

# SWOT analiza primjene umjetne inteligencije u radiološkoj tehnologiji i radiologiji - pregledni rad

---

**Delija, Mihovil**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:780724>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**

*Repository / Repozitorij:*



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
SVEUČILIŠTE U SPLITU

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
Podružnica  
SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ  
RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**Mihovil Delija**

**SWOT analiza primjene umjetne inteligencije u radiološkoj  
tehnologiji i radiologiji – pregledni rad**

**Završni rad**

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
Podružnica  
SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ  
RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**Mihovil Delija**

**SWOT analiza primjene umjetne inteligencije u radiološkoj  
tehnologiji i radiologiji – pregledni rad**

**SWOT analysis of the application of artificial intelligence in  
radiologic technology and radiology - review paper**

**Završni rad / Bachelor's Thesis**

Mentor:

**Izv. prof. dr. sc. Frane Mihanović**

Split, 2024.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
Sveučilišni prijediplomski studij radiološka tehnologija

**Znanstveno područje:** biomedicina i zdravstvo  
**Znanstveno polje:** kliničke medicinske znanosti

**Mentor:** Izv. prof. dr. sc. Frane Mihanović

**SWOT analiza primjene umjetne inteligencije u radiološkoj tehnologiji i radiologiji – pregledni rad**  
Mihovil Delija, 0062075092

### SAŽETAK

Umjetna inteligencija (AI) unosi promjene u radiologiju i radiološku tehnologiju, omogućavajući razvoj programa i algoritama koji olakšavaju dijagnozu i odluke. Bitno je razumjeti na koji način AI može poboljšati ishode pacijenata, povećati učinkovitost pretraga i smanjiti troškove. Strojno i duboko učenje pokazali su se kao iznimno korisni u otkrivanju i karakterizaciji lezija, poboljšavajući rutinske tehnike snimanja i olakšavajući rad radiologa smanjenjem opterećenja i poboljšanjem kvalitete izvještavanja. Praktična primjena umjetne inteligencije u radiologiji i radiološkoj tehnologiji usporena je nedostatkom integriranih rješenja i dobro strukturiranih arhiva podataka, a također i izazovima kao što su netransparentnost sustava kod donošenja odluka i velika količine kvalitetnih podataka potrebnih za obuku modela umjetne inteligencije. Postoji zabrinutost zbog potencijalnog utjecaja AI na posao radiologa i radioloških tehnologa što može kočiti razvoj i primjenu ove tehnologije. Tekstualni podaci izvedeni iz slikovnih izvješća mogu pružiti vrijedne uvide u zdravstvu. Obrada prirodnog jezika (NLP), podskup umjetne inteligencije, nudi obećavajuća rješenja za rukovanje nestrukturiranim tekstom u ovim izvješćima, što otvara novu eru u izdvajanju informacija iz medicinskih slika i pripadajućih izvješća. Zbog izazova u obuci stručnjaka za primjenu AI-a u zdravstvu morat će se koristiti multidisciplinarni pristup i ulagati u suradnju i obrazovanje. Postoje neriješena pitanja o odgovornosti i regulaciji u vezi s pohranjivanjem podataka i privatnosti, osobito u slučaju pohrane podataka na sistemu „oblaka“. Zabrinutost i neinformiranost radne snage o umjetnoj inteligenciji predstavlja prepreku za njeno usvajanje, ali i nudi priliku za tehnološko napredovanje struke.

**Ključne riječi:** : AI; radiologija; radiološka tehnologija; SWOT

**Rad sadrži:** 37 stranica, 2 slike  
**Jezik izvornika:** hrvatski

## BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

**University of Split**  
**University Department for Health Studies**  
**University undergraduate study of radiologic technology**

**Scientific area:** biomedicine and health care  
**Scientific field:** clinical medical sciences

**Supervisor:** Assoc. Prof. dr.sc. Frane Mihanović

**SWOT analysis of the application of artificial intelligence in radiologic technology and radiology - review paper**  
Mihovil Delija, 0062075092

### SUMMARY

Artificial intelligence (AI) is bringing changes to radiology and radiologic technology, enabling the development of programs and algorithms that facilitate diagnosis and decisions. It is essential to understand how AI can improve patient outcomes, increase the efficiency of investigations and reduce costs. Machine and deep learning have proven to be extremely useful in the detection and characterization of lesions, improving routine imaging techniques and facilitating the work of radiologists by reducing workload and improving the quality of reporting. The practical application of artificial intelligence in radiology and radiologic technology has been slowed down by the lack of integrated solutions and well-structured data archives, as well as challenges such as non-transparency of decision-making systems and large amounts of quality data needed to train artificial intelligence models. There are concerns about the potential impact of AI on the work of radiologists and radiologic technologists, which may hinder the development and implementation of this technology. Textual data derived from image reports can provide valuable healthcare insights. Natural language processing (NLP), a subset of artificial intelligence, offers promising solutions for handling unstructured text in these reports, opening a new era in extracting information from medical images and related reports. Due to the challenges in training experts for the application of AI in healthcare, a multidisciplinary approach will have to be used and investments in collaboration and education will have to be made. There are outstanding issues of liability and regulation regarding data storage and privacy, particularly in the case of cloud storage. The concern of the workforce and their lack of education about artificial intelligence represents an obstacle to its adoption, but also offers an opportunity for the technological advancement of the profession.

**Keywords:** AI; radiologic technology; radiology; SWOT

**Thesis contains:** 37 pages, 2 figures

**Original in:** Croatian

# SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1.    POVIJEST I RAZVOJ.....	1
1.2.    PRIMJENE AI U RADIOLOŠKOJ TEHNOLOGIJI I RADIOLOGIJI.....	4
<b>2. CILJ RADA .....</b>	<b>8</b>
<b>3. RASPRAVA.....</b>	<b>9</b>
3.1 STRENGTH – PREDNOSTI ZA PACIJENTE.....	9
3.2    STRENGTH – PREDNOSTI ZA OSOBLJE .....	13
3.3    WEAKNESS – STANDARDI I „CRNE KUTIJE“.....	16
3.4    WEAKNESS – ODLIKE SKUPOVA PODATAKA .....	18
3.5    WEAKNESS – UTJECAJ NA STRUKU.....	20
3.6    OPPORTUNITY – POMICANJE GRANICA .....	22
3.7    OPPORTUNITY – MULTIDISCIPLINARNA SURADNJA.....	25
3.8    THREAT – PITANJA ZAKONITOSTI, BRIGA O PODACIMA I SIGURNOST.....	27
3.9    THREAT – OTPOR STRUKE, NEDOSTATAK INFORMIRANOSTI .....	29
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>32</b>
<b>5. LITERATURA .....</b>	<b>33</b>
<b>6. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>37</b>

# 1. UVOD

## 1.1. POVIJEST I RAZVOJ

Razvoj programabilnih digitalnih računala 1940-ih potaknuo je znatizeljnu među matematičarima i filozofima o sposobnostima strojeva i njihovom potencijalu da oponašaju ljudske funkcije. Koncept umjetne inteligencije AI (*engl. Artificial Intelligence*) prvi je uveo John McCarthy s Dartmouth Collegea 1956. [1], definirajući ju kao bilo koji stroj koji pokazuje inteligentno ponašanje slično ljudskom. AI, u svom najširem smislu, uključuje napredak u računalnom hardveru i softveru koji iskorištavaju informacije za rješavanje složenih problema, generiranje rješenja i stvaranje novog znanja putem algoritama inspiriranih ljudskim kognitivnim funkcijama. Područje umjetne inteligencije doživjelo je uspone i padove, ali trenutno prolazi kroz renesansu zbog sve veće snage i pristupačnosti paralelnih računalnih sustava, što omogućuje stvaranje naprednijih sustava umjetne inteligencije s višestrukim slojevima analize, poznatih kao duboko učenje, DL (*engl. Deep Learning*) [2].

Radiologija kao grana medicine koja je započela otkrićem rendgenskih zraka, oduvijek je bila na čelu tehnoloških inovacija. Radiolozi su spremno prihvatili PET i SPECT, MR, digitalnu radiografiju, CT i ultrazvuk jer su ti izumi unaprijedili medicinski slikovni prikaz, zahvaljujući otkrićima u fizici, inženjerstvu i tehničkom razvoju [3].

Jedan od najranijih primjera umjetne inteligencije u općoj radiografskoj praksi bio je uređaj za automatsku ekspoziciju koji ulazi u upotrebu 1980-ih. Ovaj uređaj ne samo da je omogućio radiološkim tehnologizima da odaberu vrijednost kV za snimanje rendgenskim zrakama, već je također mjerio optimalnu ekspoziciju mjerenjem kvantne količine zračenja koja je dospjela do filma, kontrolirajući tako mA za svaku ekspoziciju. Iako ovaj izum nije imao ulogu u interpretaciji dobivene slike, pokazao je potencijal za strojeve da preuzmu određene zadatke u vidu donošenja odluka, poboljšavajući time učinkovitost i smanjujući izloženost pacijenata zračenju.

Prednosti ovog ranog oblika umjetne inteligencije ubrzo su prepoznali radiološki tehnolozi, posebice kada su radili s pacijentima čiji je tjelesni habitus utjecao na kvalitetu slike. Međutim, ljudski nadzor ostao je ključan zbog tehničkih varijacija i mogućih pogrešaka. Ovaj je izum unaprijedio proces snimanja, ali je također naglasio potrebu za ljudskom stručnošću i nadzorom tijekom procesa [4].

Thomas Kuhn, poznati filozof i povjesničar znanosti sa Sveučilišta Harvard, predstavio je koncept "promjene paradigme" u svojoj utjecajnoj knjizi "The Structure of Scientific Revolutions" [5]. Objasnio je kako se znanstveni napredak događa unutar skupa prihvaćenih pravila i pretpostavki (paradigma) sve dok radikalna nova ideja ili tehnologija ne poremete ovu paradigmu, dovodeći do temeljne promjene smjera, to jest, znanstvene revolucije.

AI ima potencijal dovesti do još jedne promjene paradigme u radiološkoj tehnologiji i radiologiji, slično promjenama uzrokovanim prijašnjim inovacijama u ovim znanostima. Tradicionalna rendgenska tehnologija, kasete s film folijama, razvijači filma i negatoskopi bile su sastavni dio struke do 1970-ih. Međutim, izum CT-a od strane Hounsfielda i njegovog tima u EMI Ltd. u Velikoj Britaniji donio je velik pomak u znanosti. CT snimanje uvelo je nove pojmove kao što su digitalni zapis, presjeci, voxeli i teleradiologija, zauvijek promijenivši izgled radiologije i radiološke tehnologije [3].

Digitalna narav CT-a unaprijedila je radiologiju jer radiolozi više nisu morali biti fizički prisutni za vrijeme pretrage. Radne stanice zamijenile su negatoskope, diskovi za pohranu zamijenili su razvijače filmova, a Hounsfieldove jedinice uvele su numeričke vrijednosti od kliničkog značaja. Naknadni razvoj PACS-a (*engl. Picture Archiving and Communication System*) dodatno je poboljšao pohranu podataka, daljinsko očitavanje i teleradiologiju [3].

MR je također donio jednu promjenu paradigme 1980-ih uvođenjem protokola snimanja i pružanjem obilja novih informacija. Nudio je različite mogućnosti kontrasta i mjerenja. Uvedeni su novi pojmovi kao što su vremena opuštanja i ponavljanja, sadržaj vode, stope



difuzije, protok, perfuzija, neuralna aktivnost i sadržaj masti. To je dovelo do potrebe za novim vještinama u osmišljanju slikovnih protokola za optimizaciju rezultata [3].

Uvođenje pulsni sekveneci, koje nadilaze jednostavne postavke kV i mAs, ubrzalo je upotrebu slikovnih biomarkera, proširujući ulogu radiologije od dijagnoze do liječenja bolesnika. Od tada su se svi modaliteti snimanja nastavili razvijati i poboljšavati. Ultrazvučno snimanje postiglo je napredak u rezoluciji i smanjenju artefakata, što je rezultiralo cijenjenim 4D slikama visoke rezolucije fetusa in vivo. PET snimanje postalo je sastavni dio liječenja raka, a molekularno snimanje kao podloga PET-a postalo je klinička stvarnost. CT protokoli su se poboljšali za nekoliko redova veličine u brzini i razlučivosti uz značajno smanjenje doza zračenja [3].

MR inovacije uključuju magnete većeg polja, poboljšane gradijente i paralelne nizove RF zavojnica, poboljšavajući omjer signala i šuma SNR (*engl. Signal to Noise Ratio*) svih MR pretraga. Dok se tehnološki napredak nastavlja u svim modalitetima snimanja, također se suočavamo s ograničenjima koja nameću sigurnost, cijena, fizika i poznata tehnologija. Na primjer, doze zračenja kod CT-a ne mogu se neograničeno smanjivati zbog minimalnog broja detekcija potrebnih za dobru rekonstrukciju slike. Slično tome, ultrazvučna osjetljivost je ograničena elektroničkim šumom prijemnika i fizičkim ograničenjima oblika i svojstava zvučnog vala [3].

MR tehnologija nastavlja se poboljšavati, ali postoje praktična ograničenja u pogledu snage signala, jačine magneta i RF tehnologije. Iako će inovativne tehnike nedvojbeno utjecati na dobivanje slike, korekciju i rekonstrukciju, značajna poboljšanja u kvaliteti podataka dobivenih pretragom neće biti lako ostvariva. Buduća poboljšanja vjerojatno će se usredotočiti na povećanje brzine, smanjenje troškova i daljnje povećanje sigurnosti [3].

Kada se razmatra sljedeća promjena paradigme, AI je nedvojbeno kandidat koji najviše obećava. Iako umjetna inteligencija ima različite primjene, gledajući njen utjecaj na medicinu, radiologija je područje je gdje je njen potencijalni utjecaj najveći. Radiologija zbog

svoje opsežne arhive digitalnih podataka i povijesti prihvaćanja tehnološkog napretka, pruža idealan temelj za integraciju umjetne inteligencije [3].

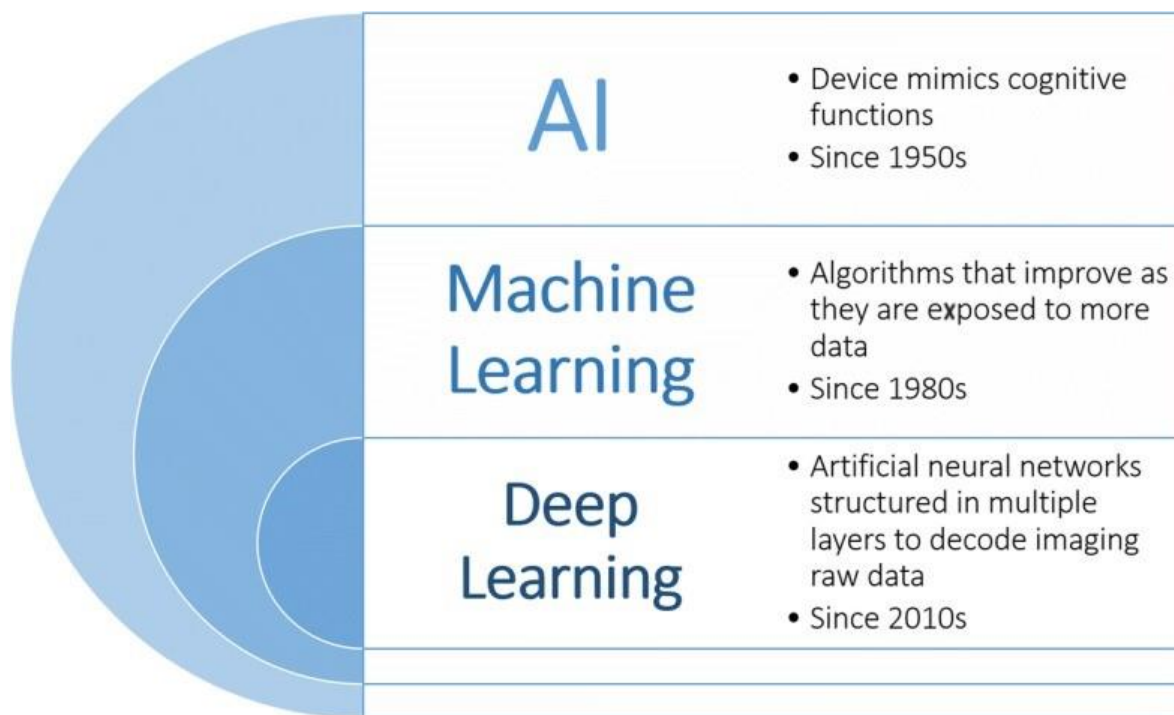
Ogromna količina slikovnih podataka prikupljenih tijekom rutinskih medicinskih postupaka dovela je do pojave i brzog rasta radiomike kao značajnog područja medicinskog istraživanja. Radiomika uključuje izdvajanje unaprijed definiranih značajki iz slika, uzimanje radiografskih karakteristika kao što su oblik, intenzitet i tekstura te njihovo kombiniranje s kliničkim podacima o ishodu [6].

AI nudi značajna poboljšanja i rješenja za trenutne izazove u radiologiji i radiološkoj tehnologiji. S računalima koja su sastavni dio svakog koraka radiološkog procesa, od prikupljanja slike do evaluacije, pohranjivanja i prijenosa, te s obzirom na povijest prihvaćanja inovacija, temelji su postavljeni za razvoj umjetne inteligencije unutar ovih znanosti [3].

## **1.2. PRIMJENE AI U RADIOLOŠKOJ TEHNOLOGIJI I RADIOLOGIJI**

Umjetna inteligencija i njezina grana, strojno učenje, ML (*engl. Machine Learning*), područja su koja su u brzom razvoju i koja su transformirala računalnu znanost (slika 1). AI u radiologiji je sveprisutan, od primjena u analizi temeljenoj na slikovnim podacima, alatima za računalno potpomognutu dijagnostiku, CAD (*engl. Computer Aided Diagnosis*) do klasifikacije medicinskih snimaka. ML i njegov podskup DL, tehnike su koje oponašaju način rada ljudskog mozga, omogućujući sustavima da uče iz podataka i prilagode svoje radnje. Radiomika, kao podskup ML-a, izvlači vrijedna kvantitativna svojstva iz slika. Integracija AI i ML algoritama u radiologiju ima za cilj poboljšati postojeće algoritme i razviti nove kako bi se ubrzala i pojednostavila dijagnoza i smanjila potreba za ljudskim intervencijama u dugotrajnim konvencionalnim tehnikama snimanja. Ovu evoluciju pokreću dva ključna čimbenika: napredak u računalnim znanostima i sve veća dostupnost dobro

organiziranih medicinskih baza podataka, koje olakšavaju učinkovito upravljanje i analizu složenih "velikih podataka" (*engl. „big data“*) [7].



Slika 1. Podjela umjetne inteligencije

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6199205/figure/Fig1/>

AI obuhvaća raznolik raspon algoritamskih tehnika učenja, uključujući već spomenute ML i DL, kao i obradu prirodnog jezika, NLP (*engl. Natural Language Processing*). ML omogućuje računalima da uče iz podataka putem nadziranih, nenadziranih, polunadziranih pristupa ili putem podržanog učenja. Zbog svoje iznimne sposobnosti, DL je poželjna tehnika učenja kad je riječ o medicinskim slikama za zadatke poput segmentacije slike, klasifikacije i detekcije objekata. NLP, s druge strane, omogućuje računalima da tumače nestrukturirani tekst, uključujući podatke senzora, pretvarajući ga u strukturirani format prikladan za naknadne ML ili DL procese [8].

Zdravstveni sustav prolazi kroz značajne transformacije, s pojačanim naglaskom na skrb temeljenu na vrijednostima. Posljedično, standardi i smjernice za skrb dobivaju na značaju u dijagnostici i terapiji. Alati za podršku kliničkom odlučivanju, CDS (*engl. Clinical Decision Support*) postali su bitni čimbenici visokokvalitetne, troškovno učinkovite skrbi u radiologiji. Prednosti CDS-a za radiologe i za naručitelje pretraga su prepoznate u svim zdravstvenim ustanovama, potkrijepljene opsežnom literaturom i podržane od strane specijaliziranih grupa poput American College of Radiology (ACR). S obzirom na ovaj kontekst, logično je istražiti potencijal AI-a u svrhu poboljšanja CDS-a. Uvriježeno je mišljenje da AI može ubrzati pomak prema strukturiranijem pisanju izvještaja, što je ključno za učinkovit CDS i stvara pozitivnu povratnu spregu generiranjem vrijednih podataka koje zatim AI može koristiti za usavršavanje i poboljšanje svoje izvedbe ubuduće [9].

CAD sustavi su prvobitno razvijeni kako bi pomogli radiolozima u otkrivanju lezija, što je temeljni aspekt radiološke prakse. Oni su primjer praktične primjene ML-a temeljenog na slikovnim podacima u radiologiji. Ovi sustavi mogu automatski izdvojiti i klasificirati određene značajke slike. Ovakvi alati također omogućuju klasifikaciju i stupnjevanje lezija kao malignih ili benignih analizom njihovih morfoloških i fizioloških karakteristika. Današnje napredne tehnike segmentacije nadilaze jednostavnu detekciju, omogućujući ekstrakciju vrijednih podataka iz medicinskih slika [7].

Područje umjetne inteligencije nedavno je doživjelo ubrzan napredak, osobito s pojavom novih, nedeterminističkih algoritama dubokog učenja. Ovi algoritmi doveli su do promjene u radu AI, upravo time što ne zahtijevaju eksplicitnu definiciju značajki koje se analiziraju. Iako koncept dubokog učenja nije nov, njegova je praktična primjena ubrzana dostupnošću golemih skupova podataka i poboljšanjem računalnih performansi. Algoritmi dubokog učenja pokazuju vrhunske vještine rješavanja problema izravnim učenjem iz podatkovnih prostora. Konvolucijske neuronske mreže, CNN (*engl. Convolutional Neural Network*) postale su primaran izbor u medicinskim pretragama zbog svoje sposobnosti mapiranja ulaza slike na željene krajnje točke i učenja složenih postavki oslikavanja.

CNN-ovi se sastoje od niza slojeva koji obrađuju ulaznu sliku kroz niz operacija konvolucije i skupljanja, izvlačeći mape značajki i skupljajući značajke. Nakon toga slijede potpuno povezani slojevi za zaključivanje na visokoj razini i izlazni sloj za predviđanja. Oni se obično obučavaju od početka do kraja koristeći označene podatke za nadzirano učenje. Ostale arhitekture, poput autokodera i generativnih suparničkih mreža, GAN (*engl. Generative Adversarial Network*) izvrsne su u zadacima učenja bez nadzora. Prijenos učenja, uz korištenje unaprijed obučenih mreža na različitim skupovima podataka, primjerena je tehnika kada ste suočeni s nedostatkom podataka.

Popularnost DL-a porasla je zahvaljujući njegovoj sposobnosti da automatski uči prikaze značajki iz podataka, čime se uklanja potreba za ručnim definiranjem. Ovaj pristup koji se temelji na podacima povećava informativnost i mogućnost generalizacije, omogućujući automatsku kvantifikaciju fenotipskih karakteristika u ljudskim tkivima. Duboko učenje ima potencijal unaprijediti dijagnostiku i kliničku skrb pružanjem apstraktnijih i složenijih definicija značajki. Napredak u algoritmima DL-a, posebno u domeni radiološke tehnologije, ima velik potencijal za poboljšanje ishoda zdravstvene skrbi [6].

Kako AI bude postajao sve veći dio radiološke tehnologije i radiologije, važno je da radiolozi i radiološki tehnolozi razvijaju snažno razumijevanje pojmova i radnih procesa povezanih s umjetnom inteligencijom. Za procjenu potencijalnog utjecaja primjene AI u radiološkoj tehnologiji i radiologiji, upotrijebit ćemo SWOT (snage, slabosti, prilike i prijetnje) analizu, često korišten alat poslovne strategije [7].

SWOT analiza je tehnika strateškog planiranja i strateškog upravljanja koja se koristi za prepoznavanje snaga, slabosti, prilika i prijetnji povezanih s poslovnim poduzećem ili planiranjem projekta. Namjera joj je identificirati unutarnje i vanjske čimbenike koji su povoljni ili nepovoljni za postizanje ciljeva pothvata ili projekta. Upotrebom SWOT analize na primjenu umjetne inteligencije u radiologiji i radiološkoj tehnologiji, možemo dobiti vrijedne uvide u prednosti, slabosti, prilike i potencijalne prijetnje povezane s ovom tehnološkom evolucijom [10].

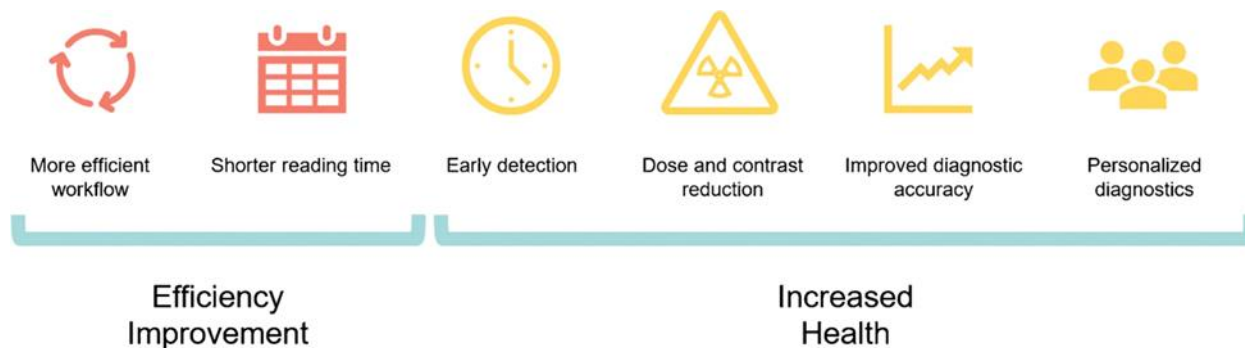
## **2. CILJ RADA**

Cilj ovoga rada je pomoću korištenja SWOT modela analizirati primjenu umjetne inteligencije u radiološkoj tehnologiji i radiologiji. Prikazat će se njen razvoj, trenutne i buduće primjene kao i vanjski i unutarnji faktori koji mogu pozitivno ili negativno utjecati na primjenu ove tehnologije u navedenim strukama.

### 3. RASPRAVA

#### 3.1 STRENGTH – PREDNOSTI ZA PACIJENTE

Glavni cilj ranih kliničkih istraživanja AI-a u tehnikama snimanja bio je poboljšati dijagnostičku točnost, a nedavne studije pokazuju ohrabrujuće rezultate, pa čak i performanse na ljudskoj razini u računalno potpomognutoj dijagnostici omogućenoj AI-om. Osim ovog temeljnog cilja, AI može rješavati praktične probleme u svakodnevnoj praksi, kao što je optimizacija radnih listi, prethodna analiza slučajeva prilikom perioda povećanog broja pretraga radi smanjenja umora dijagnostičara, izvlačenje skrivenih informacija iz snimke i poboljšanje kvalitete rekonstruirane slike (slika 2) [2].



Slika 2. Prednosti primjene AI u radiologiji

Izvor: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00247-021-05114-8/figures/1>

AI je posebno vješt u pomaganju dijagnostike temeljene na slikama, sa sposobnošću otkrivanja, segmentiranja i klasificiranja lezija. ML može automatski identificirati anatomske orijentire i organe, ključne za dobivanje i analizu slike, poboljšavajući vrijeme skeniranja i smanjujući varijabilnost. ML unapređuje rutinske tehnike snimanja i revolucionirao je detekciju plućnih nodula i karakterizaciju u torakalnoj radiologiji. U snimanju dojki, CAD algoritmi učinkovito otkrivaju i klasificiraju čvrste lezije i mikrokalcifikacije [7].

Softver za automatsku segmentaciju organa i otkrivanje anatomskih orijentira u kralježnici, prsima i jetri također pokazuje potencijal. NLP, koristeći medicinske ontologije i softverske alate, izvlači vrijedno znanje iz medicinskih izvješća, poboljšavajući donošenje odluka. DL metode daju dosljedne rezultate u rekonstrukciji slike, segmentaciji i multimodalnoj registraciji slike [7,11].

Evo nekoliko ključnih primjera primjene umjetne inteligencije u onkologiji, posebno u radiologiji i radioterapiji:

- Snimanje prsnog koša: AI može automatski identificirati i klasificirati plućne čvorove, pomažući u ranom otkrivanju raka pluća.
- Snimanje abdomena i zdjelice: AI karakterizira slučajne nalaze poput lezija jetre kao benigne ili zloćudne, što pomaže u određivanju prioriteta praćenja pacijenata.
- Kolonoskopija: alati temeljeni na AI-u pomažu u ranom otkrivanju i praćenju polipa debelog crijeva, smanjujući rizik od raka debelog crijeva.
- Mamografija: AI poboljšava točnost u tumačenju probirnih mamograma identificiranjem mikrokalifikacija za otkrivanje raka dojke.
- Snimke mozga: umjetna inteligencija pomaže u ranom otkrivanju i planiranju liječenja tumora mozga davanjem dijagnostičkih predviđanja.
- Radijacijska onkologija: AI automatizira planiranje liječenja zračenjem, precizno segmentirajući tumore i optimizirajući doziranje zračenja. Također omogućuje kontinuirano praćenje za procjenu odgovora na liječenje.

Alati radiomike, pokretani pomoću AI-a, pokazali su se vrijednima u onkologiji za kliničko donošenje odluka, posebno u dijagnozi raka i procjeni rizika. To je potaknulo interes za daljnje istraživanje biomarkera generiranih AI-om kako bi se poboljšale sposobnosti radiologa u različitim aspektima skrbi za pacijente, u konačnici poboljšavajući dijagnozu i ishode liječenja [6,12].



CNN-ovi su prikladni za zadatke nadzirane dijagnostičke klasifikacije, a studije su izvijestile o značajnim poboljšanjima performansi u klasifikaciji lezija dojke i plućnih nodula korištenjem metoda temeljenih na DL-u. Sustavi stadija u onkologiji, kao što je sustav TNM (*engl. tumor-node-metastasis*), oslanjaju se na informacije iz segmentacije i dijagnoze za klasificiranje pacijenata u unaprijed definirane kategorije, usmjeravajući izbor liječenja i predviđajući vjerojatnost preživljavanja i prognozu. Staging je tradicionalno ručni proces zbog oslanjanja na kvalitativne opise. Automatsko određivanje veličine primarnog tumora, obližnjih limfnih čvorova i udaljenih presadnica zahtijeva različite skupove značajki i pristupe. Duboko učenje posebno je prikladno za ovaj višestrani problem klasifikacije jer može istovremeno učiti i objediniti više prikaza podataka [6].

U pedijatriji je automatizirano predviđanje starosti kostiju dobro prihvaćeno rješenje AI-a koje pomaže u kvantifikaciji i učinkovitosti očitavanja snimki šake. Sustav bi se mogao koristiti autonomno, potencijalno smanjujući vrijeme očitavanja na nulu [13].

Za radiološkog tehnologa jedan od najvažnijih zadataka je odabir najprikladnijeg protokola snimanja na temelju stanja pacijenta, kliničkog pitanja i područja interesa. Međutim, dokazi upućuju na to da se izbor i provedba protokola mogu značajno razlikovati unutar i između bolnica, pa čak i među različitim modalitetima snimanja. Ova nedosljednost potaknula je niz novih studija koje istražuju potencijal automatizacije odabira protokola.

Također postoji sve veći raspon metoda vođenih AI-om za smanjenje doza zračenja u mamografiji, CT skeniranju i PET/CT-u, kao i tehnika za skraćivanje vremena MR skeniranja. Ova poboljšanja nude mogućnost bržeg dobivanja slike i poboljšanog protoka pacijenata. Jedan od najzujbudljivijih aspekata AI-augmentiranog prikupljanja slika je njegova potencijalna primjena u ultrazvučnim pregledima. Kvaliteta ultrazvučne slike tradicionalno se smatrala visoko ovisnom o vještini i iskustvu operatera. Međutim, uz automatizirano AI pozicioniranje i alate za mjerenje, operateri će moći izraditi izvješća o ultrazvučnoj procjeni veće kvalitete sa smanjenim stopama pogreške. To uključuje automatizirana mjerenja fetusa i procjenu funkcije bubrega, kao i procjene kvalitete slike vođene AI-om, što sve doprinosi točnijim i učinkovitijim ultrazvučnim pregledima [4,14].

Algoritmi AI-a mogu poboljšati sigurnost pacijenata predlažući odgovarajuće obrade slika za svaku stavku na popisu problema i identificirajući kontraindikacije. Ovaj pristup temeljen na popisu problema mogao bi ponuditi odgovor "jednim klikom" s rangiranim, preporučenim pregledima. Radiolozi također mogu dobiti prijedloge CDS alata za naknadno snimanje. Alati umjetne inteligencije poboljšat će se točnijim izvlačenjem informacija iz elektroničkih zdravstvenih zapisa, stvaranjem međusobno povezanih modela kliničkih problema pacijenata i pomaganjem u donošenju odluka davanjem prioriteta akutnim problemima. AI također može omogućiti praćenje elektroničkih zdravstvenih zapisa u cijeloj kohorti, predlažući snimanja visoke vrijednosti i specifične skupine pacijenata koje zahtijevaju daljnje pretrage, što dovodi do ranijih dijagnoza i smanjenog prikupljanja podataka male vrijednosti, nepotrebnih postupaka i skupih odgoda [9,11].

Mreže dubokog učenja također su unaprijedile radiomiku, polje usmjereno na izdvajanje kvantitativnih značajki iz radioloških slika. Radiomika ima priliku pružiti vrijedne uvide za predviđanje odgovora na liječenje, razlikovanje benignih i malignih tumora i razumijevanje genetike raka kod različitih tipova raka analizom značajki slike kao što su intenzitet, oblik, tekstura i valna duljina izdvojenih iz slikovnih pretraga. Radiomika je već pokazala svoju korisnost u personaliziranoj terapiji, ne samo u onkologiji, već i u drugim područjima, što je dokazano nedavnim studijama koje pokazuju njezinu učinkovitost u kardiovaskularnom CT prikazu [15,12].

Radiološki tehnolozi imaju ključnu ulogu u osiguravanju pravilnog pozicioniranja pacijenta bez obzira na modalitet snimanja. Nepravilno pozicioniranje pacijenta može dovesti do smanjene kvalitete slike i veće izloženosti zračenju kod CT skeniranja. Istraživanja su pokazala da se neki zadaci, poput izocentričnog pozicioniranja i analize „scout“ slike, potencijalno mogu automatizirati pomoću AI sustava. U radioterapiji, sustavi DL-a mogu poboljšati skrb auto-segmentacijom tumora i individualiziranjem doza radioterapije kako bi se smanjili neželjeni ishodi liječenja [4].

### 3.2 STRENGTH – PREDNOSTI ZA OSOBLJE

Primjena ML tehnika u radiološkoj tehnologiji i radiologiji prvenstveno se fokusira na pristupe temeljene na slikama. Kako se količina detalja i broj slika u radiološkim studijama povećava, radiolozi će se možda susresti s većim opterećenjem zbog većeg obujma posla. ML algoritmi pomažu izvlačenjem informacija iz slika, sudjelujući u otkrivanju lezija i segmentaciji slike, u konačnici poboljšavajući slikovna izvješća novim podacima. Primjer je automatski izračun koronarnog kalcijskog skora, zadatak koji bi radiologu bilo teško izvesti ručno. Sustavi poput ovih mogu osnažiti radiologe pružanjem dodatnih podataka i uvida, dok istovremeno poboljšavaju produktivnost i smanjuju radno opterećenje [7,12].

Dijagnostički proces može se optimizirati pomoću AI-a, poboljšavajući ukupni tijek rada. Primjer ovoga već se naširoko koristi; softver temeljen na AI-u koristi se za otkrivanje tuberkuloze na rendgenskim snimkama prsnog koša. Detekcija tuberkuloze uz pomoć AI-a pokazala se osobito korisnom u zemljama u razvoju, gdje su osoblje, stručnost i financijski resursi često ograničeni. Ova tehnologija djeluje kao autonomni alat za pretprobir, smanjujući potrebu za dugotrajnijim i skupljim mikrobiološkim testovima. Ovo je jedan od prvih primjera umjetne inteligencije u radiologiji gdje je softver preuzeo ulogu radiologa, funkcionirajući neovisno [13].

Umjetna inteligencija može poboljšati pravovremenost u hitnim slučajevima automatskim otkrivanjem stanja opasnih po život i davanjem prioriteta za hitnu pomoć. Također može pomoći u rješavanju problema umora promatrača, posebno kod screening pregleda, identificiranjem slučajeva s velikom vjerojatnošću istinskih pozitivnih rezultata za rani pregled [2].

CDS je dokazao svoju vrijednost u poboljšanju opravdanosti narudžbi za snimanja i kod radioloških izvješća. Integracija umjetne inteligencije s CDS-om nudi još veće prednosti. Poboljšanje CDS tehnologije s AI-om poboljšava vrijednost snimanja za naručitelje pretraga, radiologe i direktore za javno zdravstvo. Sposobnost AI-a da tumači i kvantificira podatke o

pacijentu poboljšava pristup pacijentovom kliničkom kontekstu, čineći pretrage vrijednijima u pružanju skrbi stavljajući pacijenta na prvo mjesto.

Kombinacija umjetne inteligencije i CDS-a poboljšava rad referenta i radiologa povećavajući prikladnost naručenih pretraga i povećavajući vrijednost izvješća. AI tehnologije imaju potencijal revolucionirati CDS unaprjeđenjem trenutnih sustava bodovanja u napredne algoritme koji uzimaju u obzir sveobuhvatan profil pacijenta i populaciju koja prima zdravstvenu skrb. Ova kombinacija ima potencijal pružiti strukturiranije smjernice i automatizirano prikupljanje podataka, poboljšavajući učinkovitost tijeka rada i brigu o pacijentima putem odluka temeljenih na podacima [9].

Područje radiologije prolazi kroz značajnu preobrazbu od primarno subjektivne percepcijske vještine prema objektivnijoj znanosti, zahvaljujući stalno rastućoj količini slikovnih podataka i sposobnosti identificiranja nalaza koji mogu promaknuti ljudskoj percepciji. Ova je evolucija nužna jer je rad radiologa trenutno otežan subjektivnošću i varijabilnošću među dijagnostičarima, kao i štetnim učincima zamora. Napori uloženi u rješavanje varijabilnosti između više radiologa kao i varijabilnosti jednog te istog radiologa, zatim i poboljšanje reproducibilnosti medicinskih snimki, tijekom vremena naglašavaju važnost dosljednih radioloških ishoda. To je u skladu sa širim trendom dijeljenja podataka, što olakšava suradnju i razvoj opsežnijih modela.

AI ima potencijal unaprijediti radiologiju preuzimanjem mnogih rutinskih zadataka kao što su detekcija, karakterizacija i kvantifikacija, koje radiolozi trenutačno obavljaju ručno. AI također može integrirati rudarenje podataka iz elektroničkih zdravstvenih zapisa, dodatno ubrzavajući proces [15,16].

AI aplikacije mogu poboljšati ponovljivost tehničkih protokola, poboljšavajući kvalitetu slike i smanjujući dozu zračenja, skraćujući vrijeme MR pretraga i optimizirajući raspored osoblja i korištenje CT i MR uređaja, čime se smanjuju troškovi [12].

Prediktivna analitika vođena AI-om može imati ključnu ulogu u optimizaciji bolničkih radnih procesa i raspodjeli resursa, čime se smanjuju troškovi i poboljšava skrb za pacijente [11].

Uz rastuće troškove zdravstvene zaštite na globalnoj razini, ključno je da učinkovito koristimo naše ograničene resurse. AI može pomoći u tome, i to ne samo u kliničkim

uvjetima. Na primjer, AI bi mogao pomoći u zakazivanju termina za snimanje i predviđanju nepojavljivanja čak i prije nego što pacijent stigne na odjel. Ova mogućnost predviđanja može se koristiti za učinkovitije planiranje. Većina tih rješenja nije osmišljena za otkrivanje bolesti ili postavljanje dijagnoze pacijenta, već za optimizaciju perifernih okolnosti kao što je upravljanje narudžbama. Posljedično, oni nose manji rizik i podliježu manjem broju propisa, što olakšava njihovu primjenu u kliničkoj praksi. Unatoč tome, dostupnost i implementacija takvog softvera i dalje su ograničeni, što ukazuje na potencijal za rast industrije [13].

Opravdanje izloženosti medicinskom zračenju ključno je kako bi se osiguralo da koristi od pretrage nadmašuju rizike. AI potencijalno može pojednostaviti provedbu smjernica za kliničko oslikavanje automatskim analiziranjem nestrukturiranih radioloških preporuka za CT i MR skeniranja. Ova bi inovacija mogla poslužiti kao klinički alat za podršku odlučivanju, pomažući u revizijama opravdanosti i analizi u stvarnom vremenu. Sposobnosti AI-a da brzo analizira preporuke može retrospektivne revizije učiniti izvedivijima i isplativijima, eliminirajući potrebu za znatnim resursima i ručnom procjenom. To može kao rezultat povećati broj opravdanih pregleda, smanjiti izloženost zračenju i smanjiti opterećenje liste čekanja za CT i MR [17].

CT s pojačanim kontrastom koristi intravenski ili intraarterijski kontrastni medij za poboljšanje vizualizacije anatomije i patologije. Međutim, postoje rizici povezani s njegovom uporabom, uključujući nuspojave i komplikacije od ekstravazacije i zračne embolije. U svijetu također postoji nestašica kontrastnih sredstava. Razvijene su DL tehnike za sintetiziranje CT slika pojačanih kontrastom iz CT skeniranja bez kontrasta, čime se poboljšava procjena struktura poput medijastinalnih limfnih čvorova i povećava dijagnostička točnost CT-a abdomena za pacijente s akutnom abdominalnom boli. Sintetičko poboljšanje kontrasta mogla bi biti vrijedna tehnika naknadne obrade [17].

### **3.3 WEAKNESS – STANDARDI I „CRNE KUTIJE“**

Praktičnu primjenu ML-a u radiologiji i radiološkoj tehnologiji sprječava nekoliko čimbenika, uključujući nedostatak integriranih rješenja industrijskih dobavljača i nedostatak strukturiranih arhiva kliničkih podataka. Retrospektivna upotreba podataka ograničena je zbog prevladavanja slikovnih izvješća sa slobodnim tekstom, koja se ne mogu lako koristiti za obuku AI algoritama. Vanjska ograničenja uključuju potrebu za naprednim sustavima pohrane za rukovanje velikim količinama podataka koje zahtijevaju DL algoritmi. Osim toga, nedostaju jasni multidisciplinarni planovi i standardizacija za implementaciju ML-a u radiološku tehnologiju, što zahtijeva jasnu definiciju uloge radiologa i radiološkog tehnologa u ovom polju koje se razvija [7].

U pregledu iz 2021. istraživači su željeli istražiti trenutno stanje komercijalno dostupnog softvera AI za radiologiju i pregledati dostupnost njihovih znanstvenih dokaza. Pregled je uključivao 100 AI proizvoda s oznakom CE od 54 različita dobavljača. Za 64/100 proizvoda nije bilo recenziranih dokaza o njegovoj učinkovitosti. Postojala je velika heterogenost u metodama implementacije, modelima određivanja cijena i regulatornim klasama. Dokazi o preostalih 36/100 proizvoda sadržavali su 237 radova koji su se pretežno (65%) usredotočili na dijagnostičku točnost. Od 100 proizvoda, samo 18/100 AI proizvoda ima (potencijalni) klinički učinak [8].

Algoritmi DL-a ističu se svojom skalabilnošću s podacima, a kako se generiranje podataka ubrzava i istraživački naponi intenziviraju, očekuje se da će doći do proporcionalnih poboljšanja performansi. Standardiziranje istraživačkih metodologija ključno je za točnu procjenu utjecaja AI-a na ishode pacijenata. Uz ponovljivost i mogućnost generalizacije, usvajanje dosljednih usporednih skupova podataka, metrike performansi, slikovnih protokola i formata izvješća ključno je za osiguranje nepristranog eksperimentiranja i evaluacije [6,16]. Jedan od glavnih izazova u radiomici je nedostatak standardizacije i validacije slikovnih biomarkera, što može ugroziti pouzdanost i ponovljivost rezultata [11].

Uspostavljanje standarda i infrastrukture, kao i stvaranje kategoričkog modela za razumijevanje vrijednosti AI-a u kliničkim i istraživačkim okruženjima, ključni su za napredak umjetne inteligencije u radiološkoj tehnologiji. Razvijanje mreža za dijeljenje slika, referentnih skupova podataka, standardiziranih protokola i standardiziranog jezika za AI aplikacije uvelike bi pomoglo implementaciji AI-a u radiološkoj tehnologiji. Kontrola kvalitete, integritet podataka, standardi upravljanja i informatički sustavi također su važni za spomenuti. Mreža za dijeljenje slika olakšala bi korištenje referentnih skupova podataka za testiranje, usporedbu i optimiziranje AI programa te odabir onih koji najviše obećavaju za daljnji razvoj i kliničku upotrebu. Standardizirani protokoli za snimanje riješili bi varijabilnost i osigurali dosljedne rezultate za AI aplikacije. Razvijanje zajedničkog leksikona poput "AI-RADS" poboljšalo bi komunikaciju i razumijevanje među korisnicima. [2,18].

Iako ML tehnike imaju priliku poboljšati radiologiju, njihovu širu primjenu onemogućava nekoliko unutarnjih prepreka. Velika je zabrinutost zbog neprozirnosti ML sustava, koji se često nazivaju sustavima "crne kutije". Zbog ove neprozirnosti radiolozima je teško vjerovati i razumjeti proces donošenja odluka ovih algoritama. To izaziva etičke i pravne probleme i značajan je čimbenik u nevoljkosti radiologa da usvoje sustave ML-a [7].

Prijelaz s programa temeljenih na pravilima na algoritme dubokog učenja temeljene na podacima potaknuo je rasprave o interpretabilnosti i transparentnosti. Unatoč uspjesima DL-a, ostaje nedostatak sveobuhvatnog teorijskog razumijevanja, otuda izraz "skriveni slojevi" za slojeve između ulaza i izlaza. Identificiranje specifičnih značajki slike koje pridonose predviđanju u velikoj je mjeri spekulativno, čineći proces donošenja odluka nejasnim. Ovaj nedostatak transparentnosti čini izazovnim predviđanje neuspjeha, rješavanje pitanja generalizacije ili objašnjavanje logike iza određenih zaključaka. Posljedično, mnogi AI sustavi u radiologiji kolokvijalno se nazivaju "medicina crne kutije" aludirajući pritom na već spomenuti naziv za ML sustave [6,11,17].

### 3.4 WEAKNESS – ODLIKE SKUPOVA PODATAKA

AI je dobar samo onoliko koliko su podaci korišteni za njegovo treniranje, ili, kako informatičari vole reći, njegova izvedba slijedi princip "smeće unutra, smeće van" [16]. Algoritmi AI-a zahtijevaju ogromne količine podataka za učinkovitu obuku, ali ograničeni pristup zbog institucionalnih prepreka i vlasničkih interesa može rezultirati nedovoljnim kvalitetnim ili premalnim skupovima za obuku, što dovodi do potencijalnog „overfittinga“ i smanjene točnosti ili generalizacije. Sposobnost AI-a da se nosi s različitim populacijama pacijenata i varijacijama u protokolima za dobivanje slika također je neizvjesna, što može dovesti do pogrešaka i utjecati na točnost rezultata, posebno kada se definira normalno naspram abnormalnog u kontinuirano promjenjivim biološkim podacima. Kako bi se osigurao uspjeh AI-a u radiološkoj tehnologiji, ključno je razviti programe koji se mogu prilagoditi različitim protokolima za prikupljanje podataka i dobro funkcionirati u nizu demografskih skupina pacijenata [2,17].

Bitno je uspostaviti međusobno povezanu mrežu deidentificiranih podataka o pacijentima iz različitih regija. Uvježbavanje algoritama AI-a na ovom opširnom skupu podataka rezultirat će robusnim i generaliziranim sustavom umjetne inteligencije, prilagodljivim različitim demografskim skupinama pacijenata, geografskim područjima, bolestima i standardima skrbi [6].

ML algoritmi ovise o kvalitetnim podacima za obuku, ali generiranje označenih podataka je skupo i dugotrajno. Nenadzirani i polunadzirani ML algoritmi razvijaju se kako bi se smanjilo opterećenje, ali trenutno nisu na razini.

Još jedan izazov je velika količina podataka o obuci koju zahtijevaju ML i DL algoritmi, te mogućnost „overfittinga“ ako model nije dobro istreniran tijekom obuke. To može dovesti do modela koji ima lošu izvedbu na novim podacima s kojima se nije dosad susretao. Razvoj naprednih ML tehnika i potreba za obradom golemih količina digitalnih podataka također su doveli do povećanih hardverskih zahtjeva, što može dovesti do povećanja troškova [7].



Postoji nekoliko izazova svojstvenih implementaciji AI u radiološkoj tehnologiji, uključujući određivanje „izvora istine“ za validaciju rezultata, postizanje brzine obrade koja je dovoljno dobra za kliničku relevantnost, razvoj programa AI-a tolerantnih na različite protokole i uspostavljanje kriterija za određivanje valjanosti programa kod specifičnih populacija pacijenata. Bitan aspekt razvoja programa AI-a i kliničke primjene istoga je uspostavljanje opširnog "izvora istine" za provjeru ispravnosti, posebno kada se koriste tehnike učenja pod nadzorom obučene na poznatim slučajevima. Ovaj „izvor istine“ mora biti rigorozno definiran i eksplicitno naveden za svaki AI program. Trenutačno medicinskim ustanovama općenito nedostaju računalni sustavi sposobni za isporuku rezultata unutar klinički relevantnih vremenskih okvira za hitne dijagnoze [2].

Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se potvrdila točnost algoritama rekonstrukcije temeljenih na dubokom učenju i njihova sposobnost ispravne replikacije rijetko viđenih struktura, budući da početne pogreške napravljene tijekom ove faze mogu imati štetne posljedice na ishode pacijenata [6].

Jedno od ograničenja trenutnih AI alata je njihova specijalizacija za obavljanje samo jednog zadatka. Tek se treba izumiti sveobuhvatan AI sustav koji je sposoban detektirati više patologija u cijelom ljudskom tijelu. Podaci ostaju najvažniji element za učinkovito osposobljavanje AI sustava. Zbog značajnog dijela stanovništva koji se godišnje podvrgava CT i MR pregledima, količina generiranih medicinskih zapisa je ogromna. Implementacija naprednih digitalnih zdravstvenih sustava, kao što je PACS, olakšala je sustavnu organizaciju i pohranu ovih slika.

Iako su dostupne velike količine medicinskih podataka, oni su često neobrađeni, što predstavlja značajan izazov za obuku AI modela. Probir koji uključuje odabir relevantnih skupina pacijenata i segmentiranje objekata unutar slika, osigurava kvalitetu i dosljednost podataka. To je dugotrajan i skup proces koji zahtijeva poznavanje područja i stručnost kako bi se osigurala vjerodostojnost. Ogromne količine podataka koje je potrebno obraditi, o čemu su metode dubokog učenja posebno ovisne, dodatno kompliciraju ovaj izazov [11,12].

### 3.5 WEAKNESS – UTJECAJ NA STRUKU

Radiološka tehnologija i radiologija doživjeli su brzi tehnološki napredak, a radiološki tehnolozi i radiolozi imali su velike koristi od digitalnih sustava. Međutim, postoji zabrinutost zbog mogućeg utjecaja umjetne inteligencije na profesiju. [2]

Obermeyer i Emanuel [19] u članku za New England Journal of Medicine predviđaju da će strojno učenje preuzeti većinu posla radiologa i anatomskih patologa te da će strojevi uskoro biti precizniji od ljudi. Slično, Chockley i Emanuel [20] tvrde u JACR-u da će strojno učenje postati dominantna sila u sljedećem desetljeću i da bi potencijalno moglo uzrokovati nestanak radiologije kao specijalnosti.

Geoff Hinton, britansko-kanadski je informatičar i kognitivni psiholog. Hinton je poznat po svom razvojnom radu na području umjetnih neuronskih mreža i dubokog učenja. Dao je značajan doprinos razvoju algoritama neuronskih mreža. Također je skovao izraz "duboko učenje".

U intervjuu iz 2016. Hinton je iznio svoju kontroverznu perspektivu o budućnosti radiologije: Hinton vjeruje da je polje radiologije na pragu značajnog poremećaja zbog brzog napretka dubokog učenja i umjetne inteligencije. Sugerira da je uzaludno nastaviti s opsežnom obukom radiologa, budući da će njihove uloge neizbježno promijeniti AI u sljedećih pet do deset godina. On tvrdi da će sustavi dubokog učenja nadmašiti ljudske radiologe u performansama zbog svoje sposobnosti akumuliranja i obrade golemih količina podataka i iskustva.

Od tada je ublažio svoj stav, ali nije odustao od svog predviđanja: “Da, bio sam u krivu u vezi s vremenskom skalom, ali AI je već usporediv s radiolozima za nekoliko vrsta slika. Čini se vjerojatnim da će za nekoliko godina AI rutinski davati drugo mišljenje, a za još 10 godina drugo mišljenje će biti bolje od ljudskog.” [21,22]

Radiološki tehnolozi i radiolozi bili su na čelu digitalne revolucije u medicini. Oni su bili prvi medicinski djelatnici koji su prihvatili informatiku i sada su među digitalno

najvještijim zdravstvenim djelatnicima. Iako su se nove tehnologije u početku usredotočile na tehnike snimanja, također su promjenile obradu, prezentaciju i pohranu slika.

Povijest je pokazala da su radiološki tehnolozi i radiolozi uspješno uključili naizgled ne tako srodne tehnologije, kao što su modaliteti koji se ne temelje na rendgenskim zrakama poput ultrazvuka i MR-a, u svoju praksu. Kao rezultat toga, definicija "radiologije" je proširena kako bi uključila modalitete snimanja bez zračenja, tako da ona obuhvaća gotovo sva dijagnostička medicinska snimanja. Nadalje, elektronički sustavi za izvješćivanje i arhiviranje slika dizajnirani su imajući na umu radiologe, odražavajući njihovu središnju ulogu u zdravstvu [15].

Iako je teoretski moguće da bi povećana učinkovitost koju donosi umjetna inteligencija mogla smanjiti broj potrebnih radiologa, također je moguće da bi se moglo dogoditi suprotno i da bi to područje moglo zahtijevati još više stručnjaka. Povijesno gledano, automatizacija nije rezultirala gubitkom posla, već preoblikovanjem uloga. Povećanje učinkovitosti koje pruža umjetna inteligencija omogućit će radiolozima da se usredotoče na druge zadatke, kao što su integracija kliničkih i slikovnih podataka o pacijentu, više profesionalnih interakcija, da postanu vidljiviji pacijentima i da osnaže svoju ulogu u integriranim kliničkim timovima. Dakle, AI neće zamijeniti radiologe, ali je moguće da oni koji prihvate AI zamijene one koji to ne učine [12,15,16].

AI ima priliku promjeniti i uvelike poboljšati ulogu radiološkog tehnologa u tehnikama slikovnog prikaza. Međutim, ova razina automatizacije također izaziva zabrinutost zbog mogućeg smanjenja odgovornosti i uloga radioloških tehnologa. Dok zdravstvene organizacije istražuju prednosti AI tehnologija u poboljšanju učinkovitosti radioloških odjela, ključno je istovremeno proučiti određene rizike i odgovornosti. Pravni okviri naglašavaju ljudski nadzor i reviziju AI softvera, ograničavajući industrijske dobavljače na razvoj sustava koji zahtijevaju ljudski nadzor. Ovo predstavlja novi izazov za radiološke tehnologe, koji sada moraju razviti vještine potrebne za učinkovitu interakciju i nadgledanje ovih poluautomatiziranih sustava koji su vođeni umjetnom inteligencijom [4].

Povećana automatizacija dovest će do većeg protoka pacijenata i utjecati na potrebe osoblja. Uz kontinuirano povećanje broja snimanja, radiološki će tehnolozi morati razviti niz

kompetencija u različitim modalitetima. S obzirom na očekivanu važnost umjetne inteligencije u budućim pristupima snimanju, prvostupnici radiološke tehnologije trebali bi posjedovati temeljne vještine za rukovanje i nadgledanje prikupljanja slika u različitim modalitetima snimanja, povećavajući tako fleksibilnost radne snage. U tu svrhu, nastavni planovi i programi visokog obrazovanja trebali bi opremiti buduće radiološke tehnologe snažnim razumijevanjem umjetne inteligencije, strojnog učenja i dubokog učenja, omogućujući im pouzdanu i sigurnu interakciju s tim tehnologijama i ispunjavanje njihovog potencijala [4,14].

### **3.6 OPPORTUNITY – POMICANJE GRANICA**

Očekuje se da će AI unaprijediti procese temeljene na slikama u kliničkoj radiologiji, uključujući pretprocesiranje, izvješćivanje i dijagnostiku. Područje u kojem AI može imati značajan utjecaj je rekonstrukcija slike, budući da postoji sve veći jaz između napretka u hardveru za prikupljanje slika i softveru za rekonstrukciju slika. AI, posebice duboko učenje, može razviti inovativne metode za poboljšanje kvalitete slike i smanjenje artefakata. Kao primjer uzimimo CT. Algoritmi za CT rekonstrukcije desetljećima su ostali nepromijenjeni, a DL tu može pružiti alternativne pristupe. Nedavna istraživanja pokazala su prilagodljivost učenja DL-a u transformacijama rekonstrukcije kod niza tehnika MR snimanja. Istraživanje je također koristilo CNN-ove i sintetski generirane artefakte za spajanje podataka iz izvornih i ispravljenih slika kako bi se učinkovito smanjili metalni artefakti [6].

Tekstualni podaci izvedeni iz slikovnih izvješća mogu biti vrijedan izvor velikih podataka u zdravstvu. NLP kao podskup umjetne inteligencije, pojavio se kao obećavajuće rješenje za rukovanje nestrukturiranim tekstom ovih izvješća i izvlačenje vrijednih informacija iz istih. NLP tehnike su napredovale za te omogućavaju učinkovitu obradu velikih količina tekstualnih podataka, a njihova primjena u radiologiji vrlo je obećavajuća. Trenutne NLP tehnologije uključuju lingvističke i ML statističke metode, s rastućim interesom za DL i pristupe koji se temelje na ontologiji.

Napredne CT i MR studije generiraju mnogo podataka, ali izazov je u generiranju označenih podataka. Transferno učenje i tehnike povećanja podataka koriste se kako bi se smanjila potreba za opsežnim označenim podacima. GAN-ovi također obećavaju u stvaranju velikih označenih skupova podataka i u poboljšanju kvalitete slike u low dose CT pretragama. Ovi NLP i ML pristupi mogu unaprijediti rukovanje i analizu slikovnih podataka u radiologiji i radiološkoj tehnologiji [7].

Primjene AI-a u zdravstvu otvaraju nove mogućnosti za izvlačenje vrijednih informacija iz slika, unapređujući preciznu medicinu. Koncept "radiomike" koristi dubinsko učenje za otkrivanje fenotipova matematičkih slika i njihovo povezivanje s genomikom i ishodima liječenja. Početni naponi u razvoju radiomičkih potpisa pokazuju potencijal za predviđanje terapijskog odgovora. AI bi mogao imati ključnu ulogu u otkrivanju novih slikovnih značajki za poboljšanje slikovnog fenotipa [2,12].

AI ima širok raspon potencijalnih primjena u radiologiji koje bi mogle imati neposredan pozitivan učinak:

- 1) Određivanje prioriteta izvješćivanja: AI može automatski odabrati nalaze koji zahtijevaju hitnu pozornost.
- 2) Usporedba trenutnih i prethodnih pretraga: AI može uštedjeti vrijeme usporedbom slika i davanjem podataka za izvješća, uzimajući u obzir vremenske intervale i režime terapije.
- 3) Brza identifikacija negativnih studija: AI se u početku može usredotočiti na osjetljivost i negativnu prediktivnu vrijednost, identificirajući normalne studije i ostavljajući abnormalne slučajeve radiolozima. Ovo je posebno korisno kod velike količine pregleda.
- 4) Združivanje elektroničkih medicinskih zapisa: Radiolozi mogu lako pristupiti kliničkim informacijama, pomažući prilagodbama protokola i tumačenju.
- 5) Automatsko ponovno pozivanje i ponovno planiranje: AI može zakazati praćenje snimanja za pacijente s relevantnim nalazima.
- 6) Podrška pri donošenju kliničkih odluka: umjetna inteligencija može pružiti neposrednu podršku za naručivanje, tumačenje i upravljanje njegom pacijenata.

7) Unutarnja revizija, stalna obuka i rad tehnologa: umjetna inteligencija može pomoći u kontroli kvalitete, recenziji i praćenju obuke radnika.

8) Rudarenje podataka: AI može izvući vrijedne uvide, uključujući upravljanje dozom zračenja [15].

Neke potencijalne primjene u radiološkoj tehnologiji koje bi mogle imati pozitivan učinak uključuju:

Radiografija prsnog koša najčešća je vrsta radiografske pretrage, pa su razvijeni uređaji s uključenom AI tehnologijom kako bi se poboljšala kvaliteta tih slika. GE-ov Critical Care Suite 2.0™ primjer je AI algoritma koji može procijeniti radiogram prsnog koša, otkriti anomalije poput pneumotoraksa i dati prioritet kritičnim nalazima. Ovi alati podupiru radiološke tehnologe u donošenju odluka o kvaliteti slike i dijagnostičkoj prihvatljivosti, u konačnici poboljšavajući skrb i sigurnost pacijenata [17].

Philips je razvio program s integriranim AI-om pod nazivom Radiology Smart Assistant™ koje analizira radiograme prsnog koša i pruža povratne informacije radiološkim tehnolozima u stvarnom vremenu o kolimaciji, rotaciji i udisaju. Pokazalo se da ova tehnologija poboljšava produktivnost odjela, smanjuje nepotrebno izlaganje zračenju i povećava točnost kolimacije slike [17].

Siemens Healthineers je razvio stropni rendgenski sustav pod nazivom YSIO X.pree™ koji koristi myExam 3D kameru za ubrzano dobivanje slike. Sustav uključuje AI algoritam koji automatski detektira prsni koš, čak i kroz odjeću, i prilagođava kolimaciju u skladu s tim, pomažući pri optimizaciji doze i omogućujući radiološkim tehnolozima da se više usredotoče na pacijente [17].

CT skeneri sa širokim detektorom imaju skraćeno vrijeme skeniranja, ali nedosljedno pozicioniranje pacijenta može dovesti do različitih količina doze i negativno utjecati na kvalitetu slike. Moderni CT skeneri koriste stropne 3D kamere s DL-om za automatsko točno pozicioniranje pacijenata, smanjujući ljudsku pogrešku i prilagođavajući dozu zračenja, poboljšavaju kvalitetu slike i skraćuju vrijeme skeniranja [17].

„Lokalizeri“ se koriste se za identifikaciju područja tijela koje treba skenirati CT-om, ali ovaj proces može biti nedosljedan i dovesti do nepotrebnog izlaganja zračenju pacijenata. Algoritmi DL-a mogu točnije identificirati područje interesa i odrediti optimalni raspon

skeniranja, smanjujući dozu zračenja. Tehnike rekonstrukcije temeljene na DL-u također mogu poboljšati kvalitetu slike i smanjiti šum u low dose CT skeniranju, što rezultira boljom kvalitetom slike i smanjenom izloženošću zračenju za pacijente [17].

Razvoj DL metoda rekonstrukcije slike omogućio je značajno smanjenje vremena MR skeniranja uz zadržavanje iste ili čak poboljšanje kvalitete slike, a tvrtke kao što su GE, Philips i Siemens Healthineers nude proizvode s ovom tehnologijom i spominju smanjenje vremena skeniranja od 50 do 80% [17].

Izloženost zračenju tijekom fluoroskopskih postupaka može uzrokovati štetu i pacijentima i medicinskom osoblju. Razvijen je fluoroskopski sustav s integriranim AI-om koji koristi duboko učenje za automatsku prilagodbu kolimacije u stvarnom vremenu, što rezultira značajnim smanjenjem (preko 60%) izloženosti zračenju za pacijente i osoblje uz zadržavanje visoke rezolucije [17].

### **3.7 OPPORTUNITY – MULTIDISCIPLINARNA SURADNJA**

Bliska suradnja između radiologa, radioloških tehnologa, razvojnih inženjera umjetne inteligencije i industrijskih partnera ključna je za poticanje inovacija, stvaranje naprednih AI sustava koji zadovoljavaju kliničke potrebe i osiguranje sigurne i učinkovite primjene istih [11,16].

Početni troškovi ulaganja u AI su vrtoglavi, a uključuju plaće razvojnih inženjera, zatim hardver i softver. Unatoč tome, odjeli i institucije koji razmišljaju o budućnosti prepoznat će vrijednost ulaganja u ove resurse za potporu istraživačima i uspostavljanje široko dostupnih laboratorija za umjetnu inteligenciju, slično drugim temeljnim laboratorijskim operacijama [2].

IBM-ovo neuspješno ulaganje od nekoliko milijardi dolara u Watson Health Project, AI algoritam koji je trebao unaprijediti zdravstvo, naglašava kako tehnološki divovi prepoznaju ogroman potencijal koji predstavlja implementacija AI-a u zdravstvo i spremni su na ogromna financijska ulaganja kako bi bili dio te priče [23].

Jedan od izazova s kojima se AI u radiologiji trenutačno suočava je ograničen broj istraživača obučeni za radiološke AI metode. Međutim, to se može riješiti privlačenjem stručnjaka za umjetnu inteligenciju u područje radiologije i kroz obrazovne inicijative koje već provode radiološka stručna društva. Povijesno gledano, važna područja brzo privlače sposobne pojedince, pa je malo vjerojatno da će to ostati dugoročni problem. Radiolozi će se morati upoznati s umjetnom inteligencijom, ali ne moraju nužno postati stručnjaci za istraživanje AI-a ili dizajn algoritama kako bi učinkovito koristili rezultate temeljene na AI-u [2].

Istraživanje iz 2019. pokazalo je sljedeće: "Što se tiče odnosa prema industriji, 139/270 radiologa (51,5%) bilo bi zainteresirano za sklapanje istraživačkog partnerstva, 88/270 (32,6%) bilo bi zainteresirano za ulaganje osobnih sredstava u AI tvrtku ili start-up, a 13/270 (4,8%) bi razmotrilo pokretanje vlastitog start-upa u ovom području." [24]

Umjetna inteligencija u radiologiji oslanja se na ljudsku inteligenciju za zadatke poput stvaranja skupova podataka za obuku i tumačenja rezultata. Stručnost radiologa ključna je za označavanje podataka i identificiranje kliničkih okvira u kojima AI može biti od pomoći. Oni također moraju interpretirati složene podatke koje AI generira i povezati ih s kliničkom praksom [15].

Nakon dovršetka kliničkih pretraga i generiranja radioloških izvješća, integrirana dijagnostika temeljena na AI može olakšati integraciju podataka iz višestrukih izvora diljem zdravstvene skrbi. To uključuje ne samo radiološka izvješća s detaljnim nalazima iz medicinskih slika i njihovih metapodataka, već i podatke iz kliničkih, patoloških i genomskih izvora. Osim toga, informacije iz nosivih uređaja, društvenih medija i drugih izvora koji kvantificiraju način života mogu pridonijeti vrijednim uvidima u sveobuhvatnu analizu pacijenata. Ova sveobuhvatna konsolidacija podataka ključna je za razvoj AI biomarkera s robusnom generalizacijom na različite krajnje točke [6].

Radiolozi bi trebali prepoznati vrijednost koju donose ovim skupovima podataka i kliničkim znanjem te pregovarati o svojoj ulozi u vođenju kliničke primjene programa umjetne inteligencije. To će uključivati sklapanje partnerstva s bioinženjerima i računalnim



znanstvenicima i uključivanje ovih stručnjaka u radiološke odjele kako bi se potaknula suradnja. Stvaranje multidisciplinarnog tima za umjetnu inteligenciju osigurati će ispunjavanje standarda sigurnosti pacijenata, održavanje pravne transparentnosti i odgovarajuću podjelu pravne odgovornosti [12,15].

### **3.8 THREAT – PITANJA ZAKONITOSTI, BRIGA O PODACIMA I SIGURNOST**

Na međunarodnoj razini, pitanja u vezi s pohranjivanjem i čuvanjem medicinskih i slikovnih podataka, posebno u sistemima temeljenim na „oblaku“, ostaju neriješena. Potrebne su jasne regulatorne smjernice kako bi se definirale odgovornosti i dužnosti radnika i ML sustava, uključujući privatnost i čuvanje podataka [7,11].

Regulatorna tijela poput Američka Agencija za hranu i lijekove, FDA (*engl. Food and Drug Administration*) desetljećima nadziru CAD sustave koji koriste ML i tehnike prepoznavanja uzoraka. Međutim, prijelaz na duboko učenje predstavlja nove regulatorne izazove i zahtijeva ažurirane smjernice kod odobravanja za rad. Važno je uzeti u obzir da se metode DL-a nastavljaju razvijati čak i nakon izlaska na tržište jer obrađuju sve veće količine podataka i uče iz njih. Stoga je bitno uzeti u obzir da se radi o obliku cjeloživotnog učenja u takvim adaptivnim sustavima. Jedno od mogućih rješenja je provođenje periodičnog testiranja u određenim intervalima kako bi se osiguralo da su performanse učenja i predviđanja usklađene s očekivanim projekcijama. Štoviše, ovi benchmarking testovi trebaju biti prilagođeni jedinstvenim karakteristikama AI algoritma.

S regulatornog stajališta, u tijeku su rasprave o tome imaju li regulatorna tijela zakonsko pravo preispitivati okvire umjetne inteligencije o matematičkom obrazloženju njihovih ishoda. Dok je ova linija ispitivanja izvediva s eksplicitno programiranim matematičkim modelima, ona postaje izazovnija s novijim AI metodama poput dubokog učenja, koje imaju neproziran unutarnji rad, kao što je prethodno spomenuto. Ispitivanje ogromnog broja čvorova i veza u neuronskoj mreži kako bi se razumio njihov stimulacijski slijed težak je zadatak. Kako se dubina mreže i broj čvorova povećavaju, donošenje odluka postaje složenije, a sustav postaje teže raščlaniti i analizirati. Vrijedi spomenuti da mnogi sigurni i

učinkoviti lijekovi koje je odobrila FDA također imaju nepoznate mehanizme djelovanja. Unatoč nezvjesnosti oko AI algoritama, FDA je već odobrila softverske aplikacije visokih performansi, priznajući da njihovi mehanizmi rada možda nisu potpuno transparentni [6]. Očekuje se da će FDA i europska regulatorna tijela imati ključnu ulogu u odobravanju AI programa za kliničku upotrebu, ali postupci za provjeru valjanosti tih programa za njihovu upotrebu ostaju nejasni. Osim toga, narav "crne kutije" AI programa postavlja pitanja o odgovornosti. Institucije će se također morati pozabaviti pravnim pitanjima u vezi s vlasništvom nad podacima i pravima na njihovo korištenje [2].

Drugo pitanje s kojim se treba suočiti su pravne implikacije AI sustava u zdravstvu. Čim AI sustavi počnu donositi autonomne odluke o dijagnozama i prognozama, te prestanu biti samo pomoćni alat, javlja se problem hoće li se, kada nešto 'pođe po zlu' nakon kliničke odluke koju donese AI aplikacija, očitavač (radiolog) ili sam uređaj i njegov dizajner smatrati odgovornim. Izgledno je da će multidisciplinarni AI timovi preuzeti odgovornost u teškim slučajevima, uzimajući u obzir ono što je AI predložio [12,15].

Upotreba podataka o pacijentima za obuku AI sustava potiče važna etička pitanja, a sigurno rukovanja tim podacima kako bi se zaštitila privatnost od presudne je važnosti. Obično se podaci o pacijentima pohranjuju unutar mreža medicinskih ustanova, a kada dođe do povezivanja tih podataka s vanjskim, naprednim AI sustavima za analizu, tada sigurnost i privatnost dolaze u pitanje. Zakon o prenosivosti i odgovornosti zdravstvenog osiguranja, HIPAA (*engl. Health Insurance Portability and Accountability Act*) u Sjedinjenim Državama izazvao je napredak u povezanim sustavima pohrane, poboljšavajući zaštitu privatnosti, a Opća uredba Europske unije o zaštiti podataka, GDPR (*engl. General Data Protection Regulation*) također postavlja stroge standarde za privatnost podataka, dajući pojedincima veću kontrolu nad vlastitim osobnim podacima i namećući stroge zahtjeve organizacijama koje postupaju s osobnim podacima [6].

Elektroničke baze podataka koje pohranjuju fotografije identiteta moraju biti osigurane unutar sustava otpornog na kibernetičke napade kako bi se zaštitili identiteti pojedinaca i osobni podaci od moguće krađe.

Zabrinutost oko privatnosti i sigurnosti podataka nije neutemeljena, kao što je pokazao napad ransomwarea Conti na zdravstveni IT sustav Irske 14. svibnja 2021., koji je ugrozio osjetljive podatke 520 pacijenata [25]. Ovaj incident naglašava potrebu za snažnim sigurnosnim mjerama za zaštitu osobnih podataka u kontekstu automatiziranih sustava osobne identifikacije u zdravstvu [17].

Traje razvoj sustava koji bi omogućili da više entiteta zajedno treniraju AI modele bez izlaganja svojih skupova podataka, dijeleći samo obučeni model. 'Federalno' učenje pohranjuje podatke lokalno, a uči zajednički model ažuriranjem, izbjegavajući tako dijeljenje podataka i pitanje privatnosti. 'Kriptoneti' su mreže dubokog učenja obučene na kriptiranim podacima, omogućavajući tako da samo vlasnik ključa može dešifrirati ishode. Ova rješenja imaju za cilj zaštitu privatnosti kroz razvoj ekosustava „podaci-AI“ koji je usklađen s propisima SAD-a i EU [6].

### **3.9 THREAT – OTPOR STRUKE, NEDOSTATAK INFORMIRANOSTI**

Percepcije opće populacije i medicinske zajednice o AI-u mogu se prezentirati kao vanjska prepreka, budući da postoji uvjerenje da strojevi ne mogu pružiti točnije dijagnoze od radiologa [7]. Ova vrsta protivljenja zajednice može predstavljati najveću prepreku potencijalnoj implementaciji umjetne inteligencije u radiologiju i istražuje se u kontekstu vanjskog čimbenika.

Studija objavljena 2021. u kojoj su intervjuirani britanski radiolozi i radiološki tehnolozi otkrila je da su tehnolozi izrazili zabrinutost zbog mogućeg utjecaja umjetne inteligencije na njihove vještine i sigurnost posla, što ukazuje na to da bi njihove uloge mogle biti ranjivije na utjecaj AI tehnologije.

Radiolozi su, s druge strane, bili manje zabrinuti da bi AI tehnologija mogla ograničiti njihovu profesionalnu ulogu i autonomiju, oni vjeruju da bi umjetna inteligencija potencijalno mogla unaprijediti njihove vještine [26].

U anketi iz 2019.: Sto devedeset i osam radiologa (198/270; 73,3%) procijenilo je da nisu dovoljno informirani o AI, a 37/270 (13,7%) izjavilo je da uopće nisu dobili nikakve prethodne informacije. Trideset i sedam (37/270; 13,7%) prisustvovalo je nekom obliku nastave o umjetnoj inteligenciji, a 73/270 (27,0%) odnosno 33/270 (12,2%) sudjelovalo je u jednom ili više seminara temeljenih oko umjetne inteligencije. Dvjesto trideset i jedan ispitanik (231/270, 85,6%) priznao je da nije pročitao nijednu (89/270; 33,0%) ili manje od pet (142/270; 52,6%) znanstvenih publikacija o umjetnoj inteligenciji u posljednjih 12 mjeseci. Na temelju gore navedenih kriterija, autori su procijenili da 62/270 ispitanika (23,0%) ima osnovno znanje o umjetnoj inteligenciji u radiologiji [24].

Zanimljivo je da je donedavno perspektiva radioloških tehnologa o usvajanju AI tehnologija i posljedičnom utjecaju na struku bila primjetno odsutna u stručnoj i industrijskoj literaturi. Ova šutnja je u oštroj suprotnosti sa raspravama i argumentima među radiolozima o ideji korištenja dijagnostičke AI tehnologije.

Od 2015. broj radova u radiološkim časopisima koji raspravljaju i procjenjuju umjetnu inteligenciju naglo je porastao jer su radiolozi brzo odgovorili na početnu zabrinutost oko erozije uloga i zastarjelosti iznoseći protuargumente koji ističu prednosti automatizacije AI kao pomoćnog alata, a ne zamjene za ljudsku stručnost. Iako bi se moglo nagađati da je ovaj porast interesa i rasprava među radiolozima bio motiviran željom da se zaštiti vlastita profesija, on je također poslužio za naglašavanje neizostavne vrijednosti ljudskih radnika u procesu snimanja - faktor koji se često zanemaruje u potrazi za povećanom dobiti i smanjenjem troškova [4].

U anketi [27] provedenoj 2020. o stručnjacima iz područja radiološke tehnologije u cijelom svijetu: udio ispitanika slaže se ( $n = 76$ , 26,2%) ili se donekle slaže ( $n = 70$ , 24,1%) da se osjećaju dobro pripremljenima za implementaciju novih AI tehnologija i inovacije u svakodnevnoj praksi. Od ispitanika, 31,4% ( $n = 91$ ) donekle je sigurno u korištenju AI tehnologija ili inovacija u svakodnevnoj praksi, dok se 44,1% ( $n = 128$ ) osjeća donekle pouzdano u korištenju AI terminologije. Neki se ispitanici ne slažu (82, 28,3%) ili se uopće ne slažu (55, 19,0%) da su radiološkim tehnolozima dovoljno dostupne obuke ili edukacije za AI. Većina se ispitanika slaže ( $n = 120$ , 41,4%) ili se u potpunosti slaže ( $n = 81$ , 27,9%) da bi nastava o AI tehnologiji trebala biti uključena u kurikulum radiološke tehnologije.

Većina ispitanika podržava [u potpunosti se slaže (n = 80, 27,6%) i slaže (n = 116, 40,0%)] da će AI promijeniti svakodnevnu praksu kliničke radiografije. Samo 2,8% (n = 8) ispitanika nije se složilo s ovim stavom.

Većina ispitanika donekle se slaže (n = 95, 32,8%) da će AI smanjiti opterećenje radne snage, dok se samo nekoliko (n = 6, 2,1%) izrazito ne slaže [27].

Istraživanje [28] je pokazalo da većina radiologa ima osnovno ili napredno znanje o umjetnoj inteligenciji, a to je povezano s pozitivnijim stavom prema umjetnoj inteligenciji, povećavajući vjerojatnost kliničkog usvajanja. Čini se da otvorenost prema tehnologiji AI može varirati od prihvaćanja kao nečeg neizbježnog do pozitivnog entuzijazma za takvu promjenu. Što je radna snaga obrazovanja u pogledu umjetne inteligencije, vidi se više razina pozitivnog, aktivnog prihvaćanja i angažmana [27].

Radiolozi obično gledaju na AI tehnologiju kao na priliku za profesionalni razvoj, dok su radiološki tehnolozi bili suzdržaniji, ističući moguću prijetnju koju AI predstavlja njihovim ulogama. Vjerojatno će uz veću dostupnost formalnog obrazovanja o umjetnoj inteligenciji za radiološke tehnologe, poboljšanu transparentnost AI algoritama i stavovi tehnologa prema umjetnoj inteligenciji postati povoljniji. Važno je napomenuti da su Yang i kolege [29] zaključili u pretražnom pregledu da se zamjena radiologa umjetnom inteligencijom smatra malo vjerojatnom u bliskoj budućnosti, a dionici su istaknuli potrebu za obukom i obrazovanjem budući da predviđaju značajan utjecaj na radiologiju.

Unatoč tome, mišljenje da će strojevi preuzeti njihov posao, smanjiti vrijednost struke i potražnju za poslom dijeli značajan dio radne snage radioloških tehnologa [27].

Ispitanici su naveli da bi umjetna inteligencija trebala biti integrirana u kurikulum radiološke tehnologije na sveučilištima, o tome je postojao konsenzus na svim kontinentima ispitanim u ovoj studiji. Potrebno je više obučavati i obrazovati kako bi se uspješno provela implementacija umjetne inteligencije u kliničku praksu, pri čemu ova gledišta dijele globalno svi ključni dionici ekosustava AI. Nedostatak razumijevanja može dovesti do nesigurnosti u tome kako shvatiti umjetnu inteligenciju u odnosu na radiografsku praksu/karijere, pa je stoga potrebno obrazovanje kako bi se izgradila stručnost potrebna za razumijevanje budućih smjerova u kojem će se ovo polje razvijati [27].

## 4. ZAKLJUČAK

Razvoj i evolucija umjetne inteligencije potaknuli su revoluciju u računalnoj znanosti, s dalekosežnim implikacijama za razne industrije, među kojima su i radiološka tehnologija i radiologija. Njezina integracija s ovim znanostima koje su oduvijek prihvaćale tehnološki napredak, ima velik potencijal. Umjetna inteligencija u radiologiji je obilježena svojom svestranošću, utjecajem na dijagnostiku i liječenje. Prednosti umjetne inteligencije u radiologiji su opsežne. Na strani pacijenata, AI poboljšava dijagnostičku točnost, rano otkrivanje bolesti i planiranje liječenja. U onkologiji, na primjer, umjetna inteligencija pomaže u otkrivanju i karakterizaciji lezija, ranijem otkrivanju novotvorina i kod planiranja liječenja tumora mozga. AI također poboljšava učinkovitost optimiziranjem radnih popisa, prethodnom analizom slučajeva i smanjenjem zamora radiologa. Međutim, postoje izazovi i ograničenja. Nedostatak integriranih rješenja, dobro strukturiranih kliničkih podataka i jasne standardizacije ometaju implementaciju umjetne inteligencije. Vanjski čimbenici, kao što su potreba za naprednim i sigurnim sustavima za pohranu velikih količina podataka, negativan stav struke prema ovoj tehnologiji i regulatorna ograničenja, predstavljaju prepreke. Zaključno, umjetna inteligencija ima priliku dovesti do promjene paradigme u radiološkoj tehnologiji i radiologiji, unaprijediti ova područja i poboljšati skrb o pacijentima i ishode. Iako izazovi postoje, prednosti integracije umjetne inteligencije su značajne i dalekosežne.

## 5. LITERATURA

1. McCorduck, P. *Machines Who Think*, 2nd ed., Natick, MA: A. K. Peters; ; 2004
2. Thrall JH, Li X, Li Q, Cruz C, Do S, Dreyer K, Brink J. Artificial Intelligence and Machine Learning in Radiology: Opportunities, Challenges, Pitfalls, and Criteria for Success. *J Am Coll Radiol*. 2018 Mar;15(3 Pt B):504-508. doi: 10.1016/j.jacr.2017.12.026. Epub 2018 Feb 4. PMID: 29402533.
3. Gore JC. Artificial intelligence in medical imaging. *Magn Reson Imaging*. 2020 May;68:A1-A4. doi: 10.1016/j.mri.2019.12.006. Epub 2019 Dec 16. PMID: 31857130.
4. Hardy M, Harvey H. Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession. *Br J Radiol*. 2020 Apr;93(1108):20190840. doi: 10.1259/bjr.20190840. Epub 2019 Dec 16. PMID: 31821024; PMCID: PMC7362930.
5. Kuhn, TS. *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press; 1962
6. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018 Aug;18(8):500-510. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5. PMID: 29777175; PMCID: PMC6268174.
7. Martín Noguerol T, Paulano-Godino F, Martín-Valdivia MT, Menias CO, Luna A. Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats Analysis of Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Radiology. *J Am Coll Radiol*. 2019 Sep;16(9 Pt B):1239-1247. doi: 10.1016/j.jacr.2019.05.047. PMID: 31492401.
8. van Leeuwen KG, Schalekamp S, Rutten MJCM, van Ginneken B, de Rooij M. Artificial intelligence in radiology: 100 commercially available products and their scientific evidence. *Eur Radiol*. 2021 Jun;31(6):3797-3804. doi: 10.1007/s00330-021-07892-z. Epub 2021 Apr 15. PMID: 33856519; PMCID: PMC8128724.
9. Bizzo BC, Almeida RR, Michalski MH, Alkasab TK. Artificial Intelligence and Clinical Decision Support for Radiologists and Referring Providers. *J Am Coll Radiol*. 2019 Sep;16(9 Pt B):1351-1356. doi: 10.1016/j.jacr.2019.06.010. PMID: 31492414.

10. Weihrich, Heinz (April 1982). "The TOWS matrix—a tool for situational analysis". *Long Range Planning*. 15 (2): 54–66. doi:10.1016/0024-6301(82)90120-0
11. Najjar R. Redefining Radiology: A Review of Artificial Intelligence Integration in Medical Imaging. *Diagnostics* (Basel). 2023 Aug 25;13(17):2760. doi: 10.3390/diagnostics13172760. PMID: 37685300; PMCID: PMC10487271.
12. Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *Eur Radiol Exp*. 2018 Oct 24;2(1):35. doi: 10.1186/s41747-018-0061-6. PMID: 30353365; PMCID: PMC6199205.
13. van Leeuwen KG, de Rooij M, Schalekamp S, van Ginneken B, Rutten MJCM. How does artificial intelligence in radiology improve efficiency and health outcomes? *Pediatr Radiol*. 2022 Oct;52(11):2087-2093. doi: 10.1007/s00247-021-05114-8. Epub 2021 Jun 12. PMID: 34117522; PMCID: PMC9537124.
14. Al-Naser YA. The impact of artificial intelligence on radiography as a profession: A narrative review. *J Med Imaging Radiat Sci*. 2023 Mar;54(1):162-166. doi: 10.1016/j.jmir.2022.10.196. Epub 2022 Nov 12. PMID: 36376210.
15. Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *Eur Radiol Exp*. 2018 Oct 24;2(1):35. doi: 10.1186/s41747-018-0061-6. PMID: 30353365; PMCID: PMC6199205.
16. Malamateniou C, Knapp KM, Pergola M, Woznitza N, Hardy M. Artificial intelligence in radiography: Where are we now and what does the future hold? *Radiography* (Lond). 2021 Oct;27 Suppl 1:S58-S62. doi: 10.1016/j.radi.2021.07.015. Epub 2021 Aug 8. PMID: 34380589.
17. Potočnik J, Foley S, Thomas E. Current and potential applications of artificial intelligence in medical imaging practice: A narrative review. *J Med Imaging Radiat Sci*. 2023 Jun;54(2):376-385. doi: 10.1016/j.jmir.2023.03.033. Epub 2023 Apr 14. PMID: 37062603.
18. Lindqwister AL, Hassanpour S, Lewis PJ, Sin JM. AI-RADS: An Artificial Intelligence Curriculum for Residents. *Acad Radiol*. 2021 Dec;28(12):1810-1816.



- doi: 10.1016/j.acra.2020.09.017. Epub 2020 Oct 16. PMID: 33071185; PMCID: PMC7563580.
19. Obermeyer Z, Emanuel EJ. Predicting the Future - Big Data, Machine Learning, and Clinical Medicine. *N Engl J Med.* 2016 Sep 29;375(13):1216-9. doi: 10.1056/NEJMp1606181. PMID: 27682033; PMCID: PMC5070532.
  20. Chockley K, Emanuel E. The End of Radiology? Three Threats to the Future Practice of Radiology. *J Am Coll Radiol.* 2016 Dec;13(12 Pt A):1415-1420. doi: 10.1016/j.jacr.2016.07.010. Epub 2016 Sep 18. PMID: 27652572.
  21. Geoff Hinton: On Radiology. November 24, 2016. [Internet] [Pristupljeno 18/06/2024] Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=2HMpRXstSvQ>
  22. @geoffreyhinton on x.com. 31/10/2023 [Internet] [Pristupljeno 18/06/2024] Dostupno na: <https://x.com/geoffreyhinton/status/1719451766599659591>
  23. Fazal MI, Patel ME, Tye J, Gupta Y. The past, present and future role of artificial intelligence in imaging. *Eur J Radiol.* 2018 Aug;105:246-250. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.06.020. Epub 2018 Jun 22. PMID: 30017288.
  24. Waymel Q, Badr S, Demondion X, Cotten A, Jacques T. Impact of the rise of artificial intelligence in radiology: What do radiologists think? *Diagn Interv Imaging.* 2019 Jun;100(6):327-336. doi: 10.1016/j.diii.2019.03.015. Epub 2019 May 6. PMID: 31072803.
  25. Health Service Executive. HSE publishes independent report on Conty cyber attack. Dostupno na: <https://www.hse.ie/eng/services/publications/conti-cyber-attack-on-the-hse-full-report.pdf> [Pristupljeno 18/06/2024]
  26. Chen Y, Stavropoulou C, Narasinkan R, Baker A, Scarbrough H. Professionals' responses to the introduction of AI innovations in radiology and their implications for future adoption: a qualitative study. *BMC Health Serv Res.* 2021 Aug 14;21(1):813. doi: 10.1186/s12913-021-06861-y. PMID: 34389014; PMCID: PMC8364018.
  27. Akudjedu TN, Torre S, Khine R, Katsifarakis D, Newman D, Malamateniou C. Knowledge, perceptions, and expectations of Artificial intelligence in radiography practice: A global radiography workforce survey. *J Med Imaging Radiat Sci.* 2023

Mar;54(1):104-116. doi: 10.1016/j.jmir.2022.11.016. Epub 2022 Dec 18. PMID: 36535859.

28. Huisman M, Ranschaert E, Parker W, Mastrodicasa D, Koci M, Pinto de Santos D, Coppola F, Morozov S, Zins M, Bohyn C, Koç U, Wu J, Veean S, Fleischmann D, Leiner T, Willeminck MJ. An international survey on AI in radiology in 1,041 radiologists and radiology residents part 1: fear of replacement, knowledge, and attitude. *Eur Radiol*. 2021 Sep;31(9):7058-7066. doi: 10.1007/s00330-021-07781-5. Epub 2021 Mar 20. PMID: 33744991; PMCID: PMC8379099.
29. Yang L, Ene IC, Arabi Belaghi R, Koff D, Stein N, Santaguida PL. Stakeholders' perspectives on the future of artificial intelligence in radiology: a scoping review. *Eur Radiol*. 2022 Mar;32(3):1477-1495. doi: 10.1007/s00330-021-08214-z. Epub 2021 Sep 21. PMID: 34545445.

## **6. ŽIVOTOPIS**

### **OSOBNI PODACI**

Ime i prezime: Mihovil Delija

Datum rođenja: 7. rujna 1997.

Mjesto rođenja: Split

Država rođenja: Hrvatska