IVANA KRTOLICA

Istraživačko-razvojni institut za veštačku inteligenciju Srbije

ivana.krtolica@ivi.ac.rs

Veštačka inteligencija i čovek – izazovi i preporuke

Apstrakt

Veštačka inteligencija (VI) i metode mašinskog učenja postali su jedan od ključnih alata savremenih prirodnih nauka, omogućavajući efikasnu analizu velikih i kompleksnih skupova podataka, otkrivanje skrivenih obrazaca i unapređenje prediktivnih modela. Njihova primena obuhvata širok spektar disciplina, uključujući fiziku, hemiju, biologiju, geonauke i biofiziku, gde doprinosi ubrzavanju naučnih otkrića, optimizaciji eksperimentalnih protokola i boljem razumevanju složenih prirodnih sistema. Poseban značaj modela zasnovanih na VI ogleda se u sposobnosti integrisanja podataka iz različitih izvora i prostorno-vremenskih skala, što je često nedostižno tradicionalnim analitičkim pristupima.
Uprkos brojnim prednostima, primena modela veštačke inteligencije u prirodnim naukama praćena je i značajnim izazovima. Ključni problemi odnose se na kvalitet, reprezentativnost i dostupnost podataka, ograničenu interpretabilnost složenih modela, kao i na rizik od pristrasnosti i pogrešne generalizacije rezultata. Dodatno, etički i društveni aspekti, posebno u oblastima koje uključuju osetljive podatke, zahtevaju pažljivo razmatranje i jasne regulatorne okvire. U ovom radu analiziraju se glavne prednosti i ograničenja primene modela veštačke inteligencije u prirodnim naukama, s ciljem da se istaknu uslovi pod kojima VI može predstavljati pouzdan i odgovoran alat za dalji naučni i tehnološki razvoj.
Ključne reči: veštačka inteligencija, prirodne nauke, značaj, izazovi primene

Uvod

Evolutivni progres ljudske populacije i stalna potreba za adaptacijom na novonastale uslove životne sredine, neminovno uslovljavaju i konstantan tehnološki napredak. Čovek kao vrsta koja ima apsolutnu dominaciju u odnosu na sve druge vrste, ima konstantnu potrebu da svoju dominaciju verifikuje tehnološkim inovacijama. Kako evolucija čoveka nije okončana nastankom vrste *Homo sapiens*, već predstavlja

kontinuiran i dinamičan proces, tako ni savremeni čovek neće prestati da stvara, unapređuje i inovira u oblasti tehnoloških dostignuća. Tehnološki razvoj može se posmatrati kao produžetak ljudske evolucije, u kojem intelektualne sposobnosti, kreativnost i naučno znanje oblikuju nove alate i sisteme koji transformišu način života, rada i razumevanja sveta. U tom kontekstu, konstantan tehnološki napredak, uključujući veštačku inteligenciju, ne predstavlja prekid dosadašnjeg razvoja, već njegov logičan nastavak, koji istovremeno otvara nove mogućnosti, ali i postavlja složena etička, društvena i naučna pitanja (Sonia & Eric, 2013: 2).

Svaki napredak u domenu tehnologije ide u korak sa sve većim potrebama ljudske populacije za komfornijim, lakšim i životom prilagođenim potrebama društvenog napretka u globalu. Sa ubrzanim i sve inovativnijim tehnološkim razvojem, čovek sve teže uspostavlja jasnu granicu između autentičnih ljudskih potreba i njihovog prevazilaženja, vođen kontinuiranom ambicijom da sopstvenim otkrićima prevaziđe ograničenosti ljudske vrste. Od vremena otkrića parne mašine, korišćenja električne energije i nastanka interneta, tempo tehnološkog napretka postao je eksponencijalan, a čovek se sve više nalazi u poziciji da njegovi izumi, umesto da mu služe, diktiraju način i tempo života, rada i komunikacije. Savremene tehnologije, od pametnih uređaja i automatizovanih sistema do veštačke inteligencije, omogućavaju značajne dobitke u produktivnosti i pristupu informacijama, ali istovremeno nam nameću nove obaveze, zavisnosti i ograničenja. Konstantan tehnološki napredak čoveka postepeno transformiše iz apsolutnog gospodara svojih kreacija u njihovog služitelja, što postavlja kritična pitanja o kontroli, etičkoj upotrebi tehnologija i potrebi za odgovornim upravljanjem inovacijama kako bi ljudska sloboda i samostalnost bili očuvani.

Veštačka inteligencija (VI) predstavlja jednu od najznačajnijih tehnoloških inovacija savremenog doba i značajno utiče na tok i metodologiju istraživanja u prirodnim naukama. Oblasti primene VI imaju širok dijapazon, od analize velikih skupova podataka i modelovanja složenih prirodnih procesa do razvoja novih materijala, otkrivanja novih lekova i unapređenja istraživanja u oblasti prirodnih nauka i inženjerstva zaštite životne sredine. Istovremeno, ubrzani razvoj ovih tehnologija otvara brojna pitanja u vezi sa pouzdanošću rezultata, etičkim aspektima njihove primene, transparentnošću algoritama i

odgovornom primenom u sferi nauke, što u naučnoj zajednici predstavlja veliki izazov.

U statusu korisnika tehnoloških inovacija, čovek postepeno gubi deo svoje autonomije usled sve veće zavisnosti od digitalno orijentisanih rešenja, što implicira da evolucija ljudskog ponašanja i interakcije dobija novu, digitalno uslovljenu dimenziju. Metaverzum, kao najnovija faza tehnološkog razvoja, predstavlja integraciju virtuelne i proširene stvarnosti sa naprednim sistemima veštačke inteligencije, s ciljem kreiranja visoko imerzivnih i interaktivnih digitalnih okruženja. Ova nova platforma, ne samo da omogućava različite oblike virtuelne komunikacije i saradnje, već i modifikuje način na koji pojedinci percipiraju i doživljavaju prostor, vreme i socijalne interakcije, postavljajući složena pitanja u vezi sa autonomijom, privatnošću i etičkim aspektima digitalnog života (Blagojević, Radić & Cvjetković, 2024: 3).

Simulacija stvarnih događaja i replikacija realnog okruženja u digitalnom prostoru omogućavaju razvoj obrazovanja, istraživanja i treninga kroz imerzivna i interaktivna iskustva, ali istovremeno postavlja značajne izazove u pogledu privatnosti, bezbednosti podataka i etičke upotrebe tehnologija, zahtevajući transparentan i odgovoran pristup njihovoj primeni.

Istraživanje je sprovedeno primenom metode analize i sinteze relevantne naučne i stručne literature, uz komparativni pristup u razmatranju rezultata prethodnih istraživanja. Korišćena metodologija omogućava sistematski pregled postojećih saznanja, identifikaciju aktuelnih izazova i sagledavanje mogućnosti za budući razvoj primene veštačke inteligencije u prirodnim naukama, sa posebnim fokusom na izazove i preporuke u primeni modela veštačke inteligencije u oblasti prirodnih nauka.

U ovom radu analizirani su ključni izazovi i mogućnosti koje razvoj veštačke inteligencije donosi za društvo i pojedinca, s posebnim osvrtom na primenu VI u sferi prirodnih nauka. Cilj rada je identifikovanje najznačajnijih etičkih i tehnoloških izazova primene sistema VI. Istraživanje je zasnovano na analizi relevantne naučne i stručne literature uz komparativnu analizu postojećih pristupa razvoju i primeni sistema veštačke inteligencije. Nakon uvodnog dela, u radu se najpre analizira primena modela VI u prirodnim naukama, pri čemu je poseban akcenat stavljen na njihov značaj, potencijal i izazove u različitim oblastima primene. U završnom delu rada predstavljene su preporuke

za odgovornu upotrebu veštačke inteligencije i zaključci koji ukazuju na značaj očuvanja ljudske autonomije, transparentnosti algoritama i razvoja regulatornih mehanizama koji će omogućiti bezbednu i društveno korisnu primenu ove tehnologije.

Veštačka inteligencija u prirodnim naukama

Najveći doprinos i revolucionarne naučne inovacije veštačka inteligencija (VI) donela je u domenu prirodnih nauka, posebno u hemiji i biologiji – bazičnim disciplinama čiji se rezultati primenjuju u medicini, farmaceutskoj industriji i biotehnologiji. U hemiji, algoritmi mašinskog učenja omogućavaju predviđanje molekularnih struktura, optimizaciju sintetičkih puteva i identifikaciju potencijalnih lekova sa visokim terapeutskim potencijalom, značajno ubrzavajući proces dizajna novih farmakoloških jedinjenja (Mak & Pichika, 2024). Renomirane farmaceutske kompanije, poput Bajera (Bayer), Roša (Roche) i Fajzera (Pfizer), udružile su se sa IT kompanijama kako bi razvili platforme za otkrivanje terapije u oblastima kao što su imunoonkologija i kardiovaskularne bolesti (Mak & Pichika, 2019).

U biologiji, VI se koristi za analizu genomskih i proteomskih podataka, predviđanje proteinskih struktura, kao što je pokazalo otkriće modela AlfaFold (*AlphaFold*), identifikaciju biomarkera i razumevanje složenih interakcija unutar ćelijskih sistema (Ramesh, 2024; Abriata, 2024; Baum et al., 2021: 3).

Ovi pristupi omogućavaju ne samo bolje razumevanje fundamentalnih bioloških procesa već i primenu tih saznanja u personalizovanoj medicini, ranom otkrivanju bolesti i razvoju terapija visoke specifičnosti. Pored toga, integracija VI u eksperimentalne i simulacione metode omogućava istraživačima da obrade velike i heterogene skupove podataka, što bi tradicionalnim metodama bilo praktično nemoguće, čime se ubrzava transformacija naučnih saznanja u konkretne, u praksi primenljive rezultate.

Mogućnost predstavljanja složenih bioloških i hemijskih struktura kroz stringove pogodne za obradu modelima VI otvara brojne mogućnosti predikcije i prepoznavanja kompleksnih, ljudima teško prepoznatljivih obrazaca (Mswahili & Jeong, 2024). U domenu prirodnih nauka, obrada podataka primenom modela VI u pojedinim aspektima prevazilazi ljudske kognitivne sposobnosti, jer omogućava značajno

efikasniju i vremenski manje zahtevnu analizu velikih i kompleksnih skupova podataka, za čiju bi obradu čoveku bilo potrebno nesrazmerno više vremena i resursa.

Sintetička biologija, novo područje u biološkim disciplinama koje integriše nauku i inženjering, otvara mogućnost manipulacije genetičkim materijalom i stvaranja živih organizama sa potpuno novim osobinama, do tada nepostojećim u prirodi (Sharma & Goel, 2025).

U oblasti dizajna proteina, primena modela veštačke inteligencije, zasnovanih na tehnikama dubokog učenja i generativnim modelima, omogućava predviđanje prostorne strukture, stabilnosti i funkcionalnih svojstava proteina, kao i racionalno projektovanje novih proteinskih sekvenci sa unapred definisanim biološkim funkcijama. Ovi pristupi značajno ubrzavaju procese otkrivanja i optimizacije proteina, smanjujući oslanjanje na dugotrajne i resursno zahtevne eksperimentalne procedure, uz istovremeno proširenje prostora mogućih bioloških rešenja (Koh et al., 2025). Nukleotidi, sastavljeni od azotne baze, pentoznog šećera i fosfatne grupe, predstavljaju osnovne strukturne jedinice nukleinskih kiselina – DNK i RNK, čije su sekvence direktno povezane sa skladištenjem, prenosom i ekspresijom genetičke informacije. Genetički kod je organizovan u obliku tripleta nukleotida (kodona), od kojih svaki kodira specifičnu aminokiselinu ili regulatorni signal tokom procesa translacije, što je eksperimentalno potvrđeno kroz molekularno-biološka i biohemijska istraživanja. Zahvaljujući dobro definisanim hemijskim i strukturnim karakteristikama nukleotida i njihovih međusobnih interakcija, nukleinske kiseline predstavljaju pogodan sistem za formalno modeliranje i računarsku analizu (Alberts et al., 2002: 4).

Savremeni pristupi veštačke inteligencije, uključujući metode mašinskog i dubokog učenja, omogućavaju analizu velikih eksperimentalnih skupova podataka dobijenih sekvenciranjem nove generacije, strukturnom biologijom i biohemijskim tehnikama. Predstavljanjem bioloških i hemijskih molekula u obliku simboličkih sekvenci – kao što su nukleotidne sekvence, aminokiselinski nizovi ili standardizovane hemijske notacije poput Smajls (*SMILES*) formata – stvoreni su uslovi za primenu algoritama za prepoznavanje obrazaca, prediktivno modeliranje i generativni dizajn molekula. Ovi metodološki okviri našli su široku primenu u bioinformatici, računarskoj hemiji i otkrivanju novih lekova, gde se rezultati računarskih predviđanja sve češće eksperimentalno verifikuju kroz *in vitro* i *in vivo* studije (Weininger, 1988: 5).

Kao što svako hemijsko jedinjenje, tako i sama struktura ljudskog organizma može biti raščlanjena na hemijske strukture koje ga čine, što nam omogućava „dešifrovanje" čitavog humanog genoma i ljudskog organizma u celosti. Kao deo molekula DNK, gen koji nosi šifru za sintezu proteina, ima svoju jasno definisanu i poznatu hemijsku strukturu, danas čitljivu i u svetu veštačke inteligencije. Interakcija gena i medikamenata omogućava razvoj personalizovane medicine i prilagođavanje terapije pojedincu. Primena modela veštačke inteligencije u domenu personalizovane medicine i otkrivanja pacijent-specifičnih terapija prevazilazi barijere limita primene dosadašnjih metoda zapadne medicine (Parekh, Shaikh & Al Hasibuzzaman, 2023).

Svaki živi sistem, uključujući i humanu populaciju, podleže kontinuiranim genetskim i epigenetskim promenama, što uslovljava nemogućnost postizanja apsolutne kontrole nad ekspresijom gena. Ova dinamička i kompleksna priroda genetskog materijala rezultuje stalnom varijabilnošću u fenotipskim iskazima, koja je pod uticajem kako unutrašnjih regulatornih mehanizama, tako i spoljnih faktora okruženja. Razumevanje ovih promena i njihovih posledica zahteva integraciju savremenih eksperimentalnih pristupa, uključujući sekvenciranje nove generacije, strukturnu biologiju i napredne biohemijske metode, sa analitičkim tehnikama veštačke inteligencije, kao što su mašinsko i duboko učenje. Takva multidisciplinarna perspektiva omogućava sistematsko ispitivanje složenih bioloških procesa i pruža osnovu za modeliranje i predviđanje varijabilnosti ekspresije gena u humanim populacijama. Modifikovanje genetskog materijala i prilagođavanje genetičkih struktura potrebama opstanka čoveka, neminovno prouzrokuju i mutacije genetičkog materijala patogena, te stvaraju stalnu potrebu za pronalaženjem novih mehanizama borbe za opstanak. Uprkos rapidnom napretku nauke, veštačke inteligencije i superiornosti čoveka nad sopstvenim mehanizmima opstanka, adaptacija na uslove životne sredine neminovno ostaje ključan faktor u borbi za opstanak. Mehanizmi adaptacije menjaju se u skladu sa modifikacijama u genetskom kodu živih organizama i delovanjem faktora spoljašnje sredine.

Krucijalan doprinos veštačke inteligencije u domenu biologije, hemije i medicine je svakako brzina procesiranja informacija i sposobnost obrade velikih količina podataka kojima nijedan tim naučnika ne bi mogao da parira. U domenu medicinskih istraživanja veštačka inteligencija je uslovila kvalitativnu promenu načina naučnog razmišljanja,

omogućila interdisciplinaran pristup i integraciju biologije, hemije i medicine (Selvam, 2024: 6).

Obučavanjem sistema na već poznatim naučnim činjenicama, uz mogućnost bržeg prepoznavanja strukture i načina delovanja hemijskih struktura i gena i lekova, otvara se mogućnost revolucionarnih otkrića u lečenju od maligniteta, naslednih i retkih bolesti. Iako nam brojna naučna dostignuća praćena tehnološkim inovacijama i razvojem veštačke inteligencije omogućavaju kvalitetnije lečenje, životni vek nije produžen, kao ni sam kvalitet života. Globalno posmatrano, veštačka inteligencija predstavlja jednu od ključnih tehnoloških revolucija savremenog doba, ali njena primena istovremeno može imati i određene negativne posledice po životnu sredinu. Ovi uticaji, naročito u kontekstu povećane potrošnje energije i resursa, mogu posredno doprineti narušavanju ekološke ravnoteže, što se dugoročno može odraziti i na porast određenih zdravstvenih rizika i učestalosti bolesti. Neograničena dostupnost informacija u savremenom digitalnom okruženju, kada nije praćena svesnom i interaktivnom razmenom znanja sa drugim pojedincima, može dovesti do emocionalne izolacije, smanjenja socijalne kohezije i slabljenja uloge obrazovnih institucija i porodice kao primarnih izvora strukturisanog znanja. Ovaj fenomen istovremeno ilustruje kontradiktornost savremenog tehnološkog napretka: iako teoretski naučna i tehnološka dostignuća imaju potencijal da poboljšaju kvalitet života čoveka, svaki novi progres stvara kompleksne socijalne, etičke i egzistencijalne izazove koji utiču na stabilnost ljudskih zajednica i opstanak čoveka kao vrste (Yanitsky, 2018: 6).

Iz perspektive teorija informacije i socijalne psihologije, ova dinamika ukazuje na paradoks digitalne ere: eksponencijalni porast informacionog kapitala ne garantuje adekvatnu interpretaciju i primenu znanja, već zahteva nove oblike kognitivne, etičke i institucionalne adaptacije kako bi se očuvala socijalna integracija i kvalitet egzistencije ljudske populacije. Kreiranjem alata i sistema koji mogu biti uslovno superiorniji, brži i precizniji donosioci odluka, čovek se nesvesno doveo u položaj sluge svojih sopstvenih izuma, gubeći kontrolu nad aspektima sopstvene egzistencije i autonomije. Ovaj paradoks tehnološkog razvoja ilustruje kako tehnološka moć, ako nije praćena kritičkim razumevanjem i etičkim upravljanjem, može transformisati ljudsku slobodu i samostalnost u zavisnost od sistema koje je čovek stvorio.

Društveno-ekonomske podele i socijalni položaj pojedinca utiču i na nejednaku dostupnost tehnoloških inovacija koje su kreirane u korist čoveka. Time se društvene podele dodatno naglašavaju. Transhumanizam, kao filozofski pokret usmeren na sistematsko razmatranje mogućnosti unapređenja ljudske prirode primenom savremenih tehnoloških inovacija u cilju prevazilaženja inherentnih bioloških ograničenja, kao jednu od ključnih postavki nosi pretpostavku da tehnološki napredak može minimizovati stopu mortaliteta. Ovaj postulat se pre svega odnosi na mogućnosti manipulacije genetskim materijalom i intervencija na nivou bioloških i fizioloških procesa (Kopanja, 2023: 7).

Tehnološka revolucija koja rapidno menja svet i položaj čoveka u sopstvenom okruženju, dovodi do nedoumice da li će čovek uspeti da bude superiorniji od sopstvenih otkrića, ili će tehnologije preuzeti nadmoć nad ljudskom populacijom. Pitanje koje zaslužuje posebnu polemiku odnosi se na etičke okvire i principe koji definišu granice položaja čoveka u odnosu na savremene tehnologije, sa naglaskom na kontrolu i regulisanje korišćenja podataka o ličnosti, kao i na mogućnosti manipulacije genetskim materijalom. Ova dilema ističe potrebu za integracijom etičkih, pravnih i naučnih standarda u razvoju i primeni tehnologija, kako bi se osigurala zaštita ljudskih prava, privatnosti i egzistencijalne autonomije pojedinca. Uprkos brojnim izazovima primene modela VI u sferi fundamentalnih prirodnih i primenjenih nauka, pitanje etike i postavljanja granica još uvek nije u potpunosti uspostavljeni niti međunarodno usaglašeno.

Značaj i izazovi primene veštačke inteligencije kao savremenog alata u prirodnim naukama

Domen primene modela veštačke inteligencije u oblasti hemije, koji je u potpunosti u skladu sa etičkim i pravnim normama, obuhvata, između ostalog, predikciju sinteze novih jedinjenja i hemijskih reakcija. Primenom algoritama mašinskog učenja i dubokih neuronskih mreža moguće je identifikovati optimalne reakcione puteve, predvideti stabilnost i reaktivnost molekula i oceniti potencijalne neželjene sporedne produkte, što značajno ubrzava i olakšava proces otkrivanja novih supstanci. Ovi pristupi ne samo da ubrzavaju razvoj lekova i materijala već i minimiziraju troškove i rizike eksperimentalnog rada, omogućavajući istraživačima da se fokusiraju na najperspektivnije kandidate za sintezu.

U kontekstu odgovornog naučnog istraživanja, modeli VI takođe mogu podržati održivu hemiju kroz predikciju ekološki prihvatljivih reakcija i smanjenje eksperimentalnog otpada (Krtolica, Ilić & Tadić, 2025: 8).

Predstavljanje hemijskih jedinjenja kroz stringove Smajls (SMILES) seta podataka, pogodnih za modelovanje metodama mašinskog učenja, otvara niz mogućnosti za predikciju potencijalno novih sinteza jedinjenja, sintetisanje jedinjenja željenih karakteristika bez utroška vremena, hemikalija i izlaganja hemijskim jedinjenjima opasnim po zdravlje čoveka ili životnu sredinu. Simuliranje retrosinteze primenom modela mašinskog učenja otvara brojne mogućnosti sintetisanja do sada nepoznatih jedinjenja, kao i preliminarne predikcije na osnovu naučno potkrepljenih činjenica. Proces retrosinteze polazi od ciljnog molekula i odvija se unazad do identifikacije njegovih početnih prekursora, pri čemu je moguće ostvariti sintezu novog molekula (Bharti et al., 2026).

Ovakav pristup inovacijama u oblasti hemijskog inženjerstva donosi brojne benefite: otkrivanje novih materijala, uštedu vremena i novca u odnosu na hemijske eksperimente u laboratorijama, te svakako tehnološke inovacije stavlja u službu čoveka. Primena modela veštačke inteligencije i mašinskog učenja u biofizici i biologiji dugo je bila znatno usporena u poređenju sa primenom ovih inovacionih tehnologija u drugim naučnim disciplinama. Glavni razlog za to leži u izuzetnoj složenosti bioloških sistema koje odlikuju međusobno povezani procesi na više prostorno-vremenskih skala. Kompleksnost bioloških sistema otežava modelovanje, interpretaciju podataka i generalizaciju rezultata dobijenih primenom modela mašinskog učenja. Ova složenost otežava modelovanje bioloških sistema, interpretaciju podataka i pouzdanu generalizaciju rezultata dobijenih primenom metoda mašinskog učenja. Dodatno, prikupljanje velikih količina kvalitetnih i reprezentativnih podataka, neophodnih za efikasno treniranje modela mašinskog učenja, često je ograničeno visokim troškovima laboratorijskih eksperimenata, kako u smislu finansijskih, tako i vremenskih resursa, kao i prirodnim inherentnim ograničenjima bioloških sistema (Swain, Elowitz & Siggia, 2002: 9; Wang, Capponi & Bianco, 2022: 9). Poslednjih godina zabeležen je rapidan razvoj algoritama veštačke inteligencije i mašinskog učenja, praćen značajnim napretkom automatizovanih i eksperimentalnih tehnika. Ovaj sinergetski napredak omogućio je efikasniju obradu velikih i heterogenih skupova podataka i doveo do sve

većeg broja uspešnih primena u oblasti biofizike, uključujući ćelijsko inženjerstvo, reprogramiranje ćelija i analizu kompleksnih bioloških sistema. Posebno je unapređeno razumevanje strukture, dinamike i funkcije biomolekula, što predstavlja osnovu za razvoj novih terapijskih i biotehnoloških pristupa (Junaid, 2025).

U tom kontekstu, proteini, kao ključni gradivni i funkcionalni elementi ćelijskih membrana i unutrašnjosti ćelije, imaju centralnu ulogu u izgradnji svih živih organizama i regulaciji fizioloških procesa. Oni učestvuju u prenosu signala, katalizi biohemijskih reakcija, transportu molekula i održavanju strukturnog integriteta ćelija. Savremeni pristupi bazirani na veštačkoj inteligenciji omogućavaju detaljniju analizu proteinskih struktura i interakcija, kao i predviđanje njihovih funkcija, što značajno doprinosi boljem razumevanju bioloških sistema na molekularnom nivou. I sama genetska struktura organizma zavisi od nasleđene šifre za određene proteine, te raščlanjivanje i dešifrovanje genetskog koda predstavlja osnovu manipulacije genetskim materijalom. Primena performansi veštačke inteligencije u domenu manipulacije genetskim materijalom revolucionarno je otkriće, kako u tehnološkom, tako i u domenu prirodnih nauka i bioinženjeringa. Model AlfaFold kreiran u kompaniji Gugl Dipmajnd (*Google Deep Mind*), predstavlja model veštačke inteligencije zasnovan na dubokom učenju za precizno predviđanje trodimenzionalne strukture proteina na osnovu niza aminokiselina (Desai et al., 2024: 9).

Kao produkti manipulacije genetskim materijalom proistekle su brojne inovacije koje su u oblasti medicine dovele do revolucionarnih otkrića, kakva je i sinteza insulina, neophodnog u lečenju dijabetesa. Danas mogućnosti primene veštačke inteligencije u medicini otvaraju brojne mogućnosti kvalitetnije brige o zdravlju, bržeg dijagnostikovanja i primene personalizovane terapije. U domenu radiologije primena metoda kompjuterskog vida omogućava analizu velikog broja radioloških snimaka, te lakše i brže dijagnostikovanje malignitеta i drugih patoloških promena. Na taj način kreiranjem aplikacije bazirane na veštačkoj inteligenciji, koju lekari koriste kao asistenta u donošenju odluka, može se znatno povećati i ubrzati broj konačnih dijagnoza i kreirati lista prioritetnih pacijenata za što bržu realizaciju lečenja prioritetnih slučajeva. Ovaj vid digitalnog asistenta svakako ne može zameniti ekspertizu radiologa, niti isključuje lekara kao konačnog donosioca odluka, ali je izuzetno koristan alat, visokog procenta

tačnosti predikcije koji ima sposobnost obrade mnogostruko većeg broja snimaka za kratko vreme i znatno većom brzinom nego što bi to realizovao čitav tim lekara. Ovaj vid interakcije čoveka i veštačke inteligencije samo je jedna u nizu prednosti koje nam ovaj vid tehnološkog napretka pruža i sve dok ne zamenjuje eksperta, već mu samo olakšava, ubrzava i povećava kvalitet rada u oblasti kojom se bavi, apsolutno nema mesta za strah da će nas mašina zameniti ili prevazići u poslu kojim se bavimo.

Ono što, međutim, može predstavljati izvor opravdane bojazni i zahteva povećan stepen opreza jeste način na koji modeli veštačke inteligencije dolaze do svojih zaključaka. Proces donošenja odluka u okviru sistema mašinskog učenja u velikoj meri zavisi od podataka na kojima su modeli trenirani, s obzirom na to da se predikcije i klasifikacije zasnivaju na prethodno usvojenim obrascima, odnosno statističkim pravilnostima ekstrahovanim iz dostupnih skupova podataka. U tom smislu, modeli ne „razumeju" podatke u semantičkom značenju, već generališu zaključke na osnovu korelacija i strukture podataka koje su identifikovali tokom procesa učenja.

Posledično, manja, ali potencijalno značajna odstupanja u vrednostima parametara ili u distribuciji ulaznih podataka koja nisu bila adekvatno zastupljena u skupu podataka za trening modela, mogu ostati neprepoznata. Ovakva ograničenja mogu dovesti do sistematskih grešaka, smanjene robusnosti modela i donošenja nepouzdanih ili pogrešnih odluka prilikom primene modela na nove, realne podatke. Ovaj problem je posebno izražen u kompleksnim i visoko varijabilnim sistemima, kakvi su biološki i medicinski sistemi, gde čak i suptilne razlike i odstupanja mogu imati značajne funkcionalne ili kliničke posledice.

Pored metodoloških izazova, primena veštačke inteligencije u oblasti medicine i biomedicinskih istraživanja otvara i važna etička i pravna pitanja. Neophodno je strogo poštovati principe zaštite privatnosti i poverljivosti podataka, što podrazumeva da svi podaci koji su specifično vezani za pojedince moraju biti adekvatno anonimizovani ili pseudonimizovani. Lični podaci pacijenata, uključujući dijagnoze, anamneze i zdravstvene kartone, smeju se koristiti isključivo u naučne i istraživačke svrhe, uz strogo poštovanje relevantnih etičkih standarda, regulatornih okvira i principa informisanog pristanka. Ovo podrazumeva obezbeđivanje anonimizacije ili pseudonimizacije podataka, kao i kontrolu pristupa i sigurnost podataka tokom svih faza istraživanja.

Doslednom primenom ovih principa moguće je osigurati odgovornu, etičku i pouzdanu primenu veštačke inteligencije u osetljivim oblastima, kao što je medicina, gde netačnosti ili zloupotreba podataka mogu imati direktne i značajne posledice po zdravlje i privatnost pojedinaca. Takođe, implementacija ovih standarda omogućava razvoj VI-sistema koji su transparentni, reproduktivni i usklađeni sa međunarodnim pravilima zaštite podataka, čime se podstiče održiv i etički prihvatljiv naučni napredak.

Zaključak

Činjenica da je čovek jedino svesno biće na planeti i ključni akter u donošenju odluka koje određuju pravac razvoja civilizacije često dovodi do osećaja moći i uverenja o apsolutnoj dominaciji. Ovakva antropocentrična perspektiva može imati destruktivne posledice, jer osećaj superiornosti u odnosu na druge vrste i prirodne sisteme neretko rezultira nekritičkim odnosom prema sopstvenim izumima i tehnološkim dostignućima. Kao krajnji ishod, čovek može sebi pripisati povlašćen položaj u odnosu na sopstvene kreacije, zanemarujući dugoročne etičke, ekološke i društvene posledice takvog pristupa. Takav superioran odnos čoveka prema tehnološkim inovacijama i stalnom pomeranju granica u njihovim dostignućima izaziva realan strah i kada su u pitanju odnosi čoveka i mašine, odnosno veštačke inteligencije. Izazov da se sistemi zasnovani na veštačkoj inteligenciji stalno usavršavaju, unapređuju i dobijaju sve više osobina svojstvenih ljudima, potencijalno čoveka može čoveka dovesti u inferioran položaj u odnosu na mašine i prouzrokovati potpuno drugačiji smer civilizacijskog kretanja. S druge strane, težnja ka unapređenju kvaliteta života i povećanju efikasnosti kroz primenu naučno-tehnoloških dostignuća često nadjačava razmatranje njihovih mogućih dugoročnih posledica, što otvara brojna etička, društvena i regulatorna pitanja.

Usled ubrzanog razvoja i sve intenzivnije primene sistema veštačke inteligencije, dolazi do značajnog povećanja obima računarske infrastrukture, pre svega data-centara i serverskih sistema, neophodnih za razvoj, implementaciju i izvršavanje složenih modela zasnovanih na veštačkoj inteligenciji. Ova infrastruktura odlikuje se visokim zahtevima u pogledu potrošnje električne energije, kao i značajnom potrošnjom vodnih resursa usled primene intenzivnih sistema hlađenja, što može

imati negativne implikacije na životnu sredinu i održivost prirodnih resursa, posebno u uslovima klimatskih promena i povećanog pritiska na energetske i vodne sisteme. Navedena infrastruktura karakteriše se visokim zahtevima u pogledu potrošnje električne energije, što direktno i indirektno doprinosi povećanju emisija gasova sa efektom staklene bašte, odnosno karbonskog otiska. Kada se sumira sve navedeno dovodi se u pitanje da li je dominantniji pozitivan ili negativan uticaj razvoja veštačke inteligencije po opstanak i kvalitet života čoveka. Empirijska saznanja i rezultati brojnih istraživanja ukazuju na to da svest o negativnim uticajima ljudskih aktivnosti na životnu sredinu, uključujući i dugoročne rizike po opstanak ljudske populacije, nije bila dovoljna da značajno ograniči ili preusmeri dominantne obrasce ponašanja i razvojne prakse.

LITERATURA

Abriata, L. A. (2024). The Nobel Prize in chemistry: Past, present, and future of AI in biology. *Communications Biology*, *7*(1), 1409.

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2002). *Molecular biology of the cell* (4th ed.). New York: Garland Science.

Baum, Z. J., Yu, X., Ayala, P. Y., Zhao, Y., Watkins, S. P. & Zhou, Q. (2021). Artificial intelligence in chemistry: Current trends and future directions. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *61*(7), 3197–3212.

Bharti, R., Thakur, A., Koul, U., Verma, M. & Sharma, R. (2026). AI in Retrosynthesis: Introduction, Methods, Evaluation, and Future Directions. In: *Applied Artificial Intelligence for Drug Discovery: From Data-Driven Insights to Therapeutic Innovation* (pp. 379–408). Cham: Springer Nature Switzerland.

Blagojević, M. M., Radić, N. & Cvjetković, M. (2024). Metaverzum: Tehnološka evolucija i društveni uticaj. *Trendovi u poslovanju*, *1*(23), 20–26.

Choudhary, N., Bharti, R. & Sharma, R. (2022). Role of artificial intelligence in chemistry. *Materials Today: Proceedings*, *48*, 1527–1533.

Desai, D., Kantliwala, S. V., Vybhavi, J., Ravi, R., Patel, H. & Patel, J. (2024). Review of AlphaFold 3: Transformative advances in drug design and therapeutics. *Cureus*, *16*(7), e63646.

Junaid, M. A. L. (2025). Artificial intelligence driven innovations in biochemistry: A review of emerging research frontiers. *Biomolecules and Biomedicine*, *25*(4), 739.

Kopanja, M. (2023). Veštačka inteligencija i međunarodna bezbednost: Nadolazeća revolucija u vojnim poslovima. *Sociološki pregled*, *57*(1), 102–123.

Krtolica, I., Ilić, V. & Tadić, J. (2026). AI4Chemistry: Automated chemical research with multi-agent collaboration and molecular transformers in a case study of aspirin synthesis. In: M. Trajanović, N. Filipović, & M. Zdravković (Eds.), *Transformative technologies shaping a smarter society: ICIST 2025* (Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 1621). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-04890-5_24

Mak, K. K., Wong, Y. H. & Pichika, M. R. (2024). Artificial intelligence in drug discovery and development. *Drug discovery and evaluation: safety and pharmacokinetic assays*, 1461–1498.

Mak, K. K. & Pichika, M. R. (2019). Artificial intelligence in drug development: present status and future prospects. *Drug discovery today*, *24*(3), 773–780.

Ramesh, P. N. (2024). Computational biology and chemistry with AI and ML. *International Journal of Research in Medical Sciences and Technology*, Vol. No. 17.

Selvam, A. A. A. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence on transforming physics, chemistry, and biology education. *The Cuvette*, *2*, 1–31.

Sonia, A. & Eric, B. (2013). Evolutions in the human technology relationship: Rejection, acceptance and technosymbiosis. *IADIS International Journal on WWW/Internet*, *11*(3).

Swain, P. S., Elowitz, M. B. & Siggia, E. D. (2002). Intrinsic and extrinsic contributions to stochasticity in gene expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(20), 12795–12800.

Wang, S., Capponi, S. & Bianco, S. (2022). Inferring conditional probability distributions of noisy gene expression from limited observations by deep learning. *GEN Biotechnology*, *1*(6), 504–513.

Weininger, D. (1988). SMILES, a chemical language and information system. 1. Introduction to methodology and encoding rules. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, *28*(1), 31–36.

Yanitsky, O. N. (2018). The fourth scientific and technological revolution and its social outcomes. *International Journal of Research in Sociology and Social Anthropology*, *4*(4), 46–54.

Ivana Krtolica

Artificial Intelligence and Humans – Challenges and Recommendations

Abstract

Artificial intelligence (AI) and machine learning methods have become key tools in modern natural sciences, enabling efficient analysis of large and complex datasets, the discovery of hidden patterns, and the improvement of predictive models. Their application spans a wide range of disciplines, including physics, chemistry, biology, geosciences, and biophysics, where they contribute to accelerating scientific discoveries, optimizing experimental protocols, and improving the understanding of complex natural systems. The particular importance of AI-based models lies in their ability to integrate data from diverse sources and across spatial and temporal scales, which is an often unattainable using traditional analytical approach.

Despite numerous advantages, the application of artificial intelligence models in natural sciences is accompanied by significant challenges. Key issues relate to the quality, representativeness, and availability of data, the limited interpretability of complex models, as well as the risk of bias and incorrect generalization of results. In addition, ethical and social aspects – especially in areas involving sensitive data – require careful consideration and clear regulatory frameworks. This paper analyzes the main advantages and limitations of applying artificial intelligence models in natural sciences, with the aim of highlighting the conditions under which AI can serve as a reliable and responsible tool for further scientific and technological development.

Keywords: Artificial intelligence, natural sciences, significance, application challenges