







Prednosti Ind. 4.0 mogu lako nadmašiti rizike ako se uzmu u obzir fizičke mogućnosti cyber sistema. Na primer, IoT i kognitivno računarstvo mogu se koristiti za podizanje teških delova postrojenja i mašina i na taj način osloboditi radnike od napornih aspekata rada. Kao rezultat ovih promena, može se sa velikom sigurnošću očekivati i otklanjanje povreda i smrtnih slučajeva.

Ind. 4.0 ne bi zamenila ljudske radnike u svim sferama proizvodnje i održavanja, koliko bi preuzela one vrste poslova koje većina ljudi smatra nepoželjnim. Otklanjanje potencijalno skupih i vremenski zahtevnih subjektivnih (ljudskih) grešaka, koristeći napredne tehnike dijagnostičkih metoda ali i implementacije optimalne strategije održavanja, imperativ je današnjih tehničkih sistema.

Da bi se to postiglo neophodno je razviti sisteme koji podržavaju napredne inteligentne sisteme održavanja ili tehnologije pametnog održavanja. Postulati Ind. 4.0 odnosno Prediktivnog održavanja 4.0 definišu i veoma blisku budućnost u oblasti održavanja tehničkih sistema. Oprema koja će se projektovati u pravcu samostalnog održavanja (samo-održavanje), biće bolja opcija sa mogućnostima praćenja stanja, dijagnostikovanja, planiranja popravki i izvođenja kako bi se produžio životni vek i performanse opreme.

Cilj u budućnosti je imati sistem samo-održavanja opreme kako bi se napravila mašina za rekonfiguraciju, kompenzaciju i samoodržavanje. PdM 4.0 sigurno predstavlja odličnu osnovu za razvoj daljih metodologija i strategija održavanja. Na tome se i razvijaju, između ostalog, i naredne tehnološke revolucije (postavlja se logično pitanje, da li će više biti tehničko-tehnoloških revolucija ili će svaka naredna biti samo logičan sled aktivnosti prethodnih - to je pretpostavka za Ind. 5.0).

Koncept samoodržavanja može imati značajan uticaj na troškove rada i zastoje u održavanju sa nekim autonomnim modulom za popravku. Dalje, adaptivni sistem za samostalno održavanje može kompenzovati zastoj podsistema rekonfiguracijom parametara na autonoman način i minimizujući skupu ljudsku intervenciju. Podaci sa senzora sistema samoodržavanja mogu da identifikuju uzrok otkaza i mogu se predvideti trendovi.

Sistemi za samostalno održavanje mogu da naprave sisteme koji su pouzdaniji, rekonfigurabilniji i prilagodljivi, posebno kod sistema sa kritičnom stopom otkaza komponenti, spajanjem adaptivnih sistema sa modularnim dizajnom.

Tehnike samoodržavanja, zasnovane na PdM 4.0, mogu da predlože u realnom vremenu brz i precizan sistem održavanja sa potrebnim sposobnostima da se bave greškama i otkazima na inovativan način čak i bez ljudske intervencije, kako bi se povećala ukupna pouzdanost. Sistemi za samostalno održavanje mogu minimizirati nepotrebno i skupo preventivno održavanje, optimizirati planiranje održavanja, smanjiti vreme za rezervne delove i resurse, što može doneti značajne uštede.

### III KONCEPT DIGITALNE TRANSFORMACIJE: PRIMENA PdM 4.0

Pristup operativnim podacima u realnom vremenu predstavlja najvažniji faktor u postizanju efikasnosti. Primena analitike velikog broja podataka u održavanju predstavlja četvrti nivo

strategije održavanja, takozvano prediktivno održavanje. Ovo predstavlja prediktivno održavanje 4.0, ili PdM 4.0. [9]

PdM 4.0 se bavi predviđanjem budućih otkaza/zastoja na opremi ali i propisivanjem najefikasnijih preventivnih mera primenom naprednih analitičkih tehnika na velikom broju podataka o tehničkom stanju, upotrebi, okruženju, istoriji održavanja, sličnoj opremi na drugom mestu i svemu što može biti u korelaciji sa performansama opreme. [9,10]

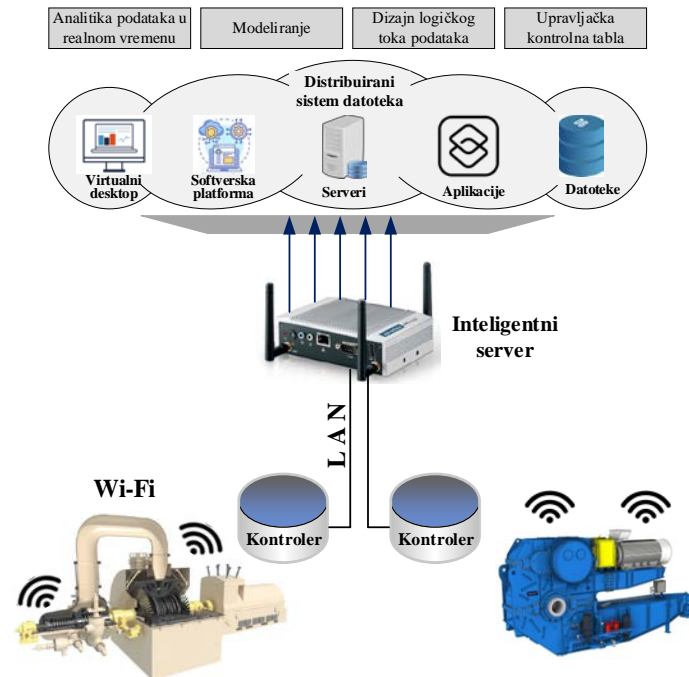
Ovaj nivo održavanja može smanjiti vreme potrebno za planiranje održavanja od 20 pa čak do 50%, povećati vreme rada opreme za 10 do 20% i smanjiti ukupne troškove održavanja za 5 do 10%. [8]

Postizanje ovog nivoa održavanja je moguće kroz proces implementacije u nekoliko koraka (tabela 1).

**Tabela 1.** Proces implementacije PdM 4.0

Prvi korak	Uspostavljanje infrastrukture za prikupljanje operativnih podataka o radu opreme. Poslovna infrastruktura snima podatke u realnom vremenu koji dolaze od strane senzora montiranih na proizvodnoj opremi i drugih uređaja i pretvara ih u sadržajne, real-time uvide, povezujući dobijene podatke sa sistemima i ljudima. Ovaj prvi korak je od suštinske važnosti za pružanje uvida u kasniju analizu. Infrastruktura operativnih podataka u realnom vremenu poboljšava pouzdanost opreme, pri čemu postoji jedinstvena infrastruktura koja će poboljšati produktivnost radnog procesa opreme, upravljanje energijom i fluidima, okolinom, zdravljem i sigurnošću, kvalitetom, kao i završnim izveštavanjem. Ovo je osnova za sve inicijative strategije digitalne transformacije, kao što je implementacija PdM 4.0 pristupa.
Drugi korak	Predstavlja način na koji se dobijeni podaci pohranjuju i poboljšavaju kako bi postali informacije. Poboljšanje podataka znači davanje konteksta podacima. Iako se podaci prikupljaju sa senzora, analitičar mora znati da li je oprema pokrenuta u rad ili je zaustavljen proces rada, kako bi dobijeni podaci imali značenje. Bez konteksta, podaci nemaju mnogo vrednosti. Takođe, prepoznavanje podataka koji su važni i relevantni za organizaciju jednako su važni. Drugim rečima, pružanje kontekstualnih podataka (tip podataka koji omogućava pametnije operacije).
Treći korak	Implementacija održavanja zasnovanog na stanju i ponašanju opreme pomoću kontekstualnih podataka. To podrazumeva određivanje prioriteta određenih sredstava i utvrđivanje uslova koji dovode do eventualnog otkaza /zastoja i implementacije tih uslova na određenim sredstvima u okviru operativne infrastrukture podataka u realnom vremenu za automatsko praćenje stanja u realnom vremenu. Na primer, kada amplituda vibracije uležištenja u reduktoru počne da se povećava izvan normalne, nominalne vrednosti, to znači da će na kraju procesa doći do otkaza ležaja.
Četvrti korak	Implementacija PdM 4.0. U kombinaciji sa naprednim alatima za analitiku i raspoznavanje obrazaca u realnom vremenu, inteligentni sistemi omogućavaju optimizaciju operacija i aktivnosti. Ovi alati koji se koriste zajedno će automatski odrediti obrasce koji dovode do eventualnog otkaza/zastoja. Koristeći gore

navedeni primer, moglo bi se postaviti pitanje, šta je uzrok da amplitude vibracija ležaja počnu da rastu izvan normalnog radnog opsega? Kada se implementiraju, to ne samo da povećava produktivnost i smanjuje troškove održavanja, već će tehnološke operacije i aktivnosti imati koristi od optimizacije njihovog korišćenja svih vidova resursa, pa na kraju i vremenskog resursa.



Slika 4. Arhitektura PdM 4.0

Praćenje stanja i ponašanja opreme u realnom vremenu dovodi do određenog nivoa pouzdanosti. I pored toga, nivo na kome je oprema i dalje će biti pogođena nepredvidivim i neobjašnjivim otkazima. Međutim, ovi propusti mogli bi se rešiti analizom velikog broja podataka. PdM 4.0 uključuje iskorišćenje snage veštačke inteligencije za stvaranje stalnog uvida u otkrivanje uzroka i anomalija, koje se ne otkrivaju kognitivnim moćima čak i kod najdarovitijih ljudi. PdM 4.0 daje mogućnost da se predvidi ono šta je ranije bilo nepredvidivo. [9,10,11] Na slici 4 data je arhitektura PdM 4.0.

#### IV KONEKCIJA KA BUDUĆNOSTI: INDUSTRIJA 5.0

Termin Ind. 4.0 se koristi za industrijsku digitalizaciju i izgradnju optimalnog ekosistema za pametna postrojenja, mašine i uređaje. Sledeća industrijska revolucija, Ind. 5.0, skoro da je pred nama. Ako se govori o razvoju energetike u narednim decenijama, trebalo bi sektor energetike da se priprema na postulate Ind. 5.0 jer će se prema njima usaglašavati. Ind. 5.0 neće doneti nešto radikalno novo, već pre logičan sledeći korak nakon što se uspostave najkritičnije mogućnosti za pametna postrojenja, mašine i uređaje. Može se govoriti o pet ključnih tema i srodnim trendovima, kao i o tome kako bi oni mogli koristiti kompanijama u sektoru energetike. [2,3,4]

##### 1. Bezbednija proizvodnja i zdravija radna snaga

Jedna od tema koja definiše Ind. 5.0 odnosi se na upotrebu naprednih kolaborativnih robota, koji se takođe nazivaju koboti. Koboti već unapređuju ergonomiju i bezbednost zaposlenih u nekim kompanijama, ali je verovatno da će u budućnosti sve više imati napredniju veštačku inteligenciju. Takođe će postojati mogućnosti za poboljšanje zdravlja radne snage kroz napredniju automatizaciju.

##### 2. Personalizacija i poboljšani fokus prema kupcu krajnjeg proizvoda

Zajedno sa Ind. 5.0, personalizacija proizvoda će postati sve češća (na primer ko je proizveo energiju i kakav kvalitet je isporučio; kupci će moći da dizajniraju proizvod na osnovu svojih potreba). Ind. 5.0 vraća ljudski dodir u proizvodnju ali i u potrošnju. Potrebno je sprovođenje „preraspodele ljudske kreativnosti“ kako bi se zadovoljile sve veće želje kupaca.

##### 3. Povećana operativna efikasnost

Industrijske operacije će biti poboljšane uz pomoć održive robotike, veštačke inteligencije i programiranja za dvosmerni prenos znanja. Kada je reč o troškovima, programiranje je očigledno najveća investicija u operativnu efikasnost u poređenju sa drugom opremom. Cirkularna ekonomija ima ključnu ulogu u poboljšanju efikasnosti kroz poboljšano upravljanje otpadom, pažljiv izbor materijala za proizvodnju i favorizovanje preventivnih popravki i optimalnih nadogradnji u odnosu na zamenu.

##### 4. Poboljšana zaštita imovine

Digitalizacija i povezivanje različitih sistema i procesa sa zajedničkim kontrolnim sistemima i IT cloud (oblacima) može sa sobom doneti niz bezbednosnih problema. Glavni razlog za to je što se nekim sredstvima može lako pristupiti preko iste tačke konekcije. Automatizacija može pomoći u ublažavanju rizika uz pomoć veštačke inteligencije i mašinskog učenja. Najnoviji pristupi automatizaciji primenjuju matematičku logiku, koja omogućava automatizovane akcije za otkrivanje i uklanjanje rizika pre nego što bude prekasno.

##### 5. Povećana raznolikost i demokratizovana koprodukcija znanja

Drugi trend vezan za Ind. 5.0 je povećana raznolikost u korišćenju velikih podataka, što će se postići donošenjem vrednosnih sudova. Da biste stvorili pravo blagostanje i pravičnost, morate biti u mogućnosti da pronadete relevantne informacije iz podataka i povežete ih sa ljudskim faktorima. Koncept simetrične inovacije će igrati ključnu ulogu u postizanju demokratizovane koprodukcije znanja putem velikih podataka. Kodiranje vrednosti u tehnologiji zahteva nekoliko stvari, kao što je njihovo označavanje kao problem, stvaranje mogućnosti da se organizacije angažuju u novom ponašanju i inspirisanje motivacije od strane lidera. Investicije u istraživanje i razvoj su važne, ali nisu dovoljne. Pored toga, potrebna je snažna komercijalizacija znanja kako bi se poboljšali životi ljudi.

Sektor energetike prvo mora da pregleda i definiše strateške oblasti buduće proizvodnje, poslovanja i organizacije, kako bi se olakšali drugi korisni faktori: dobrobit, efikasnost, snabdevenost i pravičnost. Zatim, da li je odabrana tehnologija u korelaciji sa visoko postavljenim ciljevima kompanije. Proizvodnja energije

zahteva pouzdanu opremu i tehnologiju, ali i izbor dobavljačkih kompanija koje će raditi ili neće raditi u narednom periodu. Takođe, trebalo bi napraviti procene sa aspekta zaposlenih, stručnosti, raznolikosti, utrošenog vremena i dobrobiti zaposlenih. Potrebno je proceniti kritične tačke merenja na opremi kao i kvalitet mernih podataka, imajući u vidu da odluke koje se donose moraju biti dobre koliko je i kvalitet tih podataka. Stabilnost procesa zavisi od tehnologije merenja, što direktno utiče na poboljšanje kvaliteta krajnjeg proizvoda. Najbolje energetske kompanije razmišljaju kako mogu imati koristi od cirkularne ekonomije i kako bi mogle biti uključene i nju. Neke već koriste svoje nusproizvode. Potrebno je znati koji procesi stvaraju otpad i koje druge finansijske odlive uključuju. Da bi se promovisala ne samo produktivnost i optimalno održavanje, već i zdravlje i bezbednost ljudi i okoline, merni instrumenti moraju da budu što robusniji i dugotrajniji. Da bi se poboljšala operativna efikasnost, oni takođe moraju da budu laki za korišćenje i održavanje. Tu leži i spona održavanja Ind. 4.0 i Ind. 5.0. Ind. 5.0 pokušava da uravnoteži ekonomski razvoj sa rešavanjem društvenih i ekoloških problema. Nije ograničen na proizvodni sektor, već se bavi većim društvenim izazovima zasnovanim na integraciji fizičkog i virtuelnog prostora. Ind. 5.0 je društvo u kojem se napredne IT tehnologije, internet, roboti, veštačka inteligencija i kognitivno računarstvo, aktivno koriste u svim sferama delatnosti, ne prvenstveno za ekonomsku prednost, već za dobrobit i udobnost svakog stanovnika.

**Tabela 2.** Razlike između Industrije 4.0 i Industrije 5.0

Industrija 4.0	Industrija 5.0
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usredsređena na poboljšanje efikasnosti putem digitalne povezanosti i veštačke inteligencije.</li> <li>- Tehnologija - usredsređena na pojavu sajber-fizičkog cilja.</li> <li>- Usklađena sa optimizacijom poslovnih modela u okviru postojećih dinamika tržišta kapitala i ekonomskih modela - odnosno u krajnjoj liniji usmeren na minimizaciju troškova i maksimizaciju profita.</li> <li>- Nema fokusa na dimenzije dizajna i performansi koje su ključne za sistemsku transformaciju i razdvajanje upotrebe resursa i materijala od negativnih uticaja na životnu sredinu, klimu i društvo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Osigurava okvir za industriju koji kombinuje konkurentnost i održivost, omogućavajući industriji da ostvari svoj potencijal kao jednog od stubova transformacije.</li> <li>- Naglašava uticaj alternativnih načina (tehnološkog) upravljanja na održivost i otpornost.</li> <li>- Osnružuje radnike korišćenjem digitalnih uređaja, podržavajući pristup tehnologiji usredsređenoj na čoveka.</li> <li>- Gradi tranzicione puteve ka ekološki održivoj upotrebi tehnologije.</li> <li>- Proširuje delokrug odgovornosti korporacije na sve njihove lance vrednosti.</li> <li>- Uvodi indikatore koji pokazuju, za svaki ekosistem, napredak postignut na putu ka blagostanju, otpornosti i sveukupnoj održivosti.</li> </ul>

#### V ZAKLJUČAK

Tehničko-tehnološki napredak se ne završava sa industrijskom revolucijom Ind. 4.0. Ona predstavlja samo jedan međukorak ka novim, naprednijim tehnologijama koje implementiraju inteligentne sisteme, nove pametne materijale, nova stečena znanja. Ako Ind. 4.0 naglašava transformaciju

postrojenja/fabrike/opreme u pametne objekte sa omogućenim internet tehnologijama koje koriste kognitivno računarstvo i međusobno povezivanje preko oblak (cloud) servera, Ind. 5.0 će se fokusirati na povratak ljudskih ruku i umova u industrijski okvir. Znači, čovek i mašina međusobno usklađuju i pronalaze načine da rade zajedno kako bi poboljšali opremu i efikasnost proizvodnje/održavanja. Najveći napredak za Ind. 5.0 biće interakcija ljudske inteligencije i kognitivnog računarstva. Očekuje se da će kombinovana postrojenja i mašine, ali i kompjuterizovana oprema izvesti proizvodnju do novih, većih nivoa brzine i perfekcije. Za određeno vreme, ljudi i roboti bi mogli ostvariti saradnju na dizajnu i podeli radnih poslova prema opterećenjima u različitim proizvodnim procesima. Energetika uopšte, kao razvojna grana, kao zamajac ljudskog napretka, imaće velikog udela u implementaciji kako Ind. 4.0 tako i buduće Ind. 5.0.

Ind. 5.0 prepoznaje moć industrije u postizanju društvenih ciljeva izvan poslova i rasta kako bi postala otporni stvaralac prosperiteta, čineći da proizvodnja poštuje granice naše planete i stavlja dobrobit zaposlenih u centar proizvodnog procesa.

#### ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovaj članak je prilog projektu TR035040 koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Srbije.

#### LITERATURA/REFERENCES

- [1] Jovančić, P. Asset management and condition monitoring on maintenance of mining equipment lignite mines, in Proc. *13th International symposium Continuous Surface Mining ISCSM*, Belgrade, Serbia, pp. 197-207, 12-14 September 2016.
- [2] Industry 5.0 - Understanding the basics, VAISALA, <https://www.vaisala.com/en/lp/smart-industry-50-how-benefit-it> [pristupljeno 25.05.2022]
- [3] Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, European Commission; Publications Office of the European Union, 2021 [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07_en) [pristupljeno 25.10.2022]
- [4] Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe. Publications Office of the European Union, 2021 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/38a2fa08-728e-11ec-9136-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF> [pristupljeno 25.05.2022]
- [5] Jovančić, P., Ignjatović, D., Tanasijević, M. Modern concepts of mining equipment maintenance, in Proc. *10th International Symposia Mechanization and Automation in Mining and Energetics MAREN2012*, Lazarevac Serbia, June 6-7, 2012.
- [6] Jovančić, P., Tanasijević, M., Ignjatović, D. Upravljanje imovinom i proaktivni sistem nadzora pri održavanju opreme u rudnicima, in Proc. *40. Naučno-stručni skup Održavanje mašina i opreme OMO2015*, Beograd, Srbija, pp 1-10, 23-26 jun 2015.
- [7] Jovančić, P., Ignjatović, D., Tanasijević, M. Proactive monitoring system for basic mining equipment at open pit mines of Electric Power Industry of Serbia, in Proc. *XXI International Congress on Maintenance and Asset Management - EUROMAINTENANCE 1 2012*, Belgrade, Serbia, pp. 622-630, May 14-16, 2012.
- [8] Coleman, C., Damodaran, S., Chandramouli, M., Deuel, E. *Making maintenance smarter: Predictive maintenance and the digital supply network*, Deloitte University Press, 2017. [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3828\\_Making-maintenance-smarter/DUP\\_Making-maintenance-smarter.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3828_Making-maintenance-smarter/DUP_Making-maintenance-smarter.pdf) [pristupljeno 25.05.2022]
- [9] Sajid, S., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Goyal, T., Mittal, M. Data science applications for predictive maintenance and materials science in

context to Industry 4.0, in Proc. *Materialstoday Proceedings*: Vol. 45, Part 6, pp. 4898-4905, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.357>

- [10] Compare, M., Baraldi, P., Zio, E. Challenges to IoT-Enabled Predictive Maintenance for Industry 4.0, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 7, No. 5, pp. 4585-4597, 2020 <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2957029>
- [11] Zonta, T., André da Costa, C., da Rosa Righi, R., José de Lima, M., Silveira da Trindade, E., Pyng Li, G., Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 150, 106889, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>

## AUTORI/AUTHORS

**dr Predrag Jovančić**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [predrag.jovancic@rgf.bg.ac.rs](mailto:predrag.jovancic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0002-2245-4172](https://orcid.org/0000-0002-2245-4172)  
**dr Dragan Ignjatović**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [dragan.ignjatovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragan.ignjatovic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0002-8941-4108](https://orcid.org/0000-0002-8941-4108)  
**msr Stevan Đenadić**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [stevan.djenadic@rgf.bg.ac.rs](mailto:stevan.djenadic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0003-2835-7151](https://orcid.org/0000-0003-2835-7151)  
**dr Miloš Tanasijević**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [milos.tanasijevic@rgf.bg.ac.rs](mailto:milos.tanasijevic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0002-9629-1513](https://orcid.org/0000-0002-9629-1513)  
**msr Filip Miletić**, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, [filip.miletic@rgf.bg.ac.rs](mailto:filip.miletic@rgf.bg.ac.rs), ORCID [0000-0001-5402-5818](https://orcid.org/0000-0001-5402-5818)