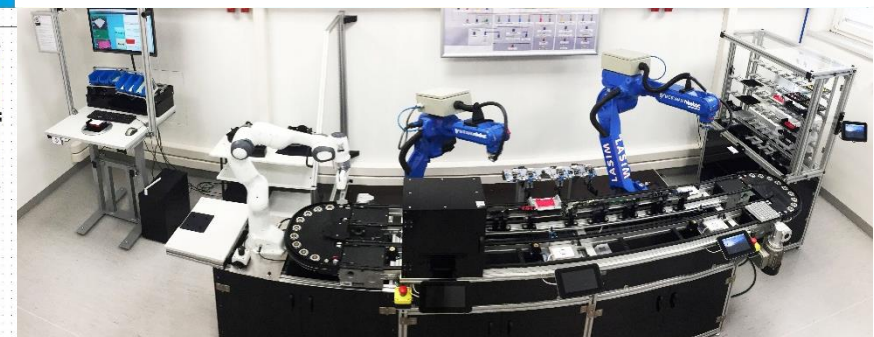
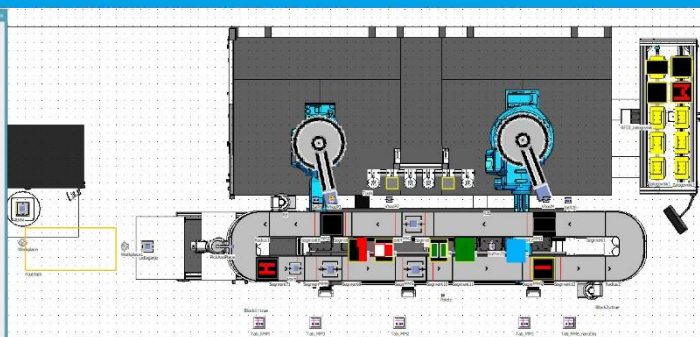
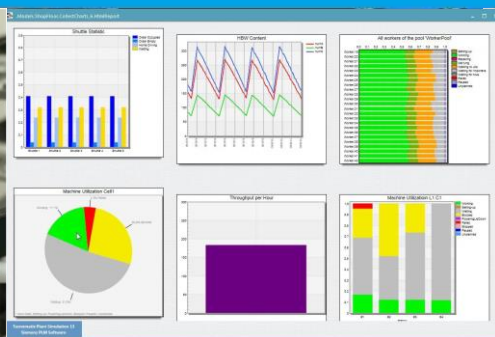




**LASIM**  
LABORATORIJ ZA STREGO, MONTAŽO IN PNEVMATIKO

# Industrija 4.0 in Pametna tovarna

Marko Šimic, Matevž Resman, Niko Herakovič  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij LASIM



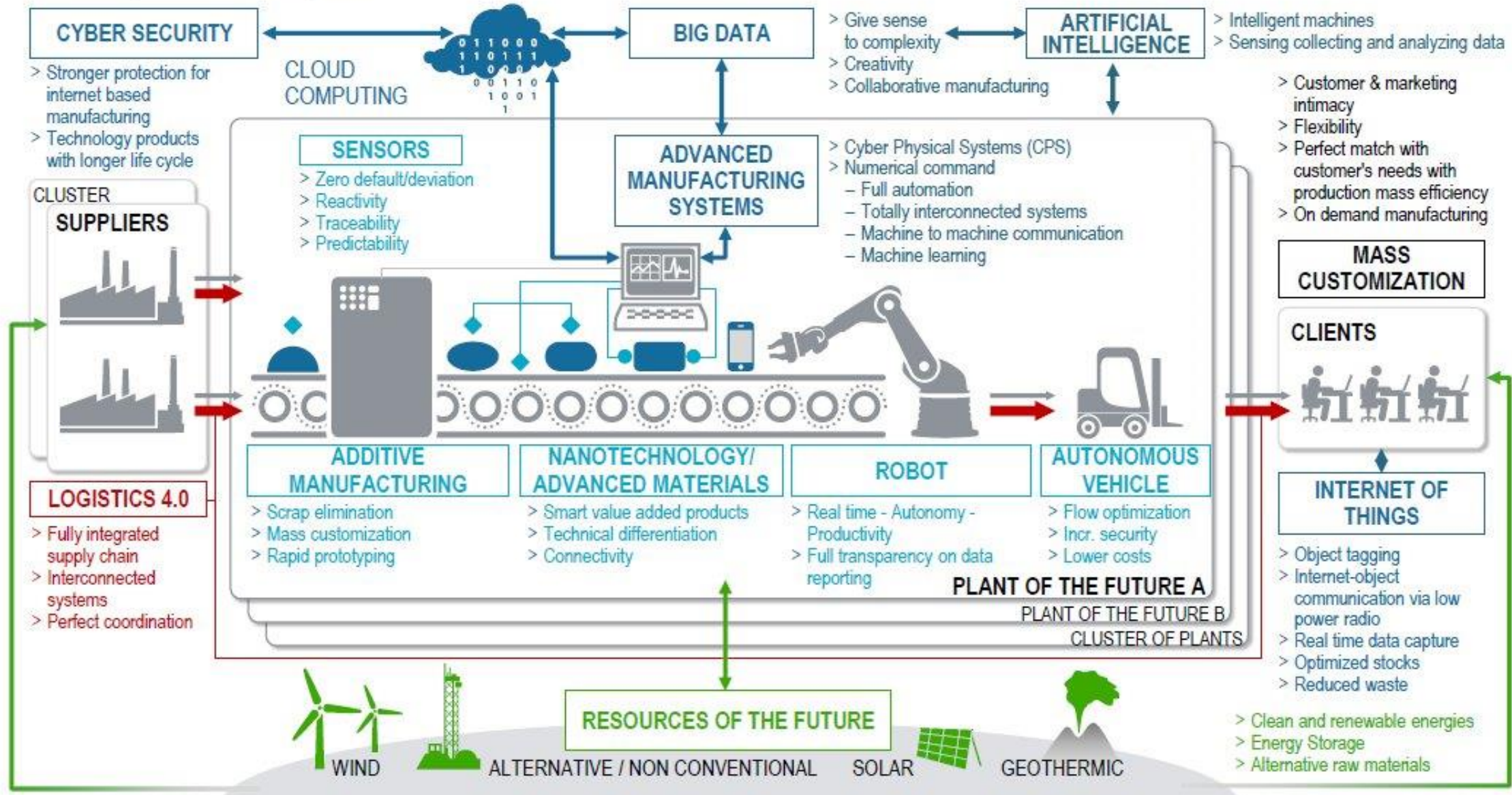
# Nekaj ciljev v podjetjih, ki jih zasledujemo ...

---

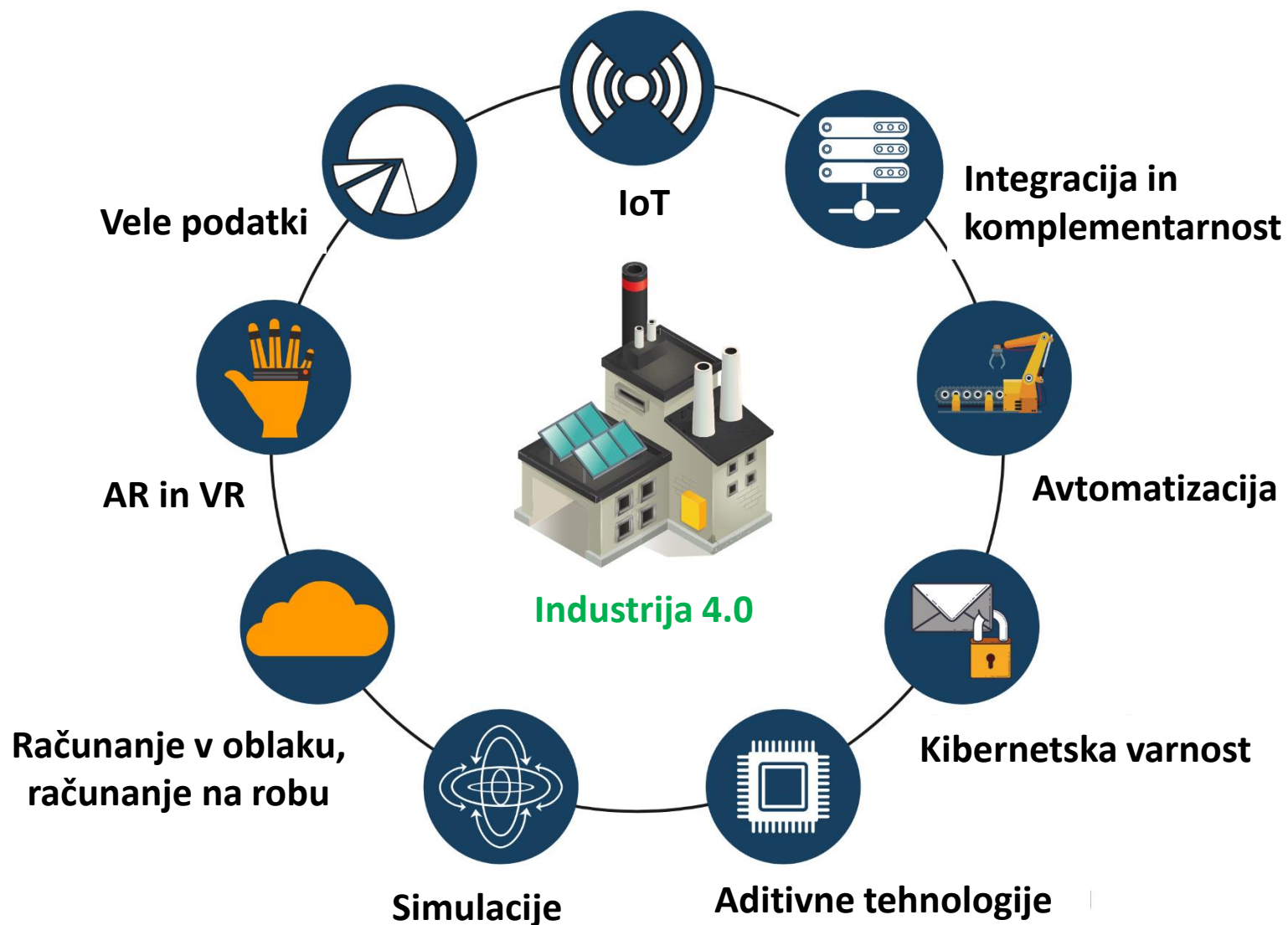
- Povečanje učinkovitosti, razpoložljivosti in zanesljivosti proizvodnih, logističnih procesov itd.)
- Povečanje produktivnosti in konkurenčnosti (OEE, ...)
- Skrajšanje pretočnih časov in dobavnih rokov
- Zmanjšanje zalog in inventarja
- Zmanjšanje napak, motenj in izmeta
- Individualizacija izdelkov, fleksibilnost, agilnost, ...
- Zmanjšanje porabe energije, manj ogljičnega odtisa...

**Ali se ti cilji v I 4.0 kaj spreminjajo? NE !!!**





# Industrija 4.0 in omogočitvene tehnologije



# Vprašanja, ki se pojavljajo v podjetjih

---

- Vprašanja, ki so vezana na pojav digitalizacije, novih tehnologij, umetne inteligence, povezljivosti, IIoT, kibernetске varnosti, ...
- Kako bomo to naredili?
- Kdo to zna?
- Kakšne kompetence morajo imeti delavci in kako pridobiti te kompetence?
- ...

# Integracija tehnologij I 4.0 v podjetje

- Katere podatke rabimo?
- Kje so ti podatki?
- Ali so ti podatki „pravilni“?
- Kako do njih dostopati in kako jih posredovati?





# 25 vodilnih držav v “Industrial Digital Transformation”

---

“Po abecednem vrstnem redu”

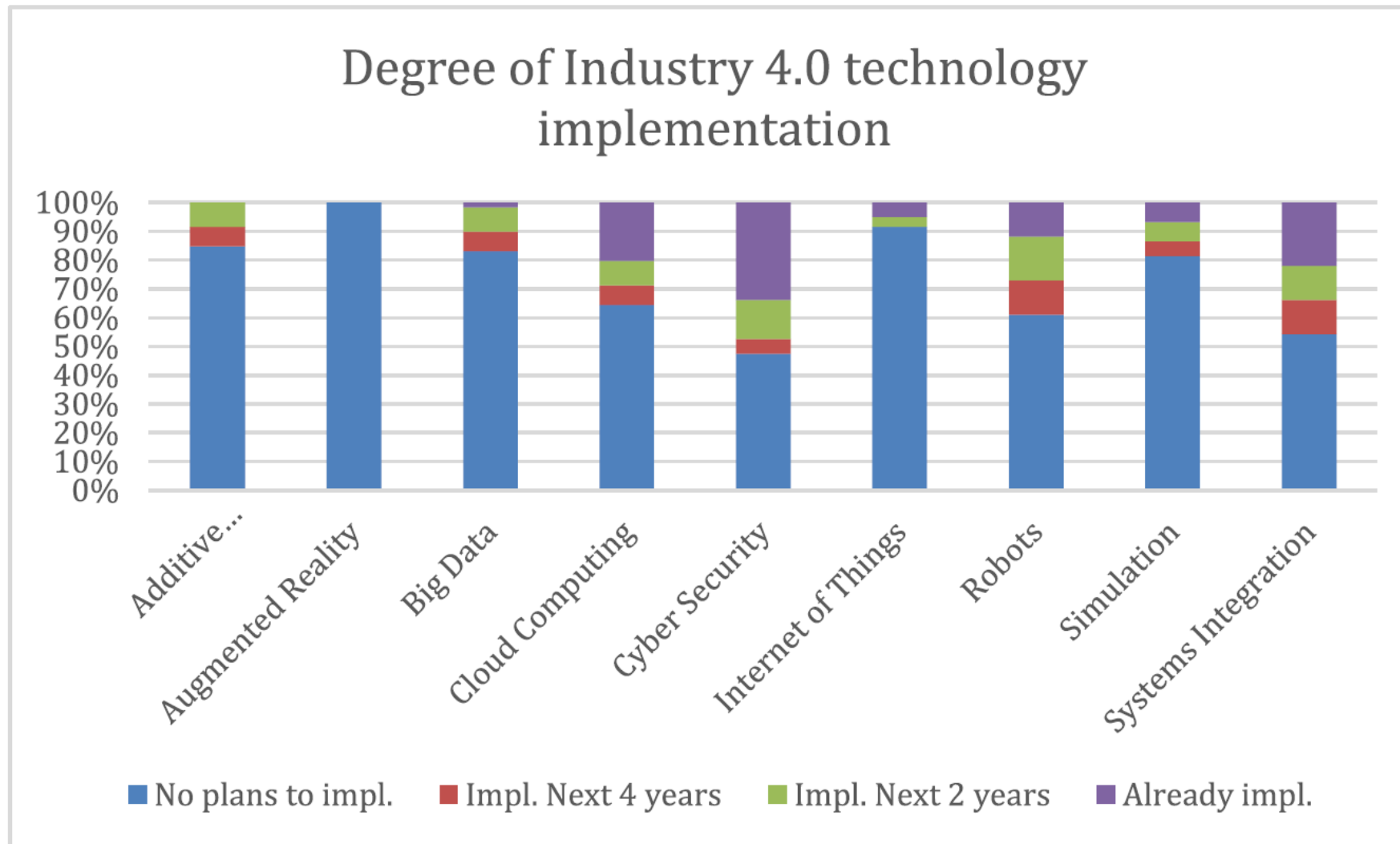
**Austria, Belgium, Canada, China, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Ireland, Israel, Italy, Japan, Republic of Korea, Malaysia, Netherlands, Poland, Singapore, **Slovenia**, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom and United States.**

DIH-  
DiMaPS

DIH for digital twins of logistics systems and manufacturing processes and systems

*Vir: World Economic Forum, A.T. Kearney, 2018*

# Stopnja implementacije I4.0 v SMP v EU



Vir: Fei Yu, Tim Schweisfurth, September 2020

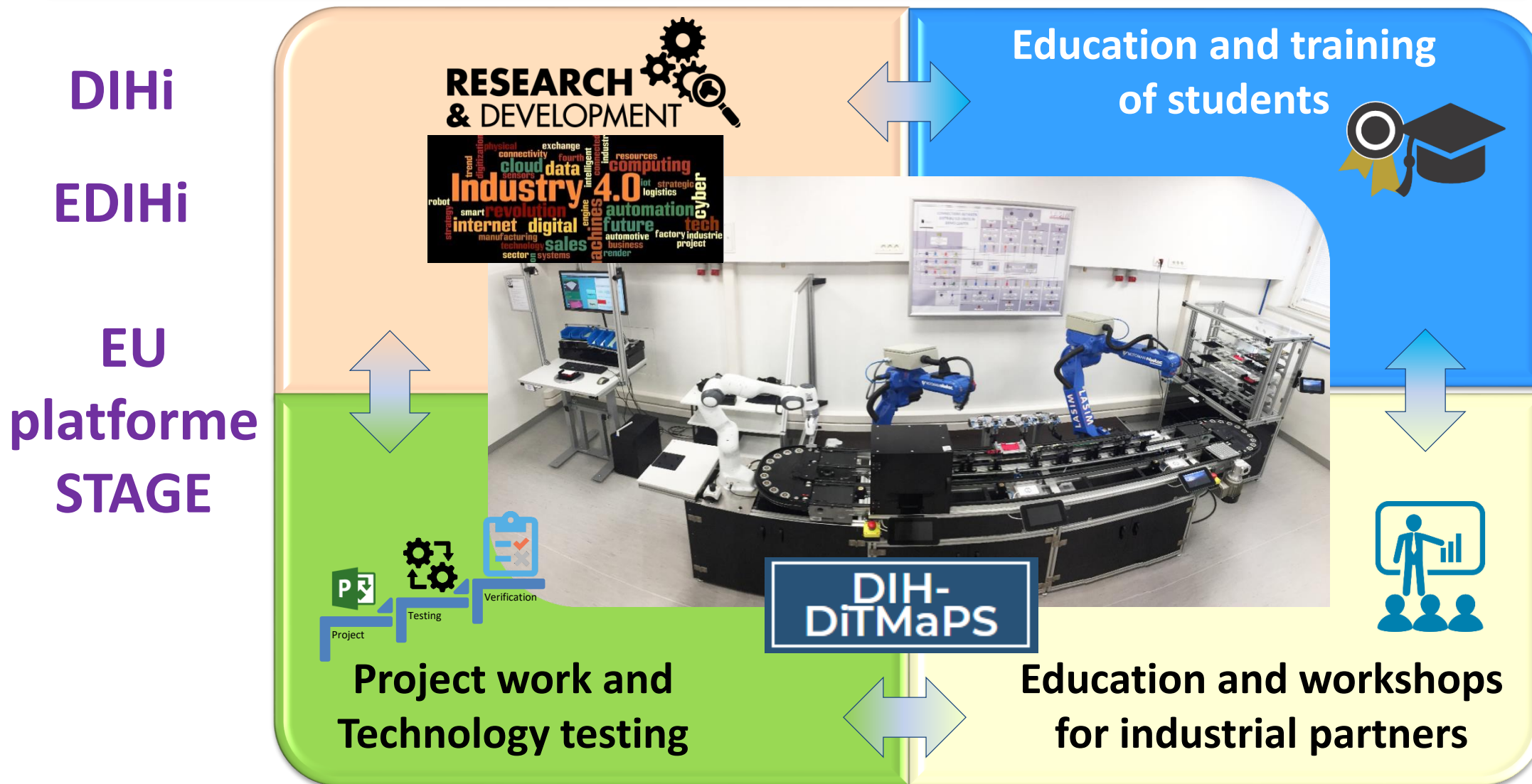


# Stanje v Sloveniji in pristopi k uvajanju tehnologij I4.0

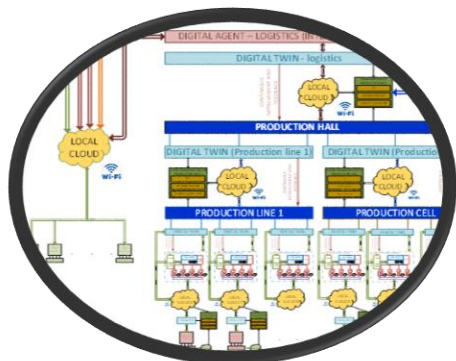
---

- Zelo raznoliko stanje v slovenskih podjetjih glede stopnje razvoja tehnologij – izkušnje nemškega podjetja (SME).
- Ne pričakovati takojšnjih učinkov ampak je treba postaviti srednjeročne in dolgoročne cilje.
- Strategija digitalizacije in uvajanje tehnologij I 4.0 mora izhajati iz podjetja samega.
- Pomembno je res dobro poznati bistvo - srž novih tehnologij in predvsem res razumeti, kaj nove tehnologije lahko prinesejo oz. kako lahko koristijo.
- Pristopiti je treba premišljeno z ustrezno sistematiko in izdelano strategijo, poznati nekaj primerov dobrih praks in vedeti, kdo bo to zanesljivo izvedel.

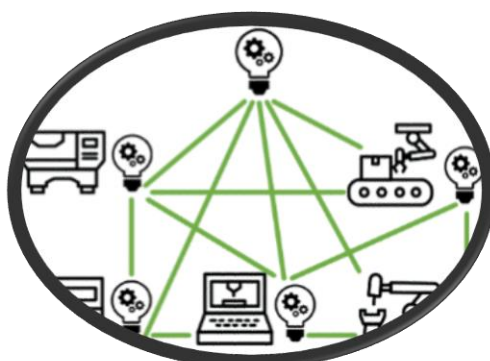
# Inovacijsko okolje Demo center Pametna tovarna LASIM



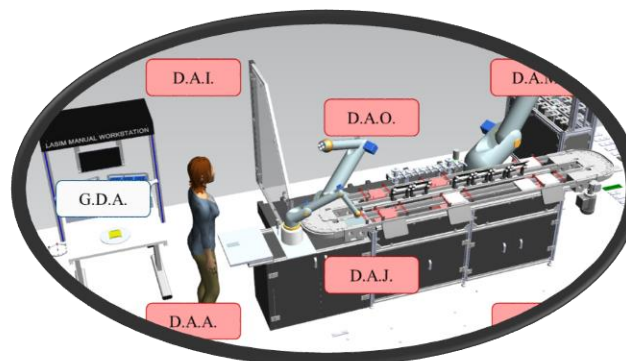
# Po našem mnenju ključne usmeritve I 4.0 za PT



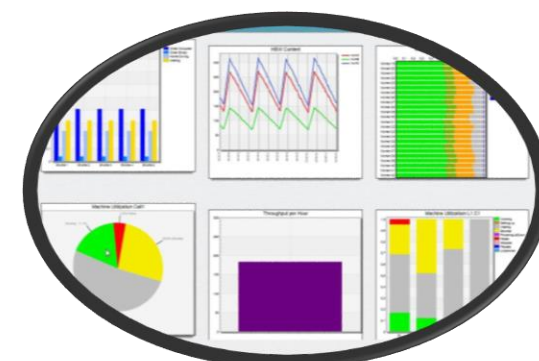
Arhitekturni modeli  
Pametna tovarna



Porazdeljeni sistemi in  
računanje na robu



DIGITALIZACIJA  
Digitalni dvojčki



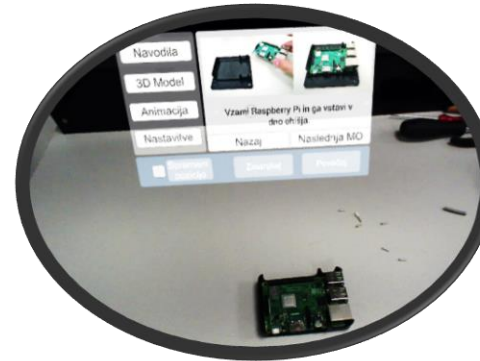
Modeliranje,  
simulacija,  
podatkovna analitika



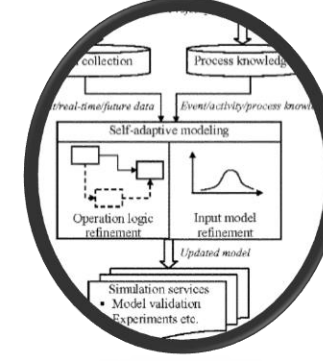
Pametna montaža  
in strega



Kobotika

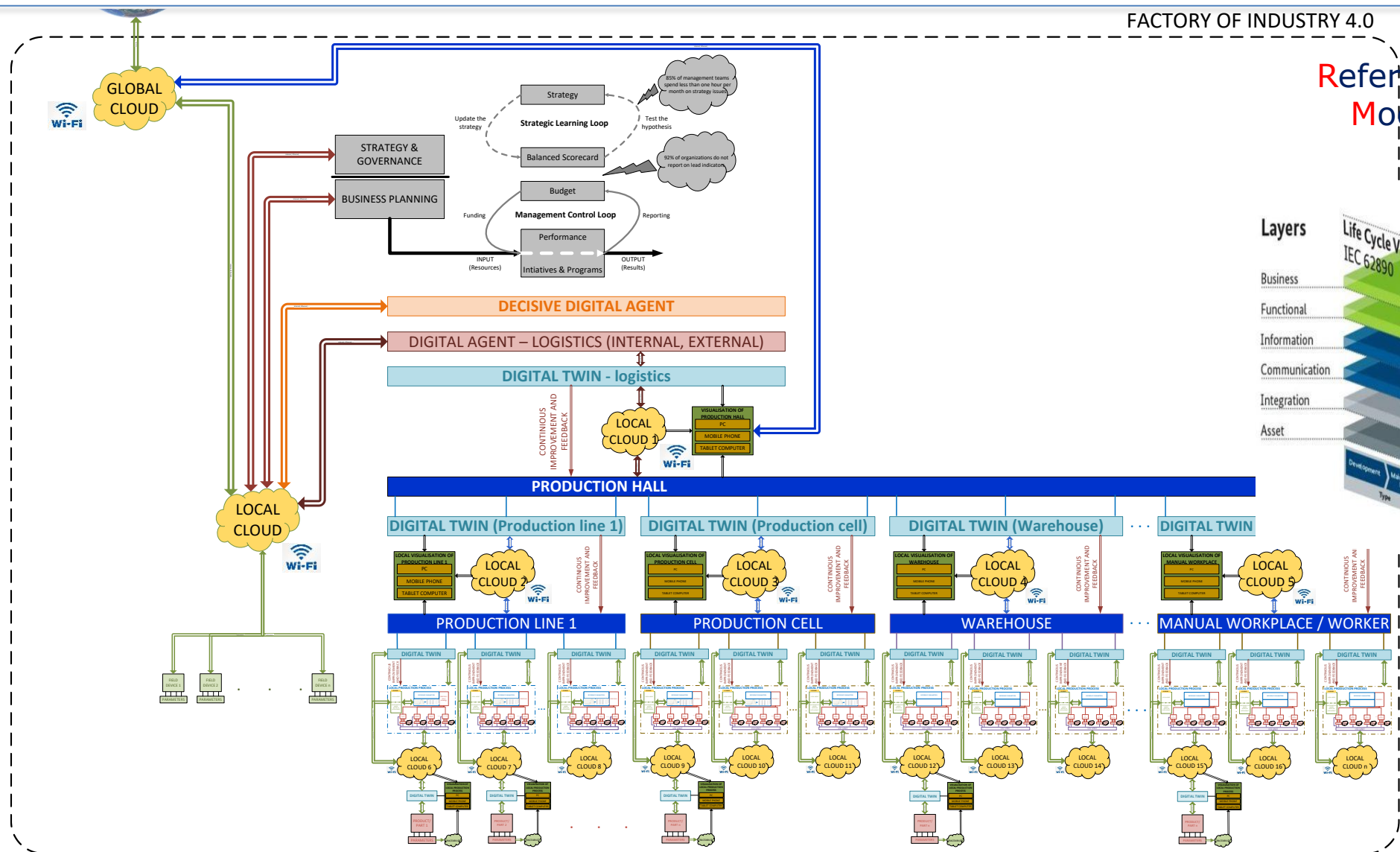


AR in VR

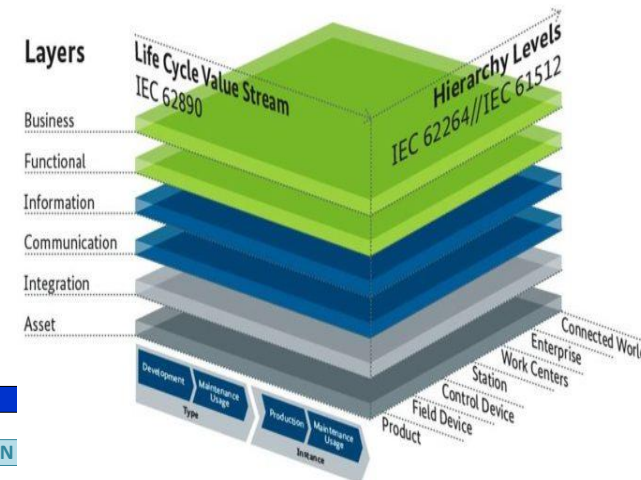


Umetna inteligenca,  
algoritmi

# Arhitekturni modeli, **LASFA** (LASIM Smart Factory)



Reference Architectural  
Model Industry 4.0  
RAMI 4.0



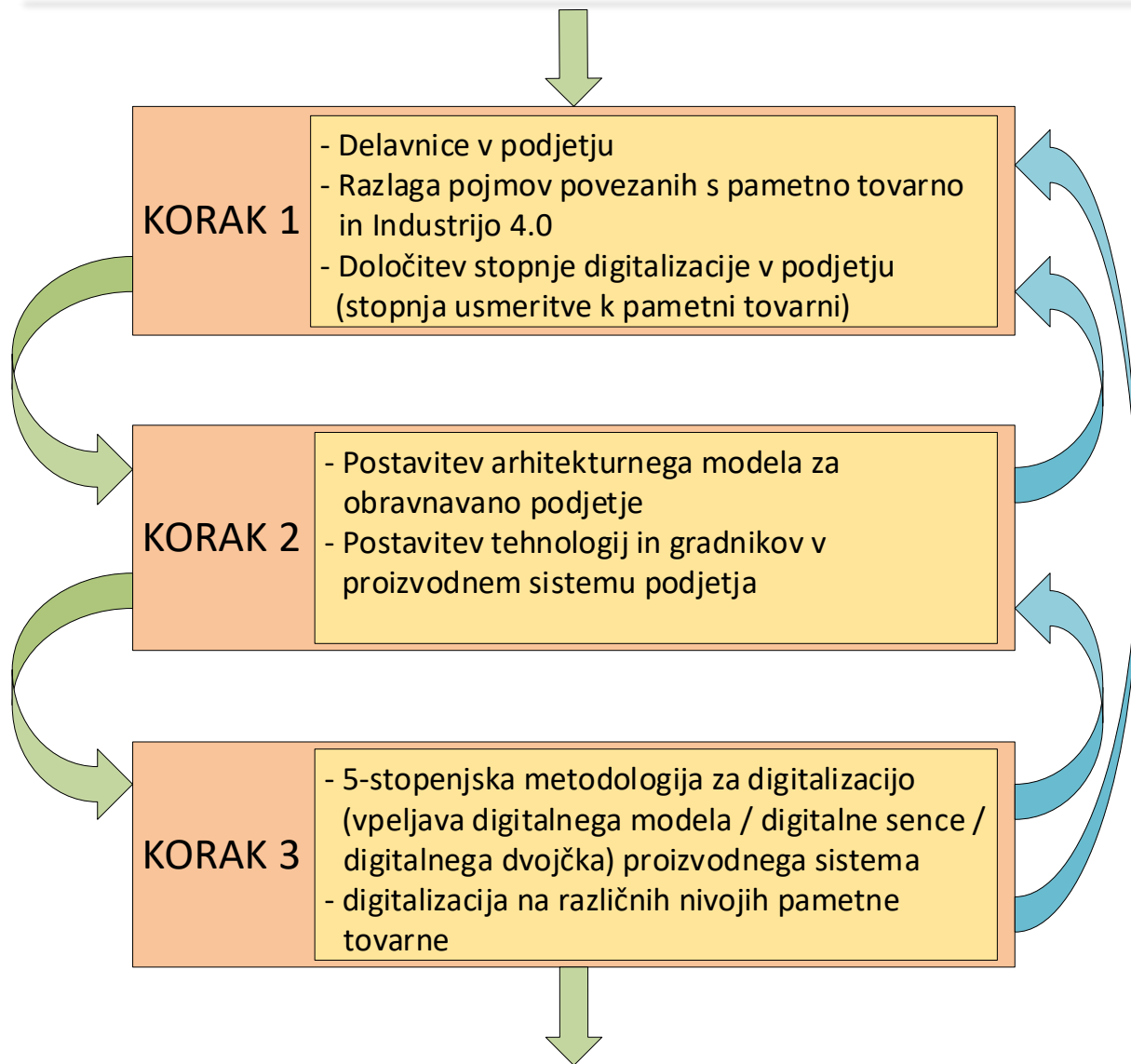


# Metodologija načrtovanja pametnih tovarn

---

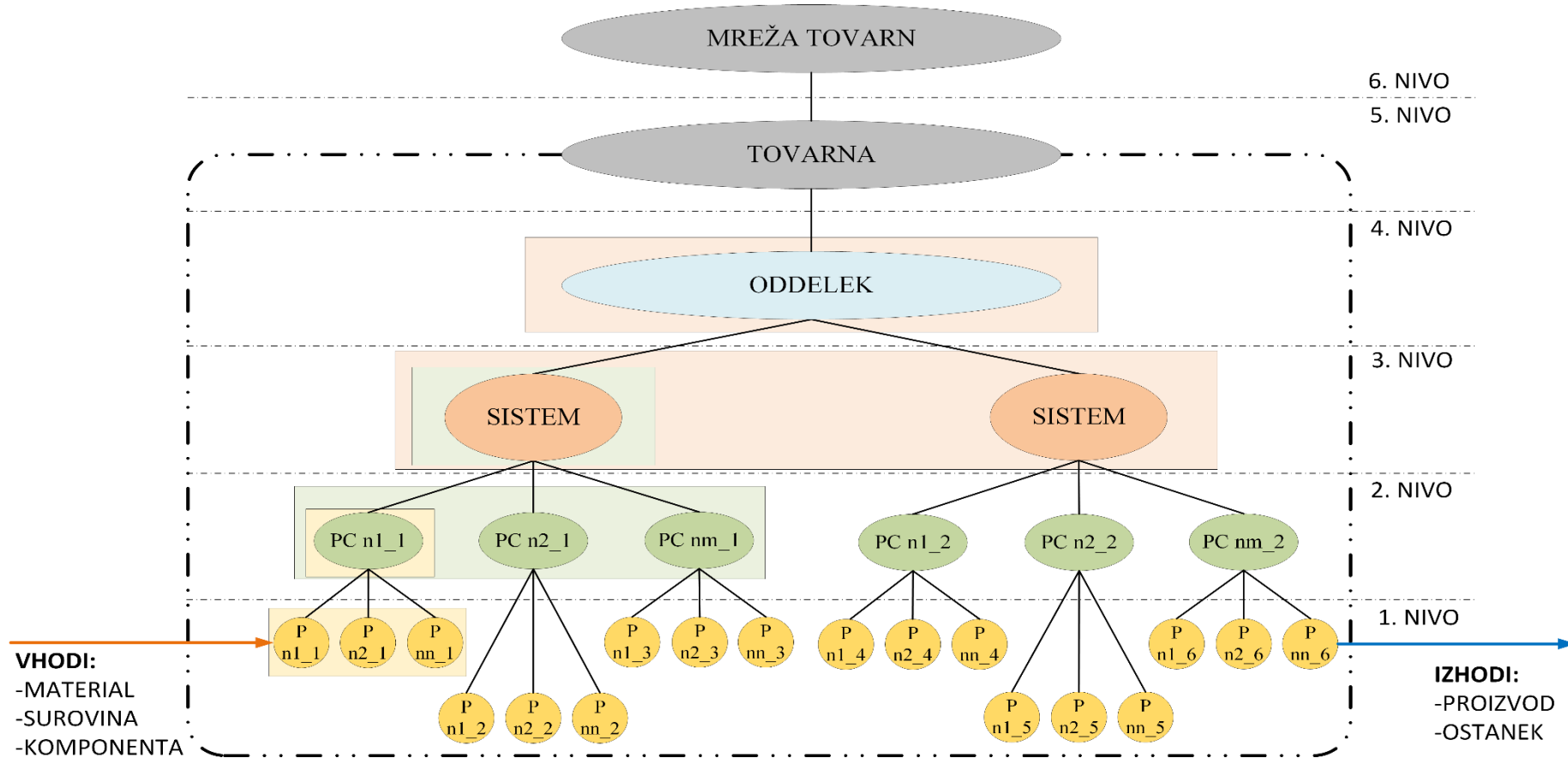
- Razvita metodologija vodi uporabnika od začetne ideje do končne realizacije pametne tovarne v realnem okolju
- Metodologija temelji na digitalizaciji proizvodnih sistemov in procesov (metodologija je enaka ne glede na to ali podjetje želi vpeljati digitalni model, digitalno senco ali digitalni dvojček)
- 3-stopenjska metodologija

# Metodologija načrtovanja pametnih tovarn



- Vsak korak ima svoje značilnosti
- Povratne zanke

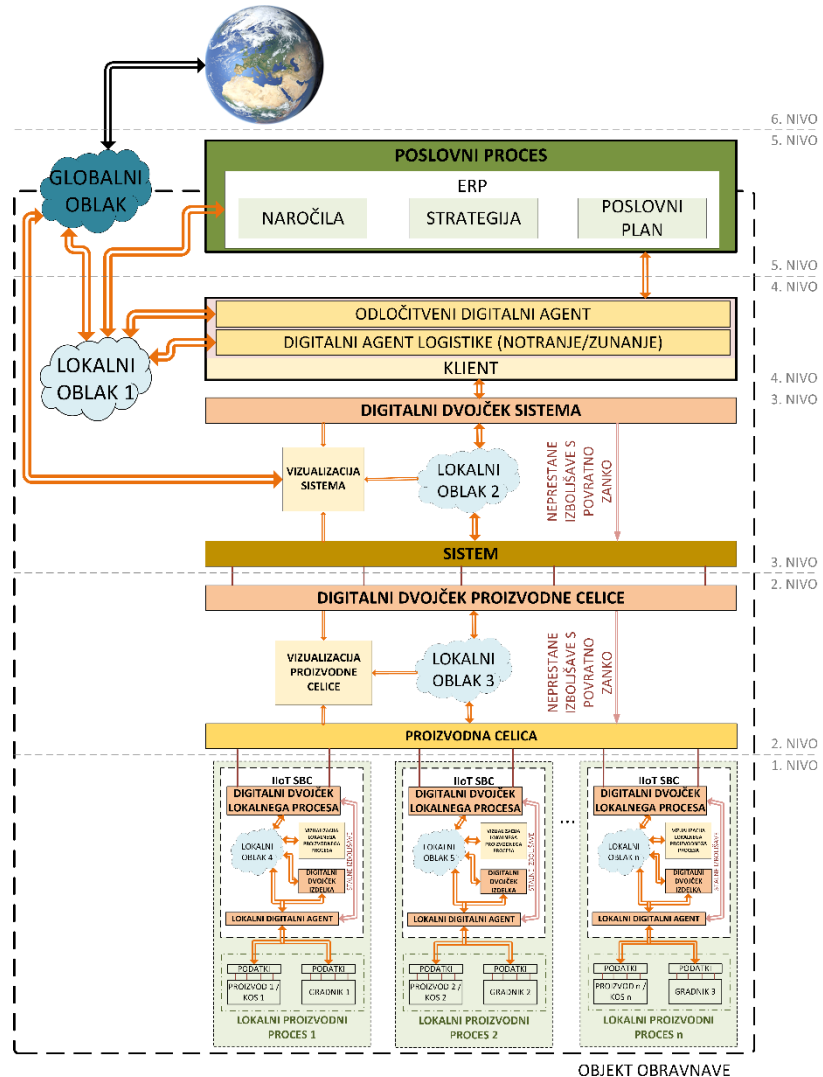
# Metodologija načrtovanja pametnih tovarn – korak 2



## LEGENDA:

P ... Delovna postaja  
PC ... Proizvodna celica

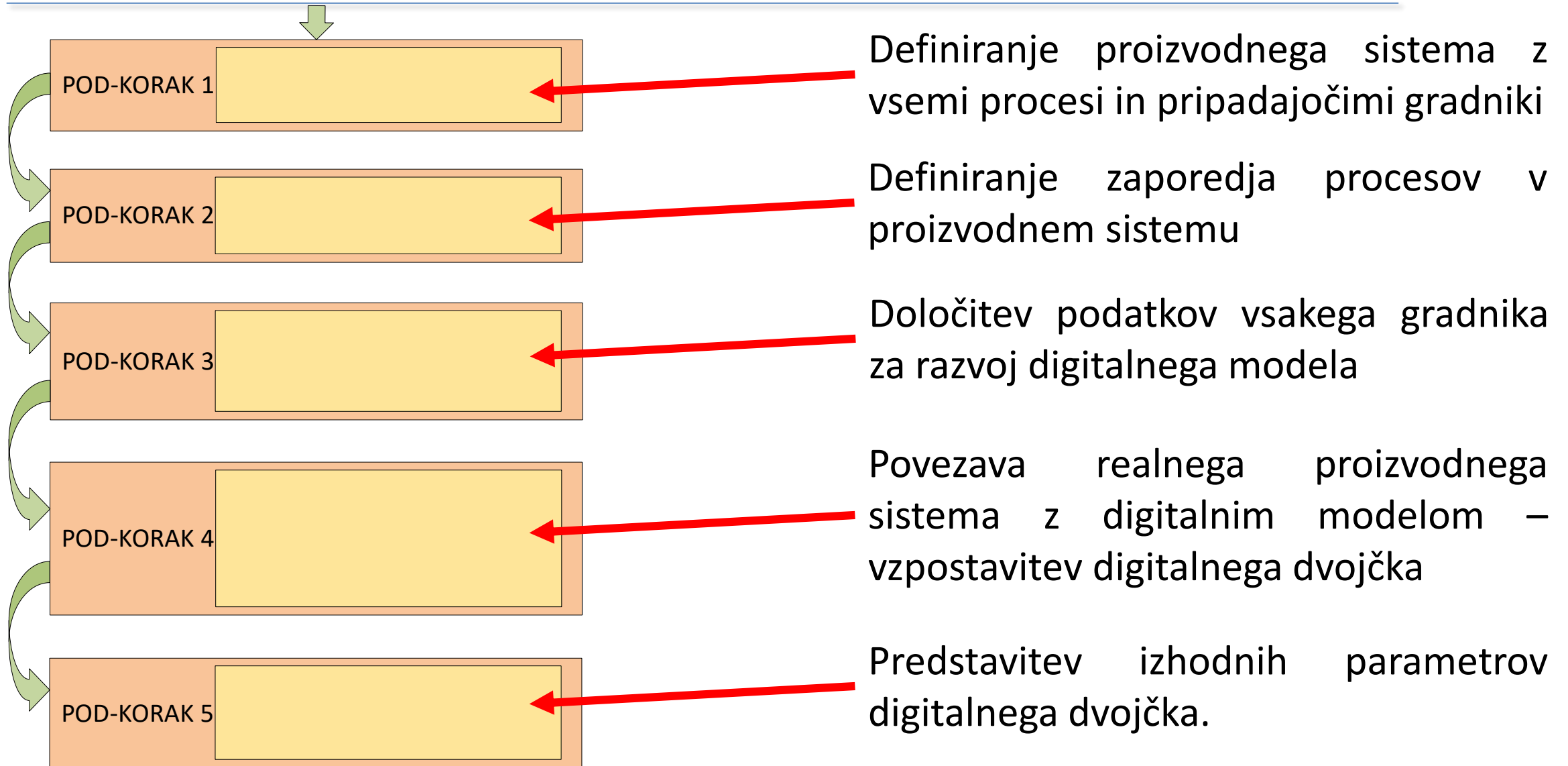
# Metodologija načrtovanja pametnih tovarn – korak 2



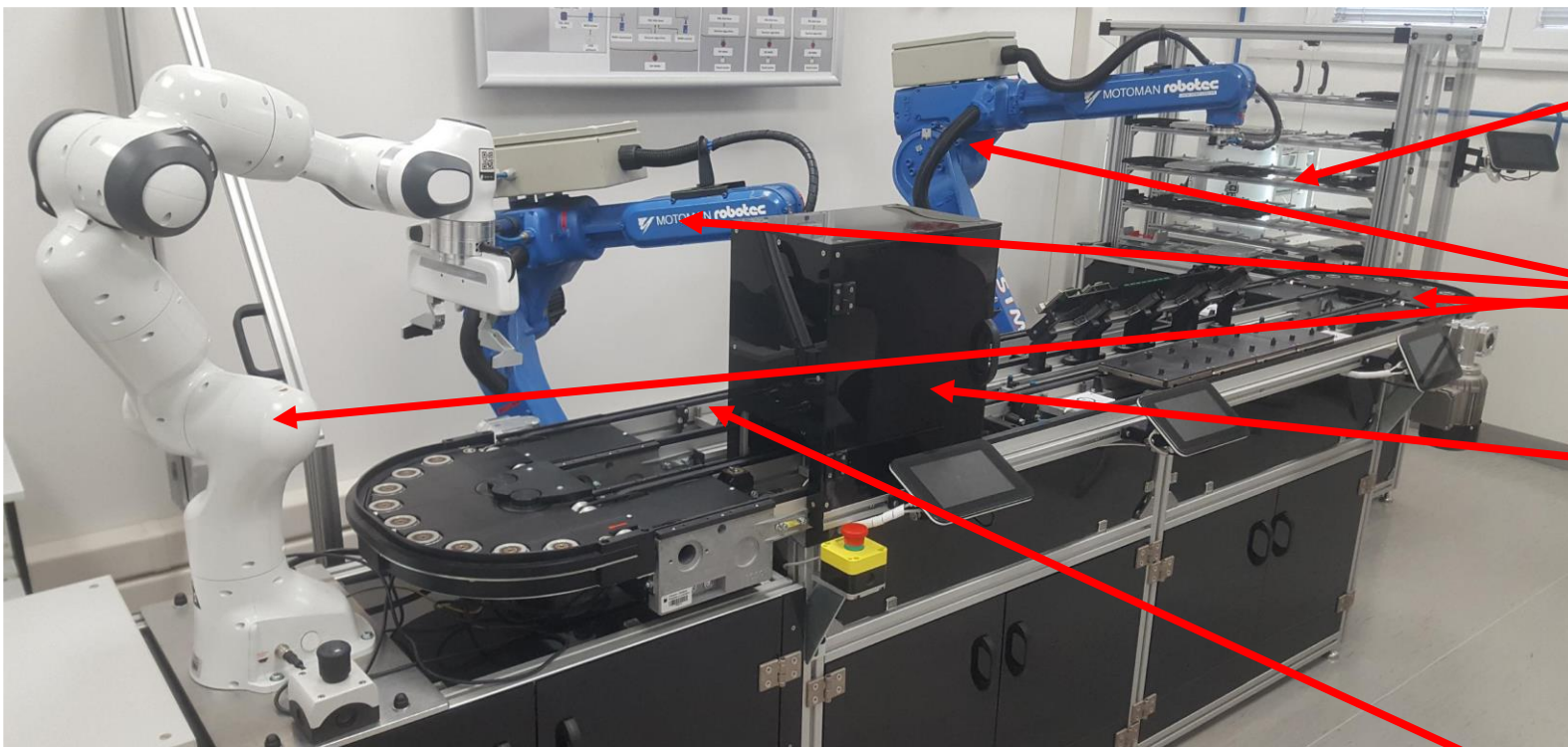
- Razvoj arhitekturnega modela LASFA za podjetje, ki želi vpeljati pametno tovarno
- Razdelitev podjetja na nivoje (od najnižjega nivoja (proizvodni proces) do šestega nivoja (poslovni proces))
- Hrbtenica arhitekturnega modela so digitalni dvojčki na različnih nivojih podjetja
- Digitalni dvojček za delovanje potrebuje digitalnega agenta (različni algoritmi)



# Metodologija načrtovanja pametnih tovarn – korak 3



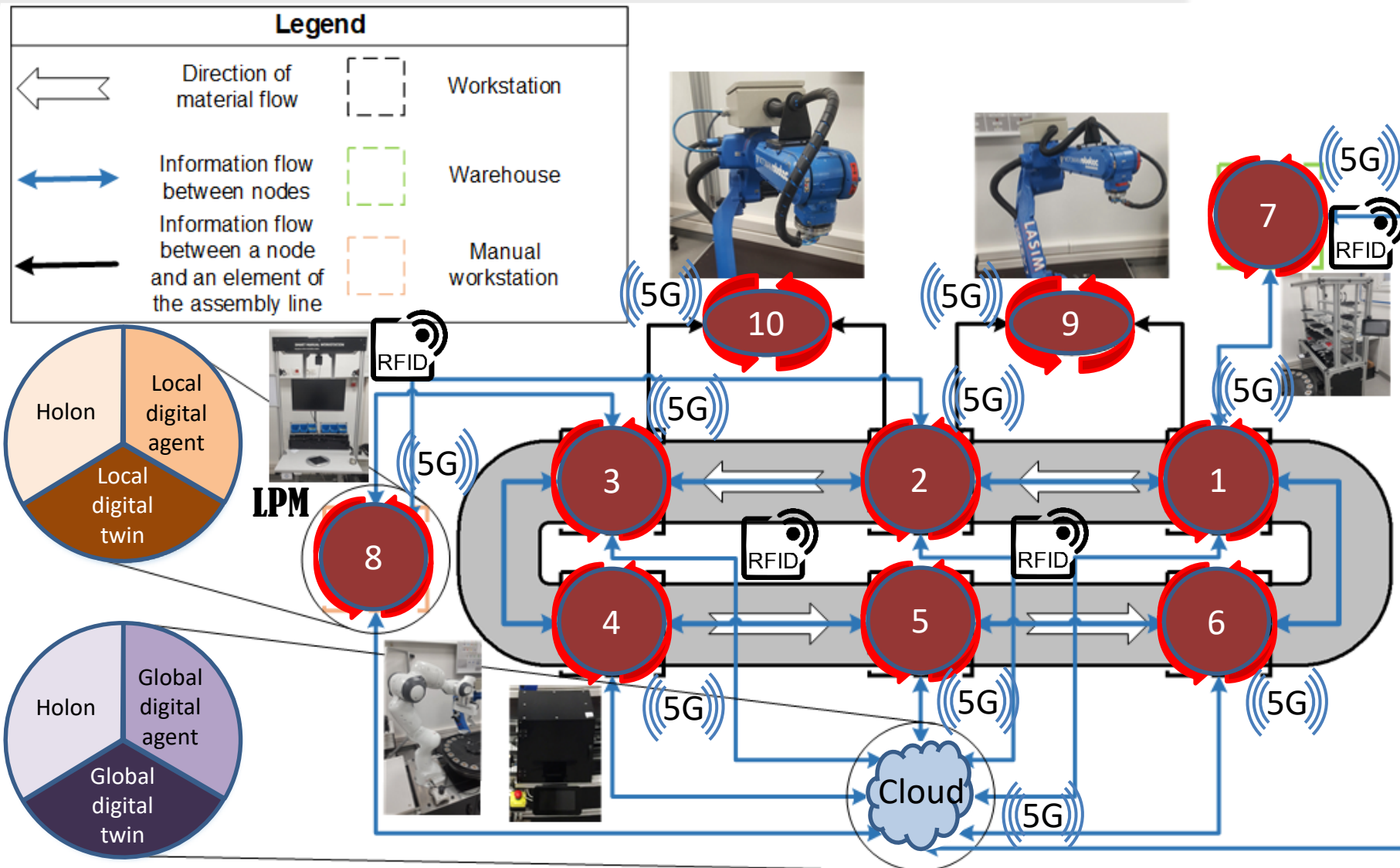
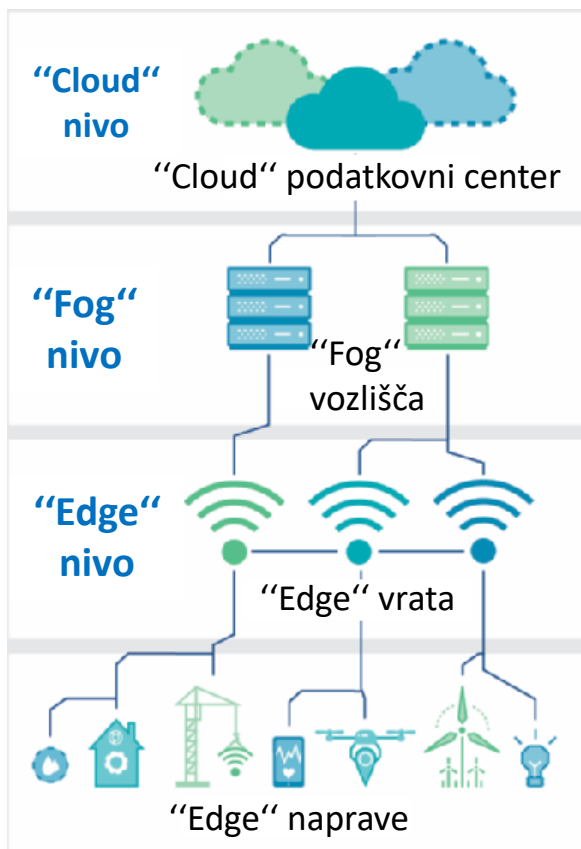
# Definiranje parametrov posameznih gradnikov



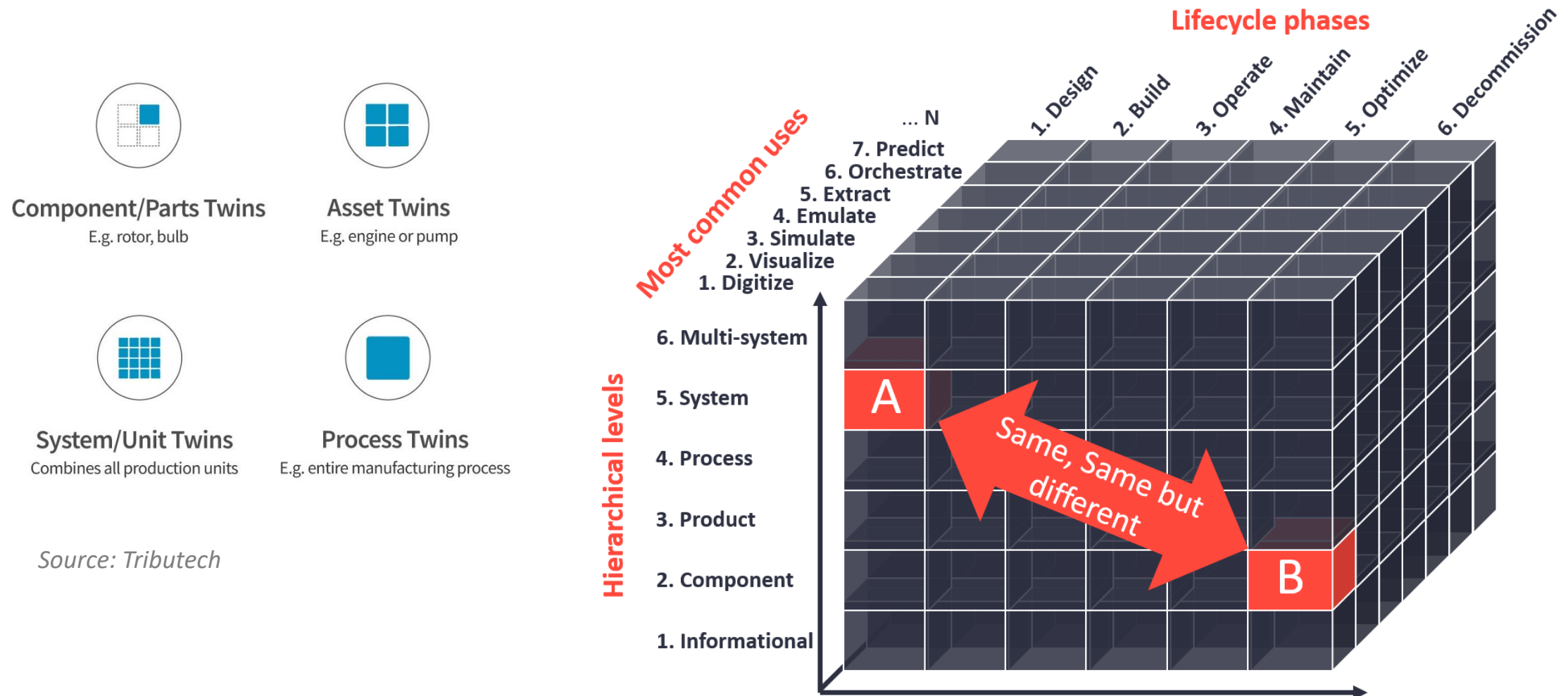
|          | VHODNI PARAMETER                            |
|----------|---------------------------------------------|
| $x_1$    | Koordinate [x,y,z] [m]                      |
| $x_2$    | Število mest [/]                            |
| $x_3$    | Lokacije mest [n,m]                         |
| $x_4$    | Zaporedje zlaganja [ $n_1, m_1; n_2, m_1$ ] |
| $x_5$    | Maksimalna dimezija komponente [m]          |
| $x_6$    | Čas pojemka [s]                             |
| $x_7$    | Čas premikanja [s]                          |
|          | VHODNI PARAMETER                            |
| $x_1$    | Koordinate [x,y,z] [m]                      |
| $x_2$    | Delež ustreznih kosov [%]                   |
| $x_3$    | Cikel čas [s]                               |
| $x_4$    | Ponovitveni čas [s]                         |
| $x_5$    | MTTR [s]                                    |
| $x_6$    | Razpoložljivost [%]                         |
| $x_7$    | Osvetlitev [lux]                            |
| $x_{16}$ | Ponovitveni čas [s]                         |
| $x_{17}$ | Razpoložljivost [%]                         |
|          | VHODNI PARAMETER                            |
| $x_1$    | Koordinate [x,y,z] [m]                      |
| $x_2$    | Število vključenih kosov [/]                |
| $x_3$    | Število različnih kosov [/]                 |
| $x_4$    | Zaporedje sestavljanja/razstavljanja [/]    |
| $x_5$    | Čas razstavljanja/razstavljanja [/]         |
| $x_6$    | Cikel čas [s]                               |
| $x_7$    | Ponovitveni čas [s]                         |
| $x_8$    | MTTR (ang. Mean Time To Repair) [s]         |
| $x_9$    | Razpoložljivost naprave [%]                 |

# Porazdeljeni sistemi in računanje na robu (Edge computing)

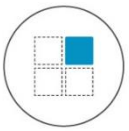
## “Edge to cloud” arhitekturni nivoji



# Digitalni dvojčki sistemov, procesov, ...



Source: IoT Analytics Research 2020

  
**Component/Parts Twins**  
E.g. rotor, bulb

  
**Asset Twins**  
E.g. engine or pump

  
**System/Unit Twins**  
Combines all production units

  
**Process Twins**  
E.g. entire manufacturing process

Source: Tributech



# Tipični primeri digitalnih dvojčkov

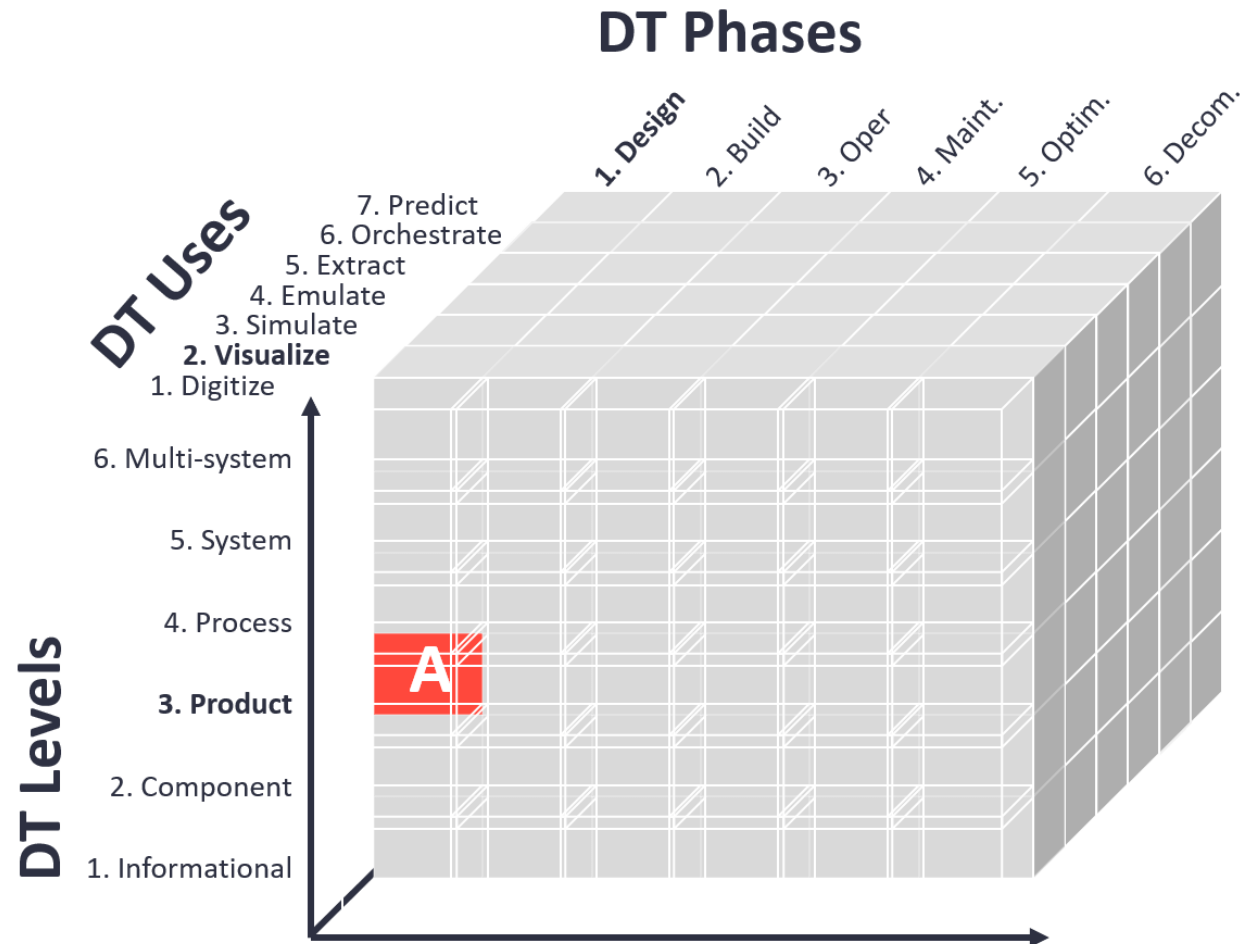
## Produkt x dizajn x vizualizacija

Uporaba DD za vizualizacijo produktov v času faze dizajniranja in konceptiranja



IOT ANALYTICS  
MARKET INSIGHTS FOR THE INTERNET OF THINGS

Insights that empower you to understand IoT markets



Source: IoT Analytics, Digital Twin Insights Report 2020

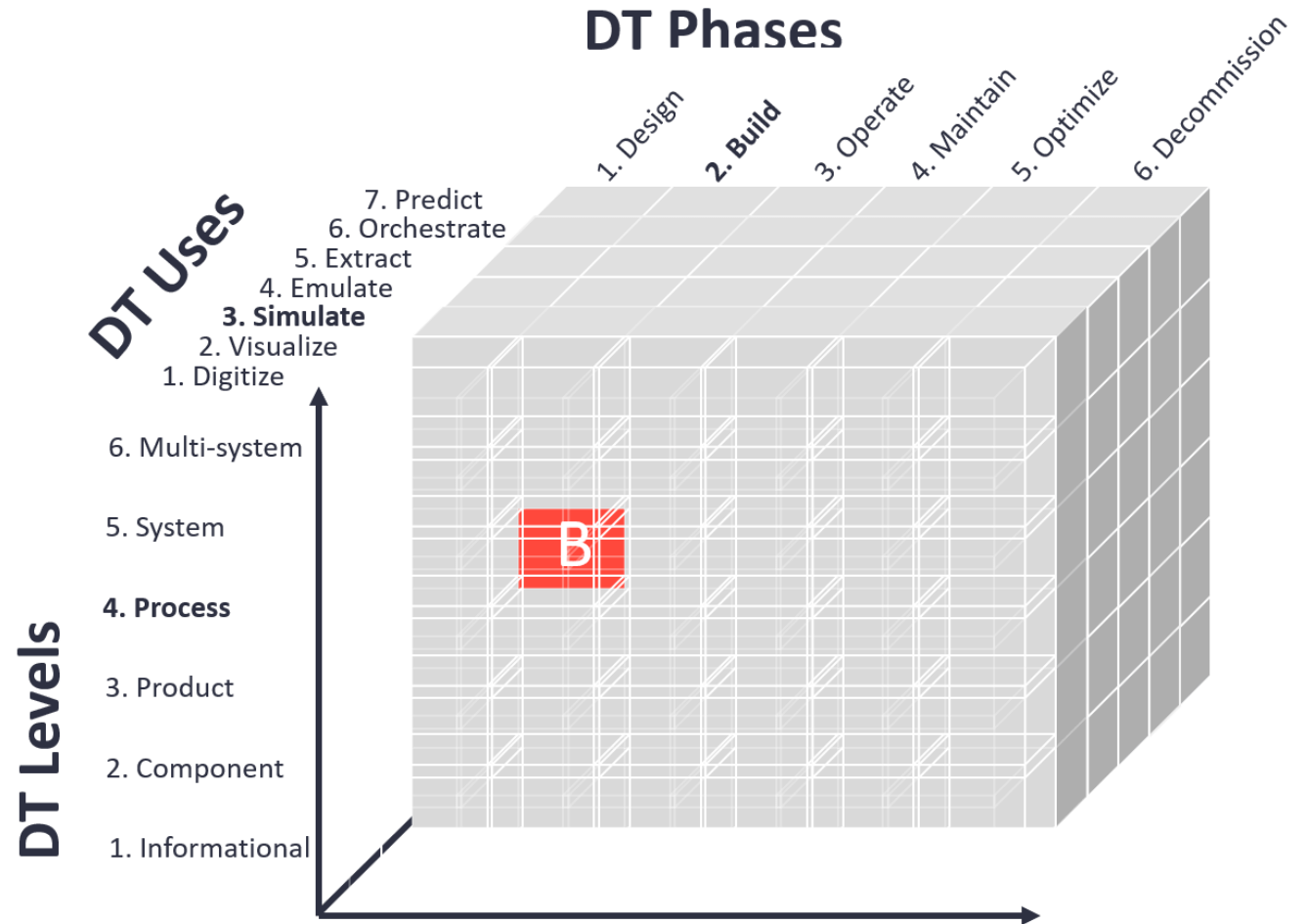
# Tipični primeri digitalnih dvojčkov

**Produkt x snovanje x simulacija**  
Uporaba DD za simulacijo novih produktov v času faze snovanja



**IOT ANALYTICS**  
MARKET INSIGHTS FOR THE INTERNET OF THINGS

Insights that empower you to understand IoT markets



Source: IoT Analytics, Digital Twin Insights Report 2020

# Tipični primeri digitalnih dvojčkov

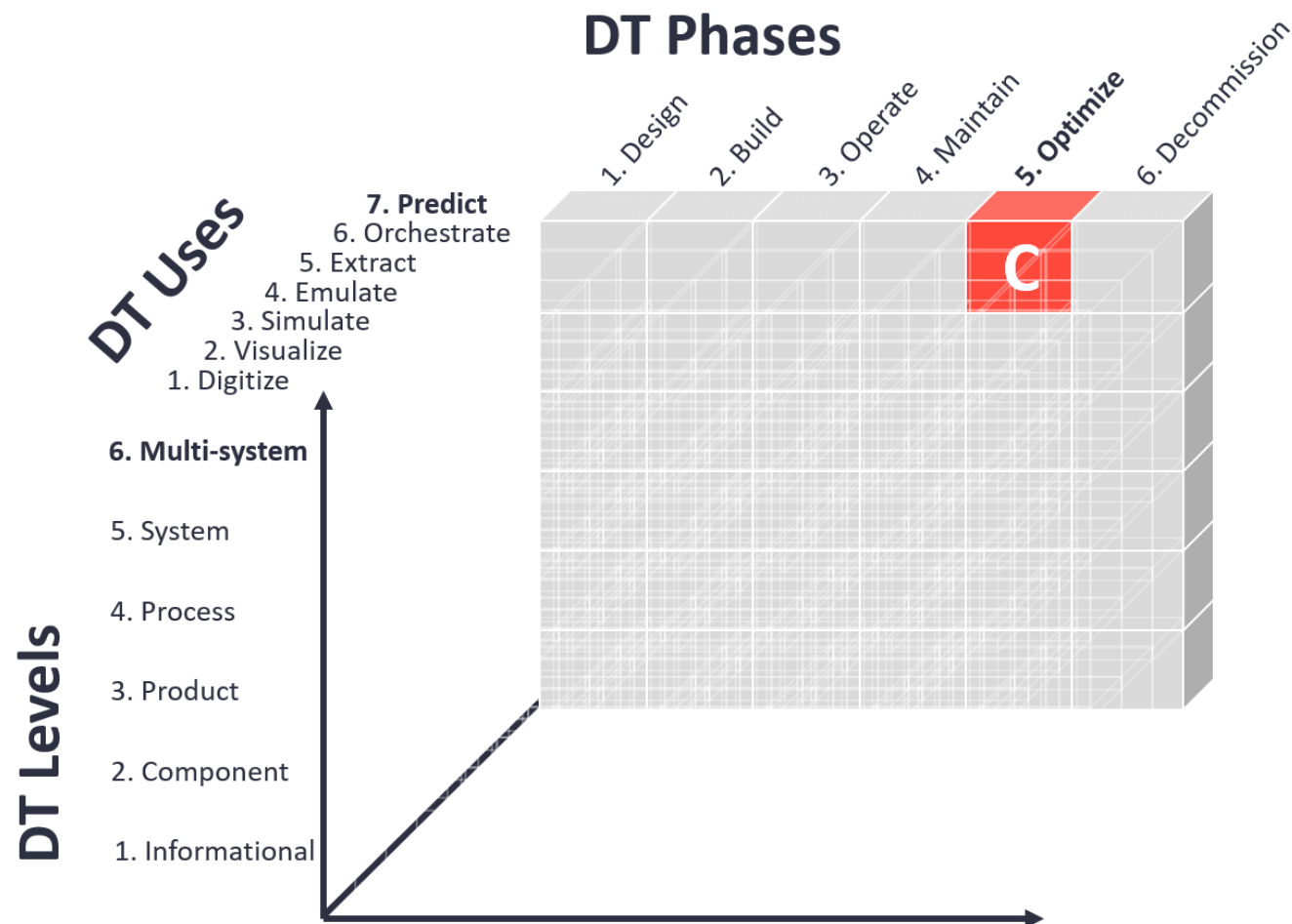
## Sistemi x optimizacija x predikcija

Uporaba DD za predikcijo obnašanja sistemov v fazi optimizacije



IOT ANALYTICS  
MARKET INSIGHTS FOR THE INTERNET OF THINGS

Insights that empower you to understand IoT markets



Source: IoT Analytics, Digital Twin Insights Report 2020

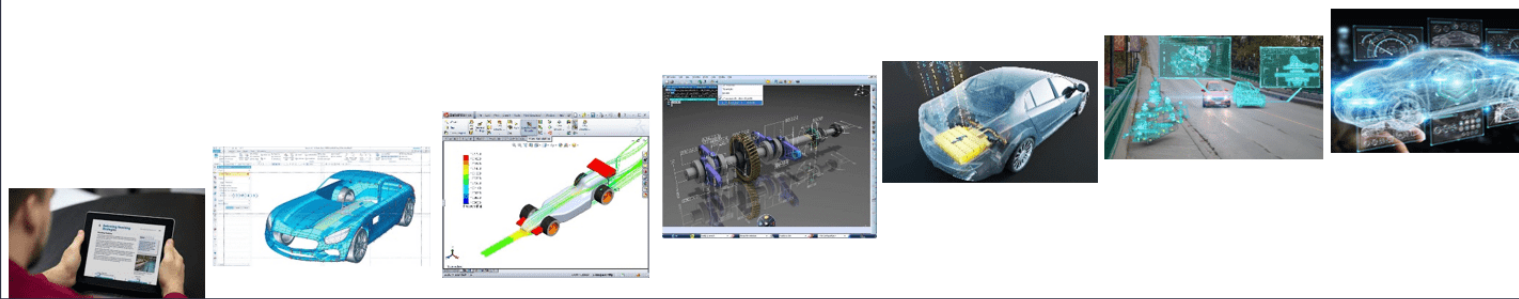
# 7 najbolj pogostih uporab digitalnih dvojčkov

## The 7 most common uses of digital twins

Level of DT compute power required ↑

Software only <-

-> Software & hardware



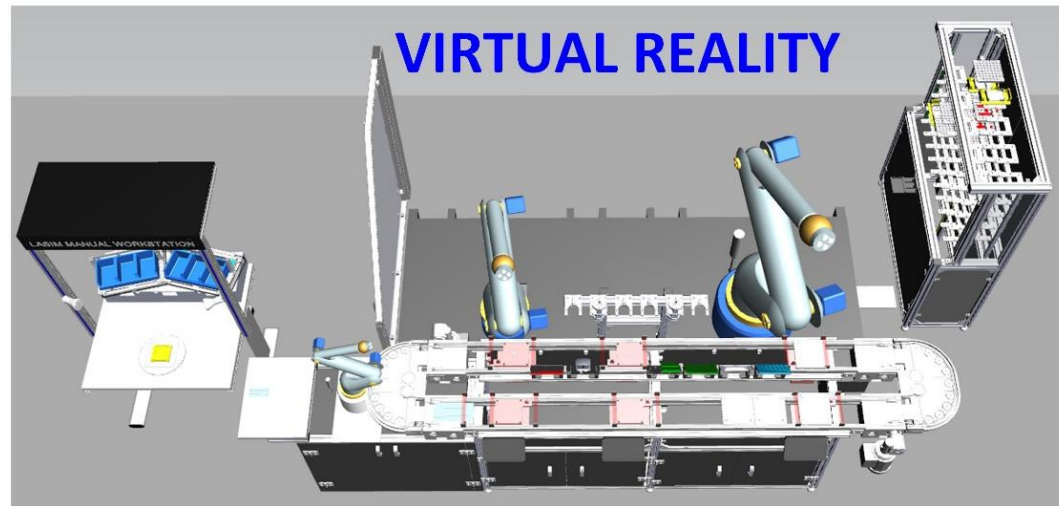
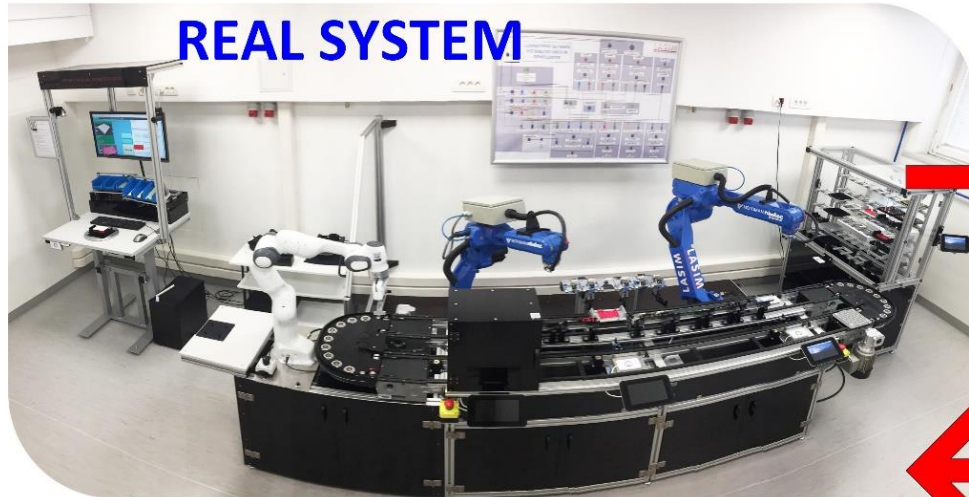
Level of DT complexity →

| DT Uses:                 | 1. Digitize                                                                                                             | 2. Visualize                                                                                     | 3. Simulate                                                                           | 4. Emulate                                                                                                        | 5. Extract                                                                                                                | 6. Orchestrate                                                                                                                      | 7. Predict                                                                                                                                  | ... N |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Digital Twin description | Any digitized information                                                                                               | Basic digital representation of a physical object                                                | Simulation model of a physical system in its environment                              | Emulation model of the physical system with real software                                                         | Extraction model of real-time data streams, physical to virtual system                                                    | Orchestration model for virtual control/updating of physical devices                                                                | Prediction model to predict future behavior of the physical system                                                                          | ...   |
| Digital Twin Example     | Documentation, object properties, 1D sketches, 2D blueprints in digital format e.g., digital softcopies of Help manuals | Skeuomorphic models designed in a digital environment e.g., CAD design replacing manual drafting | Computer-aided simulation of how the object performs in the real world e.g., Simulink | Machine level assembly language emulators are provided by device manufacturers for I/O debugging e.g., SolidWorks | Extract system readings/sensor data from the physical device and send to the digital representation e.g., IoT device data | Changing parameter values in the virtual space & orchestrating updates to the relevant physical systems e.g., device mgmt. platform | Running explorative tests in virtual space using real data to enhance physical system performance e.g., ML algorithms calculating asset RUL | ...   |
| Comment                  | Most basic digital informational construct                                                                              | May also be just parameter values, not an image                                                  | No machine level binary translation, software only                                    | Binary translation with real control software                                                                     | Involves hardware, connectivity and software integration                                                                  | Includes push notifications, remote updates, etc                                                                                    | Predictions used to reduce downtime, enhance features etc                                                                                   | ...   |

Source: IoT Analytics Research 2020



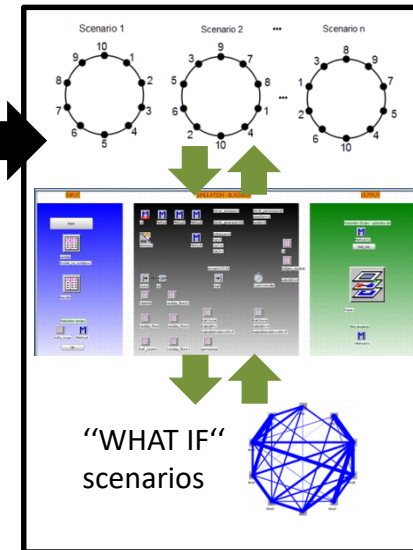
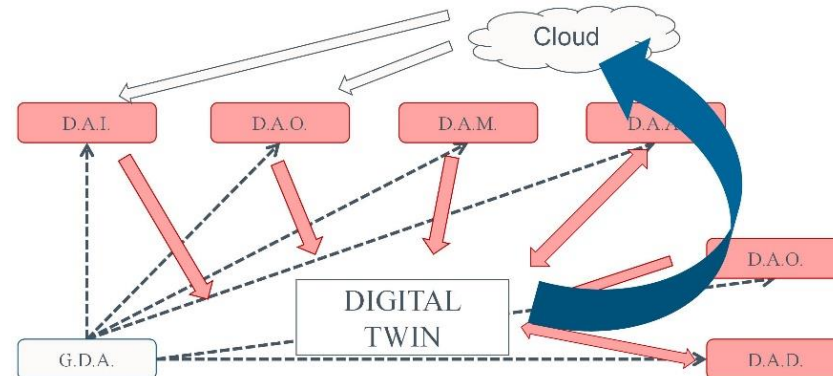
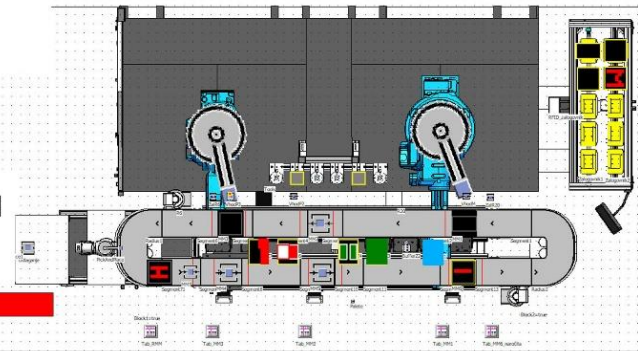
# Digitalni dvojčki sistemov in procesov



Digital twin of real process, digital agents

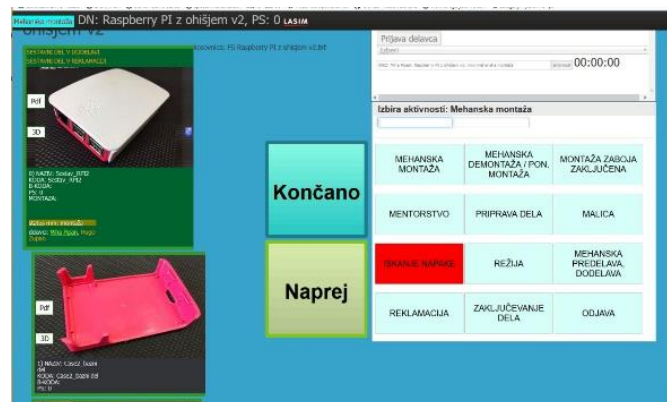
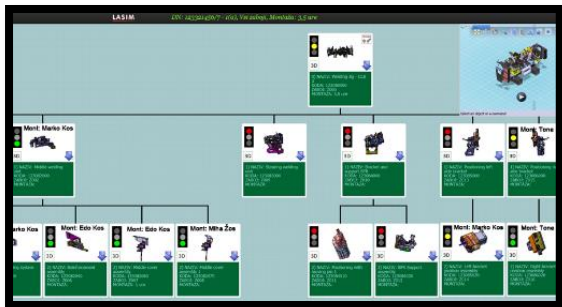
Data gathering in real time

Real-time correction and optimization

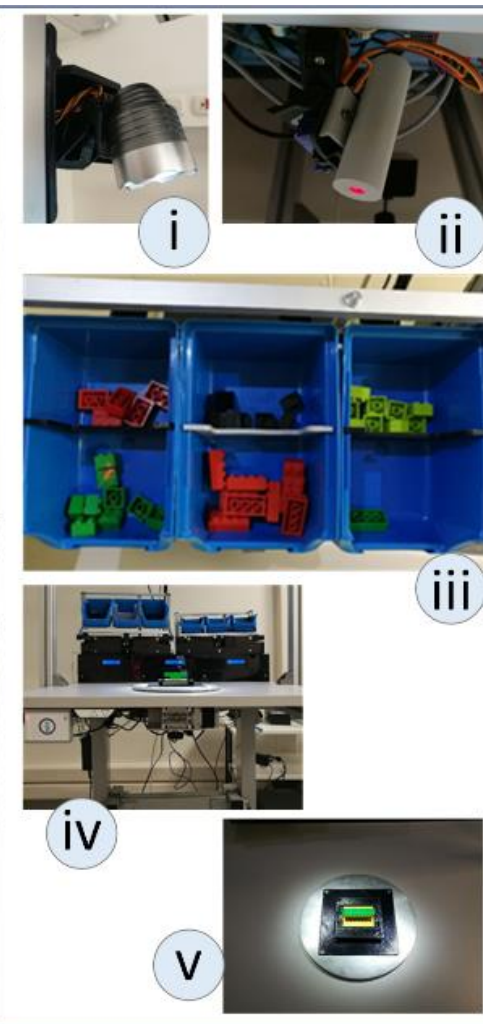
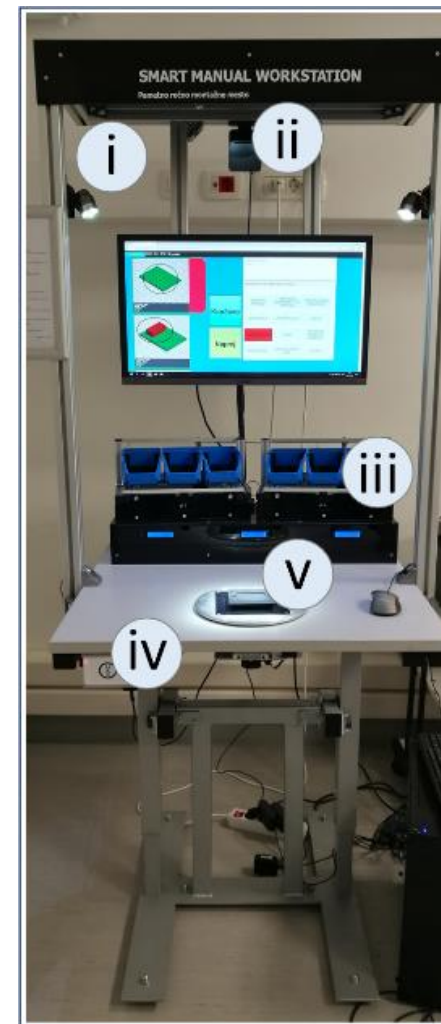


# Pametna ročna delovna mesta

- Samoprilagoditev (produkti, delavci)
- Pametni zalogovniki: PickByLight, PokaYoke, strojni vid
- Digitalna podpora, LPM



- AR in VR tehnologija
- Kobotika



# Sklepne ugotovitve

---

- Skozi sodelovanje s podjetji preko projektov smo ugotovili, da je uvajanje tehnologij I4.0 v podjetja pomembno in koristno, vendar mora potekati postopoma, ne prehitro.
- Takšen pristop pomaga podjetju vzpostaviti transparentnost vseh proizvodnih in logističnih procesov, učinkovito dinamično planiranje in usmerjanje proizvodnje, materialnega toka, dobavne verige, potreb po delavcih, razporejanje delavcev itd.
- S takšnim pristopom lahko vsako podjetje poveča učinkovitost dela in proizvodnih procesov, začnši s povečanjem razpoložljivosti in zanesljivosti vseh procesov (proizvodnih, poslovnih, logističnih...).
- Podjetja lahko z uvajanjem tehnologij I4.0 znatno zmanjšajo porabo energije, delujejo bolj »zeleno« in dosežejo nižji ogljični odtis.



---

# Hvala za pozornost!

## Kontakt:

Prof. dr. Niko Herakovič

E-mail: [niko.herakovic@fs.uni-lj.si](mailto:niko.herakovic@fs.uni-lj.si)

Telefon: +386 1 4771 726

Dr. Marko Šimic

E-mail: [marko.simic@fs.uni-lj.si](mailto:marko.simic@fs.uni-lj.si)

Telefon: +386 1 4771 727

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo,

Laboratory LASIM

Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

<https://web.fs.uni-lj.si/lasim/>

<https://dih-ditmaps.si/>