maintenance, enumerate strategies and present the principle of maintenance of CO₂ laser cutters in a manufacturing company.

The introductory part of the paper defines the concept of maintenance and its meaning in industry. The development and division of maintenance strategies are described, features, maintenance technologies as well as the impact of information systems are defined. The technology of laser cutting is described, and the basic components of a CO₂ laser cutter are listed and defined.

In the last, practical part, the annual service procedure on the laser cutter was followed in detail. Special attention is paid to each step during service and technical documentation of the machine with recommended intervals of regular and preventive maintenance by the manufacturer.

Key words: maintenance, maintenance strategies, CO₂ laser technology, preventive maintenance intervals.

Sadržaj:

1. Uvod-općenito o održavanju strojeva.....	8
1.1. Razvoj pristupa i koncepta održavanja.....	9
1.2. Princip dobivanja laserske zrake [3].....	11
1.3. Povijesni razvoj laserske tehnologije.....	12
2. Komponente CO ₂ lasera.....	13
2.1. Laserska pumpa.....	15
2.2. Laserski medij.....	15
2.3. Optički rezonator.....	16
3. Princip rada i primjena CO ₂ lasera.....	18
3.1. Minimalni tehnički uvjeti za puštanje stroja u rad.....	21
3.1.1. Zahtjevi za podlogu [5].....	21
3.1.2. Klimatski zahtjevi u proizvodnom pogonu.....	24
3.1.3. Zahtjevi za odvod odlaznog zraka.....	25
3.1.4. Zahtjevi za postavu rashladnog agregata [5].....	27
3.1.5. Zahtjevi za kvalitetu plinova za rezanje.....	28
3.1.6. Zahtjevi za električni priključak.....	30
3.1.7. Zahtjevi za hlađenje stroja – rashladna voda.....	31
4. Opasnosti pri radu s laserskim rezačima metala.....	33
4.1. Poslovi s posebnim uvjetima rada [6].....	33
4.2. Zaštita operatera.....	35
4.3. Procjena rizika [7].....	35
4.4. Obavezna osobna zaštitna oprema prilikom rukovanja laserima.....	36
4.5. Opasnosti od zračenja laserske zrake.....	37
5. Eksperimentalni dio – prikaz procesa redovnog održavanja CO ₂ lasera.....	38
5.1. Početak servisnog zahvata – spajanje dijagnostičkog uređaja.....	40
5.2. Vizualna kontrola komponenata.....	41

5.3. Zamjena dotrajalih komponenti.....	43
5.4. Čišćenje komponenata stroja.....	45
5.5. Pokretanje stroja i probni rad.....	49
5.6. Slanje uzorka u mjerni laboratorij.....	51
6. Zaključak.....	52
Literatura.....	53

Popis slika:

Slika 1. Vremenski dijagram strukture operativne intervencije održavanja [2].....	9
Slika 2. Strategija održavanja [2].....	11
Slika 3. Princip proizvodnje laserske zrake [3].....	12
Slika 4. Rezonator prvog laserskog uređaja sa Rubinovim kristalom [3].....	13
Slika 5. Pojednostavljeni prikaz rezonatora [3].....	16
Slika 6. Izgled CO ₂ laserskog rezača [4].....	18
Slika 7. Radni stol sa obrađenim materijalom.....	19
Slika 8. Laserska glava prilikom rada.....	20
Slika 9. Kriteriji površine za montažu stroja [5].....	22
Slika 10. Zahtjevi za minimalnu čvrstoću podloge [5].....	23
Slika 11. Tablica maksimalnih dozvoljenih vibracija.....	24
Slika 12. Dijagram rosišta [5].....	25
Slika 13. Kompaktni otprašivač sa kantom za pohranu.....	26
Slika 14. Izgled rashladnog agregata.....	27
Slika 15. Rashladni krug stroja	32
Slika 16. Oznaka opasnosti laserske zrake [6].....	37
Slika 17. Dijagram toka redovnog servisnog zahvata laserskog rezača.....	39
Slika 18. Sučelje dijagnostičkog uređaja.....	40
Slika 19. Vizualna kontrola x,y i z vodilica laserske glave.....	41
Slika 20. Kontrolna upravljačka jedinica.....	42
Slika 21. Saponica laserske glave.....	45
Slika 22. Čišćenje, kontrola i podmazivanje vodilica.....	46

Slika 23. Novo lasersko ogledalo.....	46
Slika 24. Kontrola i podešavanje sapnice laserske glave.....	47
Slika 25. Izmjena vode i čišćenje rashladnog sustava rezonatora.....	48
Slika 26. Kontrola rada stroja na servisnoj dijagnostici.....	49
Slika 27. Radni nalog pri završetku zahvata.....	50

Popis tablica:

Tablica 1. Zahtjevi za čistoću plina [5].....	28
Tablica 2. Dopuštene dimenzije cijevi za opskrbu plinovima [5].....	29
Tablica 3. Zahtjevi za komprimirani zrak [5].....	30
Tablica 4. Zahtjevi za električni priključak [5].....	31
Tablica 5. Zahtjevi za rashladni sustav stroja [4].....	32
Tablica 6. Pregled potrebnih servisnih zahvata ovisno o radnim satima [4].....	43

Popis kratica:

Oznaka:

CO₂

CPO

TPM

MTBF

Ar

N₂

O₂

Opis:

Ugljikov dioksid

Cjelovito produktivno održavanje

Total productive maintenance

Meantime between failure

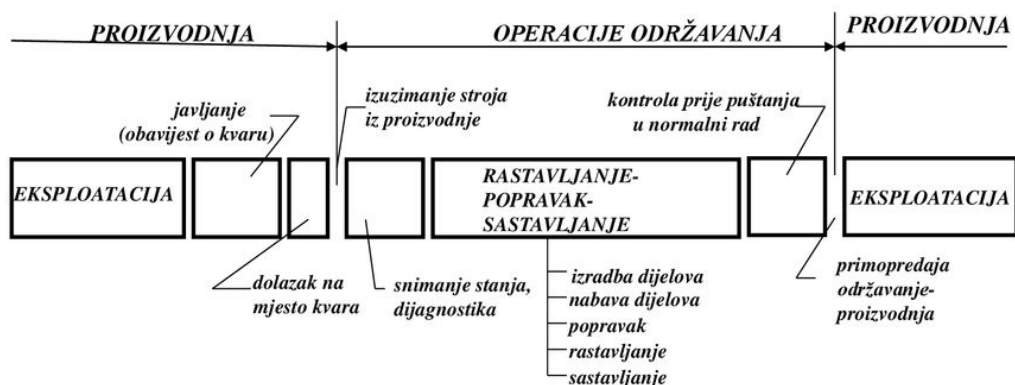
Argon

Dušik

Kisik

1. Uvod - općenito o održavanju strojeva

Održavanje opreme u procesnoj industriji izuzetno je bitna stavka svake proizvodne firme. Strojevi i oprema sa porastom broja odrađenih radnih sati povećaju svoju šansu za iznenadni kvar, koji ukoliko se ne predvidi na vrijeme može rezultirati zastojem rada, što uzrokuje goleme gubitke i kašnjenja u daljnjim planovima tvrtke. Stoga se održavanje mora izvoditi prema propisanim intervalima za svaki stroj i dio opreme zasebno. Što je stroj tehnološki napredniji to više raste potreba za obrazovanim osobljem koje će održavati takvu opremu. Kod kompleksnih strojeva, pojedine komponente ne smiju se niti otvarati bez prisutnosti ovlaštenog servisa, jer u protivnom se automatski poništava garancija.



Slika 1. Vremenski dijagram strukture operativne intervencije održavanja [2]

U dijagramu na slici 1. navedene su sve aktivnosti prilikom jednog događaja kvara u proizvodnji: dojava kvara, dolazak na mjesto kvara, izuzimanje stroja iz proizvodnje, snimanje stanja (dijagnostika kvara).

Može se zaključiti da najčešće najduži zastoj zbog izvođenja popravka bude sama dijagnostika i popravak kvara. Kako kvarove ne možemo spriječiti, fokus održavanja moramo staviti na preventivne zahvate, prema uputi proizvođača stroja. Suvremeni strojevi kao što su laserski rezači imaju i svoje dijagnostičke programe sa kojima operater stroja može odmah dobiti informaciju koji sklop stroja je onesposobljen, ukoliko je došlo

do kvara. Ovakvi strojevi često "podsjetu" operatera na redovan servis ukoliko je stroj odradio svoje predviđene godišnje sate.

U svakoj proizvodnoj tvrtki, postoji stručnjak/tehnolog održavanja, čiji je zadatak praćenje radnih sati strojeva i opreme. Tehnolog mora imati i slijedeće vrlo bitne podatke: vremenski rok dobave rezervnih dijelova, mogućnost brzog popravka, osjetljivost opreme na čistoću/radne uvjete u prostoru rada, mogućnost brzog utvrđivanja stanja dijelova, kakvi su zahtjevi za preventivne preglede/podmazivanje, mogućnost baratiranja dijelovima na radnom mjestu i dali je dokumentacija proizvođača dovoljno detaljna.

1.1. Razvoj pristupa i koncepta održavanja

Kako je u prošlom stoljeću ostvaren veliki napredak u tehnici, tako su se razvile i razne strategije održavanja, koje su pratile sve napredniju opremu i strojeve.

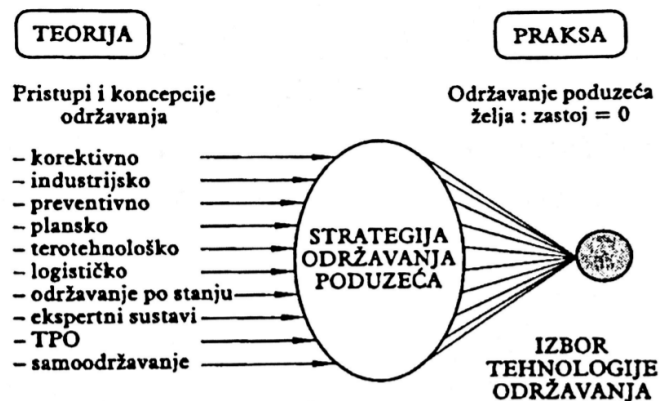
Najznačajniji su slijedeći pristupi u održavanju [2]:

- korektivno
- preventivno
- terotehnoško
- logističko
- održavanje po stanju
- plansko
- CPO (cjelovito produktivno održavanje)
- ekspertni sustavi
- samoodržavanje

Svako od navedenih strategija održavanja ima svoje prednosti i mane, a izbor strategije najviše će ovisiti o: financijskim sredstvima, zakonitostima proizvodnog procesa, plasmanu na tržištu, radu u više ili jednoj smjeni, lokaciji tvornice, vrsti i kvaliteti

kadrova, instaliranoj opremi, prostoru djelatnosti održavanja i opremi (strojevi, alati i oprema za praćenje održavanja).

Jedan od presudnih faktora za donošenje ove odluke je i zapis o kvarovima pojedinih strojeva u proteklom razdoblju. Obradom ovih podataka, može se izračunati srednje vrijeme između kvarova (MTBF-meantime between failure). Mali vremenski interval govori da se radi o stroju s učestalim kvarovima i obratno. Sada se na temelju tih podataka i poznatog vremena eksploatacije može izračunati eksploatacijska pouzdanost svakoga stroja ili cijele grupe zajedno.



Slika 2. Strategija održavanja [2]

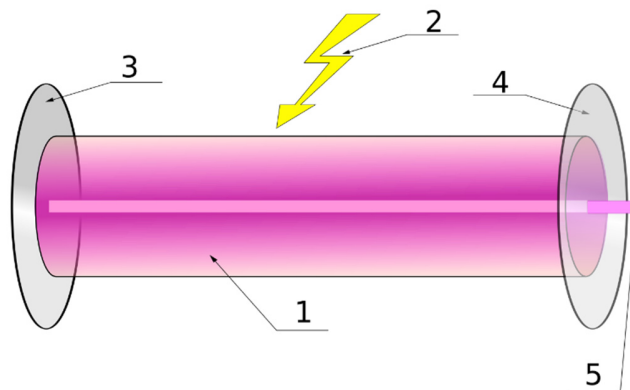
Odabir strategije održavanja moguć je jedino kada se svi parametri iz realnog svijeta sagledaju i usklade sa željenim potrebama. Često se u pogonima primjenjuju različiti postupci istodobno, ovisno od zahtjevnosti i kompleksnosti pojedinog stroja ili opreme.

1.2. Princip dobivanja laserske zrake [3]

Riječ "laser" je akronim za pojačanje svjetla stimuliranim emisijskim zračenjem.

Laser se koristi procesima koji pojačavaju svjetlosne signale nakon što se ti signali generiraju na druge načine. Laser je svjetlosni oscilator tj. on generira koherentnu, monokromatsku i usmjerenu svjetlost što omogućuje fokusiranje svjetlosti na točku malog promjera. Procesi koji to uključuju jesu stimulirana emisija, prirodni efekt koji je izveden razmatranjem povezanim za termodinamičkom ravnotežom i optičkom povratnom spregom prisutnom u većini lasera koja se obično odvija pomoću zrcala.

Najjednostavniji laser sastoji se od medija za pojačanje i skupa zrcala koji vraćaju svjetlost u pojačalo za kontinuirani rast razvojne zrake.



Slika 3. Osnovni princip dobivanja laserske zrake [3]

Na slici 3. vidljiv je osnovni princip proizvodnje laserske zrake u CO₂ laserskom rezaču.

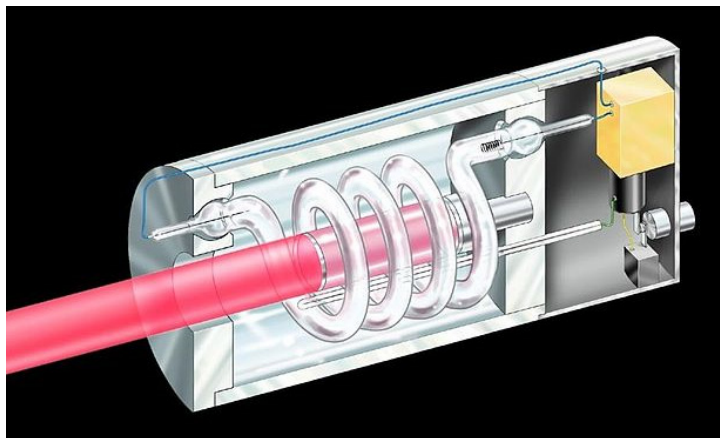
Komponente su:

1. Aktivni radni medij (mješavina plinova u kojima se događa nastanak laserske zrake)
2. Energija za pobudu zrake (najčešće visoko-frekventni generator)
3. Potpuno reflektirajuće ogledalo
4. Djelomično reflektirajuće ogledalo (onemogućava povrat zrake)
5. Generirana laserska zraka

Princip dobivanja laserske zrake odvija se u dijelu stroja koji nazivamo "rezonator" i to je najkompleksniji dio ovih strojeva. Svaka nova generacija ovakvih strojeva, glavne izmjene ima u rezonatoru, cilj je što pouzdanije i sa što manje utrošene električne energije dobiti zraku, a da se istodobno pojačaju performanse stroja u smislu bržeg i kvalitetnijeg reza na metalu.

1.3. Povijesni razvoj laserske tehnologije

Prvi laser proizveden je 1960. godine te je imao kristal rubina kao povećalo i lampu kao izvor energije. Štapičasti kristal rubina bio je okružen spiralnom lampom dok je optička šupljina formirana posrebnim krajevima rubinske šipke.



Slika 4. Rezonator prvog laserskog uređaja sa Rubinovim kristalom [3]

Nedugo nakon toga, u General Electric Research laboratoriju predstavljen je prvi poluvodički laser koji predstavlja malen kristal podijeljen u dva osnovna područja, s različitim električnim svojstvima.

1963. godine otkriven je infracrveni CO₂ laser koji je i danas jedan od najučinkovitijih i najjačih lasera u upotrebi. Njihova osnovna konstrukcija ostala je ista do danas, najviše izmjena bilo je u upravljanjima strojem (brži i jači procesori i ostala elektronika) i efikasnija proizvodnja zrake u rezonatoru.

1966. godine došlo je do otkrića koje je dovelo do nastanka optičkih vlakana. Izračunato je kako prebaciti svjetlost na velike duljine preko optičkih staklenih vlakana.

Ovakvi strojevi sve su popularniji danas, jer radi optičkih vlakana imaju puno jednostavniju konstrukciju, bez potrebe za korištenjem kompleksnih ogledala, i mogu ostvariti značajne uštede u potrošnji električne energije u odnosu na CO₂ tehnologiju.

Laseri kao tehnološko rješenje razvijaju se kontinuirano i nalazimo ih u više industrija: medicina, astrologija, obrada metala, vojna industrija, samo su dio svijeta u kojem su laseri našli svoju primjenu.

2. Komponente CO₂ lasera

Laseri se sastoje od preko 1200 komponenata, no osnovnu građu možemo svrstati u glavna tri dijela:

1. Laserska pumpa (energija za pobuđivanje medija)
2. Laserski medij
3. Optički rezonator

2.1. Laserska pumpa

Laserska pumpa služi kao glavni izvor svjetlosti za lasersku zraku. Ovo je glavni dio nastajanja zrake, u prijašnjim modelima laserima korištena je kombinacija helij-neona uz pomoć električnog pražnjenja. Danas moderniji optički (fiber) laseri, koji izvor svjetlosti generiraju pomoću specijalnih laserskih dioda troše puno manje energije, stoga je sav razvoj ovih strojeva preusmjeren upravo u optičke (fiber) lasere. Njihova struktura je puno manje složena i potrošnja električne energije prilikom dobivanja laserske zrake je čak i do 40% manja u odnosu na CO₂ lasere.

2.2. Laserski medij

Kod CO₂ lasera, laserski medij je smjesa plinova koji su ključan faktor u postupku dobivanja laserske zrake. Za pobuđivanje laserskog medija potrebna je laserska pumpa, koja generira stimuliranu emisiju fotona te se događa optičko povećanje.

Postoje više vrste medija koje ovise o tome kako je stroj izveden, kod CO₂ lasera koristi se mješavina plinova helij-neon, kripton i ugljični dioksid (CO₂).

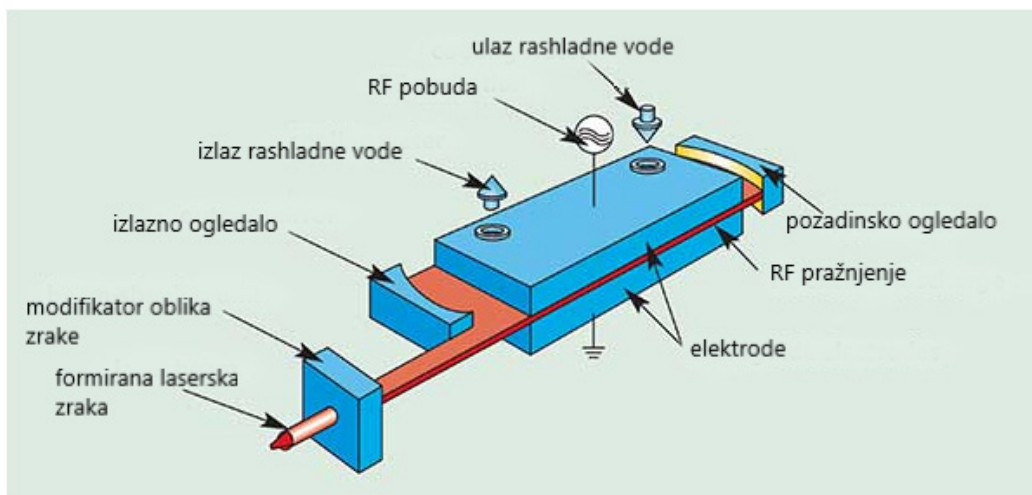
2.3. Optički rezonator

Optički rezonator izveden je sa 2 paralelna ogledala premazana specijalnim zaštitnim slojem. Ogledala su pozicionirana oko laserskog medija, i održavaju emitiranje svjetla.

Jedno ogledalo održava veliki stupanj refleksije dok drugo održava djelomični stupanj refleksije, te ga još nazivamo i izlaznim ogledalom (reflektorom). Na ovaj način jedan dio svjetlosti može se nekoliko puta reflektirati kroz rezonator i prilikom prolaska kroz aktivnu smjesu plinova (laserski medij) formira se laserska zraka.

Unutar rezonatora nalaze se još i ostale komponente kao što su: modulatori, filteri, dodatna rotirajuća ogledala i apsorberi. Hlađenje je izvedeno destiliranom vodom koja putuje kroz kanale i hladi rezonator od prekomjernog zagrijavanja.

Optički rezonator, najbitniji je dio laserskih rezača jer se u njemu događa proces dobivanja zrake, i razlike između najnovijih modela strojeva i onih malo starijih nalaze se upravo u ovoj komponenti koja se kontinuirano razvija i unapređuje.



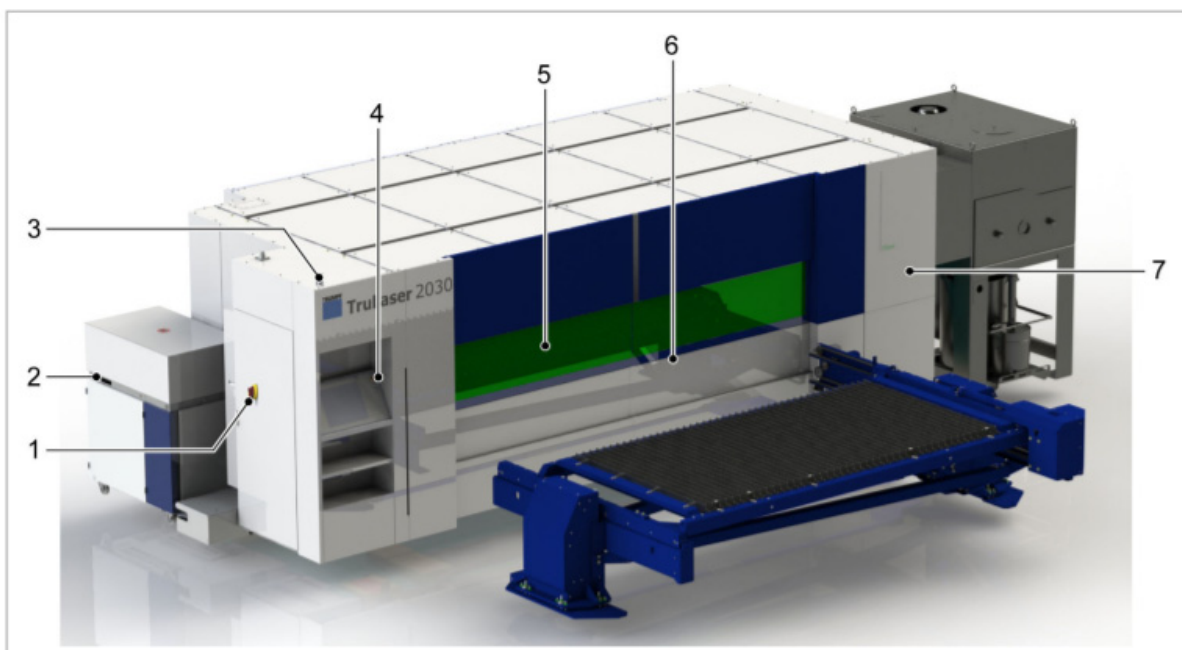
Slika 5. Pojednostavljeni prikaz rezonatora [3]

Prilikom korištenja CO₂ laserskih rezača, najbitnije je da se koriste za rezanje metala za koje su i predviđeni (čelik, aluminij i nehrđajući čelik).

Najopasnija stvar koja se može dogoditi, jest ta da se na stroj stave reflektirajući materijali kao što je bakar ili mesing. Kada bi stroj započeo rezanje ovakvih materijala, došlo bi do trenutnog reflektiranja zrake nazad kroz prijenosna ogledala u rezonator. Prilikom te situacije, doći će do uništenja ogledala i vrlo lako mogućeg uništenja kompletnog rezonatora, a moguć je i požar. Za rezanje reflektirajućih materijala koriste se fiber laseri s optičkom tehnologijom, kod kojih se ovaj događaj neće dogoditi radi drugačijeg principa rada.

3. Princip rada i primjena CO₂ lasera

Laserski rezači bazirani na CO₂ tehnologiji sastoje se od glavnog dijela stroja gdje se nalazi glava za rezanje, radnog stola koji se nalazi na vodilicama i prima ploče za rezanje. Radno mjesto operatera stroja nalazi se na prednjoj strani stroja, i njegov zadatak je učitavanje programa za rezanje, stavljanje i skidanje novih ploča koje će stroj obraditi, i dnevno ili tjedno čišćenje stroja nakon odrađene smjene.



Slika 6. Izgled CO₂ laserskog rezača [4]

Dijelovi stroja:

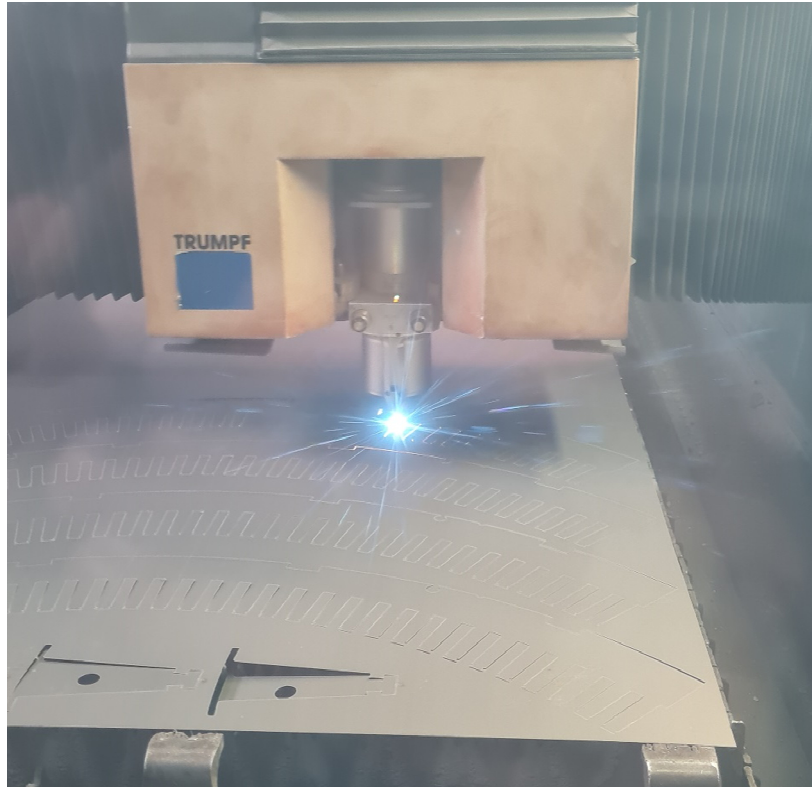
1. glavna sklopka
2. Sigurnosno svjetlo
3. Svjetlo za oznaku rada/opasnosti
4. Radno mjesto operatera
5. Sigurnosni prozor
6. Glavna vrata
7. Kabina sa potrošnim dijelovima
8. Radni stol



Slika 7. Radni stol sa obrađenim materijalom

Prilikom rada, materijal koji režemo u obliku ploče maksimalnih dimenzija 1500x3000 mm stavlja se na radni stol stroja. Operater se udaljava od stola kako bi izašao iz radne zone i kako bi stroj mogao započeti s radom. Program rezanja učitava se iz specijalnog softverskog programa koji je izrađen od strane proizvođača stroja i rezanje materijala započinje prema podešenim parametrima. Svaki materijal zahtjeva zasebne parametre rezanja, na koje operater mora pripaziti. Često se prvo radi probno rezanje, kako bi se moglo prekontrolirati dali je na materijalu nastao srh i dali je kvaliteta reza zadovoljavajuća, ovo je posebno izraženo kod aluminijskih legura.

Cijelo vrijeme prilikom rada stroja, preporuka proizvođača je da operater bude uz stroj da se može zaustaviti rezanje ukoliko glava lasera dođe u doticaj s izrađevinom na ploči, jer se poneke pozicije mogu zaokrenuti tokom rezanja i predstavljaju opasnost za sudar sa glavom, koja putuje na visini od 20-30 mm.



Slika 8. Laserska glava prilikom rada

Softverski program stroja nudi različite postavke i podešavanja ovisno o tome dali se radi o aluminiju, čeliku ili nehrđajućem čeliku, brzinu rezanja možemo podešavati i ubrzati stroj ukoliko nam nije potrebna visoka kvaliteta reza. Što je brže rezanje, zraka će brže prolaziti kroz materijal i moguća je pojava srha po obodu izrađevina, a što je rezanje sporije, izrađevina će biti kvalitetnija. Prilikom podešavanja postavki, izrezuje se nekoliko uzoraka sa različitim brzinama rezanja i odabire se onaj uzorak kod kojeg smo postigli optimalnu kvalitetu reza uz što manje potrošenog vremena. Program stroja točno će izračunati koliko je vremena zraka bila upaljena za pojedinu poziciju, kolika snaga rezanja je korištena, i koliko je ukupno sati rada potrošeno od stavljanja ploče na stroj.

3.1. Minimalni tehnički uvjeti za puštanje stroja u rad

Prije isporuke i postavljanja stroja, tvrtka TRUMPF kao proizvođač stroja zahtjeva određene uvjete, kako bi stroj mogao pravilno funkcionirati. Ukoliko se ti uvjeti ne ispune, garancija za stroj neće moći biti u cijelosti ispunjena, te će se ovisno o ne izvedenim koracima skratiti sa prvotno zamišljenih 24 mjeseca.

3.1.1. Zahtjevi za podlogu [5]

Najbitniji koraci u projektiranju mjesta za rad stroja su slijedeći: podloga mora biti izvedena u ravnini sa dozvoljenim odstupanjem do 12 mm, mora biti osiguran minimalni razmak 1,5 metara između stroja i okolnih objekata, strujni priključak mora biti izveden sukladno maksimalnoj potrebnoj snazi stroja, mora biti osiguran priključak za ventilaciju i hlađenje stroja i da se temperatura prostorije ne kreće izvan granica od +10° do maksimalnih +40° stupnjeva Celzijevih.

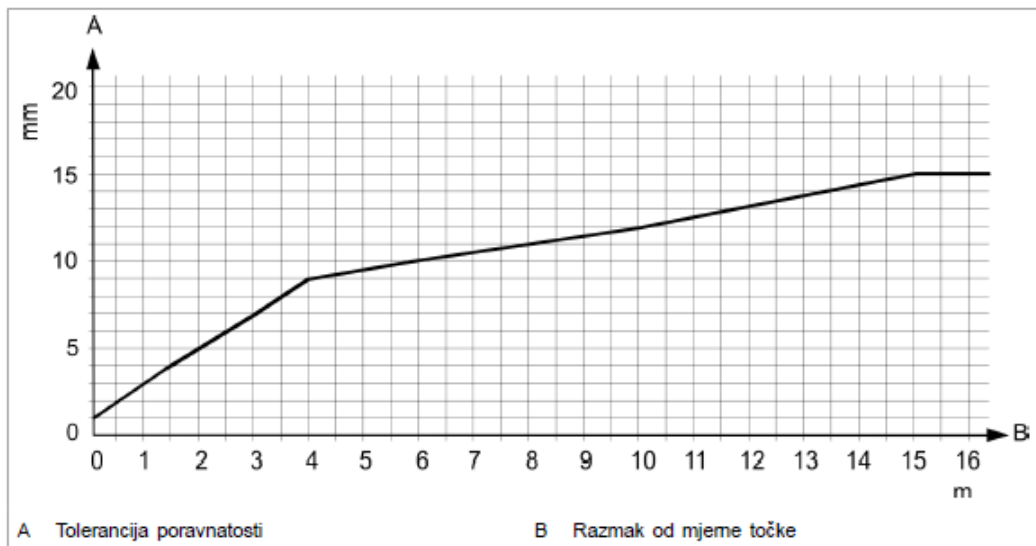
Površina

Ravnost Pod na kojem se nalazi postrojenje mora biti ravan.

Dopušteno odstupanje od ravnosti (tolerancija ravnosti):

- Područje površine postavljanja: maks. 12 mm (1/2 in) na 10 m (33 ft).
- Područje točaka opterećenja (klinasta stope, odn. elementi zračnih opruga): maks. 2 mm (0.08 in) po 0.5 m (1.64 ft).

Iz sljedećeg dijagrama moguće je utvrditi tolerancije ravnosti za različite razmake mjerne točke.



Tolerancija poravnatosti u ovisnosti o razmaku od mjerne točke

Fig. 65278

Razmak mjerne točke u m (ft)	Tolerancija ravnosti u mm (in)	Područje
0.5 (1.64)	2 (0.08)	Točke opterećenja (npr. klinaste stope).
10 (33)	12 (1/2)	Područje površine postavljanja.

Primjeri

Tab. 2-3

Slika 9. Kriteriji površine za montažu stroja [5]

Kvaliteta poda

Uputa

Pod ne smije propuštati ulje.

Podna ploča s elastičnom podlogom

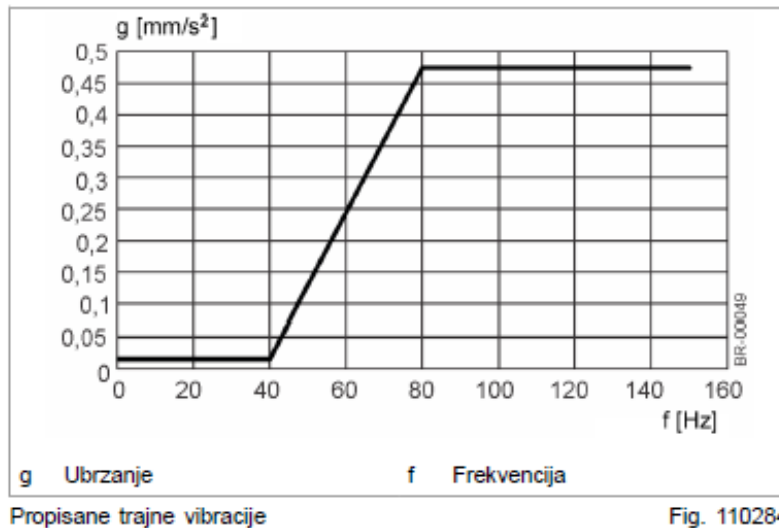
- Armiranje betonskim čelikom sa sljedećim svojstvima:
 - karakteristično dimenzionirana vrijednost: $f_y \geq 435 \text{ N/mm}^2$.
 - modul elastičnosti: $E_s \geq 200\,000 \text{ N/mm}^2$.
 - gornjim križnim amiranjem od po $3.7 \text{ cm}^2/\text{m}$.
 - donjim križnim amiranjem od po $3.7 \text{ cm}^2/\text{m}$.
 - US specification: 2 layers of #5 rebar, spaced 12 in on center, on both the top and bottom faces and oriented in both the longitudinal and transverse directions.
- Elastično smještanje podne ploče na podlogu s minimalnim modulom reakcije podloge $k_s \geq 5 \text{ MN/m}^3$ (lesna glina).

Uputa

Ako se ne ispune ti zahtjevi ili ako se koristi tehnička oprema za skladištenje, statičar načelno mora izvršiti izračun.

Slika 10. Zahtjevi za minimalnu čvrstoću podloge [5]

Isto tako, uz uvjet da je podloga adekvatno izvedena od armiranog betona, treba obratiti pozornost, da li se u blizini stroja nalaze uređaji koji bi mogli prouzročiti titrajna opterećenja. Takva titrajna opterećenja mogu uzrokovati pad kvalitete reza, odnosno neravan rez prilikom rada stroja. TRUMPF preporučuje ugradnju specijalnih prigušnika vibracija ukoliko okolina stroja ne zadovoljava standard prema DIN EN 60721-3-3, klase 3M3.



Slika 11. Tablica maksimalnih dozvoljenih vibracija [5]

3.1.2. Klimatski zahtjevi u proizvodnom pogonu

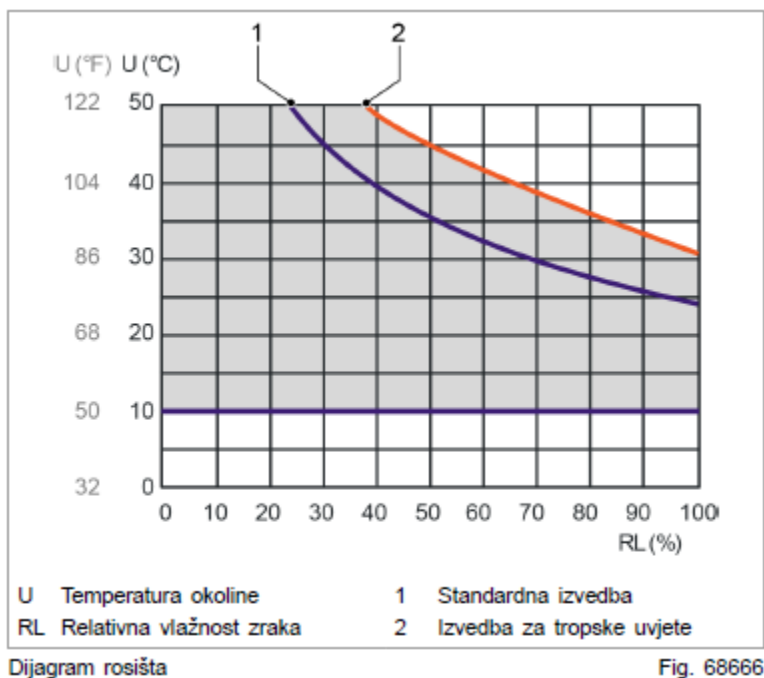
Minimalni klimatski uvjeti u proizvodnom pogonu predviđenom za instalaciju stroja moraju biti stabilni sa jednoličnom temperaturom, i vlagom. Također, mora se voditi računa o ventilaciji prostora. Valja izbjegavati jednostrano, izravno sunčevo zračenje i jednostrani propuh (u slučaju postavljanja stroja blizu prozora).

Kako bi se izbjeglo stvaranje kondenzata, neophodno je da se uvjeti okoline nalaze unutar određenih graničnih vrijednosti. Pri radu s laserskim uređajem vrijednosti se moraju nalaziti unutar sive površine dijagrama točke rosišta.

Što su uvjeti okoline bliži graničnim vrijednostima dijagrama, to vrijeme pripreme odvlaživača zraka može biti dulje.

Za temperature okoline od +40°C do +45°C dostupna je izvedba stroja za tropske uvjete. Hlađenje upravljačke jedinice vrši se u zatvorenom rasklopnom ormaru preko zasebnog

kruga za hlađenje stroja, time je većinskim dijelom osigurana zaštita sastavnih dijelova od prašine.



Slika 12. Dijagram rosišta [5]

3.1.3. Zahtjevi za odvod odlaznog zraka

Odvod odlaznog zraka otprašivača mora se izvesti u skladu sa prašinama sadržanima u njemu. Ovo najviše ovisi o materijalima koji se u datom trenutku na stroju obrađuju i režu.

U slučaju laserske obrade plemenitog čelika i materijala kod kojih mogu nastati tvari štetne po zdravlje kao što je lebdeća prašina, odlazni zrak valja odvesti na otvoreno.

U slučaju laserske obrade građevinskog čelika ili aluminija, pročišćeni zrak kompaktnog otprašivača smije se vratiti u zrak u prostoriji. Otprašivač ima ugrađene filtere koji mogu odstraniti minimalno 95% štetnih čestica lebdeće prašine, ovaj filter potrebno je zamijeniti prilikom svakog servisa stroja.

Odvođenje odlaznog zraka mora se izvesti na slijedeći način:

- Maksimalna dva cijevna koljena od 90° (polumjer = promjer x 1.5)
- Maksimalna duljina cijevi 10 m.
- Prijelazni komad na kompaktnom otprašivaču: TRUMPF br.0382628
- Promjer cijevi 315 mm.



Slika 13. Kompaktni otprašivač sa kantom za pohranu prašine

3.1.4. Zahtjevi za postavu rashladnog agregata [5]

Kako standardni rashladni agregat nije namijenjen za postavljanje vani i ako nema druge mogućnosti za postavu agregata unutar pogona, mora se odabrati specijalan agregat koji je primjeren za vanjsku primjenu i koji sadrži grijače za rashladno sredstvo.

Prilikom vanjskog postavljanja bitno je slijedeće:

- Rashladni agregati za vanjsko postavljanje posjeduju glavnu sklopku i potreban im je zaseban priključak na strujnu mrežu
- Rashladni agregat posjeduje grijač spremnika
- Pri okolnoj temperaturi nižoj od 0°C glavna sklopka ne smije se isključiti kako bi grijač spremnika mogao neometano raditi
- Pri temperaturama nižim od 6°C rashladna voda treba sadržavati dodatak etilen-glikola čiji se udio mora redovno provjeriti prilikom godišnjeg servisa.
- Površina za montažu rashladnog agregata mora biti izvedena tako da ne upija ispušteno ulje ili rashladno sredstvo
- Za rashladni agregat neophodna je nadstrešnica za zaštitu od vanjskih uvjeta
- Slobodan prostor iznad rashladnog agregata i stropa hale mora iznositi minimalno 1500 mm kako bi se osigurala neometana cirkulacija odlaznog toplotnog zraka iz agregata.



Slika 14. Izgled rashladnog agregata

3.1.5. Zahtjevi za kvalitetu plinova za rezanje

Prilikom rezanja metalnih ploča, laser koristi mješavinu plinova u omjerima koji ponajprije ovise o materijalu koji se reže. Smjesa plinova stvara optimalnu zaštitnu atmosferu prilikom rezanja, a i koristi se za sam proces dobivanja zrake u rezonatoru CO₂ lasera. Plinovi koji se koriste su: kisik(O₂), dušik(N₂) i argon(Ar).

Da bi se postigao optimalan rezultat reza, i maksimalna stabilnost zrake, TRUMPF preporučuje uporabu dušika stupnja čistoće 5.0

Tablica 1. Zahtjevi za čistoću plinova [5]

Rezni plin	Čistoća	
Kisik (O ₂)	3.5	99.95 vol. %
Dušik (N ₂)	5.0 (vidi "Uporaba dušika niska stupnja čistoće")	99.999 vol. % (vidi "Uporaba dušika niska stupnja čistoće")
Argon (Ar)	4.6	99.996 vol. %
Komprimirani zrak (opcija)	-	(vidi "Opskrba komprimiranim zrakom", str. 2-30)
Za sve plinove vrijedi:	≤100 čestica (za čestice ≤0.3 μm, odnosi se na 2.83 l ± 0.1 ft ³)	

Plinovi za rezanje: čistoća

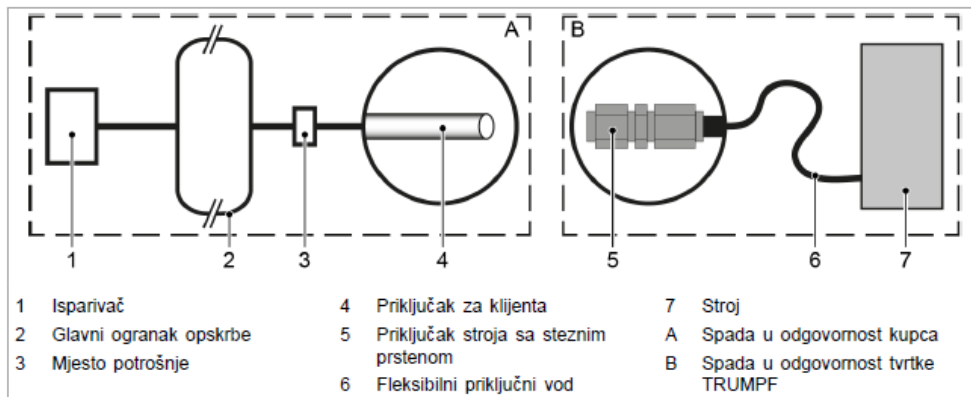
Tab. 2-7

Ukoliko koristimo dušik nižeg stupnja čistoće, npr. 4.0 mogu se dogoditi smetnje u kvaliteti rezanja, kao što je promjena boje metala koji je bio obrađivan i sama stabilnost procesa.

Važno je napomenuti da se sama instalacija dovodnih cijevi za navedene plinove mora izvesti stručno sa odgovarajućim materijalima (bakar ili inox) i ispiranjem cijevi prije prve upotrebe.

Komprimirani zrak mora biti odmašćen, bez kondenzata i bez prašine. Maksimalna dozvoljena zauljenost zraka mora biti ispod <0.1 mg/m³ ulja. Obavezno je korištenje pripremne grupe sa filterom za zrak sa sposobnošću filtracije od 15 do 30 mikrona.

Tablica 2. Dopuštene dimenzije cijevi za opskrbu plinovima [5]



Opskrba plinom

Fig. 75434

Odjeljak voda	Dimenzije cijevi	Nazivni promjer u mm
Kod instalacije spremnika: Glavni ogranak opskrbe (2) od isparivača (npr. kao prstenasti vod)	1" odn. 28 x 1.5	25
Od glavnog ogranka prstena (2) do mjesta potrošnje (3)	3/4" odn. 22 x 1.0	20
Od mjesta potrošnje (3) do priključka za kupca (4)	N ₂ : 3/4" odn. 22 x 1.0 O ₂ : 1/2" odn. 15 x 1.0	20 13

Zahtjevi za opskrbu plinom na strani kupca

Tab. 2-11

Priključak za kupca (4)	Dimenzije cijevi	Minimalna duljina u mm
Vod za dušik: Cijevni komad od bakra (Priključak na vijčani spoj sa steznim prstenom na strani stroja)	1/2" odn. 12 x 1.0	40
Vod za kisik: Cijevni komad od bakra (Priključak na vijčani spoj sa steznim prstenom na strani stroja)	3/8" odn. 8 x 1.0	40

Zahtjevi za priključak za kupca

Tab. 2-12

Prilikom same instalacije cijevi za plinove, izvođač radova ne smije koristiti ulje ili masti prilikom rezanja, a spojeve treba izvesti inertnim lemljenjem jednostavnim formir plinom.

Ne smiju se koristiti sredstva za brtvljenje poput tekućeg teflona, brtvenih sprejeva, maziva, paste za podmazivanje i konoplje

Cijevi od plemenitog čelika su dopuštene, ali nisu preporuka proizvođača.

Tablica 3. Zahtjevi za komprimirani zrak [5]

Neophodni mrežni tlak (minimalni tlak=protočni, maksimalni tlak=statični)	min. 6 bar (87 psi) ⁶ maks. 12 bar (174 psi)
Prosječna potrošnja (neophodni volumni protok sukladno normi ISO 1217):	oko 5 m ³ /h (3 cfm)
Prosječna povećana potrošnja prilikom rezanja komprimiranim zrakom (opcija)	oko 35 m ³ /h (20.6 cfm)
Prosječna povećana potrošnja s automatizacijom (opcija)	Vidi uvjete postavljanja komponenti za automatizaciju

Priključne vrijednosti i vrijednosti potrošnje

Tab. 2-18

3.1.6. Zahtjevi za električni priključak

Opskrba strujom vrši se po standardu DIN EN 60204-1/4.3.1.[5]

Stručni električar na licu mjesta utvrđuje potrebni presjek električnog kabela uz uvjet da kabel ne bude većeg presjeka od 185mm².

Koristi se bakreni vod s najmanje četiri žile: L1, L2, L3, PE, izvedba prema IEC 60364-4-43. Poprečni presjek voda mora odgovarati 125 % nazivne struje, i vod mora biti dimenzioniran za maksimalnu dozvoljenu temperaturu do +90 °C.

Napon mora biti stabilan jer nedopuštene oscilacije ugrožavaju rad stroja i smanjuju njegovu snagu. Potrebna je uređaj za održavanje konstantnog napona.

Potrebna priključna snaga stroja i propisi za osigurače dani su u tablici zahtjeva za električni priključak ispod.

Tablica 4. Zahtjevi za električni priključak [5]

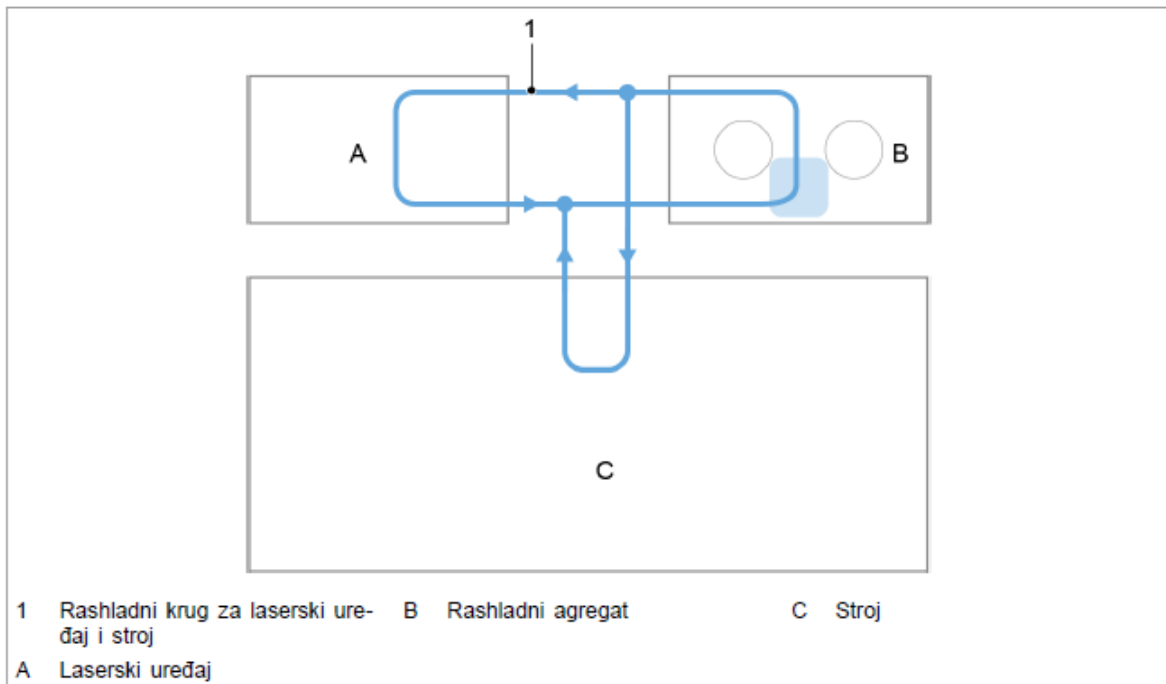
Priključna snaga stroja, uklj. laser, rashladni agregat i automatizaciju (prividna potrošnja električne struje)	35 kVA
Zaštita osiguračima (IEC) <ul style="list-style-type: none"> ▪ pri 400 V ▪ gL/gG (tip osigurača) 	63 A
Zaštita osiguračima (NEC) <ul style="list-style-type: none"> ▪ pri 460 V ▪ RK1/Class J (tip osigurača) 	60 A
Priključna snaga stroj s laserom, bez rashladnog agregata (prividna potrošnja električne struje)	29 kVA
Zaštita osiguračima (IEC) <ul style="list-style-type: none"> ▪ pri 400 V ▪ gL/gG (tip osigurača) 	63 A
Zaštita osiguračima (NEC) <ul style="list-style-type: none"> ▪ pri 460 V ▪ RK1/Class J (tip osigurača) 	60 A

3.1.7. Zahtjevi za hlađenje stroja – rashladna voda

Prilikom rada laserskog rezača i stvaranja laserske zrake, u rezonatoru stroja dolazi do velikog zagrijavanja. Kako bi temperature ostale u normalnim granicama, u stroj je ugrađeno vodeno hlađenje, koje je provedeno prema shemi na slici.

Iznimno je bitno da se koristi demineralizirana voda, sa maksimalnim dopuštenim sadržajem karbonata do 100 mg/L. [5]

Također voda mora imati određenu maksimalnu dopuštenu vodljivost, kako ne bi poremetila rad rezonatora i sami proces stvaranja laserske zrake.



Slika 15. Rashladni krug stroja [4]

Tablica 5. Zahtjevi za rashladni sustav stroja [4]

Rashladna voda	Svojstva
	Dorađena DI voda u pogonu
Vodljivost	20 - 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (maks. 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
Održavanje	Godišnje, 1 – 2 h čišćenja biocidom

Zahtjevi za rashladni krug u pogonu

Tab. 2-32

Prilikom godišnjeg servisa, cijeli rashladni krug stroja se temeljito prazni i puni sa specijalnim biocidom, pomoću kojeg se polako ispire rashladni krug stroja u vremenu od 1 do 2 sata. Ukoliko se ovaj korak prilikom servisa preskoči, došlo bi do stvaranja algi koje bi sa vremenom mogle potpuno zaustaviti tok vode i uzrokovati pregrijavanje rezonatora, a u tom slučaju je moguća opasnost i od iznenadnog požara.

4. Opasnosti pri radu s laserskim rezačima metala

U industriji obrade metala, svaki uređaj ili alat za rad predstavlja potencijalnu opasnost za radnika. Opasnost je veća ukoliko se zaštitna sredstva za rad ne koriste u skladu sa Pravilnikom o uporabi osobnih zaštitnih sredstava i Zakonom o zaštiti na radu i ukoliko ih koriste osobe koja nisu stručno osposobljena za rad sa njima.

Ove opasnosti su utoliko veće ako se radi o materijalima ili dijelovima koji imaju šiljaste ili oštre dijelove ili krajeve, kao npr.: limovi, šipkasti materijali, glodači, razne vrste noževa za mašine, alatke i razni drugi materijali i alati. Opasna mjesta odnosno prostorima na oruđu smatraju se mjesta i prostori na kojima zbog opasnih gibanja mogu nastati prignječenja, uklještenja, zahvaćanja, rezovi, posjekotine, udarci ili udari od električne energije te štetna djelovanja opasnih tvari.

4.1. Poslovi s posebnim uvjetima rada [6]

Poslovi s posebnim uvjetima rada su poslovi koji se obavljaju u ekstremnim radnim uvjetima ili pak podrazumijevaju izraziti stupanj moguće ugroženosti zdravlja radnika i osoba u njihovom radnom okolišu, pa dakle nameću i posebnu odgovornost za rad na siguran način. Da bi se radno mjesto svrstalo u ovu kategoriju, razina i/ ili opasnosti/štetnosti mora biti takva da se nikakvim do sada poznatim mjerama osobne zaštite i zaštite na radu profesionalnu izloženost u redovnim radnim uvjetima ne uspijeva svesti na razinu koja ne bi bila potencijalno opasna za zdravlje. Pravilnikom o poslovima s posebnim uvjetima rada propisani su poslovi s posebnim uvjetima rada i posebni uvjeti koje moraju ispunjavati radnici za obavljanje tih poslova te rokovi za ponovnu provjeru zdravstvenog stanja i psihičke sposobnosti.

Poslovi s posebnim uvjetima rada:

1. rukovanje i upravljanje strojevima i uređajima na mehanizirani pogon na kojima se ne može primijeniti zaštita od mehaničkih opasnosti i
2. rukovanje i upravljanje samohodnim strojevima na mehanizirani pogon.

Ovakve poslove mogu obavljati samo osobe koje osim općih uvjeta za zasnivanje radnog odnosa ispunjavaju i posebne uvjete - kad je riječ o životnoj dobi, spolu, stručnim sposobnostima, zdravstvenom, tjelesnom i psihičkom stanju te psihofiziološkim i psihičkim sposobnostima. Pregledi kojima se utvrđuje sposobnost za obavljanje poslova s posebnim uvjetima rada dijele se na prethodne preglede (prije zapošljavanja) i periodične preglede koji se obavljaju u zakonom propisanim rokovima.

Poslodavac je obvezan provesti osposobljavanje za rad na siguran način.

Moguća oštećenja zdravlja su višestruke površinske i unutarnje teške ozljede kako radnika koji upravlja tim strojem tako i drugih radnika koji se nalaze u radnom okruženju. Kontraindikacije za ove poslove su: psihoze, epilepsija, bolesti sa sklonošću nesvjestici, alkoholizam i druge ovisnosti, kronične bolesti dišnog sustava sa znacima respiratorne insuficijencije, teže reumatske bolesti, neuropatije, teži oblici neuroze te izrazita agresivnost. Na radnim mjestima razni strojevi i uređaji obavljaju razne operacije, osvjetljavaju, griju te rashlađuju prostorije u kojima se radi. Primjena tih sredstava kojima se ljudi svaki dan služe, pa i ona najsuvremenija često su izvor znatnih ozljeda i zdravstvenih oštećenja.

Pri rukovanju strojevima često se javljaju opasnosti od mehaničkih ozljeda. Tako se, na primjer, ozljede javljaju pri rukovanju (ili gibanjem u njihovoj neposrednoj blizini), oštrim i šiljastim predmetima, rotirajućim predmetima, na mjestima uklještenja, u blizini predmeta koji se gibaju pravocrtno i slično.

4.2. Zaštita operatera

Rukovanje bilo kojim strojem pa tako i CNC laserskim rezačem može biti opasno za operatera koji nadgleda određeni obradni proces. Proizvođači CNC strojeva nastoje minimizirati rizike opasnosti raznim konstrukcijskim rješenjima samog stroja ili dodatnim nadogradnjama u blizini stroja (razne pregrade, laserske zrake, kabine...).

Kod obrade lasera u zatvorenom prostoru, operater je fizički odvojen za vrijeme rada stroja, obično kliznim vratima s velikim prozorom. Time je operateru zajamčena potpuna sigurnost. Zatvoreni prostor bitno smanjuje količinu prašine oko stroja čime se smanjuje razina buke.

Stroj je opremljen svjetlosnom zrakom koja se prostire oko radnog stola i uključuje se prilikom početka rezanja. Ukoliko se ta zraka prekine, stroj automatski zaustavlja svoj rad.

4.3. Procjena rizika [7]

Procjena rizika je postupak kojim se utvrđuje razina opasnosti, štetnosti i napora u smislu nastanka ozljede na radu, profesionalne bolesti, bolesti u vezi s radom i poremećaja u procesu rada koji bi mogao izazvati štetne posljedice za sigurnost i zdravlje radnika. Procjenu rizika treba napraviti za svako radno mjesto zato što je ona temeljni dokument za provedbu mjera u cilju zaštite zdravlja i sigurnosti na radu radnika.

Tijekom procjenjivanja rizika kod laserskih rezača potrebno je:

- prepoznati sve opasnosti i opasne situacije koje se mogu dogoditi pri radu s laserskim strojevima
- prepoznati sve osobe koje mogu biti izložene utvrđenim opasnostima
- prepoznati vrstu i težinu mogućih oštećenja zdravlja i učestalost izloženosti
- procijeniti razinu rizika - istražiti mogućnost za uklanjanje ili smanjenje razine rizika

- odrediti postupke po prioritetima i odlučiti o mjerama za uklanjanje ili smanjenje rizika
- dokumentirati procjenu rizika.

Procjena rizika čuva se u pisanom i elektroničkom obliku i mora biti dostupna radniku na mjestu rada. Procjenu rizika može izraditi sam poslodavac ili ju može dati izraditi kod ovlaštene osobe. U izradi sudjeluje osoba koja ju izrađuje (sam poslodavac ili ovlaštena osoba) i radnici ili njihov predstavnik (povjerenik radnika).

4.4. Obavezna osobna zaštitna oprema prilikom rukovanja laserima

Osobna zaštitna sredstva su sredstva koja radnik nosi, drži ili na bilo koji drugi način upotrebljava pri radu, tako da ga štite od jednog ili više rizika vezano za njegovu sigurnost i zdravlje. U osobna zaštitna sredstva spada također i svako pomagalo ili dodatak, koji se upotrebljava za postizanje što veće sigurnosti radnika.

Prilikom rukovanja laserima, proizvođač preporučuje određenu zaštitnu opremu, koja se onda još dopunjuje sukladno ostalim uvjetima u pogonu.

Preporučena zaštitna oprema prema proizvođaču lasera je:

- Kožne zaštitne rukavice
- Zaštitne naočale (preporuka prilikom redovnog čišćenja unutrašnjosti stroja)
- Sredstva za zaštitu uši (prema potrebi)
- Cipele sa zaštitnom kapicom za prste

4.5. Opasnosti od zračenja laserske zrake

CO₂ laser proizvodi za čovjeka nevidljivo svjetlo (elektromagnetno zračenje) s visokom energijom. Ugrožavanje čovjeka može nastati direktno ali čak i refleksijom laserskog zračenja. Svjetlo može prouzročiti termičku štetu (opekline, uništenje tkiva).

Dužina laserske valne zrake iznosi 10.6 μm i spada u klasu lasera 4.

Prilikom podešavanja zrake ili radova na rezonatoru, osoblje mora biti opremljeno zaštitnim naočalama za zaštitu oči koje udovoljavaju standardu EN 60825-1 [4]

Prilikom normalnog rada stroja, zraka putuje svjetlosnim tunelima preko zrcala i ne može pobjeći izvan tog prostora, dokle god se stroj koristi u normalnim uvjetima za koje je i namijenjen. Na kućištu stroja nalazi se naljepnica koja upozorava na opreznost od zračenja laserske zrake (slika 16.).



Slika 16: oznaka opasnosti laserske zrake [6]

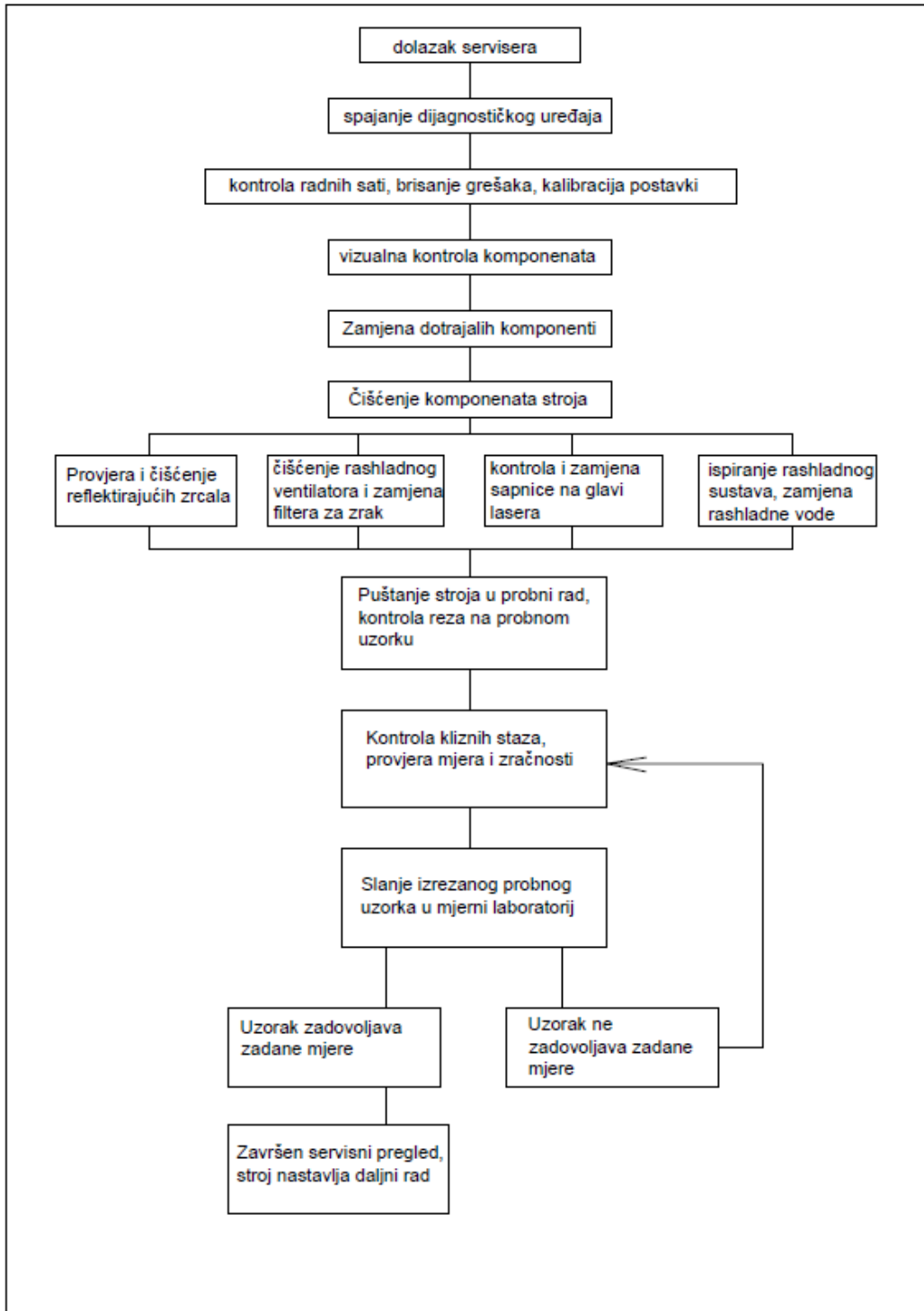
5. Eksperimentalni dio - prikaz procesa redovnog održavanja CO₂ lasera

Redovni godišnji servis laserskog rezača izvršava se nakon odrađenih 2000 radnih sati ili vremenskog perioda od godine dana. Zahvat obavljamo kada jedan od ova dva uvjeta prvi dođe. Osim redovnog godišnjeg servisa, kroz ostatak godine rade se manji periodički zahvati na stroju, prema uputama za održavanje u servisnom priručniku.

Takvi mali zahvati su najčešće čišćenje i kontrola pokretnih dijelova, koji se potom podmazuju i čišćenje, odnosno ispuhivanje filterskih elemenata. Jedan od bitnijih koraka u korištenju ovakvih strojeva je redovno pražnjenje posude u kompaktnom otprašivaču (barem jednom tjedno). Ukoliko operater zanemari ovaj korak, može doći do potencijalne eksplozije ili požara u zajedničkom reagiranju aluminijske i čelične prašine. Zato operater mora nakon svakog rezanja aluminijske ili čelične prašine, paziti da ne dođe do miješanja ovih dviju prašina zajedno.

Prilikom isporuke ovakvih strojeva, proizvođač isporučuje detaljnu dokumentaciju za održavanje i dijagrame odnosno shematske prikaze elektroinstalacija u stroju. Uz ovu dokumentaciju, stroj posjeduje i elektronsku evidenciju servisa, gdje se pohranjuju zahvati i radni sati, te također i greške iz prošlosti koje je stroj zabilježio prilikom eksploatacije. Uz ovakvu elektronsku knjigu, gotovo je nemoguće zaboraviti na redovan godišnji servis, jer stroj sam izdaje upozorenje kada vrijeme za isti dođe.

Redovni servisni zahvat izvršava se po slijedećem redoslijedu operacija:

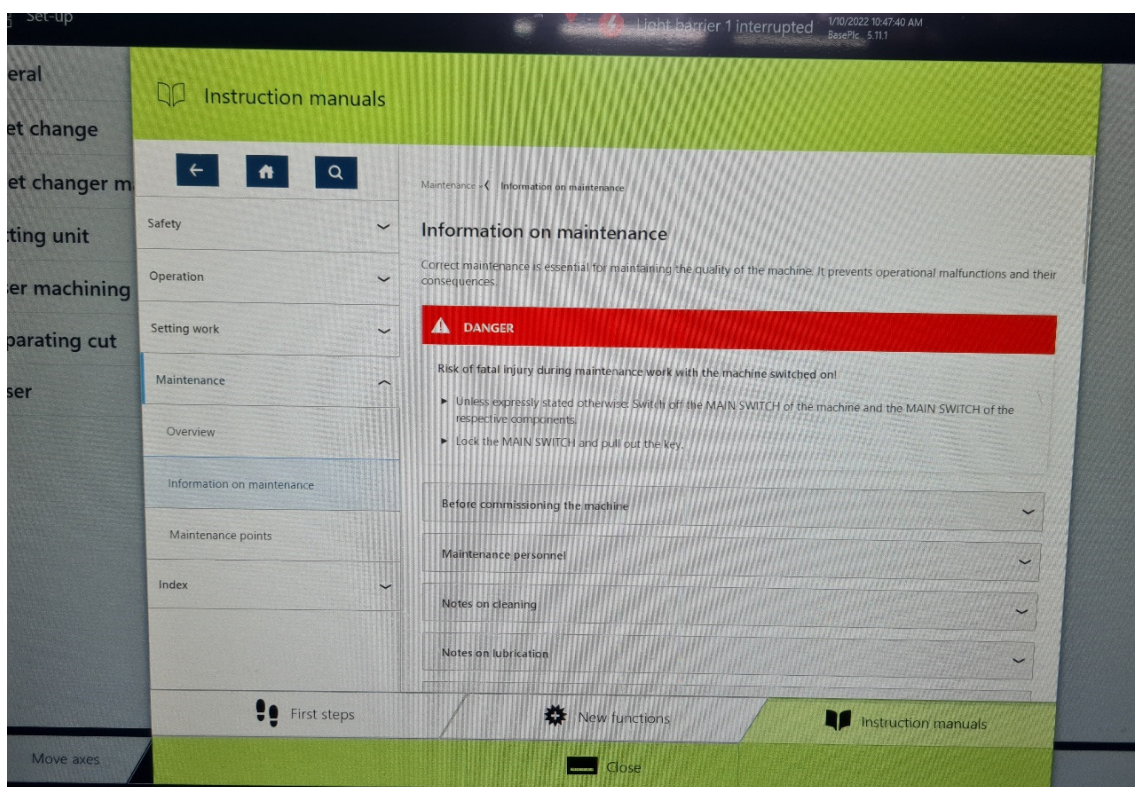


Slika 17. Dijagram toka redovnog servisnog zahvata laserskog rezača

5.1. Početak servisnog zahvata - spajanje dijagnostičkog uređaja

Redovan godišnji servisni zahvat započinje pozivom tvrtke ovlaštene za servisiranje ovakvih strojeva na području Republike Hrvatske. Ovlaštena tvrtka Mastroj, zatim šalje svojeg servisera iz Slovenije prema dogovorenom terminu sa naručiocem zahvata. Vrlo je bitno isplanirati 8 slobodnih sati u proizvodnom pogonu, kada će stroj biti na raspolaganju dok se izvršava zahvat.

Serviser svoj prvi korak održavanja započinje spajanjem dijagnostike na stroj (prikaz na slici 18.).



Slika 18. Sučelje dijagnostičkog uređaja

Vrši se kontrola radnih sati, provjerava se tlak plinova u rezonatoru stroja, i kontrolira se kalibracija zadanih postavki: kolika je podešena dozvoljena snaga rezanja, i brzina pomicanja laserske glave.

5.2. Vizualna kontrola komponenata

Ukoliko serviser na dijagnostici ne otkriva neke izvanredne greške, nastavlja dalje svoj zahvat po redovnom napatku i započinje vizualnu kontrolu najbitnijih komponenti, a to su laserska glava i vertikalne te horizontalne vodilice laserske glave (slika 19.).



Slika 19. Vizualna kontrola x,y i z vodilica laserske glave

Kontrola se vrši i na upravljačkoj jedinici stroja, ovdje se mogu kontrolirati parametri rezanja u realnom vremenu dok stroj radi. Serviser ispituje da li su sve tipke u funkciji i da li zaslon prikazuje ispravne podatke, sve navedeno provjerava preko svog dijagnostičkog uređaja.



Slika 20. Kontrolna upravljačka jedinica

5.3. Zamjena dotrajalih komponenti

U tehničko-servisnoj dokumentaciji koja je dobivena uz stroj, nalaze se detaljno napisani potrebni zahvati vezani na odrađene radne sate stroja. Jedan dio tih zahvata operater odrađuje sam kroz godinu ovisno o odrađenim satima stroja, a drugi dio obavlja se prilikom redovnog servisa na 2000 odrađenih sati.

Tablica 6. Pregled potrebnih servisnih zahvata ovisno o radnim satima [4]

2. Pregled održavanja

Interval/ Sati pogona	Mjesto održavanja	Rad održavanja	Strana
8	Jednosmjerna posuda kompaktnog usisa	Kontrola	6-25
40	Limovi komore usisa, zaklopci, kanal usisa, pancerske ploče	Čistiti	6-23
40	Skupne posude za šljaku i prašine	Kontrola	6-24
40	Vozilo otpada	Isprazniti	6-27
40	Pritisak zraka pogonskog pritiska	Kontrola	6-29
40	Filtar komprimiranog zraka	Kontrola	6-29
40	Predfiltar opskrbe komprimiranog zraka	Kontrola	6-30
40	Predfiltar opskrbe komprimiranog zraka	Kontrola	6-30-
40	Optika leće glava rezača	Čistiti	6-49
40	Optika leće glava rezača	Čistiti	6-49
160	Izlaz čistog plina kompaktnog usisa	Kontrola	6-32
160	Aktivni ugljeni filtar 1 ¹	Kontrola	6-38
160	Aktivni ugljeni filtar 2 ¹	Kontrola	6-39
500	Pokretni dio na paleti	Podmazati	6-15
500	Četkasto podmazivanje uzdužne transportne vrpce	Kontrola stanja punjenja	6-18
500	Upravljeni razdjeljivač (komore ciklusa) komp. usisa	Kontrola	6-24
500	Ventili očišćenja (kompaktnog usisa)	Kontrola	6-26
500	Pokretne role paléta, mjeđene četke	Kontrola	6-27
500	Aktivni ugljeni filtar	Kontrola	6-31
500	Filtar glavne struje + FocusLine-vodni filtar	Kontrola	6-33
500	Filtar u Bypass kruženju rashladne vode	Kontrola	6-34
500	Filtar na adaptivnom teleskopu	Kontrola	6-35
500	Aktivni ugljeni filtar 1 ¹	Izmijeniti filterni element	6-38
500	Aktivni ugljeni filtar 2 ¹	Izmijeniti filterni element	6-39
500	Ventilator omar upravljanja	Kontrola	6-64

Interval/ Sati pogona	Mjesto održavanja	Rad održavanja	Strana
500	Sigurnosna svjetlosna barijera	Čistiti	6-65
1000	Pogon X-ose	Kontrola stanja ulja	6-11
1000	Pokretne letvice na paleti	Podmazati	6-15
1000	Lanac prijevoza palete	čistiti, podmazati + kontrolirati	6-19
1000	Zupčasti remen za mijenjanje visine (Z-osa)	Kontrola	6-21
1000	Uzdužna transportna vrpca	Kontrolirati napon	6-24
1000	Jedinica održavanja kompaktnog usisa	Provjeriti stanje kondenzacije	6-36
1000	Zakretno zrcalo	Kontrola	6-44
1000	Adaptivno teleskopsko zrcalo (bakar)	Kontrola	6-46
1000	Pomak faze	Kontrola	6-44
1000	Zakretno zrcalo i zrcalo autofokusa (FocusLine)	Kontrola	6-47
1000	Bakreno zrcalo u teleskopu zrake	Kontrola	6-54
1000	Zakretno zrcalo i pomak faze cirkularni polarizator	Kontrola	6-56
1000	Zakretno zrcalo pokretne jedinice	Kontrola	6-58
1000	Zakretno zrcalo i zrcalo autofokusa (FocusLine)	Kontrola	6-47
2000	Zupčanci X- i Y- ose	Čistiti	6-21
2000	Filterni element kompaktni usis	Kontrola	6-31
2000	Jedinica održavanja kompaktnog usisa	Kontrola	6-36
2000	Filtar ²	Izmijeniti filterni element	6-37
2000	Sitni filtari ³	Izmijeniti filterni element	6-38
2000	Vrata klime, ormar upravljanja stroja i ormar upravljanja lasera	Čistiti	6-71
5000	Pogon X-ose	Promjena ulja	6-11
5000	Filtar plina rezanja (O ₂ und N ₂)	Kontrola	6-29
5000	Predfiltar za opskrbu komprimiranog zraka	Promijeniti umetak filtra	6-30
5000	Aktivni ugljeni filtari	Promijeniti patronu filtra	6-31

Prilikom godišnjeg servisnog zahvata zamjena dotrajalih komponenti odvija se prema servisnom uputstvu, gdje se mijenjaju sve one komponente za koje je propisana zamjena nakon odrađenih 2000 radnih sati stroja, a uz te komponente mijenjaju se i one za koje servisni djelatnik utvrdi da je potrošenost istih prevelika za siguran daljnji rad.

Najčešće su uz redovne komponente (filteri, rashladna voda) mijenjaju i sapnice sa laserske glave (slika 21.), poneko tipkalo, oštećen pokrov laserske glave radi nenamjernih sudara s izrađevinom prilikom rada stroja, i zaštitna stakla na samom kućištu stroja.



Slika 21. Sapnica laserske glave

5.4. Čišćenje komponenata stroja

Idući korak prilikom održavanja ovakvih uređaja bitan je dio servisnog zahvata. Prilikom rezanja metalnih ploča, stvara se fina metalna prašina koja se sakuplja u koritu stroja. Dio te prašine će uvijek naći put i do kliznih staza stroja, koje su podmazane specijalnim uljima i mastima. Kod svakog redovnog servisnog zahvata, servisni djelatnik rastavlja pokrove vodilica i izvodi proces odmašćivanja stare masti specijalnim otapalima zatim ponovno podmazivanje istih. Ovaj korak je od velike važnosti u održavanju ovakvih strojeva, jer bilo kakav trzaj vodilica prilikom rada stroja izravno bi utjecao na lasersku glavu i narušio kvalitetu reza, a samim time i dimenzijsku točnost izrađevine.



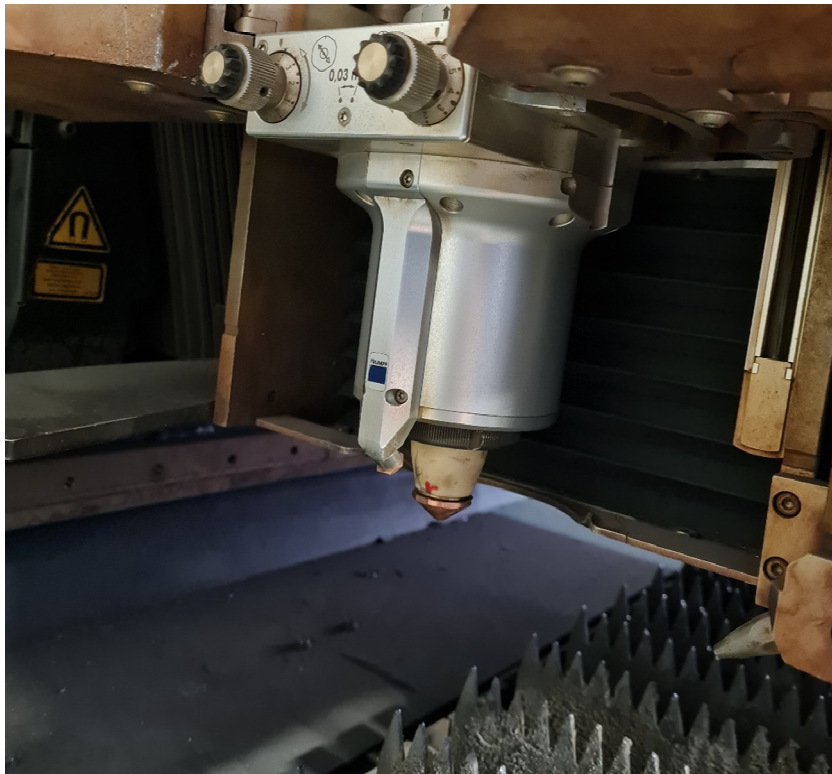
Slika 22. Čišćenje, kontrola i podmazivanje vodilica laserske glave

Pored kvalitetno održavanih vodilica, potrebno je pregledati i stanje ogledala u rezonatoru stroja. Istrošeno i zamućeno ogledalo kvari kvalitetu laserske zrake i umanjuje njen intenzitet, istovremeno utječući na lošiju efikasnost stroja.



Slika 23. Novo lasersko ogledalo prije ugradnje

Prilikom ugradnje nove sapnice, laserska glava stroja izgubi kalibraciju, te se ista mora ponovno dovesti "u nulu". Ovaj korak servisni djelatnik vrši direktno na glavi lasera s pomoću potenciometara za fino podešavanje. Ovaj korak se inače često izvodi i od strane operatera stroja, jer se dizne ponekad mijenjaju i prijevremeno, ovisno o tome kakvi su se materijali na stroju rezali.



Slika 24. Kontrola i podešavanje sapnice laserske glave

Kada je servisni djelatnik obavio kontrolu, čišćenje i zamjenu glavnih komponenata o kojima najviše ovisi kvaliteta i točnost stroja, pristupa manje zahtjevnim koracima, kao što je to: kontrola vodljivosti rashladne vode, te zamjena vode i čišćenje sustava za hlađenje rezonatora stroja.



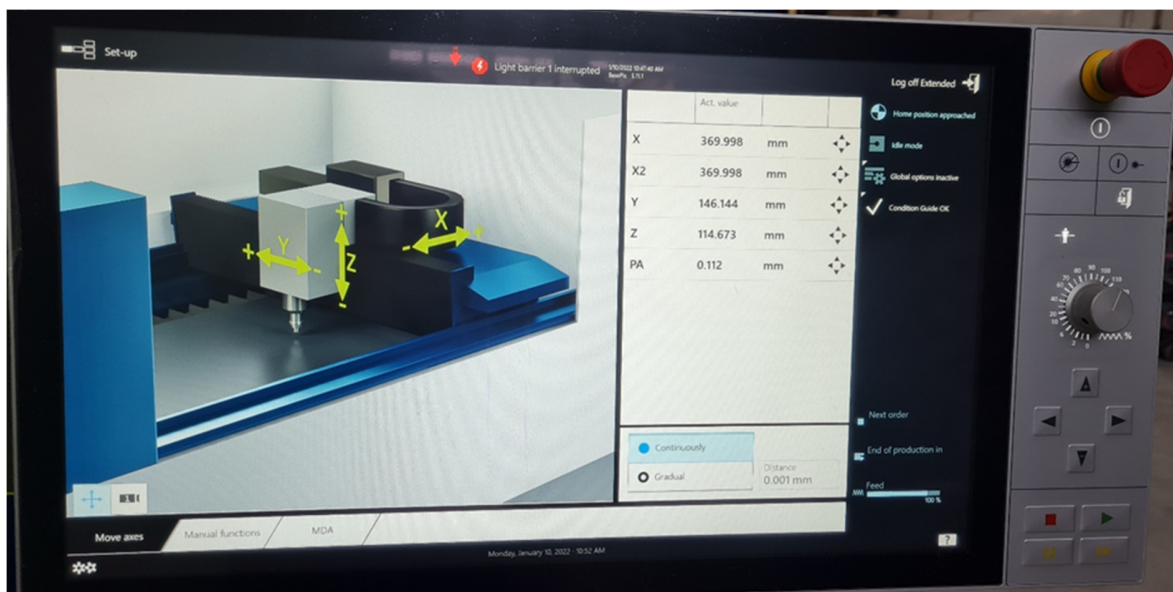
Slika 25. Izmjena vode i čišćenje rashladnog sustava rezonatora

Prilikom izmjene rashladne vode, u stroj se ulijeva specijalno biocidno sredstvo, koje čisti rashladni sustav i otklanja mogućnost razvoja algi i mikroorganizama unutar samog kruga hlađenja. Prilikom ulijevanja nove rashladne vode, koristi se demineralizirana voda sa što manjom vodljivošću i sadržajem karbonata do 100 mg/L. Ulijevanje obične vode iz vodovoda dovelo bi do taloženja kamenca unutar rezonatora i ostalih dijelova lasera i tok hlađenja bi se usporio a potencijalno i potpuno začepio te prouzročio kvar rezonatora.

5.5. Pokretanje stroja i probni rad


Pokretanje stroja nakon završenog servisnog zahvata zajedno vrše operater i servisni djelatnik. Stavlja se ploča običnog konstrukcijskog čelika i reže se probni komad za kontrolu mjera. Ukoliko su vodilice laserske glave u dobrom stanju i sam stroj je redovno servisiran, točnost mjera svake izrezane izrađevine trebale bi biti unutar 1/100 mm.

Za vrijeme probnog rezanja, servisni djelatnik prati pomake osi i rad stroja na dijagnostičkom uređaju. Ukoliko stroj prijavi grešku u radu, ona će biti ispisana u šifri, koju potom servisni djelatnik lagano može pronaći u servisnoj knjizi i vidjeti u kojem se sklopu stroja greška javlja (slika 26.).



Slika 26. Kontrola rada stroja na servisnoj dijagnostici

Nakon obavljenog servisnog zahvata, ispunjava se servisni nalog sa opisom popravka i zamijenjenih dijelova, koji zatim potpisuje servisni djelatnik i osoba koja je zaduzena za održavanje u tvrtki (slika 27.).

		Opis opravljenege dela			Mastrol d.o.o. Zamrinska 23 a 50 - 2000 MARIBOR Tel. + 386 2 234 28 61 Fax + 386 2 234 28 60	
podružje MASTROJ	oddelok SERVICE	servisni listok KARMEL	št. posega 4198605	št. posega 6922194	stran 1/1	

stroj	Številka stroja A0225A0031		tip stroja TCL3020	
stranka	podružje Prigor i oprema d.o.o.			Številka kupca 948760
	ulica Fallerovo setaliste 22	poštna številka 10000	knj Zagreb	država HR
podatki o naročilu	Številka kopca	SAP številka posega	SAP kontraktarjaka številka	SAP številka rezervnega dela
kontakt	kontaktna osoba Kresimir Anic		telefon 0038513655619	
stroški potovanja	račun (€)	noštiv	cena 1 noštiva (€)	Mošt
	prilod (€)	odhod (€)		
obratovalne ure	datum 2. 07. 2021	obratovalne ure NC 66193	rezonator / HD številka 1: 63350	Številka vtičljen / HD številka 2: 33531
Security issues				
opombe stranke				

opis dela

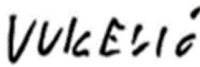
datum	začetek poti	čas dela		konec poti	čas dela		odmori		številka posega	ure pasivnega potovanja
		delo od	delo do		Work	Travel	Work	Travel		
2. 07. 2021	07:00	09:40	12:30		02:50	02:40			4198605	

vrsta opravljenege dela

postavka	slika napake	vrsta aktivnosti	področje	koda servisnega posega	napaka proizvoda	problem rešen da/ne	ure dela
1	problem Zamenjava ogleda. rešitev problema Zamenjava naročenih ogledal ter nastavitve žarka na delovni površini stroja. Med rezanjem se ni opazilo, da bi se šoba greta. Stroj deluje po programu stranke.				vrak	da	02.50

rezervni deli

k točki	številka materiala	opis	status	količina	izvor
1	0139367	Umlenkspiegel D68	Installed	1	stranka
1	0920689	Planspiegel Cu kpl.	Installed	1	stranka

2. 07. 2021		
datum	podpis tehnika	podpis stranke
		potpisnik in ime stranke 

Slika 27. Ispunjen servisni nalog pri završetku zahvata

5.6. Slanje uzorka u mjerni laboratorij

Slanje uzorka materijala izrezanog nakon odrađenog servisnog zahvata dopunska je usluga koju naručitelj servisnog zahvata može ili ne mora odabrati. Ovaj korak bitan je ukoliko korisnik usluge stroja zahtjeva visoku točnost i preciznost izrezanih dijelova. Ovo najviše ovisi o industriji za koju će stroj raditi, jer prilikom izrade većine dijelova prosječna točnost reza od 1/10 milimetra biti će dovoljno zadovoljavajuća.

Takvu točnost mogu postići i starije varijante ovakvih strojeva. Novije varijante laserskih rezača imaju deklariranu točnost reza otprilike 1/100 mm, i kod takvih strojeva, dobra je mjera predostrožnosti provjeriti jednom godišnje dali su te performanse reza i dalje moguće. Potrošenost kliznih staza, dotrajale sapnice na laserskoj glavi, i dotrajala ogledala u rezonatoru, znatno će utjecati na točnost i snagu rezanja CO₂ laserskih rezača.

6. Zaključak

Odabir strategije održavanja strojnog parka najviše ovisi o tvrtki koja će odabrati i kombinirati različite modele i strategije održavanja, ovisno o vrsti strojeva koje posjeduju. Dobra strategija i organizacija održavanja tvrtki će povećati proizvodnost, konkurentnost na tržištu, i smanjiti potencijalne gubitke radi zastoja strojeva.

Održavanje CO₂ laserskih rezača bitno je raditi prema propisanom planu održavanja. Kompleksnost ovih strojeva dovesti će do toga, da će stroj vrlo brzo izgubiti snagu rezanja i dimenzijsku točnost reza, ukoliko se propisani intervali održavanja ne poštuju.

Visoka nabavna cijena ovakvih strojeva, ne dopušta neozbiljan pristup održavanju jer je stroj najviše isplativ jedino onda kada redovno i ispravno radi, te ispunjava svoju funkciju. Dobro je da operater sudjeluje u održavanju stroja, jer prilikom kvarova značajno može pomoći vanjskom servisu u dijagnosticiranju i bržem otklonu kvara.

Literatura

- [1] Hrvatsko društvo održavatelja: *Održavanje i gospodarenje imovinom*, Zagreb, 2016.
- [2] Inženjerski priručnik IP4 – *Proizvodno strojarstvo – Materijali*, Školska Knjiga, Zagreb, 1999.
- [3] The laser as a tool – *Dr.Nicola Leibinger – Kammuller*, TRUMPF Gmbh+Co.KG Ditzigen 2007.
- [4] Upute za rad – *Tru Laser 3030/3040/3060*, TRUMPF Gmbh+Co.KG 2006.
- [5] Uvjeti za postavljanje stroja *TruLaser 3020* – TRUMPF Gmbh+Co.KG 2008.
- [6] Dunaj-Mutak LJ. – *Sigurnost i zaštita pri radu*, ZIRS, Zagreb 2001.
- [7] Zakon o zaštiti na radu - *NN 71/2014, 118/14, 154/14, 94/18, 96/18*.