



## 3D ROBOTIZIRANO REZANJE PLAZMA POSTUPKOM 3D PLASMA CUTTING BY USING ROBOTS

Vjeran PANIĆ <sup>1)</sup>

**Ključne riječi:** plazma, rezanje, robotizacija

**Key words:** plasma, cutting, robotics

**Sažetak:** Unaprjeđenje plazma tehnologije i uvođenje HiFocus i FineFocus serije uređaja tvrtke Kjellberg dovelo je do mogućnosti primjene ovih uređaja u 3D robotiziranom rezanju koje je do nedavno bilo isključivo rezervirano za laserske rezače. Prihvatljiva kvaliteta reza, veće brzine i manji troškovi po metru reza te jeftinija oprema i mogućnost rezanja različitih materijala osiguravaju sve veću primjenu ovog postupka.

**Abstract:** Development of plasma technology and introducing HiFocus and FineFocus devices produced by Kjellberg made possible implementation of these devices in 3D robot cutting previously earmarked only for laser cutters. Acceptable cut quality, increased cutting speed and lower cost per meter of the cut together with cheaper equipment and possibility of cutting various materials assure wider application of this procedure.

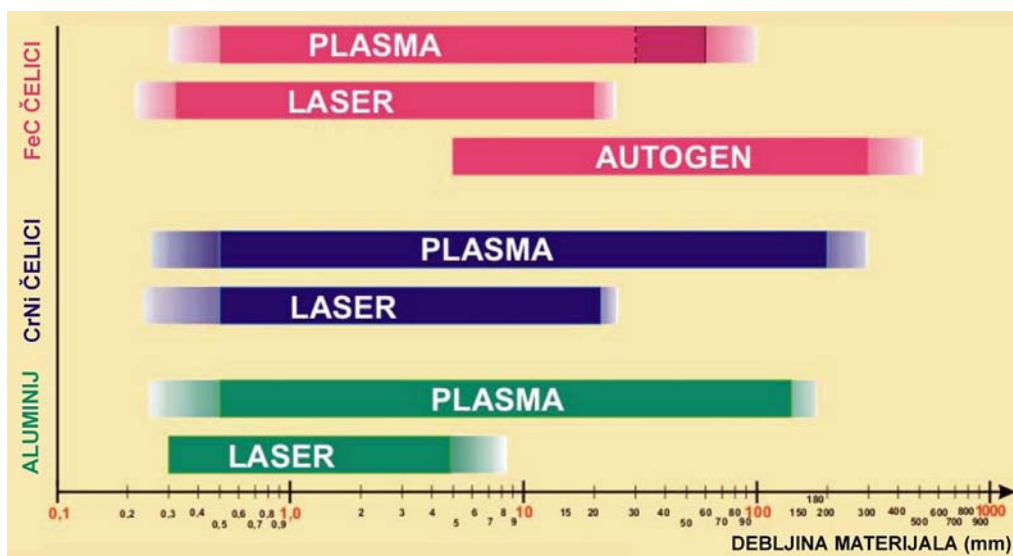
---

<sup>1)</sup> SERVUS d.o.o., Dr. Ivana Novaka 32a, 40000 Čakovec, Hrvatska

## 1. UVOD

Do prije svega nekoliko godina bilo je uvriježeno mišljenje i stav da je vrlo lako i jednoznačno tehnološki definirati rezanje metalnih materijala uzimajući u obzir debljinu i vrstu materijala. Tako su se kod općih konstrukcijskih čelika tanki limovi (do 8 mm) rezali na laseru, limovi od 10 do 20 mm na plazma rezačima, a limovi preko 20 mm na plinskim rezačima. Ove vrijednosti su se malo mijenjale ovisno o snazi lasera ili plazme koje su tvrtke posjedovale, tako da su laseri rezali debljine do 12 mm, a plazme do 30 mm. U zadnjih 10 godina proizvođači laserskih i plazma izvora za rezanje uvidjeli su potrebe tržišta i razvili i ponudili jače izvore koji mogu pokriti šire područje debljina rezanja uz dobru kvalitetu reza i prihvatljive troškove rezanja u proizvodnji. Snaga laserskih izvora je s 2 i 3 kW porasla na 4, 5 i 6 kW što je pogodno za rezanje konstrukcijskih čelika do 25 mm, nehrđajućih do 15 mm i aluminijskih legura do 10 mm uz postizanje vrlo dobrih brzina rezanja. Nažalost, takve investicije se mjere u milijunima kuna i isplative su samo ako se može osigurati posao u minimalno dvije, a poželjno tri smjene na rok od 5 i više godina. Proizvođači plazma uređaja modificirali su tehnologiju rezanja tako da poboljšaju jedini veći nedostatak plazme u odnosu na laser, a to je kvaliteta površine reza. Tehnologije HiFocus i FineFocus su uz već postojeće visoke brzina rezanja i povoljan trošak po metru reza, te male investicije u opremu (u odnosu na uvođenje lasera) unaprijedile kvalitetu reza do mjere da naknadna obrada površina više nije potrebna. Pogotovo je to došlo do izražaja kod manjih debljina gdje je sve više ova tehnologija istisnula laser. Plinsko zavarivanje zadržalo je primat kod većih debljina limova, no u nas na konstrukcije s debljinama stijenki preko 40 mm otpada svega nekoliko postotaka u odnosu na ukupnu količinu proizvedenih metalnih konstrukcija. U Tablici 1 mogu se vidjeti glavne prednosti i nedostaci postupaka rezanja.

Na slici 1 vidljivo je da je za glavne grupe metalnih materijala upravo plazma postupak rezanja onaj koji pokriva najširi raspon debljina rezanja. To čini plazma rezače univerzalnim uređajima za gotovo svaku namjenu bilo da se radi o rezanju lima debljine 0,8 mm ili 30 mm.



Slika 1. Područje debljina rezanja koje pokrivaju postupci rezanja

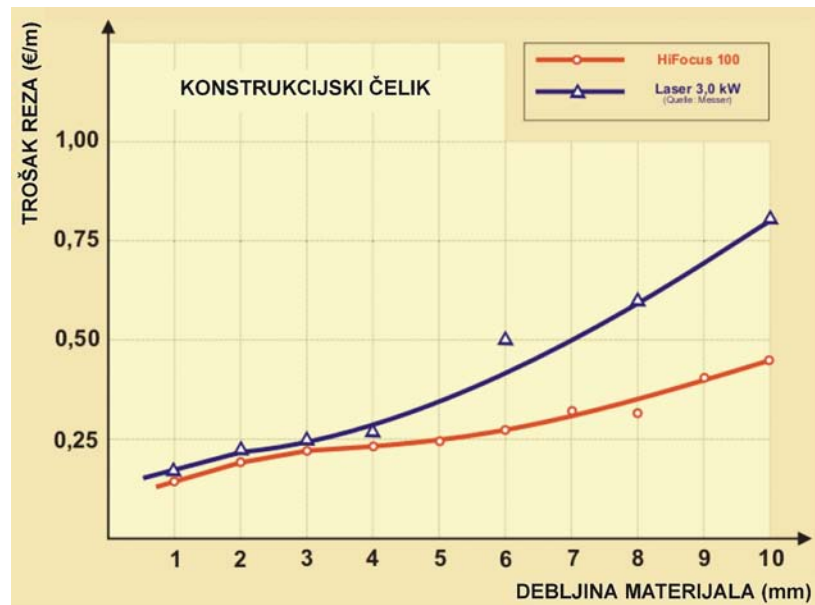
Tablica 1. Usporedba prednosti i nedostataka postupaka rezanja plinsko – plazma - laser

POSTUPAK REZANJA	PREDNOSTI	NEDOSTACI
<b>PLINSKO REZANJE</b> (odnosi se samo na rezanje konstrukcijskih čelika)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Za srednje i veće debljine materijala</li> <li>- Rast ekonomičnosti uporabom više gorionika</li> <li>- Manje investicije i manji troškovi u uporabi</li> <li>- Mogućnost povezivanja do tri gorionika na jedan agregat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Loša kvaliteta reza ispod 5 mm debljine materijala</li> <li>- Izražene toplinske deformacije kod rezanja manjih debljina, ravnanje obavezno</li> <li>- Visoki unos topline, veliki ZUT</li> <li>- Veća odstupanja mjera zbog rastezanja materijala uslijed visokog unosa topline u materijal</li> <li>- Male brzine rezanja</li> </ul>
<b>PLAZMA REZANJE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moguće rezanje svih električki vodljivih materijala</li> <li>- Bez alternative za rezanje visokolegiranih čelika i aluminijskih legura srednjih i većih debljina</li> <li>- Optimalna tehnologija za rezanje tanjih i srednjih debljina limova (do 30mm)</li> <li>- Rezanje sitnozrnatih čelika uz mali unos topline</li> <li>- Nije potrebna naknadna obrada površine reza kod tanjih i srednjih debljina limova kod korištenja tehnologije vrtložnih plinova u kombinaciji sa plazmenim plinovima</li> <li>- Do deset puta veće brzine rezanja u odnosu na autogeno rezanje</li> <li>- Pogodno za automatizaciju</li> <li>- Podvodno rezanje smanjuje unos topline i širenje buke u radni prostor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ograničenje debljina rezanja do 160 (180) mm kod suhog rezanja i 120 kod rezanja ispod vode</li> <li>- Nešto veća širina reza u odnosu na lasersko rezanje</li> </ul>
<b>LASERSKO REZANJE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visoka točnost reza kod tanjih i limova srednje debljine</li> <li>- Odlično reže male konture, rupe, otore, oblike sa šiljcima</li> <li>- Pravokutni oblik površine reza</li> <li>- Izvrsna mogućnost automatizacije</li> <li>- Mali unos topline, minimalne deformacije</li> <li>- Vrlo uski rez (0,2 -0,4mm)</li> <li>- Visoke brzine kod rezanja tanjih limova</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visoka cijena investicije u opremu i visoki troškovi rada</li> <li>- Gornja granica debljine rezanja 20 mm za konstrukcijske čelike, 15 mm za nehrđajuće i 10 mm za aluminij</li> <li>- Potrebno vrlo precizno vođenje</li> <li>- Mali stupanj iskorištenja (CO<sub>2</sub> oko 10%)</li> <li>- Problemi sa stabilnošću rezanja kod rezanja reflektirajućih materijala</li> <li>- Nečistoće u materijalu znatno utječu na stabilnost procesa</li> <li>- Neravnine na materijalu utječu na brzinu rezanja</li> </ul>

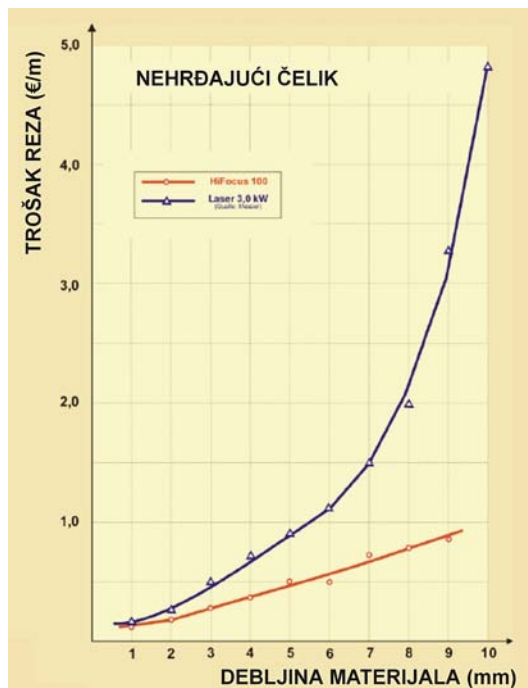
## 2. TROŠKOVI REZANJA U PROIZVODNJI

Na odabir tehnologije rezanja za svaku pojedinu namjenu utječe uvijek više faktora. Ako tvrtka već posjeduje neki od rezača za očekivati je da će pokušati na njemu izrezati što širi raspon debljina i vrsta materijala vodeći računa da u područjima rubnih mogućnosti stroja ne probije kalkulativne troškove. Ako je tvrtka pred odlukom u koju tehnologiju rezanja investirati svakako je važno da li će u periodu eksploatacije od minimalno 5 godina stroj raditi u jednoj, dvije ili tri smjene ili tek povremeno. Što je veće opterećenje stroja, to se više računa mora voditi o brzini i pouzdanosti stroja pri velikim opterećenjima, troškovima u funkciji, te servisima i potrošnim dijelovima. Ako se većinom reže samo jedan materijal ili je uzak raspon debljina onda je moguće odabrati optimalno rješenje s obzirom da visinu investicije i kasnije troškove u proizvodnji. Naravno takva rješenja gube na fleksibilnosti i ako dođe do promjene

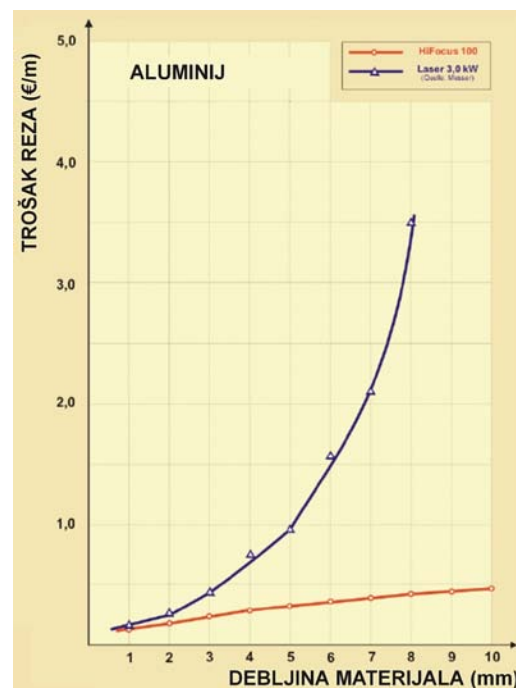
programa u proizvodnji nužna je ponovna nabava nove opreme. Analize troškova i optimalnog izbora opreme i tehnologije najbolje je raditi precizno od slučaja do slučaja. U nastavku na slikama 2, 3 i 4 dana je usporedba troškova rezanja u dvije smjene po metru reza HiFocus Plazme 100 i Messer 3kW laserskog rezača za tri tipa promatranih materijala i debljine limova od 1 do 10 mm.



Slika 2. Usporedba troškova reza po metru reza konstrukcijskog čelika HiFocus plazme i lasera



Slika 3. Usporedba troškova reza po metru reza CrNi čelika HiFocus plazme i lasera

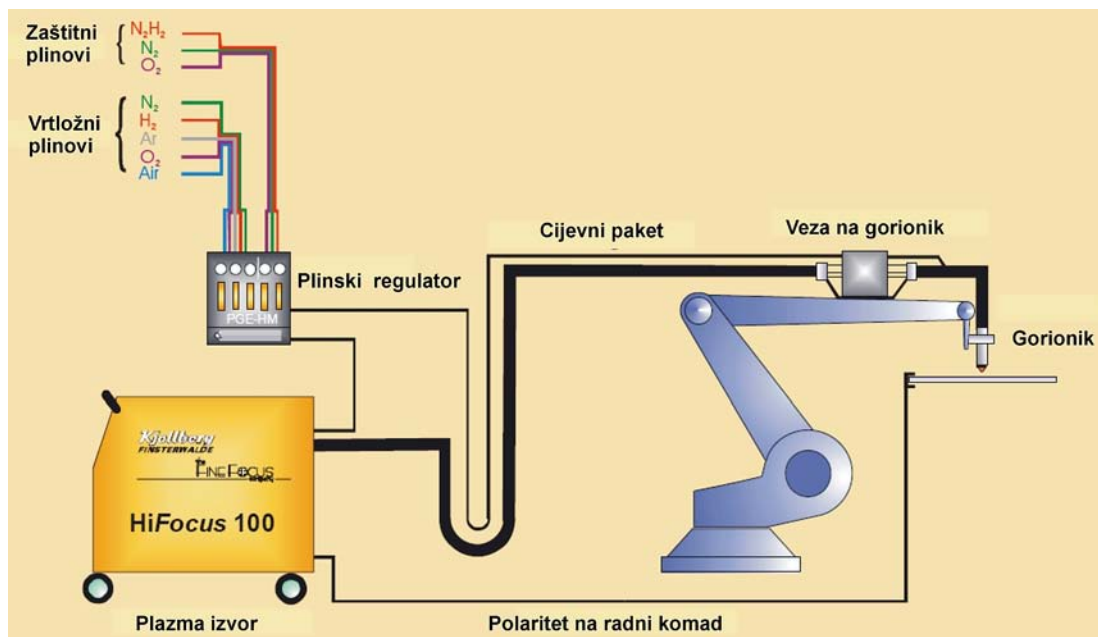


Slika 4. Usporedba troškova reza po metru reza aluminija čelika HiFocus plazme i lasera

Iz gornjih slika evidentno je nekoliko činjenica. Za sve materijale i sve debljine limova uvijek je rezanje HiFocus plazmom jeftinije od rezanja laserom 3kW. Razlike u troškovima rezanja se povećavaju s porastom debljine lima za sve materijale, s tim da za konstrukcijski čelik do 4mm debljine, za nehrđajući čelik i aluminij do 2 mm debljine lima gotovo nema razlike u troškovima reza. Rezanje konstrukcijskih čelika postaje dvostruko jeftinije već za debljine lima 9 i 10 mm. Kod nehrđajućeg čelika rezanje plazmom je za debljinu 9 mm 3 i pol puta jeftinije, a za debljinu 10 mm 5 puta jeftinije nego rezanje laserom. Najveće razlike vide se kod rezanja aluminija i aluminijskih legura gdje je za zadnju usporedivu debljinu lima od 8 mm trošak rezanja plazmom 7 puta manji nego rezanje laserom.

### 3. 3D ROBOTIZIRANO PLAZMA REZANJE

Posebno mjesto primjene, gdje rezanje FineFocus i HiFocus plazmama u velikoj mjeri zamjenjuje laserske rezače, je 3D rezanje gdje se plazma gorionici montiraju na robotske ruke i time dobivaju 5 stupnjeva slobode gibanja. Ovo se naročito koristi za obrezivanje cijevi i profila te za izrezivanje svih vrste otvorenih i zatvorenih krivulja (rupa) na polugotovim i gotovim proizvodima. Na slici 5 vidljiv je koncept takvih sustava sa svim sastavnim dijelovima.



Slika 5. Prikaz principa robotiziranog plazma rezanja

U tablici 2 navedene su karakteristike Kjellbergovih uređaja koji su namijenjeni, odnosno prilagođeni za efikasnu primjenu u 3D robotiziranom plazma rezanju. Koji od ovih uređaja izabrati ovisi isključivo o ciljanim debljinama materijala koje će se rezati. Navedeni uređaji namijenjeni su za strojno plazma rezanje vidljivih bridova i postižu visoku kvalitetu reza, tako da nije potrebna naknadna obrada.

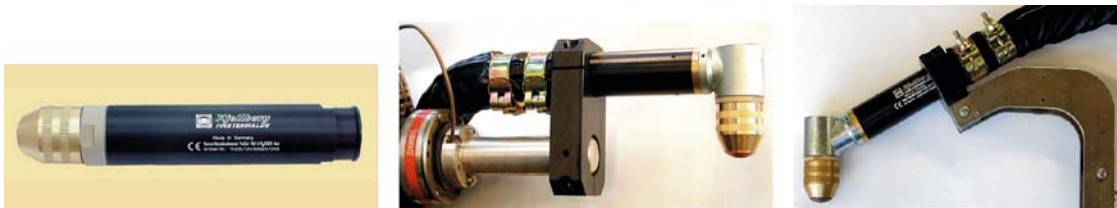
Za svaku vrstu izvora razvijeno je nekoliko tipova gorionika ovisno o namjeni. Tako je za izvore HiFocus razvijen gorionik PerCut u pet varijanti. Varijanta sa ravnom drškom predviđena je za rezanje samo s jedne strane. Dvije varijante s brzo izmjenjivim glavama, "bajonet" i s navojem. Varijanta s glavom gorionika zakrenutom za 90° namijenjena je za završnu obradu profila, a varijanta sa glavom gorionika zakrenutom za 60° namijenjena je za izrezivanje raznih krivulja na strojarskim elementima. Za izvor FineFocus 800 razvijeni su



tipovi gorionika PB-S75W-2 ravni i zakrenuti pod 45°, PB-S80W-2 ravni i PB-S75-2 Robo u ravnoj izvedbi i pod 45° (slika 6 i 7).

Tablica 2. Kjellbergovi plazma uređaji prilagođeni za 3D robotizirano plazma rezanje

TIP UREĐAJA	Hi Focus 130	Hi Focus 160i	HiFocus 280i HiFocus 360i	FineFocus 800
PODRUČJE PRIMJENE (kvalitetan rez)	0,5 do 30 mm	0,5 do 35 mm	0,5 do 50 mm 0,5 do 60 mm	5 do 50 mm (na suho)
MAKSIMALNA DEBLJINA REZANJA	do 40 mm	do 50 mm	do 70 mm do 80 mm	do 80 mm na suho do 40 mm pod vodom
PREPORUČENA DEBLJINA REZANJA	do 30 mm	do 35 mm	do 50 mm do 60 mm	do 40 mm
PODRUČJE STRUJE REZANJA	20 do 130 A	4 do 160 A	5 do 280A 4 do 360 A	80 do 300 A
PLAZMENI PLINOV I ZA KONSTRUKCIJSKE ČELIKE	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
PLAZMENI PLINOV I ZA NEHRĐAJUĆE ČELIKE	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>
PLAZMENI PLINOV I ZA ALUMINIJSKE LEGURE	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Ar/H <sub>2</sub> , AR/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>



Slika 6. Varijante gorionika PerCut160-2; ravna, pod 90° i pod 60°, bajonet PerCut 370.2

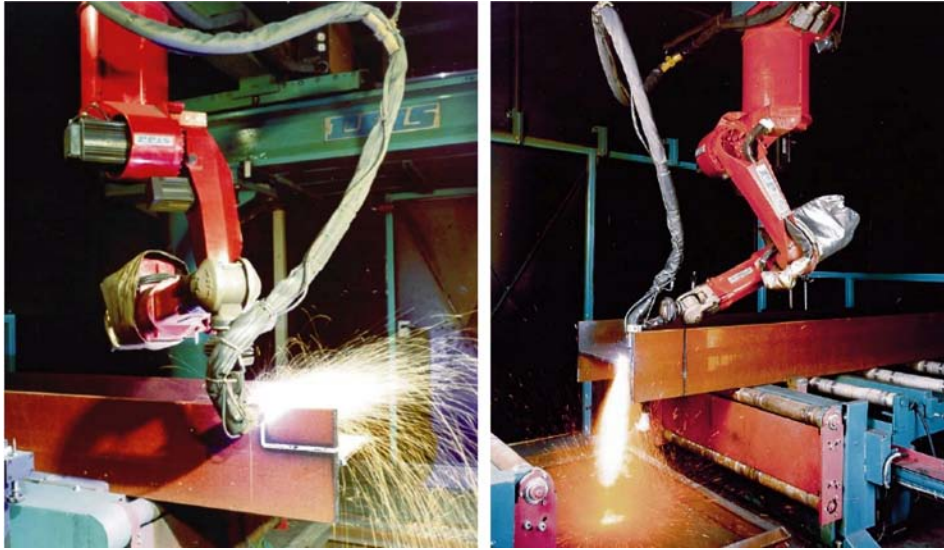


Ova izvedba na robotskoj ruci u potpunosti je identične namjene kao što su slične varijante za 3D obradu s laserskim izvorima. Stabilnost procesa rezanja je izvrsna bez obzira na položaj, vrstu krivulje rezanja i materijal koji se reže. Zbog povoljnije cijene rezanja i manje investicije u osnovnu opremu i održavanje, ovakva rješenja sve više mijenjaju laserske instalacije.



Slika 7. Gorionik PerCut160-2 montiran na robotsku ruku s 5 stupnjeva slobode gibanja

U nastavku na slikama 8 do 11 slijedi nekoliko primjera primjene ovakvih 3D sustava rezanja uglavnom vezano za obradu profila, cijevi i auto industriju.



Slika 8. Primjer obrade I profila – priprema za zavarivanje



Slika 9. Izrezivanje ruba prednjeg vjetrobranskog stakla na VW Caddy



Slika 10. Primjer izrade provrta na ispušnom sustavu (za lambda sondu)



Slika 11. Izrez provrta na ispušnoj cijevi (aluminij 4 mm) VW Phaeton

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovi navedenih podataka, dijagrama, tablica i slika mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Glavne tehnologije za razrez metalnih materijala bile su i ostaju laser, plazma i plinsko rezanje. Svaka od njih ima svoje područje optimalne primjene i svoje troškove uvođenja i korištenja.
- U posljednjih 10 godina proizvođači laserskih i plazma izvora unaprijedili su ih tako da mogu kvalitetno rezati sve tanje i sve deblje limove.
- Tehnologije HiFocus i FineFocus premostile su razliku u kvaliteti reza između lasera i plazme
- Plazma tehnologija rezanja efikasno pokriva najveći raspon debljina rezanja metalnih materijala.
- Cijena instalacije plazma rezača višestruko je jeftinija nego laserskog istovjetne funkcionalnosti.
- Za debljine limova 1 do 10 mm i materijale FeC, CrNi i Al usporedbom troškova rezanja po metru između plazma uređaja HiFocus100 i lasera 3kW utvrđeno je da je plazma postupak rezanja jeftiniji od laserskog rezanja u svim dimenzijama i vrstama materijala. Utvrđeno je također da je razlika u troškovima veća što je veća debljina rezanja. Rezanje konstrukcijskog čelika debljine 10 mm dvostruko je jeftinije plazmom nego laserom. Rezanje nehrđajućeg čelika debljine 10 mm peterostruko je jeftinije plazmom nego rezanje laserom. Rezanje aluminijskog lima debljine 8 mm sedam je puta jeftinije plazmom nego s laserom.
- Tehnologije HiFocus i FineFocus omogućile su da se plazma izvori vežu direktno na robotske ruke i da se s njima vrlo efikasno izrezuju prostorne krivulje što je do nedavno bilo moguće isključivo s laserom.
- Osim izvora razvijeni su i specijalni gorionici koji omogućavaju i olakšavaju sve vrste rezanja robotskim rukama.
- Najveću primjenu 3D robotizirano rezanje plazma postupkom za sada je našlo u automobilske industriji, no svakim danom se nalaze nove primjene u području obrade profila i cijevi pogotovo od nehrđajućih čelika i aluminija.

#### 5. LITERATURA

- [1] Promotivni materijali tvrtke Kjellberg Finsterwalde 2007.
- [2] Laboratorijski izvještaji Kjellberg Finsterwalde 2006.
- [3] [www.kjellberg.de](http://www.kjellberg.de)