

**STUDIJA SLUČAJA - APLIKACIJA ZA UNAPREĐENJE PROIZVODNJE
KLIMA KOMORA U KOMPANIJU TERMOVENT
CASE STUDY – APPLICATION FOR IMPROVING THE PRODUCTION
OF AIR HANDLING UNITS AT TERMOVENT COMPANY**

Nikola Bošković

REZIME: U ovom radu analizirana je automatizacija proizvodnje klima komora u kompaniji Termovent kroz implementaciju aplikacije razvijene u okviru Industrije 4.0. Cilj rada je unapređenje efikasnosti proizvodnje klima komora kroz digitalizaciju i automatizaciju glavnih proizvodnih procesa. Korišćenjem informacionih tehnologija, automatizovan je ručni unos podataka, poboljšana je organizacija procesa sklapanja konstrukcija klima komora i olakšano je upravljanje tehničkom dokumentacijom klima komora.

U radu se analiziraju četiri modula aplikacije: optimizacija sečenja profila na V-cut mašini, upravljanje tehničkom dokumentacijom, organizacija smeštanja profila na transportna kolica i uvid u stanje profila na kolicima. Analizirane su prednosti automatizacije, uključujući smanjenje grešaka, uštedu vremena i povećanje produktivnosti. Takođe, detektovani su izazovi u vezi sa učitavanjem podataka i fleksibilnošću barkod sistema, uz predloge za njihovo prevazilaženje.

Zaključeno je da implementacija automatizovanih softverskih rešenja doprinosi poboljšanju kvaliteta proizvodnje i konkurentnosti kompanije. Predložena su dalja unapređenja, uključujući integraciju sa ERP sistemima i primenu veštačke inteligencije za analizu podataka i predikciju potencijalnih problema, što bi dodatno optimizovalo proizvodni proces i unapredilo poslovanje u okviru Industrije 4.0.

KLJUČNE REČI: Industrija 4.0, automatizacija, digitalizacija, proizvodni proces, klima komore.

ABSTRACT: This paper analyzes the automation of air handling unit production at the company Termovent through the implementation of an application developed within the framework of Industry 4.0. The aim of the paper is to improve the efficiency of air handling unit production by digitizing and automating key manufacturing processes. By using information technologies, manual data entry has been automated, the organization of the air handling unit construction assembly process has been improved, and the management of technical documentation has been facilitated.

The paper examines four modules of the application: optimization of profile cutting on the V-cut machine, management of technical documentation, organization of profile placement on transport trolleys, and monitoring the status of profiles on the trolleys. The benefits of automation are analyzed, including error reduction, time savings, and increased productivity. Challenges related to data loading and barcode system flexibility are also identified, along with suggestions for overcoming them.

It is concluded that the implementation of automated software solutions contributes to the improvement of production quality and the company's competitiveness. Further improvements are suggested, including integration with ERP systems and the use of artificial intelligence for data analysis and prediction of potential issues, which would further optimize the production process and enhance business operations within Industry 4.0.

KEY WORDS: Industry 4.0, automation, digitization, production process, air handling units.

1. UVOD

Ovaj rad predstavlja studiju slučaja aplikacije koja je razvijena od strane Razvojnog tima kompanije Termovent za potrebe unapređenja proizvodnog procesa klima komora.

Proizvodni pogon kompanije Termovent u Kladovu iskazao je potrebu za razvojem informacionog sistema koji bi radnicima omogućio lakše i efikasnije obavljanje određenih delova proizvodnog procesa, čime bi se skratilo vreme rada i smanjile greške u proizvodnji klima komora. Kao odgovor na ovaj zahtev, Razvojni tim kompanije Termovent razvio je aplikaciju sastavljenu od četiri modula, pri čemu su neki moduli kreirani potpuno od početka, dok su drugi unapređeni na osnovu postojećih rešenja.

Prvi modul, *IDcut-Vcut*, predstavlja potpuno novo rešenje razvijeno interno od strane Razvojnog tima Termoventa. Ovaj modul nije postojao ranije i osmišljen je kako bi optimizovao proces sečenja profila, omogućavajući precizniju obradu materijala uz minimizaciju otpada.

Drugi modul, *Digitalizovana dokumentacija*, takođe je razvijen unutar kompanije i omogućava radnicima da putem barkod skenera skeniraju profile konstrukcije klima komora. Na osnovu podataka sa barkoda, na ekranu se prikazuje odgovarajući deo konstrukcije, čime se ubrzava identifikacija i smanjuje mogućnost greške prilikom sklapanja.

Treći modul, *Profili kolica*, uveden je kako bi se rešio problem redosleda sklapanja profila. Ranije su profili na kolica slagani redosledom kojim su se sekli, što nije bilo optimalno za kasnije sklapanje. Novi sistem omogućava da se profili smeštaju u kolica prema logici sklapanja konstrukcije, a ne prema redosledu sečenja, čime se olakšava proces varenja i smanjuje vreme montaže.

Četvrti modul, *Pregled kolica*, omogućava pretraživanje i pregled sadržaja kolica, odnosno svih profila koji se na njima nalaze. Ovaj dodatak doprinosi boljoj organizaciji materijala i pojednostavljuje proces praćenja raspoloživih komponenti u proizvodnji.

Cilj razvoja ove aplikacije bio je unapređenje postojećih procesa kroz digitalizaciju i automatizaciju ključnih operacija

u proizvodnji klima komora. Dok su raniji sistemi zahtevali ručni unos i oslanjali se na papirnu dokumentaciju, nova aplikacija omogućava bržu, precizniju i transparentniju obradu podataka, čime se značajno povećava efikasnost celokupnog proizvodnog procesa.

2. AUTOMATIZACIJA KLIMA KOMORA – STUDIJA SLUČAJA KOMPANIJE TERMOVENT

U ovom delu rada biće prikazana uloga informacionih tehnologija u automatizaciji proizvodnih procesa u okviru Industrije 4.0, sa posebnim osvrtom na kompaniju Termovent. Analiziraće se ključne prednosti implementacije softverskih rešenja i hardverskih komponenti u cilju unapređenja efikasnosti proizvodnje klima komora. Pored toga, biće analizirani ključni izazovi u implementaciji ovih tehnologija i kako one utiču na brzinu, kvalitet i troškove proizvodnje. Takođe, u ovom delu rada biće objašnjeno šta je klima komora, kao i koji su dodatni resursi (barkod skener, kolica i *V-cut* mašina) neophodni za razumevanje funkcionisanja aplikacije razvijene od strane Razvojnog tima kompanije Termovent, s obzirom na njihovu nerazdvojivu povezanost sa samim sistemom. Ovaj deo rada pruža osnovu za razumevanje uloge automatizacije u savremenoj Industriji 4.0 i njenog značaja za konkurentnost preduzeća.

Informacione tehnologije su od svog nastanka značajno transformisale sve oblasti u kojima su primenjene, donoseći sa sobom brojne inovacije koje su omogućile unapređenje i efikasnost u različitim industrijama. Njihova implementacija dovela je do značajnog unapređenja procesa i automatizacije operacija, te je rezultat svega toga pozitivan uticaj na način obavljanja posla u eri Industrije 4.0. Korišćenjem informacionih tehnologija, njihovi korisnici su u mogućnosti da izvrše mnoge zadatke koristeći manje resursa, sa uštedom vremena. Ova evolucija je omogućila bržu i efikasniju promenu na tržištu, čime se poboljšava konkurentnost i ostvaruju bolji poslovni rezultati. Novaković i saradnici ističu da savremene informacione tehnologije i automatizacija ubrzavaju proizvodne procese kroz softversku integraciju, od pripreme do kontrole, pri čemu je optimizacija, posebno priprema proizvodnje, ključna za bržu i efikasniju proizvodnju prilagođenih proizvoda [1].

Industrija 4.0 je četvrta industrijska revolucija koja se temelji na digitalnoj transformaciji i integraciji fizičkih i digitalnih sistema u proizvodnji [2]. Od svoje pojave, nemerljiv je pozitivan uticaj na promene u proizvodnim procesima kroz digitalnu transformaciju sistema, omogućavajući unapređenje i automatizaciju u industriji. Poznata je još i pod nazivom, inteligentna industrija, kao ključni element četvrte industrijske revolucije, koja transformiše proizvodne procese kroz poboljšanu efikasnost i inovativne tehnologije oslanjajući se na analizu velikih količina podataka generisanih putem Interneta stvari (IoT) [3]. Ceo koncept Industrije 4.0 postavlja dobru osnovu za pametnu proizvodnju, gde je najbitnije povezani sistemi i omogućiti optimizaciju resursa, a kao rezultat dobija se kompanija koja je konkurentna na tržištu. Industriju 4.0, karakteriše masivna digitalizacija proizvodnje koja donosi brojne izazove, ali i ogromne mogućnosti za inovacije i poboljšanje

poslovnih rezultata, posebno u kontekstu upravljanja velikim količinama podataka [4]. Iako donosi izazove u upravljanju velikim količinama podataka, ona istovremeno pruža značajne mogućnosti za inovacije i unapređenje poslovnih procesa kroz svoju digitalizaciju.

U ovom radu biće analiziran proces unapređenja i automatizacije proizvodnog procesa u oblasti mašinstva, sa posebnim osvrtom na sve faze, počevši od pripreme materijala pa sve do dobijanja gotovog proizvoda. U proizvodnom pogonu kompanije Termovent, koji se nalazi u Kladovu i proizvodi klima komore, izvršeno je unapređenje i automatizacija proizvodnog procesa. Zbog potrebe za integracijom različitih softverskih rešenja, razvijenih od strane nekoliko proizvođača, pristupilo se razvoju jedinstvene aplikacije koja omogućava unapređenje procesa proizvodnje.

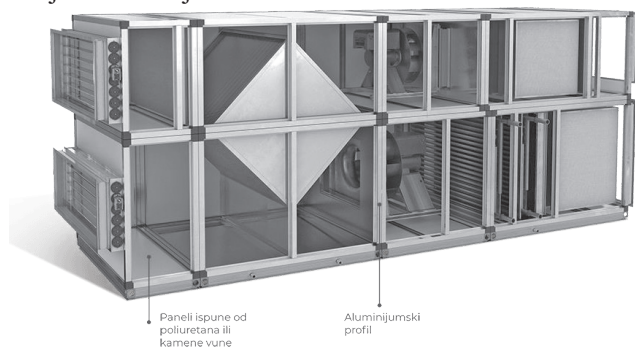
Pored integracije različitih softverskih rešenja u jedinstvenu celinu (aplikaciju), važan deo ovog procesa jeste automatizacija određenih operacija unutar informacionog sistema. Smanjena je potreba za ručnim unosom podataka, a kao rezultat se povećala efikasnost rada korisnika aplikacije. Automatizacija u firmama koje posluju u oblasti mašinstva ne obuhvata samo robote u proizvodnji, već i kompleksne softverske alate koji efikasno upravljaju svim fazama proizvodnje. Savremeni informacioni sistemi omogućavaju *real-time* praćenje i analizu proizvodnih aktivnosti, što omogućava menadžmentu da brže donosi odluke i reaguje na potencijalne probleme. Novaković, Radovanović i Đurđev ukazuju da brz razvoj informacionih tehnologija u 21. veku, posebno u elektronici, dovodi do automatizacije i robotizacije u mašinstvu, te šire upotrebe softvera za optimizaciju svih faza proizvodnih procesa [5].

Glavni cilj ovog rada je unapređenje i razvoj postojećih i novih softverskih rešenja namenjenih unapređenju i automatizaciji proizvodnog procesa u kompaniji Termovent. U radu će biti naglašeno kako će ova unapređenja pomoći u racionalizaciji i efikasnijem nadzoru svih aktivnosti u proizvodnji. Takođe, potrebno je stvoriti sistem koji će omogućiti jednostavnije upravljanje tokom različitih faza proizvodnje i dramatično smanjiti vreme potrebno za prelaz od pripreme do realizacije gotovog proizvoda. Poželjno je da ovaj proces bude što jednostavniji, kako bi se povećala produktivnost i poboljšali ukupni rezultati rada u proizvodnom procesu. Pantić i saradnici navode da optimizacija i automatizacija poslovnih procesa značajno poboljšava kvalitet rada u organizaciji, što zahteva od kompanija da procene svoj razvoj u tom pravcu, a što je uslovljeno detaljnim mapiranjem procesa [6].

Savremeno softversko inženjerstvo, zahvaljujući tehnološkom napretku, podrazumeva primenu principa i znanja za kreiranje skalabilnih, kompleksnih i distribuiranih aplikacija u saradnji velikih timova i zajednica [7]. Ovaj napredak omogućava kreiranje efikasnijih softverskih rešenja koji podržava složene proizvodne procese, a kompanije u kojima se primenjuju postaju konkurentne na tržištu. Upotreba takvih rešenja donosi brojne prednosti, uključujući poboljšanje kvaliteta proizvoda i optimizaciju vremena.

2.1. Klima komora u kompaniji Termovent

Aplikacija koja je razvijena od strane Razvojnog tima kompanije Termovent i koja je opisana u ovom radu je namenjena za proizvodnju u oblasti mašinske industrije, a primenjuje se za proizvodnju klima komora. Primer jedne klima komore prikazan je na slici 1. Kompanija Termovent, sa dugogodišnjim iskustvom u HVAC industriji, nudi širok spektar klima komora koje su prilagođene različitim potrebama, od malih prostora do velikih industrijskih objekata, osiguravajući optimalnu klimatizaciju i ventilaciju.



Slika 1. Klima komore [8].

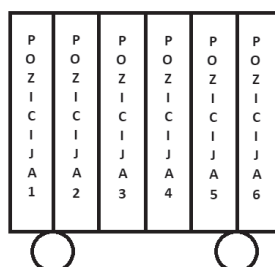
Klima komora je centralni element svakog sistema za klimatizaciju. Ona predstavlja uređaj koji priprema vazduh tako da bude pogodan za upotrebu u zatvorenim prostorima. Klima komora je ključni element svakog modernog sistema za klimatizaciju. Zahvaljujući svojoj složenoj unutrašnjoj strukturi i preciznom upravljanjem, ona omogućava stvaranje ugodne i zdrave mikroklimu u različitim prostorima.

2.2. Dodatni resursi

U procesu proizvodnje klima komora u kompaniji Termovent u Kladovu, ključne hardverske komponente razvijene aplikacije opisane u studiji slučaja uključuju POS barkod skener (slika 2) i računar, dok takođe, važnu ulogu u procesu proizvodnje imaju transportna kolica (slika 3) i mašina za sečenje profila klima komore (*V-cut* mašina).



Slika 2. POS barkod skener [9].



Slika 3. Kolica za transport profila u proizvodnji



Slika 4. *V-cut* mašina [10]

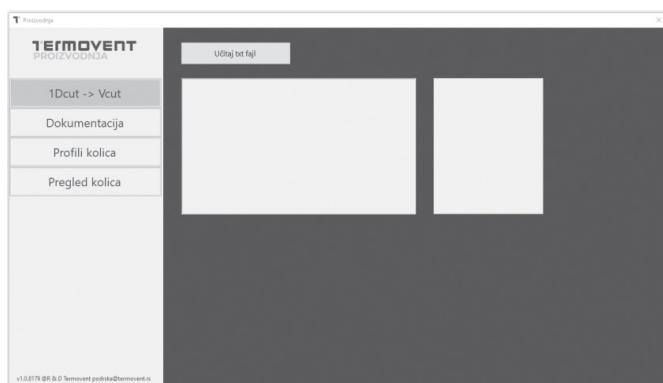
Analizom uloge informacionih tehnologija u proizvodnom procesu kompanije Termovent jasno je uočeno kako automatizacija u okviru Industrije 4.0 doprinosi povećanju efikasnosti i smanjenju ručnog rada. Integracija softverskih i hardverskih rešenja omogućava preciznije praćenje i kontrolu svih faza proizvodnje, čime se poboljšava kvalitet konačnog proizvoda. Sve ovo je veoma važno za razvoj aplikacije, jer na osnovu analize uloga, mogu se definisati pogodnosti koje softversko rešenje treba da pruži. U narednim poglavljima detaljnije će biti analiziran razvoj aplikacije i njena implementacija u proizvodni proces pomenute kompanije.

3. APLIKACIJA ZA UNAPREĐENJE PROIZVODNJE KLIMA KOMORA

Aplikacija za unapređenje proizvodnje klima komora u kompaniji Termovent razvijena je od strane Razvojnog tima kompanije kako bi optimizovala ključne procese u proizvodnom pogonu u Kladovu. Ova aplikacija, implementirana u okviru proizvodnog sistema, sastoji se od četiri modula, od kojih svaki ima specifičnu ulogu u poboljšanju efikasnosti, smanjenju grešaka i ubrzanju proizvodnje. Moduli su osmišljeni na osnovu konkretnih potreba radnika u proizvodnji i prilagođeni specifičnostima proizvodnog procesa u kompaniji Termovent, čime se postiže unapređenje proizvodnog procesa i bolja organizacija rada.

1. 1Dcut - Vcut

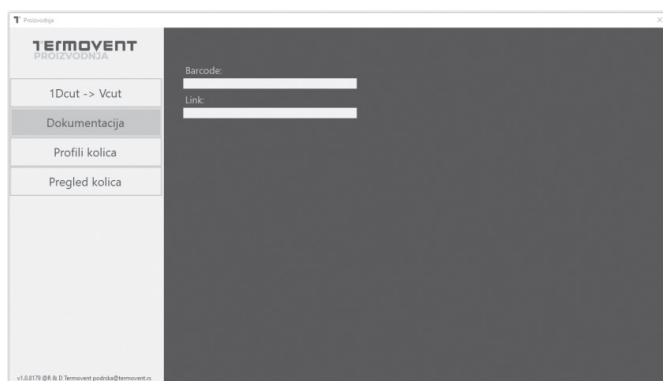
Prvi modul aplikacije, označen kao *1Dcut - Vcut*, uključuje proces kreiranja dokumenta iz tekstualnog fajla (*TXT*) koji se koristi za pripremu elemenata profila. Potrebno je iz *1Dcat (TXT)* fajla izvući i formirati *CSV* dokument koji se učitava na *V-cut* mašinu, ali strukturiran na način koji odgovara redosledu i formatu potrebnom za *V-cut* mašinu. Dokument *1Dcat (TXT)* fajl je rezultat proračuna koji minimizira otpad prilikom sečenja metalnih profila, konkretno metalnih šipki dužine 5 metara. Cilj ovog proračuna je da se iskoristi maksimalna količina materijala za dobijanje potrebnih profila elemenata koji će se koristiti u pravljenju klima komora. Kroz pažljivu analizu, sve potrebne dužine profila proračunavaju se i smeštaju u *TXT* fajl (*1Dcat*). S druge strane, fajl *1Vcat (CSV)* je kreiran za *V-cut* mašinu koja seče profile, i formira se po tačnom redosledu kako bi se smanjio otpad. Svakom profilu dodeljuje se barkod koji sadrži detaljan opis profila i informacije o elementu klima komore kojem pripada. Ova optimizacija ne samo da smanjuje proizvodni otpad, već takođe donosi značajne ekonomske i ekološke uštede. Na slici 5. prikazan je izgled modula *1Dcut - Vcut*.



Slika 5. Modul 1Dcut to Vcut

2. Dokumentacija

Drugi modul aplikacije omogućava radnicima koji se bave zavarivanjem profila da imaju brz i lak pristup tehničkoj dokumentaciji za delove klima komore koje treba da sastave. Pre ovog unapređenja, celokupna dokumentacija se štampala, što je često vodilo do velike potrošnje papira. Sada, sve je dostupno u digitalnom formatu, omogućavajući radnicima da oda-beru profil ili element koji treba da sastave i otvore odgovarajuću dokumentaciju na ekranu. Ova digitalizacija ne samo da smanjuje potrošnju papira, što ima značajan ekološki efekat, već takođe poboljšava pristup informacijama. Radnici mogu zimirati dokumente kako bi dobili bolji uvid u oznake profila i lakše ih sastavili. Ova promena ne samo da utiče na ekonomsku uštedu, već i na povećanje ekološke svesti unutar kompanije. Na slici 6. prikazan je izgled modula *Dokumentacija*.



Slika 6. Modul Dokumentacija

3. Profili kolica

Treći modul aplikacije je posvećen optimalnom skladištenju profila koji su sečeni na *V-cut* mašini. Nakon sečenja, profili se označavaju barkodovima radi lakšeg pronalaženja i organizacije. Naime, prilikom kreiranja fajla (*CSV*) *IVcat*, profili se ne seku isključivo po redosledu potrebnom za sastavljanje, već se optimizuju da bi se smanjio otpad, pa se tim redosledom profili konstrukcije seku. Kada profili izlaze iz *V-cut* mašine, radnici ih smeštaju na metalna kolica koja su obeležena barkodovima i podeljena u različita polja (pozicije). Postupak smeštanja profila u kolica vrši se na jednostavan način: prvi profil se smešta na prvu poziciju u kolicima, a svi

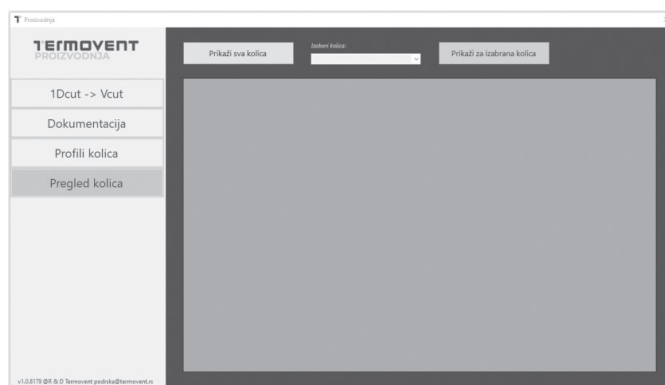
sledeći profili se smeštaju na odgovarajuće pozicije na osnovu njihove pripadnosti određenom elementu konstrukcije klima komore. Ova organizacija značajno olakšava radnicima pronalaženje potrebnih profila prilikom sklapanja. Takođe, čitač barkoda se koristi za precizno očitavanje informacija o profilu i njegovoj poziciji u kolicima. Ova funkcionalnost aplikacije rezultira značajnom uštedom u ljudskim resursima, kao i u vremenu, čime se poboljšava ukupna produktivnost procesa. Na slici 7. prikazan je izgled modula *Profili kolica*.



Slika 7. Modul Profili kolica

4. Pregled kolica

Četvrti modul aplikacije, poznat kao *Pregled kolica*, omogućava radnicima koji sklapaju klima komore brzo pronalaženje potrebnih profila za određene elemente. Pre uvođenja ove aplikacije, radnici su morali fizički pretraživati kolicima ispod složenih redova profila. S obzirom na to da je sada sistem organizovan i poznato je gde se koji profil nalazi, radnici mogu efikasnije i lakše obavljati svoj posao. Prilikom preuzimanja profila sa kolicima, radnici skeniraju barkod kako bi identifikovali koji je element ili kolica tj. pozicija kolica i za šta je dodeljen. Na osnovu informacija iz dokumentacije, radnici mogu lako sastaviti element klima komore. Svako polje kolica specijalizovano je za određene profile, kao što su na primer vrata ili drugi delovi klima komore, što omogućava brže i preciznije sklapanje. Ova funkcionalnost aplikacije značajno je automatizovala proizvodni proces zavarivanja, smanjujući vreme potrebno za pronalaženje i organizaciju profila. Na slici 8. prikazan je izgled modula *Pregled kolica*.



Slika 8. Modul Pregled kolica

4. AUTOMATIZACIJA U MAŠINSKOJ INDUSTRIJI I INDUSTRIJA 4.0

Industrija 4.0 ili kako je još nazivaju, inteligentna industrija [3], donosi revoluciju u proizvodne sisteme kroz digitalizaciju, automatizaciju i primenu savremenih informacionih tehnologija. Ovaj koncept ne samo da transformiše način na koji se proizvodi dizajniraju, planiraju i realizuju, već postavlja nove standarde za efikasnost, produktivnost i radne uslove. Stoga je važno analizirati različite pristupe istraživača u cilju unapređenja proizvodnih procesa, uzimajući u obzir dostupnu literaturu domaćih i stranih autora.

Različiti aspekti Industrije 4.0 obuhvataju razvoj digitalnih blizanaca, primenu veštačke inteligencije, unapređenje softverskih sistema i metodologija modelovanja, kao i analizu ekonomske dobiti i dobrobiti zaposlenih primenom automatizacije. Guerra-Zubiaga i saradnici predstavljaju metodologiju za razvoj digitalnog blizanca proizvodnih sistema, omogućavajući testiranje i optimizaciju scenarija pre fizičke implementacije. Ovaj generički pristup digitalnom modeliranju i simulacijama značajno doprinosi efikasnijem planiranju i pokretanju proizvodnih procesa [11]. Time se omogućava da se na vreme uoče moguće mane, čime se smanjuju troškovi i rizici pri korišćenju novih rešenja.

Jedan od ključnih elemenata Industrije 4.0 jeste primena veštačke inteligencije u proizvodnim sistemima. Dudukalov i saradnici analiziraju njen uticaj na poboljšanje merenja i upravljanje proizvodnim procesima, posebno u višekanalnim sistemima. Njihovo istraživanje naglašava ulogu veštačke inteligencije u optimizaciji lanca vrednosti kroz preciznije merenje i dinamičko praćenje proizvodnje [12]. Ovim se postiže visok nivo automatizacije, smanjujući potrebu za ljudskom resursima u ponavljajućim i teškim proizvodnim zadacima.

Pored tehničkih aspekata, od presudne je važnosti i balans između ekonomske dobiti i dobrobiti zaposlenih u digitalizovanom okruženju. Margherita i Braccini ističu značaj etičkog poslovnog razvoja u kontekstu Industrije 4.0, naglašavajući potrebu za ravnomernom raspodelom koristi automatizacije kako bi se izbegle negativne posledice po radnike [13]. U ovom modelu, tehnologija preuzima procese koji se ponavljaju i opasne zadatke, dok se ljudski rad preusmerava na nadzor i kontrolu složenijih procesa.

Industrija 4.0 takođe donosi povećanu složenost proizvodnih sistema, što zahteva nove metodologije za njihovu analizu i optimizaciju. Mourtzis i saradnici primenjuju metriku zasnovanu na teoriji informacija za modelovanje i kvantifikaciju složenosti proizvodnih procesa, analizirajući entropiju i komunikacione kanale u industrijskim sistemima [14]. Njihovo istraživanje ukazuje na izazove u obradi podataka i prilagođavanju proizvodnih sistema sve složenijim digitalnim mrežama.

Povećana automatizacija utiče i na radne uslove, kao što pokazuje studija Neumanna i saradnika. Pomenuti autori analiziraju ergonomske i produktivne efekte delimične automatizacije u švedskoj firmi koja proizvodi AC/DC konvertore. Implementacija novog serijskog sistema proizvodnje, uključujući automatizaciju montaže i transporta, a rezultat je poboljšanje

produktivnosti i smanjenje fizičkog napora zaposlenih [15]. Ovo pokazuje da industrijska automatizacija može istovremeno doprineti efikasnosti i boljim uslovima rada.

U digitalizovanim proizvodnim okruženjima, razvoj softverskih rešenja igra glavnu ulogu u integraciji različitih sistema. Vogel-Heuser i saradnici pružaju sveobuhvatan pregled prednosti i mana softverskih rešenja u automatizovanim proizvodnim sistemima, predlažući smernice za njihovu optimizaciju [16]. Takođe, Vogel-Heuser i saradnici analiziraju prednosti modularnosti i arhitekture softvera zasnovanog na programabilnim logičkim kontrolerima (PLC), koji su od suštinskog značaja za inženjering u oblasti mašinstva [17].

Metodologije modelovanja dodatno unapređuju proces dizajniranja industrijskih mašina. Bassi i saradnici istražuju primenu *System Modeling Language* (SysML) u modelovanju i projektovanju proizvodnih sistema, a njihovo istraživanje pokazuje da korišćenje SysML-a poboljšava integraciju različitih modela i komunikaciju među disciplinama [18]. Slično tome, Fantuzzi i saradnici primenjuju tehnike objektno orijentisanog modelovanja (UML) na razvoj softverskih rešenja za automatske mašine, sa posebnim naglaskom na mehatronske objekte i interfejse zasnovane na signalima [19].

Konačno, Feldmann i saradnici analizirali su primenljivost interdisciplinarnog pristupa linije proizvoda kao sredstvo za poboljšanje inženjeringa u domenu mašinstva, a analizirali su na dva konkretna primera: liniju za sortiranje i automat za samouslužno izdavanje robe [20]. Ovaj pristup omogućava bolju optimizaciju proizvodnih tokova i fleksibilnije prilagođavanje potrebama tržišta.

Industrija 4.0 donosi brojne inovacije u proizvodne sisteme kroz digitalne blizance, veštačku inteligenciju i napredne softverske arhitekture, ali njihova upotreba i prilagođavanje specifičnim industrijskim potrebama i dalje predstavljaju izazov. Iako automatizacija povećava efikasnost i u nekim slučajevima smanjuje fizički posao zaposlenih u mašinskoj industriji, najbitnije je obezbediti ravnotežu između savremenih informacionih tehnologija i ekonomskog faktora.

Analiza različitih istraživačkih pristupa omogućava razumevanje svih promena i doprinosi boljoj upotrebi Industrije 4.0 u savremenim proizvodnim procesima. Pregled literature pokazuje različite pristupe digitalizaciji, automatizaciji i primeni veštačke inteligencije u proizvodnim procesima, ali je važno analizirati koliko su ovi koncepti primenljivi u konkretnim industrijskim okruženjima. U tom kontekstu, važno je istražiti kako se principi Industrije 4.0 mogu iskoristiti u unapređenju proizvodnje klima komora, s osvrtnom na automatizaciju proizvodnog procesa, integraciju digitalnih rešenja i smanjenje manuelnih radnji.

Dalje istraživanje će biti usmereno na poboljšanje postojećeg softverskog rešenja u kompaniji Termovent, analizirajući kako implementacija naprednih algoritama, optimizacija korisničkog interfejsa i potencijalna integracija sa ERP sistemima mogu dodatno unaprediti proizvodni proces. Poseban akcenat biće stavljen na evaluaciju efikasnosti trenutnih modula aplikacije, identifikaciju glavnih izazova i predlog novih funkcionalnosti koje bi omogućile veću automatizaciju i smanjenje

grešaka koje nastaju manuelnim radom. Takođe, razmatraće se mogućnosti primene veštačke inteligencije u analizi podataka kako bi se poboljšala prediktivna analiza i unapredilo donošenje odluka u proizvodnom procesu.

5. ANALIZA APLIKACIJE ZA UNAPREĐENJE PROIZVODNJE KLIMA KOMORA

Aplikacija za unapređenje proizvodnje klima komora se trenutno koristi u kompaniji Termovent u proizvodnom pogonu u Kladovu za automatizaciju određenih procesa u proizvodnji u oblasti mašinstva. Omogućava upravljanje dokumentacijom, optimizacije sečenje materijala (metalnih profila), evidentiranje i praćenje profila u kolicima pomoću barkod skenera, kao i pregled trenutnog stanja u procesu proizvodnje. Korisnici aplikacije su operateri u proizvodnji, koji kroz interfejs mogu unositi podatke, vršiti selekciju i kreirati *CSV* fajlove za dalju obradu na *V-cut* mašini. Trenutni način korišćenja aplikacije zahteva određene ručne radnje, kao što su učitavanje fajlova, ručna selekcija podataka i potvrđivanje akcija.

5.1. Prednosti i nedostaci aplikacije

Aplikacija razvijena za unapređenje proizvodnog procesa u kompaniji Termovent donosi brojne prednosti koje direktno utiču na efikasnost, tačnost i brzinu rada. Međutim, kao i svaka tehnološka inovacija, i ova aplikacija ima određene nedostatke koji se mogu poboljšati u budućim verzijama.

5.1.1. Prednosti aplikacije

Jedna od najvažnijih prednosti aplikacije je smanjenje ručnog unosa podataka, čime se smanjuje mogućnost nastanka greške od strane korisnika aplikacije. Greške koje nastaju ručnim unosom podataka su česte i neizbežne u industrijskom okruženju, ali automatizacijom ih je moguće svesti na minimum. Korišćenjem funkcionalnosti *IDcut to Vcut*, proces sečenja materijala je automatizovan kroz generisanje *CSV* fajlova koji se koriste u *V-cut* mašini. Kreiranje *CSV* fajla je ranije bio ručni posao, gde je operater na mašini celu optimizaciju morao da kreira ručnim unosom podataka u *CSV* fajl, pa su greške bile neizbežne, a za unos podataka cele optimizacije je bilo potrebno dosta vremena. Time se ne samo smanjuje vreme obrade podataka već se i povećava tačnost optimizacije materijala i smanjuje mogućnost greške prilikom ručnog unosa podataka.

Dalja prednost aplikacije je bolja organizacija proizvodnog procesa kroz modul *Profili kolica*, koji omogućava smeštanje profila u kolica za transport po redosledu sklapanja elemenata konstrukcije. Pre implementacije ove aplikacije u proizvodni pogon, profili su se nakon sečenja smeštali na kolica za transport po redosledu sečenja profila i svi profili na kolicima su bili izmešani. Radnik koji sklapa konstrukciju je prvo morao svaki profil konstrukcije da detektuje kojem elementu klima komore pripada, da bi mogao da sklopi konstrukciju, pa tek nakon toga da sklopi konstrukciju. Uvođenjem ove funkcionalnosti smeštanje profila na kolica je po pripadnosti konstruk-

ciji, a prednost je ušteda vremena i bolja organizacija rada. Za veće klima komore, konstrukcije koje se sklapaju su veće, pa je pre uvođenja ovog sistema i vreme pronalaženja profila bilo duže. Za veće klima komore, za pronalaženje profila elementa jedan od radnika je morao da bude delegiran da radi samo taj deo posla. Uvođenjem ovog modula i barkod skenera eliminisana je potreba za ručnom pretragaom profila, a kao rezultat ovog modula se povećava brzina sklapanja konstrukcije klima komore, a posledično i cele komore.

Modul *Pregled kolica* omogućava lakši uvid u status konstrukcije (tj. da li je konstrukcija sastavljena ili ne) i koji profili su u svakom trenutku na kolicima, čime se olakšava uvid u planiranje proizvodnje, lakša pretraga profila i smanjuju zastoje u proizvodnji. Korišćenje ovog modula omogućava operaterima u proizvodnji i menadžmentu da brzo identifikuju eventualne probleme u proizvodnji.

Još jedna ključna prednost je povezivanje profila sa tehničkom dokumentacijom u digitalnom formatu. Pre uvođenja ovog modula u proizvodnju, operateri zaduženi za sklapanje konstrukcije su tehničku dokumentaciju dobijali na papiru A4 formata. Operateri za sklapanje konstrukcije klima komore su svaki profil koji uzmu sa kolica morali da identifikuju koji je to element konstrukcije na osnovu tehničke dokumentacije. Cela ta pretraga dokumentacije u papiru i povezivanje profila sa tačnim elementom konstrukcije je oduzimalo mnogo vremena. Nakon uvođenja ovog modula, posao operatera na sklapanju konstrukcije klima komore je dosta automatizovan, pa samim tim i olakšan. Operater sada kada uzme profil sa kolica pomoću barkod skenera očitava barkod i na ekranu računara dobija tehničku dokumentaciju sa naznakom koji je to element konstrukcije. Kada se na ovaj modul doda modul *Profil kolica*, uštede u vremenu i brzina sklapanja je glavna prednost ovih modula, kao i preciznost u izvođenju radnih operacija. Najveća prednost ovog modula je smanjuje mogućnost grešaka pri montaži i povećava efikasnost rada.

5.1.2. Nedostaci aplikacije

Iako aplikacija donosi brojne prednosti, postoje i određeni nedostaci koji se mogu dalje unaprediti. Jedan od uočenih problema je kašnjenje pri učitavanju velikih optimizacija u modulu *IDcut to Vcut*, što može usporiti proces proizvodnje. Veličina optimizacije zavisi od veličine klima komore, tj. za velike klima komore, velike su i optimizacije koje treba da se učitaju u modul *IDcut to Vcut*.

Takođe, uočeno je da modul *Profili kolica* zahteva veću fleksibilnost u skeniranju barkodova. U slučajevima kada barkodovi nisu jasno vidljivi ili su oštećeni, može doći do problema u prepoznavanju profila, što potencijalno može izazvati zastoje u proizvodnji. Pored ovoga, potrebno je automatizovati proces smeštanja profila na pozicije u kolicima uvođenjem funkcionalnosti proračuna pozicije u kolicima i broja kolica odmah nakon obrade optimizacije u modulu *IDcut to Vcut*, jer svako odlučivanje operatera o poziciji u kolicima predstavlja radnju koja može dovesti do greške koja uzrokuje gubitak vremena i zastoja u proizvodnji.

5.2. Mogućnosti za poboljšanje i dalja istraživanja

Kako bi se poboljšala efikasnost aplikacije i smanjili uočeni nedostaci, moguće je implementirati niz unapređenja koja bi dodatno automatizovale rad i olakšale proizvodni proces.

5.2.1. Automatizacija procesa učitavanja i obrade fajlova

Jedno od glavnih unapređenja odnosi se na optimizaciju učitavanja i obrade velikih fajlova u modulu *IDcut to Vcut*. Primena naprednijih algoritama za analizu podataka može značajno smanjiti vreme čekanja, čime bi se povećala produktivnost proizvodnog procesa.

5.2.2. Automatizacija procesa smeštanja profila na kolica

Ovo unapređenje bi doprinelo boljoj efikasnosti proizvodnje i smanjenju grešaka prilikom smeštanja profila klima komore u kolica za transport. Na osnovu proračuna optimizacije i formiranja *CSV* fajla, potrebno je razviti algoritam koji bi proračunom tačan broj kolica koji je potreban za smeštanje profila klima komore iz optimizacije u kolica. Takođe, algoritam bi trebao da napravi i tačnu poziciju na koju profil u kolica treba da se smesti. Ova funkcionalnost omogućila bi da operater odmah nakon sečenja profila na *V-cut* mašini skeniranjem barkoda svakog profila unapred znala njegovu poziciju u kolicima. Nastanka greške uvođenjem ove funkcionalnost bi se svela na minimum, jer operater ne bi morao da pravi svoju logiku smeštanja profila na kolica.

5.2.3. Poboljšanje korisničkog interfejsa

Kako bi aplikacija bila još intuitivnija za korisnike, potrebno je unaprediti korisnički interfejs. Poboljšanja u vizuelnoj organizaciji i navigaciji kroz module mogu doprineti bržem usvajanju aplikacije od strane zaposlenih, kao i smanjenju vremena potrebnog za obuku novih operatera.

5.2.4. Integracija sa ERP sistemima

Povezivanje aplikacije sa postojećim ERP sistemima omogućilo bi automatsko ažuriranje podataka o materijalima, narudžbinama i proizvodnim kapacitetima. Ova integracija bi omogućila preciznije upravljanje resursima i poboljšala planiranje proizvodnje.

5.2.5. Primena AI algoritama za analizu podataka

Uvođenje veštačke inteligencije u analizu proizvodnih podataka može doprineti predikciji potencijalnih problema, kao što su kašnjenja u isporuci materijala ili nepravilnosti u optimizaciji sečenja. Ova vrsta analitike može pomoći u donošenju pravovremenih odluka koje smanjuju otpad materijala i poboljšavaju efikasnost.

5.3. Doprinosi celokupnom proizvodnom procesu

Razvoj i implementacija ove aplikacije od izuzetnog su značaja u proizvodnom procesu, a pogodnosti su smanjenje grešaka, bolja organizacija rada, ušteda vremena i povećanje efika-

snosti. Ipak, uočeni su i određeni nedostaci, posebno u vezi sa brzinom obrade podataka i fleksibilnošću modula *Profili kolica*.

Dalja istraživanja i unapređenja aplikacije mogu značajno poboljšati njenu funkcionalnost. Automatizacija procesa učitavanja podataka, automatizacija procesa smeštanja profila na kolica, poboljšanje korisničkog interfejsa, integracija sa ERP sistemima i upotreba veštačke inteligencije predstavljaju pravce razvoja koji bi mogli dodatno optimizovati rad i unaprediti celokupan proizvodni proces.

Ova analiza pokazuje da je aplikacija već sada glavni alat u procesu proizvodnje, ali da postoje brojne mogućnosti za dalji razvoj, koje bi mogle doprineti još većoj efikasnosti i produktivnosti u industrijskom okruženju.

6. ZAKLJUČAK

Analizom aplikacije za unapređenje proizvodnje klima komora u kompaniji Termovent pokazalo se koje su sve prednosti u okviru Industrije 4.0. Automatizacija glavnih procesa, poput optimizacije sečenja profila, digitalizacija dokumentacije i organizacija skladištenja profila na kolica za transport, donela je brojne prednosti koje se ogledaju u povećanju efikasnosti proizvodnje, optimizaciji vremena, smanjenju grešaka i otpada i organizaciji proizvodnog procesa, a takođe, bitana prednost je ekonomska ušteda i zaštita životne sredine. Ekološki aspekt poslovanja se jača smanjenjem potrošnje papira i optimizacijom upotrebe materijala (metalnih profila). Integracija softverskih i hardverskih rešenja omogućila je unapređenje svih faza proizvodnje, čime je poboljšan kvalitet konačnog proizvoda, ušteda vremena i smanjenje troškova.

Iako aplikacija donosi brojne prednosti, uočeni su i određeni nedostaci, poput kašnjenja u učitavanju velikih optimizacija i izazova u skeniranju barkodova. Ovi izazovi naizgled ne predstavljaju veliki nedostatak aplikacije, ali unapređenjem softverskih algoritama, automatizacijom procesa raspodele profila i poboljšanjem korisničkog interfejsa, mogu učiniti proizvodni proces još efikasnijim.

Budući pravci istraživanja mogu uključivati integraciju sa ERP sistemima radi preciznijeg planiranja proizvodnje, kao i primenu veštačke inteligencije za analizu podataka i predikciju potencijalnih problema. Dalji razvoj aplikacije može dodatno optimizovati proizvodne procese, povećati konkurentnost kompanije i doprineti unapređenju industrije kroz pametna digitalna rešenja.

LITERATURA

- [1] Novaković, B., Đurđev, M., Radovanović, L., & Speight, J. G. (2018). Optimization of manufacturing processes using modern automated CNC milling machines. *Applied Engineering Letters*, 3(4), 124–128. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.4.2>
- [2] Sekulić, M., Milošević, M., Aleksić, A., Borojević, S., & Sredanović, B. (2023). Obrazovanje inženjera proizvodnog mašinstva za industriju 4.0 – Izazovi, šanse, mogućnosti. *XXIX Skup TREND-OVI RAZVOJA: UNIVERZITET PRED NOVIM IZAZOVIMA*, 222–225. Vrnjačka Banja, Srbija. (Pristupljeno 7. 2. 2025. http://www.trend.uns.ac.rs/stskup/trend_2023/radovi/T2.3/T2.3-4.pdf)

- [3] Bajić, B., Rikalović, A., & Morača, S. (2019). Izazovi analize velikih podataka u industriji 4.0. *XII Skup privrednika i naučnika SPIN '19: LIN transformacija i digitalizacija privrede Srbije*, 20-27. Beograd, Srbija. (Pristupljeno 7. 2. 2025. https://www.researchgate.net/profile/Bojana-Bajic/publication/337858807_CHALLENGES_OF_BIG_DATA_ANALYTICS_IN_INDUSTRY_40/links/5def84f892851c8364708be3/CHALLENGES-OF-BIG-DATA-ANALYTICS-IN-INDUSTRY-40.pdf)
- [4] Tadić, D. M., Maljugin, B. M., Stanisavljev, S. M., & Kavalić, M. V. (2022). Izazovi upravljanja podacima u Industriji 4.0. *TEHNIKA – MENADŽMENT* 72. DOI: [10.5937/tehnika2202241T](https://doi.org/10.5937/tehnika2202241T)
- [5] Novaković, B., Đurđević, M., & Radovanović, L. (2019). Uticaj savremenih metoda pripreme proizvodnje na optimizaciju proizvodnih procesa. *Preduzetništvo, inženjerstvo i menadžment PIM8*. (Pristupljeno 7. 2. 2025. <https://www.researchgate.net/publication/332564952>)
- [6] Pantić, M., Đurić, M., & Ruso, J. (2023). Poboljšavanje kvaliteta zasnovano na optimizaciji i automatizaciji poslovnih procesa. 36. Međunarodni Kongres o Procesnoj Industriji, pp. 355-369. <https://doi.org/10.24094/ptk.023.355>
- [7] Khan, H. U., Ali, F., & Nazir, S. (2022). Systematic analysis of software development in cloud computing perceptions. *Journal of Software: Evolution and Process*, 36(2), e2485. <https://doi.org/10.1002/smr.2485>
- [8] Klima komora. (2024). Termovent. Preuzeto sa: <https://termovent.com/klima-komora/> (Pristupljeno: 17. 12. 2024.)
- [9] POS barkod skener (2024). Sampro. Preuzeto sa: <https://pos.sampro.rs/voyager-1250g> (Pristupljeno: 17.12. 2024.)
- [10] V-cut mašina (2025). Starlight. Preuzeto sa: <https://starlightcorp.co/en/saws-and-machining-centers-page/> (Pristupljeno: 4. 2. 2025.)
- [11] Guerra-Zubiaga, D., Kuts, V., Mahmood, K., Bondar, A., Nasajpour-Esfahani, N., & Otto, T. (2021). An approach to develop a digital twin for industry 4.0 systems: manufacturing automation case studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(9), 933-949. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1946857>
- [12] Dudukalov, E. V., Munster, V. D., Zolkin, A. L., Losev, A. N., & Knishov, A. V. (2021). The use of artificial intelligence and information technology for measurements in mechanical engineering and in process automation systems in Industry 4.0. *Journal of Physics: Conference Series*, 1889(5), 052011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/5/052011>
- [13] Margherita, E. G., & Braccini, A. M. (2021). Managing industry 4.0 automation for fair ethical business development: A single case study. *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 121048. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121048>
- [14] Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N., & Vlachou, E. (2019). Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: a robotics case study. *International Journal of Production Research*, 57(3), 868-886. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1571686>
- [15] Neumann, E.-M., Vogel-Heuser, B., Fischer, J., Diehm, S., Schwarz, M., & Englert, T. (2022). Automation software architectures in automated production systems: An industrial case study in the packaging machine industry. *Production Engineering*, 16, 847-856. <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01133-y>
- [16] Vogel-Heuser, B., Fay, A., Schaefer, I., & Tichy, M. (2015). Evolution of software in automated production systems: Challenges and research directions. *Journal of Systems and Software*, 110, 54-84. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.08.026>
- [17] Vogel-Heuser, B., Fischer, J., Feldmann, S., Ulewicz, S., & Rösch, S. (2017). Modularity and architecture of PLC-based software for automated production Systems: An analysis in industrial companies. *Journal of Systems and Software*, 131, 35-62. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.05.051>
- [18] Bassi, L., Secchi, C., Bonfe, M., & Fantuzzi, C. (2010). A SysML-based methodology for manufacturing machinery modeling and design. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 16(6), 1049-1062. DOI: [10.1109/TMECH.2010.2073480](https://doi.org/10.1109/TMECH.2010.2073480)
- [19] Fantuzzi, C., Bonfe, M., & Secchi, C. (2009). A design pattern for model based software development for automatic machinery. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(4), 1429-1434. <https://doi.org/10.3182/20090603-3-RU-2001.0467>
- [20] Feldmann, S., Legat, C., & Vogel-Heuser, B. (2015). Engineering support in the machine manufacturing domain through interdisciplinary product lines: An applicability analysis. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.083>



Nikola Bošković, Akademija strukovnih studija Beograd

Kontakt: nikola.boskovic@assb.edu.rs

Oblasti interesovanja: softversko inženjerstvo, veštačka inteligencija, veštačka inteligencija u obrazovanju, biomedicina

info m

UPUTSTVO ZA PRIPREMU RADA

1. Tekst pripremiti kao Word dokument, A4, u kodnom rasporedu 1250 latinica ili 1251 ćirilica, na srpskom jeziku, bez slika. Preporučeni obim – oko 10 strana, single prored, font 11.
2. Naslov, abstrakt (100-250 reči) i ključne reči (3-10) dati na srpskom i engleskom jeziku.
3. Jedino formatiranje teksta je normal, bold, italic i bolditalic, VELIKA i mala slova (tekst se naknadno prelama).
4. Mesta gde treba ubaciti slike, naglasiti u tekstu (Slika1...)
5. Slike pripremiti odvojeno, VAN teksta, imenovati ih kao u tekstu, radi identifikacije, u sledećim formatima: rasterske slike: jpg, tif, psd, u rezoluciji 300 dpi 1:1 (fotografije, ekranski prikazi i sl.), vektorske slike – cdr, ai, fh,eps (šeme i grafikoni).
6. Autor(i) treba da obavezno priloži svoju fotografiju (jpg oko 50 Kb), navede instituciju u kojoj radi, kontakt i 2-4 oblasti kojima se bavi.
7. Maksimalni broj autora po jednom radu je 5.

Redakcija časopisa Info M