

AGILNE IN ZELENE PAMETNE TOVARNE: METODOLOGIJA ZA NAČRTOVANJE

Matevž Resman, Mihael Debevec, Marko Šimic, Niko Herakovič

Izveček:

V hitro spreminjajočem se proizvodnem okolju postajajo agilna in zelena podjetja proizvodni sistemi prihodnosti. Za uspešno implementacijo tehnologij Industrije 4.0 je treba slediti novi metodologiji, ki vključuje več pomembnih korakov. Ti zajemajo opredelitev problema in njegovega obsega, izbiro ustreznih modelov ter transformacijskih metod, vse pa spremljajo jasna navodila za uporabo. Digitalizacija zahteva strateški premik v miselnosti podjetij s poudarkom na donosnosti, inovacijah in dolgoročni strategiji.

Metodologija zelene transformacije je sestavljena iz treh glavnih faz: začetnih delavnic za razumevanje obstoječih procesov, razvoja prilagojenega arhitekturnega modela ter uvedbe digitalnega dvojčka, ki omogoča komunikacijo med fizičnim in virtualnim sistemom v realnem času. Iz obstoječih praks se je izkazalo, da uvedba pametnih tovarn podjetjem omogoča izboljšanje konkurenčnosti, večjo sledljivost izdelkov, natančnejše napovedovanje (poteka) proizvodnje ter trajnostno, inovativno in učinkovito delovanje.

Ključne besede:

metodologija, agilne tovarne, pametne tovarne, zelena transformacija, energetska učinkovitost, družbena odgovornost

1 Uvod

Sodobna proizvodnja se hitro razvija, pri čemer agilna in zelena podjetja postajajo proizvodni sistemi prihodnosti. Ta podjetja potrebujejo nove metodologije, ki poenostavljajo načrtovanje zelenih tovarn in zagotavljajo natančnost, hkrati pa se soočajo z zapletenostjo implementacije tehnologij Industrije 4.0. Predstavljena metodologija je zasnovana tako, da podjetjem pomaga korak za korakom, od razumevanja začetnih izzivov do uvedbe pametnih tovarn z digitalnimi dvojčki, izboljšanja konkurenčnosti in spodbujanja inovacij [1].

2 Metodologija

Metodologija za načrtovanje agilnih in zelenih podjetij vključuje več bistvenih komponent. Najprej je treba prepoznati specifične izzive in prostor, v katerem bo metodologija uporabljena, ter že v zgodnji fazi razjasniti morebitne dvoumnosti v procesu. Pomembna je tudi izbira ustreznih modelov za različne vidike problema, saj to zagotavlja strukturi-

ran pristop k uvajanju digitalne in zelene strategije. Nato je treba izbrati metode za transformacijo elementov iz enega modela v drugega, kar omogoča prilagajanje in optimizacijo procesa. Pomembno je zagotoviti jasna navodila, ki bodo omogočila, da je vsak korak pravilno izveden in prispeva k uspehu celotne strategije [2].

Pri digitalizaciji podjetij se je treba zavedati, da ta proces presega zgolj tehnološke nadgradnje in zahteva strateški premik v miselnosti. Podjetje mora pri prehodu v pametno in zeleno tovarno najprej sprejeti digitalizacijo na vseh ravneh in pri vseh procesih in prepoznati transformativni potencial teh tehnologij, kar je bistveno za modernizacijo in ohranjanje konkurenčnosti. Prav tako morajo podjetja prepoznati donosnost naložbe v digitalne tehnologije, kar vključuje povečanje učinkovitosti, zmanjšanje stroškov in izboljšanje produktivnosti. Pametne tovarne se zanašajo na podatkovno usmerjeno odločanje, prediktivno vzdrževanje in avtomatizacijo, kar omogoča bolj poenostavljene in stroškovno učinkovite procese.

Pomemben dejavnik je tudi sprejemanje inovacij, saj podjetja, ki želijo postati inovativna, sprejemajo tehnologije pametne proizvodnje, kot so internet stvari, umetna inteligenca in analitika podatkov. Te tehnologije omogočajo napredek pri razvoju izdelkov in poslovnih modelov. Digitalizacija ni samo tehnološka odločitev, ampak dolgoročna strateška poteza, ki oblikuje prihodnost podjetja. Zahteva stalne izboljšave, prilagodljivost in nenehne naložbe tako v tehnologijo kot v usposabljanje zaposlenih.

Dr. Matevž Resman, doc. dr. Mihael Debevec, univ. dipl. inž., doc. dr. Marko Šimic, univ. dipl. inž., prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljana, Fakulteta za strojništvo

3 Koraki metodologije

Načrtovanje pametnih tovarn temelji na premišljenem pristopu, ki vključuje tri glavne korake (Slika 7) za uspešno implementacijo digitalnih in zelenih rešitev in optimizacijo proizvodnih procesov.

Vse zastavljene korake za implementacijo izvajajo strokovnjaki za svetovanje v tesnem sodelovanju z vodstvenim kadrom v podjetju na skupnih delavnicah.

3.1 Korak 1: Delavnice za začetno razumevanje procesa

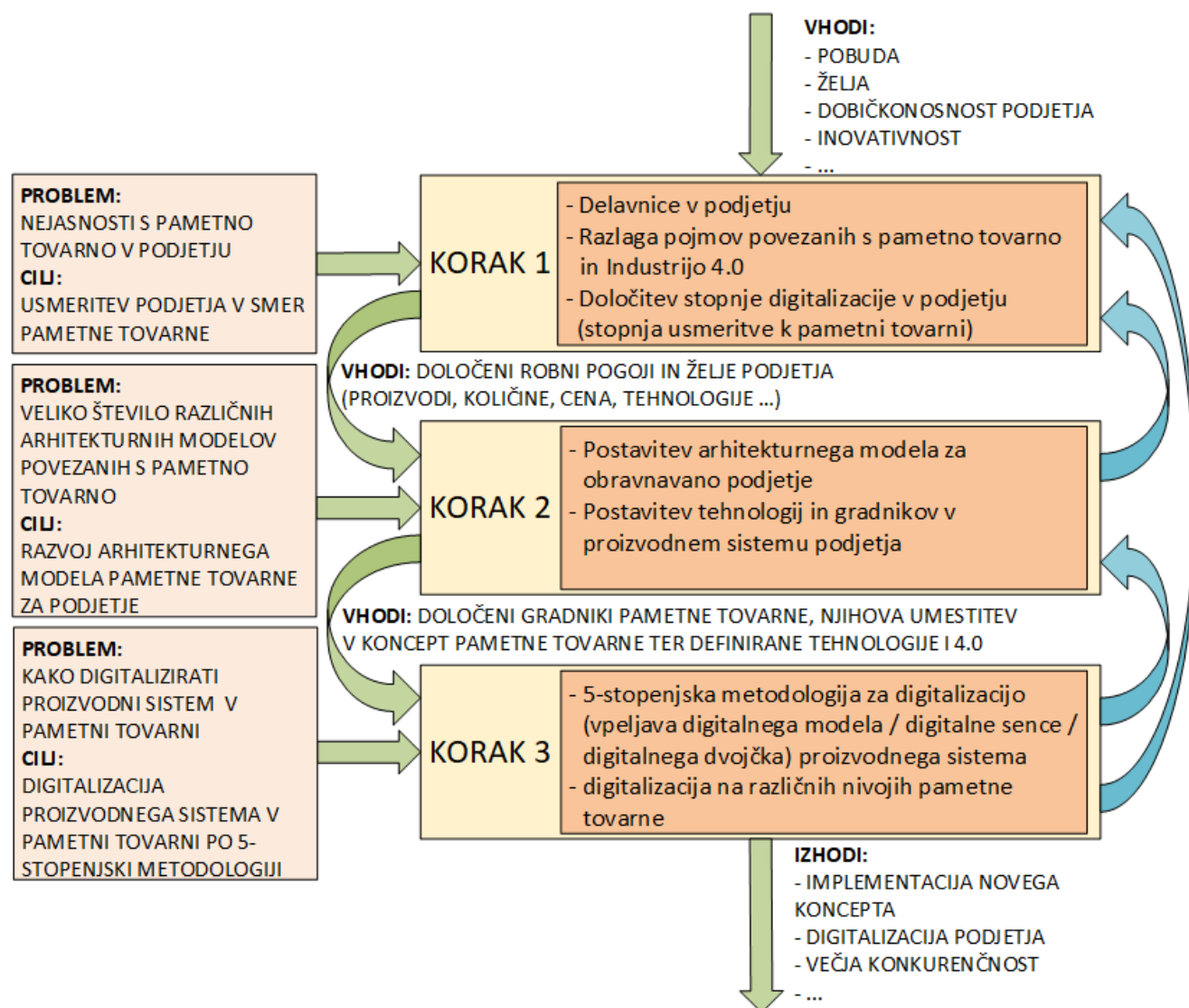
Prvi korak metodologije vključuje izvedbo delavnic, ki služijo kot uvodno spoznavanje obstoječih procesov podjetja. Ta raziskava zagotavlja bistveno podlago za prilagajanje rešitev Industrije 4.0 potrebam podjetja. Delavnica prav tako vključuje premostitev vrzeli med trenutnimi proizvodnimi procesi in na-

prednimi tehnologijami Industrije 4.0. Strokovnjak pomaga podjetju razumeti, kako je mogoče te nove tehnologije vključiti v njihov proizvodni ekosistem. Ta korak ni le deljenje znanja, ampak gre za spodbujanje transformacije v miselnosti podjetja.

Poleg tega strokovnjak oceni pripravljenost podjetja na preobrazbo v pametno tovarno. Ta ocena pomaga prilagoditi naslednje faze metodologije in zagotovi nemoten prehod k Industriji 4.0.

3.2 Korak 2: Razvoj arhitekturnega modela

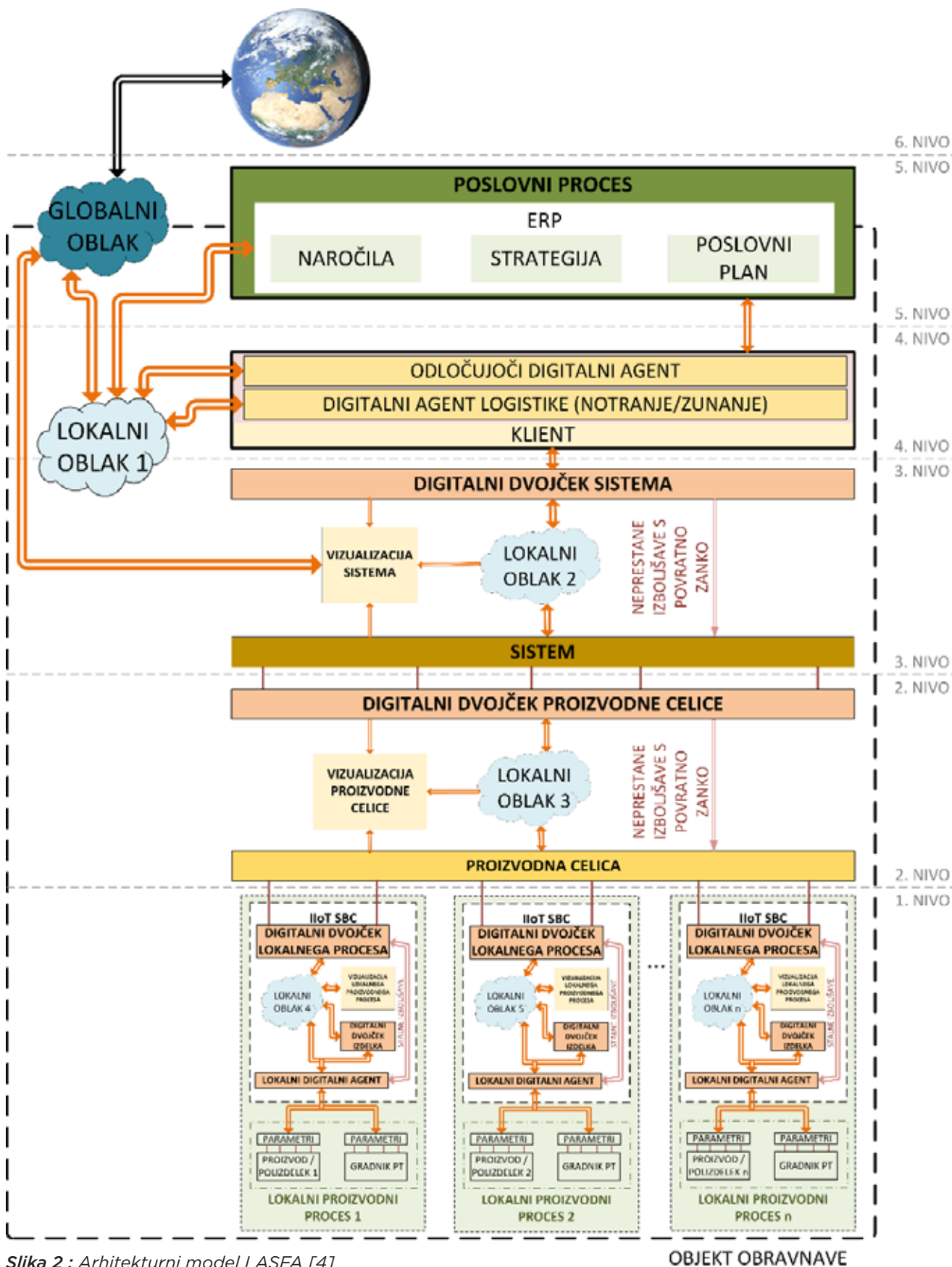
V drugem koraku se pozornost usmeri na ustvarjanje arhitekturnega modela pametne tovarne. Izziv je velika količina razpoložljivih arhitekturnih modelov [3], zato je težko najti pravo usmeritev za podjetje. Za podjetje je torej treba razviti referenčni model, ki odraža strukturne povezave in odvisnosti med posameznimi gradniki v proizvodnem sistemu.



Slika 1 : Koraki metodologije [2]

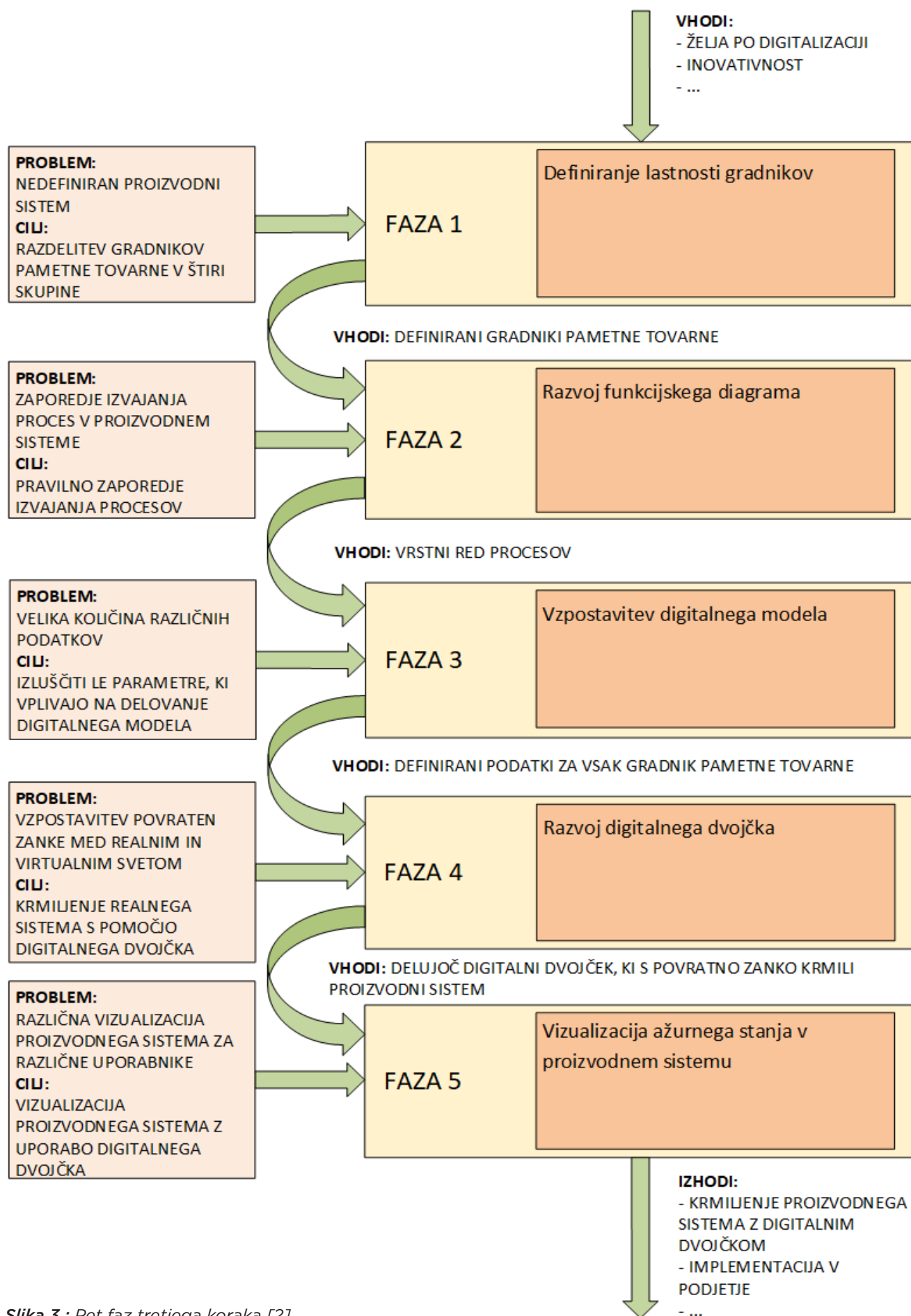
Arhitekturni model LASFA (Slika 2) [4] temelji na delitvi glede na izdelek, kar poenostavi prikaz materialnih tokov in opredelitev količin proizvodnje.

Tak pristop povečuje preglednost, kar je glavni cilj pri razvoju učinkovitega modela pametne tovarne. Z organizacijo tovarne na različne ravni glede na



Slika 2 : Arhitekturni model LASFA [4]

OBJEKT OBRAVNAVE



Slika 3 : Pet faz tretjega koraka [2]

posamezno vrsto izdelkov je lažje slediti povezavam med posameznimi komponentami in v različnih fazah upajati digitalne dvojčke.

Vsaka raven tovarne je sestavljena iz delovnih postaj, ki tvorijo proizvodne celice. Te proizvodne celice so združene v sisteme, več sistemov pa sestavlja oddelek. Strukturirani pristop ne izboljšuje samo preglednosti, temveč tudi omogoča lažje upravljanje in spremljanje tovarne.

3.3 Korak 3: Vzpostavitev digitalnega dvojčka

Tretji korak, vzpostavitev digitalnega dvojčka, vključuje ustvarjanje virtualne kopije proizvodnega sistema, ki deluje vzporedno s fizičnim sistemom in z njim komunicira v realnem času. Digitalni dvojček omogoča natančno spremljanje, analizo in optimizacijo proizvodnih procesov s pomočjo podatkov, ki jih zbira iz fizičnega okolja prek senzorjev in drugih virov. S tem se zagotavlja stalna usklajenost med virtualnim in dejanskim sistemom, kar omogoča prilagoditve v realnem času za izboljšanje učinkovitosti in delovanja.

Ta tehnologija omogoča podjetjem boljši nadzor nad njihovimi proizvodnimi procesi ter vpogled v stanje opreme, morebitne težave in možnosti optimizacije. Digitalni dvojček deluje kot orodje za napovedovanje in simulacijo, s katerim je mogoče zmanjšati tveganja, izboljšati produktivnost in zmanjšati stroške vzdrževanja, saj omogoča preizkušanje različnih scenarijev in prilagoditev brez posegov v dejanski proizvodni sistem.

Tretji korak poteka v pet fazah (Slika 3).

4 Zaključek

Z upoštevanjem te strukturirane metodologije lahko podjetja nemoteno preidejo na pametne tovarne ter izboljšajo svojo konkurenčnost na globalnem trgu. Z vzpostavitvijo digitalnih dvojčkov se doseže boljša sledljivost končnih izdelkov, izboljša napovedovanje proizvodnje in vzdrževanja. Ta celovit pristop zagotavlja, da podjetja, ne glede na njihovo velikost ali panogo, ostanejo v koraku z digitalizacijo, hkrati pa ustvarjajo trajnostne, inovativne in učinkovite proizvodne sisteme.

Metodologija za načrtovanje agilnih in zelenih pametnih tovarn temelji na tesnem prepletu naprednih tehnologij in trajnostnih praks. Poleg uporabe digitalnih dvojčkov vključuje tudi integracijo IoT (internet stvari), umetne inteligence in strojnega učenja, ki omogočajo boljše upravljanje virov, zmanjšanje odpadkov in optimizacijo porabe energije. Metodologija fleksibilnosti proizvodnih procesov in okoljska odgovornost podjetjem omogočata ne le izboljšanje produktivnosti, temveč tudi prehod na bolj trajnostno in prilagodljivo proizvodno okolje, kar je pomembno v sodobnem industrijskem okolju.

Predstavljeno metodologijo smo uspešno uporabili pri več industrijskih projektih, kot so Yaskawa, Adria Dom, demo center pametne tovarne v našem laboratoriju in še mnogih drugih. Pri teh projektih smo v praksi implementirali digitalne dvojčke, IoT, umetno inteligenco in strojno učenje, kar je omogočilo boljše sledenje proizvodnim procesom, učinkovito upravljanje virov ter zmanjšanje vplivov okolja. Z našimi rešitvami smo dosegli optimizacijo proizvodnje, izboljšali vzdrževanje ter energetske učinkovitost, hkrati pa podjetjem omogočili prilagodljivost in konkurenčnost na vedno bolj dinamičnem globalnem trgu. Naši rezultati potrjujejo, da je metodologija primerna za širok spekter industrij ter pomemben korak k trajnostnim in pametnim proizvodnim sistemom.

Viri

- [1] Industry 4.0 and Green Economy: Solutions, (<https://www.esa-automation.com/en/industry-4-0-and-green-economy-solutions/>), dostop: 2. 10. 2024.
- [2] M. Resman, J. Protner, M. Šimic in N. Heraković: A Five-Step Approach to Planning Data-Driven Digital Twins for Discrete Manufacturing Systems. *Applied Sciences* 11 (8) (2021) str. 3639.
- [3] M. Uslar in S. Hanna: Model-driven requirements engineering using RAMI 4.0 based visualizations. V: I. Schaefer, L. Cleophas, M. Felderer (ur): *Workshops at Modellierung, Braunschweig, Nemčija*, 2018, str. 21-30.
- [4] M. Resman, M. Pipan, M. Šimic in N. Heraković: A new architecture model for smart manufacturing: A performance analysis and comparison with the RAMI 4.0 reference model. *Advances in Production Engineering and Management* 14(2) (2019) str. 153-165.

Agile and Green Smart Factories: A Methodology for Planning

Abstract:

Modern manufacturing is rapidly evolving, with agile and green companies shaping the future. These firms need new methodologies to streamline planning and navigate the complexities of Industry 4.0 technologies. The proposed methodology offers a step-by-step guide to transitioning from initial challenges to implementing smart factories with digital twins, enhancing competitiveness and fostering innovation.

This methodology involves identifying specific challenges and contexts, selecting appropriate models for a structured approach, and recognizing that digitalization requires a strategic mindset shift. Companies must understand the transformative potential of digital technologies, which can enhance efficiency, reduce costs, and improve productivity. Embracing technologies like IoT, AI, and data analytics is essential for fostering innovation and modernizing production processes.

The planning of smart factories consists of three key steps. The first step involves initial understanding workshops, which provide insights into current processes. Experts analyze systems and identify how Industry 4.0 technologies can be integrated, while also assessing the company's readiness for transformation.

The second step focuses on developing the architectural model based on product differentiation. This simplifies material flow representation and increases transparency. Organizing the factory into levels improves management and monitoring.

The final step involves establishing a digital twin that communicates with the physical system in real time. This process includes classifying production systems, developing functional diagrams, creating digital models, enabling real-time data interaction, and providing visualization tools for stakeholders.

By following this structured methodology, companies can transition to smart factories, improving competitiveness and operational efficiency while fostering sustainable and innovative production systems.

Key words:

methodology, agile factories, smart factories, green transformation, energy efficiency, social responsibility

Zahvala za sofinanciranje

Delo je bilo finančno podprto v okviru Javne agencije za raziskovalno in inovacijsko dejavnost RS - ARIS, Raziskovalni program P2-0248 - Inovativni proizvodni sistemi in procesi, raziskovalni projekt J2-4470 - Raziskave zanesljivosti in učinkovitosti robnega računalništva v pametni tovarni z uporabo 5G-tehnologije. Delo je financirala Evropska unija, projekt 101087348 - Krepitev zmogljivosti za odličnost slovenskih in hrvaških inovacijskih ekosistemov za podporo digitalnemu in zelenemu prehodu pomorskih regij ter projekt 101058693 - Trajnostni prehod v agilno in zeleno podjetje (STAGE Project).

Acknowledgments

The work was financially supported in the framework of the Slovenian Research and Innovation Agency - ARIS, Research Programme P2-0248 - Innovative manufacturing systems and processes, research project J2-4470 - Research on the reliability and efficiency of edge computing in a smart factory using 5G technologies. The work was funded by the European Union, project 101087348 - Strengthening the capacity for excellence of Slovenian and Croatian innovation ecosystems to support the digital and green transitions of maritime regions and project 101058693 - Sustainable Transition to the Agile and Green Enterprise (STAGE Project).

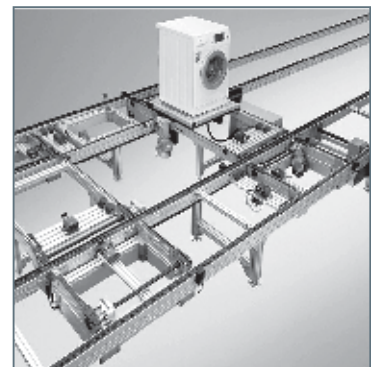
Rexroth

ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



OPL

automation

OPL avtomatizacija, d.o.o.

Dobrave 2

SI-1236 Trzin, Slovenija

Tel. +386 (0) 1 560 22 40

Tel. +386 (0) 1 560 22 41

Mobil. +386 (0) 41 667 999

E-mail: info@opl.si

www.opl.si