

Internetska platforma za anotaciju medicinskih slika i edukaciju eksperata

Cvetkovski, Ivor

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:785896>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Internetska platforma za anotaciju
medicinskih slika i edukaciju eksperata**

Rijeka, rujan 2024.

Ivor Cvetkovski
0069087922

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Internetska platforma za anotaciju
medicinskih slika i edukaciju eksperata**

Mentor: prof. dr. sc. Jonatan Lerga

Komentor: dr. sc. Franko Hržić

Rijeka, rujan 2024.

Ivor Cvetkovski
0069087922

Umjesto ove stranice umetnuti zadatak
za završni ili diplomski rad

Izjava o samostalnoj izradi rada

Izjavljujem da sam samostalno izradio ovaj rad.

Rijeka, rujan 2024.

Ivor Cvetkovski

Zahvala

Zahvaljujem mentoru prof. Jonatanu Lergi i v. asist. Franku Hrziću na podršci, korisnim raspravama i savjetima tijekom pisanja ovog rada.

Sadržaj

Popis slika	ix
Popis tablica	xi
1 Uvod	1
1.1 Usporedba postojećih platformi za anotaciju medicinskih slika	4
2 Specifikacija sustava	7
2.1 Odabrane tehnologije	8
2.1.1 Sučelje (engl. frontend)	9
2.1.2 Pozadinski poslužitelj (engl. backend)	9
2.1.3 Oblak (engl. cloud)	10
2.1.4 Implementacija	11
2.2 Opis modula	13
2.2.1 Autentifikacija	13
2.2.2 Admin kontrolna ploča	18
2.2.3 Korisnička kontrolna ploča	23
2.2.4 Označavanje slika	25
2.2.5 Izvoz podataka lokalno	29
2.2.6 Učitavanje podataka na <i>cloud</i>	29

3	Primjer uporabe	30
3.1	Scenarij: Anotacija radioloških snimaka za razvoj ML modela	30
3.1.1	Priprema zadatka	30
3.1.2	Dodjela zadatka i sigurnost prijenosa podataka	32
3.1.3	Proces anotacije	32
3.1.4	Pohrana i daljnja obrada podataka	34
4	Automatsko anotiranje rendgenskih slika uz pomoć ML modela	35
4.1	Izrada i implementacija ML modela	36
4.2	Implementacija aplikacije na AWS ECS	37
4.3	FastAPI framework	37
4.4	Primjer uporabe	38
4.5	Sigurnosne mjere i pohrana podataka	39
5	Prednosti i mane platforme te mogućnosti nadogradnje	40
5.1	Prednosti platforme	40
5.1.1	Vlasništvo i kontrola nad podacima	40
5.1.2	Primjena u edukaciji, kontroli i inovaciji	41
5.1.3	Skalabilnost i prilagodljivost zahtjevima korisnika	41
5.1.4	Podrška za ovlasti korisnika	41
5.2	Nedostaci platforme	42
5.2.1	Ograničenost korisničkog sučelja	42
5.2.2	Nedostatak naprednijih značajki	42
5.2.3	Povećani troškovi kod <i>cloud</i> implementacije	42
5.3	Mogućnosti nadogradnje	43
5.3.1	Uvođenje state managementa s Redux-om	43
5.3.2	Integracija React Query-a	43

Sadržaj

5.3.3	Uvođenje dvostupanjske autentifikacije (2FA)	43
5.3.4	Razvijeniji middleware za upravljanje pristupom	44
5.3.5	Razmatranje baze podataka: SQL vs NoSQL	44
5.4	Prednosti i mane korištenih tehnologija	44
5.4.1	Implementacija: AWS ECS	44
5.4.2	Development: Python i FastAPI	45
5.4.3	<i>Frontend</i> : Next.js i React	45
6	Zaključak	47
6.1	Pregled rada	47
6.2	Zaključak rada	48
	Bibliografija	49
	Sažetak	53

Popis slika

2.1	Struktura platforme	12
2.2	Forma za registraciju	15
2.3	Primjer prazne forme za registraciju i validacija polja	16
2.4	Forma za prijavu	17
2.5	Validacija polja za email	17
2.6	Validacija polja za lozinku	18
2.7	Pogreška prilikom prijave	19
2.8	Potvrda uspješne prijave	19
2.9	Admin kontrolna ploča	19
2.10	Forma za izradu projekta	20
2.11	Forma za izradu zadataka	21
2.12	Forma za definiranje oznaka	22
2.13	Korisnička kontrolna ploča	23
2.14	Pregled zadataka unutar projekta	24
2.15	Sustav za označavanje slika	25
2.16	Prikaz različitih statusa zadatka	26
2.17	Drugi i treći dio platforme, platno za označavanje i dio za uređivanje oznaka	28
3.1	Tijek radnji admina	31

Popis slika

3.2	Tijek radnji korisnika	32
4.1	Dio platforme za automatsko anotiranje	36

Popis tablica

1.1	Usporedba postojećih platformi za anotaciju medicinskih slika	6
-----	---	---

Poglavlje 1

Uvod

Posljednjih godina, strojno učenje [1] (engl. Machine Learning - ML) evoluiralo je u jednu od ključnih tehnologija u raznim područjima ljudskog djelovanja, s ciljem maksimiziranja poslovne učinkovitosti, postizanja konkurentnosti i povećanja vrijednosti proizvoda ili usluge. Jedno od brojnih područja primjene strojnog učenja su i medicinske znanosti.

Strojno učenje je područje umjetne inteligencije (engl. Artificial Intelligence - AI) [2] koje se bavi razvojem algoritama [3] i modela koji imaju sposobnost učenja iz podataka i prilagodbe novim situacijama bez eksplicitnog programiranja za specifične zadatke. Drugim riječima, ML omogućava računalnim sustavima da uče iz iskustva, detektiraju obrasce i koriste te informacije za donošenje odluka ili predviđanje ishoda u novim, nepoznatim situacijama.

Jedno od ključnih područja primjene strojnog učenja u medicini je obrada i analiza medicinskih slika, kao što su rendgenske snimke, snimke CT dijagnostike (engl. computed tomography - CT, hrv. kompjutorizirana tomografija) i druge vrste medicinske fotografske dokumentacije. Primjena ML-a u ovom kontekstu omogućuje značajna poboljšanja u dijagnostici, praćenju stanja pacijenata i razvoju novih terapijskih pristupa [4].

ML modeli koriste se za automatizirano prepoznavanje patoloških promjena, praćenje progresije bolesti kroz vrijeme, kao i kao pomoć u donošenju kliničkih odluka. Primjerice, ML modeli obučeni na velikim skupovima rendgenskih slika mogu pomoći

Poglavlje 1. Uvod

u ranoj detekciji bolesti poput karcinoma, što značajno povećava uspješnost liječenja [5].

Učinkovitost ML modela uvelike ovisi o dostupnosti velikih skupova visokokvalitetno anotiranih podataka. Anotacija podataka odnosi se na proces klasifikacije i označavanja podataka na način koji omogućava ML modelima da uče iz tih podataka [6]. U kontekstu medicinskih slika, to znači precizno označavanje različitih karakteristika vidljivih na slikama, poput prisutnosti tumora, prijeloma ili drugih patologija [7][8].

Kvalitetno anotirani podaci ključni su za omogućavanje ML modelima da prepoznaju složene obrasce i strukture na medicinskim slikama, što je presudno za postizanje visoke razine točnosti i pouzdanosti dijagnostičkih postupaka.

Jedan od najvećih izazova u primjeni ML-a u medicini odnosi se na poštivanje zakonske regulative vezane uz zaštitu podataka. Medicinski podaci pacijenata smatraju se izuzetno osjetljivima i podliježu strogim regulativama poput Opće uredbe o zaštiti podataka (engl. General Data Protection Regulation - GDPR) [9] u Europi i Zakona o prenosivosti i odgovornosti zdravstvenog osiguranja (engl. Health Insurance Portability and Accountability Act - HIPAA) [10] u Sjedinjenim Američkim Državama. Ove regulative zahtijevaju da se osobni podaci pacijenata tretiraju s najvećom pažnjom i sukladno sigurnosnim standardima.

Zbog toga popularne platforme za anotaciju slika, poput Labelboxa [13], VGG Image Annotatora (VIA) [14] i CVAT-a [15], često nisu opcija za primjenu u medicini jer ne mogu jamčiti potrebnu razinu sigurnosti i privatnosti podataka. Navedene platforme obično koriste vanjske poslužitelje ili *cloud* usluge za pohranu podataka, što može predstavljati rizik za privatnost pacijenata [11].

Pri razvoju platforme opisane u ovom radu, pažnja je bila usmjerena na nekoliko ključnih zahtjeva koji se tiču sigurnosti, fleksibilnosti i efikasnosti u radu s medicinskim podacima:

- **Naglasak na sigurnosti podataka:** Platforma je dizajnirana s fokusom na zaštitu osjetljivih medicinskih podataka, uključujući implementaciju jednofaktorske autentifikacije i privremenih poveznica korištenih za pristup podacima na *cloud*-u, te lokalizacije podataka unutar bolničkog sustava.

- **Skalabilnost platforme:** Platforma mora biti skalabilna kako bi podržala rastuće potrebe bolničkih ustanova, s mogućnošću jednostavnog proširenja kapaciteta bez gubitka performansi ili sigurnosti.
- **Mogućnost pohrane na *cloud* i on-premise rješenja:** Rješenje omogućava fleksibilnost u pohrani podataka, s podrškom za lokalnu (on-premise) pohranu unutar bolnice ili na sigurnoj *cloud* infrastrukturi, ovisno o potrebama i regulativama bolničke ustanove.
- **Mogućnost dodjele zadataka drugim članovima tima:** Platforma omogućava admin korisnicima dodjelu specifičnih zadataka članovima tima, što osigurava organizirani rad i praćenje napretka unutar projekata.
- **Informativni dio:** Osim funkcionalnosti vezanih uz anotaciju, platforma također nudi segment za prikaz informativnog sadržaja, uključujući pregled izvršenih projekata, izvještaje i edukativne materijale.
- **AI/ML dio za automatsku anotaciju:** Platforma sadrži modul za integraciju s AI modelima koji omogućuju automatsku anotaciju medicinskih slika. Ovaj dio ilustrira kako automatizacija može olakšati proces anotiranja i ubrzati tijek rada, smanjujući opterećenje na radiologe i ostale stručnjake.

Ove smjernice osiguravaju da platforma zadovoljava visoke standarde kvalitete, sigurnosti i učinkovitosti, pružajući korisnicima alat koji je istovremeno fleksibilan, skalabilan i jednostavan za korištenje.

Cilj ovog rada je razviti specijaliziranu platformu za anotaciju medicinskih slika koja će zadovoljiti stroge zakonske zahtjeve i sigurnosne standarde vezane uz zaštitu podataka pacijenata. Ova platforma trebala bi služiti radiolozima i developerima u razvoju aplikacija za strojno učenje, omogućujući im sigurno i učinkovito upravljanje medicinskim podacima.

Rješenje će osigurati lokalnu pohranu podataka unutar bolničke infrastrukture ("on-premise" rješenje) ili korištenje *cloud* tehnologije koja zadovoljava sve potrebne zakonske preduvjete u kontekstu zaštite i privatnosti podataka [12]. Time će se osigurati da medicinski podaci ostanu pod potpunom kontrolom zdravstvenih ustanova, a korisnici će na raspolaganju imati alat za sigurno i učinkovito anotiranje i analizu

medicinskih slika.

1.1 Usporedba postojećih platformi za anotaciju medicinskih slika

Razvoj naprednih modela strojnog učenja u medicini ovisi o pristupu visokokvalitetno anotiranim medicinskim slikama. Međutim, stroge regulative vezane uz privatnost i sigurnost podataka u medicinskom sektoru često onemogućavaju prijenos medicinskih slika izvan bolničkih ustanova. Ova ograničenja nameću potrebu za specijaliziranim platformama koje ne samo da omogućuju učinkovitu anotaciju, već i zadovoljavaju visoke standarde sigurnosti i privatnosti podataka.

U ovom potpoglavlju provodi se detaljna usporedba postojećih platformi za anotaciju slika (Tablica 1.1), s posebnim naglaskom na njihove prednosti i nedostatke. Posebno je važno istaknuti što ovim platformama nedostaje u odnosu na specifične zahtjeve izgradnje lokalizirane i sigurne platforme za anotaciju medicinskih slika, koja bi mogla funkcionirati unutar strogih regulativnih okvira bolničkog sustava.

Usporedba prikazana u tablici (Tablica 1.1) jasno pokazuje da postojeće platforme nude određene prednosti, ali također imaju značajne nedostatke kada se koriste u specifičnom kontekstu medicinskih ustanova. Dok neke platforme, poput **Labelboxa**, nude intuitivno sučelje i napredne kolaborativne mogućnosti, one zahtijevaju pohranu podataka na vlastitim poslužiteljima, što može predstavljati sigurnosni rizik u medicinskom kontekstu. S druge strane, alati poput **VGG Image Annotatora (VIA)** omogućavaju rad offline i besplatni su, ali im nedostaju napredne funkcionalnosti koje su potrebne za kompleksne medicinske projekte [16].

CVAT i **Supervisely** nude robusne mogućnosti za naprednu anotaciju i razvoj ML modela [17], no složenost postavljanja i visoki troškovi mogu predstavljati značajnu prepreku za njihovu implementaciju u manjoj medicinskoj ustanovi. Također, nedostatak lokalne pohrane i sigurnosnih značajki kao što su jednofaktorska autentifikacija [18] i prilagodljivi alati za anotaciju dodatno ograničavaju njihovu primjenjivost.

Poglavlje 1. Uvod

Dakle, iako ove platforme nude različite funkcionalnosti koje mogu biti korisne u određenim scenarijima, nijedna od njih u potpunosti ne zadovoljava specifične potrebe medicinskih ustanova koje zahtijevaju visoku razinu sigurnosti, lokalnu pohranu podataka i mogućnost integracije s AI modelima unutar kontroliranog okruženja. Ovi nedostaci ističu potrebu za razvojem specijalizirane platforme koja će adresirati ove izazove i pružiti rješenje koje je u skladu sa strogim zahtjevima medicinskog sektora.

Platforma	Prednosti	Nedostaci	Što im nedostaje
Labelbox	<ul style="list-style-type: none"> - Intuitivno sučelje - Podrška za kolaboraciju unutar tima - API za jednostavnu integraciju s drugim alatima 	<ul style="list-style-type: none"> - Visoki troškovi pri većem broju korisnika - Podaci se pohranjuju na poslužiteljima platforme 	<ul style="list-style-type: none"> - Mogućnost lokalne pohrane podataka unutar bolničke mreže - Integracija s AI modelima za automatiziranu analizu
VIA	<ul style="list-style-type: none"> - Besplatna za korištenje - Omogućava rad offline - Podržava različite formate datoteka 	<ul style="list-style-type: none"> - Ograničene funkcionalnosti u usporedbi s naprednijim alatima - Nedostatak naprednih mogućnosti upravljanja timovima i zadacima 	<ul style="list-style-type: none"> - Mogućnost <i>cloud</i> pohrane podataka - Opcija za dodjelu zadataka korisnicima - Integracija s AI modelima za napredno procesiranje
CVAT	<ul style="list-style-type: none"> - Napredne funkcije za detaljnu anotaciju - Omogućava timsku kolaboraciju - Open-source karakter omogućava prilagodbe 	<ul style="list-style-type: none"> - Složeniji za inicijalno postavljanje i korištenje - Potrebno tehničko znanje za implementaciju i održavanje 	<ul style="list-style-type: none"> - Fleksibilne opcije za prilagodbu anotacijskih alata - Izravna integracija s AI modelima
Supervisely	<ul style="list-style-type: none"> - Intuitivno sučelje - Sveobuhvatne mogućnosti za razvoj ML modela - Snažne kolaborativne funkcionalnosti 	<ul style="list-style-type: none"> - Visoka cijena, posebno za veće timove - Podaci se pohranjuju na eksternim poslužiteljima platforme 	<ul style="list-style-type: none"> - Lokalna mreža pohrane unutar bolničke mreže

Tablica 1.1 Usporedba postojećih platformi za anotaciju medicinskih slika

Poglavlje 2

Specifikacija sustava

Razvijena platforma posjeduje nekoliko ključnih funkcionalnosti koje omogućavaju sigurno, učinkovito i fleksibilno korištenje u medicinskom okruženju. Svaka od ovih funkcionalnosti pažljivo je osmišljena kako bi zadovoljila visoke standarde sigurnosti i performansi, što je od presudne važnosti pri radu s osjetljivim medicinskim podacima. Ova platforma nudi cjelovito rješenje koje zadovoljava potrebe radiologa i developera, osiguravajući sigurnu i fleksibilnu obradu medicinskih slika u skladu s najvišim standardima zaštite podataka i učinkovitosti rada. Platforma je namijenjena za primjenu u bolnici u Grazu, pa je zbog toga korišten engleski jezik kroz cijelu platformu.

- **Jednofaktorska autentifikacija (1f Auth):** Ova funkcionalnost omogućava siguran pristup platformi putem različitih razina korisničkih ovlasti, uključujući uloge administratora (admin) i korisnika (user). Implementacija jednofaktorske autentifikacije osigurava da samo ovlašteni korisnici mogu pristupiti osjetljivim podacima, čime se značajno smanjuje rizik od neovlaštenog pristupa [18].
- **Dodjela zadataka:** Administratori imaju mogućnost dodjele specifičnih zadataka korisnicima. Ovi zadaci uključuju anotaciju slika prema unaprijed definiranim oznakama, što omogućava strukturiranu i preciznu obradu podataka. Funkcionalnost dodjele zadataka ključna je za organizaciju rada unutar tima i osigurava da se svi zadaci dovrše na vrijeme i prema definiranim specifikacijama.

- **Fleksibilne opcije anotacije** [19]: Administratori definiraju oznake i odabiru način anotiranja, uključujući pravokutnike (square), poligone (polygon) i slobodno crtanje (freedraw). Ove opcije pružaju korisnicima fleksibilnost u prilagodbi alata za anotaciju specifičnim potrebama svakog projekta, omogućavajući precizno i učinkovito označavanje medicinskih slika.
- **Spremanje i izvoz podataka**: Korisnici imaju mogućnost spremanja svojih anotacija na *cloud* ili izvoza podataka u JSON [20] formatu. Ova funkcionalnost osigurava da su podaci uvijek dostupni za daljnju analizu, integraciju ili izvještavanje.
- **Sigurno pohranjivanje slika na *cloud***: Platforma omogućava sigurno spremanje slika na *cloud* uz poštivanje najviših standarda privatnosti i sigurnosti podataka. Također, moguće je upravljati IP adresama (engl. Internet Protocol address) koje imaju pristup samim podacima, te pristup podacima nije moguć na nijedan drugi način osim prethodnom autentifikacijom i dobivanjem privremenog URL-a (engl. Uniform Resource Locator) za pristup podacima.
- **Integracija AI modela**: Jedan od segmenata platforme omogućava korisnicima da učitaju slike koje se zatim automatski obrađuju pomoću Python modela. Takav tip integracije potencijalno rješava problem automatskog anotiranja podataka i prezentacije realiziranih projekata.

2.1 Odabrane tehnologije

U ovom dijelu rada detaljno su opisane tehnologije korištene u izradi platforme, uključujući *frontend*, *backend* i *cloud* [21] [22]. Svaka od ovih tehnologija odabrana je na temelju svojih specifičnih prednosti koje su ključne za sigurnu, učinkovitu i skalabilnu obradu medicinskih slika unutar bolničkog okruženja. Prilikom izbora tehnologija, uzeti su u obzir i budući zahtjevi za proširenje i održavanje sustava, osiguravajući da platforma može rasti i razvijati se u skladu s potrebama korisnika.

2.1.1 Sučelje (engl. frontend)

Za izgradnju sučelja platforme odabran je **Next.js** [23] s **App Routerom** [25]. Next.js je popularan React framework koji omogućava izradu modernih web aplikacija s optimiziranim performansama i poboljšanim korisničkim iskustvom.

Prednosti Next.js-a s App Routerom:

- **Prikaz na strani poslužitelja (engl. Server-side rendering - SSR) [24] i statičko generiranje stranica:** SSR omogućava brzo učitavanje stranica i poboljšane performanse u tražilicama (SEO), što je posebno važno za informativni segment platforme gdje su brzina učitavanja i dostupnost podataka ključni.
- **App Router [25]:** Ova nova značajka omogućava fleksibilno upravljanje rutama i komponentama, olakšavajući razvoj modularne aplikacije pri čemu je segment za anotaciju samo jedan od mnogih segmenata cjelokupne platforme. App Router također pojednostavljuje navigaciju i upravljanje stanjem aplikacije, što poboljšava korisničko iskustvo.
- **Sigurnost:** Next.js dolazi s ugrađenim sigurnosnim značajkama poput zaštite od XSS [26] (Cross-Site Scripting) napada i sigurno rukovanje korisničkim podacima. Ove značajke su ključne u medicinskim aplikacijama gdje je sigurnost podataka prioritet.
- **Jednostavna integracija s backend-om i cloud servisima:** Next.js omogućava glatku integraciju s *backend* sustavima kao što je Node.js [27] i *cloud* servisima poput AWS-a [28], što olakšava razvoj sigurnih i skalabilnih rješenja koja mogu učinkovito rukovati velikim količinama podataka.

2.1.2 Pozadinski poslužitelj (engl. backend)

Backend dio platforme razvijen je korištenjem **Node.js** runtime okruženja u kombinaciji s **Express** [29] frameworkom. Node.js omogućava izvršavanje JavaScript koda na poslužitelju, dok Express pruža lagan i fleksibilan okvir za izgradnju web aplikacija i API-ja [30].

Prednosti Node.js i Expressa:

- **Asinkrono rukovanje zahtjevima:** Node.js ima sposobnosti da asinkrono obrađuje veliki broj zahtjeva istovremeno. Ova karakteristika ključna je za obradu i pohranu medicinskih slika u stvarnom vremenu, omogućavajući visoku razinu učinkovitosti i nisku latenciju.
- **Lagana infrastruktura:** Express je minimalistički framework koji omogućava brz i učinkovit razvoj *backend* usluga s minimalnim opterećenjem poslužitelja. Ova jednostavnost rezultira smanjenom kompleksnošću koda i lakšim održavanjem aplikacije, što je važno za dugoročno održavanje i skalabilnost sustava.
- **Sigurnost i fleksibilnost:** Node.js i Express omogućavaju jednostavnu implementaciju sigurnosnih mjera poput autentifikacije i autorizacije, čime se osigurava visoka razina zaštite informacija.
- **Jedinstveni ekosustav za *frontend* i *backend*:** Korištenje JavaScripta i za *frontend* i za *backend* pojednostavljuje razvoj, olakšava uvođenje novih developera i smanjuje rizik od nesklada između različitih dijelova aplikacije. Također, integracija s *cloud* servisima poput AWS-a omogućava sigurno i skalabilno pohranjivanje podataka u *cloud*-u.

2.1.3 Oblak (engl. cloud)

Originalna namjena projekta je da uz *cloud* sadrži i lokalnu pohranu podataka radi veće sigurnosti i manje cijene hostinga što je kod *cloud* implementacije velika mana, no to bi zahtijevalo posebnu konfiguraciju projekta po svakom objektu u kojem bi se platforma koristila. Radi same jednostavnosti prezentacije projekta, detaljnije je obrađen *cloud* dio za pohranu podataka.

Za *cloud* servis odabran je **AWS (Amazon Web Services)** [28], vodeća platforma za *cloud* računalstvo koja nudi širok spektar usluga potrebnih za sigurno i skalabilno pohranjivanje i obradu medicinskih podataka.

Prednosti AWS-a:

- **Sigurnost:** AWS pruža napredne sigurnosne funkcionalnosti koje uključuju

Poglavlje 2. Specifikacija sustava

enkripciju podataka u mirovanju i tijekom prijenosa, strogu kontrolu pristupa, te usklađenost s globalnim regulativama poput HIPAA-e i GDPR-a. Ova sigurnosna rješenja omogućavaju pouzdanu zaštitu medicinskih podataka, što je od presudne važnosti u zdravstvenom sektoru.

- **Skalabilnost:** AWS omogućava jednostavno skaliranje resursa prema potrebi, čime se postiže da platforma može učinkovito obrađivati velike količine podataka uz istovremeni rad većeg broja korisnika, bez ugrožavanja performansi ili dostupnosti usluge.
- **Integracija s Node.js:** AWS nudi široku podršku za Node.js aplikacije, uključujući usluge poput AWS Lambda [31] za bezposlužiteljsko (engl. serverless) funkcionalnost i Amazon S3 [32] za sigurno pohranjivanje slika i podataka. Ova integracija omogućava razvoj aplikacija koje su istovremeno skalabilne i jednostavne za upravljanje.
- **Pouzdanost i dostupnost:** AWS infrastruktura poznata je po svojoj visokoj pouzdanosti i dostupnosti, osiguravajući da aplikacije ostanu operativne čak i tijekom neočekivanih događaja ili povećanog opterećenja. Ovakva razina pouzdanosti ključna je za osiguranje kontinuiteta poslovanja u medicinskim ustanovama.

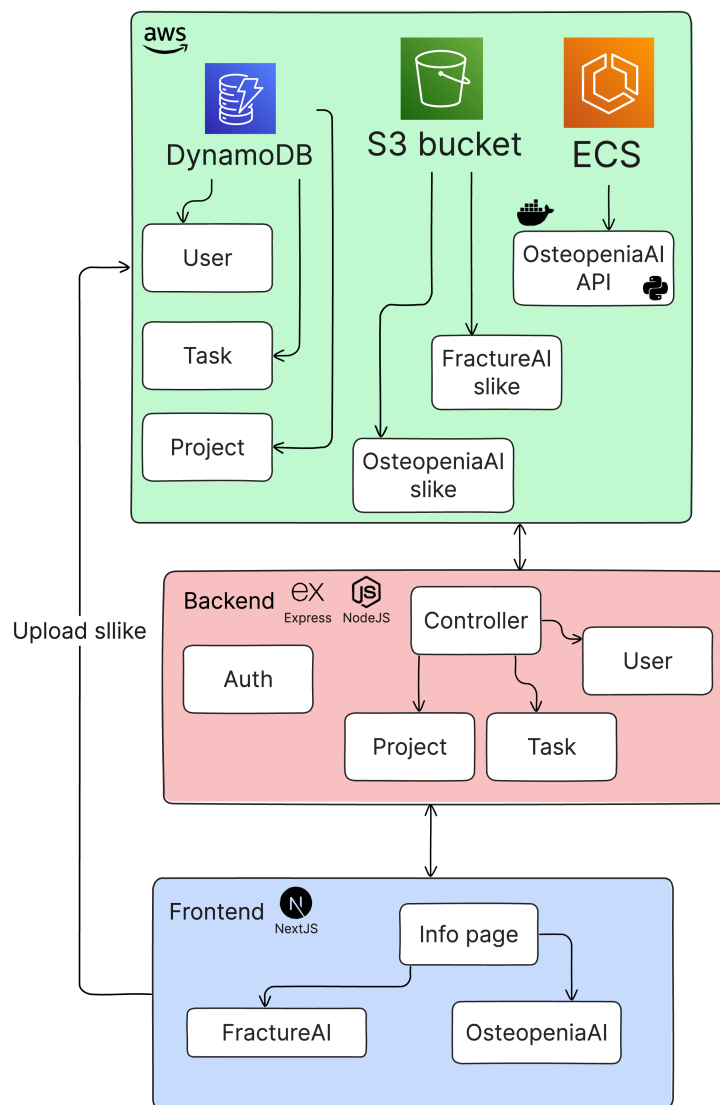
2.1.4 Implementacija

Za implementaciju platforme korišten je **Vercel** [33], servis specijaliziran za hosting *frontend* aplikacija, s posebnim naglaskom na Next.js aplikacije. Vercel omogućava jednostavno i učinkovito upravljanje procesom implementacija, osiguravajući optimizirane performanse i visoku dostupnost platforme.

Prednosti korištenja Vercela:

- **Optimizirana integracija s Next.js-om:** Budući da je Vercel razvijen od strane tvorca Next.js-a, nudi najbolje moguće performanse i podršku za sve značajke ovog frameworka.
- **Automatska implementacija:** Vercel omogućava automatsko implementiranje aplikacije pri svakoj promjeni koda, što značajno ubrzava iteracije i sma-

Poglavlje 2. Specifikacija sustava



Slika 2.1 Struktura platforme

njuje vrijeme potrebno za implementaciju novih značajki ili ispravke grešaka, bez potrebe za ručnim intervencijama ili downtime-om.

- **Sigurnost:** Vercel pruža napredne sigurnosne značajke poput SSL [34] enkripcije i integracije s VPC-om [35] (Virtual Private Cloud) na AWS-u, čime se osigurava siguran prijenos i pohrana podataka. Ova sigurnosna rješenja ključna

su za zaštitu osjetljivih podataka u medicinskim aplikacijama.

- **Jednostavno skaliranje:** Vercel omogućava automatsko skaliranje aplikacije prema potrebi, osiguravajući stabilnost i performanse platforme čak i pri povećanom broju korisnika ili tijekom intenzivnih perioda korištenja. Ova skalabilnost ključna je za održavanje kontinuiteta i učinkovitosti rada platforme.

Kombinacija ovih tehnologija omogućava izradu sigurne, skalabilne i učinkovite platforme koja ispunjava specifične zahtjeve za obradu medicinskih slika unutar bolničkog okruženja, bez potrebe za korištenjem vanjskih usluga trećih strana. Ova arhitektura osigurava (Slika 2.1) da svi aspekti platforme, od korisničkog sučelja do pohrane podataka, funkcioniraju u skladu s najvišim standardima, te nude što bolje korisničko iskustvo.

2.2 Opis modula

U ovom poglavlju bit će opisani moduli platforme, uključujući autentifikaciju kao ključni dio sustava sigurnosti. Autentifikacijski modul pruža jednofaktorsku autentifikaciju koja omogućava siguran pristup sustavu administratorima i korisnicima. Također su opisani moduli za upravljanje projektima, zadacima i oznakama, koji osiguravaju učinkovitu i organiziranu obradu medicinskih slika.

2.2.1 Autentifikacija

Autentifikacijski modul platforme obuhvaća sljedeće stavke:

- Registracija korisnika (admin i obični korisnici)
- Prijava korisnika (admin i obični korisnici)
- Validacija unosa
- Sigurno prenošenje informacija putem JWT-a (JSON Web Token)

Jednofaktorska autentifikacija osigurava da pristup sustavu imaju samo ovlašteni korisnici.

Tehnologija autentifikacije

Autentifikacija na *frontend*-u implementirana je korištenjem **NextAuth** [36] paketa, koji je popularan dodatak za Next.js aplikacije. NextAuth omogućava jednostavno upravljanje autentifikacijom putem različitih pružatelja identiteta (providers), s fleksibilnošću koja omogućava integraciju s raznim sustavima autentifikacije.

U ovom slučaju, korišten je **CredentialsProvider** [37], koji omogućava prijavu korisnika koristeći vlastite vjerodajnice, kao što su email i lozinka. CredentialsProvider koristi unesene podatke kako bi autentificirao korisnika putem API-a, osiguravajući da samo ovlašteni korisnici imaju pristup sustavu.

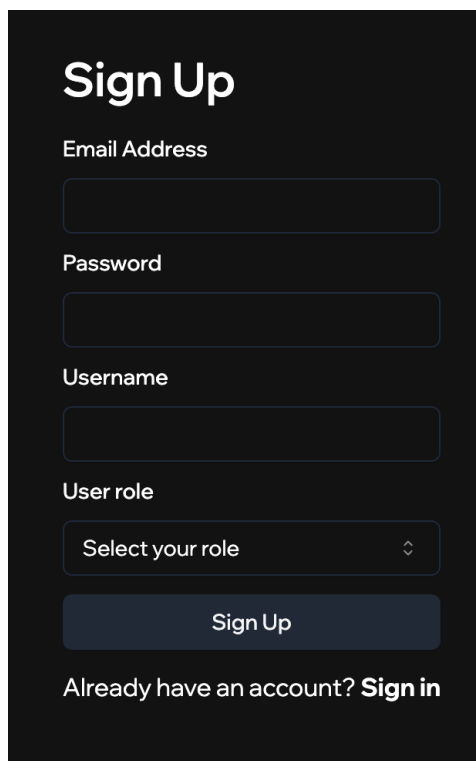
Autentifikacija je temeljena na **JWT** [38] (JSON Web Token) standardu, koji omogućava sigurno prenošenje informacija između dviju strana kao JSON objekta. JWT je kompaktan, URL-safe format koji se koristi za potvrdu identiteta korisnika. Kada se korisnik prijavi, generira se JWT koji sadrži informacije o korisniku, kao što su njegova uloga i status prijave. Ovaj token se zatim koristi za autentifikaciju svakog narednog zahtjeva korisnika prema *backend*-u, čime se osigurava da svaki zahtjev dolazi od ovlaštenog korisnika.

Registracija

Proces registracije omogućava novim korisnicima stvaranje računa na platformi. Tijekom registracije, korisnik u registracijsku formu (Slika 2.2) unosi sljedeće podatke:

- **Email adresa:** Mora biti valjana email adresa koja se provjerava tijekom procesa registracije.
- **Lozinka:** Lozinka mora zadovoljiti minimalne sigurnosne zahtjeve, uključujući minimalni broj znakova.
- **Korisničko ime:** Unikatno korisničko ime koje se koristi za identifikaciju unutar sustava.
- **Uloga (Admin/User):** Korisnik odabire svoju ulogu u sustavu, bilo kao admin ili običan korisnik.

Sva polja su obavezna, a za svako polje provodi se validacija na *frontend*-u i



Sign Up

Email Address

Password

Username

User role

Select your role ▾

Sign Up

Already have an account? **Sign in**

Slika 2.2 Forma za registraciju

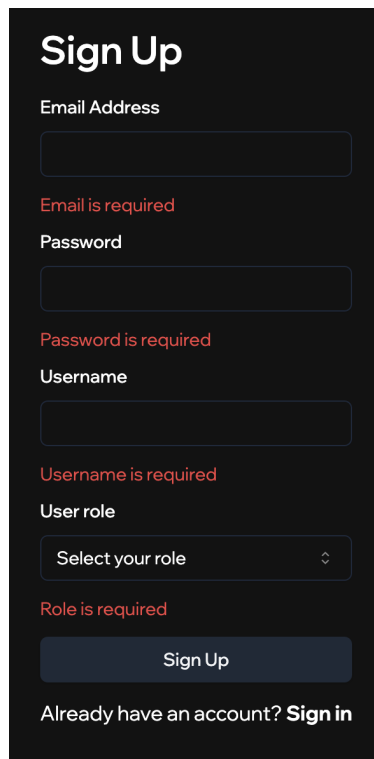
backend-u kako bi se osigurala ispravnost unesenih podataka. Ukoliko bilo koje polje nije ispravno popunjeno, već na *frontend* razini se korisniku prikazuje odgovarajuća poruka o grešci na samom polju, upozoravajući ga na pogrešku (Slika 2.3).

Ukoliko korisnik pokuša podnijeti formu bez ispunjavanja svih uvjeta, sistem će ga obavijestiti o greškama, a registracija neće biti moguća dok se svi uvjeti ne zadovolje. U slučaju uspješne registracije, korisnika se preusmjerava na stranicu za prijavu, gdje može pristupiti svom novom računu.

Admin prijava

Nakon uspješne registracije, admin korisnici mogu pristupiti sustavu putem stranice za prijavu (Slika 2.4). Prilikom prijave, admin korisnik unosi:

- **Email adresu:** Mora odgovarati email adresi korištenoj pri registraciji (Slika



The image shows a 'Sign Up' form with a dark background. The form contains the following fields and elements:

- Sign Up** (Title)
- Email Address** (Label)
- (Empty text input)
- Email is required** (Red error message)
- Password** (Label)
- (Empty text input)
- Password is required** (Red error message)
- Username** (Label)
- (Empty text input)
- Username is required** (Red error message)
- User role** (Label)
- (Dropdown menu)
- Role is required** (Red error message)
- (Submit button)
- Already have an account? **Sign in** (Link)

Slika 2.3 Primjer prazne forme za registraciju i validacija polja

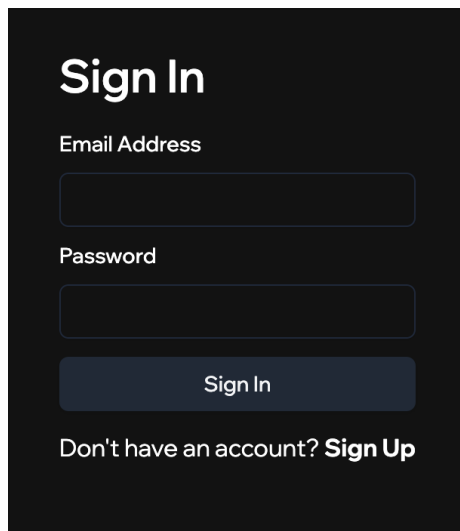
2.5).

- **Lozinku:** Lozinka mora biti točno unesena kako bi se pristupilo sustavu (Slika 2.6).

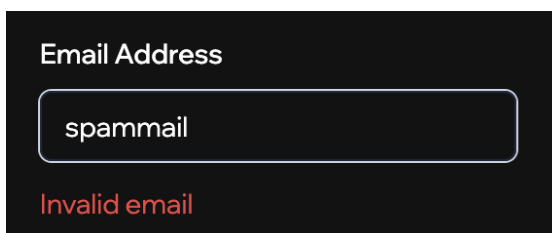
Na oba polja vrši se validacija unesenih podataka.

U slučaju da uneseni podaci nisu točni, korisniku se prikazuje generična poruka o pogrešci (Slika 2.7).

Generična poruka koristi se kako bi se spriječilo otkrivanje točnog uzroka greške, što je ključni sigurnosni mehanizam u zaštiti od potencijalnih napada. Iz sigurnosnih razloga prilikom prijave korisniku se ne smije ukazivati na točno područje njegove pogreške. U slučaju uspješne prijave, admin korisniku prikazuje se poruka o uspješnoj prijavi (Slika 2.8), nakon čega se korisnika preusmjerava na početnu stranicu koja odgovara njegovoj ulozi u sustavu.



Slika 2.4 Forma za prijavu

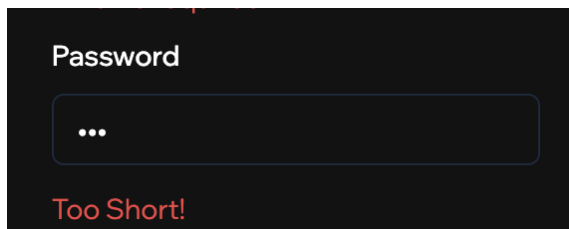


Slika 2.5 Validacija polja za email

Prijava običnog korisnika

Proces prijave za obične korisnike identičan je procesu prijave za admin korisnike, s razlikom da obični korisnici nakon prijave imaju pristup samo onim dijelovima sustava koji su relevantni za njihovu ulogu.

Kao i kod admin korisnika, obični korisnici unose svoju email adresu i lozinku, uz istu validaciju podataka i sigurnosne mjere. Ako korisnik uspješno unese ispravne podatke, prikazuje mu se poruka o uspješnosti, a zatim je preusmjeren na svoju početnu stranicu unutar sustava, koja je prilagođena njegovoj ulozi.



Slika 2.6 Validacija polja za lozinku

2.2.2 Admin kontrolna ploča

Admin korisnik na platformi ima pristup širokom spektru funkcionalnosti kroz admin kontrolnu ploču (Slika 2.9), uključujući:

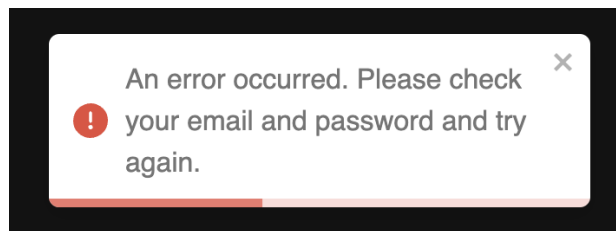
- Izrada novih projekata s detaljnim konfiguracijama.
- Upravljanje korisnicima i dodjeljivanje projekata.
- Definiranje oznaka i zadataka za anotaciju medicinskih slika.
- Učitavanje i organizacija slika unutar zadataka.
- Praćenje napretka projekata i zadataka u realnom vremenu.
- Upravljanje statusima projekata i korisničkih aktivnosti.

Nakon uspješne prijave, admin korisnik dobiva pristup admin kontrolnoj ploči, koja mu omogućava upravljanje svim aspektima platforme vezanim za projekte, zadatke i korisnike. Admin kontrolna ploča osmišljena je tako da olakša upravljanje i praćenje projekata na jednom mjestu, s naglaskom na jednostavnost korištenja i učinkovitost.

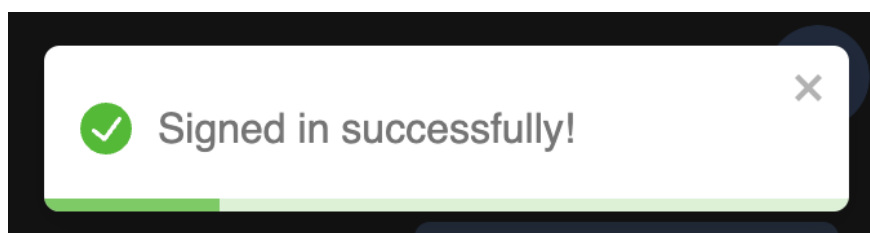
Izrada projekta

Na glavnoj stranici admin kontrolne ploče, prikazuju se svi projekti koje je admin izradio, u preglednom *grid* načinu prikaza. Ovaj prikaz omogućuje adminu brz uvid u sve projekte, njihove statuse i napredak. Na vrhu stranice nalazi se gumb za izradu novog projekta.

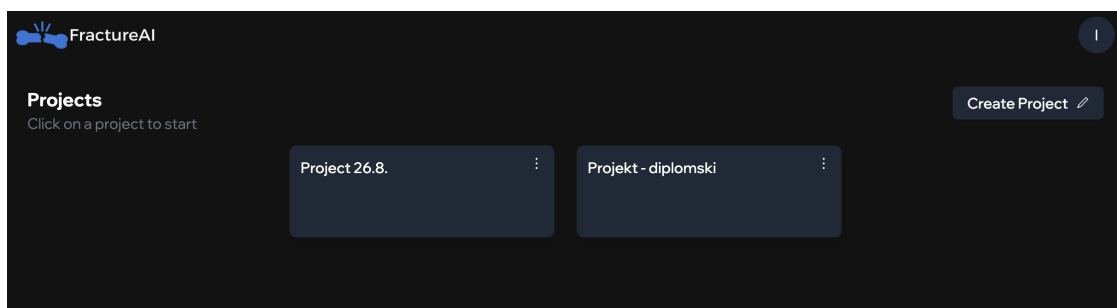
Poglavlje 2. Specifikacija sustava



Slika 2.7 Pogreška prilikom prijave



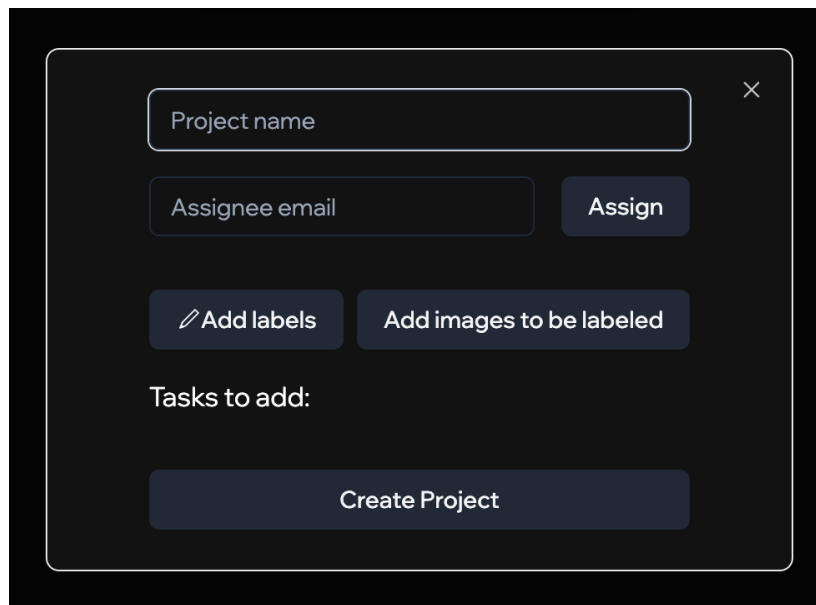
Slika 2.8 Potvrda uspješne prijave



Slika 2.9 Admin kontrolna ploča

Pritiskom na taj gumb, otvara se novi prozor unutar stranice koji sadrži formu za izradu projekta (Slika 2.10). Forma se sastoji od nekoliko ključnih polja:

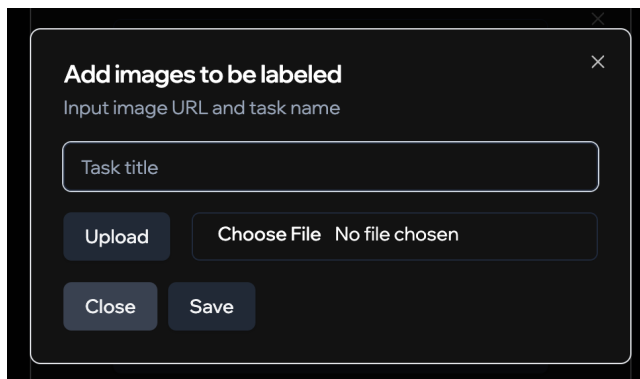
- **Ime projekta:** Admin unosi naziv projekta koji će biti vidljiv svim korisnicima kojima je projekt dodijeljen.
- **Email korisnika:** Admin unosi email adrese korisnika kojima će biti dodijeljen projekt. Ovi korisnici će biti odgovorni za izvršenje zadataka unutar projekta.

A dark-themed modal form for creating a project. It features a 'Project name' text input field at the top. Below it is an 'Assignee email' text input field and an 'Assign' button. Further down are two buttons: 'Add labels' (with a pencil icon) and 'Add images to be labeled'. Below these is the text 'Tasks to add:' followed by a large 'Create Project' button. A close button (X) is located in the top right corner of the modal.

Slika 2.10 Forma za izradu projekta

- **Dodavanje tipova oznaka:** Admin definira tipove oznaka koje će korisnici koristiti prilikom označavanja slika. Svaki tip oznake može imati određeni oblik (pravokutnik, poligon, slobodno crtanje) i ime koje će korisnici koristiti prilikom označavanja.
- **Definiranje zadataka:** Svaki projekt može sadržavati više zadataka. Za svaki zadatak, admin unosi ime zadatka i dodaje sliku koju će korisnici označavati. Zadaci su osmišljeni kako bi omogućili jasnu i preciznu podjelu posla među korisnicima.

Nakon što admin unese sve potrebne informacije i konfigurira projekt prema svojim potrebama, potvrđuje unos. Na temelju tih informacija, u bazi podataka automatski se generiraju zadaci za svakog dodijeljenog korisnika, a sam projekt se pohranjuje kao aktivan u sustavu.



Slika 2.11 Forma za izradu zadataka

Učitavanje slika

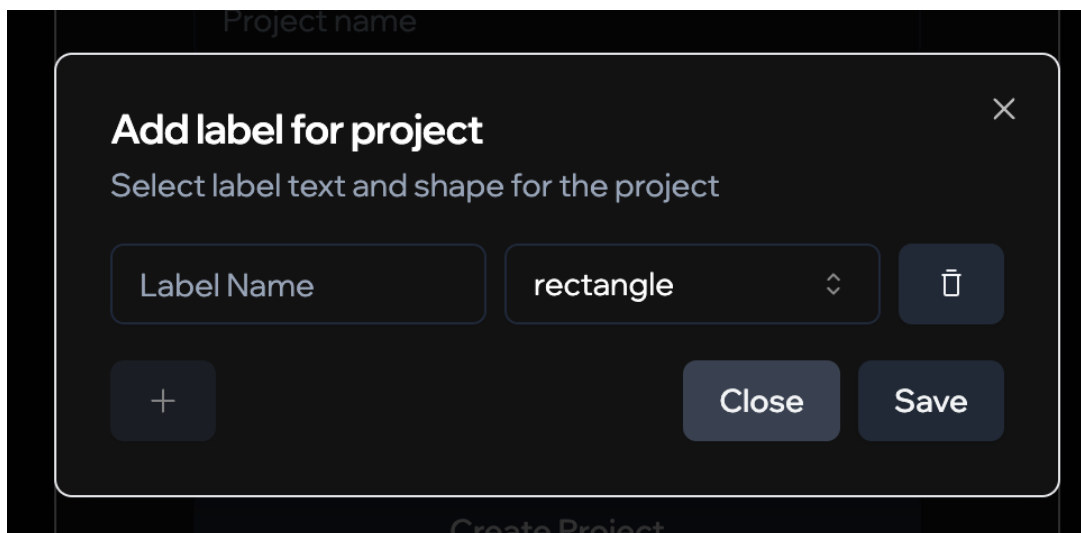
Unutar forme za izradu projekta, admin ima mogućnost učitavanja slika koje će biti korištene u zadacima (Slika 2.11). Admin može učitati slike izravno s lokalnog računala ili potencijalno putem bolničkog sustava za pohranu podataka, osiguravajući pritom da se slike prenose i pohranjuju na siguran način unutar bolničkog okruženja.

Svaka slika dodana u projekt postaje dio specifičnog zadatka unutar tog projekta. Admin može odabrati više slika za različite zadatke, čime se omogućava detaljno označavanje i obrada različitih medicinskih slučajeva. Nakon uspješnog učitavanja, slike su dostupne korisnicima za anotaciju u skladu s definiranom strukturom projekta.

Definiranje oznaka

Jedan od ključnih elemenata u izradi projekta je definiranje oznaka koje će korisnici koristiti prilikom anotiranja slika (Slika 2.12). Admin ima mogućnost definiranja više različitih oznaka unutar jednog projekta, čime se osigurava precizna klasifikacija i anotacija podataka. Svaka od oznaka sadrži naziv i oblik kojim se označava – **pravokutnik** (*square*), **poligon** (*polygon*) ili **slobodno crtanje** (*freedraw*), a definira ih admin.

Nakon definiranja, oznake će biti dostupne korisnicima tijekom izvođenja zada-



Slika 2.12 Forma za definiranje oznaka

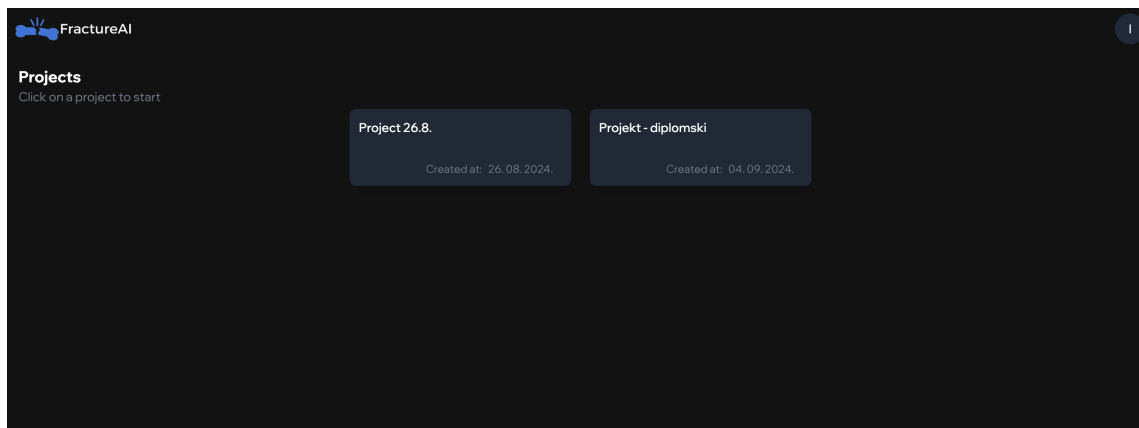
taka unutar projekta, osiguravajući konzistentnost i točnost u procesu anotacije.

Pregled izrađenih projekata

Admin kontrolna ploča omogućuje adminu pregled svih do sada izrađenih projekata i zadataka unutar tih projekata. Projekti su prikazani u grid formatu, što adminu omogućuje brz uvid u status svakog projekta, uključujući broj zadataka, dodijeljene korisnike i napredak.

Admin može kliknuti na bilo koji projekt kako bi dobio detaljan pregled zadataka unutar tog projekta. U ovom pregledu, korisnik ima uvid u aktivnost korisnika, te u statuse njihovih projekata, odnosno jesu li završeni ili nisu.

Ova funkcionalnost omogućava adminu praćenje napretka u realnom vremenu, identifikaciju eventualnih problema ili kašnjenja, te donošenje informiranih odluka o daljnjem tijeku projekta.



Slika 2.13 Korisnička kontrolna ploča

2.2.3 Korisnička kontrolna ploča

Nakon uspješne prijave, korisnik pristupa **korisničkoj kontrolnoj ploči** (Slika 2.13), koja služi kao centralno mjesto za pregled i upravljanje svim dodijeljenim projektima i zadacima. Dizajn kontrolne ploče je intuitivan, sličan onome od admin korisnika, jedina razlika je što korisnik nema mogućnost upravljanja dodijeljenim projektima, te ih samo može otvoriti, a zadatke izvršiti.

Pregled projekata

Na početnoj stranici kontrolne ploče, korisniku se prikazuje pregled svih projekata koji su mu dodijeljeni. Svaki projekt je predstavljen u obliku kartice ili stavke na listi, s jasno istaknutim nazivom projekta i osnovnim informacijama poput broja zadataka, datuma dodjele i statusa projekta.

Korisnik može pregledavati listu projekata i odabrati željeni projekt jednostavnim klikom na njega. Ovaj interaktivan pristup omogućava korisniku brzo prebacivanje između različitih projekata, olakšavajući organizaciju i praćenje vlastitog napretka.



Slika 2.14 Pregled zadataka unutar projekta

Pregled zadataka

Klikom na odabrani projekt, korisnik ulazi u detaljan pregled svih zadataka unutar tog projekta (Slika 2.14). Zadaci su također predstavljeni u obliku kartica, s ključnim informacijama poput naziva zadatka, kratkog opisa i statusa.

Svaka kartica zadatka ima vizualne indikatore koji pomažu korisniku u praćenju napretka:

- **Zeleni obrub kartice:** Ako je korisnik označio zadatak kao "*done*" (dovršen), kartica će imati zeleni obrub. Ovaj vizualni signal omogućava korisniku brzu identifikaciju dovršenih zadataka bez potrebe za dodatnim klikovima ili pregledom detalja.
- **Status u podnožju kartice:** U podnožju svake kartice jasno je istaknut trenutni status zadatka npr. "*In Progress*" (u radu), "*Completed*" (dovršen). Ova informacija pruža korisniku brz uvid u to koje zadatke treba još dovršiti.

Za pokretanje sustava za označavanje slika, korisnik jednostavno klikne na željeni

Poglavlje 2. Specifikacija sustava

zadatak. Time se otvara sučelje za anotaciju, gdje korisnik može koristiti definirane alate i oznake za precizno označavanje slika. Nakon što korisnik dovrši označavanje, ima mogućnost označiti zadatak kao "done", čime se ažurira status zadatka kao i vizualni indikatori na kontrolnoj ploči.

Ovakav dizajn kontrolne ploče i sustava zadataka osigurava jednostavnost korištenja, preglednost i učinkovitost, omogućavajući korisnicima da se fokusiraju na svoje zadatke bez ometanja ili komplikacija.

2.2.4 Označavanje slika



Slika 2.15 Sustav za označavanje slika

Sustav za označavanje slika (Slika 2.15) osmišljen je kako bi omogućio učinkovito i precizno anotiranje medicinskih slika. Pristup ovom sustavu imaju oba tipa korisnika – administratori i obični korisnici. Sustav je podijeljen u tri glavna dijela, čime se osigurava preglednost i jednostavnost korištenja.

Označavanje cijele slike

Prvi dio sustava za označavanje je **kontrolna ploča**, gdje korisnik ima pristup različitim funkcijama vezanim za upravljanje oznakama i zadacima. Na ovoj ploči korisnik može:

- **Uređivanje oznaka cijele slike:** Korisnik može označiti cijelu sliku bilo kojom odabranom oznakom. Ova funkcija omogućuje brzo označavanje slike bez potrebe za detaljnom analizom pojedinih dijelova.
- **Označavanje zadatka kao gotovog:** Nakon što korisnik završi s označavanjem slike, može označiti zadatak kao dovršen. Time se ažurira status zadatka na kontrolnoj ploči (Slika 2.16), a korisnik se može prebaciti na sljedeći zadatak.



Slika 2.16 Prikaz različitih statusa zadatka

- **Prijelaz na novi zadatak ili povratak na početnu stranicu:** Korisnik ima mogućnost prelaska na sljedeći zadatak iz projekta ili povratka na početnu stranicu kontrolne ploče radi pregleda drugih zadataka.

- **Brisanje svih oznaka i pohranjivanje na *cloud*:** Ako korisnik želi poništiti sve napravljene oznake, može koristiti opciju brisanja svih oznaka. Također, postoji mogućnost pohranjivanja svih oznaka na *cloud*, čime se osigurava da su sve promjene sigurno pohranjene i dostupne za daljnju analizu.

Odabir tipa oznake

Drugi dio sustava (Slika 2.17) sastoji se od **izbornika** za odabir tipa oznake. Ovaj izbornik omogućava korisniku da odabere koji će oblik koristiti za označavanje dijelova slike. Dostupni oblici uključuju:

- **Pravokutnik (Square):** Koristi se za jednostavno označavanje pravokutnih područja na slici.
- **Poligon (Polygon):** Omogućava preciznije označavanje nepravilnih oblika.
- **Slobodno crtanje (Freedraw):** Korisniku omogućava potpuno slobodno označavanje, što je korisno za vrlo nepravilne ili specifične oblike.

Ispod izbornika nalazi se **platno** na kojem je prikazana slika koja se označava. Korisnik može interaktivno odabrati željeni oblik i početi označavati relevantna područja na slici.

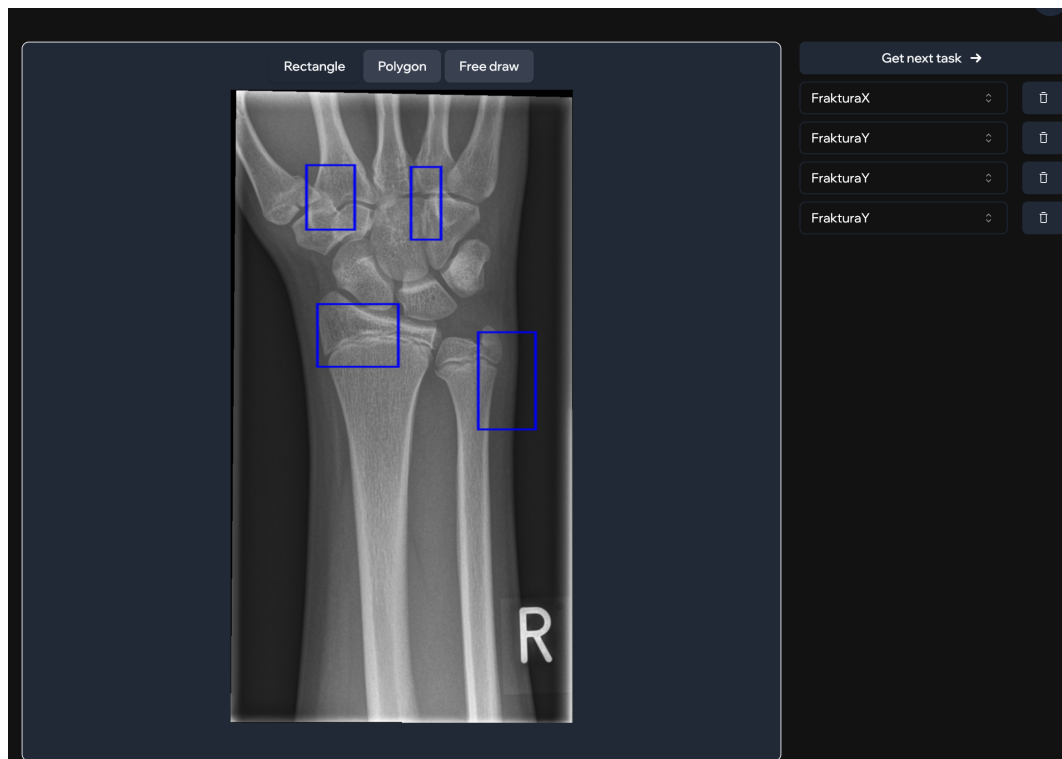
Označavanje prijeloma

Označavanje prijeloma je specifična funkcionalnost unutar sustava koja omogućava korisnicima da precizno identificiraju i označe prijelome na medicinskim slikama. Korisnici mogu koristiti odabrani oblik iz izbornika kako bi označili područja na slici koja prikazuju prijelome. Preciznost u označavanju prijeloma je ključna za daljnju analizu i razvoj modela strojnog učenja.

Uređivanje oznaka

Treći dio sustava (Slika 2.17) fokusira se na **upravljački panel za oznake**, gdje korisnik može pregledavati, uređivati i brisati postojeće oznake. Oznake su organizirane po tipu oblika, čime se olakšava upravljanje:

Poglavlje 2. Specifikacija sustava



Slika 2.17 Drugi i treći dio platforme, platno za označavanje i dio za uređivanje oznaka

- **Pregled oznaka:** Korisnik može pregledati sve oznake koje su napravljene na slici. Oznake su grupirane prema tipu oblika koji je korišten (npr. "Square", "Polygon").
- **Uređivanje oznaka:** Korisnik može izmijeniti veličinu, položaj ili oblik oznake kako bi osigurao preciznost.
- **Brisanje oznaka:** Ako korisnik smatra da je oznaka pogrešno postavljena ili više nije potrebna, može ju jednostavno obrisati.

Ovaj dio sustava osigurava korisniku potpunu kontrolu nad oznakama, te omogućuje detaljno uređivanje i prilagodbu svakog zadatka.

Prijelaz na sljedeći zadatak

Nakon što korisnik završi s označavanjem i eventualnim uređivanjem oznaka, može prijeći na **sljedeći zadatak** unutar projekta. Sustav automatski pohranjuje sve napravljene promjene i omogućava korisniku da glatko nastavi s radom na sljedećem zadatku, čime se optimizira radni tijek i osigurava učinkovitost u radu.

2.2.5 Izvoz podataka lokalno

Sustav omogućuje korisnicima dva načina pohranjivanja podataka nakon što su završili s označavanjem slika. Prvi način je **export podataka lokalno**, gdje korisnik može pohraniti sve napravljene oznake na vlastito računalo u obliku JSON datoteke. Ovaj način pohranjivanja omogućava korisnicima potpunu kontrolu nad svojim podacima, omogućujući im da ih analiziraju, dijele ili koriste izvan sustava prema vlastitim potrebama.

2.2.6 Učitavanje podataka na *cloud*

Drugi način pohranjivanja podataka je **učitavanje podataka na *cloud***. Ova opcija omogućava korisniku da pohrani svoje podatke u sigurnu bazu podataka smještenu na *cloud* infrastrukturi. Prednost ovog pristupa je u tome što se podaci automatski sigurnosno pohranjuju i postaju dostupni s bilo kojeg mjesta i uređaja na kojem se korisnik prijavi u sustav.

Pohranjivanjem podataka na *cloud*, korisnik osigurava da su svi njegovi podaci centralizirano pohranjeni i zaštićeni u skladu s najvišim standardima sigurnosti. Ovo je posebno korisno u situacijama kada korisnici trebaju pristupiti svojim podacima izvan bolničkog okruženja ili kada rade na više uređaja. Podaci pohranjeni na *cloud*-u ostaju dostupni za daljnju analizu, obradu ili integraciju s drugim sustavima unutar platforme, čime se povećava fleksibilnost i učinkovitost rada.

Oba načina pohrane osiguravaju da korisnici imaju potrebne alate za sigurnu i učinkovitu pohranu i pristup svojim podacima, bilo lokalno ili na *cloud* platformi, čime se zadovoljavaju različite potrebe i preferencije korisnika.

Poglavlje 3

Primjer uporabe

U ovom primjeru opisuje se tipičan scenarij uporabe platforme za anotiranje medicinskih slika unutar bolničkog okruženja. Primjer jasno ilustrira kako platforma omogućava efikasnu i sigurnu obradu medicinskih podataka, istovremeno osiguravajući potpunu kontrolu nad informacijama unutar bolničkog sustava.

3.1 Scenarij: Anotacija radioloških snimaka za razvoj ML modela

Korisnici

- **Admin:** Voditelj tima za razvoj ML modela, odgovoran za postavljanje zadataka, upravljanje platformom i osiguravanje integriteta podataka.
- **Korisnik:** Radiolog s iskustvom u tumačenju medicinskih slika, zadužen za precizno anotiranje snimaka.

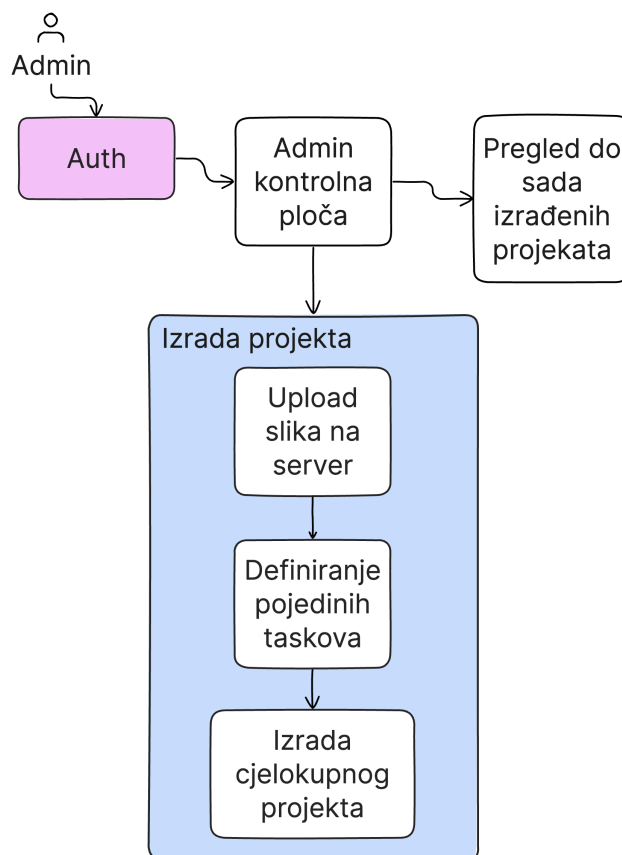
3.1.1 Priprema zadatka

Proces (Slika 3.1) započinje tako što se admin prijavljuje na platformu. Nakon uspješne prijave, kreira novi zadatak za anotaciju medicinskih slika. Svi podaci pohranjuju se isključivo na lokalnom bolničkom poslužitelju ili na *cloud* poslužitelju

Poglavlje 3. Primjer uporabe

kojem pristup imaju isključivo IP adrese s bolničke mreže. Ova lokalizacija pohrane ključna je za održavanje potpune kontrole nad osjetljivim medicinskim podacima, čime se značajno smanjuje rizik od curenja podataka ili kompromitiranja putem vanjskih servisa.

Admin zatim definira imena oznaka koje će se koristiti u zadatku, kao i način na koji će se vršiti anotacija za svaku od njih. Ovi alati omogućuju radiolozima precizno označavanje relevantnih područja na slikama, što je ključno za osiguravanje kvalitete podataka potrebnih za razvoj pouzdanih ML modela.

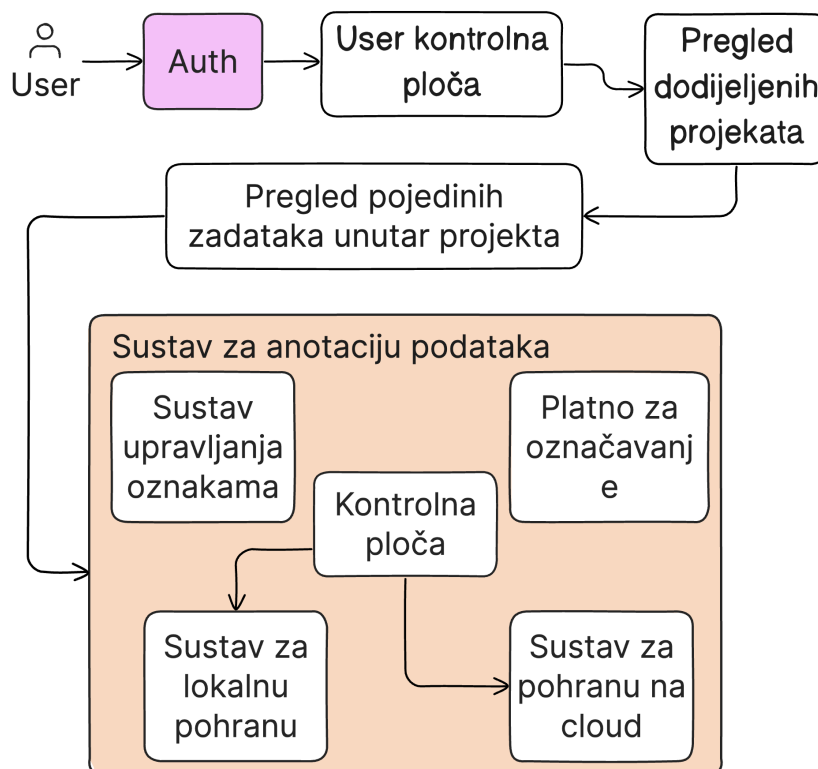


Slika 3.1 Tijek radnji admina

3.1.2 Dodjela zadatka i sigurnost prijenosa podataka

Nakon definiranja zadatka, admin dodjeljuje zadatak radiologu putem platforme. Cijeli proces dodjele projekta i zadatka odvija se uz poseban naglasak na sigurnost i privatnost podataka. Neovisno o tome koristi li se lokalna ili *cloud* pohrana, svi podaci su zaštićeni od neovlaštenog pristupa. Prijenos podataka putem sigurnosnih mjera, kao što su *presigned URLs* za pohranu na AWS, osigurava da niti jedan podatak ne napusti sigurno okruženje bolnice.

3.1.3 Proces anotacije



Slika 3.2 Tijek radnji korisnika

U početku svog procesa (Slika 3.2), radiolog se prijavljuje na platformu koristeći

Poglavlje 3. Primjer uporabe

isti sigurni sustav autentifikacije. Nakon uspješne prijave, radiolog ima pristup zadacima koji su mu dodijeljeni od strane admina. Odabirom zadatka, započinje proces anotacije medicinskih slika korištenjem definiranih alata. Radiolog može spremiti svoj napredak u bilo kojem trenutku, što omogućuje fleksibilnost u radu i osigurava da se podaci ne izgube čak i u slučaju prekida. Sve anotacije automatski se pohranjuju na poslužitelja, osiguravajući da podaci ostanu unutar sigurne okoline, dok se mogućnost eksportiranja podataka u **JSON** formatu koristi za daljnju analizu i treniranje ML modela. Primjer JSON ispisa za pravokutne oznake na slici 2.17 bi bio:

```
"squares": [  
  {  
    "hover": false,  
    "startingY": 83,  
    "startingX": 244,  
    "localY": 71,  
    "label": "FrakturaX",  
    "localX": 53,  
    "selected": true  
  },  
  ...  
]
```

Ključne informacije sadržane u ispisu su:

- **hover**, **selected** - varijable bitne za upravljanje stanjem na samoj stranici prilikom korištenja navedenih podataka
- **startingY**, **startingX**, **localY**, **localX** - koordinate samog oblika, razlikuju se za svaki tip oblika označavanja, **poligon** i **slobodno crtanje** sadrže listu koordinata točaka potrebnih za njihovo iscrtavanje

Ispis sadrži ključne informacije za daljnje procesiranje podataka, te dodatne informacije bitne za samu platformu za označavanje ukoliko se podaci koriste unutar nje.

3.1.4 Pohrana i daljnja obrada podataka

Nakon što je zadatak završen, svi podaci – uključujući originalne medicinske slike i njihove pripadajuće anotacije – ostaju sigurno pohranjeni na bolničkom poslužitelju ili *cloud* infrastrukturi, ovisno o specifičnim potrebama bolničkog okruženja. Ova pohrana podataka osigurava bolnici potpunu kontrolu nad svim informacijama, čime se minimizira rizik od neovlaštenog pristupa, gubitka podataka ili sigurnosnih incidenata. Medicinske slike, zbog svoje osjetljivosti, pohranjuju se u enkriptiranom formatu, koristeći najmodernije metode enkripcije kako bi se osigurala zaštita podataka u mirovanju.

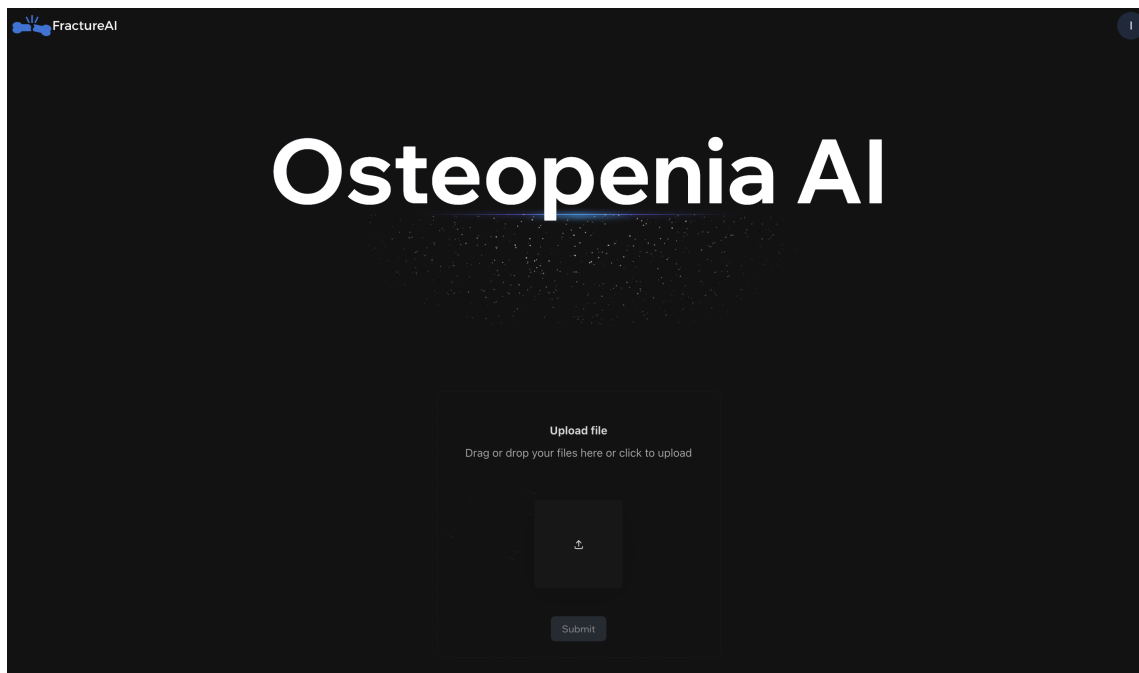
Sama pohrana datoteka organizirana je unutar bolničkog poslužitelja ili *cloud* sustava poput **AWS S3**. Podaci vezani za označavanje, projekte, zadatke i korisnike su strukturirani i pohranjeni u NoSQL bazi podataka **DynamoDB**, koja omogućava fleksibilno upravljanje nestrukturiranim podacima.

Veličina pohranjenih podataka varira ovisno o rezoluciji slike i količini informacija koje su zabilježene tijekom procesa anotacije. Anotacije, koje su pohranjene u **JSON** formatu, obično su relativno male u usporedbi sa slikama, ali sadrže ključne podatke potrebne za daljnju analizu i obradu.

Poglavlje 4

Automatsko anotiranje rendgenskih slika uz pomoć ML modela

U ovom poglavlju opisuje se implementacija i primjena modela strojnog učenja za automatsko procesiranje rendgenskih slika, s ciljem olakšavanja i ubrzavanja procesa anotacije (Slika 4.1). Ovaj model, razvijen u **Pythonu**, koristi se za automatsko prepoznavanje i vizualizaciju smanjene gustoće kostiju na rendgenskim slikama [39], što značajno povećava učinkovitost i preciznost u dijagnostici. Model je implementiran na **AWS ECS** platformi kao **FastAPI** projekt, čime je omogućena njegova dostupnost, skalabilnost i pouzdanost unutar medicinskog sustava.



Slika 4.1 Dio platforme za automatsko anotiranje

4.1 Izrada i implementacija ML modela

ML model je izgrađen korištenjem popularnih biblioteka za duboko učenje u Pythonu, kao što su **PyTorch** [40] i **torchvision** [41]. Model koristi unaprijed trenirane arhitekture poput **VGG19** [42] [43] i **DenseNet169** [44] [45], koje su dokazano učinkovite u zadacima računalnog vida, posebno u domeni medicinskih slika. Ove arhitekture prilagođene su specifičnoj namjeni prepoznavanja osteopenije na rendgenskim slikama, uz mogućnost generiranja toplinskih karata (*heatmaps*) koje ističu ključna područja slike koja su najrelevantnija za odluku modela.

Proces treniranja modela uključuje *fine-tuning* ovih arhitektura na skupu medicinskih slika, čime se postiže visoka točnost u prepoznavanju relevantnih anatomskih struktura i abnormalnosti. Ovaj korak uključuje upotrebu tehnika kao što su augmentacija podataka, normalizacija te optimizacija hiperparametara, kako bi se osigurala robusnost i preciznost modela u različitim uvjetima.

Poglavlje 4. Automatsko anotiranje rendgenskih slika uz pomoć ML modela

Nakon što su slike obrađene modelom, rezultati se pohranjuju u sigurnu bazu podataka te su dostupni za daljnju analizu ili prikaz korisnicima putem grafičkog sučelja platforme. Vizualizacije u obliku toplinskih karata pomažu korisnicima u razumijevanju odluka modela i identifikaciji kritičnih područja na slikama.

4.2 Implementacija aplikacije na AWS ECS

Model je implementiran na **AWS ECS** (Elastic Container Service), što omogućava pouzdano pokretanje i skaliranje Docker kontejnera na AWS infrastrukturi. AWS ECS je visoko skalabilna i sigurna usluga koja olakšava orkestraciju i upravljanje kontejnerima u produkcijskom okruženju, omogućavajući automatsko skaliranje, balansiranje opterećenja i osiguranje visoke dostupnosti aplikacija.

AWS ECS pruža brojne prednosti za produkcijsko okruženje, uključujući integraciju s drugim AWS servisima kao što su **S3** za pohranu podataka, **CloudWatch** za praćenje performansi i **IAM** za kontrolu pristupa. Ova infrastruktura osigurava stabilnost i pouzdanost aplikacije, što je od presudne važnosti u medicinskom kontekstu gdje su kontinuitet rada i sigurnost podataka ključni.

Implementacija modela na AWS ECS omogućuje jednostavno upravljanje resursima, s mogućnošću automatskog prilagođavanja kapaciteta na temelju trenutnih potreba, osiguravajući time optimalnu izvedbu i nisku latenciju čak i pri velikim opterećenjima.

Trenutno je na platformi onemogućen pristup modelu i korištenju usluga automatskog označavanja slika zbog povećane cijene hostinga.

4.3 FastAPI framework

Za izgradnju API-ja koji upravlja modelom koristi se **FastAPI**, moderni web framework za Python. FastAPI omogućava brzu implementaciju i testiranje API-ja, što ga čini idealnim izborom za aplikacije koje zahtijevaju visoke performanse i nisku latenciju, kao što je real-time procesiranje medicinskih slika.

Razlozi za odabir FastAPI-ja:

- **Performanse:** FastAPI je jedan od najbržih web frameworka za Python, s optimiziranim mehanizmima za rukovanje zahtjevima i asinkronim operacijama. To ga čini pogodnim za aplikacije kod kojih je brzina izvršavanja upita ključna, poput real-time obrade slika i generiranja odgovora u stvarnom vremenu.
- **Jednostavnost korištenja:** FastAPI koristi tipizaciju iz Pythona (*type hints*) za pojednostavljenu validaciju ulaznih podataka i automatsku generaciju dokumentacije API-ja, čime se značajno olakšava razvoj, testiranje i održavanje aplikacija. Ova automatizacija smanjuje mogućnost pogrešaka i ubrzava razvojni ciklus.
- **Skalabilnost:** FastAPI je visoko skalabilan i lako se integrira s Dockerom i AWS ECS-om, omogućujući jednostavnu implementaciju i upravljanje u produkcijskom okruženju. Njegova arhitektura podržava horizontalno skaliranje, što je važno za aplikacije koje trebaju obraditi velike količine podataka.

4.4 Primjer uporabe

Korisnici platforme mogu pristupiti modelu putem dijela platforme nazvanog **OsteopeniaAI**. Ovaj segment platforme dizajniran je za jednostavno i intuitivno korištenje, omogućavajući korisnicima da učitaju rendgenske slike koje žele procesirati uz pomoć modela strojnog učenja.

Kada korisnik učita sliku, ona se šalje API-ju izgrađenom u FastAPI-ju, gdje se automatski procesira korištenjem prethodno treniranog ML modela. Proces uključuje prepoznavanje i označavanje ključnih područja na slici, generiranje toplinskih karata koje vizualiziraju smanjenja gustoće kostiju, te povratak obrađene slike korisniku.

Ovi rezultati pružaju korisnicima brz i informiran uvid u ključne informacije, čime se znatno olakšava donošenje kliničkih odluka i povećava efikasnost dijagnostičkog procesa.

4.5 Sigurnosne mjere i pohrana podataka

Kako bi se osiguralo da svi podaci ostanu sigurni tijekom obrade i pohrane, implementirane su stroge sigurnosne mjere koje uključuju enkripciju podataka, kontrolu pristupa i korištenje privremenih poveznica za prijenos podataka.

Jedan od ključnih aspekata sigurnosti je način na koji se slike prenose i pohranjuju na *cloud* infrastrukturu. Kada korisnik učita sliku za procesiranje, sustav koristi **presigned URL** za prijenos podataka na AWS S3 bucket. **Presigned URL** je vremenski ograničena poveznica koja omogućava siguran prijenos datoteka na S3, bez potrebe za izravnim izlaganjem osjetljivih podataka ili vjerodajnica. Ova metoda osigurava da samo ovlašteni korisnici mogu učitati slike, a poveznica istječe nakon kratkog vremenskog razdoblja, čime se dodatno smanjuje rizik od neovlaštenog pristupa.

U kontekstu obrade medicinskih podataka, sigurnosne **mjere su neophodne** i od ključne važnosti zbog osjetljivosti informacija koje se obrađuju. Neovlašteni pristup medicinskim podacima može imati ozbiljne posljedice, uključujući kršenje privatnosti pacijenata, neovlašteno dijeljenje informacija ili zlouporabu podataka. Stoga, sigurnosne mjere poput enkripcije podataka, ograničenog pristupa putem presigned URL-ova i sigurnosnih protokola na *cloud* platformama nužne su kako bi se osigurala zaštita svih podataka tijekom obrade i pohrane.

Osim toga, svi podaci obrađeni putem modela pohranjuju se na *cloud*-u koristeći AWS infrastrukturu, koja osigurava visoku razinu zaštite kroz višeslojne sigurnosne mjere. Svi podaci su enkriptirani u prijenosu i mirovanju, a pristup podacima je ograničen samo na ovlaštene korisnike putem stroge kontrole pristupa i autentifikacije.

Ovaj pristup garantira da se svi aspekti sigurnosti i privatnosti poštuju kroz cijeli proces, od inicijalnog prijenosa podataka do njihove pohrane i kasnije analize.

Poglavlje 5

Prednosti i mane platforme te mogućnosti nadogradnje

Ova platforma, razvijena za automatsko anotiranje i procesiranje medicinskih slika, ima niz ključnih prednosti, ali i određenih nedostataka koji pružaju prostor za daljnju nadogradnju i unapređenje. U ovom poglavlju detaljno su analizirane prednosti i mane platforme, mogućnosti njezine nadogradnje, kao i razlozi za izbor određenih tehnologija.

5.1 Prednosti platforme

5.1.1 Vlasništvo i kontrola nad podacima

Jedna od ključnih prednosti izrađene platforme jest to što klijentu pruža kontrolu nad svojim podacima i kako se s njima upravlja. Sve informacije i podaci koji se obrađuju, uključujući medicinske slike, ostaju pod kontrolom klijenta, bilo to *on premise* ili u *cloud*-u. Ova razina kontrole je od iznimne važnosti u medicinskom okruženju, gdje su sigurnost i privatnost podataka ključni. Pristup podacima je strogo kontroliran, a svi procesi obrade i pohrane odvijaju se unutar okvira koji je odredio klijent, čime se osigurava usklađenost s relevantnim zakonima i regulativama.

5.1.2 Primjena u edukaciji, kontroli i inovaciji

Aplikacija je posebno dizajnirana kako bi služila za edukaciju, kontrolu, unapređenje i inovaciju u području strojnog učenja u medicini. Platforma omogućava korisnicima da razvijaju i testiraju modele strojnog učenja unutar sigurnog i kontroliranog okruženja, čime se potiče inovacija i napredak u medicinskim istraživanjima. Također, platforma pruža alate za edukaciju korisnika o primjeni strojnog učenja na medicinskim podacima, omogućujući im da steknu praktično iskustvo u ovom rastućem području.

5.1.3 Skalabilnost i prilagodljivost zahtjevima korisnika

Platforma je visoko skalabilna, omogućujući korisnicima da je prilagode svojim potrebama i rastu kako se njihov opseg posla povećava. Tehnologije poput AWS S3, DynamoDB i ECS, zajedno s Vercel infrastrukturom, omogućuju besprijekornu skalabilnost, podržavajući istovremeni rad većeg broja korisnika i obradu većih količina podataka. Osim toga, platforma je *tailored by demand*, što znači da se može prilagoditi specifičnim potrebama svakog klijenta, omogućujući fleksibilnost u konfiguraciji funkcionalnosti.

5.1.4 Podrška za ovlasti korisnika

Platforma podržava implementaciju sustava ovlasti korisnika, što znači da različiti korisnici mogu imati različite razine pristupa i mogućnosti unutar aplikacije. Ovo omogućava preciznu kontrolu nad time tko može pristupiti određenim podacima ili alatima, što dodatno povećava sigurnost i prilagodljivost platforme specifičnim potrebama korisnika.

5.2 Nedostaci platforme

5.2.1 Ograničenost korisničkog sučelja

Jedan od glavnih nedostataka trenutne verzije platforme je manjak značajki koje bi doprinijele pozitivnijem korisničkom iskustvu koje se često očekuje od suvremenih aplikacija. Korisničko sučelje je funkcionalno, ali nije raskošno niti estetski sofisticirano. To umanjuje atraktivnost aplikacije, ali ne i njenu funkcionalnost.

5.2.2 Nedostatak naprednijih značajki

Iako platforma pruža osnovne funkcionalnosti potrebne za obradu i anotiranje medicinskih slika, nedostaju neke naprednije značajke koje bi mogle dodatno poboljšati produktivnost i efikasnost korisnika. Primjerice, trenutno nije implementiran napredniji sustav autentifikacije poput dvostupanjske autentifikacije (2FA), što bi moglo dodatno poboljšati sigurnost. Također, provjera pristupa određenim dijelovima platforme trenutno se odvija samo na *frontend* strani, što otvara mogućnosti za uvođenje razvijenijeg middlewarea koji bi upravljao pristupom na poslužiteljskoj strani.

5.2.3 Povećani troškovi kod *cloud* implementacije

Jedan od glavnih nedostataka implementacije u *cloud* okruženju su povećani troškovi, osobito kada se koriste servisi kao što su **AWS S3**, **DynamoDB** i **ECS**. Kako se povećava opseg obrade podataka ili broj korisnika platforme, tako i troškovi ovih servisa mogu značajno rasti, što može biti ograničavajući faktor za neke klijente, posebno u slučaju dugoročne upotrebe na velikim skalama.

5.3 Mogućnosti nadogradnje

5.3.1 Uvođenje state managementa s Redux-om

Jedna od ključnih nadogradnji koja bi značajno poboljšala performanse i organizaciju koda na *frontend*-u jest uvođenje **Redux** state managementa. Redux omogućava centralizirano upravljanje stanjem aplikacije, što pojednostavljuje praćenje i ažuriranje stanja aplikacije. Korištenjem Reduxa, moguće je lakše upravljati složenim stanjem aplikacije, smanjiti redundanciju koda i poboljšati održavanje koda na dulji rok. Ova nadogradnja bi omogućila bolje praćenje promjena i olakšala *debugiranje*, što je ključno za razvoj skalabilnih i složenih aplikacija.

5.3.2 Integracija React Query-a

Još jedna važna nadogradnja na *frontend*-u bila bi integracija **React Query-a**. React Query je alat za upravljanje stanjem poslužitelja koji omogućava jednostavno dohvaćanje, predmemoriranje, sinkronizaciju i ažuriranje podataka iz vanjskih API-ja. Integracija React Query-a značajno bi poboljšala performanse aplikacije, omogućavajući bolje rukovanje podacima koji dolaze s poslužitelja, smanjenje opterećenja poslužitelja kroz inteligentno predmemoriranje i osvježavanje podataka, te poboljšanje korisničkog iskustva kroz brže i efikasnije učitavanje podataka.

5.3.3 Uvođenje dvostupanjske autentifikacije (2FA)

Sigurnost je jedan od ključnih aspekata svake platforme koja radi s osjetljivim podacima, poput medicinskih slika. Uvođenje **dvostupanjske autentifikacije (2FA)** dodatno bi osnažilo sigurnosne mjere platforme. 2FA dodaje dodatni sloj sigurnosti zahtijevajući od korisnika da, osim lozinke, unese i drugi oblik identifikacije, poput koda poslanog na mobilni uređaj. Ova mjera značajno smanjuje rizik od neovlaštenog pristupa, čak i ako su vjerodajnice kompromitirane.

5.3.4 Razvijeniji middleware za upravljanje pristupom

Trenutno se provjera pristupa određenim dijelovima platforme odvija isključivo na *frontend* strani, što predstavlja sigurnosni rizik jer se potencijalno može manipulirati na strani klijenta. Uvođenje razvijenijeg **middleware-a** na strani poslužitelja omogućilo bi precizniju kontrolu pristupa, gdje bi se za svaki zahtjev provjeravalo ima li korisnik odgovarajuće ovlasti za pristup traženom resursu. Ovaj pristup poboljšao bi sigurnost platforme i osigurao da podaci budu dostupni samo ovlaštenim korisnicima.

5.3.5 Razmatranje baze podataka: SQL vs NoSQL

Za pohranu podataka platforma trenutno koristi NoSQL bazu podataka. Iako NoSQL baze poput MongoDB-a nude visoku fleksibilnost i skalabilnost, moguće je da SQL baze podataka, poput MySQL-a ili PostgreSQL-a, bolje odgovaraju određenim dijelovima sustava. SQL baze podataka omogućuju strože strukture podataka i složenije upite, što može biti korisno u situacijama gdje je potrebna visoka razina integriteta podataka i složene transakcije. Uvođenje SQL baze podataka moglo bi poboljšati konzistentnost i sigurnost podataka, posebno u situacijama gdje je potrebna stroga kontrola nad podacima.

5.4 Prednosti i mane korištenih tehnologija

5.4.1 Implementacija: AWS ECS

Prednosti: AWS ECS pruža visoku razinu skalabilnosti i fleksibilnosti, omogućujući jednostavno upravljanje Docker kontejnerima. Integracija s drugim AWS uslugama, poput S3 i CloudWatch-a, omogućava jednostavno praćenje i pohranu podataka, osiguravajući stabilnost i sigurnost aplikacije.

Mane: Upravljanje resursima na AWS-u može biti složeno i zahtijeva detaljno poznavanje AWS infrastrukture. Također, troškovi mogu brzo narasti ovisno o količini resursa koji se koriste, što može predstavljati izazov za projekte s ograničenim

budžetom.

5.4.2 Development: Python i FastAPI

Prednosti: Python je visoko produktivan programski jezik s velikom zajednicom i bogatom ponudom biblioteka za strojno učenje i obradu podataka, što ga čini idealnim za razvoj aplikacija u području medicinskih istraživanja. FastAPI je moderan web framework koji nudi visoku brzinu i jednostavnost implementacije, uz podršku za automatsku validaciju podataka i generiranje dokumentacije.

Mane: Python može imati slabije performanse u usporedbi s nekim drugim programskim jezicima, posebno kada se radi o aplikacijama s visokim zahtjevima za brzinom. Također, FastAPI, iako brz i efikasan, još uvijek je relativno nov framework te može imati manje alata i resursa dostupnih u usporedbi s dulje prisutnim framework-ovima poput Django-a.

5.4.3 Frontend: Next.js i React

Prednosti: Next.js, u kombinaciji s Reactom, omogućava izradu brzih i responzivnih web aplikacija s mogućnošću prikaza sa strane poslužitelja, što poboljšava performanse i SEO. Fleksibilnost i modularnost ovih alata omogućavaju jednostavnu integraciju novih funkcionalnosti i skalabilnost aplikacije.

Mane: Korištenje Reacta i Next.js-a može rezultirati složenijim kodnim bazama, pogotovo ako nije implementiran učinkovit state management poput Reduxa. Također, uvođenje novih developera u projekt može zahtijevati određeno vrijeme zbog kompleksnosti modernih JavaScript ekosustava.

Shodno tome, platforma pruža čvrste temelje za sigurnu, učinkovitu i skalabilnu obradu i anotaciju medicinskih slika. Iako postoje određeni nedostaci i prostori za poboljšanje, prednosti platforme, posebno u kontekstu vlasništva nad podacima i kontrole nad razvojem, značajno nadmašuju te izazove. Daljnje nadogradnje, uključujući uvođenje state managementa, naprednijeg autentifikacijskog sustava i optimizaciju baze podataka, dodatno će poboljšati funkcionalnost i sigurnost platforme,

Poglavlje 5. Prednosti i mane platforme te mogućnosti nadogradnje

omogućavajući korisnicima da iskoriste puni potencijal ovog moćnog alata u medicinskom istraživanju i praksi.

Poglavlje 6

Zaključak

U ovom diplomskom radu detaljno je istražena razvijena platforma za ručno i automatsko anotiranje medicinskih slika, s posebnim fokusom na sigurnost podataka, kontrolu nad razvojem, te primjenu u edukaciji i inovaciji u području strojnog učenja. Cilj rada bio je stvoriti sveobuhvatnu platformu koja omogućava sigurno i učinkovito procesiranje rendgenskih slika, dok istovremeno pruža alate za razvoj i evaluaciju modela strojnog učenja unutar kontroliranog bolničkog okruženja.

6.1 Pregled rada

Rad započinje uvidom u ključne izazove primjene strojnog učenja u medicini, s naglaskom na nužnost sigurnog rukovanja podacima, što je od kritične važnosti u medicinskom sektoru zbog stroge regulacije privatnosti i zaštite podataka.

Razvijena platforma omogućava korisnicima jednostavan rad s podacima, ali ono što je posebno važno jest njezina funkcionalnost i prilagodljivost za različite potrebe. Platforma ne samo da osigurava jednostavno procesiranje medicinskih slika, već omogućava izvoz podataka i modela u formate koji se lako mogu integrirati u druge sustave, pružajući fleksibilnost u daljnjoj primjeni. Time se korisnicima otvara mogućnost da svoje radne procese prošire izvan granica same platforme, koristeći razvijene modele u različitim istraživačkim i kliničkim okruženjima.

Iako je rad opisao korištene tehnologije, one su samo sredstva pomoću kojih je

Poglavlje 6. Zaključak

postignuta ključna funkcionalnost platforme: prilagodljivost korisnicima, integracija podataka i modela te jednostavnost upotrebe. Tehnologije poput Next.js, Node.js, AWS servisa i PyTorch osigurale su osnovu za realizaciju, ali snaga platforme leži u njezinoj sposobnosti da efikasno rješava realne probleme u medicinskom sektoru.

Kroz cijeli rad analizirane su i prednosti i mane platforme, naglašavajući ključne funkcionalnosti kao što su vlasništvo nad podacima i kontrola pristupa, ali i ističući područja za potencijalna poboljšanja, poput unaprjeđenja korisničkog sučelja i dodatnih sigurnosnih značajki.

6.2 Zaključak rada

Cijeli rad ističe važnost izgradnje funkcionalne, sigurne i skalabilne platforme koja odgovara specifičnim potrebama medicinskog sektora. Razvijena platforma ne samo da omogućava efikasno procesiranje i anotiranje medicinskih slika, već pruža jednostavan način za izvoz modela strojnog učenja i podataka, čime olakšava daljnju integraciju i primjenu u različitim kliničkim i istraživačkim scenarijima.

Platforma je fleksibilna i može se prilagoditi specifičnim potrebama korisnika, omogućujući im da s lakoćom upravljaju podacima i modelima unutar sigurnog okruženja. Ova funkcionalnost, uz mogućnost proširivanja i nadogradnje, čini platformu ključnim alatom za inovacije i edukaciju u medicinskom sektoru.

Osim trenutnih mogućnosti, platforma ostavlja dovoljno prostora za daljnje nadogradnje i unaprjeđenja, poput optimizacije sigurnosnih mehanizama i poboljšanja korisničkog sučelja, čime se dodatno jača njezina dugoročna upotrebljivost i vrijednost.

Ovaj rad pokazao je kako je moguće razviti rješenje koje nije samo odgovor na trenutne potrebe, već predstavlja osnovu za buduće inovacije i primjenu strojnog učenja u medicini, s posebnim naglaskom na sigurnost, funkcionalnost i integraciju podataka i modela u širi kontekst medicinske prakse.

Bibliografija

- [1] Lev Craig, Linda Tucci: "What is machine learning? Guide, definition and examples", s Interneta, <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/machine-learning-ML>, 15. srpnja 2024.
- [2] ISO: "What is artificial intelligence (AI)?", s Interneta, <https://www.iso.org/artificial-intelligence/what-is-ai>, 15. srpnja 2024.
- [3] Professor Christopher Manning, September 2020: "Artificial Intelligence Definitions", s Interneta, <https://hai.stanford.edu/sites/default/files/2020-09/AI-Definitions-HAI.pdf>, 17. srpnja 2024.
- [4] Dr. Seth Flam, CEO, ForeSee Medical: "Benefits of Machine Learning in Healthcare", s Interneta, <https://www.foreseemed.com/blog/machine-learning-in-healthcare>, 17. srpnja 2024.
- [5] Ravi K Samala, Karen Drukker, Amita Shukla-Dave i dr., "AI and machine learning in medical imaging: key points from development to translation", BJR|Artificial Intelligence, Volume 1, Issue 1, January 2024, ubae006, <https://doi.org/10.1093/bjrai/ubae006>
- [6] Sarah Brown: "Machine learning, explained", s Interneta, <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained>, 17. srpnja 2024.
- [7] Kyle Giddens: "Medical Data Annotation: What You Need to Know", s Interneta, <https://www.medcase.health/blogs/medical-data-labeling-the-key-to-successful-machine-learning-applications>, 17. srpnja 2024.
- [8] Galbusera, F., Cina, A.: "Image annotation and curation in radiology: an overview for machine learning practitioners", *Eur Radiol Exp* 8, 11 (2024).

Bibliografija

- [9] "The impact of the General Data Protection Regulation (GDPR) on artificial intelligence", Study Panel for the Future of Science and Technology, EPRS | European Parliamentary Research Service, Scientific Foresight Unit (STOA), PE 641.530 – June 2020
- [10] U.S. Department of Health and Human Services: "HIPAA", s Interneta, <https://www.hhs.gov/hipaa/index.html>, 23. srpnja 2024.
- [11] H. Jin, Y. Luo, P. Li and J. Mathew, "A Review of Secure and Privacy-Preserving Medical Data Sharing," in IEEE Access, vol. 7, pp. 61656-61669, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2916503.
- [12] Kelly, B., Quinn, C., Lawlor, A. i dr. (2022). "Cybersecurity in Healthcare". In: Sakly, H., Yeom, K., Halabi, S., Said, M., Seekins, J., Tagina, M. (eds) Trends of Artificial Intelligence and Big Data for E-Health. Integrated Science, vol 9. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11199-0_11
- [13] Labelbox, s Interneta, <https://labelbox.com/>, 23. srpnja 2024.
- [14] Abhishek Dutta, Ankush Gupta and Andrew Zisserman: "VGG Image Annotator (VIA)", s Interneta, <https://www.robots.ox.ac.uk/vgg/software/via/>, 29. srpnja 2024.
- [15] Computer Vision Annotation Tool (CVAT), s Interneta, <https://www.cvat.ai/>, 29. srpnja 2024.
- [16] Aljabri, M., AlAmir, M., AlGhamdi, M. et al., "Towards a better understanding of annotation tools for medical imaging: a survey", *Multimed Tools Appl* 81, 25877–25911 (2022)
- [17] Nagy, E., Janisch, M., Hrzić, F. et al., "A pediatric wrist trauma X-ray dataset (GRAZPEDWRI-DX) for machine learning", *Sci Data* 9, 222 (2022).
- [18] Kaspersky IT Encyclopedia: "Single-factor Authentication", s Interneta, <https://encyclopedia.kaspersky.com/glossary/single-factor-authentication/>, 29. srpnja 2024.
- [19] Sabina Pokhrel: "Image Data Labelling and Annotation — Everything you need to know", s Interneta, <https://towardsdatascience.com/image-data-labelling-and-annotation-everything-you-need-to-know-86ede6c684b1>, 29. srpnja 2024.
- [20] JSON, s Interneta, <https://www.json.org/json-en.html>, 29. srpnja 2024.

Bibliografija

- [21] Liz Simmons: "Front-End vs. Back-End: What's the Difference?", s Interneta, <https://www.computerscience.org/bootcamps/resources/frontend-vs-backend/>, 23. srpnja 2024.
- [22] Danielle Gagnon: "What is Cloud Computing?", s Interneta, <https://www.snhu.edu/about-us/newsroom/stem/what-is-cloud-computing>, 23. srpnja 2024.
- [23] Vercel, inc.: "Next.js", s Interneta, <https://nextjs.org/>, 29. srpnja 2024.
- [24] Vercel, inc.: "Server-side Rendering (SSR)", s Interneta, <https://nextjs.org/docs/pages/building-your-application/rendering/server-side-rendering>, 29. srpnja 2024.
- [25] Vercel, inc.: "App Router", s Interneta, <https://nextjs.org/docs/app>, 29. srpnja 2024.
- [26] Vercel, inc.: "Understanding XSS Attacks", s Interneta, <https://vercel.com/guides/understanding-xss-attacks>, 5. kolovoza 2024.
- [27] OpenJS Foundation: "Node.js", s Interneta, <https://nodejs.org/en>, 5. kolovoza 2024.
- [28] Amazon Web Services (AWS), s Interneta, <https://aws.amazon.com/>, 5. kolovoza 2024.
- [29] OpenJS Foundation: "Express.js", s Interneta, <https://expressjs.com/>, 5. kolovoza 2024.
- [30] AWS: "What is an API?", s Interneta, <https://aws.amazon.com/what-is/api/>, 5. kolovoza 2024.
- [31] AWS: "AWS Lambda", s Interneta, <https://aws.amazon.com/lambda/>, 5. kolovoza 2024.
- [32] AWS: "Amazon S3", s Interneta, <https://aws.amazon.com/s3/>, 5 kolovoza 2024.
- [33] Vercel, s Interneta, <https://vercel.com/>, 5. kolovoza 2024.
- [34] Cloudflare: "What is SSL?", s Interneta, <https://www.cloudflare.com/learning/ssl/what-is-ssl/>, 5. kolovoza 2024.
- [35] Cloudflare: "What is a Virtual Private Cloud?", s Interneta, <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-a-virtual-private-cloud/>, 5. kolovoza 2024.

Bibliografija

- [36] NextAuth.js, s Interneta, <https://next-auth.js.org/>, 5. kolovoza 2024.
- [37] Erik Gullberg: "NextAuth.js Credentials Provider", s Interneta, <https://next-auth.js.org/providers/credentials>, 8. kolovoza 2024.
- [38] JWT, s Interneta, <https://jwt.io/>, 8. kolovoza 2024.
- [39] Mikulić, M., Vičević, D., Nagy, E. et al.: "Balancing Performance and Interpretability in Medical Image Analysis: Case study of Osteopenia", *J Digit Imaging. Inform. med.* (2024).
- [40] PyTorch, s Interneta, <https://pytorch.org/>, 8. kolovoza 2024.
- [41] TorchVision, s Interneta, <https://pytorch.org/vision/stable/index.html>, 8. kolovoza 2024.
- [42] ScienceDirect: "VGG-19 Convolutional Neural Network", s Interneta, <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/vgg-19-convolutional-neural-network>, 8. kolovoza 2024.
- [43] T. Carvalho, E. R. S. de Rezende, M. T. P. Alves i dr., "Exposing Computer Generated Images by Eye's Region Classification via Transfer Learning of VGG19 CNN," 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA),
- [44] Aman Arora: "DenseNet Architecture Explained with PyTorch Implementation from TorchVision", s Interneta, <https://amaarora.github.io/posts/2020-08-02-densenets.html>, 15. kolovoza 2024.
- [45] Vulli, Adarsh, et al.: "Fine-tuned DenseNet-169 for breast cancer metastasis prediction using FastAI and 1-cycle policy", *Sensors* 22.8 (2022): 2988.

Sažetak

Ovaj diplomski rad istražuje razvoj platforme za ručno i automatsko anotiranje medicinskih slika, s posebnim naglaskom na sigurnost podataka, kontrolu nad razvojem te primjenu u edukaciji i inovacijama u području strojnog učenja. Glavni cilj bio je stvoriti platformu koja omogućava sigurno procesiranje rendgenskih slika, uz alate za razvoj i evaluaciju modela strojnog učenja u kontroliranom bolničkom okruženju. Platforma omogućava fleksibilno rukovanje podacima i modelima, integraciju s drugim sustavima te širu primjenu u kliničkim i istraživačkim kontekstima. Rad također analizira prednosti i potencijalne nadogradnje platforme, uključujući optimizaciju korisničkog sučelja i dodatne sigurnosne značajke. Zaključak rada je da platforma predstavlja funkcionalno i skalabilno rješenje, koje doprinosi razvoju inovacija u medicinskom sektoru, s dugoročnim potencijalom za daljnji razvoj.

Ključne riječi — **Anotacija medicinskih slika, Sigurnost podataka, Strojno učenje**

Abstract

This thesis explores the development of a platform for manual and automatic annotation of medical images, with a special focus on data security, development control, and its application in education and innovation in the field of machine learning. The primary goal was to create a platform that allows secure processing of X-ray images, while also providing tools for the development and evaluation of machine learning models within a controlled hospital environment. The platform enables flexible data and model management, integration with other systems, and broader application in clinical and research contexts. The paper also analyzes the platform's advantages and potential upgrades, including user interface optimization and enhanced security features. The conclusion is that the platform represents a functional and scalable solution, contributing to innovation in the medical sector, with long-term potential for further development.

Keywords — **Medical image annotation, Data security, Machine learning**