

Program

Digitalna transformacija robotiziranih tovarn prihodnosti

DIGITOP

Rezultat D6.3

Izvedba 1. vizualnega nadzora kakovosti
v rekonfigurabilni celici in
2. več operacij sestavljanja z uporabo
mobilne platforme in rekonfigurabilne delovne celice

Projekt/RRP

Vrsta dokumenta

Verzija dokumenta

Sodelujoči partnerji

Avtorji

D6.3

Demonstarcija

Končna

IJS E1, YAS, MAR

Miha Deniša, Matevž Majcen, Leon Žlajpah, Gašper Šavle, Simon Reberšek, David Pekolj, Jaka Jereb, Martin Bem, Rok Pahič, Janez Kunaver, Hubert Kotsler, Dominik Jezeršek, Damjana Vavtar, Klemen Zalar, Andrej Gornik, Aleš Ude

Datum priprave

27.6.2026

Kazalo

1	Uvod	3
2	Vizualni nadzor kakovosti v rekonfigurabilni robotski celici	3
2.1	Laboratorijski demonstrator: Agilna robotska celica za vizualni pregled z robotsko vodeno kamero in prilagodljivo postavitvijo statičnih kamer	4
2.2	Industrijski demonstrator: Inteligentni robotski sistem za pregled celotne površine obdelovanca	5
2.3	Povezava demonstracij z načrtovanimi aktivnostmi prvega primera uporabe .	6
2.4	Prispevki partnerjev pri prvem primeru uporabe	7
3	Več operacij sestavljanja v rekonfigurabilni robotski celici	7
3.1	Laboratorijski demonstrator: Rekonfigurabilno robotsko vijačenje z modularno strojno in programsko opremo	7
3.2	Industrijski demonstrator: Izvedba več industrijskih nalog v rekonfigurabilni robotski celici	8
3.3	Povezava demonstracij z načrtovanimi aktivnostmi drugega primera uporabe	9
3.4	Prispevki partnerjev pri drugem primeru uporabe	10
4	Zaključek	10

1 Uvod

Rezultat D6.3 predstavlja končno demonstracijo dveh primerov uporabe rekonfigurabilnih robotskih celic, razvitih v okviru RRp6. Prvi primer uporabe obravnava vizualni nadzor kakovosti, drugi pa izvedbo več operacij sestavljanja z uporabo mobilne platforme in rekonfigurabilne delovne celice. Oba primera sta predstavljena z laboratorijskim demonstratorjem in z izvedbo v industrijsko relevantnem okolju.

Prvi primer uporabe prikazuje razvoj in uporabo prilagodljivih sistemov za robotski vizualni pregled. Laboratorijski demonstrator obravnava dva pristopa: pregled z robotsko vodeno kamero ter pregled z dvema statičnima kamerama, pri čemer je ena nameščena na fleksibilnem monopodu in jo lahko robot prestavi glede na zahteve posameznega obdelovanca. Industrijski demonstrator prikazuje inteligentni robotski sistem za pregled celotne površine obdelovanca, ki vključuje generiranje pregledovalnih točk na podlagi 3D-modela, pripravo robotske poti, zajem slik ter detekcijo površinskih anomalij z uporabo globokih nevronske mreže.

Drugi primer uporabe je namenjen prikazu rekonfigurabilnega robotskega sestavljanja. Laboratorijski demonstrator prikazuje modularno celico za vijačenje z aktivnim gnezdrom, globinsko kamero, avtomatskim menjalnikom orodij in industrijskim vijačnikom s podajalcem vijakov. Industrijski demonstrator pa združuje več operacij sestavljanja, med drugim preverjanje vpetja s strojnim vidom, nanos tesnilne mase in vijačenje, pri čemer je poudarek na uporabi rekonfigurabilnih vpenjal, modularnih procesnih orodij in prilagodljivem izvajanju različnih nalog.

Prikazani demonstratorji temeljijo na rezultatih predhodnih aktivnosti, ki so obsegale razvoj metod za generiranje poti in trajektorij, optimizacijo zaporedja pregledov in postavitve kamer ter zasnovo večnivojsko modularnih robotskih celic. Rezultat D6.3 tako povezuje algoritmični razvoj, digitalno načrtovanje, laboratorijsko validacijo in industrijsko demonstracijo v celovit prikaz uporabe rekonfigurabilnih robotskih sistemov za nadzor kakovosti in sestavljanje.

2 Vizualni nadzor kakovosti v rekonfigurabilni robotski celici

Prvi primer uporabe obravnava avtomatiziran vizualni pregled obdelovancev v rekonfigurabilni robotski celici. Prikazana sta laboratorijski demonstrator, pri katerem so poudarjeni različni načini postavitve kamer, optimizacija pregledovalnega postopka in fizična rekonfiguracija senzorskega sistema, ter industrijski demonstrator, ki razvite metode poveže z grafičnim vmesnikom, samodejno pripravo pregledovalnega programa in detekcijo površinskih anomalij.

2.1 Laboratorijski demonstrator: Agilna robotska celica za vizualni pregled z robotsko vodeno kamero in prilagodljivo postavitvijo statičnih kamer

Posnetek demonstracije (Lab_Demo_Vizualni_Pregled.mp4) prikazuje agilno robotsko celico za vizualni pregled, ki podpira dva različna načina zajema slik. Pri prvem pristopu je kamera nameščena na robotskem manipulatorju, obdelovanec pa je statično nameščen v delovni celici. Pri drugem pristopu robot drži obdelovanec in ga premika med dvema kamerama, od katerih je ena statično nameščena, druga pa je pritrjena na fleksibilni pasivni monopod. Takšna zasnova omogoča prilagoditev konfiguracije sistema geometriji posameznega obdelovanca in zahtevam pregleda.

Pri pristopu z robotsko vodeno kamero so na obdelovancu najprej določene pregledovalne točke oziroma območja, ki jih je treba zajeti. Na podlagi geometrije obdelovanca in zahtevanih pogledov se določijo potrebne poze kamere. Sistem nato optimizira zaporedje pregledov, da se zmanjša skupni čas premikanja robota med posameznimi točkami. Razvite metode obravnavajo problem kot optimizacijo zaporedja stanj, pri kateri posamezno stanje predstavlja določeno pregledovalno točko in pripadajočo konfiguracijo robota.

Po določitvi zaporedja se z uporabo knjižnice OMPL in razvojnega okolja RobotBlockset pripravi pot brez trkov med posameznimi pregledovalnimi pozami. Pot se nato časovno parametrizira in optimizira ob upoštevanju omejitev hitrosti in pospeškov robotskega sistema. Na ta način se iz množice zahtevanih pogledov pripravi izvedljiva in časovno učinkovita robotska trajektorija. Posnetek prikazuje izvedbo tako pripravljenega pregleda na realnem robotu ter slike, ki jih kamera zajame na posameznih točkah pregleda.

Drugi del posnetka prikazuje konfiguracijo, pri kateri robot drži obdelovanec, slike pa zajemata dve kameri. Ena kamera je fiksno nameščena v celici, druga pa je nameščena na fleksibilnem pasivnem monopodu. Monopod je mehanski nosilec brez lastnih pogonov, ki ga lahko robot prestavi v drugo lego in se ga po doseženi konfiguraciji mehansko fiksira. S tem je mogoče položaj kamere prilagoditi novemu obdelovancu, ne da bi bilo treba ročno predelati osnovno strukturo celice. Monopod tako predstavlja fizično izvedbo prilagodljive senzorske konfiguracije, predvidene v okviru algoritmov optimalne rekonfiguracije.

Potek pregleda se najprej pripravi v digitalnem modelu celice. V njem so vključeni robot, obe kameri, monopod, obdelovanec in drugi elementi delovnega prostora. Sistem določi ustrezne konfiguracije robota za zajem vseh zahtevanih pregledovalnih točk, optimizira njihovo razporeditev med obe kameri ter pripravi zaporedje gibanja. Nato se generirajo poti brez trkov in pripadajoče robotske trajektorije. Digitalni model pri tem omogoča preverjanje izvedljivosti in kolizij pred dejansko izvedbo procesa.

V realni celici robot najprej z ustreznim mehanskim vmesnikom prime monopod in ga prestavi na določeno lokacijo. Po namestitvi monopoda robot preko avtomatskega menjalnika orodij vpne prijemalo, prime obdelovanec in začne izvajati optimizirano pregledovalno trajektorijo. Obdelovanec zaporedoma postavlja v ustrezne lege glede na eno ali drugo kamero, pri čemer se na posameznih točkah zajamejo zahtevane slike.

Uporaba dveh kamer skrajša potrebne premike robota, saj lahko posamezne skupine pregledovalnih točk zajame kamera, ki je glede na njihovo lego ugodneje postavljena. V okviru razvoja je bila uporabljena strategija razvrščanja pregledovalnih točk po ravninah in njihovega dodeljevanja posameznim kameram. Rezultati predhodnih analiz so pokazali, da

lahko optimizirana dvo-kamerna konfiguracija bistveno skrajša čas pregleda v primerjavi z enokamernim sistemom, ob ohranjeni pokritosti zahtevanih površin.

Posnetek tako prikazuje povezavo med digitalnim modelom celice, optimizacijo zaporedja pregledov, generiranjem poti brez trkov, časovno optimizacijo trajektorij in fizično rekonfiguracijo senzorskega sistema. Demonstrator potrjuje, da je mogoče isto robotsko celico prilagoditi različnim obdelovancem z izbiro ustreznega načina pregleda, spremembo položaja kamere in samodejno pripravo robotskega programa.

2.2 Industrijski demonstrator: Inteligentni robotski sistem za pregled celotne površine obdelovanca

Posnetek demonstracije (Industrijski_Demo_Vizualni_Pregled.mp4) prikazuje industrijsko izvedbo inteligentnega robotskega sistema za avtomatiziran pregled celotne površine obdelovanca. Sistem je namenjen zaznavanju površinskih napak na različnih izdelkih, pri čemer združuje pripravo pregledovalnega programa na podlagi 3D-modela, robotsko manipulacijo obdelovanca, zajem slik ter detekcijo anomalij z uporabo globokih nevronske mreže.

V prikazani konfiguraciji sodelujoči robot drži obdelovanec in ga premika pred statično nameščeno kamero. Robot z zaporednim spreminjanjem lege in orientacije kosa omogoči zajem slik različnih delov njegove površine. Takšen pristop omogoča pregled kompleksnih geometrij z eno kamero, saj se potrebni pogledi dosežejo z načrtovanim gibanjem obdelovanca.

Na začetku posnetka je predstavljen namensko razviti grafični uporabniški vmesnik MarovtGUI, ki operaterju omogoča pripravo in nadzor postopka pregleda. V vmesnik se najprej naloži tridimenzionalni model obdelovanca v formatu STL. Na podlagi geometrije modela, lastnosti kamere in zahtevanih parametrov pregleda sistem samodejno generira pregledovalne točke oziroma potrebne relativne lege kamere glede na površino obdelovanca.

Generiranje pregledovalnih točk upošteva zahteve glede pokritosti površine, ločljivosti zajema, vidnega polja kamere in dopustnega kota pogleda na površino. Na tej osnovi sistem določi najmanjši potreben nabor pogledov, s katerimi je mogoče pregledati celotno zahtevano površino izdelka. Tako se priprava novega pregledovalnega programa v veliki meri prenese z ročnega programiranja na avtomatiziran postopek, ki izhaja neposredno iz digitalnega modela obdelovanca.

V nadaljevanju sistem generirane pregledovalne točke poveže v robotsko pot. Posamezne zahtevane lege kamere se preslikajo v ustrezne konfiguracije robota, pri katerih je izbrani del površine pravilno postavljen v vidno polje kamere. Tako pripravljen pregledovalni program se shrani in ga je mogoče ponovno uporabiti pri pregledu enakih obdelovancev.

Osrednji del posnetka prikazuje izvedbo ustvarjenega programa na realnem sodelujočem robotu. Robot obdelovanec premika po določeni poti in ga zaporedoma postavlja v predvidene pregledovalne lege. V vsaki izmed njih kamera zajame sliko izbranega območja površine. S tem je prikazan celoten prehod od digitalnega modela obdelovanca do izvedljive robotske trajektorije in dejanskega zajema slik v industrijskem okolju.

Zajete slike se shranjujejo in obdelujejo v ločenem analitičnem delu sistema. Za vsak pogled oziroma pregledovalno točko se lahko pripravi ustrezen model za detekcijo anomalij. Sistem trenutno temelji na pristopu PatchCore, pri katerem se model nauči značilnosti nepoškodovanih površin in nato nove slike primerja z naučeno predstavitvijo normalnega stanja.

Tak pristop je posebej primeren za industrijski nadzor kakovosti, saj za učenje ne zahteva velikega števila primerov vseh možnih vrst napak.

V zaključnem delu posnetka je prikazana detekcija napak na zajetih slikah. Sistem za posamezno sliko določi, ali pregledana površina odstopa od pričakovanega stanja, ter prikaže območje zaznane anomalije. Rezultat tako ni omejen zgolj na razvrstitev slike kot ustrezne ali neustrezne, temveč vključuje tudi prostorsko lokalizacijo potencialne površinske napake.

Grafični vmesnik omogoča tudi pregled zbranih slik, označevanje podatkov, učenje modelov in pregled rezultatov predhodnih pregledov. S tem je v skupno rešitev povezan celoten postopek od priprave robotske poti in zbiranja podatkov do učenja modela ter njegove uporabe pri sprotnem zaznavanju napak.

Posnetek tako prikazuje industrijsko validacijo prvega primera uporabe. Demonstrator združuje samodejno pripravo pregledovalnega programa, robotsko manipulacijo obdelovanja, vizualni zajem celotne površine, grafični uporabniški vmesnik in metode umetne inteligence za detekcijo anomalij. Sistem omogoča hitrejšo prilagoditev različnim izdelkom ter zmanjšuje potrebo po ročnem programiranju posameznih pregledovalnih položajev.

2.3 Povezava demonstracij z načrtovanimi aktivnostmi prvega primera uporabe

Oba demonstratorja skupaj potrjujeta izvedbo prvega primera uporabe D6.3, ki obravnava vizualni nadzor kakovosti v rekonfigurabilni robotski celici. Laboratorijski demonstrator prikazuje razvoj in validacijo metod za prilagodljivo konfiguracijo kamer, optimizacijo zaporedja pregledov, generiranje poti brez trkov ter časovno optimizacijo robotskih trajektorij. Industrijski demonstrator te rezultate nadgradi z uporabniškim vmesnikom, samodejno pripravo pregledovalnega programa in detekcijo površinskih anomalij na realnih obdelovancih.

Laboratorijski demonstrator temelji neposredno na rezultatih D2.1 in D2.2. Metode iz D2.1 omogočajo načrtovanje in časovno parametrizacijo gibanja, medtem ko D2.2 obravnava optimizacijo postavitve kamer ter zaporedja zajemov. Pri dvo-kamerni konfiguraciji se pregledovalne točke razporedijo med dve kameri, kar zmanjša potrebne premike robota in skrajša čas pregleda. Fleksibilni pasivni monopod, ki je bil zaščiten s patentno prijavo, pri tem predstavlja fizični element rekonfiguracije, saj lahko robot njegov položaj in s tem lego kamere prilagodi zahtevam posameznega obdelovanja.

V okviru D2.3 so bili razviti pristopi preneseni v fizično realizirano celico za vizualni pregled. Celica podpira pregled s kamero na robotu ter konfiguracijo, pri kateri robot premika obdelovanec pred eno ali dvema kamerama. Digitalni model omogoča pripravo pregledovalnih točk, optimizacijo njihovega zaporedja, preverjanje kolizij in generiranje izvedljivih trajektorij pred dejansko izvedbo procesa.

Industrijski demonstrator potrjuje nadaljnji prenos razvite rešitve v okolje partnerja MAR. Pregledovalni program se pripravi na podlagi STL-modela obdelovanja, grafični vmesnik pa povezuje generiranje pregledovalnih točk, izvajanje robotske poti, zajem slik in analizo rezultatov. Z uporabo modelov za detekcijo anomalij je poleg avtomatiziranega zajema omogočeno tudi zaznavanje in lokaliziranje površinskih napak.

Demonstracije tako prikazujejo celoten razvojni prehod od algoritmov za optimizacijo in digitalnega načrtovanja do industrijsko uporabnega sistema za pregled celotne površine obdelovanja. Hkrati potrjujeta, da se lahko ista osnovna robotska celica prilagodi različnim

izdelkom in zahtevam pregleda predvsem z digitalno pripravo novega programa ter spremembo konfiguracije kamer.

2.4 Prispevki partnerjev pri prvem primeru uporabe

IJS-E1 je razvil metode za generiranje pregledovalnih poz, optimizacijo zaporedja zajemov, načrtovanje poti brez trkov in časovno parametrizacijo trajektorij. Prispeval je tudi digitalni model laboratorijske celice, integracijo okolij RBS in OMPL ter razvoj in validacijo eno- in dvokamernega pristopa z uporabo fleksibilnega monopoda.

MAR je razvil in industrijsko integriral sistem za pregled celotne površine obdelovanca. Njegov prispevek je obsegal razvoj grafičnega vmesnika MarovtGUI, pripravo postopka za generiranje pregledovalnih točk iz STL-modela, izvedbo robotskega zajema slik ter vključitev globokih nevronske mreže za detekcijo in lokalizacijo površinskih anomalij.

3 Več operacij sestavljanja v rekonfigurabilni robotski celici

Drugi primer uporabe obravnava izvajanje več montažnih operacij v modularni in rekonfigurabilni robotski celici. Prikazana sta laboratorijski demonstrator, ki poudarja agilno rekonfiguracijo strojne in programske opreme pri robotskem vijačenju, ter industrijski demonstrator, ki združuje mobilno platformo, strojni vid, različna procesna orodja in rekonfigurabilna vpenjala v celovit montažni proces.

3.1 Laboratorijski demonstrator: Rekonfigurabilno robotsko vijačenje z modularno strojno in programsko opremo

Posnetek demonstracije (Lab_Demo_Vijacenje.mp4) prikazuje avtomatizirano robotsko vijačenje v modularni in rekonfigurabilni delovni celici. Glavni poudarek je na hitri prilagoditvi celice različnim izdelkom in procesnim korakom z uporabo modularnih miz, aktivnega gnezda, globinske kamere, avtomatskega menjalnika orodij ter industrijskega vijačnika z avtomatskim podajalcem vijakov.

Demonstracija se začne s sklopitvijo modularnih miz, ki sestavljajo delovno okolje za vijačenje. Posamezne mize predstavljajo samostojne funkcionalne module in omogočajo hitro povezovanje ter preureditev celice. S tem je že na začetku posnetka prikazana mehanska modularnost sistema.

Robot nato s pomočjo avtomatskega menjalnika orodij prime aktivno gnezdo in ga prenese iz odlagalnega mesta v delovni položaj. Aktivno gnezdo je zamenljiv procesni modul, ki ga robot samostojno vključi v celico. Po namestitvi operater vstavi obdelovanec, gnezdo pa ga samodejno vpne in pripravi za nadaljnjo obdelavo.

V naslednjem koraku robot vpne globinsko kamero in izvede lokalizacijo obdelovanca. Na podlagi zajetih globinskih podatkov sistem določi natančno lego kosa in položaje lukenj

za vijačenje. Takšen pristop omogoča, da robotski program ni odvisen izključno od idealno ponovljivega mehanskega pozicioniranja obdelovanca, temveč se prilagodi njegovemu dejanskemu položaju v gnezdu.

Po uspešni lokalizaciji robot kamero odloži in vpne industrijski vijačnik z avtomatskim podajalcem vijakov. Nato izvede vijačenje na zaznanih mestih. Vijačnik omogoča nadzor procesnih parametrov, kot so končni navor, kot oziroma število obratov in uspešnost posameznega vijačnega cikla. Po končanem procesu robot orodje odloži.

V nadaljevanju operater v aktivnem gnezdu prvi obdelovanec zamenja z drugim tipom kosa. Robot ponovno vpne globinsko kamero, določi lego novega izdelka in pripadajoče vijačne točke, nato pa kamero zamenja z vijačnikom ter izvede prilagojen vijačni cikel. S tem posnetek pokaže, da lahko ista celica podpira različne izdelke brez spremembe osnovne mehanske postavitve. Prilagoditev poteka predvsem z izbiro ustreznega programa, zaznavanjem dejanske lege izdelka in spremembo procesnih parametrov.

Po zaključku drugega vijačnega procesa robot odloži industrijski vijačnik in iz delovne celice odstrani aktivno gnezdo. Demonstracija se zaključi z odklopom mize za vijačenje in mize z gnezdom, s čimer je ponovno prikazana možnost hitre mehanske rekonfiguracije celotnega delovnega okolja.

Posnetek tako povezuje več ravni modularnosti in rekonfigurabilnosti. Mehansko modularnost predstavljajo modularne mize, aktivno gnezdo in avtomatski menjalnik orodij. Procesna rekonfigurabilnost se kaže v podpori različnim izdelkom in vijačnim vzorcem, senzorska v uporabi globinske kamere za sprotno lokalizacijo, programska pa v ločenih modulih za krmiljenje robota, vpenjanja, kamere, podajalnika in vijačnika. Takšna arhitektura omogoča prilagajanje proizvodnim zahtevam brez celovite predelave sistema.

3.2 Industrijski demonstrator: Izvedba več industrijskih nalog v rekonfigurabilni robotski celici

Posnetek demonstracije (Industrijski_Demo_Vijacenje.mp4) prikazuje izvedbo več industrijskih montažnih operacij z uporabo mobilnega manipulatorja in rekonfigurabilne delovne celice. V okviru D6.3 je glavni poudarek na prilagodljivosti delovnega mesta, uporabi modularnih procesnih orodij, rekonfigurabilnih vpenjal ter povezovanju strojnega vida z različnimi koraki sestavljanja.

Na začetku posnetka operater pripravi montažni proces tako, da obdelovanec namesti v rekonfigurabilno vpenjalo in vstavi reduktor v predvideno montažno mesto. Operater tako izvede začetno pripravo sestavnih delov, robotski sistem pa nato prevzame avtomatizirano izvajanje nadaljnjih procesnih korakov. Uporaba rekonfigurabilnega vpenjala omogoča prilagajanje delovnega mesta različnim obdelovancem in izvedbam montažnega procesa brez izdelave nove namenske celice.

Mobilni robot se nato pripelje do delovne postaje in se ustrezno pozicionira za izvedbo naloge. Mobilna platforma omogoča, da isti robotski sistem po potrebi podpira različna procesna mesta, v okviru tega demonstratorja pa predstavlja način vključevanja robotskega manipulatorja v rekonfigurabilno delovno celico.

Po pozicioniranju sistem strojnega vida preveri pravilnost vpetja obdelovanca na podlagi zaznanega položaja vpenjalne ročice. S tem se pred začetkom avtomatiziranega procesa potrdi, da je obdelovanec pravilno nameščen in ustrezno fiksiran. Strojni vid tako omogoča

prilagajanje dejanskemu stanju delovnega mesta in zmanjšuje odvisnost od popolnoma ponovljivega ročnega vstavljanja.

V nadaljevanju robot izvede rokovanje z orodjem za nanos tesnilne mase. S pomočjo strojnega vida določi mesto pobiranja orodja, ga prevzame ter preveri medsebojni položaj sestavnih delov in območja predvidenega nanosa. Nato izvede zahtevano trajektorijo nanosa tesnilne mase. Po zaključku orodje odloži, sistem strojnega vida pa ponovno preveri uspešnost izvedenega procesa.

Naslednji korak predstavlja avtomatizirano vijačenje. Robot prevzame industrijski vijačnik s podajalnikom vijakov, strojni vid pa določi mesta vijačenja na obdelovancu. Na podlagi zaznanih položajev robot izvede posamezne vijačne operacije in po zaključku vijačnik odloži na predvideno mesto.

V zaključnem delu posnetka je prikazana menjava obdelovanca in prilagoditev delovnega mesta drugi izvedbi montažnega procesa. Rekonfigurabilna vpenjala, modularna procesna orodja in zaznavni sistem omogočajo prehod med različnimi obdelovanci ter operacijami brez celovite spremembe osnovne arhitekture celice.

Posnetek tako prikazuje integrirano izvedbo več procesnih korakov: pripravo in vpenjanje obdelovanca, preverjanje s strojnim vidom, pobiranje in menjavo orodij, nanos tesnilne mase, vijačenje ter menjavo obdelovanca. Demonstrator potrjuje, da je mogoče v skupni rekonfigurabilni delovni celici povezati različna procesna orodja in montažne naloge ter jih prilagajati trenutnemu izdelku in zahtevam procesa.

3.3 Povezava demonstracij z načrtovanimi aktivnostmi drugega primera uporabe

Oba demonstratorja potrujeta izvedbo drugega primera uporabe D6.3, ki obravnava več operacij sestavljanja z uporabo mobilne platforme in rekonfigurabilne delovne celice. Laboratorijski demonstrator poudarja modularnost in hitro rekonfiguracijo vijačne celice, industrijski demonstrator pa povezavo mobilnega manipulatorja, strojnega vida, rekonfigurabilnih vpenjal in več procesnih operacij.

Vsebina se navezuje predvsem na aktivnost A6.3 – Mobilni roboti v rekonfigurabilni celici za avtomatsko montažo. Laboratorijski posnetek prikazuje modularne mize, aktivno gnezdo, avtomatsko menjavo orodij in prilagajanje vijačenja različnim obdelovancem. Industrijski posnetek pa pokaže vključitev mobilnega manipulatorja v delovno postajo ter izvedbo več zaporednih operacij sestavljanja.

Povezava z aktivnostjo A6.4 – Logistika za avtomatsko montažo v rekonfigurabilnih celicah je vidna predvsem v industrijskem demonstratorju, kjer se mobilni robot samostojno pripelje do delovne postaje, se pozicionira in izvede zahtevane naloge. S tem lahko isti robotski sistem podpira več procesnih mest.

Laboratorijski demonstrator se povezuje tudi z aktivnostjo A6.2 – Optimalno vodenje robotov v fleksibilnih proizvodnih celicah, saj manipulacija aktivnega gnezda, menjava kamere in vijačnika ter prehod med različnimi izdelki zahtevajo prilagoditev zaporedja operacij in robotskih trajektorij.

Posnetka skupaj prikazujeta prehod od laboratorijsko validirane modularne vijačne celice do industrijsko relevantnega sistema za več operacij sestavljanja.

3.4 Prispevki partnerjev pri drugem primeru uporabe

IJS-E1 je razvil laboratorijski demonstrator rekonfigurabilnega robotskega vijačenja, vključno z modularnimi mizami, aktivnim gnezdrom, avtomatsko menjavo orodij ter integracijo industrijskega vijačnika s podajalnikom vijakov. Prispeval je tudi metode za načrtovanje gibanja in programsko povezovanje posameznih modulov celice.

YAS je pripravil industrijski primer uporabe z mobilnim manipulatorjem, rekonfigurabilnim delovnim mestom in več procesnimi operacijami. Njegov prispevek je obsegal integracijo robotskega sistema, strojnega vida, procesnih orodij za nanos tesnilne mase in vijačenje ter izvedbo demonstracije v industrijsko relevantnem okolju.

4 Zaključek

Rezultat D6.3 prikazuje uspešno izvedbo dveh primerov uporabe rekonfigurabilnih robotskih celic: vizualnega nadzora kakovosti ter več operacij sestavljanja. Pri obeh sta predstavljena laboratorijski demonstrator in industrijska izvedba, s čimer je prikazan prehod od razvoja metod in integracije posameznih modulov do validacije v industrijsko relevantnem okolju.

Demonstratorski posnetki potrjujejo povezovanje robotskega gibanja, strojnega vida, digitalnega načrtovanja, modularnih miz, vpenjal in procesnih orodij v prilagodljive proizvodne sisteme. Rezultati izkazujejo, da je mogoče isto osnovno robotsko infrastrukturo prilagajati različnim izdelkom, konfiguracijam kamer in montažnim postopkom brez celovite predelave delovne celice.