

## INDEKS PRIPRAVLJENOSTI PROIZVODNIH PODJETIJ NA INDUSTRIJO 4.0

**Iztok PALČIČ, Robert OJSTERŠEK, Borut BUCHMEISTER**  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

### IZVLEČEK

*Laboratorij za načrtovanje proizvodnih sistemov na Fakulteti za strojništvo Maribor že 18 let sodeluje pri največji raziskavi o proizvodni dejavnosti v Evropi z imenom European Manufacturing Survey (EMS). Koordinator celotnega projekta je sloviti Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije. Partnerji prihajajo iz 17-ih evropskih držav, med njimi so Avstrija, Švica, Španija, Hrvaška, Srbija, Danska in druge države, s katerimi se radi primerjamo. Slovenija se je pridružila projektu leta 2003, ko smo izvedli prvo anketo, v letih 2006, 2009, 2012/13, 2015/16 in 2018/19 smo anketo ponovili. Anketa je zelo koristna za podjetja, saj nam omogoča ugotoviti, kakšna je naša konkurenčna pozicija v primerjavi z naštetimi državami. Namen ankete je predvsem posredovati rezultate širši javnosti in jo seznaniti s trendi na področju proizvodne dejavnosti v Sloveniji, predvsem pa v Evropi in po svetu. Ta članek obravnava uporabo naprednih proizvodnih tehnologij in informacijsko-komunikacijskih tehnologij (IKT) v slovenskih proizvodnih podjetjih v luči Industrije 4.0. Obenem predstavljamo indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0 in ocenjujemo pripravljenost slovenskih proizvodnih podjetij na Industrijo 4.0. Stanje v Sloveniji primerjamo tudi z avstrijskimi proizvodnimi podjetji.*

### 1 UVOD

Sodobni industrijski razvoj gospodarstva je trajal več sto let in nekaj let nazaj smo vstopili v obdobje Industrije 4.0, o kateri je bilo povedanega že ogromno, saj gre za izjemno aktualen koncept. Proizvodna podjetja so danes pred velikimi izzivi, kot so skrajšani tehnološki in inovacijski cikli ter potreba po ponudbi prilagojenih izdelkov, kjer je vse manj veliko serijske proizvodnje. To zahteva drastično preobrazbo proizvodnih podjetij predvsem na področju digitalizacije poslovnih in proizvodnih procesov ter poslovnih modelov in organizacijskih praks. V proizvodnih podjetjih fizični izdelki niso več edini vir prihodkov, ampak so tesno povezani s storitvami, govorimo o servitizaciji proizvodnih podjetij.

V okviru Industrije 4.0 se pojavljajo pojmi, kot so Internet stvari (IoT), Internet storitev (IoS), kibernetško-fizični sistemi (Cyber Physical Systems – CPS), informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT), programska oprema za upravljanje virov podjetja (Enterprise Resource Planning – ERP), arhitektura podjetja (Enterprise Architecture – EA) in integracija podjetja (Enterprise Integration – EI). Industrija 4.0 zajema

številne tehnologije in z njimi povezane paradigme, vključno z radio-frekvenčno identifikacijo (RFID), ERP, IoT, proizvodnjo v računalniškem oblaku, prenosnimi napravami (npr. pametnimi urami, očali ali rokavicami), obogateno resničnostjo, avtonomnimi vozili (vključujoč drone), novimi načini denarnih transakcij (npr. blockchain), analitiko velikih podatkov in razvojem družbeno odgovornih izdelkov [1-4]. Identificirano je vsaj pet glavnih značilnosti Industrije 4.0: digitalizacija, optimizacija in fleksibilnost proizvodnje; avtomatizacija in zmožnost prilagajanja; interakcija človeka in stroja; storitve in poslovni modeli z visoko dodano vrednostjo ter samodejna izmenjava podatkov in komunikacija [1,5].

Še en pojem se pogosto pojavlja, in sicer pametna tovarna, ki uporablja internet stvari za uresničitev inteligentnih proizvodnih konceptov. V pametni tovarni uporabljamo za proizvodnjo izdelkov, pretvorbo virov in implementacijo procesov kibernetško-fizične proizvodne sisteme. Pametna tovarna zajema »pametne« izdelke, stroje, procese in postopke. Bistvo pametne tovarne je medsebojna komunikacija ljudi, strojev, izdelkov in drugih virov ter komunikacija s kupci

in dobavitelji. V skladu z vsem do sedaj povedanim vidimo, da so pomemben del koncepta Industrije 4.0 napredne proizvodne tehnologije (Advanced Manufacturing Technologies – AMT) in IKT.

Obstaja veliko predstavnikov AMT in IKT (ki so v središču digitalne tovarne) in dejstvo je, da je razpršenost teh tehnologij močno odvisna od industrije in velikosti podjetja. Res je tudi, da vse tehnologije niso primerne za vsa proizvodna okolja. V naši raziskavi smo analizirali več tehnologij s področja "digitalne tovarne", ki imajo potencial, da najdejo svojo pot praktično v vsa proizvodna okolja. Ker je koncept Industrije 4.0 relativno ohlapno opredeljen, imajo podjetja resne težave pri dojemanju celovite ideje Industrije 4.0. Ena izmed možnosti je vpeljava modelov zrelosti in pripravljenosti na Industrijo 4.0. V preteklosti so bili predlagani nekateri modeli za določitev stopnje zrelosti podjetja, ki merijo napredek podjetja pri doseganju nivoja Industrije 4.0. Kljub temu manjka model, ki bi določal stopnjo pripravljenosti podjetja, kar je zgodnejši korak v postopku »zorenja« podjetja [7]. Posledično smo v okviru naše EMS raziskave razvili lasten indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0, katerega avtor je koordinator projekta Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije [8].

## 2 RAZISKAVA O PROIZVODNI DEJAVNOSTI

Rezultate naše raziskave smo pridobili s pomočjo ankete o proizvodni dejavnosti. Originalni naziv ankete je European Manufacturing Survey (EMS) in je največja evropska raziskava proizvodne dejavnosti. Koordinator celotnega projekta je sloviti Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije. Poglavitni cilj EMS projekta je pridobiti informacije o rabi proizvodnih tehnologij in IKT, novih tehniških in organizacijskih konceptih v proizvodnji in implementaciji najboljših poslovnih praks. V anketi sprašujemo podjetja tudi o proizvodnih strategijah, smotrni rabi energije, o storitvah, ki jih nudijo podjetja zraven izdelkov, uporabi projektne načina dela v podjetjih, selitvi proizvodnje, tipih proizvodnje in izdelkov, konkurenčnih kriterijih, kvalifikacijah in izobrazbi zaposlenih itd. Zbiramo tudi podatke o

produktivnosti, fleksibilnosti, kakovosti, donosih ipd. Na anketo odgovarjajo proizvajalci strojev in opreme, proizvajalci končnih izdelkov iz kovinsko-predelovalne industrije, proizvajalci plastičnih in gumenih izdelkov in podjetja, ki sodijo v elektro industrijo. Obsežni vprašalnik na osmih straneh pošiljamo v proizvodna podjetja, ki imajo vsaj 20 zaposlenih, v raziskavo smo vključili proizvodna podjetja iz NACE skupine C.

Prvič smo anketno raziskavo izvedli leta 2003/04 v devetih evropskih državah, vključujoč Avstrijo, Hrvaško, Francijo, Nemčijo, Veliko Britanijo, Italijo, Slovenijo, Švico in Turčijo. V letu 2006/07 smo izvedli novo raziskavo v še več evropskih državah, saj so se pridružile Grčija, Nizozemska in Španija. Naslednja izvedba je bila v letu 2009. Raziskava je postala globalna, saj sta se pridružili še Kitajska in Rusija, pa tudi Danska in Finska. Iz konzorcija sta izstopili Turčija in Velika Britanija, zbrali smo odgovore iz 12-ih držav. Četrta izvedba EMS se je pričela leta 2012 in se zaključila v 2013. Naša družina je ponovno zrasla, saj so se pridružile Češka, Švedska in Brazilija. Italija, Francija in Velika Britanija so spremenile partnerje v svoji državi. Peta izvedba je potekala v letih 2015 in 2016. Dodali smo novo članico, in sicer Srbijo. Šesta izvedba se je pričela v letu 2018 z novim partnerjem iz Češke in novimi državami, kot sta Litva in Slovaška.

Naša raziskava temelji torej na podatkih iz slovenskega vzorca iz leta 2018/19. V zadnji iteraciji je na anketo odgovorilo rekordnih 127 podjetij, kar je predstavljalo 15 % stopnjo odziva. Proizvodna podjetja v naši raziskavi sodijo v sledeče NACE C skupine:

- 13: Proizvodnja tekstilij;
- 14: Proizvodnja oblačil;
- 15: Proizvodnja usnja, usnjenih in sorodnih izdelkov;
- 22: Proizvodnja izdelkov iz gume in plastičnih mas;
- 23: Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov;
- 24: Proizvodnja kovin;
- 25: Proizvodnja kovinskih izdelkov, razen strojev in naprav;
- 26: Proizvodnja računalnikov, elektronskih in optičnih izdelkov;
- 27: Proizvodnja električnih naprav;
- 28: Proizvodnja drugih strojev in naprav;

- 29: Proizvodnja motornih vozil, prikolic in polprikolic;
- 30: Proizvodnja drugih vozil in plovil;
- 32: Druge raznovrstne predelovalne dejavnosti.

Za potrebe tokratne raziskave smo izločili odgovore podjetij s področja tekstila in obutve in tako ostane v bazi 118 odgovorov iz pretežno kovinsko-predelovalne industrije, elektro industrije ter industrije umetnih mas. V našem vzorcu je tako največ podjetij iz NACE skupin 22, 25, in 28, pri čemer je bilo približno 27 % podjetij iz NACE 25, okoli 20 % iz NACE 28 ter okoli 16 % iz skupine NACE 22. Če pogledamo podjetja po velikosti, je bilo 32 % malih, 43 % srednje velikih in 25 % velikih podjetij (kriterij je število zaposlenih).

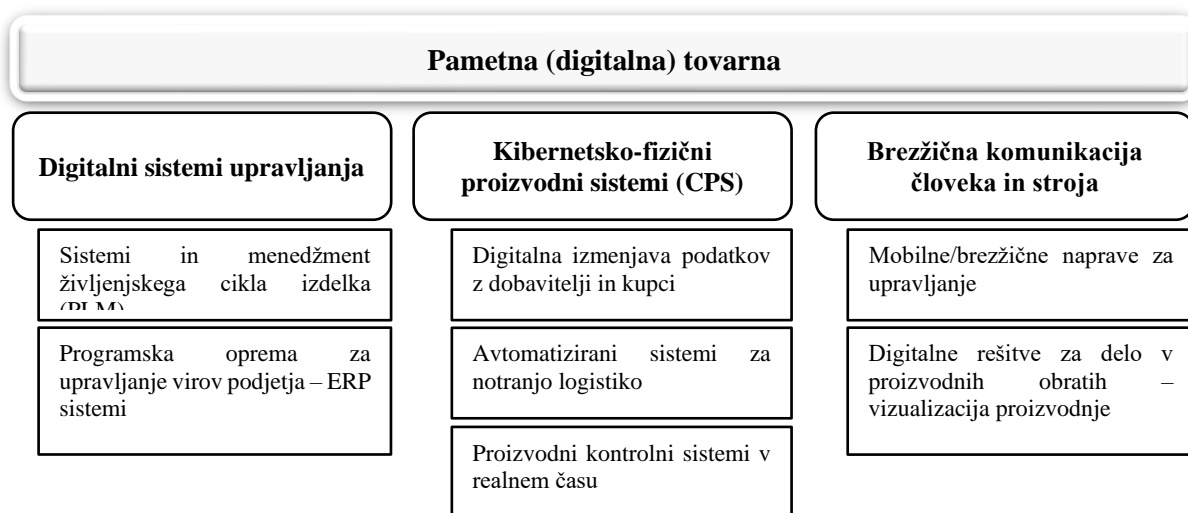
Rezultate raziskave posredujemo v posameznih državah lokalnim in nacionalnim vladnim institucijam ter jih predstavljamo na najrazličnejših dogodkih, konferencah, srečanjih ter v obliki strokovnih prispevkov.

### 3 INDEKS PRIPRAVLJENOSTI NA INDUSTRIJO 4.0

Kot smo že omenili, indeks pripravljenosti, ki smo ga razvili v okviru naše raziskave, temelji na AMT in IKT. Za določitev indeksa pripravljenosti ni dovolj, da preštejemo tehnologije, ki jih podjetje uporablja, ampak jih je treba sistemsko prilagoditi procesom in operacijam v podjetju, spadajo pa tudi na različna tehnološka področja. Posledično smo identificirali tri tehnološka področja s pripadajočimi tehnologijami (slika 1):

1. Digitalni sistemi upravljanja – ERP sistemi in sistemi ter menedžment življenjskega cikla izdelka (PLM, PDM);
2. Brezžična komunikacija človeka in stroja: mobilne/brezžične naprave za upravljanje opreme in digitalna vizualizacija;
3. Kibernetsko-fizični proizvodni sistemi (CPS): digitalna izmenjava podatkov z dobavitelji in kupci, avtomatizirani sistemi za notranjo logistiko ter proizvodni kontrolni sistemi v realnem času.

Medtem ko prvi dve tehnološki področji zajemata procese, povezane z informacijsko-komunikacijsko tehnologijo – IKT (osnovne tehnologije Industrije 4.0), vendar osamljeno ne tvorita bistva Industrije 4.0, tehnološko področje kibernetsko-fizičnih proizvodnih sistemov že izdatneje zajema celovito idejo Industrije 4.0.



Slika 1: Tehnologije pametne (digitalne) tovarne

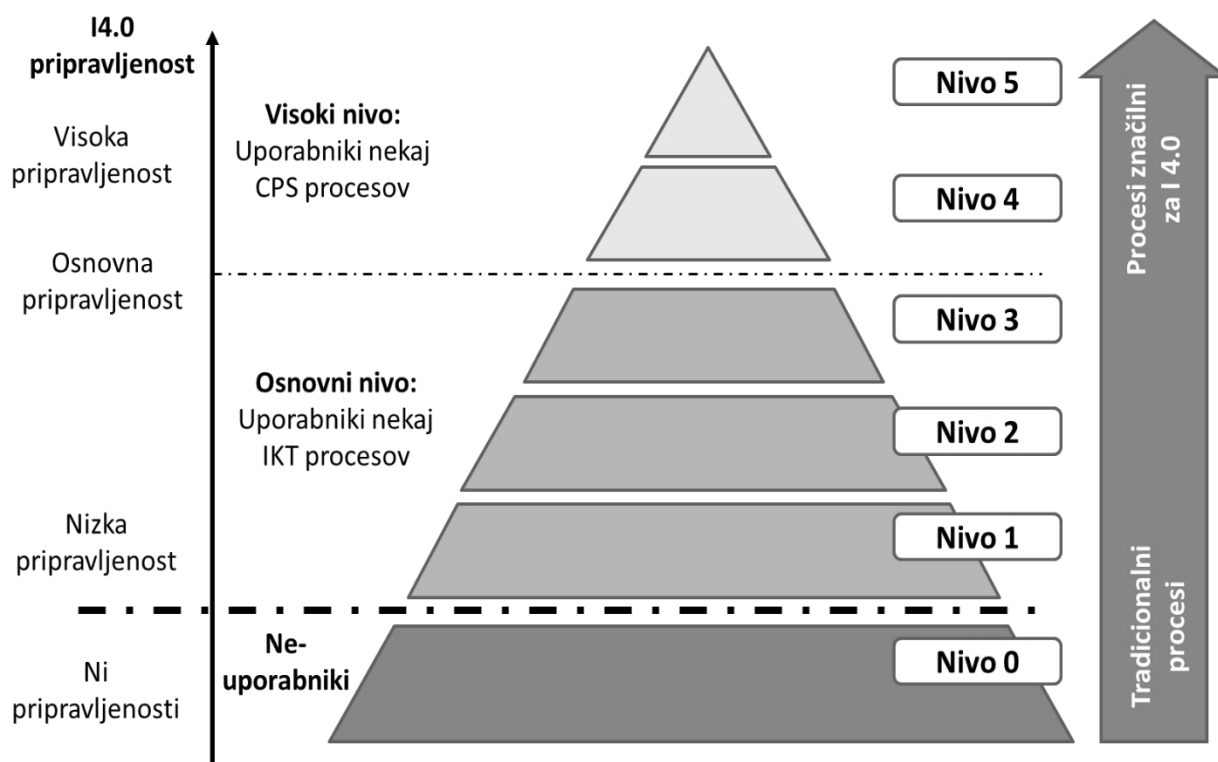
Slika 2 prikazuje koncept indeksa pripravljenosti, ki temelji na uporabi izbranih naprednih proizvodnih tehnologij. S predlagano klasifikacijo tehnoloških področij lahko glede na različne kombinacije rabe navedenih tehnologij

razvrstimo podjetja v različne skupine glede na njihovo pripravljenost na Industrijo 4.0:

1. Ne-uporabniki tehnologij, ki še niso sploh pripravljeni na Industrijo 4.0:

- a. Nivo 0: podjetja, ki še zmeraj težijo k uporabi starih, tradicionalnih tehnologij;
2. Osnovna pripravljenost na Industrijo 4.0:
  - a. Nivo 1 (začetniki): podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vsaj enega od treh tehnoloških področij;
  - b. Nivo 2 (napredni začetniki): podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vsaj dveh od treh tehnoloških področij;
  - c. Nivo 3 (napredni uporabniki): podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vseh treh tehnoloških področij;
3. Visoka pripravljenost na Industrijo 4.0:
  - a. Nivo 4: podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vseh treh tehnoloških področij, in vsaj dve tehnologiji iz področja kibernetiko-fizičnih proizvodnih sistemov;
  - b. Nivo 5: podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vseh treh tehnoloških področij, in vse tri tehnologije iz področja kibernetiko-fizičnih proizvodnih sistemov.

Z vsakim nivojem se stanje pripravljenosti na Industrijo 4.0 poveča oziroma zmanjšuje se oddaljenost do celovite mrežne oz. digitalne proizvodnje. Medtem ko na nivoju 0 ni pripravljenosti za industrijo 4.0, imajo podjetja na nivojih od 1 do 5 osnovno pripravljenost. Podjetja, ki že uporabljajo procese, povezane z IKT (nivo 1 in 2), imajo večjo oddaljenost od Industrije 4.0 kot podjetja na nivojih 3 do 5, ki že izvajajo prve elemente celovite mrežne oz. digitalne proizvodnje. Vendar tudi na nivojih 4 in 5 ni mogoče domnevati, da je bil prag za industrijo 4.0 dejansko v popolnosti dosežen. Lahko le domnevamo, da se je zmanjšala oddaljenost do celovite mrežne oz. digitalne proizvodnje. S pomočjo indeksa pripravljenosti Industrije 4.0 je mogoče preslikati spremembo od tradicionalne proizvodnje do proizvodnje blizu Industrije 4.0. Podjetja na višjem nivoju so prehod izdatnejše naredila kot podjetja na nižjih nivojih.



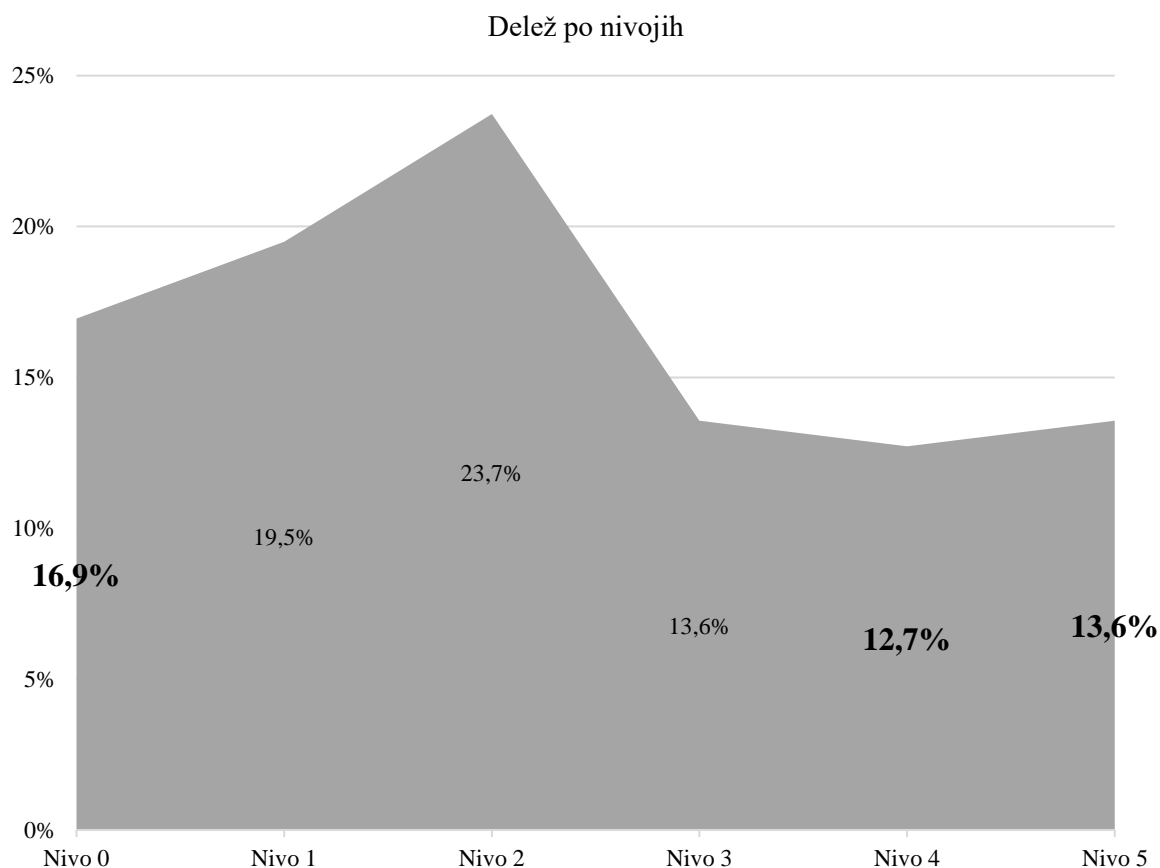
Slika 2: Koncept indeksa pripravljenosti na Industrijo 4.0

Slika 3 prikazuje porazdelitev vseh šestih opisanih nivojev pripravljenosti na Industrijo 4.0 za slovenska proizvodna podjetja. Dokaj visok delež, približno 17 % vseh podjetij, doslej še ni

implementiralo nobene obravnavane tehnologije v proizvodnji. Približno 57 % vseh podjetij že ima procese, povezane z IKT v svoji proizvodnji, in tvorijo skupino podjetij z osnovno pripravljenostjo

na Industrijo 4.0. Ta osnovna skupina uporabnikov vključuje skupino začetnikov, ki uporabljajo samo tehnologije z enega tehnološkega področja (skoraj 20 %; nivo 1), napredne začetnike, ki delujejo na dveh tehnoloških področjih (skoraj 24 %; nivo 2), pa tudi že napredne uporabnike, ki združujejo tehnologije z vseh treh tehnoloških področij (skoraj 14 %; nivo 3). V dveh najvišjih nivojih 4

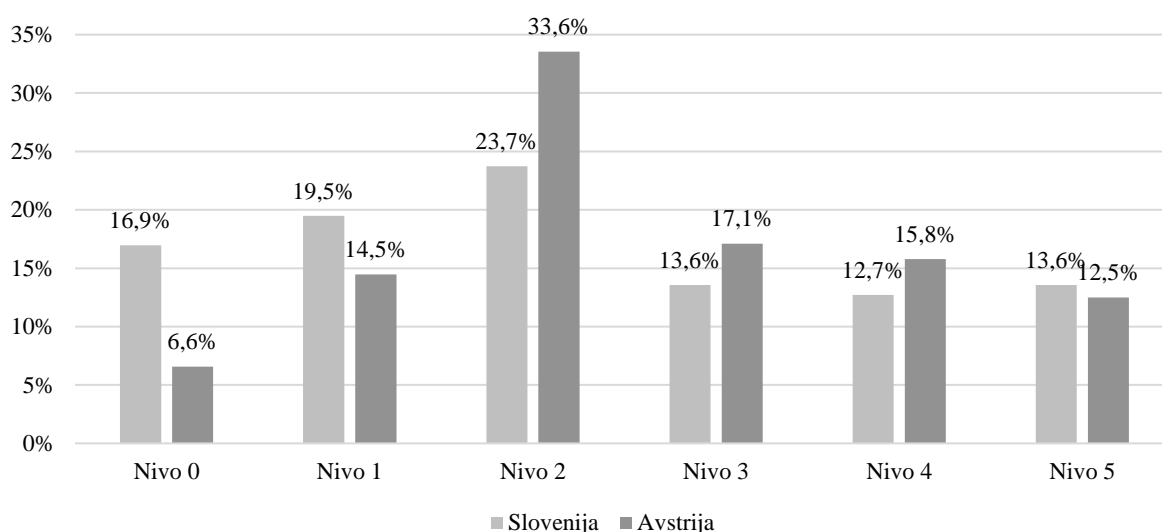
in 5, ki tvorita skupino podjetij z visoko pripravljenostjo na Industrijo 4.0, je 26,3 % vseh podjetij. Vsako četrto podjetje je posledično dejavno na vseh treh tehnoloških področjih in ne uporablja samo procesov, povezanih z osnovnimi IKT, ampak tudi več procesov, povezanih s kibernetско-fizičnimi proizvodnimi sistemi hkrati.



Slika 3: Indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0 v slovenskih proizvodnih podjetjih

Slika 4 prav tako prikazuje porazdelitev vseh šestih opisanih nivojev pripravljenosti na Industrijo 4.0, ker pa se radi primerjamo z drugimi državami, še posebej s tistimi, ki so pomembne industrijske partnerice, smo k slovenskim proizvodnim podjetjem dodali še rezultate za avstrijska proizvodna podjetja. Če pogledamo avstrijska proizvodna podjetja, lahko pazimo, da je delež ne-uporabnikov tehnologij mnogo nižji (2,5-krat), zgolj slabih 7 %. Prav tako je nižji delež podjetij na nivoju 1. Petina avstrijskih podjetij ima

tako vpeljane tehnologije iz največ enega tehnološkega področja (nivo 0 in 1 skupaj), medtem, ko je ta delež v Sloveniji skoraj 2-krat višji (slabih 37 %). Tretjina avstrijskih proizvodnih podjetij ima vpeljane tehnologije iz največ dveh tehnoloških področij (nivo 2) in tudi na nivoju 3 je delež nekoliko višji kot pri slovenskih podjetjih. Po drugi strani pa je skupni delež podjetij na nivoju 4 in 5 zelo podoben slovenskemu ter znaša dobrih 28 %.



Slika 4: Indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0 v slovenskih in avstrijskih proizvodnih podjetjih

#### 4 ZA KONEC

Pogled na slovenski proizvodni sektor kaže, da je še vedno določen delež podjetij, ki se močno zanašajo na tradicionalne proizvodne procese (ne-uporabniki). Glavna skupina slovenskih proizvodnih podjetij je počasi pričela uporabljati procese, povezane z IKT, vendar je med začetniki in naprednimi uporabniki velika razlika. Prvi so nedvomno bližje ne-uporabnikom, napredni uporabniki pa se počasi pripravljajo na vstop v najvišjo skupino. V najvišji skupini podjetja ne delujejo samo na vsakem od treh tehnoloških področij, ampak uporabljajo tudi več postopkov, povezanih s kibernetiko-fizičnimi proizvodnimi sistemi. Obstaja precejšnja pripravljenost za digitalizacijo proizvodnje, pri čemer velja, da se podjetja, ki so na nivoju 4 in 5 (dobra četrtina podjetij), izdatno pripravljajo na proizvodnjo, povezano z Industrijo 4.0, ali jo že z veliko mero izvajajo. V primerjavo z Avstrijo lahko ugotovimo, da so avstrijska proizvodna podjetja v povprečju nekoliko bolj agilna pri vključevanju tehnologij pametne tovarne v svoje okolje. Kljub temu veseli dejstvo, da je delež podjetij v skupini z visoko pripravljenostjo na Industrijo 4.0 praktično enak. To pomeni, da tudi v Sloveniji najdemo vse več podjetij, ki že dihalo v ritmu Industrije 4.0.

V letu 2022 bomo izvedli novo raziskavo in zelo zanimivo bo videti napredek v obdobju od leta 2018/19, kjer lahko pričakujemo precejšen premik podjetij od nižjih nivojev pripravljenosti na

Industrijo 4.0 do višjih nivojev. Slovenska proizvodna podjetja so pogosto dobavitelj podjetjem v zahodnih evropskih državah, kar pomeni, da so primorana in očitno tudi sposobna slediti najnovejših tehnoloških trendom.

Viri:

- [1] Vijaykumar, S., Saravanakumar, S. G., Balamurugan, M. Unique sense: smart computing prototype for industry 4.0 revolution with IOT and big data implementation model, *Indian Journal of Science and Technology* 8(2015) 35, str. 1–4.
- [2] Hofmann, E., Rüscher, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry* 89(2017), str. 23–34.
- [3] Georgakopoulos, D., Jayaraman, P.P., Fazio, M., Villari, M., Ranjan, R. Internet of things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. *IEEE Cloud Computing* 3(2016)4, str. 66–73.
- [4] Lin, F., Chen, C., Zhang, N., Guan, X., Shen, X. Autonomous channel switching: towards efficient spectrum sharing for industrial wireless sensor networks. *IEEE Internet of Things Journal* 3(2016)2, str. 231–243.
- [5] Roblek, V., Meško, M., Krapež, A. A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open* 6(2016)2, str. 1–11.
- [6] Palčič, I., Kušar, J., Koren, R. Organizacijske in tehniške inovacije v slovenskih proizvodnih podjetjih, *IRT 3000* 9(2014)3, str. 33–37.
- [7] Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., Mummolo, G. The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0, *Computers in Industry* (2019)113, str. 1–8.
- [8] Lerch, C., Jaeger, A., Meyer, N. I4.0-Readiness – Baden-Württemberg auf dem Weg zur Industrie 4.0?, *Fraunhofer ISI working paper*, (2016).