

# RAZVOJ KONCEPTA PAMETNE CELICE ZA PESKANJE

Miha Pipan, Niko Herakovič, Marjan Kelvišar, Simon Strnad

Laboratorij LASIM je skupaj s podjetjem IMP Armature, d. o. o., razvil koncept distribuirane pametne tovarne na primeru celice za peskanje, ki bo služil podjetju kot ključno vodilo za digitalizacijo ostalih procesov v proizvodnji. Razvoj koncepta je temeljil na tesnem sodelovanju obeh partnerjev, kjer je bila ključna izvedba delavnic s strokovnjaki za pametne tovarne laboratorija LASIM in celotnim spektrom strokovnjakov podjetja IMP Armature, d. o. o. (delavcev v peskalnici, vodja oddelka, IT-strokovnjakov in strokovnjakov na področju vitke proizvodnje). Rezultat je definiran način digitalizacije peskalnice z IIoT-tehnologijo in vodenje procesov z lokalnim digitalnim dvojčkom.

## Opis podjetja in stanje digitalizacije

Na evropskem tržišču je podjetje IMP Armature, d. o. o., poznano kot kvaliteten proizvajalec industrijskih armatur. Proizvodni program obsega industrijske armature za sisteme s pitno in industrijsko vodo, za potrebe podjetij s področja živilskopredelovalne industrije, ladjedelništva, ogrevalne tehnike in protipožarnih sistemov ter za vrsto drugih namenov. Kvaliteta armatur izhaja iz več kot štiridesetletne tradicije in bogatih izkušenj lastnega razvoja. Glavni cilj podjetja IMP Armature je še nadaljnje izboljševanje kakovosti izdelkov ter storitev. Stalno investirajo v nove tehnologije tako na področju inovacij in razvoja kot v proizvodnji in organizaciji delovnih procesov.

Podjetje IMP Armature je že pred leti začelo uvajati koncept vitke proizvodnje (LEAN), ki je osnova za uspešno digitalizacijo, kajti digitalizacija lahko povzroči več nevšečnosti kot koristi, če digitaliziramo tudi izgube podjetja zaradi slabo organiziranih procesov. Podjetje je implementiralo tudi pametne tehnologije (sistem ERP - Enterprise Resource Planning, povezan z delovnimi mesti in procesi za spremljanje DN-jev in kakovosti, ki ga nadzira globalni digitalni dvojček). Sedaj načrtuje izboljšavo procesov in implementacijo načel industrije 4.0 s poudarkom na postavitvi dodatnih IT-komunikacijskih povezav za izmenjavo podatkov med stroji, procesi, montažo in logistiko za lokalno vodenje

**Dr. Miha Pipan**, univ. dipl. inž., **prof. dr. Niko Herakovič**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; **Marjan Kelvišar**, univ. dipl. inž., **Simon Strnad**, univ. dipl. inž., oba IMP Armature, d. o. o., Ivančna Gorica

procesov z uporabo lokalnih digitalnih dvojčkov. Razviti koncept celice za peskanje bo deloval kot primer vpeljave koncepta pametne tovarne za vse ostale proizvodne procese, sinhronizacijo podatkov in vodenje procesov z digitalnimi dvojčki.

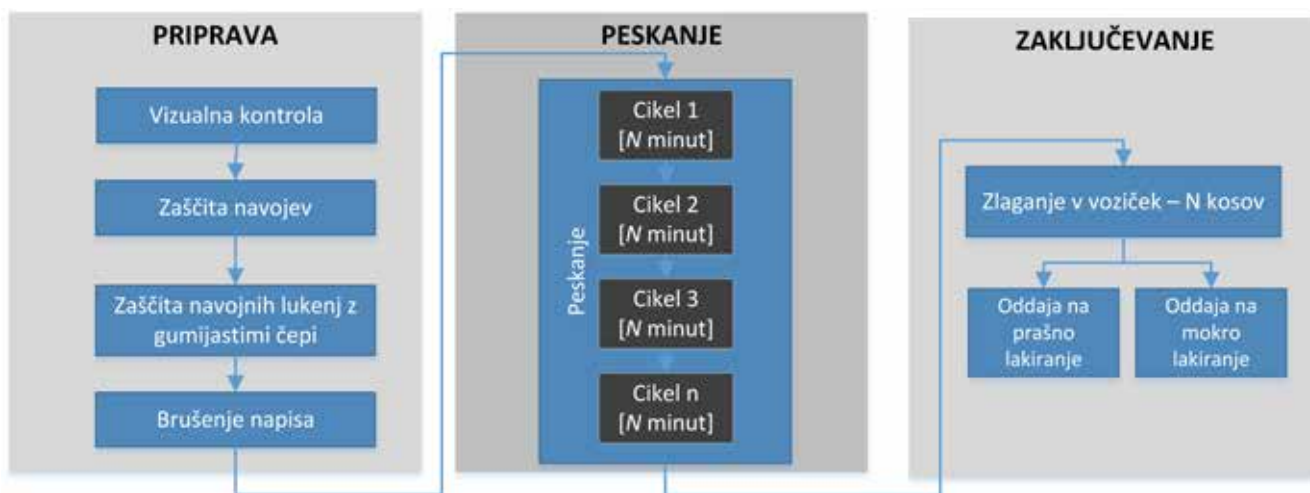
## Razvoj koncepta

Peskalna celica je bila kot pilotni projekt izbrana zato, ker predstavlja ozko grlo v celotnem proizvodnem procesu. Razvoj koncepta smo izvedli v treh delih (popis trenutnega stanja, izdelava načrta digitalizacije in razvoj lokalnega digitalnega dvojčka), kjer je bilo ključno sodelovanje zunanjih strokovnjakov za pametne tovarne skupaj z vsemi deležniki iz podjetja, ki so vključeni v ta proces. S tem namenom je bilo v podjetju izvedenih veliko delavnic, na katerih so sodelovali različni strokovnjaki iz podjetja, ki so direktno ali indirektno povezani s procesom peskanja). Na delavnicah smo izvajali popise in snemanje procesa peskanja, analizo ERP-sistema itd.

## Analiza trenutnega stanja

Eden glavnih korakov je analiza trenutnega stanja, saj samo v primeru natančno izvedene analize stanja lahko točno določiš postopek vpeljave novih tehnologij in se s tem izogneš kasnejšim težavam, kjer lahko pride do točke, kjer zaradi nepoznavanja trenutnega stanja postane vpeljava koncepta otežena ali celo nemogoča (primer: slabo poznavanje podatkov ERP-sistema in načina komunikacije z njim) [1].

Prve delavnice so bile usmerjenije v grobo analizo procesa peskanja, analizo povezav z ostalimi deli proizvodnje in nato detajlno analizo procesa pe-



Slika 1 : Proces peskanja, opisan glede na strukturo podatkov v ERP-sistemu

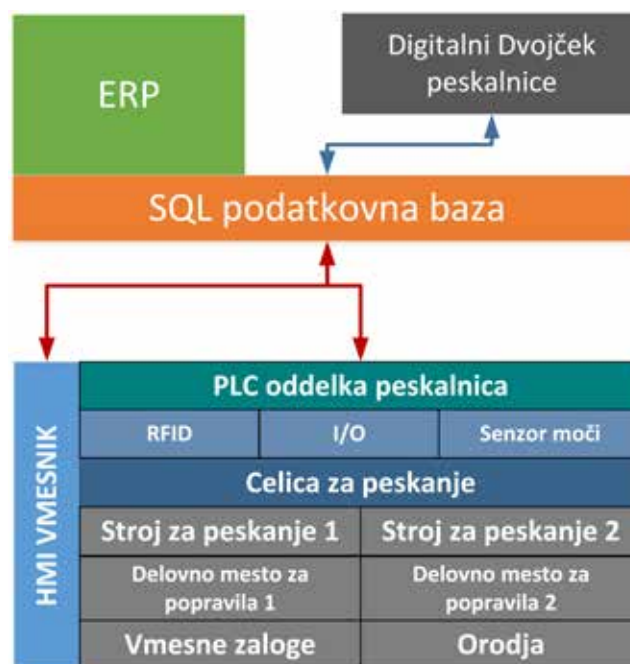
skanja. Proces peskanja se v podjetju IMP Armature izvaja za procesom strojne obdelave in pred procesom barvanja in je kritičen za doseganje zahtevane kvalitete izdelka (barve in funkcionalnosti). Za popis stanja smo izvedli analizo naslednjih podatkov [2]:

- ▶ Analiza tolorisa proizvodnje, pri kateri smo popisali lokacijo peskalne celice, vse vhode in izhode iz nje (podatki (naročila), materiali, orodja, človeški viri, ...) in povezavo teh vhodov in izhodov z ostalimi procesi v podjetju.
- ▶ Analiza podatkov ERP-sistema, ki so vezani na proces peskanja, pri kateri smo glede na rezultate izdelali blokovni diagram procesa (slika 1). Sam proces je bil v ERP-sistemu vse do procesa popravil dobro popisani in časovno ovrednoten, medtem ko so bili podatki o popravilih (frekvenca in čas trajanja) netočni in je zaradi njih prihajalo do odstopanja med normiranim časom posameznih delovnih nalogov in dejanskim časom.
- ▶ Analiza in izdelava natančnega popisa vseh elementarnih operacij in odločitvenih dreves (popis z blokovnimi diagrami), ki se izvedejo v peskalni celici. Ugotovili smo, da je proces peskanja veliko bolj kompleksen, kot je definiran v ERP-sistemu. Kot je razvidno na *sliki 1*, se proces peskanja deli na naslednje tri glavne dele: priprava, peskanje in zaključevanje. Po končanem natančnem popisu procesa na delavnicah in fizičnem ogledu procesa peskanja smo dobili strukturo, ki je sestavljena iz sedmih glavnih delov: predpriprava, priprava stroja 1, priprava stroja 2, peskanje stroj 1, peskanje stroj 2, kontrola, zaključevanje. Vsak posamezen del smo v blokovnih diagramih popisali do nivoja elementarnih operacij.

- ▶ Analiza stanja digitalizacije peskalnice, s katero smo analizirali delovno mesto za pripravo, vse 3 stroje za peskanje in dve delovni mesti za izvajanje popravil. Vsak sistem smo fizično pregledali in ugotovili, da so vsi krmilniki analogni (stroji za peskanje), medtem ko se MES-sistem uporablja za potrjevanje delovnih nalogov in vpis izmeta.

### Izdelava načrta digitalizacije

Glede na podatke trenutnega stanja peskalnice in strukturo podjetja smo najprej razvili grobi koncept povezljivosti med peskalnico (vsemi stroji in



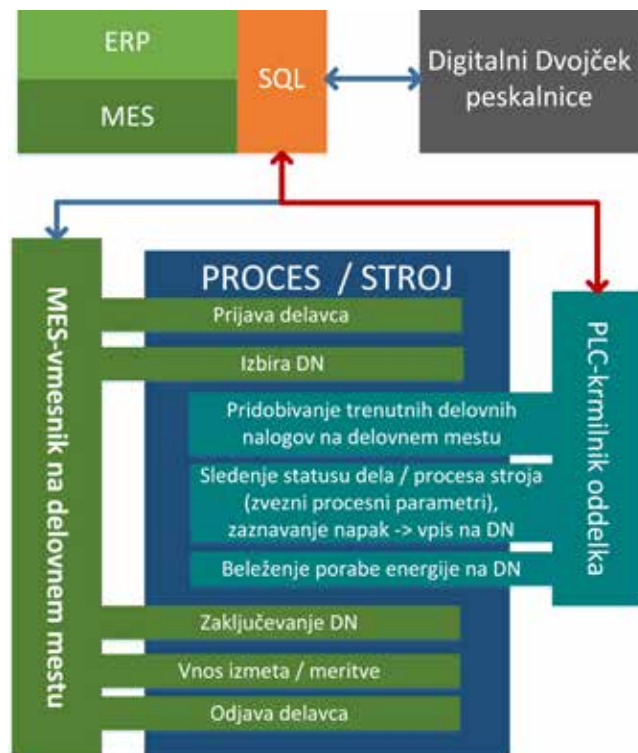
Slika 2 : Razviti koncept globalne povezljivosti peskalne celice z ERP-sistemom in digitalnim dvojčkom

delovnimi mesti), digitalnim dvojčkom peskalnice in obstoječim ERP-sistemom [3]. Koncept bazira na integraciji IIoT-naprav za spremljanje procesov (zajem procesnih parametrov) in podatkov, potrebnih za vodenje in spremljanje delavca na delovnih mestih (priprava, obešala in popravilo) preko grafičnega vmesnika. Koncept globalne povezljivosti je prikazan na *sliki 2*. V sklopu koncepta smo tako določili glavne gradnike in komunikacijske protokole, ki bodo skrbeli za izmenjavo podatkov med temi gradniki.

Sledil je razvoj natančnega načrta digitalizacije peskalne celice. V tem delu smo določili, katere podatke se bo v peskalnici pridobilo iz ERP-sistema in digitalnega dvojčka (plan proizvodnje), kako bomo izvedli prijavo delavca na delovno mesto in vodenje delavca po dnevnem planu, spremljanje procesov med izvajanjem in beleženje časov operacij ter količine izmeta. S tem namenom smo razvili več konceptov skupaj strokovnjaki podjetja in skrbnik ERP-sistema ter izbrali najbolj primerne glede na IT-strukturo podjetja.

Prav tako smo definirali potrebno tehnično opremo (moduli), povezave med moduli (IIoT, sistemom ERP in digitalnim dvojčkom) ter način, kako na delovnem mestu prikazati stanje procesov in parametrov (*slika 3*)[4]:

- ▶ PLC za zbiranje podatkov o procesih peskanja in popravih procesov preko analognih krmilni-



**Slika 3** : Shema dosega povezljivosti med posameznimi deli peskalnice, ERP-sistemom in digitalnim dvojčkom

kov;

- ▶ vodenje in sledenje delavcem in pregled procesov preko grafičnega vmesnika;
- ▶ definicija povezav med sistemi – komunikacijski protokoli glede na izbrane komponente;
- ▶ natančna definicija vseh podatkov (format, dolžina, frekvenca osveževanja, lokacija shranjevanja, ...).

### Razvoj digitalnega dvojčka

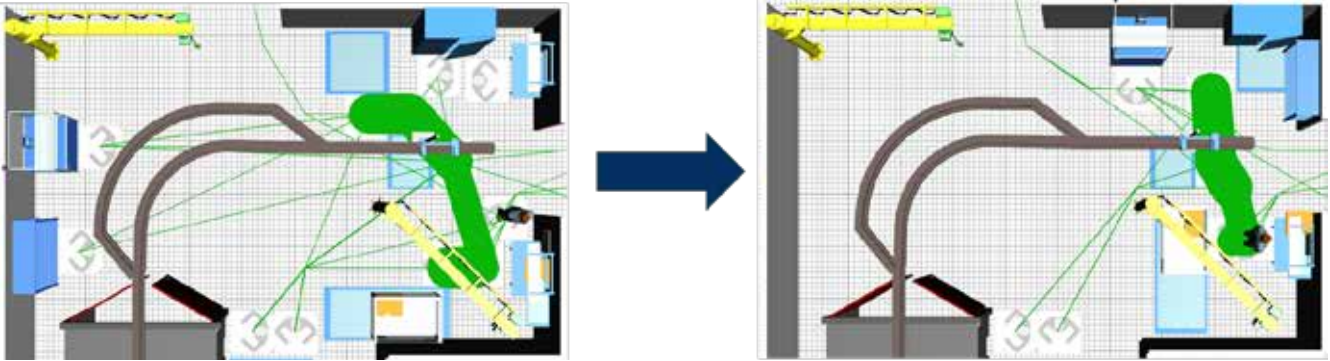
Po končanem razvoju koncepta digitalizacije smo za potrebe izdelave digitalnega dvojčka izvedli dodatne analize peskalnice:

- ▶ izbira reprezentativnih izdelkov, s pomočjo katerih se je digitalni dvojček zgradil in validiral;
- ▶ analiza izdelane shematske prezentacije procesa peskanja in časovno vrednotenje posameznih elementarnih operacij (časovno vrednotenje operacij se je izvedlo glede na zgodovinske podatke iz sistema EOP in merjenje časa posameznih operacij, ki še niso časovno ovrednotene);
- ▶ dodaten popis načina dela priprave, nameščanja na obešala, popravila in embalaranja, saj so vsi procesi specifični glede na dimenzijo, težo in vrsto izdelka;
- ▶ definicija vhodnih in izhodnih podatkov za digitalnega dvojčka, ki bodo omogočile izvajanje »kaj, če« scenarijev za optimizacijo proizvodnega procesa in kasnejše vodenje procesov.



**Slika 4** : Definirani vhodni in izhodni podatki in digitalni dvojček peskalnice

Glede na določene vhodne in izhodne podatke, natančno popisane procese in definirane reprezentativne izdelke smo izdelali lokalnega digitalnega dvojčka peskalnice v programskem orodju Siemens Plant Simulation. Velik del razvoja digitalnega dvojčka je predstavljalo programiranje dodatne logike podprocesov (obešala, statistika popravil, lokacija virov, ...). Glede na zgodovinske podatke delovnih nalogov o trajanju izbranih reprezentativnih izdelkov smo digitalnega dvojčka tudi validirali.



Slika 5 : Zmanjševanje portreta z optimizacijo lokacij delovnih mest v digitalnem dvojčku peskalnice

## Uporaba digitalnega dvojčka za optimizacijo in vodenje procesa

Razviti digitalni dvojček smo uporabili pri izvajanju »kaj, če« scenarijev za optimizacijo procesov peskanja in organizacijo dela s ciljem povečanja pretočnosti in zmanjšanja porabe energije. Prav tako smo ga uporabili tudi za izračun vpliva reorganizacije tlorisa, združevanje izdelkov za peskanje in digitalizacijo vodenja delavcev na pretočnost peskalnice. Rezultate »kaj, če« scenarijev in optimizirane produktivnosti celic za peskanje smo izračunali glede na izbrane reprezentativne izdelke.

Glede na izvedene »kaj, če« scenarije smo izračunali, da z implementacijo digitalizacije in digitalnega dvojčka za vodenje proizvodnje lahko dosežemo naslednje izboljšave:

- ▶ 17,5-odstotna povečana kapaciteta/skrajšan čas izdelave z digitaliziranim vodenjem delavcev, napredno planiranje z DD ter optimizacijo tlorisa;
- ▶ 25,7-odstotna zmanjšana poraba energije z optimizacijo obešal (združevanje delovnih nalogov), digitalni agenti za združevanje delovnih nalogov.

Optimizacija in balansiranje procesov celice za peskanje (popravila in embaliranje predstavljata ozko grlo):

- ▶ povečava kapacitete z balansiranjem dela za 36 %, če delo izvajata 2 delavca (delavec 1, obremenjen 98-odstotno, in delavec 2, obremenjen 48,5-odstotno);
- ▶ povečava kapacitete za 54,6 % s prestavitvijo delovnih mest za popravila in embaliranje.

## Zaključek

V sklopu razvoja koncepta pametne celice za peskanje smo z uspešnim sodelovanjem zaposlenih iz posameznih oddelkov podjetja IMP Armature in strokovnjakov za digitalizacijo laboratorija LA-SIM postavili pravila, kako po posameznih oddelkih podjetja uvesti digitalizacijo in lokalne digitalne dvojčke:

- ▶ spremljanje in vodenje vseh procesov delovnih mest z IIoT-tehnologijo in sinhronizacija podatkov med IIoT-enotami, ERP-sistemom ter digitalnim dvojčkom in
- ▶ način razvoja digitalnega dvojčka za optimizacijo in vodenje proizvodnje.

## Viri

- [1] I. Krakovskaya and J. Korokoshko, "Assessment of the readiness of industrial enterprises for automation and digitalization of business processes," *Electron.*, vol. 10, no. 21, 2021.
- [2] K. Demeter, D. Losonci, and B.-G. Racz, "Assessing Industry 4.0 readiness: a multi-country industry level analysis -DESI," vol. 0, no. May 2020, pp. 0-10, 2018.
- [3] A. Amaral and P. Peças, "SMEs and Industry 4.0: Two case studies of digitalization for a smoother integration," *Comput. Ind.*, vol. 125, 2021.
- [4] F. Zedulka, P. Marcon, Z. Bradac, J. Arm, T. Benesl, and I. Vesely, "Communication Systems for Industry 4.0 and the IIoT," *IFAC-Papers onLine*, vol. 51, no. 6, pp. 150-155, 2018.