

# **Robotizirana proizvodna linija za finalizacijo in mehansko obdelavo aluminijastih ulitkov**

**Aljaž Pišek, Tomi Lendero, Primož Vidovič, Anton Verdenik**  
**TALUM Servis in inženiring d.o.o.**  
**Tovarniška c.10 2325 Kidričevo, SI-Slovenija**  
**anton.verdenik@talum.si**

## ***Robotized production line for finishing and machining of aluminum castings***

Talum is well known producer of different aluminium structure parts for automotive industry.

An important contribution to the production growth and increase of competitiveness, has been added by own engineering, which is able to designs production lines and systems throughout the whole production chain, starting from liquid metal casting to the final product.

The production process of the casting parts begins with the casting of liquid metal into the die on the casting machine. In next finalization phase, the basic treatment is made, including cutting of the feeders, deburring, deflashing, etc. On the last machining phase, the casting part is processed on final dimension by using of the CNC machines.

In the paper is presenting the development of robotized production line for finalization and machining of the casting part for the automotive wheel carrier.

## ***Kratek pregled prispevka***

Talum se je s proizvodnjo aluminijastih ulitkov začel ukvarjati pred dvanajstimi leti in v tem času postal uveljavljen proizvajalec in dobavitelj strukturnih delov vodilnim proizvajalcem v avtomobilski industriji.

Odločilni prispevek k rasti in razvoju področja ter povečanju konkurenčnosti sta dodala inženiring in lastna strojogradnja, ki zasnuje in izdelava stroje ter jih integrira v celotno verigo proizvodnega procesa, od litja do končne obdelave ulitkov.

Proizvodni proces ulitka se začne s pripravo taline in litjem tekočega metala v kokilo na livnem stroju. Sledi faza finalizacije, v kateri se ulitku odstranijo napajalniki in srhi tako, da v fazi mehanske obdelave obdelovalni stroj čim hitreje obdelava ulitek na končne mere.

V prispevku je predstavljen razvoj robotizirane proizvodne linije, ki je namenjena finalizaciji in mehanski obdelavi ulitka nosilca avtomobilskega kolesa.

## 1 Uvod

Aluminijevi ulitki so se v avtomobilski industriji široko uveljavili zaradi številnih dobrih lastnosti in možnosti reciklaže. Uporabljeni so za strukturne dele, dele podvozja, vpetje koles, pokrove gonil, nosilce motorja, sesalne kolektorje, dele hladilnih sistemov, ohišja kompresorjev, črpalk, menjalnikov, itd.

Ulitki se proizvajajo z ulivanjem tekoče kovine v livno formo ali kokilo, ki je izdelana iz orodnega jekla. Ima obliko in gravuro ulitka z livnim kanalom za dovod taline ter oddušnikom za odvod zraka iz kokile. V kokili, ki je nameščena na livnem stroju, poteka proces strjevanja kovine. Tako nastale ulitke, imenovane tudi surovci, je za končno uporabo potrebno v naslednjih proizvodnih fazah mehansko in termično obdelati.

V članku sta predstavljeni dve fazi obdelave ulitka nosilca avtomobilskega kolesa, letne kapacitete 650.000 kosov, kjer sta avtomatizacija in robotizacija ključnega pomena. Prva je finalizacija ali groba obdelava, kjer se odstranijo nalivni kanali in srhi tako, da je v fazi mehanske obdelave ulitek možno brezhibno vstaviti v obdelovalni stroj, ki ga obdela na končne mere.

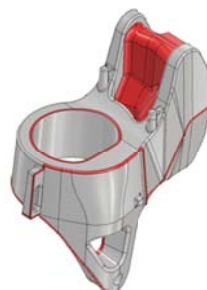
Vsaka faza obdelave se izvaja avtomatsko v namenskih robotskih celicah v konfiguraciji in z opremo, ki zagotavlja visok OEE, kar je predpogoj za zadostno produktivnost, ter v skladu z direktivo 2006/42/ES o gradnji strojev.

## 2 Finalizacija ulitkov

### 2.1 Koncept robotske celice

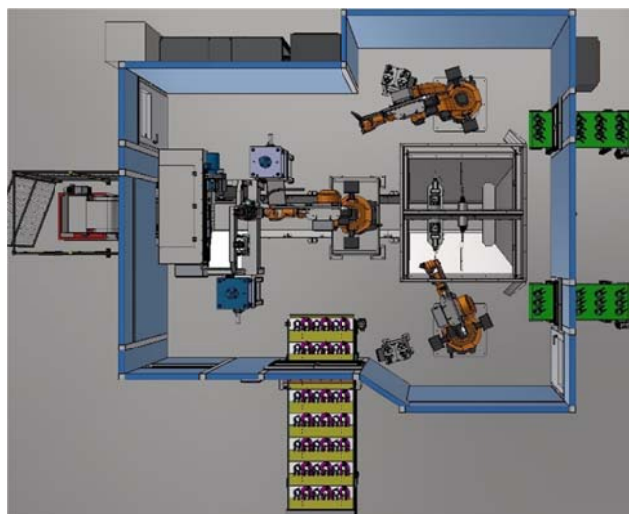
Namen robotske celice za finalizacijo je odstranjevanje srhov in dolivkov ulitka nosilca avtomobilskega kolesa, prikazanega na sliki 1, ki so posledica livnega procesa in so pri končnem izdelku nepotrebni. Dolivni kanali so poti po katerih talina steče v kokilo, srhi pa nastanejo na delilnih ravninah kokile. Ker se obravnavan ulitek proizvaja s tehnologijo nizkotlačnega litja, so lahko srhi dolgi tudi do

50 mm in debeline 2 mm. Za zagotovitev polne proizvodne kapacitete, je potrebna hitrost finalizacije vsaj 60 sekund na kos ob upoštevanju, da imamo levo in desno verzijo ulitka in toleranco obdelave 0,7 mm.



*Slika 1: Ulitek, rdeča barva prikazuje dolivne kanale in delilne ravnine.*

Glede na specifiko ulitka in pretekle izkušnje smo se odločili, da dolivne kanale odrežemo z rotacijsko žago, srhe pa odstranimo z rezkanjem. Vse operacije potekajo avtomatsko v robotski celici, ki je prikazana na sliki 2.



*Slika 2: Koncept robotske celice za finalizacijo ulitkov.*

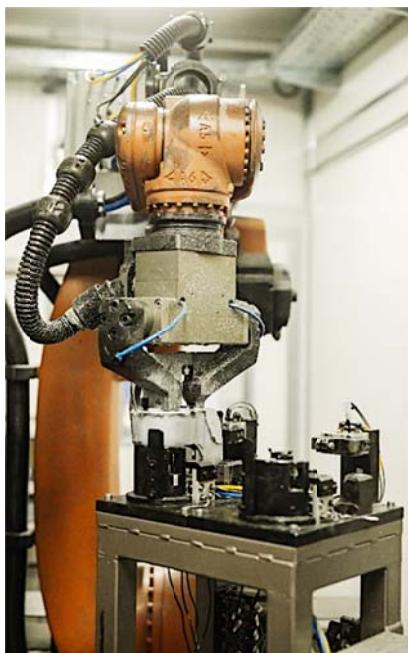
V celici so trije roboti. Eden skrbi za prelaganje obdelovancev med posameznimi pozicijami, dva pa sta zaradi zagotovitve proizvodnih kapacitet namenjena operaciji rezkanja. Vstop obdelovancev v robotsko celico je urejen s tekočim trakom, ki se zalaga ročno. Ko je ulitek v robotski celici, ga robot za prelaganje vstavi v eno od dveh obrezilnih štanc, kjer se odrežejo srhi na luknjah ter naredijo sprostivne dolivkov. Robot nato ulitek

prestavi na žago, ki se premika po x in y smeri in z dvema rezoma odstrani dolivek. Na sliki 3 je prikazan robot za prelaganje, žaga in obrezilna štanca.



*Slika 3: Robot za prelaganje in žaga.*

Po žaganju prestavi robot ulitek na centrirno mizo prikazano na sliki 4, kjer ga dva pnevmatska cilindra poravnata in tako zagotovita, da lahko naslednji robot namenjen rezkanju ponovljivo in pravilno prime ulitek.



*Slika 4: Centrirna miza.*

Sledi čiščenje srha z rezkarji, prikazano na sliki 5. Izvedeno je tako, da robot drži ulitek, rezkar pa je stacionaren. Glede na debelino srha, zahtevano natančnost in produktivnost smo se odločili za zaporedno obdelavo na dveh

pozicijah. Na prvi je elektromotor z gonilom ter čelnim rezkarjem premera 20mm namenjen grobi obdelavi. Na drugi pa je pnevmatski turbinski motor, ki omogoča premikanje rezkarja po x in y osi, s krogličnim rezkarjem premera 12mm za fino obdelavo. Po obdelavi na obeh rezkarjih robot odloži ulitek na izhodni tekoči trak.



*Slika 5: Odstranjevanje srha z rezkarjem.*

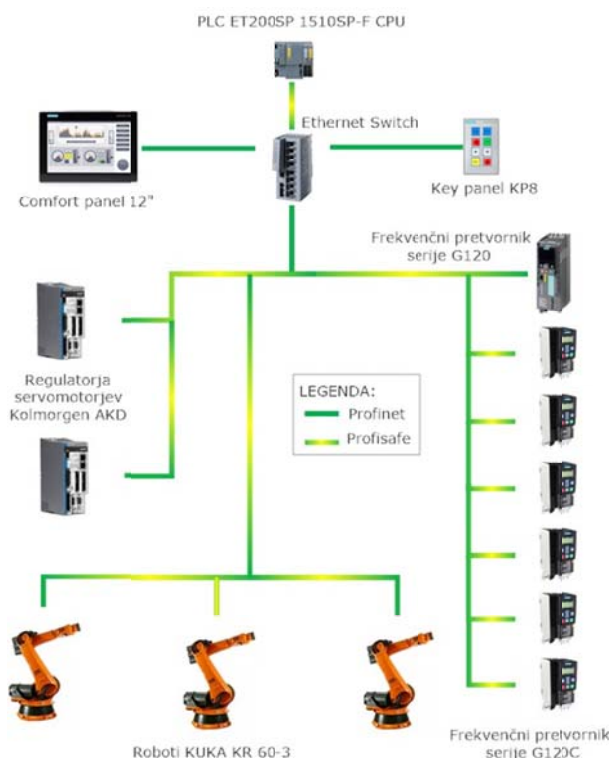
Robotska prijemala so pomemben del robotskih sistemov in so zato potrebne posebne pozornosti. Razvili smo dve prijemali. Prvo je na robotu za prelaganje med vhodno mizo, žago in centrirno mizo. Zaradi različnih ulitkov (levi in desni) in zahtevi po prijemanju ulitka na zunanji strani, je sestavljeno iz dveh prijemal. Prsti prvega pnevmatskega prijemala so prilagojeni prijemanju levega ulitka, prsti drugega pa prijemanju desnega ulitka. Drugo prijemalo je namenjeno vpetju ulitka pri čiščenju srha z rezkarji. Pri tem prijemalu imamo eno pnevmatsko paralelno prijemalo in en par prstov, ki je prilagojen prijemanju levega in desnega ulitka.

## **2.2 Avtomatizacija celice in programiranje robotov**

Avtomatizacijo celice smo izvedli na platformi Siemens in komunikacijskim protokolom Profinet. Odločili smo se za decentralizirano arhitekturo, prikazano na sliki 6, s krmilnikom ET20SP, s procesorjem 1510SP-F. Za kontrolo pogonov rezkarjev in trakov so uporabljeni frekvenčni pretvorniki Siemens serije G120C, za pogon žage pa G120, vsi povezani s komunikacijskim protokolom

Profisafe. Pozicioniranje pogona žage po dveh oseh je izvedeno s servomotorjema Kollmorgen AKD. V celici so trije roboti KUKA KR 60-3, ki so s krmilnikom povezani prek Profisafe vodila. Varnostna periferija je priključena na varnostne vhodno / izhodne kartice, ki so v krmilnik povezane prek Profisafe protokola. Ker se delovna območja robotov prekrivajo, je del varnosti tudi preprečitev trkov med roboti.

Aplikativni program v krmilniku je razvit na platformi TIA portal V15, ki omogoča integracijo standardne periferije, varnostnih komponent in robotov. Za vizualizacijo procesa je namenjen Siemensov panel TP 1200 Comfort. V osnovni sliki je grafični prikaz splošnih informacij, v ostalih slikah pa so prikazani detajlni podatki o vsaki napravi, vključno z možnostjo nastavitve parametrov in ročnega upravljanja.



Slika 6: Struktura sistema za avtomatizacijo v robotski celici za finalizacijo.

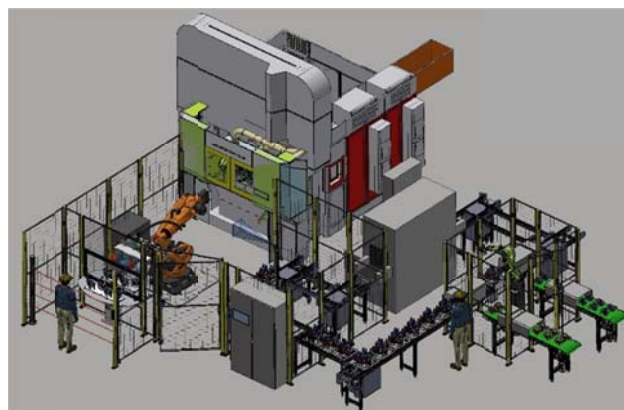
Posebni izziv je predstavljalo programiranje robotov za rezkanje. Zaradi zahtevnih kontur, na katerih se nahajajo srhi, smo se odločili za »offline« programiranje robota s programskim orodjem Mastercam/Robotmaster, kar zahteva natančen model ulitka in celice. Pri tem smo si

pomagali tako, da smo koordinate točk rezkarja in pozicijo ulitka na prijemalu v realni celici posneli s 3D skenerjem in prenesli v programsko okolje. Programiranje strojnih obdelav poteka podobno kot programiranje CNC obdelovanega stroja. V prvem koraku smo s programom Mastercam zasnovali vse potrebne obdelave na ulitku, ki smo jih v obliki G kode uvozili v Robotmaster. Le-ta je naredil simulacijo gibanja robota, preveril eventualne kolizije in singularne točke, ter generiral programsko kodo robota. Program je narejen hitro, ampak zadovoljivo deluje samo na ulitkih, ki so enaki modelu. V praksi pa aluminijasti ulitek zaradi tehnoloških razlogov in različnih vplivov med postopkom litja odstopa od idealnega modela bolj, kot je njegovo nazivno tolerančno območje. Zato smo aplikativni program nadgradili tako, da ima operater možnost korekcij obdelave pravokotno na površino ulitka po njegovih delilnih ravninah. S tem ukrepom je robotska celica sposobna obdelati tudi ulitke, ki odstopajo od idealnega modela, brez spremembe programske kode.

### 3 Mehanska obdelava ulitkov

#### 3.1 Koncept robotske celice

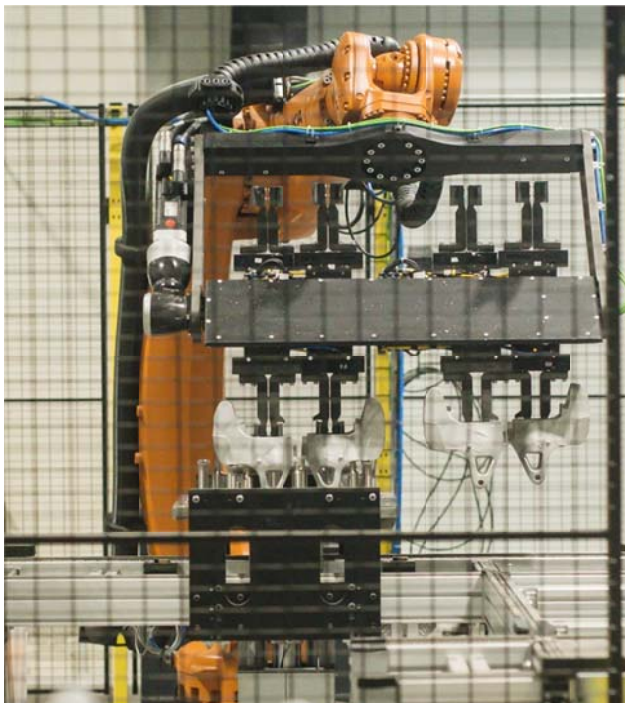
Namen robotske celice za mehansko obdelavo je avtomatizacija procesa obdelave ulitkov, ki se izvaja z namenskim CNC strojem. Na sliki 7 je prikazan koncept celice.



Slika 7: Koncept robotske celice za mehansko obdelavo ulitkov.

Ulitki vstopajo v robotsko celico na posebnih paletah po tekočem traku. Večji robot namenjen

izvzemanju in vstavljanju obdelovancev v obdelovalni center ima prijemalo za 8 ulitkov. Robot s tekočega traka vzame dva leva in dva desna ulitka, kar je prikazano na sliki 8.



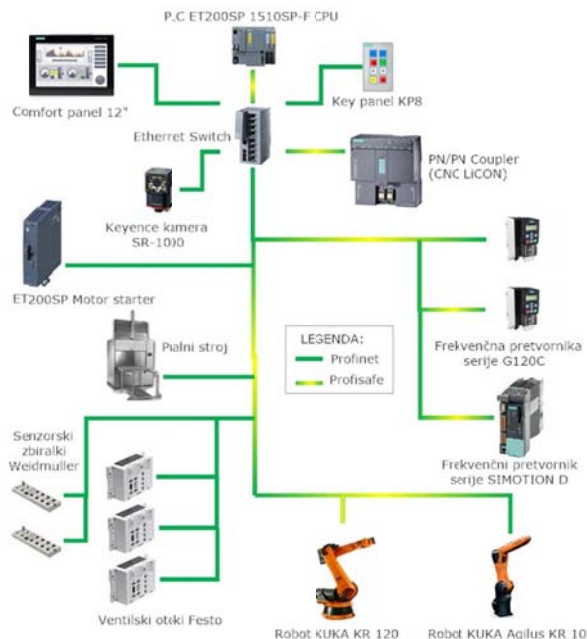
Slika 8: Prijemanje ulitkov z robotom.

Pred vstavljanjem novih ulitkov v obdelovalni center, izvzame že obdelane. Prijemalo robota ima 8 paralelnih pnevmatskih prijemal pritrjenih na rotirajoči mizi, gnani s servomotorjem, ki predstavlja sedmo robotsko os. Z rotiranjem prijemala je omogočena hitra menjava obdelanih in neobdelanih ulitkov. Obdelane ulitke začasno odloži na rotacijsko mizo, kjer jih operater pregleda.

Če so ulitki ustrezni, jih robot nese nazaj na tekoči trak, kjer sledi pranje v pretočnem pralnem stroju. Manjši robot je namenjen prelaganju levih in desnih kosov iz tekočega traka na izhodu pralnega stroja, na izhodna traka za levi in desni kos. Njegovo prijemalo je paralelno pnevmatsko prijemalo z namenskimi prsti. Ulitek prijemamo na obdelanem delu. Tam sta levi in desni ulitek enaka, zato ni potrebe po dveh različnih prijemalnih prstih.

### 3.2 Avtomatizacija celice

Avtomatizacija celice, prikazana na sliki 9 je tudi tukaj izvedena na platformi Siemens in komunikacijskem protokolu Profinet.



Slika 9: Struktura sistema za avtomatizacijo v robotski celici za mehansko obdelavo.

Za krmiljenje smo uporabili PLC krmilnik Siemens Simatic ET200SP, s procesorjem 1510SP-F. Aplikativni program in vizualizacija sta razvita v programskem okolju TIA Portal V15.

Za pogone transportnega traku so uporabljene kartice za direktni vklop motorjev, ki so nameščene na dislocirani enoti ET200, povezani z vodilom Profinet. Za pogon izhodnih trakov za obdelane ulitke skrbita dva frekvenčna pretvornika serije G120C, povezana z varnostnim protokolom Profisafe. Posluževanje celice je mogoče prek dveh operaterskih panelov, in sicer panela s tipkami KP8 in touch panela TP1200 Comfort, na katerem je tudi vizualizacija procesa. Za pogon indeksne obračalne mize je uporabljen frekvenčni pretvornik Simotion D. Za sledljivost obdelovancev je celici kamera za branje DMC kode, ki je vtisnjena na ulitkih. V sistem avtomatizacije sta priključeni še dve zunanji napravi, CNC obdelovalni stroj, ki je povezan s

Profisafe protokolom, in pralni stroj, povezan s Profinet protokolom.

V celico sta dva robota znamke Kuka. Manjši robot je tipa Kuka Agilus KR10 in je namenjen prelaganju obdelanih ulitkov s transportnega traka na izhodna traka. Večji robot je tipa Kuka KR120 in je namenjen izvzemanju in vstavljanju ulitkov v obdelovalni stroj. Oba robota sta komunikacijsko povezana s krmilnikom prek Profisafe protokola.

Varnost je sestavni del avtomatizacije in narejena po standardu 2006/42/ES. Za varnost skrbi krmilnik, na katerega je povezana varnostna periferija, bodisi prek Profisafe protokola ali pa na posebne varnostne vhode.

#### 4 Doseženi rezultati

Kriterij uspešnosti robotske celice za finalizacijo, prikazane na sliki 10, je čimbolj natančno odstranjevanje srha ob zadostni

produktivnosti. V našem primeru dosegamo ostanek srha, ki je definiran v razponu od 0-0,7 mm. Naša natančnost je omejena s centriranjem ulitka, saj je nazivna natančnost robota  $\pm 0,06$  mm. S pomočjo centrirne mize v praksi dosegamo ponovljivo natančnost obdelave do 0,1 mm, kar je znotraj zahtevanih meja.

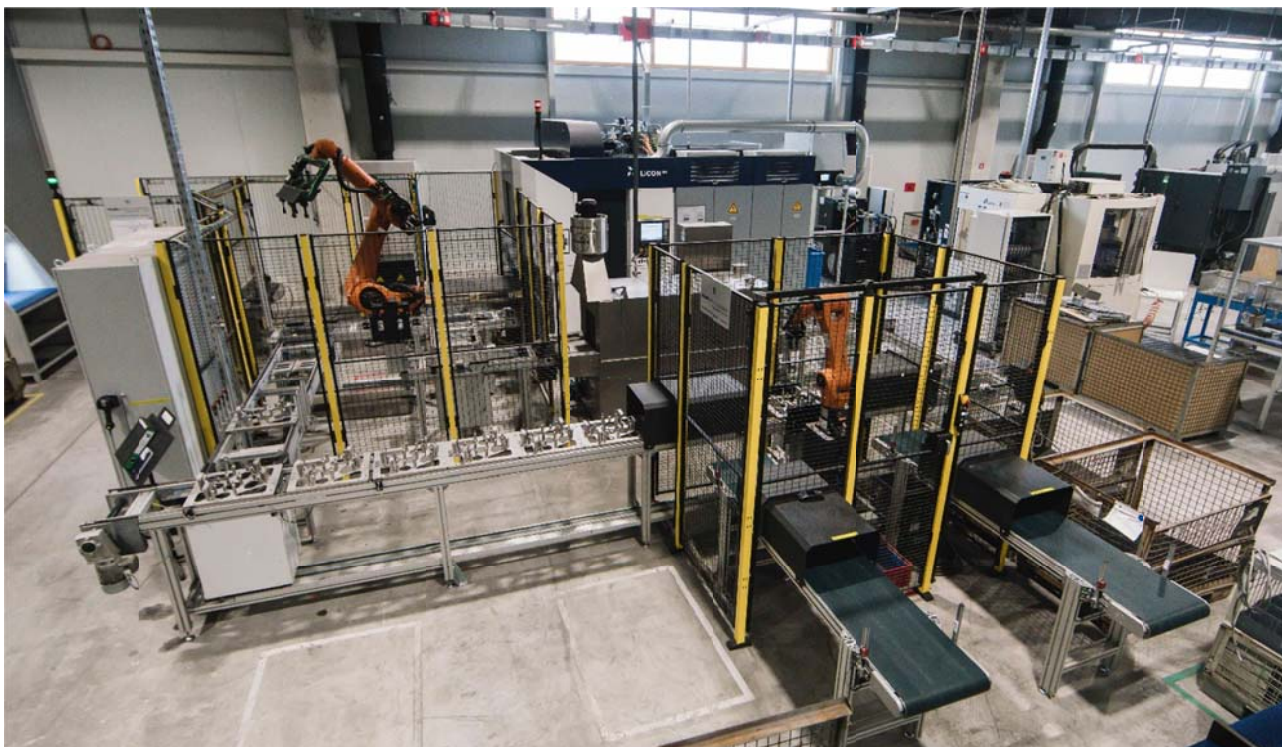
Produktivnost celice je omejena s trajanjem najdaljše delovne operacije, to je v našem primeru odstranjevanje srhov ulitka z rezkanjem. Za doseganje zahtevane kapacitete 650.000 kosov letno in upoštevanju uporabe dveh robotov za rezkanje je bilo potrebno doseči povprečni čas rezkanja 60 sekund. Temu smo se približali z izbiro ustreznih rezkarjev in skrbno razdelitvijo deleža obdelave med fiksni in fleksibilni rezkar. Dosegli pa smo ga šele po optimizaciji robotskih gibov, tudi z redukcijo števila točk, ki jih avtomatsko generira program Robotmaster za CNC obdelavo.



*Slika10: Robotska celica za finalizacijo v pogonu.*

Avtomatizacija mehanske obdelave, prikazana na sliki 11, z robotsko manipulacijo zagotavlja potrebno produktivnosti in dovolj visoko izkoriščenost naprav. Za zadostno produktivnost je bilo potrebno čim bolj skrajšati čas, ko obdelovalni stroj ne dela, torej čas menjave obdelovancev v stroju. V našem primeru je to kontaktni čas robota in obdelovalnega stroja. Dovoljen časovni okvir za

menjavo kosov, najprej izvzemanje obdelanih in nato vstavljanje surovcev, je bil 20 sekund. Ker naenkrat izvzemamo in vstavljamo 4 kose, to pomeni 5 sekund na kos. Ta čas smo z optimizacijo gibov in načina gibanja robota uspeli zmanjšati na 15 sekund, kar pomeni da menjava posameznega kosa v stroju traja manj kot 4 sekunde.



*Slika 11: Robotska celica za mehansko obdelavo v pogonu.*

## **5 Zaključek**

Predstavljena je bila realizacija uspešnega razvojnega projekta robotskih celic za finalizacijo in mehansko obdelavo ulitkov.

Za Talum je ta dosežek izjemnega pomena, saj smo postali razvojni dobavitelj vodilnega

in renomiranega proizvajalca avtomobilov ter se uveljavili kot proizvajalec visokotehnoloških obdelovalnih celic.

## **6 Literatura**

[1] Projektna dokumentacija TALUM