

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Ostali referenčni arhitekturni modeli pametne tovarne (Ne RAMI 4.0)

Poročilo timskega dela pri predmetu Pametne tovarne na Magistrskem
študijskem programu II. stopnje – Proizvodno strojništvo

Luka Gašperšič Legiša in Martin Kavčič

Ljubljana, oktober 2025

Kazalo

Kazalo slik.....	iii
Uvod	iv
1 Povzetek prebranega članka	1
2 Analiza članka.....	2
2.1 Predstavitev avtorjev in revije.....	2
2.2 Tema, glavno raziskovalno vprašanje, namen in cilji	2
2.3 Opis znanstvenega/strokovnega področja	3
2.3.1 Industrija 4.0	3
2.3.2 Referenčni arhitekturni modeli	3
2.3.3 SITAM.....	4
2.3.4 LASFA (LASIM Smart Factory).....	6
2.3.5 NIST Ekosistem pametne proizvodnje	7
2.3.6 IMSA - Intelligent Manufacturing System Architecture	8
2.3.7 IIRA - Industrial Internet Reference Architecture	10
2.3.8 I3RM - Industrial Internet Integrated Reference Model.....	11
2.4 Opredelitev glavnih pojmov, konstruktov oz. spremenljivk ter opis predvidene povezave med pojmi.....	13
2.5 Predstavitev metode/načina podajanja	14
2.6 Predstavitev rezultatov	14
3 Vrednotenje članka.....	17
3.1 Kritična ocena članka SITAM in lastno mnenje	17
3.2 Razširitve in poglobitve (primerjava z ostalimi članki)	17
3.3 Praktična uporabnost članka.....	18
3.4 Novosti, ki jih članek SITAM prinaša	18
Sklep.....	19

Literatura in viri	20
---------------------------------	-----------

Kazalo slik

Slika 1: SITAM model.....	5
Slika 2: LASFA model	7
Slika 3: NIST model.....	8
Slika 4: IMSA model.....	10
Slika 5: IIRA model.....	11
Slika 6: I3RM model	12
Slika 7: Tabela primerjave modelov.....	15

Uvod

Sodobna industrija se vedno bolj sooča z izzivi, kot so konkurenca, krajši življenjski cikli izdelkov, turbulentni pogoji, večja kompleksnost izdelkov in s tem bolj kompleksna proizvodnja. Da bi industrija uspela v tem okolju, mora biti s strani podjetja zagotovljeno stalno izboljševanje procesov in visoka kakovost izdelkov. Za reševanje teh problemov se v proizvodno industrijo in proizvodne procese uveljavlja industrija 4.0, katera predstavlja digitalno preobrazbo in izkoriščanje velepodatkov (Big Data). Pri tem imajo velik pomen referenčni arhitekturni modeli, s pomočjo katerih se načrtuje "zemljevid" informacijske tehnologije (IT). Tradicionalna proizvodna IT arhitektura oziroma informacijska piramida, zaradi svoje integracijsko zahtevne in hierarhične značilnosti, težje izpolni zahteve podatkovno vodene tovarne. Torej problematika tega timskega dela je vrzel med koncepti arhitekture pametnih tovarn in praktično izvedljivimi arhitekturami.

Namen timskega dela je preučiti referenčne arhitekturne modele in ovrednotiti pristop k oblikovanju proizvodnih informacijskih arhitektur s katerim so presežene pomanjkljivosti oziroma omejitve tradicionalnih proizvodnih informacijskih piramid. Z analizo želimo pokazati, kako arhitektura sistematično lahko rešuje izzive in s tem dodaja vrednost proizvodnim podjetjem, s pomočjo integracije heterogenih sistemov, poglobljene analitike podatkov in vključevanjem ljudi oziroma človeških delavcev.

Glavni cilj tega timskega dela je vrednotenje in analiza članka "The Stuttgart IT Architecture for Manufacturing: An Architecture for the Data-Driven Factory". Naloge za dosego ciljev so analizirati komponente in načela SITAM arhitekture in njene temeljne koncepte, primerjati SITAM z drugimi referenčnimi arhitekturnimi modeli pametnih tovarn (LASFA, NIST, IMSA, IIRA, i3RM) in ovrednotiti prednosti in slabosti oziroma pomanjkljivosti SITAM z vidika reševanja izzivov sodobne proizvodnje in premagovanja pomanjkljivosti tradicionalne informacijske piramide. Za dosego ciljev bo potrebno podrobno preučiti članek o SITAM in ostale članke, ki obravnavajo arhitekturne modele pametnih tovarn. Primerjani bodo SITAM iz obravnavanega glavnega članka in ostali referenčni arhitekturni modeli na podlagi kriterijev iz glavnega članka, kot so pristop k integraciji sistemov (R1), obvladovanje analitike podatkov (R2), mobilna informacijska oskrba (R3) ter stopnja konkretnosti in implementacijske podpore. Oblikovani bodo torej sklepi o vrednosti SITAM napram ostalimi arhitekturami in njihovi izvedljivosti v praksi.

1 Povzetek prebranega članka

V članku “The Stuttgart IT Architecture for Manufacturing: An Architecture for the Data-Driven Factory” so obravnavani izzivi sodobne proizvodnje, pri kateri ima toga tradicionalna informacijska piramida omejitve s strani izkoriščanja velepodatkov. Za rešitev izzivov je v članku predstavljen SITAM arhitekturni model. Ta se deli na tri glavne vmesnike in sicer integracijski vmesnik z omrežjem storitvenih vodil, kateri omogoča povezovanje heterogenih sistemov, analitični vmesnik, ki zagotavlja celovito analitiko podatkov prek življenjskega cikla in mobilni vmesnik za vključevanje delavcev v kontekstno zavestnih aplikacijah. Prednost SITAM je praktična usmeritev, saj poleg konceptualnega modela ponuja priporočila za uveljavljanje v proizvodni in tehnologije ter vključuje človeka v pametno tovarno. S tem se razlikuje od drugih referenčnih arhitekturnih modelov

2 Analiza članka

2.1 Predstavitev avtorjev in revije

Članek je bil objavljen v okviru konference ICEIS 2016, katerega je uredil S. Hammoudi et al. Leta 2017 ga je, kot poglavje v knjigi (str. 53-80), izdala založba Springer International Publishing v seriji LNBIP pod številko 291. Članek ima trajno digitalno oznako DOI: 10.1007/978-3-319-62386-3_3. Z objavo je dokazano, da je bil članek recenziran in predstavlja visoko akademsko relevantnost članka.

Glavna avtorica Laura Kassner je bila v času pisanje članka raziskovalka na Graduate School of Excellence Advanced Manufacturing Engineering Univerze v Stuttgartu. Osredotoča se na integracijo poslovnih informacijskih sistemov, digitalno preobrazbo proizvodnje in podatkovno analitiko. Z ostalimi avtorji so razvili SITAM referenčni arhitekturni model pametne tovarne. Tudi Ostali avtorji so Christoph Groger, Jan Konigsberger, Eva Hoos, Cornelia Kiefer, Christian Weber, Stefan Silcher, Bernhard Mitschang so bili v času pisanja raziskovalci na isti univerzi. Christoph Groger je bil v času pisanja zaposlen pri Robert Bosch GmbH, Stefan Silcher pa pri eXXcellent solutions GmbH.

2.2 Tema, glavno raziskovalno vprašanje, namen in cilji

Tema članka je razvoj arhitekturnega modela informacijske tehnologije SITAM za podatkovno vodeno pametno tovarno oziroma proizvodnjo, kateri izboljša zmožnosti tradicionalne informacijske piramide. Pomanjkljivosti tradicionalne piramide so:

- **L1: Kompleksna integracija sistemov**, kjer centralni nadzor in ločeni sistemi vodijo v zapletene povezave »točka-točka«, kar omejuje prožno vključevanje novih podatkovnih virov.
- **L2: Ločeni podatkovni otoki**, kjer hierarhično združevanje podatkov ustvarja izolirane otoke, kar onemogoča celosten pregled in poglobljeno analizo za pridobivanje znanja.

- **L3: Izolirana informacijska oskrba**, pri kateri sta srednji nadzor in zbiranje podatkov skoncentrirana le na nadzornih nivojih, kar ovira vključevanje delavcev v proizvodnji z omejeno dostopnostjo informacij.

Glavno raziskovalno vprašanje je kako lahko, na podlagi storitveno usmerjene arhitekture, mobilnih rešitev in analitike, praktično izvedemo IT arhitekturo (ne le konceptualno), ki omogoča podatkovno vodeno tovarno in hkrati izboljšamo ostale referenčne arhitekturne modele.

To je potrebno preučevati saj tradicionalna informacijska piramida, zaradi njene hierarhije in ločenih podatkovnih otokov ne more podpreti agilne, učne in človeku prijazne proizvodnje. Informacijska piramida torej omejuje napredke v pametnih tovarnah in izkoriščanje velepodatkov.

To koristi podjetjem, ki prehajajo v industrijo 4.0, ljudem ki razvijajo proizvodne informacijske tehnologije in raziskovalcem, ki se ukvarjajo z raziskovanjem digitalizacijo in pametnim tovarnam. Članek ponuja tehnološko podprto arhitekturo, ki jo je mogoče implementirati in prilagoditi različnim proizvodnim okoljem

Cilji članka so predstavitev SITAM oziroma celovite IT arhitekture, ki združuje integracijski vmesnik (prožno povezovanje sistemov), analitični vmesnik (repozitorij znanja in napredno analitiko) in mobilni vmesnik (kontekstno zavestne aplikacije). Dokazuje, da napram drugim arhitekturnim modelom, SITAM izpolnjuje zahteve pametne tovarne oziroma podatkovno vodene tovarne (R1-R3). Članek prikazuje tudi praktično uporabo s pomočjo koncepta in primera iz avtomobilske industrije, kar pomeni da je ta arhitekturni model izvedljiv (nudi idejo in praktične nasvete).

2.3 Opis znanstvenega/strokovnega področja

2.3.1 Industrija 4.0

Industrija 4.0 (četrti industrijska revolucija) predstavlja sodobno industrijsko proizvodnjo, v kateri se tradicionalna proizvodnja povezuje z avtomatizacijo, povezanimi sistemi in digitalnimi tehnologijami. To pomeni prehod v pametne tovarne, kjer stroji, sistemi in naprave komunicirajo med seboj in samostojno lahko delajo spremembe (internet stvari, avtomatizacija, strojni vid in umetna inteligenca, oblačne tehnologije, ...).

2.3.2 Referenčni arhitekturni modeli

Referenčni arhitekturni modeli imajo pomembno vlogo pri digitalizaciji industrije oziroma v industriji 4.0. To je standardizirano ogrodje, ki opisuje elemente digitalnega podjetja in njihove povezave. S pomočjo referenčnih arhitekturnih modelov, se v pametnih tovarnah izvajajo in načrtujejo digitalne rešitve v proizvodnji, logistiki, proizvodnih in poslovnih procesih.

Omogočajo standardizacijo in poenotenje. Implementirajo skupen jezik med različnimi oddelki, podjetji in dobavitelji, s tem pa olajšajo komunikacijo in integracijo sistemov.

Arhitekturni modeli pomagajo urediti kompleksnost na več slojev in s tem podjetju omogočajo da zgradi digitalno arhitekturo. Prav tako zmanjšujejo tveganja pri investiranju v nove rešitve (digitalne), saj jih do neke mere lahko v naprej preverimo.

Poznamo več arhitekturnih modelov, kateri se razlikujejo predvsem po strukturi, namenu, področji uporabe oz. uporabnikih, nivoju podrobnosti, poudarkih in stopnje standardizacije. Razlikujejo se torej, kako podrobno opišejo sisteme, kateri vidike digitalizacije so primarni in kako veliko področje zajemajo. Vsi pa nudijo strukturirano ogrodje za digitalizacijo.

2.3.3 SITAM

Stuttgart IT Architecture for Manufacturing je referenčni arhitekturni model, kateri temelji na nalogah za presego tradicionalne informacijske proizvodne piramide. Naloge so prilagodljive integracije heterogenih IT sistemov (R1), celostne podatkovne osnove in napredne analitike (R2) in mobilno zagotavljanje informacij (R3).

SITAM je storitveno usmerjen arhitekturni model, ki zajema celoten življenjski cikel izdelka. Temelji na treh vmesnikih (slojih).

- **Integracijski vmesnik:** Namen je, da zagotovi prilagodljivo in spremenljivo integracijo heterogenih sistemov (izpolni R1). Sestavlja ga hierarhija vodil za podjetniške storitve (ESB). SITAM vključuje več ESB, kjer je vsak odgovoren za integracijo aplikacij in storitev v fazah življenjskega cikla izdelka (**inženiring, proizvodnja, načrtovanje proizvodnje, poprodajna podpora**). Vključuje tudi **PLM vodilo** (Product Lifecycle Management), kateri povezuje vse ESB in skrbi za njihovo komunikacijo (posredovanje-meditation in orkestracija-avtomatiziran proces upravljanja) med različnimi fazami. Integracijski vmesnik sestavlja tudi **SOA repozitorij** (repozitorij storitveno usmerjene arhitekture), ki služi kot register vsega kar je povezano s storitvami (razpoložljive storitve, odvisnosti med storitvami, lastniki storitev, sheme storitev).

Sistemi in podatki so zajeti v storitve. Vsak ESB lahko uporablja specializirane formate izmenjave podatkov, prilagojene svojim potrebam (npr. CAD za inženiring) Hierarhija omogoča ločevanje storitev z dodano vrednostjo. Omogoča lažjo integracijo zunanjih partnerjev z priklopom na njihov ESB ali PLM vodilo, brez da bi preveč odprli notranje IT.

- **Analitični vmesnik:** Namen je, da zagotovi podatkovno osnovo in napredno analitiko pridobivanja znanja (R2). Sestavlja ga **repozitorij proizvodnega znanja**, kateri shranjuje integrirane strukturirane in nestrukturirane izvirne podatke iz življenjskega cikla. Za shranjevanje uporablja SQL in NoSQL. Analitični vmesnik zajema tudi **rudarjenje informacij**, kateri vključuje orodja za rudarjenje informacij, strojno učenje in analitiko podatkov. Prisoten je tudi **upravljanje KPI**, ki omogoča neprekinjeno upravljanje ključnih kazalnikov uspešnosti na podlagi analitike. **Vizualna analitika** združuje rudarjenje in vizualizacijo za predstavitev ljudem (ohranja človeka v zanki). **Analitične ravni** zajemajo deskriptivno, napovedno in predpisno analitiko.

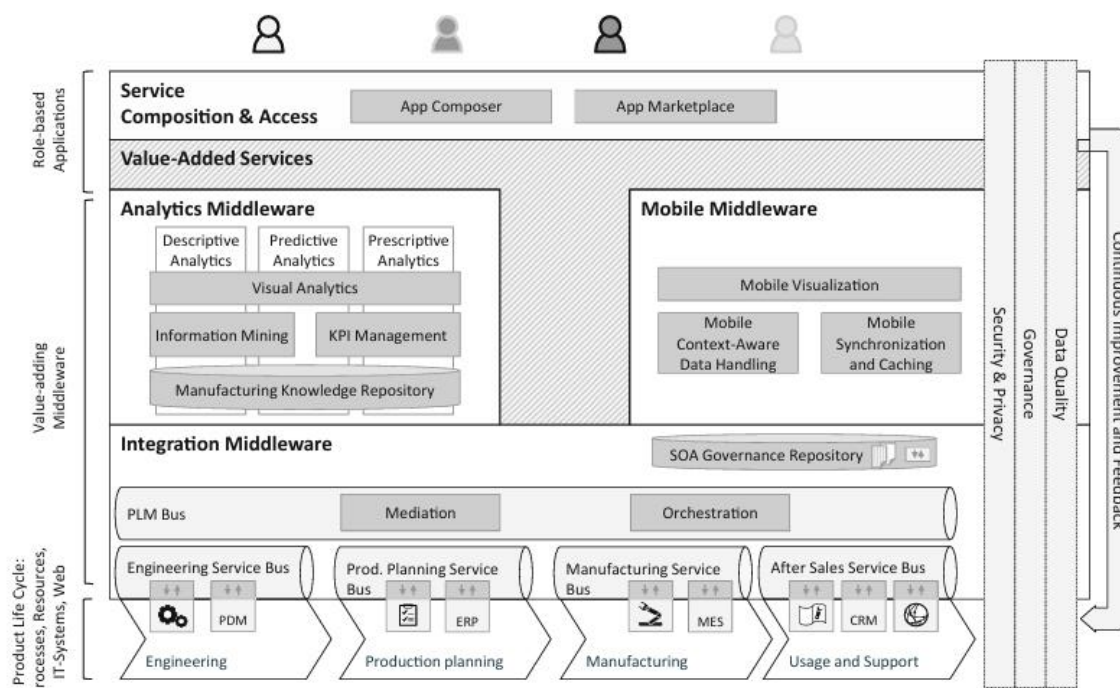
Deluje tako, da so podatki iz integracijskega vmesnika prenesejo v repozitorij. Analitične storitve se nato izvedejo integrirano (vse vrste podatkov) v skoraj realnem času. (npr. iskanje vzrokov okvar)

- **Mobilni vmesnik:** Namen je, da omogoči mobilno zbiranje podatkov za vključevanje človeka (R3). S pomočjo **Mobilnega upravljanja podatkov v kontekstu** so zagotovljeni specifični modeli konteksta (npr. stroj, lokacija) in prenos tega na človeka. **Mobilna sinhronizacija in predpomnilnik** omogoča delovanje mobilnih aplikacij brez omrežne povezave. **Mobilna vizualizacija** prikazuje sheme za proizvedene podatke (struktura izdelka, CAD) na primer na zaslonih.

Namen je, da olajša razvoj proizvodnih mobilnih aplikacij, ki delavcem omogočajo dostop do podatkov v realnem času na terenu ali lokalno, pri sodelovanju v proizvodnih procesih.

Poleg treh glavnih vmesnikov SITAM model sestavlja tudi sestava storitev in storitve z dodano vrednostjo, ki ga sestavljata **sestavljalnik aplikacij** (omogoča mešanje podatkov in analitičnih storitev prek “povleci in spusti”) in **tržnica aplikacij** (storitve se distribuirajo kot aplikacije za različne uporabnike)

Model vključuje tudi **konstantne izboljšave in povratne informacije**, ki predstavlja povratno zanko, da se informacije o izdelku vračajo nazaj v življenjski cikel izdelka, **kakovost podatkov**, kjer se izboljšujejo in preverjajo podatki v skoraj realnem času ter **varnost in zasebnost**.



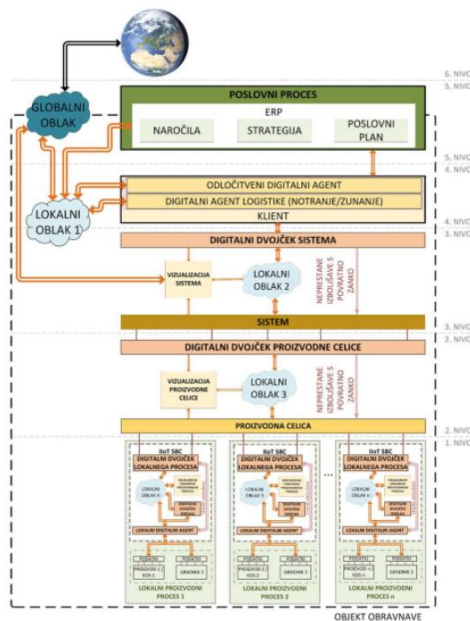
Slika 1: SITAM model

Model deluje tako, da so viri podatkov (proces, IT sistemi, splet) zajeti z **Integracijskim vmesnikom**, podatki se nato integrirajo in shranijo v **repozitorij proizvodnega znanja** (analitični vmesnik). Tam se izvaja analitiko, da se pridobi znanje. **Mobilni vmesnik** omogoča da se te storitve predstavijo delavcem prek mobilnih aplikacij. S **sestavljalnikom aplikacij** se lahko te storitve kombinirajo v nove storitve. Preko **tržnice aplikacij** se storitve distribuirajo, dodana vrednost aplikacij pa se vrača v življenjski cikel preko povratne zanke, za izboljšanje.

2.3.4 LASFA (LASIM Smart Factory)

Model LASFA je inovativen arhitekturni model, razvit na Laboratoriju za strego, montažo in pnevmatiko (LASIM) Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani. Nastal je kot odgovor na zaznano kompleksnost in abstraktnost obstoječih referenčnih modelov, predvsem RAMI 4.0. Glavni cilj modela LASFA je bil ustvariti lažje razumljiv in neposredno uporaben okvir, ki je posebej prilagojen potrebam proizvodne industrije in služi kot odličen didaktični pripomoček ter vodilo pri načrtovanju pametnih tovarn. Namesto tridimenzionalne strukture uporablja enostavnejši, a zelo nazoren dvodimenzionalni prikaz, ki ohranja ključne koncepte Industrije 4.0 in jih predstavi na bolj intuitiven način. Njegova arhitektura temelji na nekaj ključnih stebrih.

- **Decentralizacija in komunikacija preko oblaka:** LASFA namesto vertikalnega pretoka podatkov po nivojih uvaja koncept lokalnega oblaka kot centralnega vozlišča za izmenjavo informacij. Vsaka proizvodna enota, stroj ali sistem sporoča svoje podatke (stanje, meritve, alarmi) v ta oblak. Drugi sistemi se na te podatke po potrebi dobijo.
- **Digitalni agenti kot nosilci inteligence:** Ena najpomembnejših značilnosti modela LASFA je poudarek na vlogi digitalnih agentov, ki so odgovorni za avtonomno odločanje. Model loči med:
 - **Lokalni digitalni agenti:** Vsak proizvodni proces ali stroj ima svojega lokalnega agenta. Ta agent na podlagi podatkov, prejetih iz lokalnega oblaka, in vgrajenih modelov (matematičnih ali z umetno inteligenco podprtih) spremlja delovanje procesa. Njegove naloge so zaznavanje odstopanj, javljanje napak in, kar je ključno, proaktivno delovanje.
 - **Globalni digitalni agent:** Kadar problem presega zmožnosti lokalnega agenta (npr. izpad ključnega stroja, ki zahteva prerazporeditev celotne proizvodnje), odločitev sprejme globalni digitalni agent, ki ima pregled nad celotnim sistemom.
- **Digitalni dvojček kot virtualno testno okolje:** Vsaka fizična komponenta v modelu LASFA je povezana s svojim digitalnim dvojčkom, ki se v realnem času posodablja s podatki iz resničnega sveta. Digitalni dvojček služi kot pomočnik digitalnemu agentu. Agent lahko na njem preizkuša različne scenarije ("kaj če" analize), simulira posledice sprememb parametrov ali optimizira procese, brez tveganja poškodb ali zastojev na realni opremi.
- **Modularnost in "Plug-and-Produce":** Arhitektura, kjer vsaka proizvodna enota komunicira preko standardiziranih vmesnikov z oblakom, omogoča visoko stopnjo modularnosti. Priklop novega stroja ali proizvodne celice je tako enostavnejša.



Slika 2: LASFA model

Model LASFA tako s svojo osredotočenostjo na praktično implementacijo decentralizirane inteligence ponuja jasen in učinkovit načrt za prehod od klasične avtomatizacije k resnično pametni tovarni.

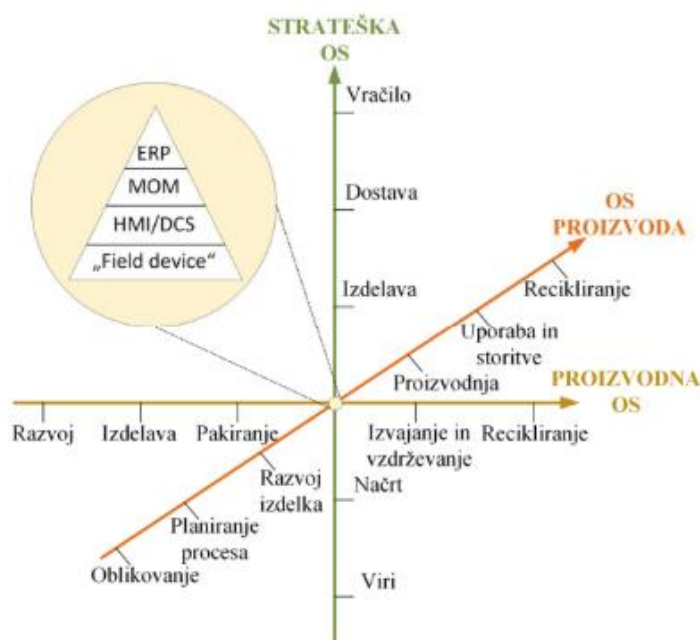
2.3.5 NIST Ekosistem pametne proizvodnje

Nacionalni inštitut za standarde in tehnologijo (NIST) v ZDA je razvil model, ki pametno proizvodnjo obravnava kot dinamičen in integriran ekosistem. Namesto osredotočanja na statično hierarhično strukturo, model NIST poudarja prepletanje in medsebojno odvisnost treh ključnih življenjskih ciklov. Ti so temelj vsakega proizvodnega podjetja. Ti trije cikli so:

- **Življenjski cikel izdelka (Product Lifecycle):** Ta sledi izdelku od njegove idejne zasnove do konca. Začne se z raziskavami in razvojem, načrtovanjem (CAD), simulacijami (CAE) in pripravo proizvodne dokumentacije. Nadaljuje se skozi fazo proizvodnega inženiringa, izdelave, sestave in kontrole kakovosti. Po prodaji pa vstopi v fazo uporabe, kjer je pomembno servisiranje, vzdrževanje in morebitne nadgradnje. Na koncu življenjske dobe sledi razgradnja, ponovna uporaba komponent in recikliranje. V pametni tovarni so vse te faze digitalno povezane. Podatki iz faze uporabe (npr. podatki o okvarah) se v realnem času vračajo v fazo načrtovanja za izboljšanje prihodnje generacije izdelka.
- **Življenjski cikel proizvodnega sistema (Production System Lifecycle):** Ta se osredotoča na sredstva, ki omogočajo proizvodnjo – torej na stroje, opremo, orodja in celostne proizvodne linije. Ta cikel ima prav tako svoje faze: načrtovanje in zasnovo proizvodne opreme, njeno izdelavo ali nakup, namestitev in zagon (komisioniranje), delovanje, redno in prediktivno vzdrževanje, morebitne posodobitve in na koncu razgradnjo. Ključno za pametno tovarno je, da se podatki o delovanju opreme (npr. OEE, poraba energije, obraba orodij) neprestano zbirajo in analizirajo za optimizacijo njenega delovanja in podaljšanje življenjske dobe.

- **Poslovni cikel (Business Cycle):** Ta perspektiva obravnava vidik oskrbovalne verige in temelji na uveljavljenem referenčnem modelu SCOR (*Supply-Chain Operations Reference*). Vključuje pet ključnih faz: načrtovanje (predvidevanje po povpraševanju, planiranje proizvodnje in zalog), nabava (izbor dobaviteljev, naročanje materialov), izdelava (proizvodnja in kontrola kakovosti), dostava (upravljanje naročil, skladiščenje, transport) in vračila (gospodarjenje z reklamacijami, popravili, recikliranjem).

Prava moč modela NIST se pokaže v presečišču teh treh dimenzij. Pametna tovarna ni samo avtomatizirana, temveč združuje podatke iz vseh treh perspektiv. Na primer: okvara na izdelku v fazi uporabe se lahko preko IoT senzorjev poveže z parametri delovanja stroja v času njegove izdelave in s specifično serijo vhodnega materiala določenega dobavitelja. Takšna celovita sledljivost omogoča hitro odkrivanje vzrokov napak, ciljno reševanje problemov in nenehno izboljševanje na vseh nivojih. Model NIST tako spodbuja sistemsko razmišljanje, ki presega meje posameznih oddelkov in podjetij.



Slika 3: NIST model

2.3.6 IMSA - Intelligent Manufacturing System Architecture

Arhitekturni model inteligentnega proizvodnega sistema (IMSA - *Intelligent Manufacturing System Architecture*) je referenčni okvir, ki ga je razvila Kitajska. Je tridimenzionalni model, ki omogoča celoten prikaz in razumevanje vseh ključnih vidikov pametne tovarne. Tri temeljne dimenzije modela so življenjski cikel (Lifecycle), sistemska hierarhija (System Hierarchy) in inteligentne funkcije (Intelligent Functions). Te skupaj tvorijo celosten okvir, kar omogoča tako vertikalno kakor horizontalno integracijo.

Struktura Modela IMSA

- **Dimenzija Življenjskega cikla (Lifecycle)**

Ta opisuje celoten proces ustvarjanja vrednosti, od zasnove izdelka do njegove poprodajne podpore. Zagotavlja celovito ("end-to-end") integracijo podatkov in procesov skozi vse faze. Sestavljena je iz petih ključnih stopenj:

- **Načrtovanje (Design):** Faza, ki vključuje raziskave, razvoj, simulacije, verifikacijo in optimizacijo izdelka glede na zahteve in tehnološke omejitve.
- **Proizvodnja (Manufacture):** Dejanski proces izdelave produkta.
- **Logistika (Logistics):** Proces transporta blaga do končne destinacije.
- **Prodaja (Sale):** Poslovne aktivnosti, povezane s prenosom izdelkov od podjetja do strank.
- **Storitve (Service):** Poprodajne aktivnosti, vključno z vzdrževanjem, podporo in recikliranjem.

- **Dimenzija sistemske hierarhije (System Hierarchy)**

Ta opisuje funkcionalno ter organizacijsko strukturo proizvodnega okolja, od posamezne naprave do sodelovanja med podjetji. Omogoča vertikalno integracijo informacijskih in operativnih tehnologij. Sestavljena je iz petih nivojev:

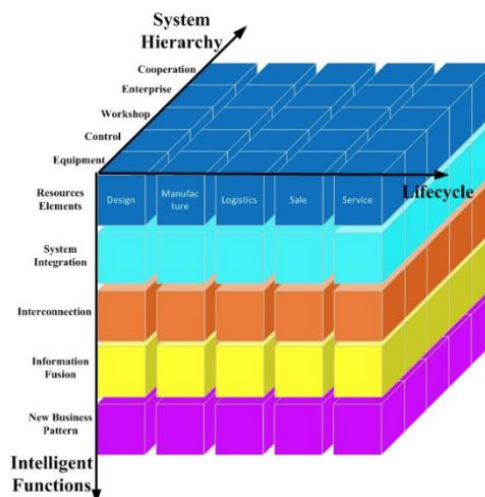
- **Oprema (Equipment):** Najnižji nivo, ki zajema senzorje, merilne instrumente in stroje.
- **Krmiljenje (Control):** Nivo, odgovoren za obdelavo informacij ter nadzor in vodenje fizičnih procesov znotraj tovarne.
- **Delavnica (Workshop):** Nivo, ki strukturira proizvodnjo in upravljanje na nivoju celotnega proizvodnega obrata (pogosto povezan s sistemi MES).
- **Podjetje (Enterprise):** Najvišji nivo znotraj organizacije, ki skrbi za celovito upravljanje podjetja (povezan s sistemi ERP in PLM).
- **Sodelovanje (Cooperation):** Nivo, ki presega meje enega podjetja in omogoča medsebojno povezovanje in izmenjavo informacij z zunanjimi partnerji.

- **Dimenzija inteligentnih funkcij (Intelligent Functions)**

Ta predstavlja tehnološki temelj, ki omogoča inteligentno delovanje sistema. Končni cilj je doseganje avtonomnega delovanja sistema preko samo-zaznavanja, samo-učenja, samo-odločanja in samo-izvajanja. Sestavljena je iz petih medsebojno povezanih slojev, ki omogočajo horizontalno integracijo:

- **Viri (Resources Elements):** predstavljajo hierarhično strukturo, ki jo podjetje uporablja za izvajanje digitalnih procesov z uporabo svojih virov in orodij.
- **Medsebojno povezovanje (Interconnection):** Komunikacijski sloj omogoča povezljivost med opremo, sistemi in podjetji.
- **Združevanje informacij (Information Fusion):** Sloj, kjer se s pomočjo tehnologij, kot sta računalništvo v oblaku in velepodatki (Big Data), zbirajo, obdelujejo in analizirajo podatki za ustvarjanje informacij in nadaljnjih odločitev.

- **Sistemska integracija (System Integration):** Skrbi za integracijo inteligentne opreme v pametne proizvodne enote, linije in tovarne.
- **Novi poslovni vzorci (New Business Pattern):** Najvišji sloj izkorišča tehnološke zmožnosti za ustvarjanje novih, inovativnih poslovnih modelov.



Slika 4: IMSA model

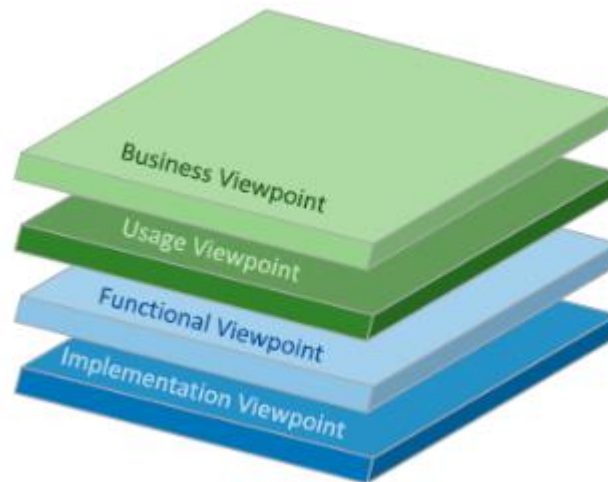
2.3.7 IIRA - Industrial Internet Reference Architecture

Referenčna arhitektura industrijskega interneta (IIRA) nasprotju z modeli, ki so poudarjeno osredotočeni na proizvodnjo, ima IIRA širši namen in je zasnovana za uporabo v različnih industrijskih sektorjih (energetika, zdravstvo, transport in pametna mesta). Njen temeljni pristop ni opisovanje fiksne strukture, temveč zagotavljanje metodologije za načrtovanje kompleksnih sistemov interneta stvari z analizo skozi štiri komplementarne poglede (ang. *Viewpoints*).

- **Poslovni pogled (Business Viewpoint):** Glavni cilj je razumeti poslovni kontekst sistema. To vključuje identifikacijo vseh deležnikov (lastnikov, uporabnikov, vzdrževalcev), njihovih interesov, vizije ter temeljnih vrednot. Ključni del tega pogleda je definiranje merljivih poslovnih ciljev in ključnih kazalnikov uspešnosti (KPI), s katerimi se bo merila uspešnost sistema. Za inženirja to pomeni, da jasno razumeti, kakšen problem rešuje - ali je to zmanjšanje zastojev, izboljšanje kakovosti, itd.
- **Uporabniški pogled (Usage Viewpoint):** Ta se osredotoča na vprašanje "Kako bo sistem uporabljen?". Opisuje konkretne scenarije uporabe in interakcije med uporabniki (človekom ali strojem) in sistemom. Definira naloge, aktivnosti in delovne tokove.
- **Funkcionalni pogled (Functional Viewpoint):** Sistem razdeli na logične funkcionalne bloke in opiše njihove odgovornosti, vmesnike in medsebojne odnose. IIRA definira pet ključnih funkcionalnih domen: vodenje (neposredna interakcija s fizičnim svetom), operacije (upravljanje, nadzor in optimizacija), informacije (zbiranje, preoblikovanje, shranjevanje in analiza podatkov), aplikacije (poslovna logika) in poslovanje (integracija s poslovnimi sistemi, kot je ERP).
- **Implementacijski pogled (Implementation Viewpoint):** Opisuje konkretne tehnologije, programsko in strojno opremo, standarde in protokole, ki bodo

uporabljeni za realizacijo funkcionalnih komponent. Tu IIRA predlaga splošno trinivojsko arhitekturo: Robni nivo (*Edge Tier*), kjer se nahajajo senzorji in pametne naprave; Nivo platforme (*Platform Tier*), ta skrbi za zbiranje podatkov, analitiko in upravljanje; ter Nivo podjetja (*Enterprise Tier*), kjer tečejo poslovne aplikacije.

IIRA s svojim sistematičnim, od zgoraj navzdol (top-down) pristopom deluje kot vodič skozi proces načrtovanja, ki zagotavlja, da je končna tehnična rešitev trdno zasidrana v poslovnih ciljih in uporabniških potrebah.



Slika 5: IIRA model

2.3.8 I3RM - Industrial Internet Integrated Reference Model

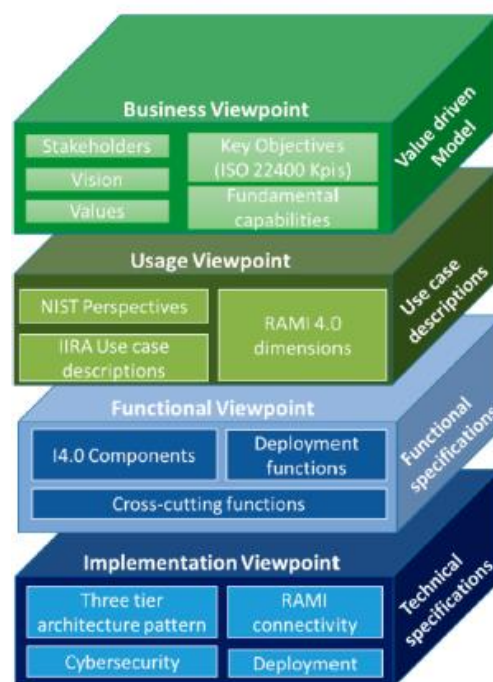
Integriran referenčni model industrijskega interneta (ang. *Industrial Internet Integrated Reference Model*) (I3RM) predstavlja enega najnovejših poskusov združitve obstoječih arhitekturnih modelov. Nastal je kot odgovor na praktične izzive, s katerimi so se soočali razvijalci, kot je evropska platforma za proizvodnjo brez napak. (ZDMP - *Zero Defect Manufacturing Platform*) Pokazalo se je, da ni univerzalnega modela, zato I3RM deluje kot nekakšen "meta-model" oz. praktičen "komplet orodij", ki združuje najboljše prakse različnih modelov in jih povezuje v povezano celoto.

Za svojo osnovo I3RM uporablja **štiri poglede iz modela IIRA** (poslovni, uporabniški, funkcionalni, implementacijski), tako zagotovi odličen, strukturiran proces načrtovanja od poslovne ideje do tehnične rešitve. I3RM vsakega od teh pogledov nadgradi z elementi drugih modelov:

- **Nadgradnja poslovnega pogleda:** poslovni pogled v IIRA precej splošen, I3RM ga naredi bolj merljivega in specifičnega za proizvodnjo z integracijo **standardiziranih ključnih kazalnikov uspešnosti (KPI) iz standarda ISO 22400**. To pomeni, da se poslovni cilji, kot na primer "dvig učinkovitosti", prevedejo v konkretne merljive kazalnike kot so skupna učinkovitost opreme (OEE), stopnja izmeta ali čas cikla.

- **Nadgradnja uporabniškega pogleda:** Načrtovanje zapletenih delovnih tokov, ki povezujejo več podjetij – kot so proizvajalci strojev, njihove stranke in ponudniki programske opreme – je zahtevna naloga. I3RM ta problem rešuje z uporabo **perspektiv iz modela NIST ekosistem pametne tovarne**.
- **Nadgradnja funkcionalnega pogleda:** Za doseganje prave interoperabilnosti med napravami različnih proizvajalcev I3RM v funkcionalni pogled vpelje koncept **administrativnih lupin (AAS - Asset Administration Shell)**. Ta koncept, ki je osrednjega pomena za nemško vizijo Industrije 4.0, predvideva, da ima vsako fizično sredstvo (stroj, orodje, izdelek) svoj standardiziran "digitalni potni list".
- **Nadgradnja implementacijskega pogleda – Nivo za sodelovanje:** To je verjetno najpomembnejša inovacija modela I3RM. Klasična tri-nivojska arhitektura (rob, platforma, podjetje) dobro deluje znotraj enega podjetja. Sodobne digitalne platforme pa delujejo kot tržnice, kjer sodelujejo številna različna podjetja. Zato i3RM doda četrti, najvišji nivo: **nivo sodelovanja (Collaboration Tier)**. Ta nivo je namenjen upravljanju sodelovanj med različnimi podjetji.

I3RM tako ne ponuja le enega samega pogleda na problem, temveč celosten in prilagodljiv okvir, ki združuje strukturno jasnost, procesno usmerjenost in osredotočenost na sodelovanje, kar ga dela izjemno primerne za načrtovanje najzahtevnejših sistemov v dobi Industrije 4.0.



Slika 6: I3RM model

2.4 Opredelitev glavnih pojmov, konstruktov oz. spremenljivk ter opis predvidene povezave med pojmi

Eden izmed glavnih pojmov v članku “The Stuttgart IT Architecture for Manufacturing: An Architecture for the Data-Driven Factory” je **podatkovno vodena tovarna** (angl. Data-Driven Factory), kjer gre za koncept z izkoriščanjem velike količine industrijskih podatkov (Big Data) za pridobivanje prednosti v proizvodnji. Koncept ima tri pomembne značilnosti:

- **Agilnost**, ki je sposobnost prilagajanja spremembam na trgu s hitro integracijo novih podatkovnih virov in procesov.
- **Učeča se proizvodnja**, ki opredeljuje neprekinjeno pridobivanje znanja iz podatkov s pomočjo napredne analitike.
- **Proizvodnja z vključevanjem človeka** – vključevanje zaposlenih v podatkovne tokove in odločanje s pomočjo mobilnih tehnologij in kontekstne informacijske podpore

Pomembna je tudi Big Data oziroma velepodatki, ki predstavlja podatkovne zbirnike, ki nastajajo skozi celoten življenjski cikel izdelka (senzorji, stroji, povratne informacije uporabnikov, servisni zapisniki, družbena omrežja). Podatki vključujejo strukturirane podatke (npr. ERP) in nestrukturirane podatke (besedila, video, slike).

Naslednji glavni pojem je **SITAM**, ki je v članku predlagan arhitekturni model za uresničitev koncepta pametne tovarne. Model presega tradicionalno informacijsko piramido z naslednjimi komponentami:

- **Integracijski vmesnik**, ki omogoča storitveno usmerjeno integracijo heterogenih IT sistemov (SOA, ESB).
- **Analitični vmesnik**, ki podpira napredno analitiko (deskriptivno, prediktivno, preskriptivno) na strukturiranih in nestrukturiranih podatkih.
- **Mobilni vmesnik**, ki omogoča mobilno informacijsko podporo in vključevanje zaposlenih preko mobilnih aplikacij.
- **Storitve z dodano vrednostjo**, so kombinacije funkcionalnosti treh vmesnikov SITAM modela, ki omogočajo konkretne aplikacije, kot so nadzorne plošče, obvestila za delavce ali avtomatizirane analize kakovosti.

Spremenljivke oziroma konstrukte zajemajo tri tehnične zahteve, ki so **Fleksibilna integracija heterogenih IT sistemov (R1)**, katera omogoča povezovanje različnih virov podatkov skozi življenjski cikel izdelka (npr. ERP). **Celostna podatkovna osnova in napredna analitika (R2)** vključuje obdelavo in integracijo strukturiranih in nestrukturiranih podatkov za pridobivanje znanja in priporočil. **Mobilno informacijsko posredovanje (R3)** pa omogoča dostop do informacij in interakcijo med zaposlenimi z storitvami (analitične storitve) preko mobilnih naprav.

Pojme lahko povezujemo kot naslednje:

SITAM je referenčni arhitekturni model, ki uresničuje koncept pametne tovarne. **Big Data** predstavlja vhodne podatke za model, s pomočjo katerih **analitični vmesnik** izvaja analitiko.

Integracijski vmesnik mogoča fleksibilno integracijo podatkovnih virov (R1), analitični vmesnik pa izvaja celotno analitiko (R2). **Mobilni vmesnik** skrbi za vključevanje človeka oziroma podporo zaposlenim (R3)

Rezultat povezav so **storitve z dodano vrednostjo** (učni, agilni in človeku usmerjeni procesi) kar so značilnosti podatkovno vodene tovarne. Data Quality Managment (kakovost podatkov) in SOA skrbita za varnost, standardizacijo in zanesljivost znotraj arhitekture.

2.5 Predstavitev metode/načina podajanja

V članku je uporabljena konceptualno razvojno raziskovalna metoda. S strani avtorjev niso bile izvajane statistične analize in empirični preizkusi. Razvili so teoretično praktični model SITAM in ga uporabili v praktičnem primeru iz avtomobilske industrije. Metoda temelji na analizi obstoječih referenčnih arhitekturnih modelov, identifikaciji omejitev tradicionalne piramide informacij, podajanja rešitev v obliki novega modela in demonstraciji (uporaben primer).

Avtorji so uporabili večfazni pristop, sestavljen iz naslednjih korakov:

- **Problemi in analiza stanja**, kjer so preučili obstoječe arhitekturne modele (RAMI 4.0, IIRA, ...) in identificirali njihove omejitve. Na podlagi tega so določili tri tehnične zahteve (R1, R2, R3).
- **Razvoj konceptualnega arhitekturnega modela SITAM**, kjer so oblikovali več nivojski model s tremi glavnimi vmesniki. Uporabili so pristop SOA (Service Oriented Architecture) za fleksibilno integracijo IT sistemov. Upoštevali so tudi človeka v proizvodnji z vključevanjem mobilnih aplikacij.
- **Identifikacija tehnologij za implementacijo**, kjer so opredelili odprtokodne in komercialna orodja, katera lahko realizirajo posamezne plasti modela.
- **Prototipna implementacija**, tukaj so izvedli osnovne komponente modela SITAM z uporabo odprtokodnih orodij in razvili mobilne aplikacije analitičnih modulov. Nato so testirali osnovno delovanje modela.
- **Primer uporabe**, pri katerem so uporabili arhitekturni model v avtomobilski industriji za upravljanje kakovosti in optimizacijo procesa. Prikazali so kako s pomočjo modela SITAM lahko zbiramo, analiziramo in mobilno uporabimo podatke v praksi (analiza napak v avtomobilskem laku in vnaprej predvidena priporočila za izboljšanje proizvodnega procesa).

Članek je napisan v tehnično znanstvenem slogu s kombinacijo opisne razlage, shematskih prikazov, primerjalnih tabel in praktičnega primera.

2.6 Predstavitev rezultatov

Glavni rezultat raziskave v članku je razvoj in predstavitev informacijskega arhitekturnega modela za pametno tovarno SITAM, ki vključuje vmesnike integracije, analitike in mobilnosti, s pomočjo katerih se ustvarjajo storitve z dodano vrednostjo skozi celoten življenjski cikel izdelka. Rezultat razvoja tega modela z njegovimi komponentami (hierarhija ESB-jev, analitike, integracije in sklopa za mobilnega vmesnika, povratne zanke), je torej modularen, razširljiv in prilagodljiv arhitekturni model, s pomočjo katerega se lahko združujejo obstoječi industrijski sistemi.

Za prototipiranje (preverba izvedljivosti modela) so uporabili tehnologije WSO2 Enterprise Service Bus za integracijo, Alfresco CMS + Neo4j za repozitorij podatkov, Apache UIMA za obdelavo nestrukturiranih podatkov (besedil), WEKA in KNIME za strojno učenje in podatkovno rudarjenje in Mobilne aplikacije (Android, Windows, HTML5) za dostop do analitičnih storitev. Rezultat prototipa je povezovanje različnih virov podatkov, izvajanje prediktivne in preskriptivne analitike in mobilno prikazovanje rezultatov zaposlenim.

Rezultati demonstracije učinkovitosti (primer uporabe v avtomobilski industriji) so bili poročila o napakah (lak), povezovanje z okoljskimi in procesnimi podatki priporočila za popravljalne ukrepe (uravnavanje vlažnosti v lakirnici), torej hitro in avtomatizirano iskanje napak, prilagajanje proizvodnih procesov in integracija zaposlenih v proces (prikaz v mobilnih aplikacijah).

Primerjali so tudi SITAM z obstoječimi arhitekturami za pametne tovarne. Prišli so do zaključka, da je ta model edini, ki izpolnjuje vse tri tehnične zahteve (R1, R2, R3) in poleg tega ponuja smernice za implementacijo. S tem zapolni vrzel med teoretičnimi in praktičnimi primeri.

	Abstract frameworks for Industrie 4.0 and Smart Manufacturing	Cross-domain-spanning reference architectures	Stuttgart IT Architecture for Manufacturing	Concrete manufacturing IT architectures
Integration (R ₁)	●	⦿	●	●
Analytics (R ₂)	○	⦿	●	⦿
Mobile (R ₃)	○	⦿	●	⦿
Granularity	→			
Reference architecture	●	●	●	○
Concrete implementation	○	○	●	●

Slika 7: Tabela primerjave modelov

V tabeli so prikazani rezultati primerjave z drugimi arhitekturami. Naprimer RAMI 4.0 so zelo splošni konceptualni okvirji za digitalno industrijo (1. stolpec) in izpolnjujejo samo Integracijo. Referenčne arhitekture ki presegajo posamezno industrijo (2. stolpec) so npr. IIRA in samo delno izpolnijo zahteve in ne podajajo konkretne implementacije. Iz tabele je

Prispevki članka

Članek teoretično prispeva **konceptualni okvir podatkovno vodene tovarne**, ki vključuje opredelitev z tremi značilnostmi (agilnost, učeča se proizvodnja in vključevanje človeka) in sistematično analizo omejitev tradicionalne piramidne proizvodnje, **referenčni arhitekturni model SITAM**, ki povezuje podatke, analitiko in človeka v enotno informacijsko ogrodje, **Opredelitev treh tehničnih zahtev** (R1, R2, R3), ki določijo zahteve sodobnih IT arhitektur in analizo obstoječih arhitektur, kjer ocenijo obstoječe modele (npr. IIRA, RAMI 4.0, ...).

Praktični prispevki so **delujoč prototip modela SITAM**, ki je bil razvit z odprtokodnimi orodji (WSO2 ESB, Alfresco, Neo4j, UIMA, KNIME, Android/HTML5 aplikacije) in s tem dokazuje praktično izvedljivost, **uporaba v avtomobilski industriji**, kjer so preizkusili

model pri upravljanju kakovosti in optimizaciji procesa (analiza napak, samodejno iskanje vzrokov, prilagajanje procesov z mobilno podporo), **tehnološka priporočila**, kjer so navedena tehnologije za implementacijo posameznih slojev (Integracija: WSO2 ESB, SOAP/REST, OPC-UA, MQTT, analitika: Hadoop, Apache Mahout, Spark, WEKA, KNIME, mobilno: Android, iOS, HTML5, Angular.js, D3.js, podatkovna kakovost: OpenNLP, LibTextCat, R paketi) in **primerjalna ocena**, kjer je SITAM prikazano, da ta model v celoti izpolnjuje vse tri zahteve in nudi uporabnost.

3 Vrednotenje članka

3.1 Kritična ocena članka SITAM in lastno mnenje

- **Pohvala:** Članek o SITAM (Stuttgart IT Architecture for Manufacturing) je izjemen, ker naslavlja ključno pomanjkljivost tradicionalnih proizvodnih IT sistemov – njihovo togo, hierarhično strukturo (informacijsko piramido). Predstavlja napreden, celosten in na podatkih temelječ pristop. Njegove največje prednosti so:
 1. **Fleksibilna integracija** s pomočjo storitveno-orientirane arhitekture (SOA), ki odpravlja podatkovne silose.
 2. Močan poudarek na **napredni analitiki**, ki vključuje ne le opisno in napovedno, ampak tudi **preskriptivno analitiko** (predlaganje ukrepov).
 3. Vključitev **mobilne podpore** za delavce, kar poudarja pomen človeka v pametni tovarni.
- **Kritika:** Glavna slabost modela SITAM je njegova visoka kompleksnost. Za implementacijo v praksi, še posebej v manjših in srednje velikih podjetjih, zahteva visoko stopnjo IT zrelosti, znatna vlaganja in specializirana znanja. Članek se osredotoča na arhitekturo, manj pa na organizacijski in stroškovni vidik.

3.2 Razširitve in poglobitve (primerjava z ostalimi članki)

Članki predstavljajo logično stopnjevanje od preprostega k kompleksnemu:

- **Model LASFA:** Je **poenostavljen, vstopni model**. Njegov glavni cilj je olajšati razumevanje osnovne vertikalne integracije v Industriji 4.0. Primeren je za podjetja, ki začnejo svojo pot digitalizacije.
- **Model SITAM:** Je **napreden, specializiran model**. Ne osredotoča se le na strukturo, ampak na funkcionalnost – kako iz podatkov ustvariti vrednost. Presega hierarhijo in v središče postavlja podatke, analitiko in človeka.

- **Članek "Reference Models for Digital Manufacturing Platforms":** Predstavlja **strateški, meta-pregled**. Ne ponuja novega modela iz nič, ampak primerja obstoječe model (RAMI 4.0, IIRA, NIST) in predlaga integriran model (I3RM), ki združuje njihove najboljše lastnosti z namenom ustvariti celovit okvir za standardizacijo in interoperabilnost.

3.3 Praktična uporabnost članka

Model SITAM je izjemno uporaben v visokotehnoloških industrijah, kot je avtomobilska, kjer so kakovost in optimizacija ključnega pomena.

- **Primer v podjetju (proizvajalec avtomobilov):**
 1. **Zbiranje podatkov:** S pomočjo SITAM-ove **integracijske plasti** podjetje poveže podatke iz različnih virov: senzorji v lakirnici (vlažnost, temperatura), poročila o napakah v proizvodnji in reklamacije strank o luščenju laka po nakupu.
 2. **Analiza:** **Analitična plast** obdela te podatke in ugotovi medsebojno korelacijo: povišana vlažnost v lakirnici povzroči povečano število reklamacij.
 3. **Ukrep:** Sistem proaktivno predlaga ukrep. Prek **mobilne plasti** dobi vodja izmene na pametno napravo obvestilo in ukrepa. Na ta način podjetje prepreči napako, še preden ta postane resen strošek, kar dokazuje moč podatkovno vodene tovarne.

3.4 Novosti, ki jih članek SITAM prinaša

- **Glavne novosti:**
 - **Prekinitev s tradicionalno informacijsko piramido:** Namesto toge hierarhije predlaga fleksibilno, na storitvah temelječo mrežo.
 - **Celosten pristop k podatkom:** Obravnava podatke iz celotnega življenjskega cikla izdelka in vključuje tako strukturirane kot nestrukturirane podatke.
 - **Poudarek na preskriptivni analitiki:** Cilj ni le vedeti, kaj se dogaja, ampak dobiti konkretna navodila za ukrepanje.
- **Kaj smo se naučili in kako naprej:**
 - **Naučili smo se,** da je prihodnost pametnih tovarn v inteligentni uporabi podatkov, za kar je nujna fleksibilna IT arhitektura.
 - **Nadaljnji koraki** morajo biti usmerjeni v razvoj bolj modularnih in cenovno dostopnih rešitev, ki temeljijo na principih SITAM. Potrebno je razviti praktične vodnike za implementacijo, ki bi podjetjem, predvsem manjšim, omogočili postopno uvajanje naprednih arhitektur.

Sklep

Današnja proizvodnja se torej sooča z kompleksnostjo, konkurenco in potrebo po hitrih spremembah. Informacijska piramida temu ne zadošča, zato je potrebno uveljaviti podatkovno vodene tovarne, kjer pridejo v upoštevanje referenčni arhitekturni modeli. Analiziran je bil članek o modelu SITAM, ki izpolnjuje zahteve po analitiki, fleksibilni integraciji in mobilni podpori, s pomočjo treh glavnih vmesnikov. Opisani so bili tudi modeli LASFA, ki je poenostavljen, didaktičen model s poudarkom na decentralizaciji, NIST, ki povezuje tri življenjske cikle, ki so proizvodni sistem, izdelek in poslovanje, IMSA, ki je tridimenzionalni model in poudarja življenjski cikel izdelka, sistemsko hierarhijo in inteligentne funkcije ter IIRA in i3RM, pri čemer je i3RM sestavljen iz večih elementov modelov. SITAM torej omogoča izpolnitev vrzeli med teoretičnim modelom in praktično izvedbo, ampak je še potreben razvoj za širšo uporabo.

Literatura in viri

- [1] Laura Kassner, Christoph Groger, Jan Konigsberg Eva Hoos, Cornelia Kiefer, Christian Weber, Christian Weber, and Bernhard Mitschang. “The Stuttgart IT Architecture for Manufacturing: An Architecture for the Data-Driven Factory”. *Springer International Publishing AG 2017* S. Hammoudi et al. (Eds.): ICEIS 2016, LNBIP 291, pp. 53–80, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-62386-3 3
- [2] Matevž Resman, Hugo Zupan, Niko Herakovič. “Model LASFA”. *AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2017 – ASM '17*, Posvet, Ljubljana, 6. december 2017.
- [3] Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler and Angel Ortiz. “Reference Models for Digital Manufacturing Platforms”. *Applied sciences*, let 9, str. 4433, 2019.