

PROGRAM GOSTOP – GRADNIKI, ORODJA IN SISTEMI ZA TOVARNE PRIHODNOSTI

Igor Kovač, Vladimir Jovan, Aleš Ude, Aleš Hančič, Dragan Kusić, Janez Štrancar

Izvleček:

Program GOSTOP – Gradniki, orodja in sistemi za tovarne prihodnosti, ki ga koordinira Institut Jožef Stefan, je trenutno največji program v Sloveniji. Podpirajo ga Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije, Evropski sklad za regionalni razvoj EU in slovenska industrija. Je v osrednji fazi, ko zastavljeni osnutki in koncepti v skladu s programom prehajajo iz raziskovalne v eksperimentalno fazo. V trinletnem programu združujemo raziskovalne skupine iz trinajstih podjetij in šestih raziskovalnih organizacij, ki imajo kompatibilne raziskovalnorazvojne programe na področju pametnih tovarn. Upoštevajoč slovensko strategijo pametne specializacije, ki jo je pripravila SVRK, kot tudi strategijo razvoja koncepta pametnih tovarn, ki se uveljavlja v EU in jo na primer promovira evropsko združenje EFFRA, izvajamo dela na področjih, na katerih Slovenija lahko doseže pomembne preboje v bližnji prihodnosti: tehnologije vodenja, orodjarstvo, robotika in fotonika. S tem v programu GOSTOP tudi združujemo del horizontalnih mrež (omogočitvenih tehnologij) iz strategije pametne specializacije Slovenije na področju pametnih tovarn in vključujemo vertikalne verige vrednosti, da pridemo do novih produktov, storitev in tehnologij, s katerimi bo slovenska industrija izboljšala svojo konkurenčnost. V prispevku bomo prikazali nekatere izvlečke iz dela aktivnosti znotraj posameznih stebrov programa, katerih uspešna izvedba bo prispevala k dvigu dodane vrednosti in k povečanju izvoza.

Ključne besede:

tovarne prihodnosti, pametne tovarne, tehnologije vodenja, robotika, orodjarstvo, fotonika

Uvod

Program GOSTOP – *Gradniki, orodja in sistemi za tovarne prihodnosti* je zbral slovenska raziskovalna in inovacijska znanja ter izkušnje iz industrijske in akademske sfere z namenom, da uvrsti Slovenijo med ugledne evropske ponudnike izdelkov, tehnologij in storitev za tovarne prihodnosti. Kritično maso znanj in kapacitet smo izoblikovali predvsem na tistih tehnoloških področjih, ki imajo v Sloveniji komparativne prednosti in imajo realne možnosti za večjo uveljavitev slovenskega znanja tudi v svetu. V programu sodeluje devetnajst partnerjev. Pet javnoraziskovalnih organizacij (Institut »Jožef Stefan«;

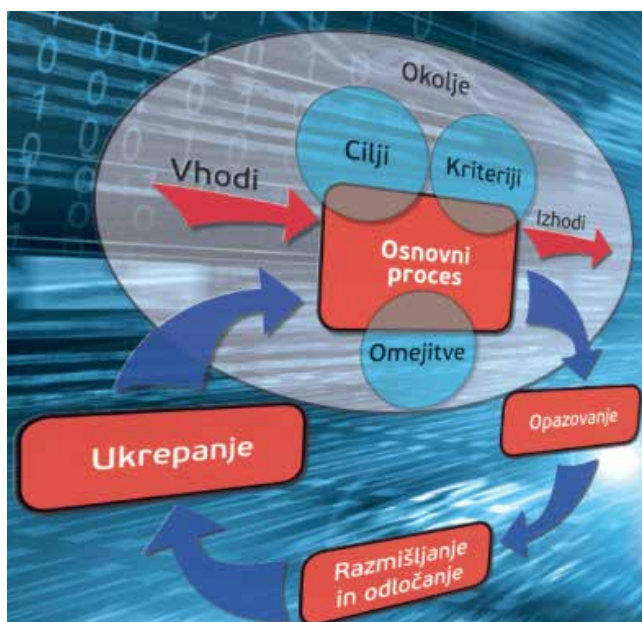
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani; Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani; Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani, in Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru, ter Razvojni center orodjarstva Slovenije TECOS). Iz industrije so vključena tako velika kot tudi srednja in mala podjetja (Kolektor Group, d. o. o., INEA, d. o. o., METRONIK, d. o. o., HIDRIA ROTOMATIKA, d. o. o., YASKAWA Slovenija, d. o. o., PODKRIŽNIK, d. o. o., NELA razvojni center, d. o. o., COSYLAB, d. d., L-TEK, d. o. o., ŠPICA INTERNATIONAL, d. o. o., OPTOTEK, d. o. o., LPKF, d. o. o., in FOTONA, d. o. o.). Program GOSTOP je vreden skupno 9,4 mio EUR, od tega je 5,95 mio EUR sofinanciranja. Sestavljajo ga štirje stebri: tehnologije vodenja, robotika, orodjarstvo in fotonika. Poleg vsebinskega je pomemben tudi personalni vidik programa. V programu so se v začetnem obdobju na večini predlaganih tematik oblikovale povsem nove vsebine, ki so botrovale formiranju novih skupin tako v industrijskem kot tudi v akademskem okolju. To je odlična priložnost, da se pritegnejo novi perspektivni mladi strokovni kadri. Zato smo začetni fazi posvetili še posebno pozornost, saj je sedanje nemoteno delo plod dobro zastavljene zasnove, ki pa ni bila enostavna in je terjala precej truda vseh vpletenih partnerjev.

Doc. dr. Igor Kovač, univ. dipl. inž., **dr. Vladimir Jovan**, univ. dipl. inž., **prof. dr. Aleš Ude**, univ. dipl. inž., vsi Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana;
Dr. Aleš Hančič, univ. dipl. inž., **dr. Dragan Kusić**, univ. dipl. inž., oba TECOS Razvojni center orodjarstva Slovenije, Celje;
Dr. Janez Štrancar, univ. dipl. inž., Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana

V okviru programa GOSTOP so bile opravljene številne predstavitve in nastopi na strokovnih ali sejmskih dogodkih, objavljeni izsledki v obliki domačih in mednarodnih člankov in referatov, prijavljene izboljšave in patenti, novi projekti itd. Beležimo tudi, da se ustvarjajo nove zamisli v obliki novih raziskovalnih in poslovnih povezav tako v domačem kot tudi v mednarodnem okolju, kar nas še posebej veseli. V prispevku so od številnih aktivnosti prikazane samo nekatere, ki so opisane po posameznih stebrih programa GOSTOP. Naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Tehnologije vodenja

Tehnologija vodenja (avtomatizacija, informatizacija, kibernizacija) je izrazito infrastrukturna omogočitelna tehnologija, ki je vključena v praktično vseh sodobnih napravah, strojih, procesih in sistemih. Z uporabo paradigme povratne zanke (slika 1) zagotavlja njihovo funkcionalnost, zanesljivost, varnost in učinkovitost delovanja. Zaradi svoje ključne vloge v končnem sistemu/izdelku je naravni integrator vseh tehnologij, ki nastopajo pri zasnovi in izvedbi novega sistema/izdelka in je eno ključnih področij tovarn prihodnosti.



Slika 1 : Koncept povratne zanke

Gre torej za tipično omogočitelno tehnologijo, ki se uporablja na zelo različnih področjih, med katerimi izstopa uporaba tehnologij vodenja pri razvoju gradnikov, orodij in sistemov za tovarne prihodnosti/pametne tovarne. Koncept pametne tovarne uveljavlja spremembo proizvodne informacijske infrastrukture, kjer so tehnologije vodenja eden osnovnih gradnikov. Na nivoju proizvodnega obrata

bo bistveno povečano število senzorjev in aktuatorjev, krmilniki bodo vsebovali precej več inteligence za možnost samostojnega odločanja. Kot del kibernetskih fizičnih sistemov bodo avtonomno usklajevali delovanje posameznih proizvodnih naprav. Na nivoju operativnega vodenja proizvodnje in na nivoju poslovnega upravljanja proizvodnje se bodo uvedla programska orodja za podporo odločanju in novi inteligentni agenti, ki bodo prevzeli vlogo človeka pri operativnem vodenju proizvodnje.

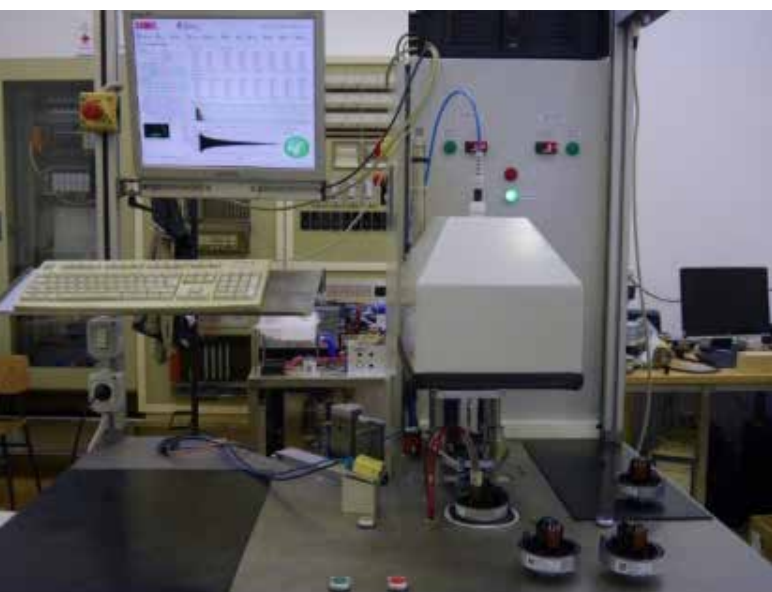
V stebru Tehnologije vodenja kot delu programa GOSTOP sodeluje 11 partnerjev, vključno z najpomembnejšimi raziskovalnimi institucijami, visokotehnološkimi storitvenimi/inženirskimi podjetji s področja tehnologije vodenja in podjetji uporabniki rezultatov, ki delujejo na področju razvoja tehnologije vodenja ali uporabe njenih rezultatov v Sloveniji. Cilj združevanja deležnikov je doseči koncentracijo znanja in kompetenc za skupno izvajanje razvojnoinovativnih projektov, ki bodo s svojimi rezultati omogočili izdelavo novih produktov, tehnologij in storitev, potrebnih za realizacijo koncepta tovarn prihodnosti. Največji poudarek razvojnih raziskav je namenjen:

- ▶ zasnovi novih gradnikov, ki bodo prispevali k močnejši integraciji fizikalnega in digitalnega sveta v tovarnah prihodnosti;
- ▶ razvoju novih postopkov, ki zagotavljajo samodejno in celovito analizo kakovosti izdelkov (z namenom zagotavljanja 100-odstotne kakovosti izdelkov);
- ▶ razvoju novih postopkov adaptivnega vodenja proizvodnje na osnovi modelov, temelječih na rudarjenju proizvodnih podatkov;
- ▶ razvoju platforme za zajemanje podatkov, nadzoru proizvodnega procesa, napovedovanju in sintezi optimalnih ukrepov za učinkovito vodenje proizvodnje.

Dosedanje delo na področju razvoja novih gradnikov za integracijo fizikalnega in digitalnega sveta v tovarnah prihodnosti je razdeljeno na štiri podsklope. Prvi podsklop zajema razvoj modulov za zajem podatkov iz oddaljenih podatkovnih virov, pošiljanje podatkov v »Big Data« center ter prikaz podatkov v okviru spletnih in mobilnih naprav. Drugi podsklop zajema razvoj novega prototipa enote za daljinsko spremljanje procesov, ki bo omogočal prenos podatkov iz industrijskih naprav preko mobilnih omrežij 4. generacije. Tretji podsklop zajema razvoj komponent programskega orodja za samodejno, trajnostno in avtonomno vzdrževanje industrijskih proizvodno-informacijskih sistemov prihodnosti, ki bodo sposobni samodejnih korektivnih ukrepov. Zadnji sklop zajema razvoj nove generacije senzorjev na podlagi zvoka in slike za komunikacijo med človekom in opremo na podlagi interneta stvari.

Novi postopki za celovito avtomatsko analizo kakovosti končnih izdelkov se razvijajo in verificirajo

na demonstracijski liniji za proizvodnjo elektromotorjev v enem izmed slovenskih proizvodnih podjetij (slika 2). Izvedena je zasnova celotne linije za končno kontrolo izdelkov, zasnovane so potrebne strojne komponente, krmilni sistem, programski moduli za obdelavo signalov hrupa in vibracij za potrebe končne kontrole kakovosti, vtičniki za povezavo s sistemom MES (Manufacturing Execution System), agenti za podrobno spremljanje procesnih parametrov in nastavitve stroja ter spletni vtičnik za nadzor procesa transportne linije, ki je poskusno implementiran v obstoječi MES-sistem. Pri zasnovi linije smo kot pomembno vodilo upoštevali trende v okviru koncepta industrija 4.0, kjer je nakazana pomembna smer razvoja proizvodne informatike v smislu sprotnega prilagajanja nastavitve parametrov proizvodnih naprav glede na rezultate kontrole kakovosti končnega izdelka.



Slika 2 : Demonstracijska linija za celovito končno kontrolo elektromotorjev

Pri razvoju novih postopkov adaptivnega vodenja proizvodnje smo za testno demonstracijsko proizvodno linijo elektromotorjev preverili razpoložljiva merilna mesta in možnosti integracije proizvodnih podatkov v enotni sistem, ki bo omogočal spremljanje proizvodnje in njeno adaptivno vodenje. Definirali smo potrebno informacijsko infrastrukturo za zajem in shranjevanje podatkov iz različnih faz proizvodnje. Struktura temelji na principu MessageQueues, ki omogočajo zelo veliko propustnost podatkov. Specificirali smo potrebne strukture informacijskih blokov za prenos podatkov med različnimi informacijskimi podsistemi pri proizvodnji električnih motorjev. Trenutna dela so predvsem na preverjanju koncepta uporabe statističnih podatkov o kakovosti končnih izdelkov ter drugih vplivnih parametrov naprav v proizvodni liniji za optimalno ponastavitev parametrov proizvodnih naprav.



Slika 3 : Podatkovni vmesnik ME-RTU med oddaljeno napravo in nadzornim centrom v fazi komercializacije

Koncept industrija 4.0 predvideva možnost trenutnega dostopa do vseh proizvodnih podatkov v celotni piramidi informacijske infrastrukture proizvodnega podjetja ter njihovo obdelavo s sodobnimi postopki za pridobivanje dodatnih informacij za optimizacijo proizvodnje. Zato v posebnem sklopu aktivnosti razvijamo enotno podatkovno platformo (Enterprise Service Bus), ki bo zagotavljala trenutni dostop do podatkov v različnih podatkovnih bazah in njihovo uporabo v namenskih programskih modulih za nadzor proizvodnega procesa ter napovedovanje in sintezo optimalnih ukrepov za učinkovito vodenje proizvodnje.



Slika 4 : Končna kontrola elektromotorjev

Ocenjujemo, da je že dosedanje delo na aktivnostih v okviru stebra Tehnologije vodenja upravičilo omejena investicijska sredstva države, saj je že več podjetij z novimi komercialnimi pogodbami sklenilo nadaljevati prehod že doseženih razvojnih rezultatov v industrijsko uporabo (sliki 3 in 4).

Robotika

V stebru robotike razvijamo napredne tehnologije, ki so usmerjene k integraciji robotike v tovarne prihodnosti v okviru paradigme industrija 4.0 s ciljem povečanja fleksibilnosti proizvodnje in povečanja stopnje avtomatizacije za višanje produktivnosti in kakovosti izdelkov. Glavni namen je doseči preboje na tistih področjih robotike, na katerih v Sloveniji že obstajajo tako močne raziskovalne skupine kot tudi podjetja. Pregled stanja robotike v Sloveniji je pokazal, da obstajajo znanje in skupen interes raziskovalnih organizacij in podjetij ter potrebe za nadaljnji razvoj predvsem na štirih področjih:

- ▶ adaptivne robotske tehnologije in celice,
- ▶ inteligentni senzorji in pogoni,
- ▶ robotsko podprte laserske obdelave,
- ▶ platforma virtualne tovarne – povezovanje poslovnosti, avtomatizirane proizvodnje, robotike in izdelka na harmoniziran način.

Na področju adaptivnih robotskih tehnologij smo se osredotočili predvsem na fleksibilno prijemanje in manipulacijo, strojni vid in strojno učenje. V teh raziskavah prispevajo svoja znanja na področju strojnega vida ULFRI LUVSS, ULFE LSI in Kolektor, na področju robotike ULFE LR in IJS E1, medtem ko Kolektor in Nela dosežene rezultate prenašata v svoje aplikacije. Naše delo se osredotoča na adaptivno robotsko celico za kontrolo kakovosti izdelkov, s katero želimo izločiti vpliv človeškega faktorja znotraj postopka kontrole kakovosti proizvodov, ki je trenutno sorazmerno velik. Arhitektura celice za pregledovanje kakovosti temelji na programskem okolju KiS (Kolektor Imaging Software), ki ga razvija podjetje Kolektor, in odprtokodnem vmesniku ROS (Robot Operation System). Na ta način zagotavljamo združljivost naprednih metod robotskega vodenja in načrtovanja ter strojnega vida. Naše raziskovalno delo se nanaša na problem detekcije razpoka na podatkih, ki smo jih zajeli v realnih proizvodnih procesih. Za detekcijo napak uporabljamo tako klasične metode strojnega vida kot tudi metode globokega učenja. Prvi rezultati so primerljivi. Za izboljšanje pozicioniranja izdelkov pri kontroli kakovosti razvijamo nove metode in sisteme za oblikovanje prilagodljivih prstov za robotske roke s pomočjo 3D tiskanja. Razvili smo tudi ustrezno strojno opremo za avtomatsko izmenjavo prstov. Natančno pregledovanje površin izdelkov zahteva tudi ustrezno načrtovanje robotskih poti vzdolž površin izdelkov. Razvili smo ustrezne metode za avtomatsko načrtovanje poti pregledovanja iz CAD-modelov izdelkov

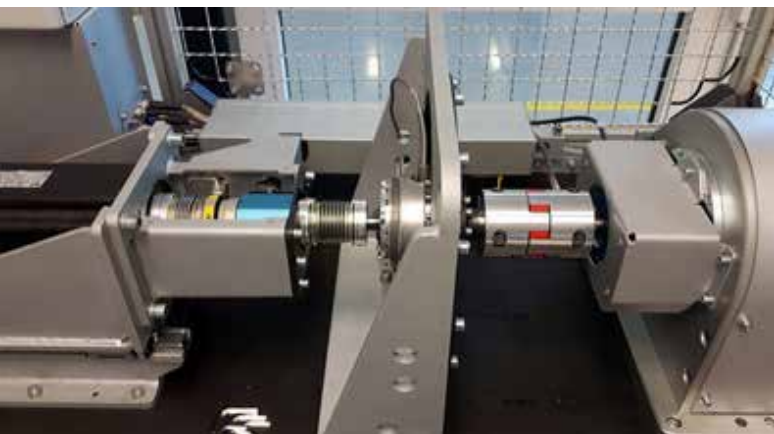
in s pomočjo kinestetičnega vodenja. V tem delu gredo trendi pogonske tehnike predvsem v izdelovanje inteligentnih prenosnih sistemov z algoritmi krmiljenja navora in z že vgrajenim sistemom nadzora in možnostjo predvidevanja vzdrževanja posameznega pogonskega sklopa v celotnem sistemu. Naš cilj je izdelati študijo možnosti uporabe koncepta interneta stvari (angl. Internet of Things – IoT) pri vzdrževanju pogonskih sklopov z enkoderji, senzorji navora in motorji za pogon. Pri tem je vodilno vlogo prevzelo podjetje Podkrižnik, ki razvija nove pogone za napredne robotske roke. Pri razvoju sodelujejo tudi IJS E1 in E2 ter podjetje Nela. V prvi fazi smo postavili koncept pozicionirnega sistema, ki na podlagi ustreznega vodenja in senzorjev dosega željeno delovanje pogonskega sklopa. Z modeliranjem servopogonov, analizo lineariziranih sistemov in uporabo simulacije kompleksnih nelinearnih pogonskih sistemov smo ugotovili, da so ključni faktorji, ki vplivajo na kvaliteto pogonskega sklopa, tj. na natančnost pozicioniranja in sledenja ter obnašanje v kontaktu z okoljem, trenje, zračnost in togost prenosnika. Glede na predvideno osnovno karakteristiko motorja smo zasnovali del pogonskega sklopa za pozicionirni sistem, izdelani pa so bili tudi prvi vzorci senzorja pozicije. V nadaljevanju naših raziskav bomo razvili algoritme, ki so potrebni za spremljanje in nadzor celotnega pogonskega sistema.



Slika 5 : Model sistema za avtomatsko izmenjavo robotskih

V številnih sektorjih industrije in medicine se zaradi visoke natančnosti vnosa energije ter visoke fleksibilnosti vse bolj uveljavljajo laserske tehnologije. Posebno mesto zasedajo robotizirane daljinske laserske obdelave, ki predstavljajo integracijo robotskega manipulatorja z lasersko skenirno optiko. Takšne konfiguracije omogočajo veliko delovno območje, visoko geometrijsko fleksibilnost obdelovancev in ultra kratke čase obdelave, kot so na primer lasersko varjenje, rezanje in mikrostrukturiranje. Raziskave na tem področju izvajata Yaskawa in ULFS KOLT, ki sta razvila laboratorijski prototip laserske obdelovalne skenirne glave z optično povratno zanko. Razvili smo algoritme za sprotno obdelavo video signala z namenom detekcije sočelnega zvarnega roba ter območja laserskega žarka.

Za sprotno 3D vodenje žarka po zvarnem robu smo razvili programski modul za komunikacijo s skenirno glavo po CAN-vodilu ter kalibracijski protokol, ki zagotavlja ustrezno natančnost 3D pozicioniranja gorišča laserskega žarka glede na zvarni rob. Rezultati testiranja so pokazali, da lahko z novim algoritmom dosežemo 2-krat boljšo natančnost in 10-krat hitrejšo odzivnost krmiljenja.



Slika 6 : Preizkuševališče za testiranje motorja in komunikacijskih protokolov

Platforma virtualne tovarne se nanaša na razvoj modela digitalne tovarne, ki je narejen iz več različnih podmodelov. Pri tem izvajamo raziskave na področju inteligentnih algoritmov, simulacije diskretnih dogodkov v realnem času in Plug & Produce vmesnikov z načeli interneta stvari (IoT). S tem bomo omogočili, da bo realizacija naročila izvedena na osnovi samoorganizacije (LEAN), samokonfiguracije (AGIL) in samokontrole kakovosti (TQM) PPS-a z avtomatskim zbiranjem ključnih kazalnikov uspešnosti (KPI) z vsemi elementi digitalne sledljivosti produkta. Takšen pristop bo zagotovil povečanje učinkovitosti proizvodnega procesa v realnem času. V prvi fazi projekta so podjetje Kolektor in raziskovalna partnerja IJS E1 in ULFS LASIM zasnovali model digitalne tovarne in poslovnega sistema za pilotni projekt. Model digitalne tovarne (vključno s podatkovnim modelom) je izdelan v off-line načinu, kar pomeni, da deluje v odprti zanki. Za namen modeliranja poslovnega nivoja je bil v programskem okolju ARIS zgrajen in verificiran metamodel metodologije modeliranja, ki opisuje in definira vse elemente, potrebne za gradnjo modela, kot so pogledi, nivoji, tipi modelov in povezav med posameznimi objekti in modeli ter tipi atributov. Verifikacijo razvitih modelov smo izvedli v programskih okoljih Plant simulation in ARIS.

Orodjarstvo

V okviru stebra orodjarstvo smo partnerji izvedli različne raziskovalne in eksperimentalne aktivnosti.

Te so potekale po načrtu in seznamu senzorike, ki je prilagojena za vgradnjo v pametna orodja z načinom priklopa in načinom vpisa korekcijskih faktorjev ter vgradnji industrijske senzorike v prototipna orodja za tlačni liv in brizganje plastike. Za navedene aktivnosti smo izvedli preliminarne testiranja v laboratorijskem okolju. Med drugim smo izvedli analizo potencialnih možnosti vgradnje senzorike za meritve pretoka in temperature v napravi za gretje orodja. Partnerji so se osredotočili na testiranja temperatur in tlakov v orodju za tlačni liv, pri čemer so prvi preizkusi prikazali ustreznost merilnih elementov in merilne opreme za analizo temperatur in tlakov v livarskem orodju. Podobne meritve so bile opravljene še na orodju za brizganje plastike.

V nadaljevanju so potekale aktivnosti na raziskavah vpenjalnih naprav za robustno vpenjanje orodij kot tudi pripadajočih izdelkov, na katerih se bodo izvajale dimenzijske kontrole kosov iz proizvodnje.

Na področju brizgalnih strojev smo se partnerji osredotočili na zajem proizvodnih podatkov, pregled industrijskih standardov za izmenjavo podatkov ter testiranje različnih signalov (robot, orodje itd.) s pomočjo razvitega integriranega vmesnika.

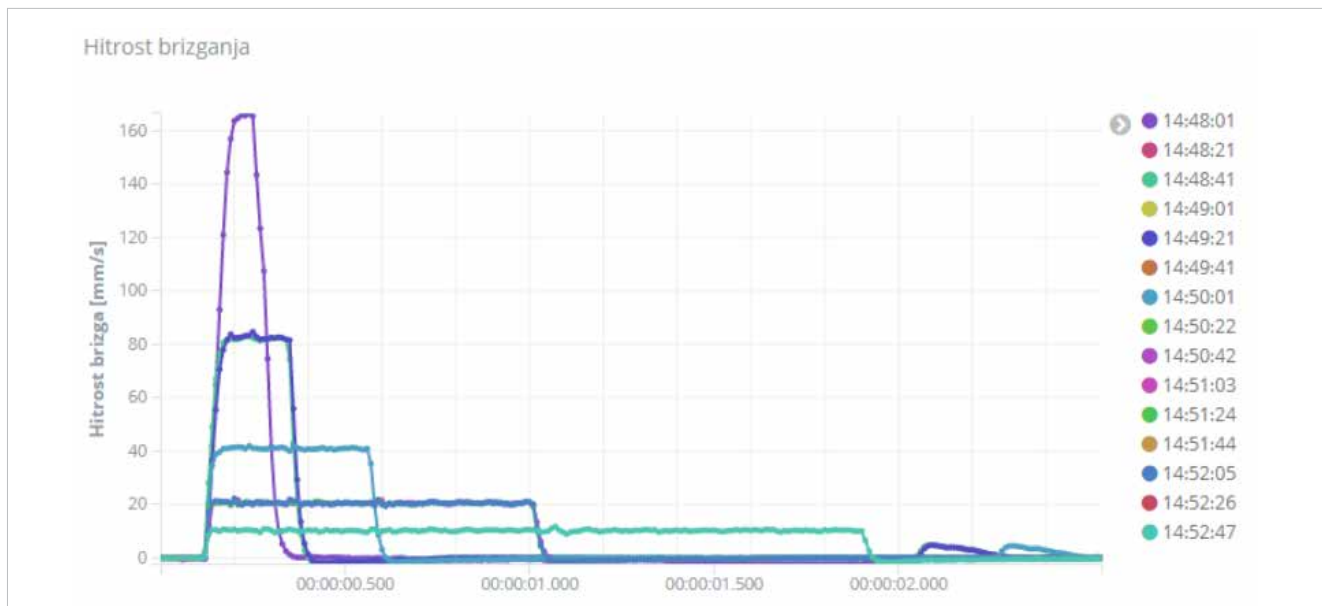
Prav tako smo izvedli modifikacijo elektronskih vezij za bolj natančen zajem temperatur v proizvodnem okolju in testiranje grafičnega uporabniškega vmesnika za prikaz stanja stroja. Definirane so bile podatkovne strukture za industrijski krmilnik za zajem in pripravo podatkov iz brizgalnega stroja v realnem času za potrebe vizualizacije proizvodnega procesa ob upoštevanju smernic standarda OPC UA.

Predhodno smo izvedli primerjavo tehničnih lastnosti komunikacije OPC UA s predvidenimi tehničnimi zahtevami realnočasnega prenosa podatkov v IoT-oblak iz pametnih strojev in linij, opravili primerjalno analizo komunikacije MQTT in OPC UA z upoštevanjem tehničnih zahtev za prenos in pripravo testnega okolja za prenos podatkov IIoT-senzorjev v IoT-oblak z uporabo komunikacije MQTT in OPC UA.

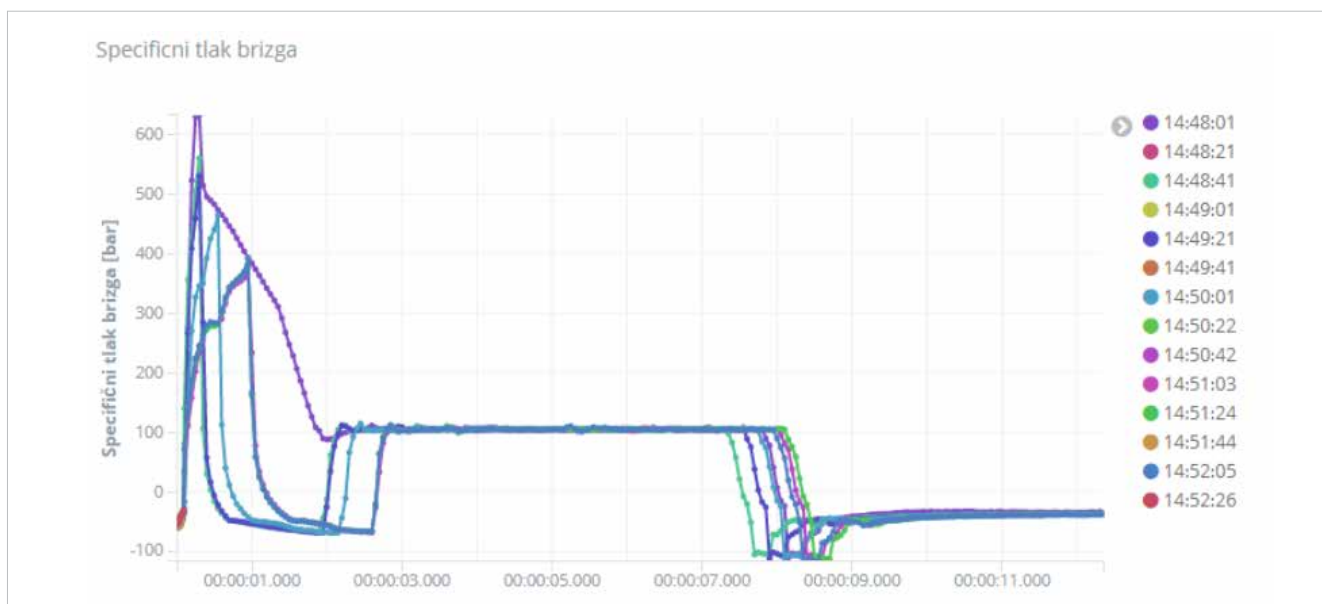
Izvedli smo analizo sodobnih konceptov IoT/IIoT za standardizirani vmesnik za prenos podatkov iz oblaka v sistem MES/MOS za upravljanje proizvodnje skladno s smernicami industrije 4.0. Primer zajetih signalov iz dejanske proizvodnje je prikazan na slikah 7 in 8.

V nadaljevanju smo testirali posamezne funkcionalnosti inteligentnega managementa orodij, dodatno pregledali različne koncepte in standard ter določili nove funkcionalnosti za inteligentni management orodij.

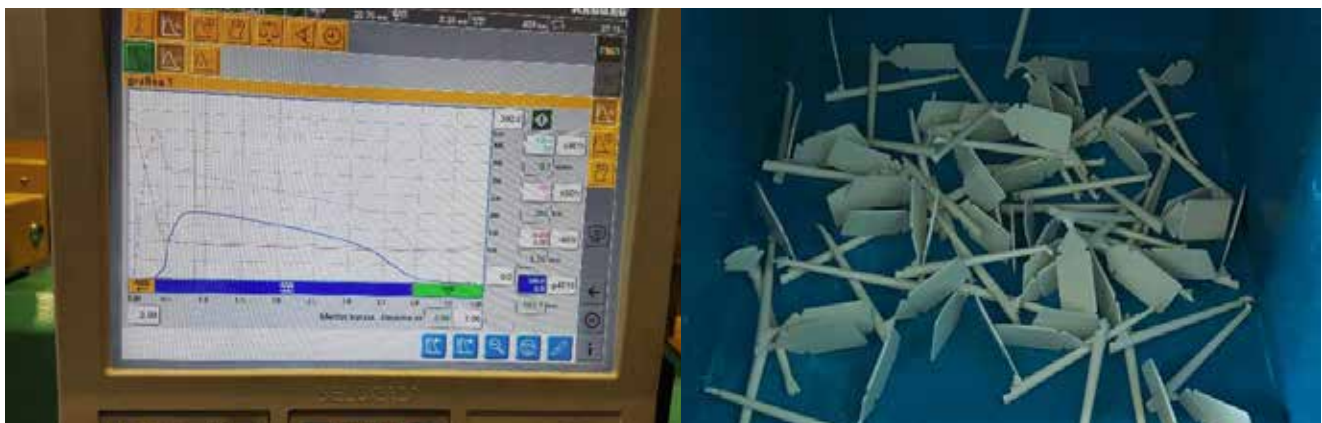
Na področju tlačnega liva smo izvedli sistematične karakterizacije prevlek z različnimi tehnikami. Opravljene so bile simulacije livnih pogojev s spremenjenim dolivnim sistemom na orodju, preliminarne



Slika 7 : Primer zajetih profilov hitrosti brizganja, ki so shranjeni v lokalnem oblaku



Slika 8 : Primer zajetih profilov specifičnega tlaka brizganja, ki so shranjeni v lokalnem oblaku



Slika 9 : Prikaz meritve tlačne krivulje pri brizganju testnih ploščic

tlačne meritve na orodju za tlačno litje, ovrednotenje nanese prevleke ter izvedene dodelave konstrukcije orodja za tlačni liv.

Zadnje in najpomembnejše aktivnosti v stebru orodjarstvo so potekale na vzpostavitvi pilotne proizvodne linije s pametno platformo, kjer smo zasnovali primerno konstrukcijo pilotne proizvodne linije, krepili digitalnega dvojčka v virtualnem okolju, zagotovili digitalno sledenje produktov in posameznih proizvodnih faz. V nadaljevanju bo sledila še vzpostavitev prediktivnega vzdrževanja orodij z upravljanjem procesa naročanja in/ali skladiščnega poslovanja.

Fotonika

Fotonika prenaša vzpostavljane okolja medsebojno dopolnjujočih se aktivnih elementov na nivo sistema, ki ga spreminja na daljavo s pomočjo svetlobe oz. paketov energije. Pri tem je sistem lahko elektronsko vezje ali bolnikovo telo, v vsakem primeru obsežna 3D struktura, ki se na kompleksen način odziva na vnos energije. Nadzor nad spreminjanjem mora potekati nedestruktivno in brezkontaktno, torej na daljavo in v realnem času. Cilj je torej vzpostaviti visoko prilagodljive laserske sisteme, ki omogočajo krmiljenje v realnem času, in to tako za industrijske obdelovalne sisteme kot za terapevtske sisteme. Na ta način se lahko vnos energije natančno nadzoruje, kar poveča stopnjo učinkovitosti, natančnosti in varnosti.

Na prvi pogled se zdi, kot da ima industrijsko procesiranje materialov povsem drugačne zahteve kot procesiranje tkiv med terapevtskimi postopki v medicini. A izkaže se, da obe vrsti sistemov potrebuje ta laserske izvore s podobnimi lastnostmi in s tem s sorodnimi shemami krmiljenja in nadzora. Tudi detekcijski sistemi, ki analizirajo oz. diagnosticirajo sistem, so podobni, saj uporabljajo enake koncepte preiskovanja, s katerimi brezkontaktno analizirajo lastnosti sistema, ki ga spreminjajo. Celo senzorska elektronika in krmilna logika izkoriščata podobne sodobne digitalne pristope, vključno s sistemi strojnega učenja in umetne inteligence. Zato ne preseñeča, da so razvojne aktivnosti obeh, sicer različnih gospodarskih panog, vendarle povezane.

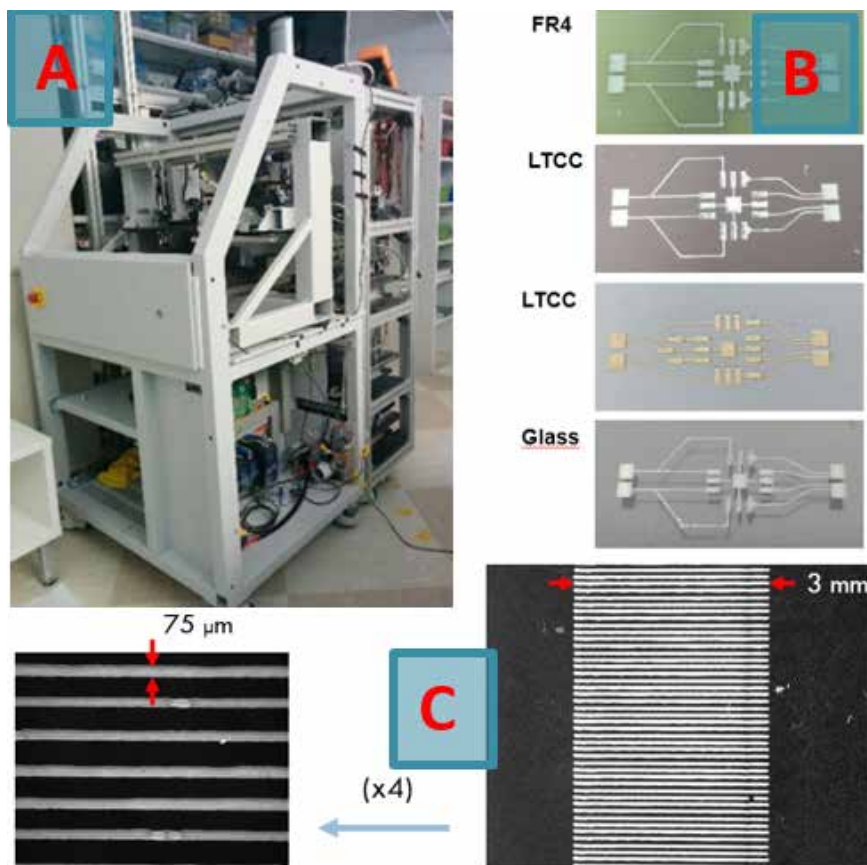
Tudi v programu GOSTOP zato razvojne aktivnosti stebra Fotonika, npr. razvoj laserskih virov in metod karakterizacije snovi, ki se izvajajo v skupinah na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani ter na Institutu Jožef Stefan, podpirajo tako industrijo procesiranja materialov in elektronskih sistemov, kjer je predstavnik podjetje LPKF, kot sodobne terapevtske postopke, ki jih z razvojem naprednih laserskih sistemov omogočata podjetji Fotona in Optotek. Tudi razvoj diagnostičnih sistemov in algoritmov podpira obe panogi, zato so programi, kakršen je GOSTOP, za fotonsko industrijo še posebej pomembni. Nenazadnje poglobljajo povezave med raziskovalnimi skupinami na univerzah in insti-

tutih ter razvojnimi skupinami v podjetjih, prepletanje med posameznimi omogočitenimi tehnologijami, kar na dolgi rok vodi v povečevanje dodane vrednosti in konkurenčnosti.

Ker je obdelava materialov ali terapija organov najmočnejše odvisna prav od lastnosti svetlobnih snov in snopov, je logično, da se ves razvoj začne pri izvorih. V okviru teh aktivnosti so se raziskovalci in razvojniki spoprijeli z izzivom razvoja novih nano- in subnanosekundnih pulznih izvorov s popolnoma prilagodljivimi zaporedji svetlobnih pulzov (vlakenski in hibridni izvor) ali s pulzi velikih energij (trdninski izvor) kot tudi novih laserskih izvorov z dobro definirano vdorno globino za natančno kontrolirano ablacijo organske snovi (del tehnologije ILOOP). Razvoju izvorov so seveda sledile aktivnosti razvoja aplikacij in spremljajoče podporne opreme (elektronike, programske opreme, protokolov, prenosnih sistemov ipd.).

Kontrola obdelave je seveda močno odvisna od kontrolno-nadzornih sistemov, ki informacije o snovi ali tkivu, ki ga spreminjamo s svetlobo, pridobivajo iz naprednih diagnostičnih sistemov. Pri tem ne gre zgolj za mrežo senzorjev, temveč za sklopljene slikovne in spektralne analize, ki se v realnem času uporabljajo za nadzor laserskih sistemov. Tako se je konzorcij usmeril v razvoj sistemov za merjenje temperaturnih polj, vključno z algoritmi za obdelavo termografskih in barvnih meritev, avtomatskim fokusiranjem, nadzorom moči in doz ter diagnostiko defektov v snovi oz. tkivih. Za razumevanje spremljajočih pojavov so morale raziskovalne skupine izvesti tudi raziskave na nižjih tehnoloških ravneh, npr. modelirati pričakovane učinke in temperaturne odzive ter analizirati odzive tkiv ter anorganskih snovi na različne laserske sunke, še posebej tiste pri visokih energijah in izjemno velikih hitrostih laserskega procesiranja (tehnologije LTP).

Z boljšim razumevanjem se potem skupine lotijo izdelave demonstratorjev novih tehnologij. Med njimi trenutno prednjačijo aktivnosti pri razvoju ILOOP-tehnologij za inteligentno terapijo nehomogenih organskih površin (izvori, sistemi, napajanje, elektronika, krmiljenje, uporabniški vmesnik), LTP-tehnologij za lasersko transferno tiskanje in hitro prototipiranje (izvori, skenerji, protokoli, sinhronizacija ipd.) ter tehnologijo SafetyInside za povečanje varnosti laserskih terapij in izboljšano diagnostiko v oftalmologiji (izvori in tehnike avtomatskega fokusiranja, diagnostika na osnovi mikrospektralne analize). Predstavljenih je bilo več demonstratorjev različnih faz omenjenih tehnologij, nekatere so trenutno že v fazah prototipov ali celo kliničnih testiranj. Med testiranjem in prvo uporabo demonstratorjev so se prav zaradi novih povezav med partnerji porodile tudi nove aplikacije, npr. novo razvitih izvorov. Na podlagi teh aktivnosti so trenutno zagnane nove aktivnosti na področju uporabe laserskih izvorov za različne namene v isti napravi (npr. za diagnostiko in terapeviko).



Slika 10 : Laboratorijski prototip za ultrahitro lasersko transferno tiskanje LTP (A) s primeri preliminarne testa tiska na osnovi LTP za uporabo v elektroniki na različnih substratih: FR4, ki se uporablja za tiskana vezja, keramika LTCC in steklo (B) ter s primerom ultrahitrega visokonatančnega tiskanja LTP



Slika 11 : Demonstracija delovanja termalnega nadzor-nega modula za laserske medicinske posege - ILOOP. Sistem uporablja termalno in barvno kamero za sprotni prikaz in analizo lasersko tretirane kože

Sklep

Program GOSTOP obravnava problematiko pametnih tovarn, v Evropi znano tudi kot koncept tovarn prihodnosti oziroma industrija 4.0. Področje je uvrščeno med prioriteta področja slovenske strategije pametne specializacije S4. Program GOSTOP je trenutno na polovici, izvajajo se osrednje faze po-

sameznih aktivnosti. V programu GOSTOP sodeluje 19 partnerjev iz trinajstih slovenskih podjetij in šestih raziskovalnih organizacij s kompatibilnimi raziskovalnorazvojnimi programi na področju tovarn prihodnosti.

Predstavljen je izsek do sedaj opravljenega dela z vmesnimi rezultati programa GOSTOP po posameznih stebrih. Delo poteka v skladu s planom, v nekaj primerih pa se na osnovi doseženih vmesnih rezultatov programa vzpostavljajo tudi nova partnerstva v obliki dodatnih raziskovalnih in komercialnih povezav tako znotraj kot tudi zunaj konzorcija. Pomembno je tudi izpostaviti, da ob programu GOSTOP, predvsem v industriji, vzporedno nastajajo številne nove sodelujoče raziskovalne skupine. S tem se ustvarjajo dodatna vlaganja in omogoča dodaten prenos znanj in dosežkov programa tako na raziskovalno kot tudi na področje industrijske komercializacije. Za vrhunski izdelek ali storitev pa potrebujemo tudi vrhunske raziskovalne kompetence, kapacitete in znatna vlaganja s poudarkom na kontinuiteti, saj mora programe, kot je GOSTOP (TRL 3 do 6), nujno podpirati država.

Na delovnih srečanjih konzorcija vedno znova poudarjamo pomen tovrstnega programa za slovensko industrijo in za Slovenijo nasploh. Aktivnosti programa, ki so prvenstveno namenjene industrijskim raziskavam, so zasnovane povsem na novo in obetajo dobro podlago za nadaljevanje v okviru

eksperimentalnega razvoja, ki s časom vodi v povsem nov produkt ali storitev. Temu bi kot logično nadaljevanje programa GOSTOP morale slediti aktivnosti v obliki projektov komercializacije. Zato program budno spremlja in podpira tudi strateško razvojno-inovacijsko partnerstvo (SRIP), tovarne prihodnosti. Skupaj z industrijskimi in raziskovalni partnerji izražamo pričakovanje in apeliramo na Službo Vlade Republike Slovenije za razvoj in evropsko kohezijsko politiko (SVRK) in Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport (MIZŠ), da tudi v prihodnje nadaljujeta z omenjenim programom ter namenita še znatnejša sredstva za kontinuiteto in razširitev dela tako na tem kot tudi na novih programih S4, še posebno na področju tovarn prihodnosti.

Program GOSTOP - Building Blocks, Tools and Systems for Factories of the Future

Abstract:

The program GOSTOP - Building blocks, tools and systems for factories of the future, coordinated by the Jožef Stefan Institute, is currently the largest Program in Slovenia and is supported by the Republic of Slovenia, the Ministry of Education, Science and Sport, the European Union, the European Regional Development Fund and Slovenian industry. The Program is in the central stage, when the planned drafts and concepts are transferred from the research to the experimental phase. The three and a half year Program brings together research teams from thirteen companies and six research organizations with compatible research and development programs in the smart factories area. Taking into account the Smart Specialisation Strategy of Slovenia prepared by the SVRK, and the priorities of the Factories of the Future roadmap under Horizon2020 prepared by the European association EFFRA, we are working on four areas in which decisive breakthroughs can be achieved in Slovenia in the near future: control technologies, toolmaking, robotics and photonics. This means that in GOSTOP Program, we combine the majority of the horizontal networks (enabling technologies) pinpointed by the Smart Specialization Strategy of Slovenia documents for the Factories of the Future area and integrate vertical value chains to reach new products, services and technologies with which the Slovenian industry will improve its competitiveness. In the paper, we show some extracts from the working activities within the individual pillars of the Program. The successful implementation will contribute to raising both the added value and the export volume of the participating companies and Slovenian industry at large.

Keywords:

Factories of the Future, Smart Factories, Control Technologies, Robotics, Toolmaking, Photonics

časopis
industrija

**Vaša sigurna pot
do tržišča v Srbiji**



**Promovišite svoj posao i predstavite
Vašu kompaniju**
**Najnovije vesti, intervjui, reportaže
sa sajmova u Srbiji i regionu,
predstavljanje kompanija, sve na
jednom mestu.**

www.industrija.rs
www.facebook.com/casopis.industrija

Pokličite nas:
ČASOPIS INDUSTRIJA
Lazara Kujundžića 88,
11030 Beograd, Srbija

tel/fax. + 381 11 305 88 22
mob. + 381 60 344 84 28
e-mail: office@industrija.rs