

# Tehnologije Industry 4.0 u stomatologiji

Nataša Popović

Univerzitet u Istočnom Sarajevu,  
Elektrotehnički fakultet  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
natas.popovic@etf.ues.rs.ba

Irena Mladenović

Univerzitet u Istočnom Sarajevu,  
Medicinski fakultet  
Foča, Bosna i Hercegovina  
irena.mladenovic@ues.rs.ba

**Sažetak**— Uprkos visokom stepenu tehnološkog razvoja, bolesti zuba i usne šupljine su najzastupljenija oboljenja na globalnom nivou, sa skoro 3,5 milijarde oboljelih. Ova činjenica podstakla je istraživanje tehnologija *Industry 4.0* koje se najefikasnije mogu iskoristiti u stomatologiji pri rješavanju problema vezanih za oralno zdravlje, a koje su identifikovane i prikazane u ovom radu. U radu su razmatrane osnove koncepta *Industry 4.0* i ukratko su opisane osnovne karakteristike koncepta *Society 5.0* i *Industry 5.0*. Identifikovane su oblasti stomatologije u kojima se nove tehnologije mogu koristiti ili bi se mogle koristiti u budućnosti. Nove tehnologije su nastale kao rezultat napretka u oblasti digitalizacije i informaciono-komunikacionih tehnologija, a u stomatologiji za cilj imaju stvaranje kućnog, ambulantnog i kliničkog okruženja koje će biti prijatno za pacijenta, dok stomatolozima omogućavaju jednostavnije uspostavljanje dijagnoze, rano otkrivanje bolesti, komunikaciju sa pacijentom u realnom vremenu i slično.

**Ključne riječi**— *Industry 4.0; stomatologija; Internet of Dental Things; Dentistry 4.0*

## I. UVOD

Ljudsko društvo je kroz svoju istoriju prolazilo kroz brojne transformacije koje su bile inicirane prevashodno tehničkim, a zatim i naučnim pronalascima i izumima. Svaka transformacija je čovjeku omogućavala jednostavniji način života i brži ekonomski razvoj. Tako i danas, cilj savremenog društva je da se stvori životno i radno okruženje koje će ljudima omogućiti što lakši i kvalitetniji život uz pomoć tehničkih i tehnoloških dostignuća koja se neprestano usavršavaju i inoviraju. Današnja dostignuća su obilježja takozvane četvrte industrijske revolucije, poznate pod nazivom *Industry 4.0* [1], a brojne ideje ove revolucije će biti realizovane tek u sljedećem konceptu - *Industry 5.0* [2], o kome se već dosta raspravlja. Iako nove tehnologije imaju najviše uticaja na unapređenje industrijske proizvodnje, one su danas postale sastavni dio svih sfera ljudskog djelovanja, od svakodnevnih aktivnosti vezanih za razonodu i slobodno vrijeme do aktivnosti vezanih za obavljanje različitih poslova u proizvodnim i neproizvodnim djelatnostima. Najviše je prisutna upotreba Interneta stvari, gdje se koriste različite vrste senzora, računarstvo u oblaku i analiza velike količine podataka, zatim različite tehnike vještačke inteligencije, aditivna proizvodnja i slično.

Društvene promjene kroz koje prolazi savremeno društvo inicirane su globalizacijom i brzom evolucijom digitalnih tehnologija. Svijet u kome ljudi danas žive je pun izazova i neizvjesnosti na svakom nivou, pa je od velike važnosti da se

iskoriste mogućnosti informaciono-komunikacionih tehnologija kako bi se stekla nova znanja i stvorile nove vrijednosti uspostavljanjem veza između ljudi i stvari (objekata) kao i između stvarnog i sajber svijeta. Digitalno društvo stvara nove paradigme ne samo u oblasti industrije, nego i u obrazovanju, uslužnim djelatnostima, medicini, poljoprivredi, saobraćaju, itd.

Za kvalitetan život ljudi veoma je važno da se digitalne i informaciono-komunikacione tehnologije implementiraju u zdravstveni sektor, na primarnom, sekundarnom i tercijarnom nivou. Ovo se odnosi i na stomatologiju koja je uvijek pratila tehnološka dostignuća i primjenjivala ih u svojoj praksi. Od praistorijskog do savremenog doba bolesti zuba i usne šupljine su tretirane dostupnim alatima i materijalima [3]. Prvu veliku ekspanziju stomatologija je doživjela u doba prve industrijske revolucije, da bi sa svakom narednom ona rapidno nastavljala svoj razvoj. Tako je, na primjer, druga industrijska revolucija doprinijela razvoju stomatologije konstrukcijom različitih vrsta nasadnih instrumenata i upotrebom rendgenskih zraka za snimanje zuba, u doba treće industrijske revolucije upotrijebljene su digitalne tehnologije što je uticalo na nastanak digitalne stomatologije, a pod uticajem četvrte industrijske revolucije stvaraju se uslovi za punu implementaciju naprednih i pametnih informaciono-komunikacionih tehnologija i ostvarenje koncepta *Internet of Dental Things* [4], *Smart Dentistry* [5] i *Dentistry 4.0* [6]. Činjenica da su danas bolesti zuba i usne šupljine najrasprostranjenije među stanovništvom na globalnom nivou podstakla je ovo istraživanje sa ciljem utvrđivanja koje se tehnologije *Industry 4.0* najefikasnije mogu iskoristiti pri rješavanju stomatoloških problema. Osim toga, ciljevi ovog rada jesu i da se prikažu oblasti stomatologije u kojima identifikovane tehnologije mogu poboljšati stomatološku praksu, kao i da se pruže nove informacije prije svega stomatolozima a zatim i ostalima kojima mogu biti od interesa.

Rad je organizovan na sljedeći način. U drugom poglavlju razmatrana su osnovna obilježja koncepta *Industry 4.0*, sa osvrtom na koncepte *Society 5.0* i *Industry 5.0*. U trećem poglavlju prikazan je uticaj nekih tehnologija koncepta *Industry 4.0* na trenutni i budući razvoj stomatologije. Na kraju su dati zaključci rada.

## II. INDUSTRY 4.0

Koncept *Industry 4.0* je prvi put predstavljen na Hanoverskom sajmu 2011. godine sa ciljem da se predoči nova strateška inicijativa njemačke vlade i sa zadatkom da se stvore novi industrijski proizvodni sistemi koji će biti bazirani na savremenim informaciono-komunikacionim tehnologijama [1]. Ovaj koncept i američki koncept industrijskog Interneta stvari iz 2012. godine inicirali su pojavu

drugih sličnih koncepata. Tako je u Francuskoj nastao koncept *Industrie du futur*, u Kini *Made in China 2025* [7], a u Japanu *Society 5.0* [8]. Danas u svijetu postoji ogroman broj koncepata iz različitih oblasti koji u svom nazivu imaju odrednicu 4.0, kao što su: *Economy 4.0*, *Education 4.0*, *Healthcare 4.0*, *Medicine 4.0*, *Dentistry 4.0* i mnogi drugi, da bi njome ukazali na to da su nastali pod uticajem *Industry 4.0*.

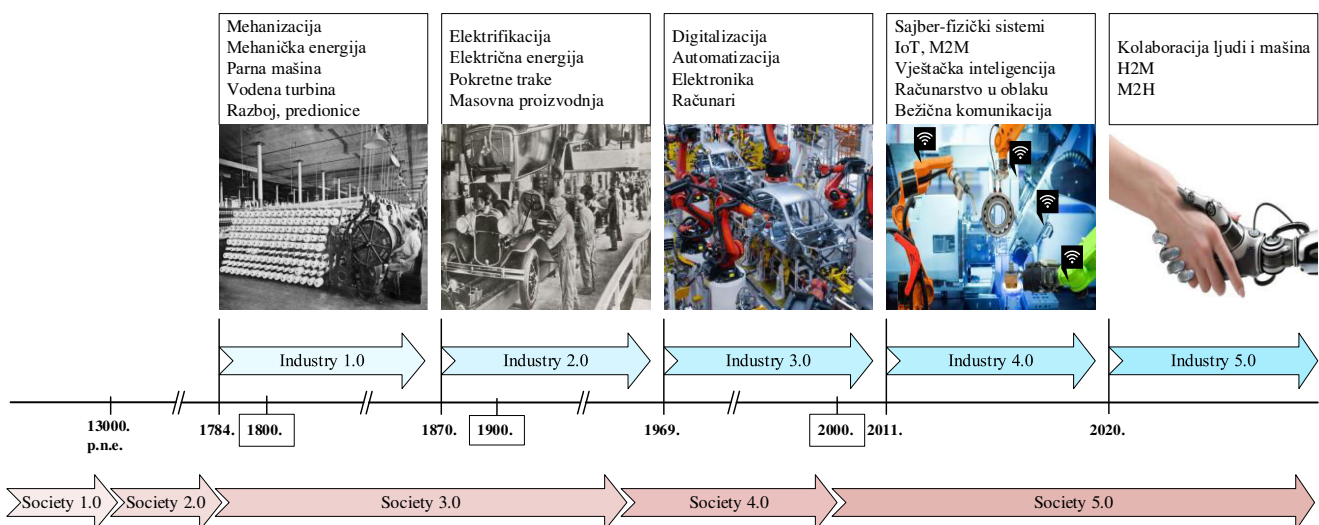
*Industry 4.0* se poistovjećuje sa četvrtom industrijskom revolucijom koja je inicirana upravo razvojem informaciono-komunikacionih tehnologija. Prva industrijska revolucija je sa tehnološkog aspekta inicirana mehanizacijom i upotrebom mehaničke energije u proizvodnim sistemima čime je manuelni rad zamijenjen radom mašina. Druga industrijska revolucija je nastala korišćenjem električne energije u industrijskoj proizvodnji što je omogućilo masovnu proizvodnju. Treća industrijska revolucija je okarakterisana digitalizacijom i automatizacijom proizvodnih procesa što je omogućilo fleksibilnu proizvodnju. U osnovi četvrte industrijske revolucije nalaze se sajber-fizički sistemi sa decentralizovanim upravljanjem i naprednim tehnikama povezivanja velikog broja uređaja koje je omogućila pojava Interneta stvari, što za posljedicu ima transformaciju klasične hijerarhijske strukture industrijskih proizvodnih sistema u samokonfigurirajuće sajber-fizičke proizvodne sisteme čime se stvara fleksibilna i prilagodljiva masovna proizvodnja. Ovo podrazumijeva da mašine treba da rade nezavisno od ljudi, da su sposobne da same prikupljaju podatke, analiziraju ih i same donose odluke na osnovu kojih preduzimaju odgovarajuće akcije. Komunikacija između mašina je zasnovana na principu M2M (*Machine-to-Machine*) i podrazumijeva upotrebu bežičnih mreža.

Osnovne ideje koncepta *Industry 4.0* su da se u industriji iskoriste globalna dostupnost Interneta i upotreba Interneta stvari, da se integrišu tehnički i poslovni procesi, da se izvrši digitalno mapiranje i virtuelizacija realnog svijeta, te da se izgrade pametne fabrike koje objedinjuju pametnu proizvodnju i pametne proizvode [7]. Najznačajnije prednosti koncepta *Industry 4.0* su: smanjeni troškovi proizvodnje, logistike i upravljanja kvalitetom, skraćeno vrijeme od trenutka nastanka proizvoda do njegovog stizanja u prodavnicu, adekvatnije dobijanje povratnih informacija od

potrošača, mogućnost prilagodljive masovne proizvodnje bez povećanja troškova, fleksibilnija i radnicima prilagođenija radna sredina, efikasnija upotreba prirodnih resursa i energije.

U vezi sa ovim, interesantan je koncept *Society 5.0* koji se smatra naprednijim konceptom od koncepta *Industry 4.0* jer nije fokusiran samo na industrijsku proizvodnju nego na čovjeka. Ovaj koncept predstavlja peti stadijum u razvoju ljudskog društva. *Society 1.0* se odnosi na grupe ljudi lovaca i sakupljača resursa koji žive u harmoničnom skladu sa prirodom. *Society 2.0* je agrarno društvo zasnovano na razvoju poljoprivrede, organizaciji rada i formiranju nacija. *Society 3.0* je industrijsko društvo koje promovise industrijalizaciju i omogućava masovnu proizvodnju. *Society 4.0* je informaciono društvo koje ostvaruje dodatnu vrijednost povezivanjem nematerijalnih dobara, odnosno informacija. *Society 5.0* predstavlja super pametno društvo nastalo na informacionom društvu sa ciljem stvaranja prosperitetnog društva u čijem centru je čovjek [8]. Ključ za njegovu realizaciju je potpuna integracija fizičkog i sajber prostora, odnosno realnog svijeta i informacija, čime bi se stvarale nove vrijednosti i rješavali različiti problemi.

Kako se koncept *Society 5.0* može efikasno primijeniti ne samo u Japanu nego širom svijeta, a vremenski prednjači konceptu *Industry 4.0*, trenutno se razvija strategija za inicijalizaciju pete industrijske revolucije (*Industry 5.0*) [2],[9]. Osim toga, svaka nova industrijska revolucija sve više i više potiskuje ljude iz proizvodnih i drugih procesa, tako da su pitanja etičnosti, vezana prije svega za ukidanje određenih radnih mjesta što vodi većoj nezaposlenosti u savremenoj industriji i ostalim oblastima primjene novih tehnoloških postignuća, veoma izražena. Ovo je još jedan od razloga najave pete industrijske revolucija koja bi trebalo da počiva na potpunoj kolaboraciji ljudi i mašina [10]. Ljudi i inteligentne mašine treba da rade zajedno sa ciljem povećanja efikasnosti industrijske proizvodnje. Inteligentne mašine su prvenstveno roboti, industrijski i uslužni, odnosno kolaborativni roboti (koboti). Kolaboracija ljudi i mašina će biti moguća razvojem naprednih metoda vještačke inteligencije i kognitivnog računarstva, jer će na taj način mašine moći da se ponašaju, razmišljaju i donose odluke samostalno, onako kako to rade ljudi. Za *Industry 5.0* veoma je važno postojanje i digitalnih blizanaca, tako da će modelovanje, simulacija i vizuelizacija



Slika 1. Osnovne karakteristike industrijskih revolucija i razvoj društva

proizvoda i procesa doprinijeti njihovom boljem razumijevanju i testiranju. Može se uočiti da se u fokusu pete industrijske revolucije stavlja čovjek, a od mašina se očekuje ne da u potpunosti zamijene ljude u obavljanju raznih poslova nego da pomognu ljudima da oni efikasnije rade, da lakše i bolje žive. Zbog toga je komunikacija zasnovana na principu M2H (*Machine-to-Human*) i H2M (*Human-to-Machine*). Sličnost koncepta *Industry 5.0* sa konceptom *Society 5.0* je ovdje više nego očigledna. Na Sl. 1 prikazana je evolucija industrijskih revolucija u odnosu na razvoj društva.

### III. TEHNOLOGIJE INDUSTRY 4.0 I STOMATOLOGIJA

Iako se koncept *Industry 4.0* prvi put predstavio 2011. godine, u literaturi se kao tvorac pojma četvrta industrijska revolucija navodi profesor Klaus Švab, osnivač Svjetskog ekonomskog foruma. On u [11] navodi da je ova revolucija mnogo više od koncepta predstavljenog na sajmu u Hanoveru koji u prvi plan stavlja pametne i međusobno povezane mašine i sisteme, te da će ona imati uticaj na mnoge druge oblasti kao što su sekvenciranje gena, nanotehnologija, obnovljivi izvori energije, kvantno računarstvo i slično, i da će zapravo spajanje ovih tehnologija i njihova interakcija u fizičkom, digitalnom i biološkom domenu učiniti da se četvrta industrijska revolucija razlikuje od svih prethodnih. Kao ključne tehnologije za implementaciju koncepta *Industry 4.0* navode se vještačka inteligencija, robotika, internet stvari, decentralizovani sistemi, računarstvo u oblaku, analiza velike količine podataka, blokčejn, 3D štampa, komunikacione mreže pete generacije (5G), kvantni računari, nanotehnologija, biotehnologija i autonomna vozila. Iz ovoga se može zaključiti da četvrta industrijska revolucija nije inicirana novim tehnološkim ili naučnim izumima, već se bazira na dostignućima treće industrijske revolucije i njihovoj tranziciji na nove sisteme koji su razvijeni infrastrukturom digitalne revolucije.

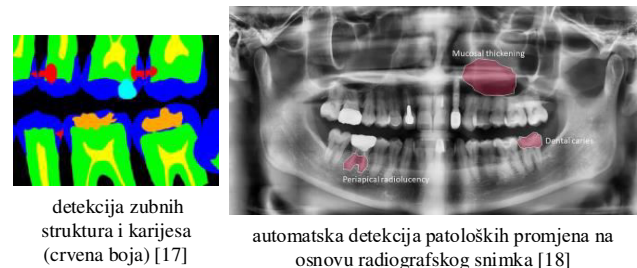
Jedna od pet strateških oblasti koncepta *Society 5.0* je produženje zdravog životnog vijeka čovjeka u kome će se novi zdravstveni sistem realizovati kroz super pametnu medicinsku njegu sa akcentom na zdravstveni menadžment, prevenciju bolesti i obezbjeđivanje uslova da pacijenti mogu sami sebi, uz pomoć vještačke inteligencije, pružati pomoć. U ovu stratešku oblast spada i stomatologija, tako da se u budućnosti očekuje stvaranje super pametnih kliničkih i ambulantnih okruženja u kojima će se pružati raznovrsne usluge a pacijenti se prijatno osjećati, kao i postojanje samostalnih robotizovanih sistema koji će pacijentima pružati adekvatnu pomoć u kućnom ambijentu.

I pored toga što je kvalitet života u modernom dobu na globalnom nivou poboljšan u odnosu na ranija razdoblja, u svijetu i dalje postoji veliki broj ljudi koji imaju neki od problema vezanih za oralno zdravlje. Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) definiše oralno zdravlje kao stanje usta, zuba i orofacijalnih struktura koje omogućava pojedincima da obavljaju osnovne funkcije, kao što su ishrana, disanje i govor, i uključuje psihosocijalnu dimenziju koja se manifestuje kroz samopouzdanje, blagostanje i sposobnost socijalizacije i rada bez bola, nelagodnosti i stida. U izvještaju SZO iz decembra 2022. [12] godine navodi se da skoro 3,5 milijarde ljudi u svijetu pati od neke oralne bolesti. Od toga broja 2,5 milijarde ljudi ima probleme sa karijesom, 1 milijarda ima probleme sa bolestima desni, 350 miliona ljudi ima potpuni gubitak zuba, a 380 hiljada ljudi ima neki oblik oralnog karcinoma. Najveći broj ljudi obuhvaćenih ovom statistikom dolazi iz nerazvijenih i slabo razvijenih zemalja svijeta i pripadaju ugroženim i marginalizovanim grupama stanovništva. Iako su javna i privatna izdvajanja za oralnu

zdravstvenu zaštitu dostigla skoro 390 milijardi američkih dolara na globalnom nivou, ona su nejednako distribuisana među regionima i državama. Ono što *Industry 4.0* nudi za prevazilaženje ovih problema jesu tehnologije koje se mogu infiltrirati u sve grane stomatologije, kao što je to bio slučaj sa uvođenjem računara u doba treće industrijske revolucije kada je nastala digitalna stomatologija. U doba digitalne stomatologije procedure vezane za komunikaciju, vođenje dokumentacije, izradu stomatoloških nadoknada, implantata, modela vilice i zuba i slično se obavljaju pomoću računara i računarskih algoritama, kao i drugih digitalnih uređaja. Digitalne tehnologije su i danas sastavni dio velikog broja kliničkih i laboratorijskih procedura u stomatologiji, a pod uticajem *Industry 4.0* i inovativnih biomaterijala one su postale nosioci novog koncepta poznatog kao *Dentistry 4.0* [13]. Očekuje se da će *Dentistry 4.0* promijeniti kompletnu filozofiju dentalne njege nadgledanjem pacijenata daljinskim putem, stvaranjem novih metoda liječenja, smanjivanjem troškova liječenja, itd. Od ključnih tehnologija *Industry 4.0*, u stomatologiji danas je najuočljivija primjena vještačke inteligencije, Interneta stvari (sa računarstvom u oblaku i senzorima), robotike (sa 3D štampom, mikrorobotima i nanorobotima) i analize velike količine podataka.

#### A. Vještačka inteligencija u stomatologiji

Vještačka inteligencija omogućava mašinama da se ponašaju slično ljudima, da samostalno donose odluke, prepoznaju okruženje i same obavljaju radne zadatke. Bazira se na upotrebi neuronskih mreža i različitih tehnika mašinskog učenja. Primjena vještačke inteligencije u stomatologiji ima ogroman potencijal. U dentalnoj radiologiji ona se primjenjuje u kompjuterizovanoj tomografiji konusnog zraka (CBCT - *Cone-Beam Computed Tomography*) koja omogućava detekciju specifičnih cefalometrijskih repera, te normalnih anatomskih struktura, prisutnih nadoknada i različitih patoloških promjena u tvrdim i mekim tkivima orofacijalne regije [14],[18]. U restaurativnoj stomatologiji vještačka inteligencija se koristi za detekciju prisustva zubnog karijesa i to primjenom različitih vrsta neuronskih mreža [17]. Metode mašinskog učenja se uspješno koriste za predikciju pojave karijesa korijena zuba u okviru opšte populacije na osnovu različitih parametara (demografskih, socijalnih, zdravstvenih) [16], a metoda SVM (*Support Vector Machine*) se pokazala veoma efikasnom pri procjeni nivoa složenosti tretmana kanala korijena [15]. U endodontskoj dijagnostici, vještačka inteligencija se sa visokom pouzdanošću koristi za otkrivanje periapikalne patologije korišćenjem dubokih konvolucionih neuronskih mreža [15]. U protetici, u kombinaciji sa CAD/CAM tehnologijom, vještačka inteligencija se koristi za precizno konstruisanje zubnih nadoknada koje imaju veoma složene geometrijske oblike [14]. U ortodontiji ona se koristi u dijagnostici i praćenju tretmana, te izradi individualnih planova liječenja koji su



detekcija zubnih struktura i karijesa (crvena boja) [17]

automatska detekcija patoloških promjena na osnovu radiografskog snimka [18]

Slika 2. Vještačka inteligencija u stomatologiji



prilagođeni svakom pacijentu posebno. Takođe, pomoću vještačke inteligencije kreira se algoritam koji može da predvidi buduće pomjeranje zuba i odredi pritisak koji treba primijeniti na zube da bi se oni pomjerali na odgovarajući način, na osnovu koga se, uz pomoć preciznog trodimenzionalnog skeniranja vilice i izrade modela, proizvode providni alajneri [16]. U implantologiji se vještačka inteligencija koristi za izradu specijalizovanih softvera koji imaju zadatak da na osnovu podataka dobijenih iz CBCT snimaka odrede debljinu, visinu i gustinu kosti i na taj način olakšaju stomatologu donošenje odluke o vrsti implanta i tehnici kojom će se on ugraditi u pacijentovu vilicu [14]. Dijagnoza poremećaja temporomandibularnog zgloba može da se precizno postavi ukoliko se primijeni vještačka inteligencija na velike količine podataka dobijene kombinacijom CBCT snimaka kondila, bioloških markera (npr. iz pljuvačke) i različitih kliničkih indikatora (bol u mišićima lica, obim kretnji donje vilice, glavobolja i sl.) [16]. U ovom slučaju se neuronske mreže koriste ne samo za dijagnostiku poremećaja temporomandibularnog zgloba, nego i za prepoznavanje i klasifikaciju sličnih kliničkih stanja. Na Sl. 2 su dati primjeri vještačke inteligencije u stomatologiji [14].

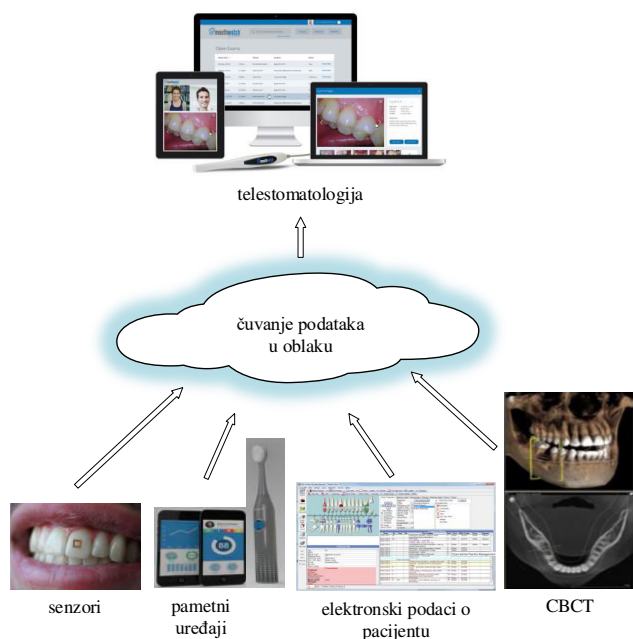
### B. Internet stvari u stomatologiji

Internet stvari je paradigma koja je infiltrirana u sve segmente savremenog života. Podrazumijeva upotrebu velikog broja senzora koji prikupljaju ogromnu količinu podataka i međusobno su povezani bežičnim komunikacionim mrežama. Ovi podaci se preko Interneta dalje šalju u oblak gdje se obrađuju i analiziraju. U stomatologiji postoji koncept Interneta dentalnih stvari (IoDT – *Internet of Dental Things*) koji ima za cilj prevenciju i dijagnostiku različitih oralnih oboljenja [4], [20]-[22]. Različite vrste bežičnih senzora se koriste za detekciju mikroorganizama koji nastanjuju usnu šupljinu i prouzrokuju zubni karijes i periodentalne bolesti, pa se tako pomoću optičkih biosenzora mogu detektovati i pratiti aktivnosti *Streptococcus mutans* u pljuvački ili pomoću grafitnih nanosenzora detektovati prisustvo patogenih bacila na zubnoj gleđi kao što su *Helicobacter* i *Streptococcus aureus* [4]. Postavljanjem FBG (*Fibre*

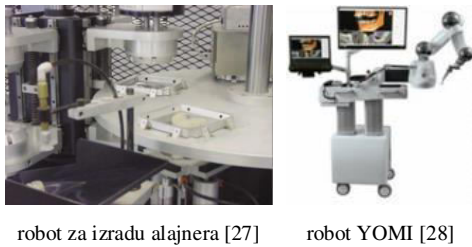
*Bragg Grating*) intraoralnog senzora na uređaj koji mjeri silu zagriža moguće je izmjeriti maksimalnu silu voljnog zagriža na tri pozicije (sjekutić, pretkutnjak i kutnjak) [20]. Ova vrsta senzora bi mogla da se koristi i za mjerenje sile zagriža kod bruksizma i traumatskih okluzija, za procjenu efikasnosti različitih zubnih nadoknada, za proučavanje patologije mastikatornog sistema, te u proučavanju poremećaja temporomandibularnog zgloba [4]. Neinvazivni biosenzori ugrađeni u štitičnik za zube efikasno se koriste za praćenje nivoa lučenja pljuvačke i nivoa mokraćne kiseline u pljuvački [22]. Ovi senzori koriste bežičnu komunikaciju u realnom vremenu što im omogućava da se koriste za praćenje različitih biomarkera pljuvačke u cilju prevencije i ranog otkrivanja zubnog karijesa i periodentalne bolesti. U implantologiji se koriste senzori sa integriranim RFID (*Radio Frequency Identification*) čipom za detekciju veoma malih pomjeranja suprastrukture u odnosu na implant ili krunicu, čime se sprečava mogućnost kolonizacije mikroorganizama koja dovodi do periimplantitisa i resorpcije kosti [4]. U prevenciji se danas koriste pametne četkice za zube koje su opremljene sensorima i kamerama, a koje mogu stomatologu da obezbijede podatke o tome kako pacijent održava oralnu higijenu [5],[20]. Sensorima se mjeri pH vrijednost pljuvačke, pritisak četkice na zube prilikom pranja, koliko dugo pranje zuba traje, i slično. U kombinaciji sa vještačkom inteligencijom moguće je otkrivanje i klasifikacija zubnog plaka i karijesa, te drugih relevantnih pojava [19]. Analizom velike količine podataka dobijenih pomoću senzora stomatolozi će u budućnosti biti u stanju da predvide u kom pravcu će da se odvija oralno zdravlje pacijenta i na taj način će biti u mogućnosti da blagovremeno preduzmu odgovarajuće mjere u prevenciji bolesti ili da odrede odgovarajuću terapiju. Paradigma Interneta stvari u stomatologiji je data na Sl.3.

### C. Robotika u stomatologiji

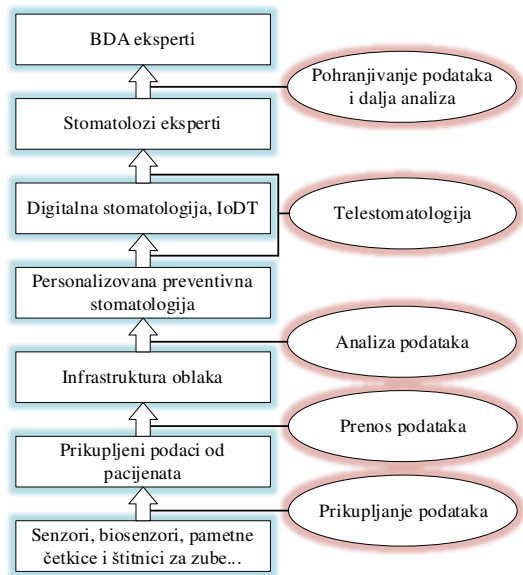
Robotika je esencijalni dio *Industry 4.0*, prvenstveno pametnih fabrika. Iako roboti imaju velike mogućnosti za upotrebu u stomatologiji, trenutno se koriste u ograničenom broju aplikacija. Najčešće se koriste manipulativni roboti i to kao pomoć stomatolozima pri određenim intervencijama, ali prema *Industry 4.0* treba da se teži upotrebi autonomnih robota koji će u nekim segmentima potpuno zamijeniti rad stomatologa. Implantologija je prva oblast u kojoj je zabilježeno korišćenje robota i to za ugradnju implanta u viličnu kost sa preciznošću po svim parametrima manjom od jednog milimetra [24]. Unazad desetak godina zabilježeni su pokušaji upotrebe autonomnih robota sa tri i šest stepeni slobode za postavljanje implantata koji su bili opremljeni kamerom i koji su kroz hirurški postupak vođeni kompjuterski kako bi se adekvatno odredilo mjesto ugradnje i primijenila odgovarajuća sila [23]. Roboti se koriste i u komplikovanim zahvatima ugradnje implantata u slučaju značajno smanjene alveolarne kosti. U protetici se roboti koriste za precizno postavljanje zuba pri izradi parcijalnih i totalnih proteza [25] što za cilj ima očuvanje kraniofacijalne morfologije i zaštitu temporomandibularnog zgloba. U preparaciji zuba roboti se mogu koristiti za pripremu zuba za postavljanje krunica i mostova tako što veoma precizno obavljaju brušenje zuba uz minimalno nanošenje štete zdravoj zubnoj masi [25]. Primjeri korišćenja robota u ortodonciji su vezani za izradu fiksnih ortodontskih aparata u liječenju malokluzija, gdje se roboti koriste za precizno savijanje ortodontskog luka, te izradu providnih alajnera [26],[27]. U endodonciji roboti se mogu koristiti u asistiranju u liječenju kanala korijena tako što stomatologu u toku procedure dodaju neophodne



Slika 3. IoDT - Internet stvari u stomatologiji



robot u radiologiji [29]  
Slika 4. Robotika u stomatologiji



Slika 5. Tok podataka i BDA u stomatologiji, adaptirano iz [19] i [20]

instrumente, a u istom tretmanu su korišćeni i mikroroboti koji imaju katalitičku sposobnost da unište biofilm mikroorganizama unutar kanala korijena [23],[25]. U oralnoj radiologiji roboti mogu potpuno da zamijene tehničare i tako spriječe njihovo izlaganje radijaciji, sa mnogo većom preciznošću mogu da usmjere rendgenske zrake na ciljano područje i preciznije navode radiografske uređaje što je veoma važno u slučajevima snimanja zuba složene morfologije i anatomije. Za dentalnu subtraktivnu radiografiju osmišljen je robotski sistem sa šest stepeni slobode i sensorima položaja, a predložena je i robotska ruka sa ugrađenim izvorom rendgenskih zraka [23]. Oralna i maksilofacijalna hirurgija su oblasti koje imaju ogroman potencijal za upotrebu robota, posebno u liječenju orofaringealnog karcinoma i lezija, naročito kada su locirani na grkljanu ili jeziku [24]. Roboti se koriste i za liječenje opstruktivne apnee tokom sna, a intenzivno se istražuju mogućnosti upotrebe robota u ortognatskoj hirurgiji [23]. U prevenciji se robotski sistemi mogu koristiti za testiranje efikasnosti četkica za zube i njihovog abrazivnog djelovanja na zubnu gleđ. Za analizu materijala za izradu zubnih implantata otisnih materijala, te materijala za zubne ispune takođe se predlaže upotreba robota, a provode se i eksperimenti u kojima se za eliminisanje osjećaja bola prilikom različitih stomatoloških intervencija umjesto standardnih anestetika koriste nanoroboti [23]. Neki primjeri robota u stomatologiji su dati na Sl.4.

#### D. Analiza velike količine podataka u stomatologiji

Analiza velike količine podataka (eng. *Big Data Analytics* - BDA) predstavlja napredne tehnike analize podataka nad skupovima velikog broja podataka da bi se ustanovile određene zakonitosti ili odstupanja na osnovu kojih treba steći nova znanja o određenoj pojavi i preduzeti odgovarajuće akcije. U stomatologiji se BDA može koristiti u različite svrhe [6],[30],[31]. Podaci koji su relevantni u stomatologiji mogu se svrstati u nekoliko grupa i analitičkih domena [31]. Prva grupa obuhvata podatke koje generišu pacijenti na osnovu očitavanja senzora i drugih nosivih uređaja, podaci sa društvenih mreža, opšte podatke o pacijentima, itd. Druga grupa obuhvata kliničke podatke koji su sastavni dio elektronskih baza podataka sa istorijom bolesti pacijenta. U treću grupu spadaju biološki podaci koji se odnose na genetiku, proteomiku, mikrobiom, i

slično. Četvrta grupa predstavlja podatke koji su pažljivo prikupljeni u kliničkim ispitivanjima, opservacijama i anketama. U cilju obezbjeđenja optimalnog oralnog zdravlja, ove grupe podataka se mogu svesti na četiri analitička domena, koji se mogu međusobno kombinovati. U kliničkom domenu, BDA omogućava razvoj stomatološke njege koja je prilagođena specifičnim profilima pacijenata, individualizovanu dijagnostiku i planiranje liječenja na osnovu mnoštva podataka koji se generišu prije, tokom i nakon pojave stomatološkog problema [30]. U socio-biheviornom domenu, identifikacija faktora rizika za oralno zdravlje koji su specifični za određene grupe stanovništva i sprovođenje ciljanih preventivnih intervencija korišćenjem digitalnih medija, imaju za cilj da u velikoj mjeri olakšaju uvođenje sistema individualizovanog oralnog zdravlja na nivou jedne populacije. U ovom domenu za rano otkrivanje faktora rizika veliki potencijal ima korišćenje tehnika rudarenja podataka (eng. *data mining*) koje posebno mogu biti korisne, na primjer, u predikciji razvoja karijesa i parodontalne bolesti [31]. Identifikacijom pojedinačnih faktora rizika mogu se definisati preventivne mjere kako bi se podigla svijest pacijenata o tome, promijenile životne navike i poboljšalo ukupno zdravlje pacijenata [30]. Osim toga, BDA pomaže u identifikovanju faktora rizika za neuspjeh u ugradnji implantata, pojavu periimplantitisa, alveolarog osteitisa i slično. U domenu translacione medicine, podaci koji su generisani u naučnim istraživanjima, uključujući one vezane za genetske osobine pacijenta i mikrobiom, treba da budu dostupne stomatolozima, kako bi se identifikovali biomarkeri koji predviđaju rizik od pojave bolesti i ishoda liječenja. U ovom domenu se može koristiti princip duboke fenotipizacije za poboljšanje razumijevanja karakteristika različitih stadija određene oralne bolesti i njenih ishoda, za pružanje novog uvida u patološke fenotipske karakteristike koje predviđaju gubitak zuba kod pacijenata sa parodontopatijom, te za razvoj sveobuhvatnijih profila rizika kod pacijenata kod kojih će se vjerovatno desiti odbacivanje implantata ili razviti periimplantitis [31]. U obrazovnom domenu, analiza podataka se može primijeniti u obrazovanju stomatološkog kadra, razvojem individualizovanih stilova obuke i učenja. Na Sl. 5 su prikazane osnovne operacije koje se primjenjuju na podatke, a odnose se na prikupljanje, prenos i analizu podataka koje treba da omoguće personalizaciju u

stomatologiji, te telestomatologiju kojom se omogućava komunikacija u realnom vremenu između pacijenta i stomatologa, i na kraju trajno pohranjivanje podataka i njihova dalja analiza za potrebe šire društvene zajednice.

#### IV. ZAKLJUČAK

Digitalizacija i razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija su omogućili nastanak četvrte industrijske revolucije. Koncept *Industry 4.0*, iako prvobitno osmišljen da unese revolucionarne promjene u industriju i proizvodnju, infiltriran je u sve segmente savremenog života. Kako su bolesti usta i usne šupljine najzastupljenije u svijetu, tako se stvara potreba za implementacijom tehnologija koncepta *Industry 4.0* u sve grane stomatologije. Ovim se nastoji postići rano otkrivanje bolesti, jednostavnije uspostavljanje dijagnoza, omogućiti lakša komunikacija između pacijenta i stomatologa, itd. Buduća istraživanja treba da budu usmjerena ne samo na implementaciju tehnologija *Industry 4.0* nego i tehnologija koje će da pripadaju konceptu *Industry 5.0*, kako bi se u budućnosti kolaboracijom ljudi i mašina postigli maksimalni efekti u prevenciji i liječenju oralnih bolesti.

#### LITERATURA

[1] Xu, L. D.; Xu E. L.; Li L.; Industry 4.0: state of the art and future trends. International Journal of Production Research, (2018) 56:8, 2941-2962. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.

[2] Mourtzis, D.; Angelopoulos, J.; Panopoulos, N. A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. Energies 2022, 15, 6276.

[3] Hussain A, Khan FA. History of dentistry. Arch Med Health Sci 2014; 2:106-10.

[4] Ganesh B, Sugumar K. Internet of Things - A Novel Innovation in Dentistry. Journal of Advanced Oral Research. 2021; 12(1):42-48. doi:10.1177/2320206820980248

[5] Hassani, H.; Amiri Andi, P.; Ghodsi, A.; Norouzi, K.; Komendantova, N.; Unger, S. Shaping the Future of Smart Dentistry: From Artificial Intelligence (AI) to Intelligence Augmentation (IA). IoT2021, 2, 510-523. https://doi.org/10.3390/iot2030026

[6] Tagra H, Batra P. Dentistry 4.0: A Whole New Paradigm. Discoveries Reports, 2021; 4: e19. DOI:10.15190/drep.2021.4

[7] Rojko A., Industry 4.0 Concept: Background and Overview. iJIM, Vol. 11, No. 5, 2017, 77 – 90

[8] Fukuyama, M. Society 5.0: Aiming for a New Human-Centered Society. 2018. Available: https://www.jef.or.jp/journal/pdf/220th\_Special\_Article\_02.pdf

[9] A. Adel, Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas, Journal of Cloud Computing (2022) 11:40, https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5

[10] Miraz M. H.; Ali M.; Excell P. S.; Picking R., Internet of Nano-Things, Things and Everything: Future Growth Trends. Future Internet 2018, 10, 68

[11] K. Schwab, The fourth industrial revolution, World Economic Forum, 2016

[12] Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030. Executive summary. World Health Organization, 2022

[13] D. Stamenković, K. Obradović-Đuričić, D. Stamenković, A. Grbović, I. Đorđević, The Fourth Industrial Revolution's impact on dentistry, Srp Arh Celok Lek. 2021 Jul-Aug;149(7-8):503-510,

[14] Alaudin, M.S.; Baharuddin, A.S.; Mohd Ghazali, M.I. The Modern and Digital Transformation of Oral Health Care: A Mini Review. Healthcare 2021, 9, 118. https://doi.org/healthcare9020118

[15] Carrillo-Perez, F, Pecho, OE, Morales, JC, et al. Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. J Esthet Restor Dent. 2022; 34(1): 259- 280. doi:10.1111/jerd.12844

[16] I. Baig, S. Azam, T. Bin Mushtaq, Artificial Intelligence in Dentistry: Literature Review, Journal of Pharmaceutical Research International, Volume 34, Issue 53B, Page 7-14, 2022; Article no.JPR1.93615 ISSN: 2456-9119

[17] Lee, S., Oh, Si., Jo, J. et al. Deep learning for early dental caries detection in bitewing radiographs. Sci Rep 11, 16807 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-96368-7

[18] Lee S. (2022). Detecting dental diseases with AI dental image analysis. Research Out-reach, 130. Available at: https://researchoutreach.org/articles/detecting-dental-diseases-with-ai-dental-image-analysis/

[19] You, W., Hao, A., Li, S. et al. Deep learning-based dental plaque detection on primary teeth: a comparison with clinical assessments. BMC Oral Health 20, 141 (2020). https://doi.org/10.1186/s12903-020-01114-6

[20] Salagare, S., Prasad, R. An Overview of Internet of Dental Things: New Frontier in Advanced Dentistry. Wireless Pers Commun 110, 1345–1371 (2020). https://doi.org/10.1007/s11277-019-06790-4

[21] Salagare, S., Prasad, R. Internet of Dental Things (IoDT), Intraoral Wireless Sensors, and Teledentistry: A Novel Model for Prevention of Dental Caries. Wireless Pers Commun 4, (2022). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-487495/v1

[22] Yuanfang Li, Hao Tang, Ying Liu, Yancong Qiao, Hongqi Xia, Jianhua Zhou, Oral wearable sensors: Health management based on the oral cavity, Biosensors and Bioelectronics: X, Volume 10, 2022, 100135, ISSN 2590-1370,

[23] Ahmad, P.; Alam, M.K.; Aldajani, A.; Alahmari, A.; Alanazi, A.; Stoddart, M.; Sghaireen, M.G. Dental Robotics: A Disruptive Technology. Sensors 2021, 21, 3308. https://doi.org/10.3390/s21103308

[24] Yiqun Wu, Feng Wang, Shengchi Fan, James Kwok-Fai Chow, Robotics in Dental Implantology, Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America, Volume 31, Issue 3, 2019, Pages 513-518, https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.03.013

[25] van Riet, T. C. T., Chin Jen Sem, K. T. H., Ho, J. P. T. F., Spijker, R., Kober, J., & de Lange, J. (2021). Robot technology in dentistry, part two of a systematic review: an overview of initiatives. Dental Materials, 37(8), 1227-1236.

[26] Jiang J, Zhang Y, Wei C, He T, Liu Y. A Review on Robot in Prosthodontics and Orthodontics. Advances in Mechanical Engineering. 2015;7(1). doi:10.1155/2014/198748

[27] Rukshana R, Gandhi G. Robotics in orthodontics. J Datta Meghe Inst Med Sci Univ 2022;17:180-6.

[28] https://www.neocis.com/products-and-services/yomi-robot/

[29] https://www.tauntodontal.ca/7-top-dental-trends-for-2023/

[30] Nanayakkara, S, Zhou, X, Spallek, H. Impact of big data on oral health outcomes. Oral Dis. 2019; 25: 1245–1252. https://doi.org/10.1111/odi.13007

[31] Finkelstein, J, Zhang, F, Levitin, SA, Cappelli, D. Using big data to promote precision oral health in the context of a learning healthcare system. Journal of Public Health Dentistry. 2020; 80: S43–S58. https://doi.org/10.1111/jphd.12354

#### ABSTRACT

Despite the high level of technological development, oral diseases are the most prevalent globally, with almost 3.5 billion people suffering. This fact has encouraged the research of Industry 4.0 technologies that can be most effectively used in dentistry to solve problems related to oral health, which have been identified and presented in this paper. The paper discusses the basics of the Industry 4.0 concept and briefly describes the basic features of the Society 5.0 and Industry 5.0 concepts. Fields of dentistry where new technologies can be used or could be used in the future have been identified. In dentistry, new technologies that emerged as a result of progress in digitization and information and communication technologies aim to create a home, ambulatory and clinical environment that will be pleasant for the patient, while enabling the dentist to establish a diagnosis more easily, early disease detection, communication with the patient in real-time, etc.

#### INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES IN DENTISTRY

Nataša Popović, Irena Mladenović