

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 959

**Aplikacija za interaktivnu pomoć
penjačima po stijenama uporabom
proširene stvarnosti**

Adrian Cvijanović

Zagreb, lipanj 2025.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Analiza postojećih izvora informacija za penjače	3
2.1. Tradicionalni tiskani penjački vodiči	3
2.2. Digitalne platforme	5
2.2.1. 8a.nu	5
2.2.2. 27crags.com	7
2.2.3. Ostale značajne digitalne platforme	7
2.3. Problem identifikacije penjačkog smjera: praktični izazovi	8
3. Računalni vid u prepoznavanju penjačkog smjera	10
3.1. Detekcija i opis značajki (engl. feature detection and description)	12
3.1.1. Odabir algoritma detekcije značajki	12
3.1.2. SIFT algoritam	12
3.2. Uparivanje značajki (engl. feature matching)	14
3.3. Homografija i transformacija perspektive	16
4. Aplikacija za prepoznavanje penjačkog smjera - Alpinity	20
4.1. Autentifikacija korisnika	21
4.1.1. Početni zaslon	21
4.1.2. Registracija korisnika	23
4.1.3. Prijava korisnika	24
4.1.4. Odjava korisnika	24
4.1.5. Navigacija do izvanmrežnog načina rada	25
4.2. Početni zaslon i glavna navigacija	25
4.3. Geografska karta penjališta	27
4.4. Pretraživanje penjališta, sektora, penjačkih smjerova i korisnika	29
4.5. Detalji penjališta	31

4.6. Detalji penjačkog smjera	38
4.7. Prepoznavanje penjačkih smjerova	41
4.8. Korisnički profil	42
4.8.1. Korisnički profil drugog korisnika	45
4.9. Unos i uređivanje podataka	46
4.9.1. Dodavanje, uređivanje i brisanje penjališta	47
4.9.2. Upravljanje korisničkim ovlastima	48
4.9.3. Dodavanje, uređivanje i brisanje sektora	49
4.9.4. Dodavanje, uređivanje i brisanje penjačkih smjerova	51
4.9.5. Uređivanje korisničkog profila	54
4.10. Izvanmrežni način rada	55
5. Arhitektura i dizajn sustava "Alpinity"	57
5.1. Pozadinski sustav (Backend)	58
5.1.1. Sloj domene	59
5.1.2. Aplikacijski sloj	59
5.1.3. Infrastrukturni sloj	59
5.1.4. Prezentacijski sloj	60
5.1.5. Vanjski servisi	60
5.1.6. Model baze podataka	60
5.2. Mobilna aplikacija za iOS	60
5.2.1. Implementacija prepoznavanja smjerova pomoću OpenCV . .	61
5.2.2. Kreiranje referentne slike penjačkog smjera	62
5.3. Web aplikacija	62
6. Testiranje i vrednovanje rješenja	64
6.1. Metodologija testiranja	64
6.2. Rezultati i analiza funkcionalnosti	65
6.3. Analiza performansi i uočenih problema	67
7. Zaključak	72
7.1. Sažetak rada i ostvareni rezultati	72
7.2. Smjernice za budući razvoj	72
7.2.1. Poboljšanja procesa prepoznavanja	72
7.2.2. Integracija topografskih prikaza	73
Literatura	74

1. Uvod

Digitalna tehnologija obuhvaća gotovo sve aspekte ljudskog života, od komunikacije, poslovanja do zabave i znanja. Rekreativne aktivnosti i sportovi koji su se oslanjali na fizičku opremu i materijale sve više usvajaju digitalne alate koji proširuju mogućnosti i količinu informacija koje korisnici mogu dobiti. Sportsko penjanje, kao aktivnost koja spaja fizičku spremnost i boravak u prirodi, predstavlja primjer aktivnosti koja se može proširiti digitalnim alatima.

Sportsko penjanje i sroдна disciplina *bouldering* posljednjih su desetljeća doživjeli eksponencijalni rast u popularnosti, privlačeći sve veći broj zainteresiranih ljudi kako u specijalizirane penjačke dvorane, tako i na stijene u prirodi. Na Olimpijskim igrama 2020. godine u Tokiju sportsko penjanje je po prvi put uvršten u program čime je sport dobio globalnu pozornost i dodatno potaknuo interes javnosti. Olimpijskim igrama 2024. godine u Parizu popularnost sporta je još više porasla. Prema članku iz *The Oxford Blue*, dok se vrijednost globalnog tržišta penjačkih dvorana procjenjuje na 117.61 milijardi dolara do 2031. godine [3]. S rastom zajednice, raste i potreba za kvalitetnim, dostupnim i preciznim informacijama o penjalištima i penjačkim smjerovima.

Tradicionalno, glavni izvor informacija za penjače koji žele penjati na stijenama u prirodi su tiskani penjački vodiči. Ovi vodiči sadrže detaljne opise penjališta, karte pristupa, kao i skicirane prikaze stijene ili često nazivane *topo* s ocrtanim linijama penjačkih smjerova, njihovim nazivima i težinama. Iako su desetljećima bili nezamjenjiv alat, tiskani vodiči imaju ograničenja. Neki od ključnih nedostataka su statičnost i zastarijevanje podatka, nepraktičnost nošenja, nekonzistentnost između različitih izdanja te, najvažnije, poteškoće u interpretaciji dvodimenzionalnih skica na stvarnoj, trodimenzionalnoj stijeni zbog liminitiranog broja slika koji se mogu staviti u vodič.

S pojavom interneta i pametnih telefona, razvile su se digitalne platforme i mobilne aplikacije koje su djelomično riješile problem dostupnosti i ažurnosti podataka. One omogućuju centralizirano prikupljanje informacija, korisničke komentare i lakšu pretragu. Osim toga, nude i napredne funkcionalnosti poput vođenja osobnog dnevnika

uspona, analize statistike, praćenja napretka i povezivanja s drugim penjačima. Unameć tim prednostima, digitalna rješenja nisu bez nedostataka. Unatoč tim prednostima, i digitalna rješenja imaju svoja ograničenja. Ključni nedostaci uključuju oslananje na statične, dvodimenzionalne prikaze koji ne rješavaju problem interpretacije na terenu, kao i praktične izazove poput ovisnosti o trajanju baterije i dostupnosti internetskog signala na udaljenim lokacijama.

Navedeni nedostaci postojećih alata stvaraju potrebu za rješenjem koje pokriva njihove nedostatke. Cilj je iskoristiti mobilnu tehnologiju kako bi se stvorilo rješenje koje bi minimiziralo navedene nedostatke. Ideja je omogućiti penjačima da jednostavnim usmjeravanjem kamere mobilnog uređaja prema stijeni dobije vizualnu informaciju o položaju i nazivima smjerova izravno u stvarnom okruženju korištenjem tehnologije proširene stvarnosti. Takav pristup ne samo da štedi vrijeme i smanjuje frustracije, već i omogućuje sigurnije iskustvo penjanja.

2. Analiza postojećih izvora informacija za penjače

Nakon postavljanja motivacije te definiranja problema identifikacije penjačkog smjera slijedi analiza postojećih izvora informacija namijenjenih penjačima. Cilj je identificirati njihove temeljne funkcionalnosti te analizirati njihove prednosti i nedostatke. Poseban naglasak stavljen je na način na koji ti alati rješavaju, ili ne uspijevaju rješiti, razne probleme navedene u prethodnom poglavlju. Ova komparativna analiza omogućuje bolje razumijevanje problema čime se stvara osnova za razvoj novog rješenja.

Za razmijevanje potreba penjača potrebno je analizirati alate koje penjači koriste. Ta rješenja mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: tradicionalne tiskane vodiče i moderne digitalne platforme koje su odgovorile na neka od ograničenja tiskanih vodiča.

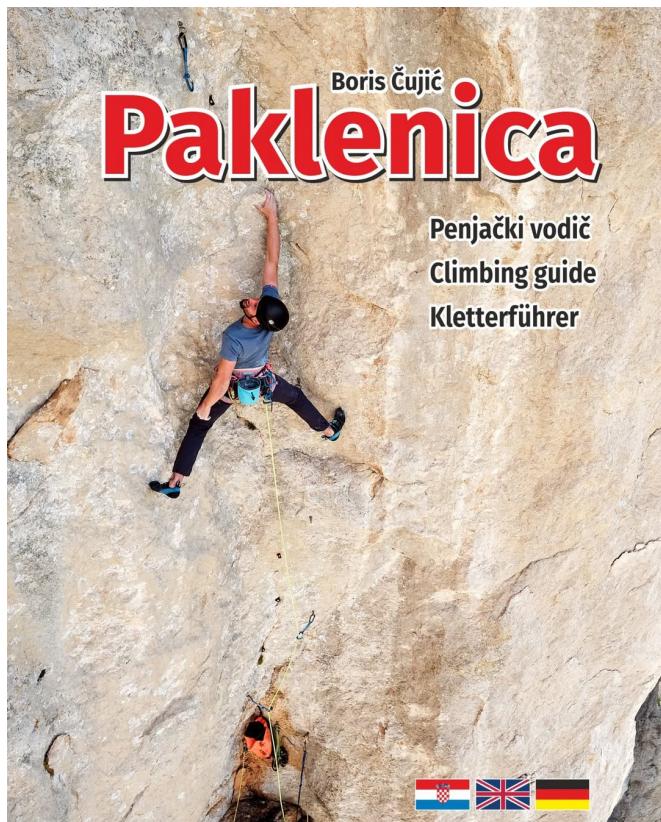
2.1. Tradicionalni tiskani penjački vodiči

Desetljećima su tiskani vodiči bili jedini dostupni izvor informacija za snalaženje na stijenama. Njihova temeljna vrijednost leži u detaljnem i strukturiranom prikazu informacija koje kreiraju iskusni penjači.

Vodiči su gotovo uvijek organizirani hijerarhijski kako bi korisniku olakšali navigaciju. Na najvišoj razini, vodič je podijeljen na penjališta, primjerice Kalnik, Kanjon Čikola, Golubinjak. Ta penjališta su često označena na velikoj karti koja se nalazi na početku vodiča. Unutar svakog područja sadržaj se dalje raščlanjuje na pojedinačne sektore, odnosno manje odvojene dijelove stijene. Za svaki sektor pružaju se ključne logističke informacije poput detaljni opis prilaza, informacije o parkiranju, vrijeme potrebno za pristup, GPS koordinate te opće napomene poput osunčanost ili preporučeno doba godine za posjet. Središnji element svakog vodiča je vizualni prikaz smjerova, odnosno *topo*, koji može biti u formi detaljnog crteža ili fotografije preko koje su ucrtane linije smjerova. Uz svaki smjer navode se podaci o smjeru poput naziv, težina, du-

žina smjera te eventualno napomene poput upozorenje na nestabilno kamenje sklono kidanju. Osim informativnih *topo* prikaza, vodiči su često obogaćeni fotografijama penjača te pejzažnim fotografijama.

U pravilu svaki vodič pokriva specifično geografsko područje, od pojedinačnih penjališta do cijele regije. U Hrvatskoj, najpoznatiji primjer vodiča za veću regiju je vodič "Croatia" autora Borisa Čujića. Uz njega postoje i specijalizirani vodiči za pojedina penjališta poput Nacionalnog parka Paklenica ili za regiju Istre. (slika 2.1)



Slika 2.1: Prikaz tiskanog penjačkog vodiča "Paklenica" autora Borisa Čujića

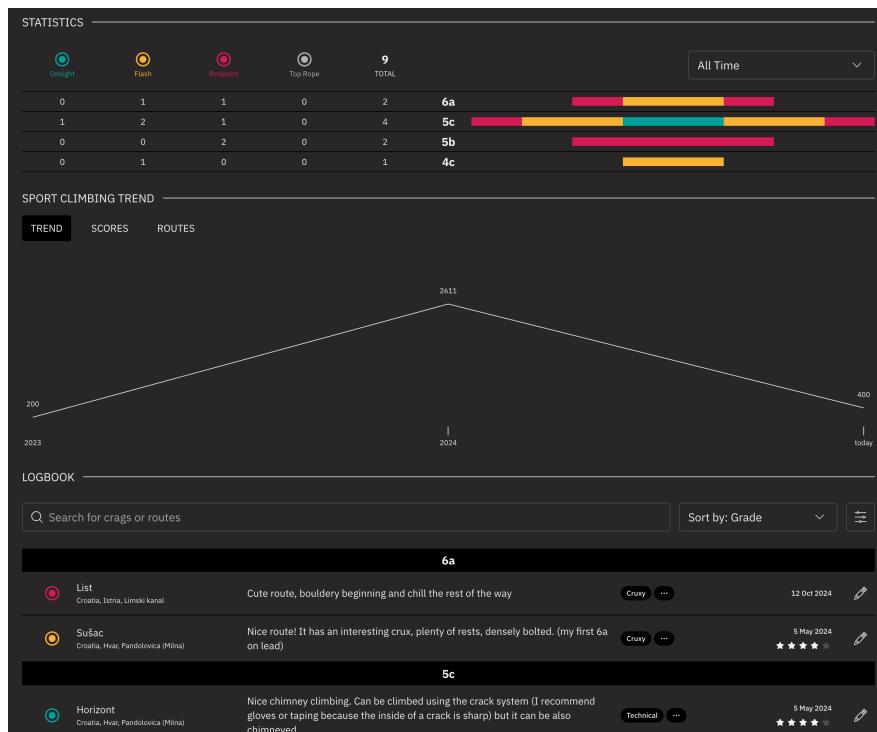
Dodatnu složenost unoše i izdanja stranih izdavača poput "Istra" autora Jurija Ravnika. Ova raznolikost izdavača dovodi do nedostatka konzistentnosti. Različiti vodiči koriste različite simbole, stilove i metodologije izrade *topo* skica. Neki se oslanjaju na ručno crtane skice, a neki na fotografije. Bitno je spomenuti da se neujednačenost vidi i u težinama smjerova. Nije rijetko da isti smjer ima različite težine u različitim vodičima, što nije nužno posljedica promjene na stijeni ili novije izdanje, već subjektivna procjena autora. Ponekad se dogode i veće pogreške pri određivanju težine smjera što može dovesti do zabune. Sveukupno te nekonzistentnosti otežavaju snalaženje penjačima koji posjećuju različita područja i koriste vodiče različitih autora.

2.2. Digitalne platforme

Ograničenja u tiskanim vodičima dovela su do pojave digitalnih platformi koje su omogućile veću dostupnost i ažurnost podataka. Dvije platforme, *8a.nu* i *27crags.com*, ističu se kao primjer rezličitih pristupa unutar digitalnog penjačkog svijeta.

2.2.1. 8a.nu

Platforma *8a.nu* pokrenuta je 1999. godine i predstavlja jednu od najstarijih digitalnih platformi za penjanje. Njena glavna svrha nije funkcija terenskog vodiča, već uloga globalnog dnevnika uspona i sustava za rangiranje.

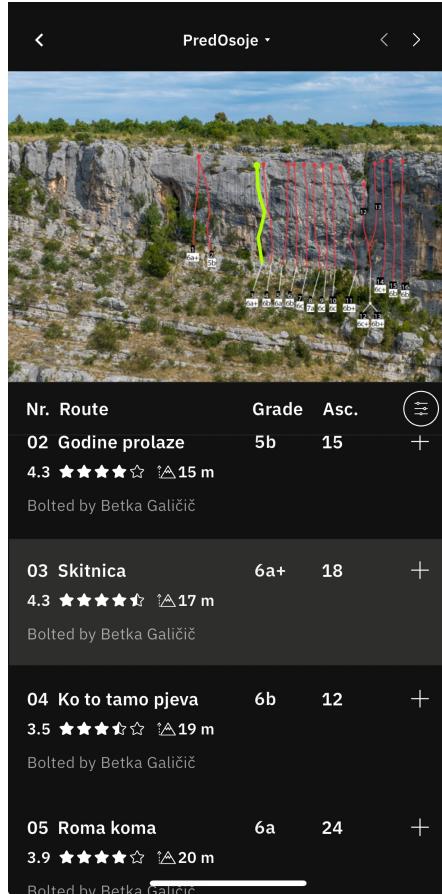


Slika 2.2: Prikaz dnevnika uspona na platformi *8a.nu*

Korisnici koriste platformu kako bi bilježili svoje ispenjane penjačke smjerove, navodeći stil uspona, predlagajući težine i komentare za smjerove (slika 2.2). Time se stvara velika, iako često nestrukturirana, baza podataka koja služi kao arhiv i statički resurs.

Ta društvena i natjecateljska komponenta je razlog njene dugovječnosti jer motivira penjače svih razina da upisuju svoje uspone. Platforma također nudi vjesti o značajnim usponima i forum za raspravu između penjača. Unatoč što aplikacija nudi *topo* slike i hijerarhijski organizirana penjališta, njena primarna uloga je i dalje orijentirana prema

društvenom aspektu. S nedavnim razvojem mobilne aplikacije, platforma je modernizirala korisničko sučelje i poboljšala dostupnost podataka na terenu nudeći opciju preuzimanja podataka na lokalni uređaj. Time je sustav upotrijebiv i u uvjetima bez signala.



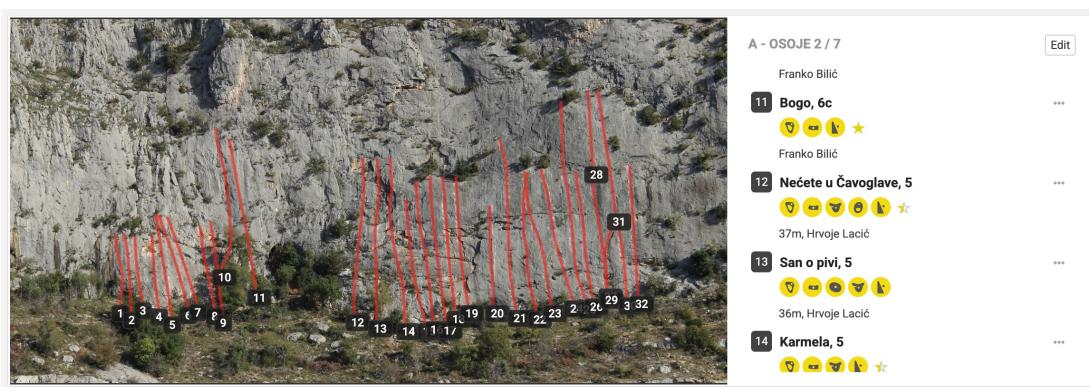
Slika 2.3: Prikaz topo skice na mobilnoj aplikaciji 8a.nu

Analizirajući 8a.nu aplikaciju kao alata za snalaženje na stijeni, njeni nedostaci u kontekstu vizalne navigacije su i dalje prisutni. Temeljni problem leži u samoj prirodi vizalnih prikaza. *Topo* fotografije su često snimljene s velike udaljenosti kako bi obuhvatile cijeli sektor, zbog čega su ucrtane linije smjerova malene i nejasne. Ovaj problem postaje posebno izražen na sektorima s velikom gustoćom smjerova, kao što je prikazano na slici 2.3, gdje je teško precizno raspozнати pojedinačne linije i njihove početke. Dodatni problem predstavlja i neujednačena pokrivenost. Dok su međunarodno popularna penjališta dobro dokumentirane, manje ili lokalna penjališta, poput Kalnika u Hrvatskoj, nemaju dostupne *topo* prikaze. Unatoč svojoj važnosti kao arhiva, platforma 8a.nu nije pouzdano rješenje za problem identifikacije smjerova na stijeni.

2.2.2. 27crags.com

27crags.com aplikacija predstavlja digitalnu platformu za penjače koje je izrađeno primarno s ciljem pružanja informacija o penjalištima i smjerovima. Ideja platforme 27crags je popisati što više penjališta i smjerova, a manji fokus je stavljen na društveni aspekt. *Topo* skice su napravljene na sličan način kao i kod 8a.nu platforme, no društveni aspekt po pitanju uspona drugih penjača nije toliko u fokusu. Aplikacija nudi više informacija o penjalištima, poput parking lokacije sa detaljnim kartografskim prikazom.

Unatoč boljoj pokrivenosti penjališta, 27crags aplikacija također ima ograničenja po pitanju dvodimenzionalnog *topo* prikaza (slika 2.4) čime se ne riješava problem identifikacije penjačkih smjerova.



Slika 2.4: Prikaz dvodimenzionalne *topo* skice sa platforme 27crags za penjalište Čikola sektora Osoje

2.2.3. Ostale značajne digitalne platforme

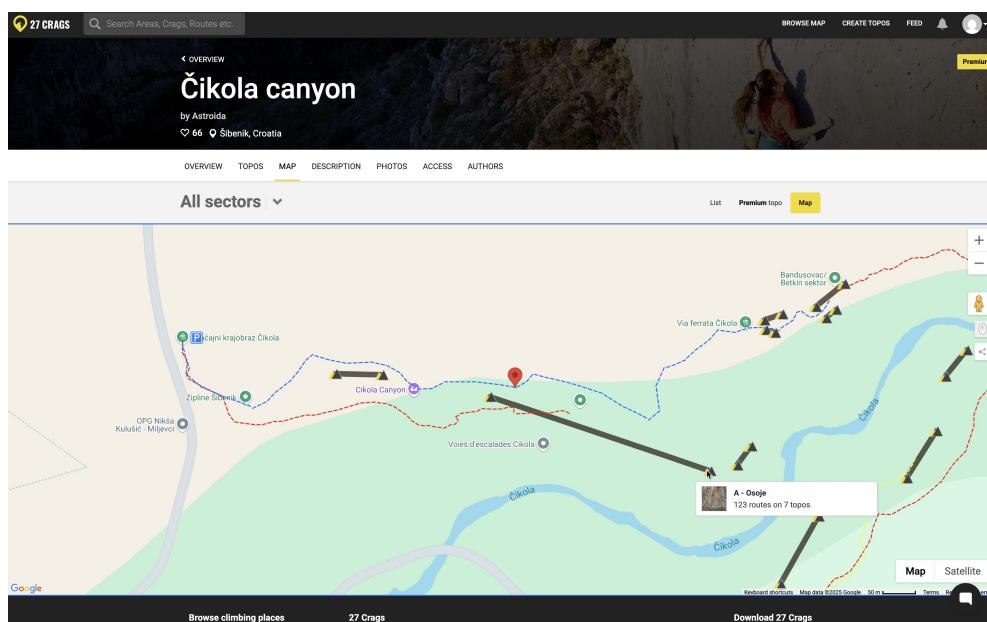
Uz navedene platforme, postoje i druge značajne digitalne platforme poput Mountain Project i KAYA. Mountain Project funkcioniра kao sveobuhvatna, korisnički generirana baza podataka koja pokriva penjanje, planiniranje i druge aktivnosti u prirodi. Razlika između Mountain Project i drugih aplikacija je što je izraziti fokus na rad bez internetske veze. Aplikacija zahtjeva od korisnika da unaprijed preuzme podatke za cijelu regiju kako bi mogao pristupiti sadržaju. Unatoč što to osigurava rad na lokacijama bez signala, platforma se i dalje oslanja na statične fotografije i korisničke opise.

KAYA je primjer novije platforme koja je popularna u svijetu *bouldering* penjanja. Osim standardnih funkcionalnosti dnevnika uspona, KAYA omogućuje korisnicima objavu video sadržaja gdje pokazuju kako se penju određeni smjerovi, poznato pod nazivom *beta* video. Platforma je primarno usmjerena na američko tržište i dvoransko

penjanje, zbog čega je njena pokrivenost manja od ostalih platformi, specifično za penjališta u Hrvatskoj. Unatoč inovativnom pristupu dijeljenja video sadržaja, KAYA ne nudi rješenje za identifikaciju penjačkog smjera na stijeni.

2.3. Problem identifikacije penjačkog smjera: praktični izazovi

Teorijska analiza nedostataka postojećih digitalnih aplikacija dobiva dodatno značenje kada se promotri stvarni proces identifikacije penjačkog smjera na terenu. Proces odbira penjačkog smjera može se podijeliti u dvije faze. Prva faza je identifikacija sektora u kojem se korisnik nalazi. Ova faza se generalno odvija prije nego što penjač dolazi ispred stijene. Penjač odabire sektor na temelju penjačkih smjerova koji se nalaze u sektoru, primjerice gleda težine smjerova, traži dulje penjačke smjerove ili traži sektor sa mnogo penjačkih smjerova.



Slika 2.5: Prikaz geografske karte penjališta Čikola na platformi 27craggs

Problem odabira i pronalaženja sektora fizički i digitalni vodiči uspješno rješavaju. Svako penjalište sadrži geografsku kartu sa prikazom lokacija sektora. Slika 2.5 prikazuje kako taj problem riješava platforma 27craggs. Na karti su označeni sektori te prelaskom miša preko ikone pojavljuje se ime tog sektora. Fizički vodič također sadrži kartu, no nije interaktivna kao što je na platformi 27craggs. Svaki sektor sadrži listu penjačkih smjerova kojom penjač može odlučiti koji sektor želi posjetiti.

Dolaskom ispred stijene sektora kreće druga faza odabira penjačkog smjera i pojavljuje se problem identifikacije penjačkog smjera. Slika 2.4 predstavlja *topo* sliku kojom se penjač koristi kako bi identificirao penjački smjer na stijeni.



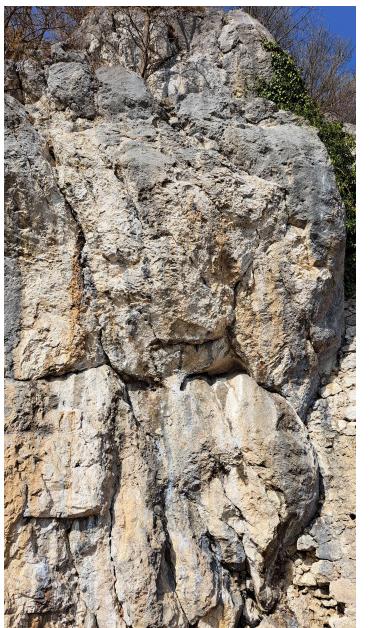
Slika 2.6: Stvarna stijena na penjalištu Čikola sektora Osoje

Gledajući sliku 2.6 teško je rasaznati gdje se penjač nalazi u odnosu na topo sliku i time je teško odrediti u koji penjački smjer penjač gleda. Često se traže distinktni elementi na stijeni poput velike rupe, nagle promjene u boji ili vegetacije, no ako je slika slikana iz velike udaljenost, to nije uvijek moguće. Cjelokupni proces je zahtjevan i podložan pogreškama te oduzima vrijeme koje bi se moglo iskoristiti za penjanje. Čak i uz pomoć fizičkih i digitalnih vodiča problem ostaje neriješen. Ta neefikasnost i nedostatak informacija predstavlja ključnu motivaciju za izradu sustava koji automatizira proces i pruža korisniku nedvosmislenu informaciju.

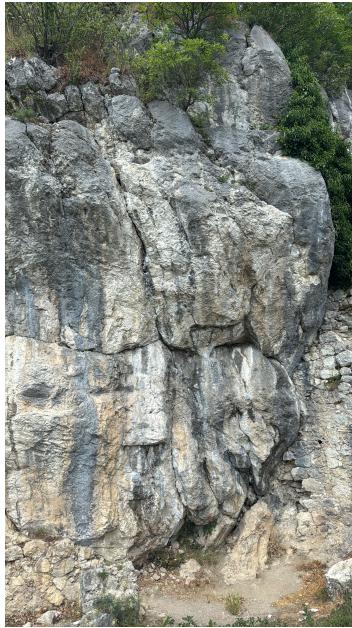
3. Računalni vid u prepoznavanju penjačkog smjera

Prepoznavanje specifičnih objekata sa slike, u ovom slučaju prepoznavanje penjačkih smjerova na slici stijene, zahtijeva primjenu metoda koje su otporne na promjene u osvjetljenju, udaljenosti i kutu gledanja. Pristupi koji se temelje na uspoređivanju piksela slike su neefikasni i nepouzdani jer su osjetljivi na spomenute varijacije. Zbog toga se koriste robusnije metode temeljene na detekciji i opisu lokalnih značajki (eng. *feature-based methods*). Temeljna ideja je pronaći jedinstvene, stabilne i ponovljive točke na slici, značajke, te ih iskoristiti za usporedbu i prepoznavanje.

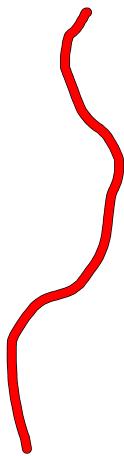
Cjelokupni proces prepoznavanja penjačkog smjera pomoću detekcije značajki zahtijeva tri komponente, referentnu sliku penjačkog smjera, referentnu sliku linije penjačkog smjera te sliku stijene dobivene s kamere mobilnog uređaja (slika 3.1).



(a) Slika stijene dobivena s kamere



(b) Referentna slika stijene



(c) Referentna slika linije smjera

Slika 3.1: Tri slike potrebne za prepoznavanje penjačkog smjera

Referentna slika penjačkog smjera te referentna slika linije penjačkog smjera moraju biti iste dimenzije. Proces se može se raščlaniti na sljedeće korake. Prvi korak je detekcija i opis značajki, gdje se na referentnoj slici, unaprijed pripremljenoj slici stijene, i slici dobivenoj s kamere pronađe ključne točke te se za svaku ključnu točku generira jedinstveni numerički opis, odnosno deskriptor. Potom se uparaju značajke između slika uspoređujući deskriptore, tipično koristeći algoritam poput *FLANN Matcher*. Te uparene značajke koriste se u trećem koraku, gdje se računa procjena geometrijske transformacije. Računa se matematički model - homografija, koja opisuje kako je slika stijene dobivena s kamera rotirana, skalirana i perspektivno izobličena u odnosu na referentnu sliku. Konačno provodi se primjena transformacije, gdje se izračunati model koristi kako bi se referentna slika linije penjačkog smjera preslikala na sliku dobivenu s kamere. Time se postiže željeni efekt vizualizacije penjačkog smjera u stvarnom vremenu.

U ovom poglavlju detaljno se obrađuju svi koraci procesa prepoznavanja penjačkog smjera, od detekcije značajki, preko uparivanja značajki do transformacije perspektive, koristeći prave slike penjačkog smjera i OpenCV biblioteku.

3.1. Detekcija i opis značajki (engl. feature detection and description)

3.1.1. Odabir algoritma detekcije značajki

Za uspješno prepoznavanje objekta potrebno je odabrati algoritam koji može detektirati značajke koje su invarijantne na promjene u okolini. U domeni detekcije značajki postoji nekoliko algoritama, koji se razlikuju po brzini i preciznosti detekcija. Primjerice SURF (eng. *Speeded Up Robust Features*) dizajniran je kao brža aproksimacija SIFT algoritma, koristeći integralne slike s ubrzanje izračuna. ORB (eng. *Oriented FAST and Rotated BRIEF*), koji kombinira brži detektor kutova FAST s binarnim deskriptorima BRIEF, što ga čini iznimno popularnim za uvjete mobilnih uređaja s ograničenim resursima. Unatoč manjoj brzini, u ovom radu se proučava i koristi SIFT algoritam, koji je razvio David Lowe [1]. Odluka se temelji na njegovoj preciznosti i robusnosti u odnosu na ostale algoritme, unatoč što zahtijeva više resursa. SIFT algoritam generira visokodimenzionalne deskriptore koji omogućuju pouzdano prepoznavanje kompleksnih površina poput prirodne stijene.

Iako su pristupi temeljeni na dubokom učenju (engl. *deep learning*) u suvremenom računalnom vidu vrlo popularni, njihova je primjena u ovom problemu nepraktična zbog velike količine podataka potrebnih za treniranje. Za svaki penjački smjer potrebno je prikupiti velik broj slika snimljenih iz različitih kutova, udaljenosti i uvjeta osvjetljenja te ih ručno kategorizirati. Budući da je sustav dinamičan, a penjačke smjerove dodaju korisnici, model bi pri svakom novom unosu podataka trebalo ponovno trenirati. Takav proces prikupljanja podataka i treniranja modela iznimno je zahtjevan i nepraktičan. SIFT i drugi algoritmi detekcije značajki temelje se na učenju iz jednog primjera; dovoljna je jedna referentna slika za kasnije prepoznavanje.

3.1.2. SIFT algoritam

Rad SIFT algoritma može se podijeliti u četiri faze. U prvoj fazi se detektiraju ekstremi u prostoru skale. Kako bi se postigla invarijantnost u skali, algoritam ne pretražuje značajke samo na originalnoj slici, već u trodimenzionalnom prostoru skale koji se generira postupnim zamalućivanjem i skaliranjem originalne slike primjenom Gaussovih filtera s rastućom standardnom devijacijom. Cijeli proces se često provodi u oktavama, gdje se nakon određenog broja zamalućenja slika smanjuje na pola veličine i proces se ponavlja. Time se dobivaju različite verzije slike, od oštре do zamalućene, simulirajući

pogled na objekt s različitih udaljenosti. Za efikasnu detekciju stabilnih točaka koje su neovisne o skali, SIFT algoritam koristi aproksimaciju Laplaceove-Gaussove funkcije nazvanu razlika Gaussovih funkcija (eng. *Difference of Gaussians, DoG*). DoG slike dobivaju se oduzimanjem dviju susjednih, različito zamućenih slika unutar iste oktave. Potencijalne ključne točke lociraju se kao lokalni minimum ili maksimum u DoG prostoru. Točka se smatra lokalnim ekstremom ako je njena vrijednost veća ili manja od svih osam susjednih piksela na istoj DoG slici, te svih 9 susjednih piksela na DoG slici iznad ili ispod nje - ukupno 26 susjeda.

Kandidati dobiveni u prethodnoj fazi trebaju se dalje filtrirati kako bi se odbacile nestabilne točke. Prvo se interpolira vrijednost sub-piksela gdje se nalazi lokacija ekstrema. Ideja iza interpolacije je da se želi povećati preciznost i stabilnost ključnih točaka. Preciznije točke omogućuju bolje uparivanje te kvalitetnije naknadno korištenje značajnih točaka, kao kod izračuna homografije. Nakon interpolacije primjenjuje se eliminacija točaka koje leže na rubovima. Rubovi su detektirani kao ekstremi, no točke na samom rubu su nepouzdane za precizno uparivanje jer je njihova lokacija duž samog ruba slabo definirana.

Kako bi se postigla invarijantnost na rotaciji, svakoj preostaloj ključnoj točki dodjeljuje se jedna ili više orijentacija. Orijentacija se izračunava na temelju lokalnog gradijenta slike u okolini ključne točke koristeći magnitudu i smjer gradijenta svakog piksela. Za svaku ključnu točku kreira se histogram orijentacija gradijenta s 36 spremnika koji svaki pokriva kut od 10 stupnjeva. Svaki unos u histogram uključuje u račun magnitudu gradijenta te udaljenost od centra ključne točke. Ako je piksel na oštroj kontrasnoj liniji magnituda gradijenta bit će veća, dok će na rubu okoline biti manja i time će utjecaj te orijentacije biti slabiji. Vrh tog histograma definira dominantnu orijentaciju ključne točke. Ako postoji više od jedne orijentacije, tj. ako postoji orijentacija koja je veća od 80% od dominantne orijentacije, tada se kreira nova ključna točka sa istim položajem i skalom, ali s drugom orijentacijom. Time se povećava stabilnost uparivanja na mjestima s kompleksnim gradijentom.

Posljednji korak je stvaranje jedinstvenog numeričkog deskriptora za svaku ključnu točku. Oko ključne točke uzima se 16x16 piksela te se rotira u skladu s dominantnom orijentacijom čime se postiže nezavisnost rotacije. Rotirana okolina se zatim dijeli na 4x4 podregije. U svakoj podregiji računa se histogram orijentacija gradijenta s 8 spremnika i vrijednosti iz svih 16 histograma spaja se u jedan 128-dimenzionalni vektor te se vektor normalizira kako bi se smanjila ovisnost o osvjetljenju.



(a) Referentna slika penjačkog smjera

(b) Slika s kamere mobilnog uređaja

Slika 3.2: Detekcija značajki SIFT algoritmom

Izlaz iz SIFT algoritma je skup detektiranih značajki, tj. njen položaj, skala, orientacija i 128-dimenzionalni deskriptor. Cijeli proces SIFT algoritma provodi se za referentnu sliku penjačkog smjera te slike dobivene s kamere mobilnog uređaja. Na slici 3.2 prikazan je primjer detekcije značajki SIFT algoritmom za referentnu sliku penjačkog smjera i sliku dobivenu s kamere mobilnog uređaja. Radi preglednosti prikazuju se samo značajke koje obuhvaćaju veću površinu.

3.2. Uparivanje značajki (engl. feature matching)

Nakon što se odrede SIFT značajke na obije slike, potrebno je pronaći podudaranja među njima. Proces se svodi na pronalaženje parova deskriptora koji su međusobno najsličniji u visokodimenzionalnom prostoru. Postoji nekoliko metoda za mjerjenje sličnosti deskriptora.

Prva metoda je korištenje *brute force* algoritma. Sličnost između dva 128-dimenzionalna SIFT deskriptora mjeri se koristeći Euklidsku udaljenost formulom

$$d(d_1, d_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{128} (d_1[i] - d_2[i])^2} \quad (3.1)$$

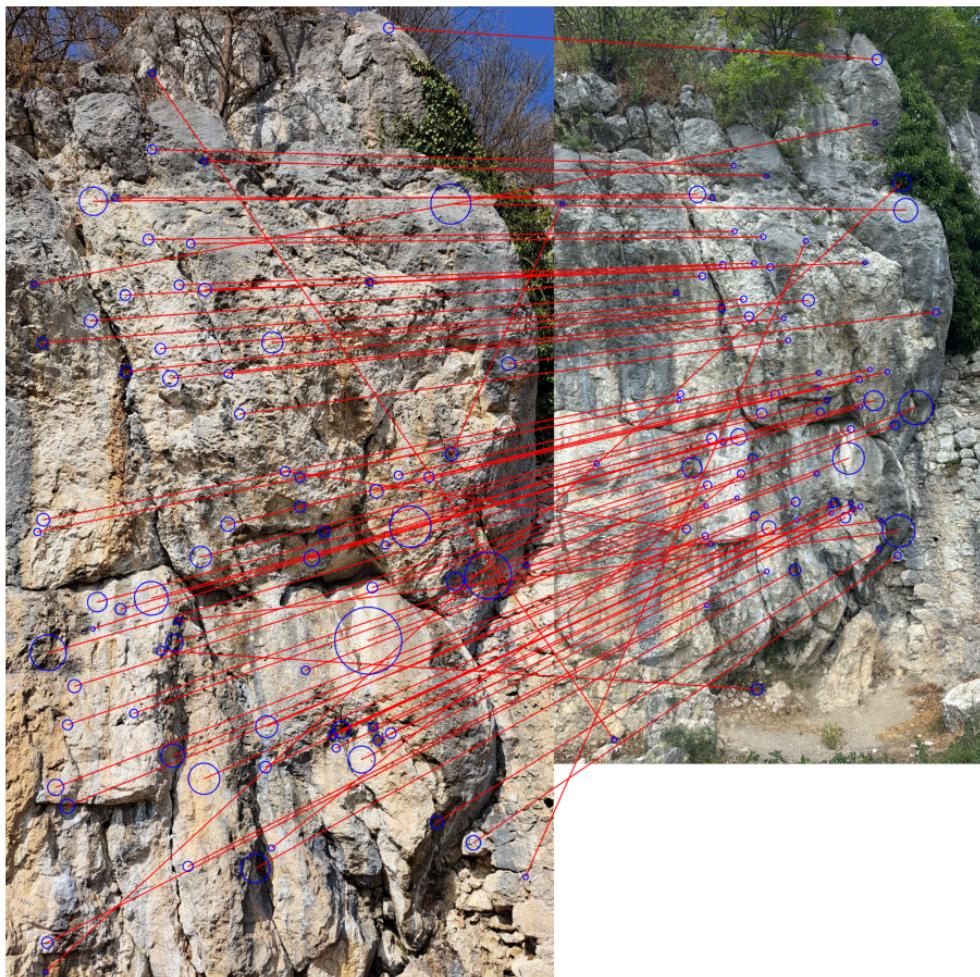
gdje su d_1 i d_2 dva 128-dimenzionalna SIFT deskriptora. Manja Euklidska udaljenost predstavlja veću sličnost između deskriptora, odnosno između lokalnih struktura slike koje oni predstavljaju. Kada bi se uparivanje izvodilo jednostavnim pronalaskom para sa minimalnom udaljenosti došlo bi do velikog broja pogrešnih podudaranja. Zbog toga se koristi algoritam zvan Loweov test omjera [1]. Umjesto da se traži samo jedan, za svaki deskriptor s referentne slike pronalaze se dva najbliža susjeda na slici s kamere. Ako je omjer udaljenosti između najbližeg i drugog najbližeg susjeda manji od koeficijenta t , deskriptor se smatra valjanim podudaranjem. Ovo se može opisati formulom

$$\frac{d(d_1, d_2)}{d(d_1, d_3)} < t \quad (3.2)$$

gdje su d_1 , d_2 i d_3 tri 128-dimenzionalna SIFT deskriptora, d je Euklidska udaljenost, a t je koeficijent koji se koristi za filtriranje pogrešnih podudaranja. Uobičajena vrijednost za prag t je između 0.7 i 0.8. Ovaj test provjerava je li podudaranost nedvosmislena, odnosno ako je najbliži susjed znatno bliži od drugog onda je značajka jedinstvena i podudarnost je vjerojatno ispravna. Ako to nije istina onda to ukazuje na dvosmislenost i takva podudaranost se odbacuje kao nepouzdana.

Unatoč što ovaj algoritam daje dobre rezultate, njegova vremenska kompleksnost ga čini nepraktičnim za rad u stvarnom vremenu. Kako bi se ubrzao proces, često se koriste algoritmi za aproksimativnu pretragu najbližih susjeda koji se oslanjaju na efikasne strukture podataka za organizaciju visokodimenzionalnih vektora. Jedna od takvih struktura je *k-d stablo*. K-d stablo je prostorna podatkovna struktura koja rekurzivno dijeli prostor u polovične podprostore čime postiže brzu eliminaciju velikih dijelova prostora pretrage. Unatoč njenoj efikasnosti u prostorima niske dimenzionalnosti, njena primjena u visokodimenzionalnim prostorima nije učinkovita, što je problematično za 128-dimenzionalne SIFT deskriptore. Zato je za SIFT deskriptore bolja tehnika LSH (eng. *Locality-Sensitive Hashing*) koja se oslanja na hash funkcije za brzo pronađenje sličnih vektora u visokodimenzionalnom prostoru. U praksi se takvi algoritmi ne implementiraju ručno već se koriste gotove biblioteke koje nude bolja rješenja. Jedna od takvih biblioteka je *FLANN* (eng. *Fast Library for Approximate Nearest Neighbors*) koja implementira više različitih algoritama, uključujući i k-d stablo i LSH [2]. Bitno je navesti kako u sklopu OpenCV implementacije FLANN-a

nije moguće koristiti LSH algoritam za uparivanje SIFT značajki jer je LSH algoritam implementiran samo za binarne deskriptore. Prednost FLANN-a je u tome što može automatski odabrati najprikladniju strukturu podataka i parametre pretrage na temelju podataka i odabranih kompromisa brzine ili preciznosti. Tim algoritmima i bibliotekama se postižu veće brzine uz minimalne gubitke u preciznosti naspram *brute force* algoritma.



Slika 3.3: Uparivanje značajki SIFT algoritmom

Na slici 3.3 prikazan je primjer uparivanja značajki SIFT algoritmom za referentnu sliku penjačkog smjera i sliku dobivenu s kamere mobilnog uređaja.

3.3. Homografija i transformacija perspektive

Rezultat procesa uparivanja značajki je skup parova odgovarajućih točaka između referentne slike i slike dobivene s kamere, no taj skup gotovo uvijek sadrži i određeni broj

pogrešnih podudaranja. Te pogreške nastanu zbog dvosmislenosti ili nesavršenosti SIFT deskriptora. Kako bi se uspostavila pouzdana geometrijska veza između dviju slika potrebno je pronaći matematički model koji opisuje transformaciju tih slika, ali na način koji je robustan na prisutnost tih pogrešnih parova. Takav model je homografija.

Homografija je projektivna transformacija u 2D prostoru koja preslikava točke iz jedne ravnine u drugu [4]. U ovom slučaju te ravnine su referentna slika i slika dobivena s kamere. Homografija se može opisati 3×3 matričnom jednadžbom

$$\lambda * \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

gdje su x i y koordinate točke na referentnoj slici, a x' i y' koordinate točke na slici dobivenoj s kamere. λ predstavlja faktor skale tj. λ je posljedica korištenja homogenih koordinata i predstavlja treću komponentu rezultirajućeg vektora - skalu, prije normalizacije. Faktor λ osigurava da jednadžba vrijedi u projektivnom prostoru. Za izračun homografije potrebno je poznavati barem 4 odgovarajuće točke na referentnoj slici i slici dobivenoj s kamere, pod uvjetom da su točke nekolinearne. Budući da za izračun homografije potrebno je samo četri para točaka, a iz procesa uparivanja dobije se znatno više parova, potrebno je odabrati najbolje parove na način da se također eliminiira utjecaj pogrešnih podudaranosti. Za rješavanje ovog problema koristi se RANSAC (eng. *Random Sample Consensus*) algoritam. RANSAC je iterativni algoritam koji se sastoji od sljedećih koraka. Prvo se nasumično odabire minimalni podskup podataka potreban za izračun homografije, odnosno četri para uparenih točaka. Na temelju tih nasumičnih točaka izračunava se preliminarna homografija H . Potom se ta preliminarna homografija testira na način da se ta matrica primjenjuje na sve ostale točke iz početnog seta podataka i određuje se udaljenost između izračunate točke i prave točke iz seta. Ako je ta udaljenost manja od predefiniranog praga onda se taj par smatra podudaranim s modelom. Cijeli ovaj postupak se ponavlja veliki broj puta. Na kraju se odabire matrica H koja je u jednoj od iteracija dobila najveći broj podudaranja s modelom. Korištenjem ovog algoritma osigurava se da pogrešne podudaranosti budu efikasno ignorirane jer se neće uklopiti u jedan konzistentan geometrijski model.

Primjer matrice homografije dobivene iz procesa uparivanja značajki prikazanog na slici 3.3 može izgledati ovako:

$$H = \begin{pmatrix} 0.6298 & 0.0750 & 412.29 \\ 0.0065 & 0.7816 & 271.09 \\ 0.000000280 & 0.0000741 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Ova matrica H transformira koordinate točaka s referentne slike penjačkog smjera na sliku dobivenu s kamere, uzimajući u obzir rotaciju, translaciju, skaliranje i perspektivnu deformaciju. Vrijednosti u matrici su stvarni primjer dobiven iz procesa uparivanja značajki za konkretni slučaj prikazan u prethodnom poglavlju.

Kada je pronađena matrica H s njom se može postići transformacija perspektive između dviju slika. Korištenjem homografije moguće je preslikati referentnu sliku linije penjačkog smjera na sliku dobivenu s kamere koristeći OpenCV biblioteku te algoritam *warpPerspective*. Formula koju OpenCV koristi za tu transformaciju je sljedeća:

$$\text{dst}(x, y) = \text{src} \left(\frac{M_{11}x + M_{12}y + M_{13}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}}, \frac{M_{21}x + M_{22}y + M_{23}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}} \right) \quad (3.5)$$

Kao izlaz, generira se nova slika na kojoj je sadržaj perspektivno izobličen u skladu s matricom H .



Slika 3.4: Rezultirajuća slika transformirane linije penjačkog smjera

Rezultirajuća slika transformirane linije penjačkog smjera tada se može iscrtati preko slike dobivene s kamere (slika 3.4). Budući da je homografija izračunata na te-

melju značajki sa stijene, transformirana linija će se precizno poklapati s geometrijom stijene u trenutnom pogledu kamere čime se postiže efekt proširene stvarnosti.

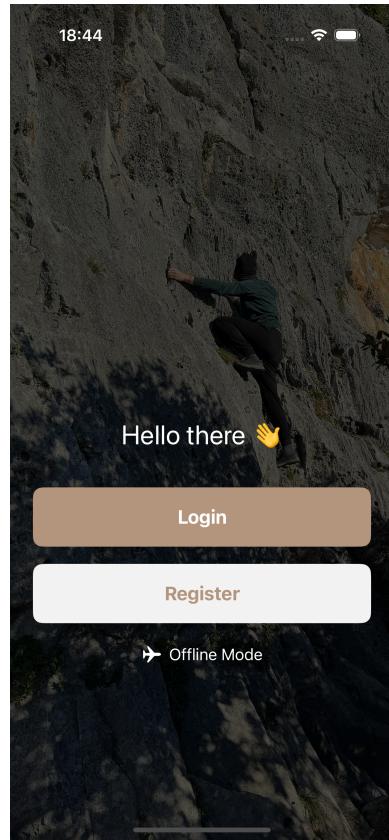
4. Aplikacija za prepoznavanje penjačkog smjera - Alpinity

Nakon analize postojećih rješenja i tehnološke podloge računalnog vida, ovo poglavlje opisuje softversko rješenje razvijeno u sklopu ovog rada - sustav "Alpinity". Temeljna svrha sustava je riješiti problem identifikacije penjačkih smjerova na terenu i omogućiti penjačima izvor informacija kako bi bolje organizirali vlastite penjačke izlete. Sustav se sastoji od pozadinskog sustava te dva korisnička sučelja u obliku mobilne aplikacije za iOS platformu, koja predstavlja središnji alat za koritenje na terenu, i web aplikacije, namijenjene pregledu podataka na ostalim platformama.

Mobilna aplikacija za iOS platformu predstavlja središnji dio sustava "Alpinity" i namijenjena je penjačima za organizaciju penjačkih izleta, ali i za korištenje na terenu. Aplikacija kombinira standardne funkcionalnosti digitalnih vodiča s mogućnostima temeljenim na proširenoj stvarnosti. Omogućuje pregled detaljnih informacija o penjalištima, sektorima i penjačkim smjerovima. Uz to, nudi i personalizirane funkcionalnosti poput vođenja dnevnika uspona i praćenja osobne statistike. Ključna funkcionalnost je mogućnosti korištenja kamere uređaja radi unošenja referentnih podataka o penjačkim smjerovima i vizualizacije penjačih smjerova u stvarnom vremenu pomoću tehnologija proširene stvarnosti. Web aplikacija nudi većinu funkcionalnosti mobilne aplikacije kako bi aplikacija bila dostupna svim korisnicima. Razlika između aplikacija je što u web aplikaciji nije omogućeno dodavanje referentne slike penjačkog smjera, prepoznavanje penjačkih smjerova te rad u izvanmrežnom načinu rada.

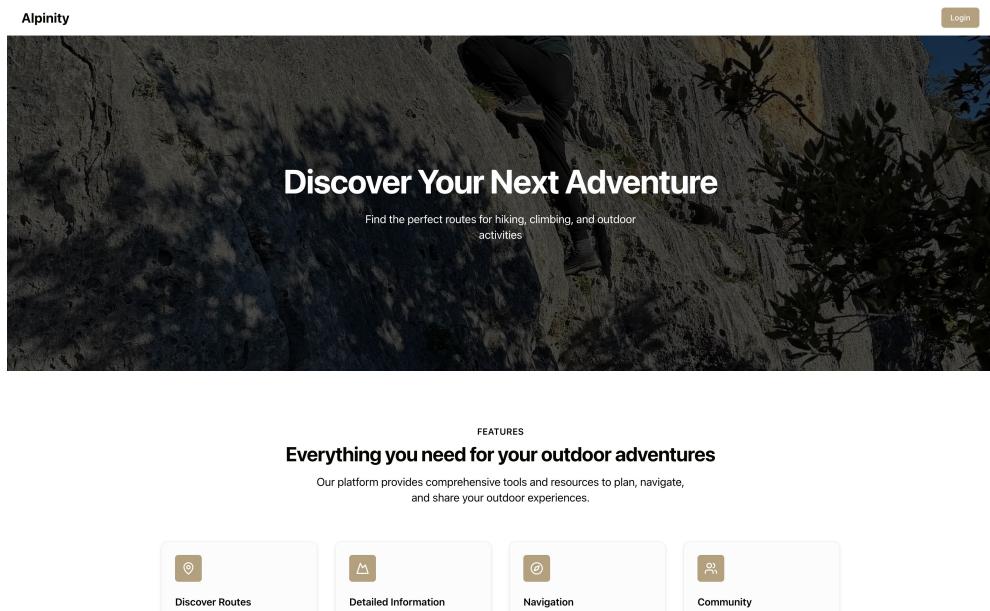
4.1. Autentifikacija korisnika

4.1.1. Početni zaslon



Slika 4.1: Početni zaslon mobilne aplikacije "Alpinity"

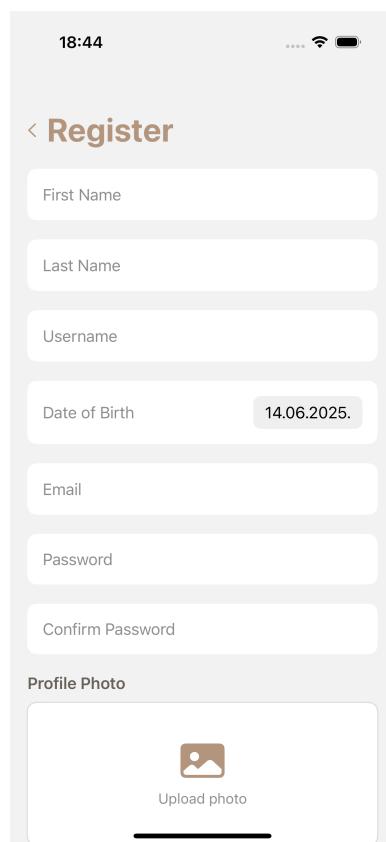
Prvi korak u korištenju aplikacije "Alpinity" je početni zaslon koji služi kao ulazna točka u mobilnu aplikaciju (slika 4.1). Ovaj zaslon nudi tri opcije, prijavu, registraciju i pristup izvanmrežnom načinu rada (eng. *offline mode*).



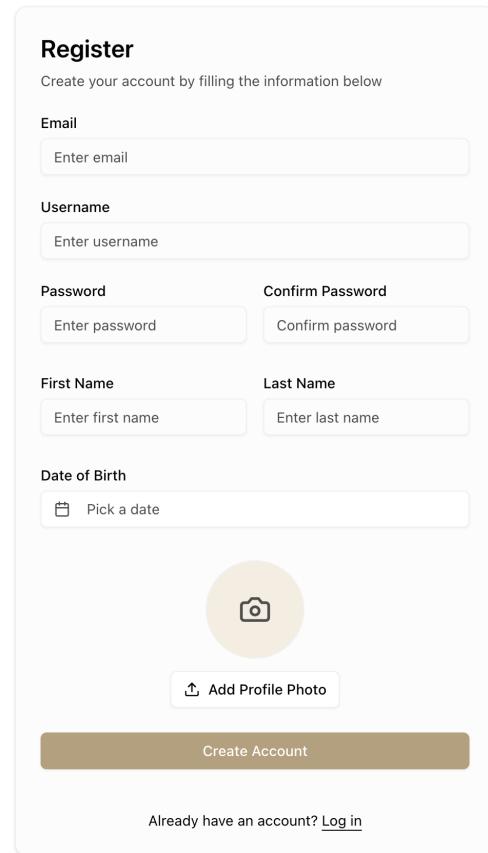
Slika 4.2: Početni zaslon web aplikacije "Alpinity"

Na web aplikaciji, korisniku se prikazuje početni zaslon koji sadrži opis funkcionalnosti aplikacije (slika 4.2). U gornjem desnom kutu nalazi se gumb za prijavu koji vodi na stranicu za prijavu iz koje se može odabrati opcija za registraciju.

4.1.2. Registracija korisnika



(a) Mobilna aplikacija

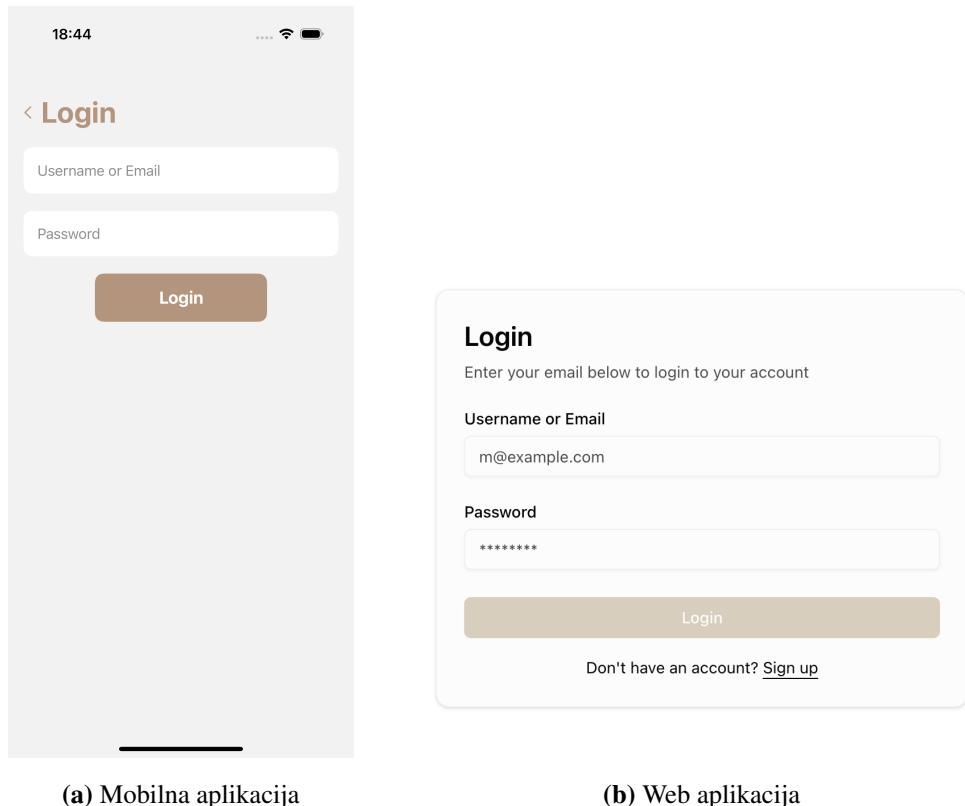


(b) Web aplikacija

Slika 4.3: Prikaz ekrana za registraciju korisnika u aplikaciji "Alpinity"

Registracija korisnika je proces kojim se stvaraju novi korisnički računi (slika 4.3). Od korisnika se traži unos osnovnih podataka, kao što su ime, prezime, jedinstveno korisničko ime, adresa e-pošte i lozinka. Sustav također omogućuje dodavanje profilne fotografije i datuma rođenja. Proces registracije omogućuje kasnije povezivanje unesenih podataka, poput unosa u dnevnik uspona.

4.1.3. Prijava korisnika



Slika 4.4: Prikaz ekrana za prijavu korisnika u aplikaciji "Alpinity"

Prijava korisnika omogućuje korisniku prijavu u sustav koristeći korisničko ime ili e-mail adresu te lozinku (slika 4.4). Nakon uspješne prijave, aplikacija pohranjuje korisničku sesiju na uređaj, čime se eliminira potreba za ponovnim unosom podataka pri sljedećem pokretanju aplikacije, te korisnik je automatski preusmjeren na početni zaslon.

Nakon prijave na web aplikaciji, korisnik se vraća na početni zaslon web aplikacije gdje sada korisnik može vidjeti mogućnosti koje su dostupne samo nakon prijave poput pretraživanja te "Istraži" (eng. *Explore*) stranice.

4.1.4. Odjava korisnika

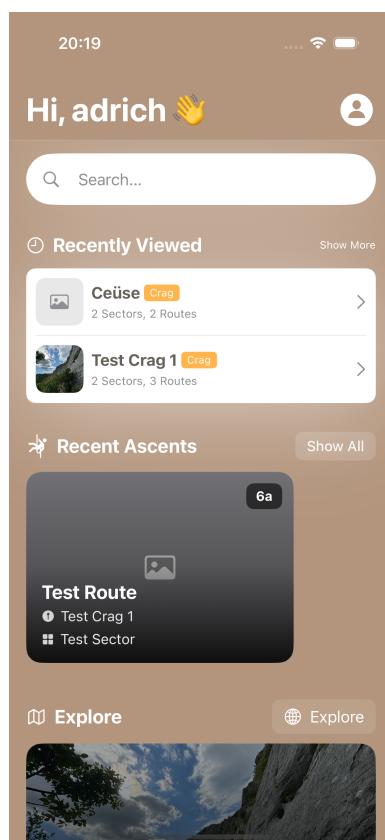
Odjava korisnika je proces kojim se korisnik odjavi iz sustava. Korisnik se može odjaviti na preko vlastitog profila, gdje se nalazi gumb "Odjava" (eng. *Logout*) u izborniku. Nakon odjave, korisnik se vraća na početni zaslon za prijavu i prekida se korisnička sesija.

4.1.5. Navigacija do izvanmrežnog načina rada

Posebno važna funkcionalnost, istaknuta već na početnom zaslonu mobilne aplikacije, je izvanmrežni način rada. Ova opcija omogućuje korisnicima pristup prethodno preuzetim podacima o penjalištima i penjačkim smjerovima na udaljenim lokacijama s ograničenim ili nepostojećim internetskim signalom poput penjališta u prirodi. Time se osigurava da aplikacija bude koristna i u tim uvjetima.

4.2. Početni zaslon i glavna navigacija

Nakon uspješne prijave na mobilnoj aplikaciji, korisnik pristupa početnom zaslonu koji je dizajniran kao personalizirana kontrolna ploča. (slika 4.5)



Slika 4.5: Navigacijski zaslon aplikacije "Alpinity"

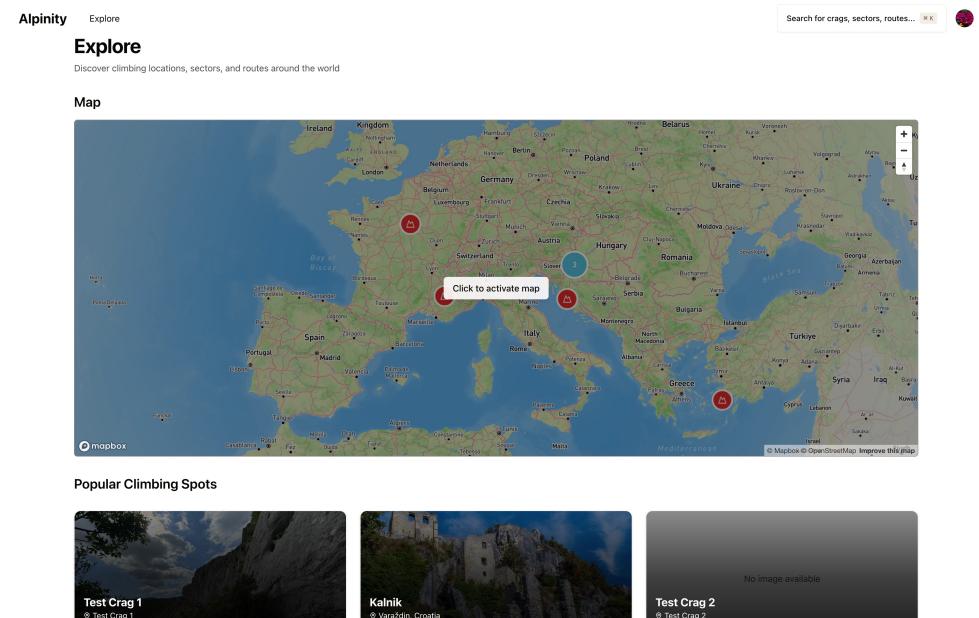
Ovaj zaslon omogućuje brzi pristup najvažnijim informacijama i funkcionalnostima. Zaslon je organiziran u nekoliko cjelina. Na vrhu zaslona nalazi se personalizirana dobrodošlica, gumb koji vodi korisnika na detalje korisničkog profila te istaknuto polje za pretraživanje koje omogućuje brzu i direktnu pretragu svih penjališta, sektora, penjačkih smjerova i korisnika.

Sekcija "Nedavno pregledano" (eng. *Recently viewed*) nudi brze poveznice na detalje penjališta, sektore, penjačke smjerove i drugih korisnika koje je korisnik nedavno pregledavao. Korisnik ima opciju "Vidi više" (eng. *View more*) koja nudi korisniku prikaz više poveznica koje je posjetio.

Odmah ispod, u sekcijsi "Nedavni usponi" (eng. *Recent ascents*) nalazi se lista najnovijih uspona korisnika zabilježenih u dnevniku uspona. Pritisom na određeni element liste otvara se pregled detalja tog penjačkog smjera. Klikom na "Pokaži sve" (eng. *Show all*) otvara se pregled vlastitog profila gdje su zapisani svi korisnikovi usponi.

Na dnu zaslona nalazi se sekcija "Istraži" (eng. *Explore*) namijenjena otkrivanju novih penjališta pomoću prijedloga popularnih penjališta. Preporuke su određene u odnosu na prijašnje korisnikove uspone, specifično preporuke su penjališta koje se nalaze u blizini penjališta koje je korisnik nedavno posjetio. Klikom na određeno penjalište u listi odlazi se na pregled detalja tog penjališta. Pritisom na gumb "Istraži" (eng. *Explore*) otvara se pregled sa geografskom kartom sa svim penjališta.

Na web aplikaciji ne postoji ekvivalent za početni zaslon mobilne aplikacije, već poveznice na nedavno pregledane entitete nalaze se u sklopu pretraživanja. Nedavni usponi su dostupni u sklopu stranice korisničkog profila, a "Istraži" sekcija je pretvorena u zasebnu stranicu koja sadrži geografsku kartu sa penjalištima i prijedlozima popularnih penjališta (slika 4.6).



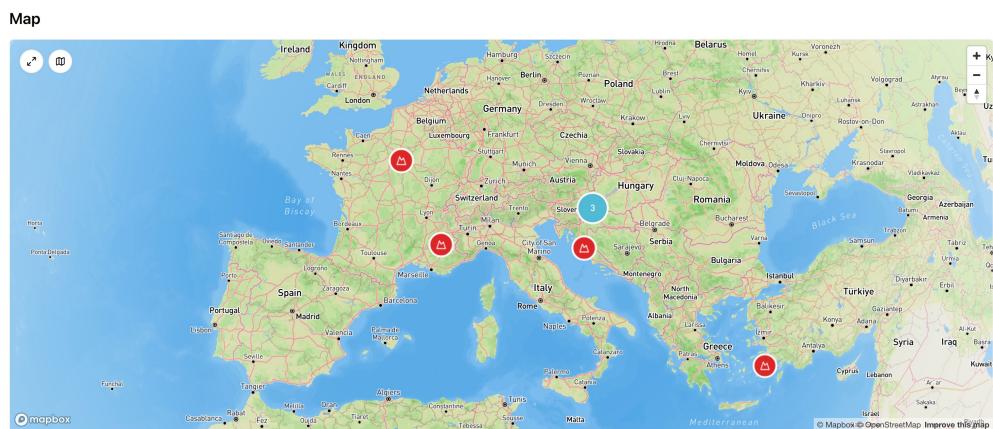
Slika 4.6: "Istraži" stranica web aplikacije "Alpinity"

4.3. Geografska karta penjališta

Kako bi se korisnicima olakšala prostorna orijentacija, aplikacije integriraju interaktivnu geografsku kartu. Ova funkcionalnost omogućuje vizualno istraživanje penjališta na globalnoj razini kao i detaljnu navigaciju unutar pojedine penjališta.



(a) Mobilna aplikacija

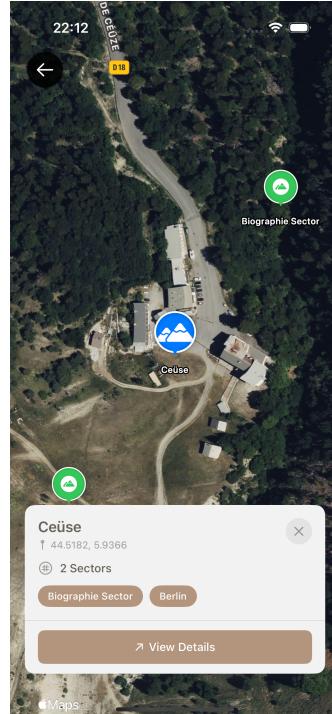


(b) Web aplikacija

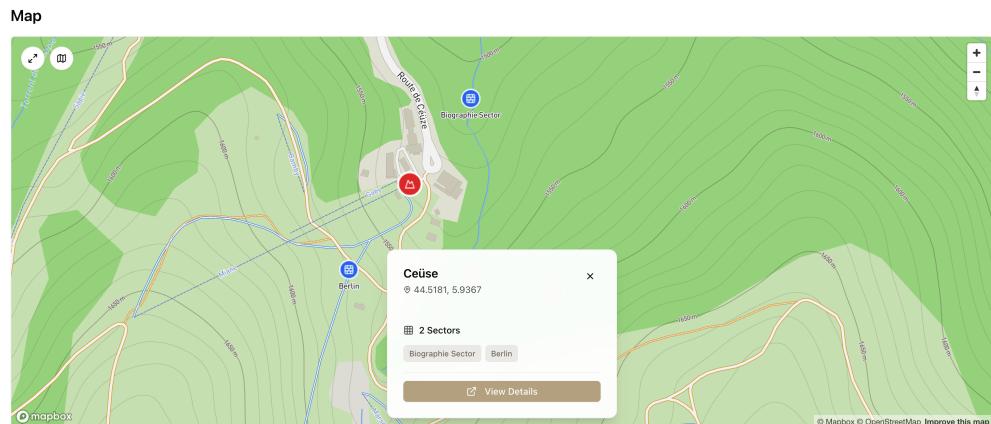
Slika 4.7: Geografska karta penjališta s prikazom grupiranih oznaka

Pristupom karti korisniku se prikazuje karta svijeta (slika 4.7) s grupiranim oznakama (eng. *clusters*) koje indiciraju broj dostupnih penjališta na određenom području. Grupirane oznake omogućuju pregled penjališta na visokoj razini, ali bez pretrpanosti

informacijama. Približavanjem karte, grupirane oznake se razdvajaju, otkrivajući pojedinačna penjališta.



(a) Mobilna aplikacija



(b) Web aplikacija

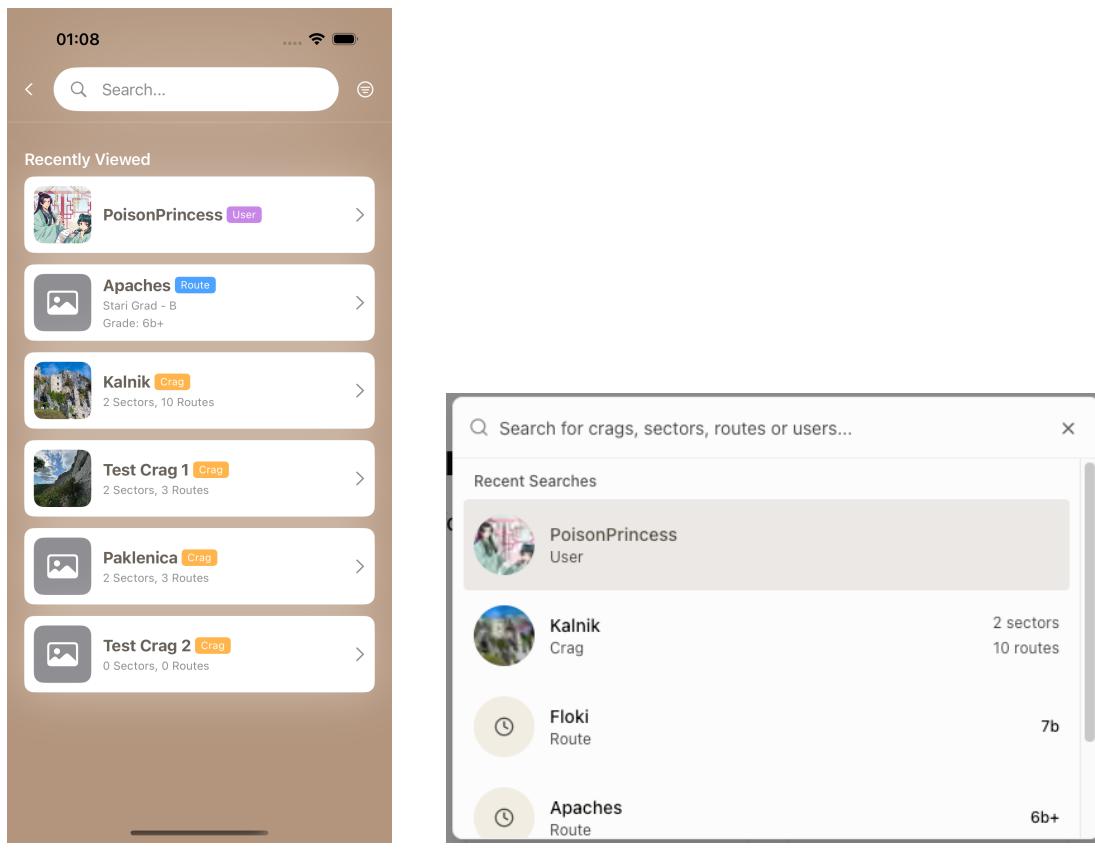
Slika 4.8: Detaljan prikaz penjališta Ceuse

Odabirom oznake za pojedino penjalište, karta se automatski centririra i približava na tu lokaciju, prikazujući satelitski snimak područja (slika 4.8). Na ovom detaljnem prikazu prikazana je oznaka za penjalište, a i oznake za sve sektore. Ovakav prikaz je koristan za razumijevanje rasporeda sektora i planiranje kretanja na terenu. Na dnu prikaza nalazi se informativna kartica s osnovnim podacima o odabranoj lokaciji poput naziva, GPS koordinata i popisa dostupnih sektora. Korisniku se tada nude opcije za

pregled detaljnih informacija o toj penjalištu ili sektorima klikom na "Pogledaj detalje" (eng. *View Details*) ili klikom na željeni sektor.

4.4. Pretraživanje penjališta, sektora, penjačkih smjera i korisnika

Kako bi korisnici mogli brzo pronaći informacije, aplikacija omogućuje pretraživanje penjališta, sektora, penjačkih smjerova i korisnika. Pristupom zaslonu za pretraživanje ili na web aplikaciji klikom na traku za pretraživanje u navigacijskoj traci, korisniku se prikazuje traka za unos teksta te, inicijalno, popis nedavno pregledanih stavki, što omogućuje brz povratak na prethodno pregledane elemente (slika 4.9).



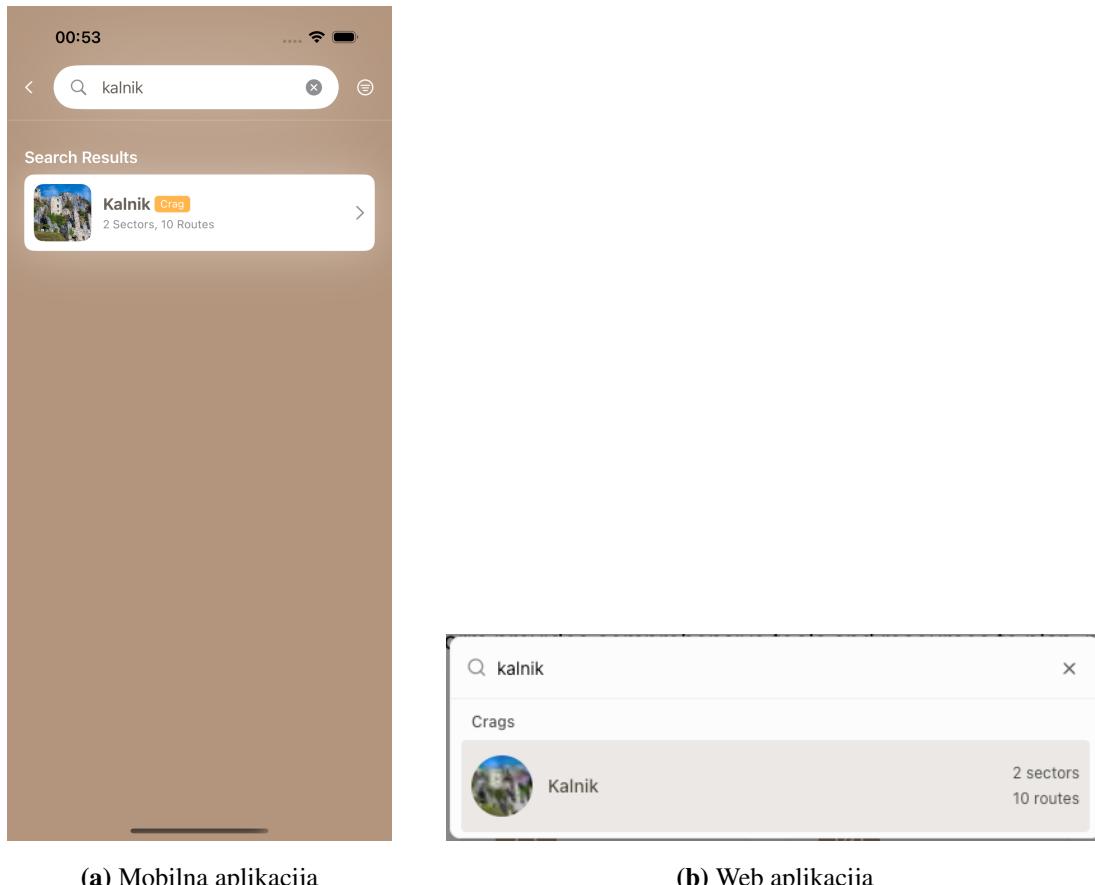
(a) Mobilna aplikacija

(b) Web aplikacija

Slika 4.9: Inicijalno stanje pretraživanja - prikaz nedavno pregledanih stavki

Sustav pretraživanja je dinamičan i reagira na korisnikov unos. Upisivanjem pojma u traku za pretraživanje, aplikacija filtrira popis dostupnih penjališta, sektora, penjačkih smjerova i korisnika te prikazuje relevantne rezultate iz više kategorija istovremeno

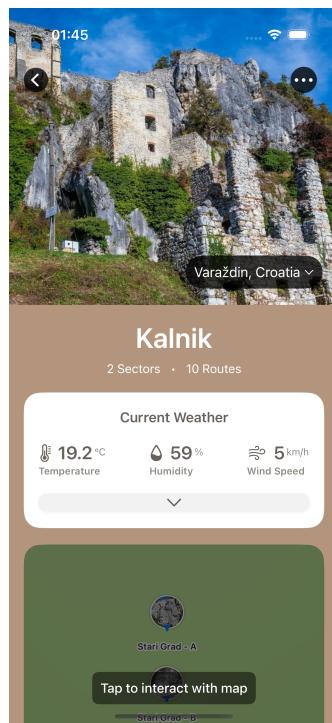
(slika 4.10).



Slika 4.10: Funkcionalnost pretraživanja

Svaki rezultat pretrage prikazan je u obliku pregleda kartica koje sadrže informacije poput naziva i tipa sadržaja, te dodatne podatke ovisno o tipu sadržaja. Penjališta sadrže broj sektora i penjačkih smjerova, sektori broj penjačkih smjerova, a korisnici broj penjačkih smjerova koje su popeli. Odabirom bilo kojeg rezultata, korisnik se preusmjerava na odgovarajući detaljni prikaz.

4.5. Detalji penjališta



(a) Mobilna aplikacija

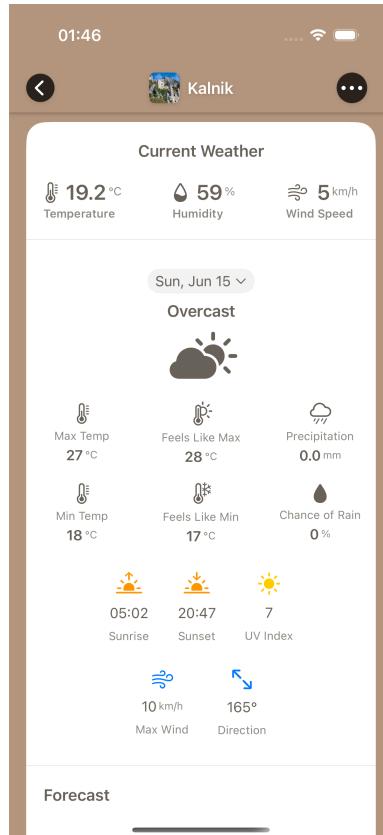
A screenshot of a web-based climbing application. At the top left, it says "Alpinity Explore". On the right, there is a search bar with "Search for crags, sectors, routes..." and a user profile icon. The main content area shows "Kalnik" with the subtitle "Varaždin, Croatia". It includes a "Weather" section with "22.2°C" (Overcast), "4.4 km/h" (Wind), and "44%" (Humidity). Below this is a "Location" section featuring a map of the climbing area. The map shows several crag locations with icons and labels like "Stari grad Veliku Kalniku". A button on the map says "Click to activate map". The map is powered by "mapbox" and includes OpenStreetMap and "Improve this map" options.

(b) Web aplikacija

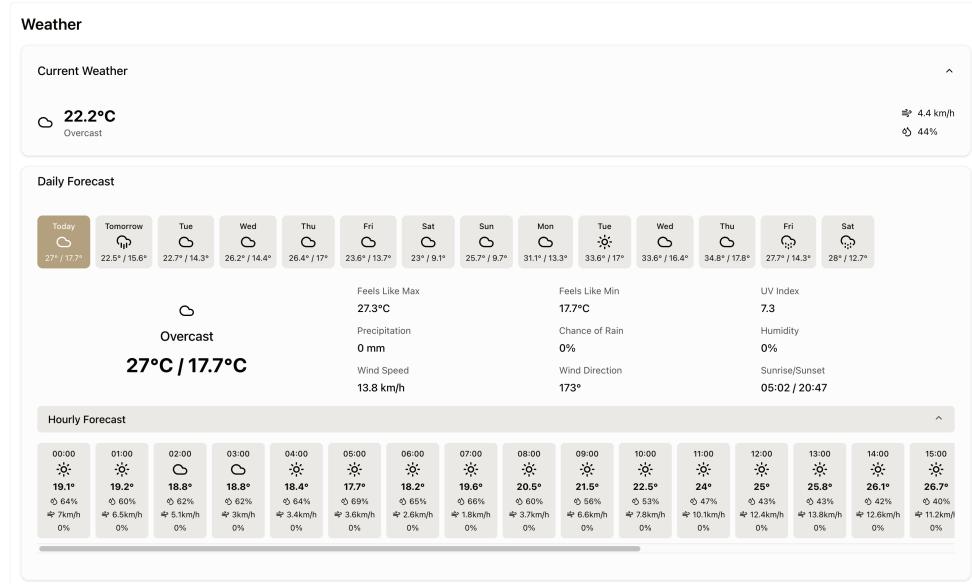
Slika 4.11: Detalji penjališta na mobilnoj i web aplikaciji

Odabijom penjališta iz pretrage, s geografske karte ili drugih pregleda, korisnik prisluhuje zaslonu s detaljnim informacijama o penjalištu (slika 4.11). Zaslon je podijeljen

na nekoliko cjelina. Na vrhu se nalazi istaknuta fotografija penjališta, zajedno s nazivom i osnovnim podacima o broju sektora i penjačkih smjerova. Na web aplikaciji nalazi se isti prikaz, ali s manjim promjenama. Slika penjališta nalazi se ispod geografske karte, a broj sektora i penjačkih smjerova nalazi se u prikazu sektora i penjačkih smjerova.



(a) Mobilna aplikacija



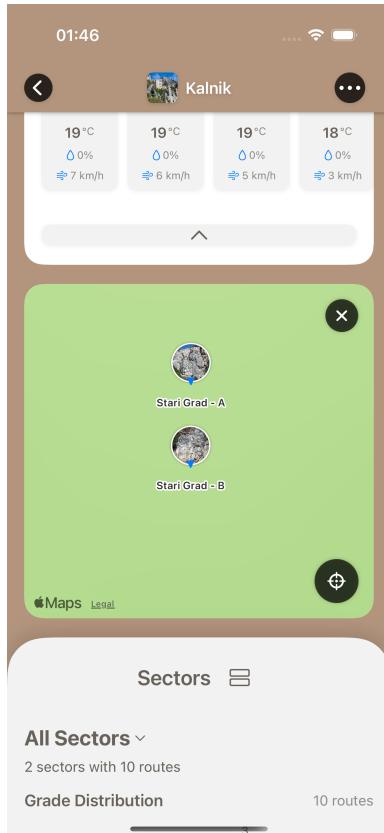
(b) Web aplikacija

Slika 4.12: Vremenska prognoza na mobilnoj i web aplikaciji

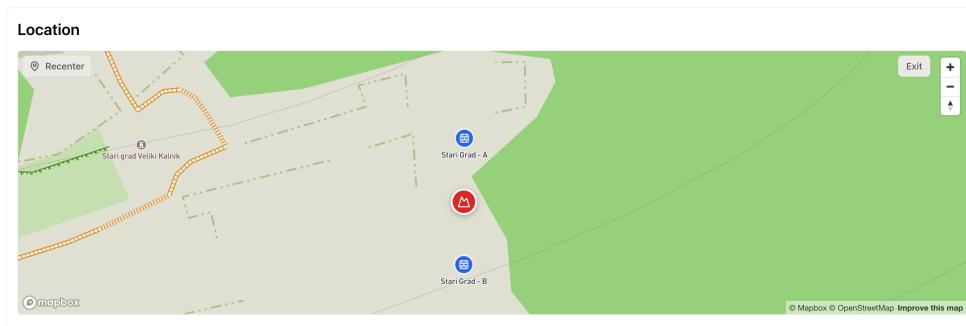
Odmah ispod, nalazi se komponenta s vremenskom prognozom (slika 4.12). Ona prikazuje trenutne vremenske uvjete, kao i detaljnu prognozu po satima za sljedećih

14 dana. Detaljna prognoza uključuje temperaturu, vjerojatnost i količina padalina, brzinu vjetra, UV indeks i ostale relevantne podatke. Ova funkcionalnost je važna za planiranje penjačkih izleta.

Nakon komponente vremenske prognoze sljedi interaktivna karta penjališta koja prikazuje precizne lokacije svih sektora, omogućujući korisniku lako snalaženje i planiranje kretanja između njih (slika 4.13).



(a) Mobilna aplikacija

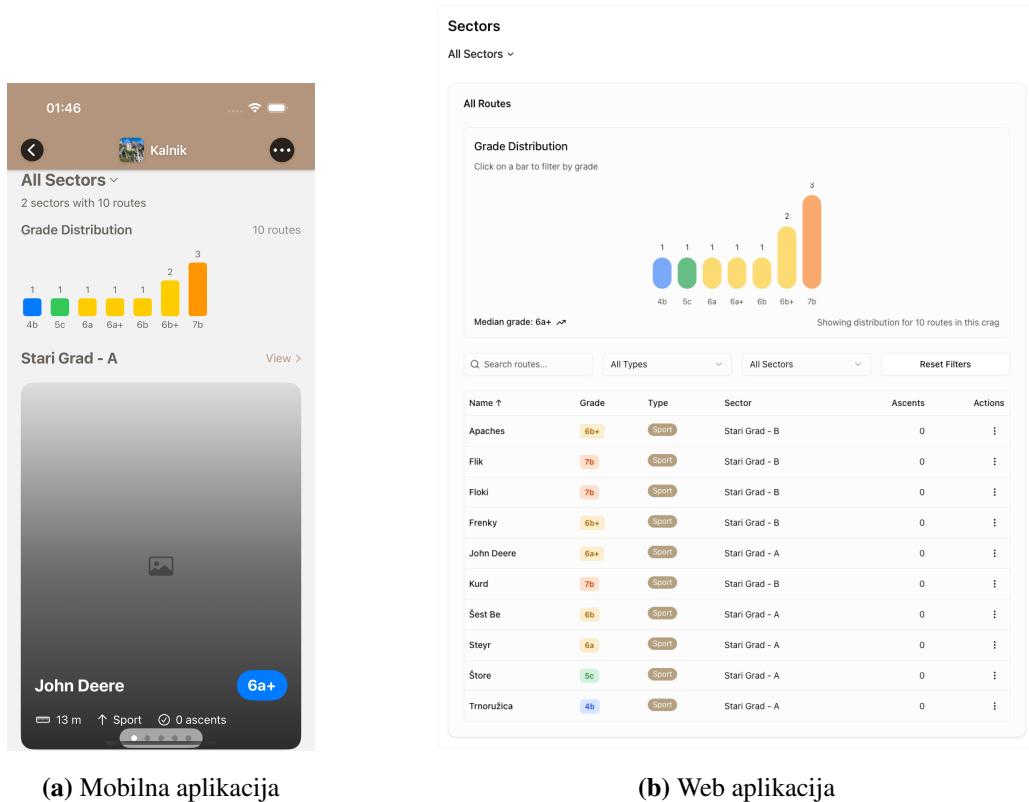


(b) Web aplikacija

Slika 4.13: Interaktivna karta penjališta

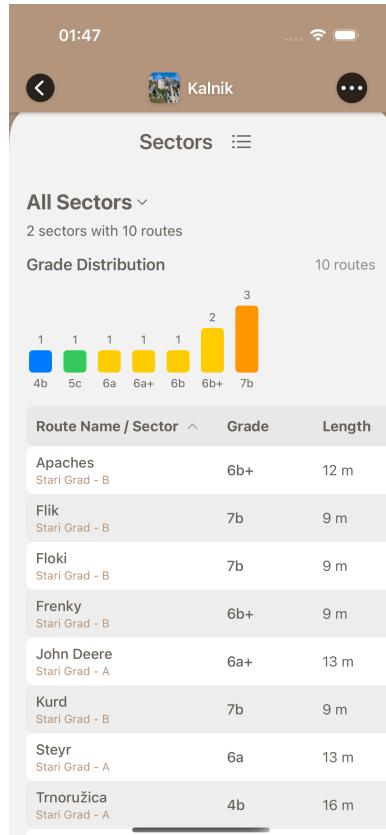
Ispod karte nalazi se prikaz detalja za sektore. Prije ikakvih odabira, korisniku se

prikazuje popis svih penjačkih smjerova grupiranih po sektorima te distribucija težina na penjalištu (slika 4.14).



Slika 4.14: Prikaz detalja za sektore

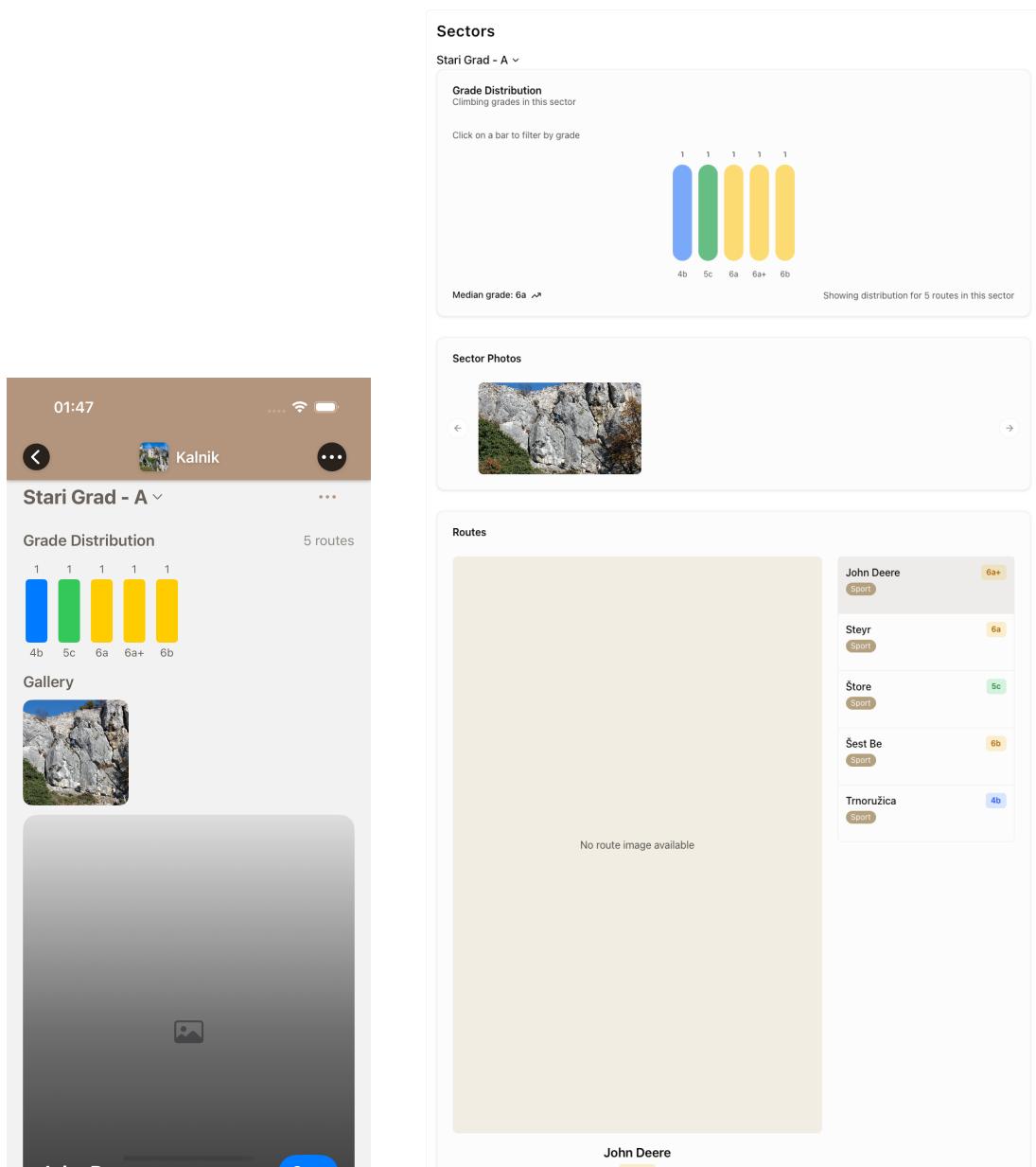
Klikom na određenu težinu u grafu filtriraju se svi penjački smjerovi koji pripadaju odabranoj težini. Lista penjačkih smjerova na mobilnoj aplikaciji je horizontalna lista koja prikazuje penjački smjer u većem formatu kako bi se mogla bolje vidjeti slika penjačkog smjera. Preko slike nalaze se detalji o penjačkom smjeru poput naziva, težine, dužine, tipa i broja uspona.



Slika 4.15: Tablični prikaz sektora na mobilnoj aplikaciji

Ako korisnik preferira tablični prikaz na mobilnoj aplikaciji, može to promijeniti klikom na gumb pored naslova "Sektori" (eng. *Sectors*) (slika 4.15). Na web aplikaciji tablični prikaz je zadani prikaz. Tablični prikaz omogućuje pregled svih penjačkih smjerova te sortiranje po nazivu, težini, dužini, tipu te broju uspona. S obzirom da na web aplikaciji nije grupiran prikaz po sektorima, postoje filteri koji korisnik može koristiti za filtriranje penjačkih smjerova po imenu, tipu i sektoru.

Klikom na izbornik "Svi sektori" (eng. *All sectors*) korisniku prikazuje se popis svih sektora na penjalištu (slika 4.16).



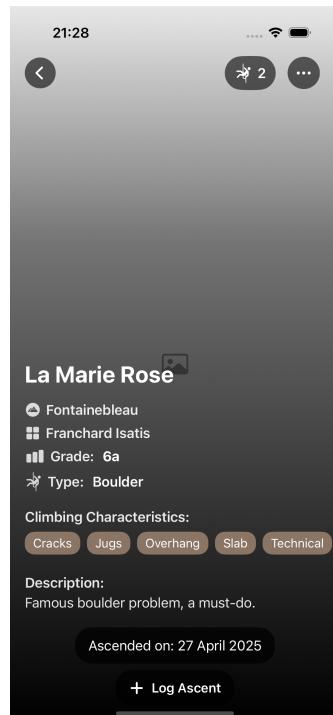
(a) Mobilna aplikacija

(b) Web aplikacija

Slika 4.16: Prikaz detalja za odabrani sektor

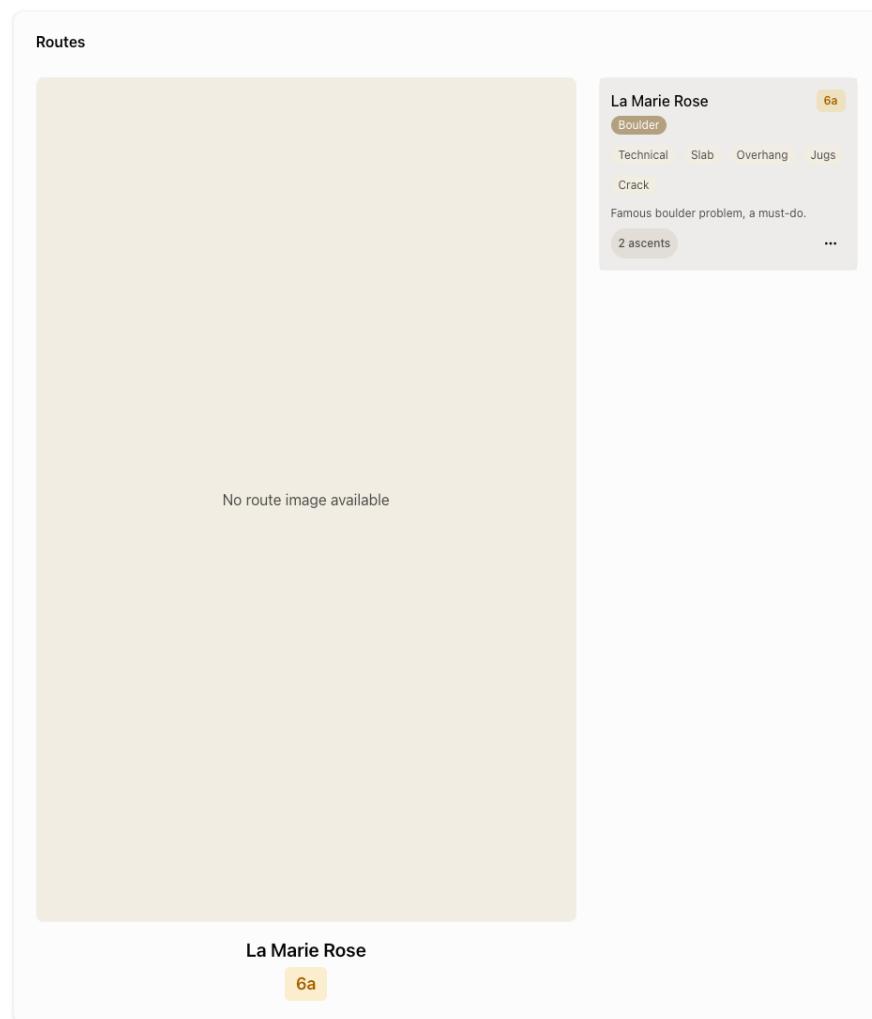
Odabirom određenog sektora, korisniku se prikazuje graf težina filtriran po odabranom sektoru, slike sektora te popis svih penjačkih smjerova u tom sektoru. Klikom na određeni stupac na grafu težina, popis penjačkih smjerova se filtrira po označenoj težini. Tablični prikaz je isto dostupan klikom na gumb pored naslova "Sektori" (eng. *Sectors*). Na web aplikaciji nalaze se ista funkcionalnost, ali s različitim prikazom.

4.6. Detalji penjačkog smjera



Slika 4.17: Detalji penjačkog smjera na mobilnoj aplikaciji

Pristupom detaljnog pregledu pojedinog penjačkog smjera na mobilnoj aplikaciji (slika 4.17), korisniku se prikazuju informacije o penjačkom smjeru. Na vrhu zaslona istaknuti su osnovni podaci poput naziva, lokacije u obliku imena penjališta i sektora, težine te tip penjačkog smjera. U pozadinu se nalazi referentna slika penjačkog smjera. Klikom na pozadinu nestaju sve informacije o penjačkom smjeru kako bi slika postala vidljiva. Ispod toga, aplikacija nudi detaljni uvid u karakteristike penjačkog smjera koristeći oznake za opisivanje stila penjanja. Neke od karakteristika su veliki hvatovi, tehnički potezi, mali hvatovi i kosa stijena. Karakteristike određuju penjači koji su upisali da su popeli penjački smjer.



Slika 4.18: Detalji penjačkog smjera na web aplikaciji

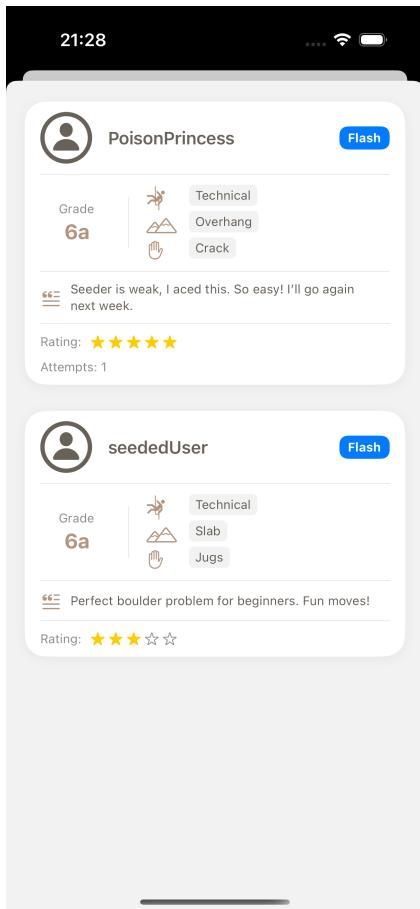
Na web aplikaciji korisniku se prikazuju iste informacije, no one se nalaze u listi penjačkih smjerova kada je označen pregled određenog sektora na stranici detalja penjališta (slika 4.18). Klikom na penjački smjer u listi, korisniku se na lijevo prikazuje referentna slika penjačkog smjera.

(a) Mobilna aplikacija

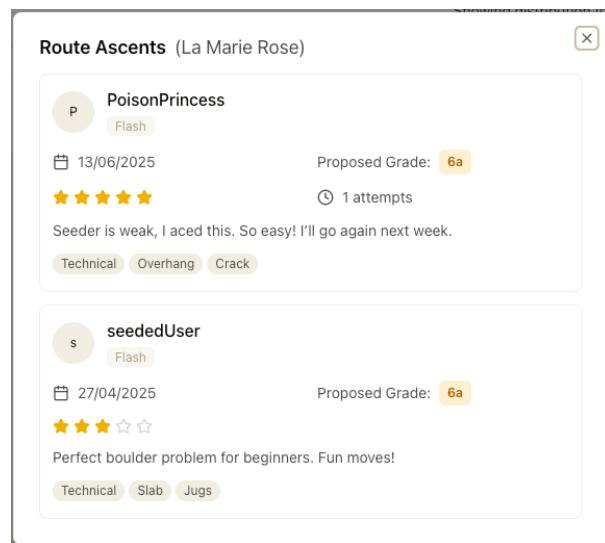
(b) Web aplikacija

Slika 4.19: Formular za unos podataka o usponu

Klikom na gumb "Zapiši uspon" (eng. *Log Ascent*) ili na web aplikaciji izbornik u kartici penjačkog smjera, korisnik pristupa formi za unos podataka o usponu (slika 4.19). Za unos uspona potrebno je odabrati datum i stil uspona. Opcije za stil uspona su *Flash*, *Onsight*, *Redpoint* i *Aid*. Korisnik također može unijeti broj pokušaja koje je imao na penjačkom smjeru, dati ocjenu u obliku broja zvjezdica te odabrati karakteristike penjačkog smjera. Finalno korisnik može unijeti neki komentar usponu što može uključivati neka upozorenja ili pohvale za kvalitetu penjačkog smjera.



(a) Mobilna aplikacija



(b) Web aplikacija

Slika 4.20: Prikaz uspona

Klikom na gumb za prikaz uspona u gornjem desnom kutu zaslona ili klikom na gumb za prikaz uspona u kartici penjačkog smjera na web aplikaciji, korisniku se prikazuje popis uspona na tom penjačkom smjeru (slika 4.20). Popis sadrži zabilježene uspon svih korisnika na tom penjačkom smjeru sortirano po datumu uspona od najnovije prema najstarijem. Svaki unos sadrži korisničko ime, stil uspona, predloženu težinu, karakteristike penjačkog smjera koje je korisnik unio, osobni komentar i broj zvjezdica.

4.7. Prepoznavanje penjačkih smjerova

TODO: Nedostaju slike

Središnja funkcionalnost aplikacije i prednost u odnosu na postojeća rješenja jest funkcionalnost prepoznavanja i vizualizacije penjačkih smjerova u stvarnom vremenu. Ova mogućnost je dostupna samo u sklopu mobilne aplikacije i direktno rješava pro-

blem interpretacije 2D *topo* slike. Pristup ovoj funkcionalnosti omogućen je sa zaslona s detaljnim pregledom penjačkog smjera. Odabirom opcije za prepozavanje, aplikacija aktivira kameru uređaja i pokreće proces temeljen na algoritmima računalnog vida. Korisnik usmjerava kameru prema stijeni, a aplikacija u pozadini kontinuirano analizira dobivene slike. Kada je prepoznat penjački smjer korisnik na svom ekranu vidi stvarni svijet s virtualnom linijom koja je nacrtana na stijeni označavajući točnu liniju penjačkog smjera.

Aplikacija nudi korisniku postavke za prilagodbu procesa prepozavanja. Korisnik može birati između dva glavna načina rada. U automatskom načinu rada (eng. *Automatic mode*), aplikacija kontinuirano analizira slike dobivene s kamere i automatski pokušava prepoznati smjer što pruži iskustvo proširene stvarnosti.

S obzirom na računalno intezivnu prirodu tog procesa, kao alternativu kako bi se smanjila potrošnja resursa, dostupan je i ručni način rada (eng. *Manual mode*). U tom načinu rada, aplikacija ne analizira slike u realnom vremenu, već korisnik samostalno snima fotografiju stijene, a proces prepoznavanja se izvršava samo na toj jednoj, statičnoj slici.

Dodatno, korisniku su na raspolaganju dostupne i tri razine jačine prepozavanja: *Low*, *Medium* i *High*. Ove postavke u pozadini prilagođavaju parametre algoritama kako bi se postigao kompromis između brzine i kvalitete prepoznavanja. Viša razina jačine prepoznavanja rezultira u preciznijim prepoznavanjima, ali uz veće računsko opterećenje, dok niža nudi brži rad i manju potrošnju. Ove opcije omogućuju korisniku da prilagodi proces prepoznavanja prema svojim potrebama i uvjetima.

4.8. Korisnički profil

Svaki registrirani korisnik unutar aplikacije ima pregled profila koji služi kao centralno mjesto za pregled svih njegovih penjačkih aktivnosti i analizu napretka. Pristupom profilu korisniku se prikazuje sažetak njegovih penjačkih aktivnosti poput ukupnog broja posjećenih penjališta, ukupan broj zabilježenih uspona te broj dodanih fotografija.

The image displays two versions of the Alpinity application interface. On the left, the mobile application shows a user profile for 'seededUser' with basic stats: 4 Crags, 7 Ascents, and 0 Photos. It includes a filter for ascent types (All, Boulder, Sport, Trad), climbing statistics by style (Flash, Redpoint, Onsight, Total), and a performance graph. On the right, the web application shows the same user profile with additional details: 4 Crags Visited, 7 Total Ascents, and 0 Photos. It features a 'Recently Ascended' section listing 'Test Route' (6a) and 'Crimpy Face' (6b), both with 'No photo'. Below this is a table titled 'Ascents by Route Type' showing counts for Sport, Trad, Boulder, and MultiPitch routes across Onsight, Flash, Redpoint, and Aid styles.

(a) Mobilna aplikacija

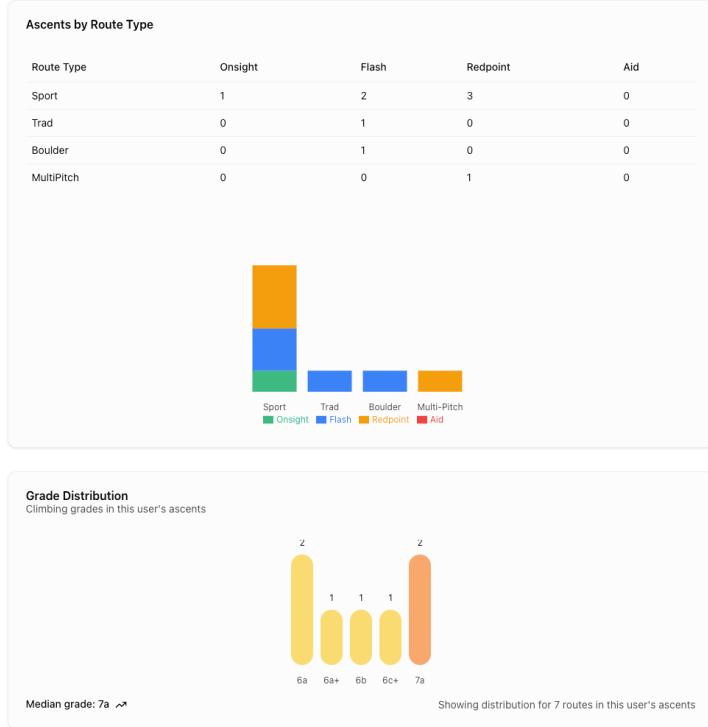
(b) Web aplikacija

Slika 4.21: Korisnički profil

Središnji dio profila posvećen je detaljnoj statističkoj analizi (slika 4.21). Korisnik može filtrirati svoje uspone prema penjačkoj disciplini, poput boulder, sportsko penjanje ili tradicionalno penjanje, kako bi dobio precizniji uvid u svoje aktivnosti. Aplikacija pruža tablični prikaz broja uspona po stilu (Flash, Redpoint, Onsight), omogućujući korisniku da lako vidi koje stilove najčešće prakticira. Dodatno web aplikacija sadrži i nedavno popete penjačke smjerove za korisnika organizirane u horizontalnoj listi sortiranim po datumu uspona od najnovije prema najstarijem.



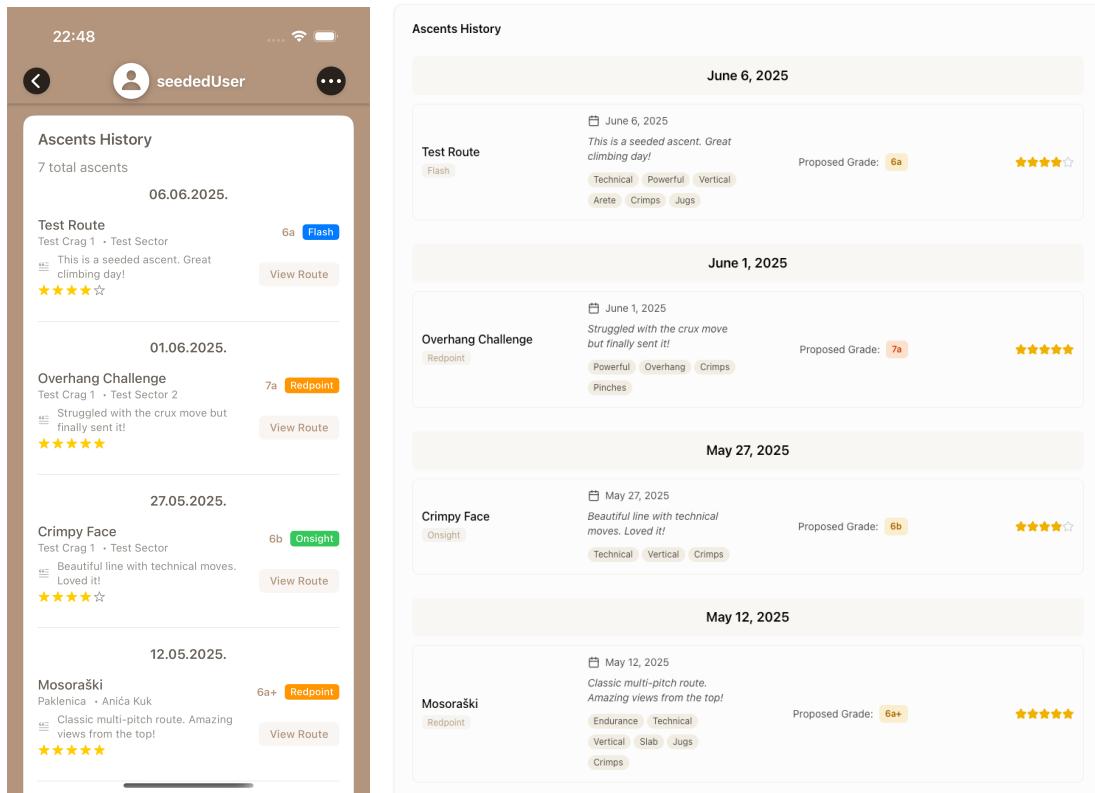
(a) Mobilna aplikacija



(b) Web aplikacija

Slika 4.22: Grafovi performansi i distribucije po ocjenama

Za bolju vizualizaciju, podaci su prikazani i u dva ključna grafa (slika 4.22). Graf performansi prikazuje distribuciju uspona po stilu, dok graf distribucije po ocjenama prikazuje stupčastim diagramom, odnosno koliko je penjačkih smjerova određene težine je korisnik uspješno popeo. Ovi grafički prikazi omogućuju procjenu vlastitih sposobnosti i napretka tokom vremena. Finalno na dnu profila nalazi se i lista svih slika kojima korisnik želi istaknuti svoj profil.



(a) Mobilna aplikacija

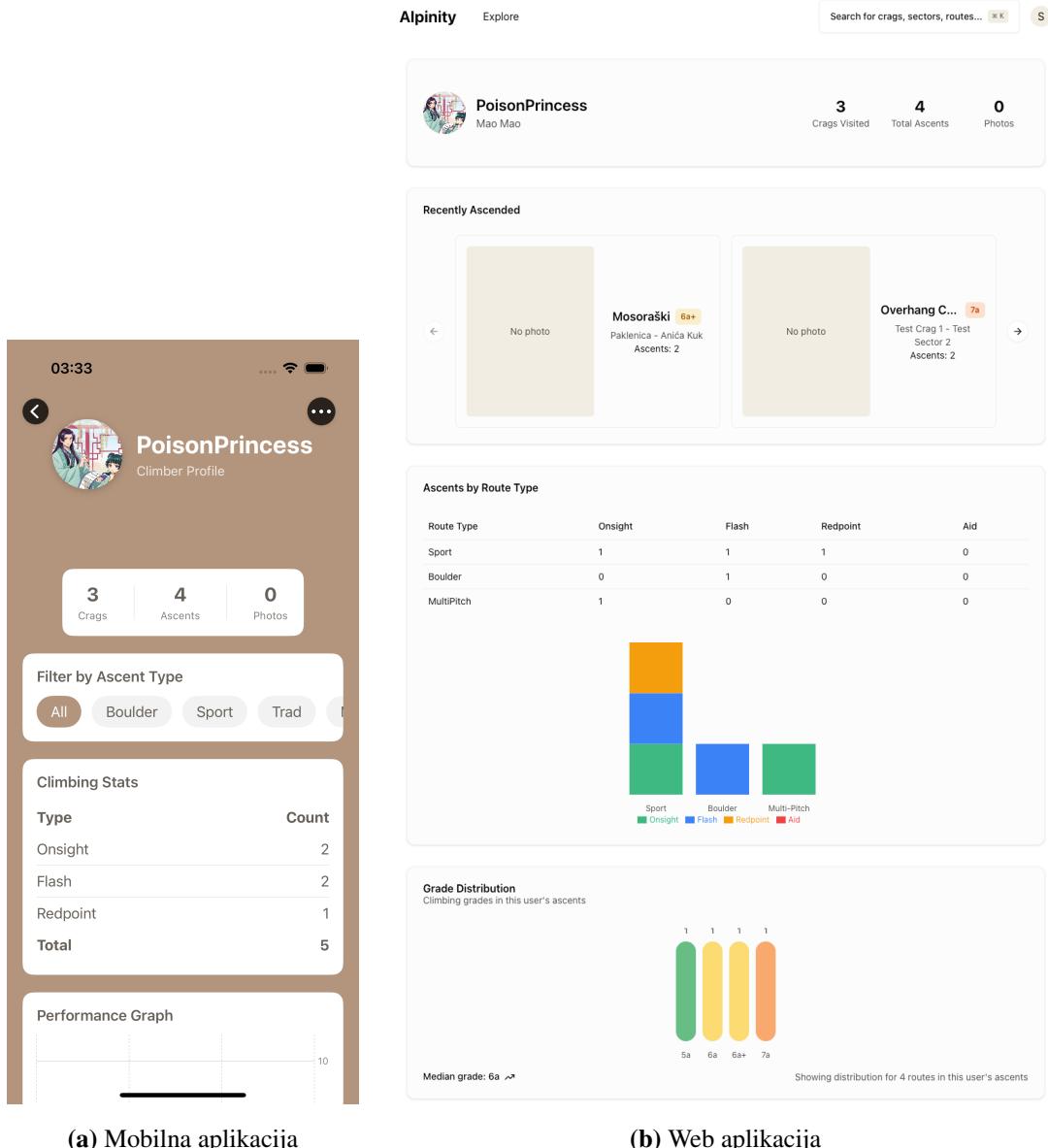
(b) Web aplikacija

Slika 4.23: Povijest uspona

Osim statistike, profil sadrži i povijest svih uspona, kronološki poredanih od najnovijeg prema najstarijem (slika 4.23). Svaki unos u povijest sadrži sve relevantne informacije poput datuma, naziva penjačkog smjera, lokaciju, težinu, stil uspona, osobni komentar i ocjenu smjera te direktnu poveznicu na detaljni pregled samog penjačkog smjera. Ovaj dnevnik služi kao vrijedan alat za prisjećanje na prethodna penjačka iskustva.

4.8.1. Korisnički profil drugog korisnika

Pretraživanjem korisničkog profila drugog korisnika, korisnik može vidjeti statistike, grafove performansi i povijest uspona drugog korisnika na isti način kao i na vlastitom profilu (slika 4.24).



Slika 4.24: Korisnički profil drugog korisnika

4.9. Unos i uređivanje podataka

Kako bi sustav bio dinamičan i ažuran, aplikacija omogućuje ovlaštenim korisnicima kreiranje i uređivanje svih hijerarhijskih razina podataka, od penjališta do pojedinačnih penjačkih smjerova.

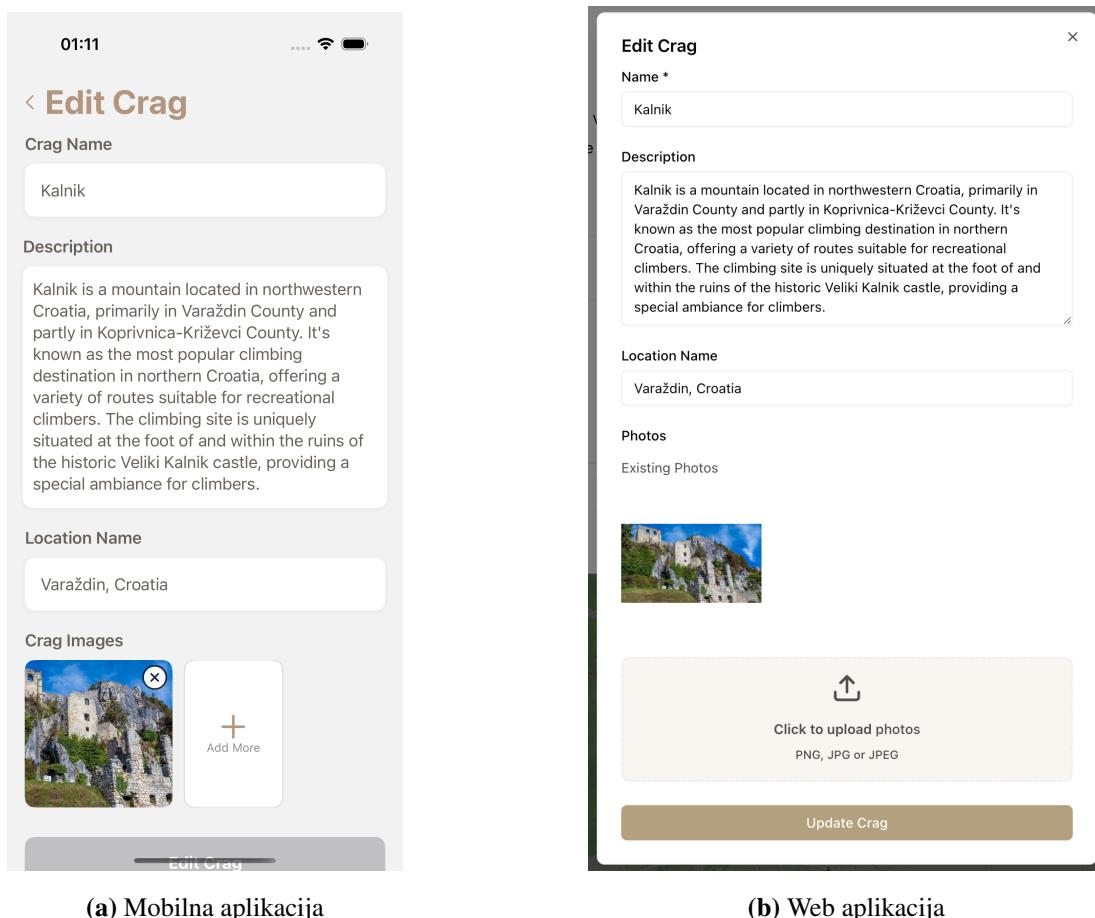
4.9.1. Dodavanje, uređivanje i brisanje penjališta

Na korisničkom profilu omogućeno je kreiranje novog penjališta u izborniku u gornjem desnom kutu korisničkog profila. Na web aplikaciji ta opcija se nalazi u navigacijskoj traci u postavkama korisničkog izbornika. Funkcionalnost kreiranja novog penjališta nije dostupna svim korisnicima, već je ograničena na one s posebnim ovlastima, a to su administratori sustava i verificirani korisnici (eng. *creators*).

The image displays two side-by-side screenshots of a 'Create Crag' form. On the left, labeled '(a) Mobilna aplikacija', is a mobile application interface. It features a header 'Create Crag', fields for 'Crag Name' (placeholder 'Enter crag name here...'), 'Description' (placeholder 'Enter crag description here... (optional)'), 'Location Name' (placeholder 'Enter location name here... (optional)'), and 'Crag Images' with a button 'Upload images'. A large 'Create Crag' button is at the bottom. On the right, labeled '(b) Web aplikacija', is a web-based form titled 'Create New Crag'. It includes fields for 'Name *' (placeholder 'Enter crag name'), 'Description' (placeholder 'Enter crag description'), 'Location Name' (placeholder 'Enter location name'), and a 'Photos' section with a button 'Click to upload photos' (accepting 'PNG, JPG or JPEG'). A large 'Create Crag' button is at the bottom.

Slika 4.25: Dodavanje novog penjališta

Ovlašteni korisnik odabirom ove opcije pristupa formi za unos novog (slika 4.25). Potrebno je unijeti naziv penjališta, opcionalni opis koji može sadržavati informacije o povijesti regije ili slične zanimljivosti, te naziv šire geografske lokacije. Ime geografske lokacije korisnik može samostalno dodati, no ako ne postoji, aplikacija će automatski dodati naziv geografske lokacije na temelju lokacije penjališta. Ključno, korisnik može dodati jednu ili više fotografija koje vizualno predstavljaju penjalište. Nakon unosa svih podataka, novo penjalište se stvara u sustavu i postaje dostupna svim korisnicima.



Slika 4.26: Uređivanje postojećeg penjališta

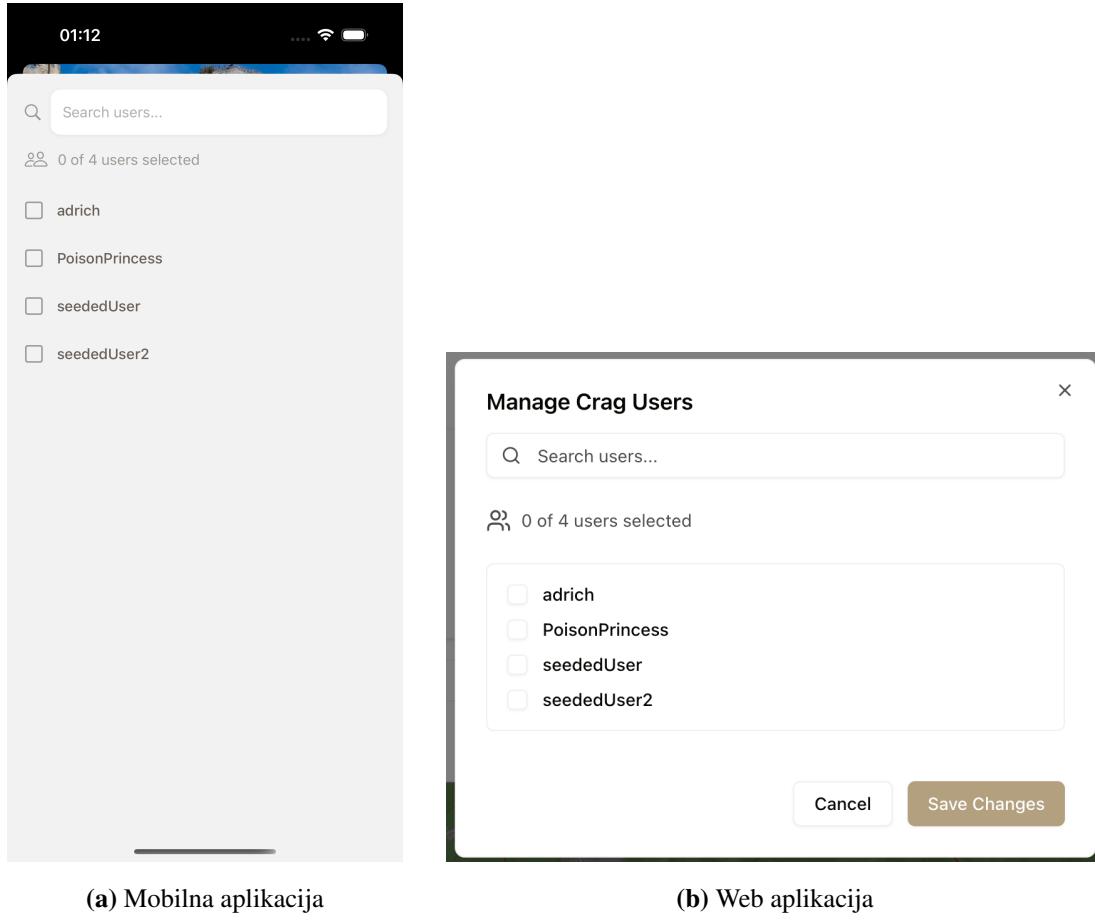
Osim kreiranja novih, ovlašteni korisnici imaju mogućnost i uređivanja postojećih penjališta (slika 4.26). Pristup ovoj funkcionalnosti omogućen je u izborniku na zaslonu s detaljnim pregledom penjališta. Sučelje za uređivanje omogućuje promjenu svih prethodno unesenih podataka, uključujući naziv, opis i naziv geografske lokacije. Korisnici također mogu upravljati galerijom fotografija, dodajući nove ili uklanjajući postojeće slike.

Brisanje penjališta dostupno je u izborniku na zaslonu detaljnog pregleda penjališta. Klikom na opciju "Izbriši penjalište" (eng. *Delete crag*) korisniku se prikazuje prozor s upitom o potvrdi brisanja. Ako korisnik potvrdi brisanje, penjalište se briše iz sustava i postaje nedostupno svim korisnicima.

4.9.2. Upravljanje korisničkim ovlastima

Kako bi se osigurala kontrola nad unosom i uređivanjem podataka, a istovremeno omogućio doprinos više ljudi, sustav implementira mehanizam za upravljanje korisničkim

ovlastima na razini pojedine penjališta. Ovoj funkcionalnosti imaju pristup samo vlasnik penjališta i administratori sustava putem izbornika na zaslonu s detaljnim pregledom penjališta.

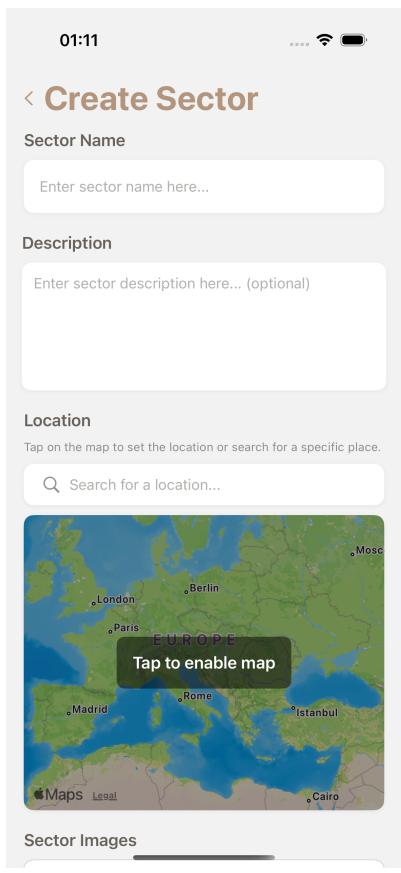


Slika 4.27: Upravljanje korisničkim ovlastima

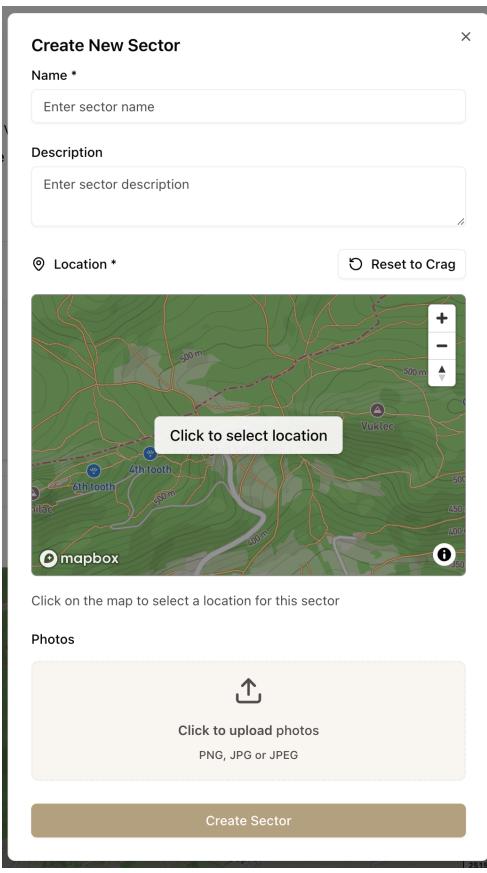
Pristupom pregledu za upravljanje ovlastima prikazuje se popis svih korisnika koji trenutno imaju ili mogu dobiti dozvole za uređivanje sadržaja na tom penjalištu (slika 4.27). Sučelje omogućuje pretragu korisnika po korisničkom imenu te odabir jednog ili više korisnika kojima se žele dodijeliti ili oduzeti ovlasti uređivanja. Time odabrani korisnik dobiva prava uređivanja penjališta bez davanja potpunih administrativnih ili kreator prava.

4.9.3. Dodavanje, uređivanje i brisanje sektora

Unutar svakog penjališta, ovlašteni korisnici mogu dalje strukturirati sadržaj kreiranjem i uređivanjem sektora. Pristup opciji za dodavanje nalazi se u izborniku na zaslonu s detaljnim pregledom penjališta.



(a) Mobilna aplikacija

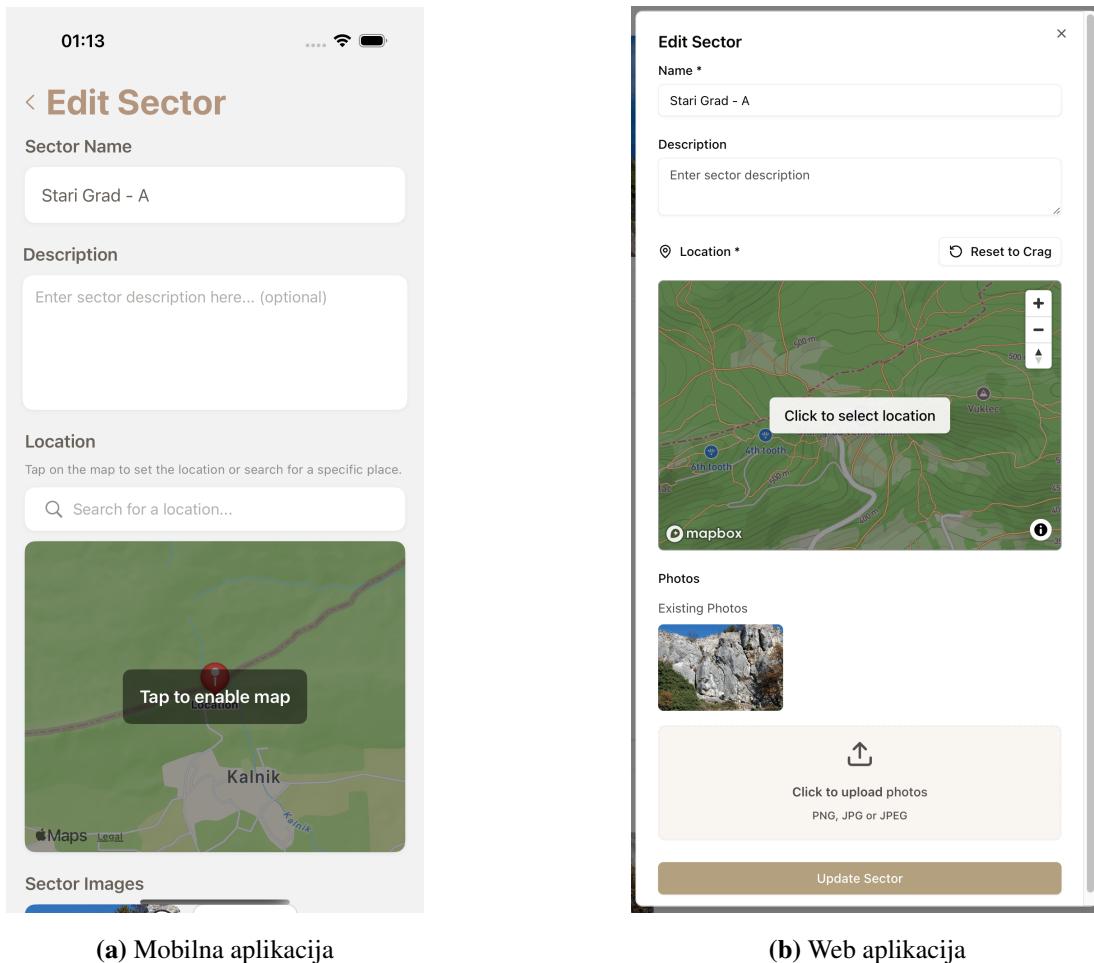


(b) Web aplikacija

Slika 4.28: Dodavanje novog sektora

Forma za unos novog sektora zahtijeva od korisnika unos naziva sektora i opcionalnog opisa, koji može sadržavati specifične informacije koje su specifične za sektore te ostale relevantne informacije (slika 4.28). Osim naziva zahtjeva se i upis lokacije u obliku koordinata. Pregledi taj proces olakšavaju uporabom geografske karte, koja omogućuje korisniku da odabere lokaciju sektora na karti ili pretraživanjem po nazivu lokacije. Kao i kod penjališta, moguće je dodati jednu ili više fotografija koje vizualno predstavljaju sektor.

Postojeći sektori mogu se uređivati na sličan način. Odabirom određenog sektora, korisniku se prikaže izbornik u kojem se nalazi opcija za uređivanje sektora. Forma omogućuje uređivanje naziva, opisa, lokaciju i galeriju fotografija. (slika 4.29)



Slika 4.29: Uređivanje postojećeg sektora

Brisanje sektora dostupno je izborniku na zaslonu s detaljnim pregledom penjališta kada je označen penjački smjer. Klikom na opciju "Izbriši sektor" (eng. *Delete sector*) korisniku se prikazuje prozor s upitom o potvrdi brisanja. Ako korisnik potvrdi brisanje, sektor se briše iz sustava i postaje nedostupno svim korisnicima.

4.9.4. Dodavanje, uređivanje i brisanje penjačkih smjerova

Na najnižoj hijerarhijskoj razini nalazi se unos i uređivanje pojedinačnih penjačkih smjerova. Ovlašteni korisnici mogu dodavati nove penjačke smjerove unutar određenog sektora. Pristup ovoj funkcionalnosti omogućen je u izborniku na zaslonu s detaljnim pregledom penjališta sa označenim sektorom.

The figure shows two side-by-side screenshots of climbing route creation forms.
 (a) Mobilna aplikacija (Mobile Application): A screenshot of a mobile phone interface titled 'Create Route'. It includes fields for 'Route Name' (placeholder: 'Enter route name here...'), 'Description' (placeholder: 'Enter route description here... (optional)'), 'Grade' (dropdown menu showing '5a'), 'Route Types' (buttons for 'Boulder', 'Sport', 'Trad', 'Multi-pitch'), 'Length (meters)' (text input placeholder: 'Enter route length... (optional)'), and a large 'Create Route' button at the bottom.
 (b) Web aplikacija (Web Application): A screenshot of a web browser window titled 'Create New Route'. It has similar fields: 'Name *' (placeholder: 'Enter route name'), 'Description' (placeholder: 'Enter route description'), 'Grade *' (dropdown menu showing '5a'), 'Length (meters)' (text input placeholder: '0'), 'Route Types' (list of buttons including 'Boulder', 'Sport', 'Trad', 'Multi-Pitch', 'Ice', 'Big Wall', 'Mixed', 'Aid', and 'Via Ferrata'), and a large 'Create Route' button at the bottom.

(a) Mobilna aplikacija

(b) Web aplikacija

Slika 4.30: Dodavanje novog penjačkog smjera

Forma za kreiranje novog penjačkog smjera uključuje polja poput naziva, opisa, težine, tipa penjačkog smjera i dužine (slika 4.30). Opcije za tip penjačkog smjera uključuju boulder, sportski, tradicionalni ili smjer s više penjačkih smjerova. Važno je primjetiti kako opcija dodavanja slike penjačkog smjera nije dostupna u formi za dodavanje novog penjačkog smjera. Dodavanje fotografije je moguće nakon kreiranja penjačkog smjera u pregledu detalja penjačkog smjera i dostupno je samo na mobilnoj aplikaciji. Klikom na izbornik u gornjem desnom kutu pregleda detalja penjačkog smjera, korisniku se prikazuje izbornik u kojem se nalazi opcija za dodavanje fotografije. Prvi korak u procesu dodavanja fotografije je slikanje penjačkog smjera pomoću kamere mobilnog uređaja. Nakon slikanja, korisniku se prikazuje slika na koju se može ručno ucrtati linija penjačkog smjera. Time je korisnik kreirao referentnu sliku penjačkog smjera koja se može koristiti za prepoznavanje penjačkog smjera (slika 4.31).



Slika 4.31: Dodavanje fotografije penjačkog smjera

Uređivanje postojećeg penjačkog smjera dostupno je u izborniku na zaslonu s detaljnim pregledom tog penjačkog smjera. Na web aplikaciji izbornik se nalazi na izborniku u tablici kada je označen pregled svih sektora ili u listi kada je označen neki sektor.

The figure shows two side-by-side screens for editing a climbing route.
 (a) Mobilna aplikacija (Mobile application): A screenshot of an iOS-style interface. At the top, it shows the time (00:59), signal strength, and battery level. Below is a header 'Edit Route'. The form fields include: 'Route Name' (La Marie Rose), 'Description' (Famous boulder problem, a must-do.), 'Grade' (6a selected from a row of buttons: 5a, 5b, 5c, 6a, 6a+, 6b, 6), 'Route Types' (Boulder selected from a row: Boulder, Sport, Trad, Multi-pitch), 'Length (meters)' (5), and a large 'Edit Route' button at the bottom.
 (b) Web aplikacija (Web application): A screenshot of a web-based interface. It has a header 'Edit Route' with a close button 'x'. Fields include: 'Name *' (Floki), 'Description' (Enter route description), 'Grade *' (7b selected from a dropdown), 'Length (meters)' (9), 'Route Types' (Boulder selected from a row: Boulder, Sport, Trad, Multi-Pitch, Ice, Big Wall, Mixed, Aid, Via Ferrata), and a large 'Update Route' button at the bottom.

(a) Mobilna aplikacija

(b) Web aplikacija

Slika 4.32: Uređivanje postojećeg penjačkog smjera

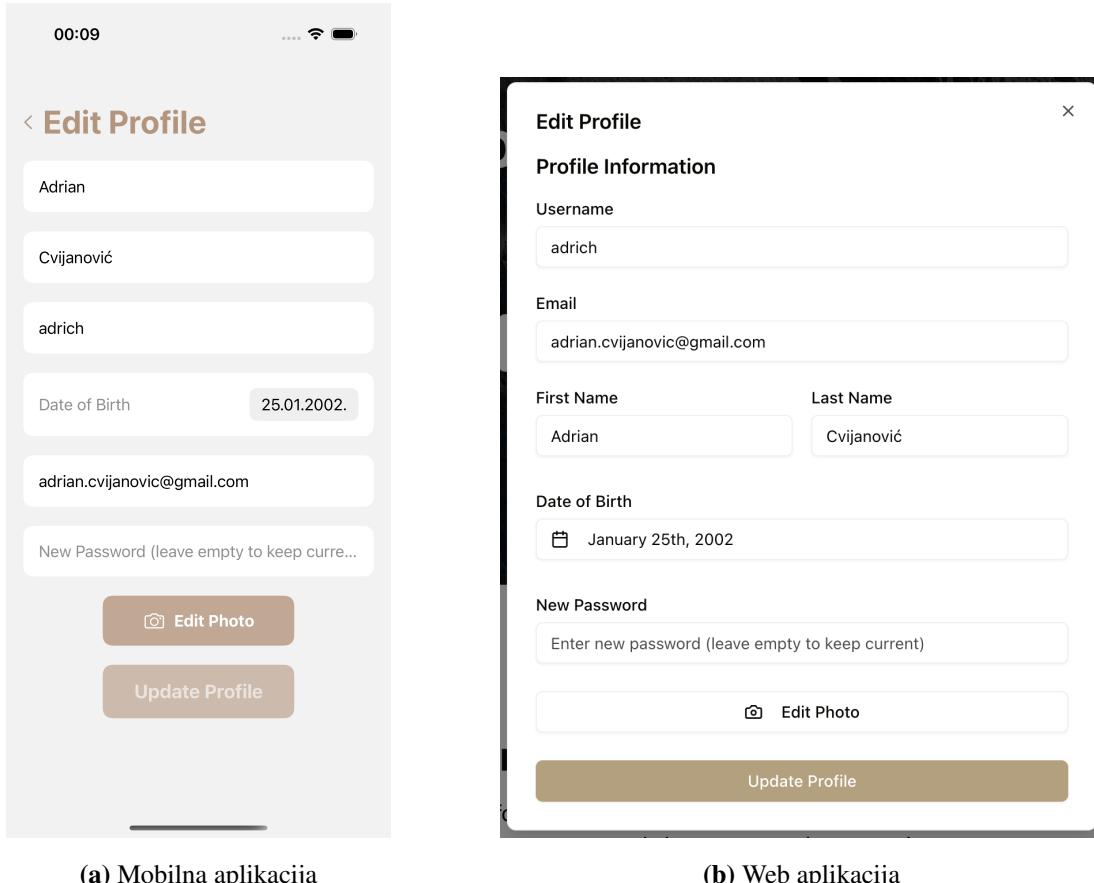
Forma omogućuje uređivanje svih podataka o penjačkom smjeru, uključujući naziv, opis, težinu, tip penjačkog smjera i dužinu, no također je omogućuje brisanje fotografija penjačkog smjera (slika 4.32).

Brisanje penjačkog smjera dostupno je u izborniku na zaslonu s detaljnim pregledom penjačkog smjera. Klikom na opciju "Izbriši smjer" (eng. *Delete route*) korisniku se prikazuje prozor s upitom o potvrdi brisanja. Ako korisnik potvrdi brisanje, penjački smjer se briše iz sustava i postaje nedostupno svim korisnicima.

4.9.5. Uređivanje korisničkog profila

Unutar korisničkog profila, u gornjem desnom kutu, nalazi se izbornik koji sadrži dodatne opcije za upravljanje računom i, ovisno o korisnikovim ovlastima, za doprinos sadržaju aplikacije. Odabirom opcije "Uredi profil" (eng. *Edit profile*) korisnik odlaže na stranicu za uređivanje svojih podataka. Moguće je promijeniti ime, prezime,

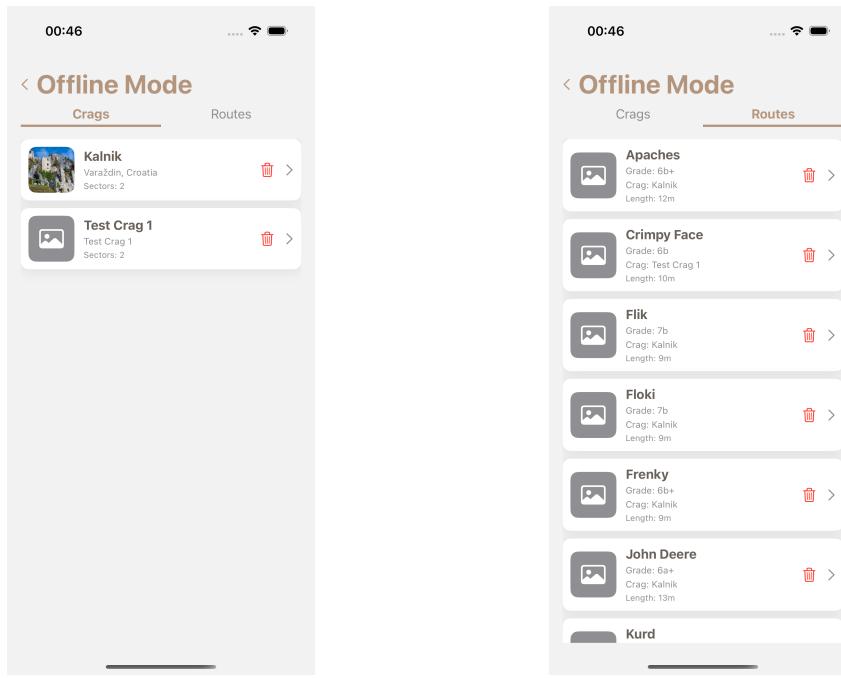
korisničko ime i datum rođenja. Aplikacija također omogućuje promjenu profilne fotografije te ažuriranje lozinke (slika 4.33).



Slika 4.33: Uređivanje korisničkog profila

4.10. Izvanmrežni način rada

Penjališta se često nalaze na udaljenim lokacijama s ograničenim ili nepostojećim internetskim signalom. Zbog toga aplikacija implementira izvanmrežni način rada kako bi omogućila korisnicima korištenje aplikacije i situacijama slabog internetskog signala. Ova mogućnost je dostupna samo na mobilnoj aplikaciji. Korisnik može preuzeti podatke za bilo koje penjalište ili penjački smjer unutar detaljnog pregleda penjališta ili penjačkog smjera klikom na "Preuzmi penjalište" (eng. *Download crag*) ili "Preuzmi penjački smjer" (eng. *Download route*). Aplikacija tada pohranjuje sve podatke na lokalni uređaj, uključujući informacije o sektorima i penjačkim smjerovima, galerije fotografske slike te najvažnije, referentne slike penjačkih smjerova potrebne za rad funkcionalnosti prepoznavanja penjačkih smjerova.



(a) Popis preuzetih penjališta

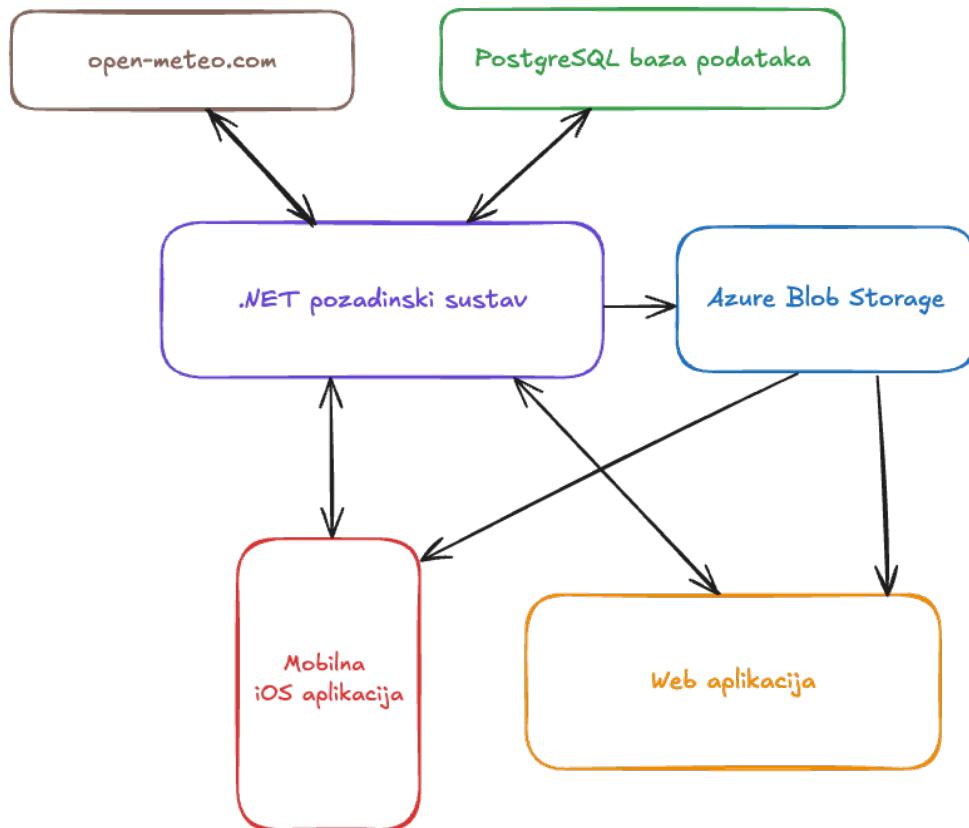
(b) Popis preuzetih penjačkih smjerova

Slika 4.34: Izvanmrežni način rada - pregled preuzetih penjališta i smjerova

Pristupom izvanmrežnom načinu rada, korisniku se prikazuje sučelje (slika 4.34) s popisom svih penjališta i pojedinačnih penjačkih smjerova koje je prethodno preuzeo. Unutar ovog načina, korisnik može pregledavati sve preuzete podatke na gotovo identičan način kao i kada je spojen na internet. Detaljni pregled penjališta i smjerova zadržava sve ključne informacije i komponente, s iznimkom onih koje ovise o vanjskim servisima, poput vremenske prognoze i uređivanje podataka. Najvažnije, funkcionalnost prepoznavanja penjačkih smjerova pomoću proširene stvarnosti je dostupna u izvanmrežnom načinu rada. Budući da su sve referentne slike pohranjene lokalno, proces detekcije i vizualizacije može se izvršavati neovisno o internetskoj vezi. Time se osigurava da ta funkcionalnost je dostupna penjačima upravo gdje je najpotrebnija - ispred same stijene.

5. Arhitektura i dizajn sustava "Alpinity"

Kako bi se ostvarile prethodno opisane funkcionalnosti, sustav je koncipiran pomoću klijent-poslužitelj arhitekture. Ova arhitektura omogućuje fleksibilnost u razvoju aplikacije i direktno omogućuje korištenje različitih platformi za razvoj klijentskog softvera. Sustav se sastoji od tri neovisne komponente: centralnog pozadinskog sustava (eng. *Backend*), mobilne aplikacije za iOS kao primarni klijent te web aplikacije kao komplementarnog klijenta. Komunikacija između klijenata i pozadinskog sustava odvija se putem definiranog REST servisa. Pozadinski sustav automatski generira OpenAPI specifikaciju koja služi kao formalna dokumentacija koju klijenti mogu koristiti za generiranje potrebnih funkcionalnosti za poziv servisa. Time se osigurava konzistentnost funkcionalnosti te olakšava paralelni razvoj.



Slika 5.1: Makro arhitektura sustava

Slika 5.1 prikazuje makro arhitekturu sustava te međusobne veze između komponenta. Mobilna i web aplikacija su neovisne komponente koje komuniciraju s pozadinskim sustavom putem REST servisa. Kada postoji neka slika, primjerice na detaljnem pregledu penjališta, pozadinski sustav šalje te slike u obliku poveznice na Azure Blog Storage servis. Također, web i mobilna aplikacije obije nemaju direktni pristup *open-meteo* API-ju ni bazi podataka u obliku PostgreSQL baze podataka već se informacije agregiraju i šalju preko pozadinskog sustava.

5.1. Pozadinski sustav (Backend)

Pozadinski sustav predstavlja središnji dio cijelokupne arhitekture, odgovoran za svu poslovnu logiku, upravljanje podacima i komunikaciju s vanjskim servisima. Ključne odgovornosti pozadinskog sustava obuhvaćaju implementaciju RESTful API-ja za sve operacije, autentifikaciju i autorizaciju, te dohvaćanje i pohranu podataka iz relacijske baze podataka. Razvijen je korištenjem .NET platforme i ASP.NET core okvira, koji je odabran zbog visokih performansi i dobre podrške za razvoj modernih web servisa.

Za organizaciju poslovne logike i smanjenje ovisnosti između unutarnjih komponenti pozadinskog sustava, sustav implementira Mediator uzorak (eng. *Mediator pattern*). Ovaj pristup omogućuje da se zahtjevi s klijentskih aplikacija ponašaju kao neovisne poruke koje se zatim prosljeđuju odgovarajućim rukovateljima (eng. *Handlers*), čime se postiže čišća arhitektura programskog koda. Pozadinski sustav podijeljen je u četiri dijela.

5.1.1. Sloj domene

Sloj domene sadrži temeljnu poslovnu logiku i pravila koja su neovisna o bilo kojoj vanjskoj tehnologiji. Ovaj sloj nema ovisnosti o drugim slojevima u arhitekturi. Njegove ključne komponente su entiteti, koji predstavljaju objekte poslovne domene poput korisnika, penjališta, smjerova te objekte informacija vremenske prognoze i reverznog geokodiranja, definirajući njihovo stanje i ponašanje. Uz objekte domene, ovaj sloj sadrži i enumeracije koje predstavljaju moguće vrijednosti za određene objekte poput tipove penjačkih smjerova ili načine uspona.

5.1.2. Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj orkestrira korištenje domenskih objekata kako bi izvršio specifične korisničke slučajeve (eng. *use cases*), djelujući kao posrednik između vanjskog svijeta i unutarnje poslovne logike. Za organizaciju, ovaj sloj implementira Mediator uzorak (engl. *Mediator pattern*). Svaki korisnički slučaj implementiran je kao trojka koji se sastoji od naredbe, što je poruka koja opisuje namjeru, validatora koji validira dobivenu naredbut te rukovatelja (engl. *handler*), klase koja prima poruku i izvršava potrebnu logiku. Ovaj sloj ovisi isključivo o sloju domene i definira logiku aplikacije bez znanja o tome kako će podaci biti prikazani ili pohranjeni.

5.1.3. Infrastrukturni sloj

Infrastrukturni sloj sadrži konkretne implementacije tehnologija koje su potrebne aplikaciji za rad. Ovaj sloj ovisi o aplikacijskom sloju kako bi implementirao njegova sučelja i sadrži sve što je promjenjivo i vanjsko. Ovdje se nalaze implementacije repozitorija koje koriste Entity Framework Core za komunikaciju s PostgreSQL bazom podataka. Također, ovaj sloj sadrži i integracije s vanjskim servisima: klijente za Azure Blob Storage za pohranu slika, open-meteo.com servis za vremensku prognozu i Mapbox servis za reverzno geokodiranje.

5.1.4. Prezentacijski sloj

Prezentacijski sloj je ulazna točka u pozadinski sustav, a u ovom slučaju to je ASP.NET Core Web API projekt. Njegova jedina odgovornost je primanje HTTP zahtjeva, prosljeđivanje odgovarajućih naredbi aplikacijskom sloju putem Mediator-a, te formatiranje rezultata u HTTP odgovore u JSON formatu. Ovaj sloj također automatski generira i OpenAPI specifikaciju, koja služi kao interaktivna dokumentacija API-ja i olakšava razvoj klijentskih aplikacija.

5.1.5. Vanjski servisi

Za pohranu slika, kao što su profilne slike korisnika i referentne slike penjačkih smještrova, koristi se Azure Blob Storage. Ovaj servis je odabran zbog pouzdanosti i lakoće integracije s pozadinskim sustavom. Kako bi se obogatile informacije penjališta koriste se dva vanjska servisa. Za dohvat detaljne vremenske prognoze penjališta koristi se open-meteo.com servis. Prednosti open-meteo servisa naspram drugih servisa za vremensku prognozu je mogućnost pregleda vremenske prognoze daleko u budućnosti, velike količine podataka koji se mogu dohvatiti te mogućnost izbora točno određenih podataka koji su potrebni. Za dohvat imena geografske lokacije iz GPS koordinata (reverzno geokodiranje) koristi se Mapbox servis. Mapbox servis je odabran jer je već korišten na web aplikaciji i nudi dobru podršku za reverzno geokodiranje.

5.1.6. Model baze podataka

Vidi sa mentoricom jel ovo previše.

5.2. Mobilna aplikacija za iOS

Mobilna aplikacija predstavlja primarni klijent sustava "Alpinity", posebice za korištenje na terenu. Razvijena je nativno za iOS platformu korištenjem SwiftUI okvira. SwiftUI je odabran kao moderno, deklarativno sučelje koje omogućuje razvoj kompleksnih korisničkih sučelja. Arhitektura aplikacije slijedi moderne principe razvoja za iOS, s jasnom podjelom odgovornosti između korisničkog sučelja, poslovne logike i komunikacije s pozadinskim sustavom.

Za komunikaciju s pozadinskog sustava, aplikacija koristi swift-openapi-generator. Ovaj alat automatski generira Swift klijentski kod iz OpenAPI specifikacije, osiguravajući tipsku sigurnost i eliminirajući potrebu za ručnim pisanjem mrežnog sloja. Time

se značajno ubrzava razvoj i smanjuje mogućnost pogrešaka. Za sigurno pohranjivanje korisničkog tokena za autentifikaciju i održavanje sesije, koristi se biblioteka KeychainAccess, koja pruža jednostavno i sigurno sučelje za rad s iOS Keychain servisom. Za prikaz interaktivnih geografskih karata, aplikacija se oslanja na nativni Apple Maps servis. Finalno, za spremanje podataka za izvanmrežni način rada, koristi se nativni SwiftData okvir.

5.2.1. Implementacija prepoznavanja smjerova pomoću OpenCV

Prepoznavanje penjačkih smjerova pomoću proširene stvarnosti implementirano je korištenjem biblioteke OpenCV. Svi računski intezivni zadaci računalnog vida izvršavaju se izravno na korisnikovom uređaju.

Da bi se postigao rad u stvarnom vremenu, ključno je efikasno upravljati kardovima koji dolaze s kamere. Aplikacija koristi moderni pristup temeljen na asinkronim tokovima podataka (eng. *asynchronous streams*). Kamera kontinuirano emitira kadrove, no obrada svakog pojedinog kadra bila bi računski preskupa i dovela bi do zagušenja sustava. Zbog toga je implementiran mehanizam za prorjeđivanje kadrova (eng. *frame dropping*). Koristi se *AsyncStream* s politikom *bufferingOldest(1)*, što znači da se u svakom trenutku čuva samo najstariji neobrađeni kada. Ovaj pristup osigurava da sustav za obradu, time i korisnikov uređaj, nije preopterećen, čak i ako obrada jednog kadra traje duže od intervala između dva kadra.

Svaki kadar koji se propusti na obradu prolazi nizom operacija definiranih OpenCV funkcijama, sljedeći teorijske korake opisane u 3. poglavlju. Prvo se, radi optimizacije, smanjuje rezolucija ulaznog kadra ovisno o jačini prepoznavanja koje je korisnik postavio. Na tako pripremljenoj slici primjenjuje se SIFT algoritam pozivom metode *sift.detectAndCompute*, koja ekstrahira ključne točke i njihove deskriptore. Nakon toga slijedi uparivanje s referentnim deskriptorima korištenjem *flannMatcher.knnMatch* metode, a rezultati se filtriraju primjenom Loweovog testa omjera. Iz skupa preostalih dobrih podudarnosti, pozivom funkcije *findHomography* s RANSAC metodom, izračunava se robusna matrica homografije.

Rezultat ovog procesa obrade je izobličena referentna slika linije penjačkog smjera s transparentnom pozadinom, dobivena primjenom izračunate homografije na originalnu sliku linije pomoću *warpPerspective* funkcije. Ovakav izlaz omogućuje potpunu nezavisnost kadrova kamere i rezultata obrade kadrova, što omogućuje prikazivanje kadrova kamere bez ikakvih ograničenja, a rezultat se samo nadodaje na kada kada se obradi. Ta slika ostaje spremljena i nacrtana preko novih kadrova dok se ne po-

javi nova izobličena referentna slika. Ovakva organizacija procesa obrade omogućuje fluidno korisničko iskustvo sa nedostatkom što izobličene linije penjačkih smjerova kasne naspram kadrova. Unatoč ovom nedostatku, značajnija je prednost što jačina prepoznavanja može biti mnogo veća nego da se kadar kamere i izobličena referentna slika linije penjačkog smjera prikazuju sinkrono.

5.2.2. Kreiranje referentne slike penjačkog smjera

Aplikacija također sadrži i funkcionalnost za kreiranje referentnih podataka. Kada korisnik korištenjem kamere napravi sliku i na njoj iscrta putanju penjačkog smjera smjera, aplikacija poziva metodu koja prima niz koordinata koje predstavljaju putanju penjačkog smjera i referentnu sliku. Prvo stvara praznu, prozirnu matricu istih dimenzija kao i referentna slika. Dimenzija referentnih slika moraju biti identične kako bi algoritam mogao zamjeniti sliku s linijom prilikom procesa transformacije perspektive. Zatim, koristeći *OpenCV* metodu *polylines*, iscrтava liniju na tu matricu. Zanimljivo je da se linija iscrтava dva puta, prvo deblja crna linija, a zatim preko nje tanja crvena linija, čime se postiže vizualni efekt obruba. Rezultirajuća matrica se pretvara u sliku s linijom te se zatim šalje na poslužitelj i sprema na Azure Blob Storage i u bazu podataka kao poveznicu na Azure Blob Storage.

5.3. Web aplikacija

Uz mobilnu aplikaciju, sustav "Alpinity" uključuje i web aplikaciju. Njena temeljna svrha je pružiti korisnicima sučelje za pregled i upravljanje podacima na većim ekranima ili na android uređajima. Web aplikacija nudi sve funkcionalnosti dostupne na mobilnoj aplikaciji, s iznimkom onih koje su vezane uz hardver mobilnog uređaja, poput prepoznavanja smjerova pomoću kamere.

Aplikacija je razvijena korištenjem Next.js okvira, koji se temelji na React biblioteci. Next.js je odabran zbog svojih naprednih mogućnosti koje osiguravaju visoke performanse. Korištenjem tehnika poput renderiranja na poslužitelju postiže se iznimno brzo učitavanje sadržaja.

Korisničko sučelje je izgrađeno korištenjem biblioteke komponenata shadcn/ui. Ona omogućuje brzu i konzistentnu izradu vizualno dopadljivog i pristupačnog sučelja, temeljenog na prilagodljivim i višekratno iskoristivim komponentama. Za prikaz interaktivnih geografskih karata, web aplikacija koristi Mapbox platformu.

Komunikacija s pozadinskim sustavom riješena je na konzistentan i tipski siguran

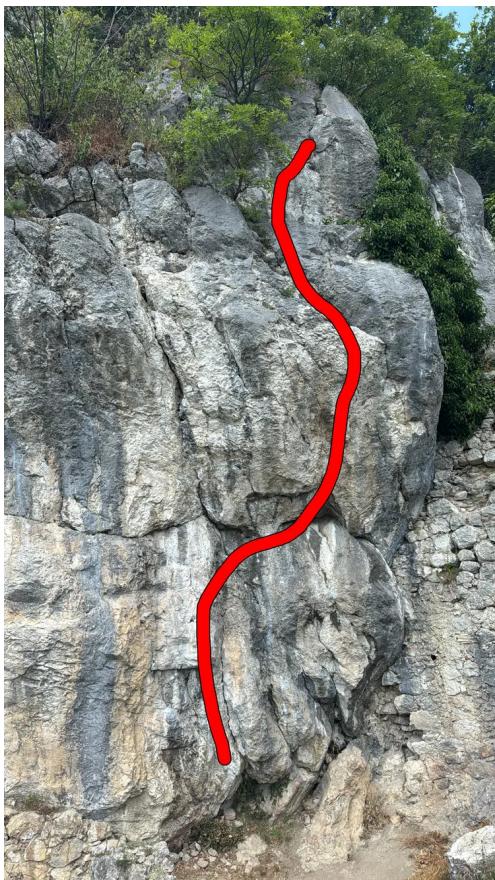
način. Korištenjem alata hey-api/openapi-ts, klijentski kod za pozivanje pozadinskog sustava automatski se generira iz OpenAPI specifikacije koju generira sam pozadinski sustav. Ovaj pristup, analogan onome korištenom u mobilnoj aplikaciji, osigurava da su klijent i poslužitelj uvijek usklađeni, smanjuje mogućnost pogrešaka i značajno ubrzava proces razvoja.

6. Testiranje i vrednovanje rješenja

Nakon implementacije aplikacije, potrebno je provesti testiranje u realnim uvjetima kako bi se validirala funkcionalnost te procijenile performanse i praktična upotreba. Cilj poglavlja je analizirati rezultate testiranja, s posebnim naglaskom na funkcionalnost prepoznavanja penjačkih smjerova, te identificirati ograničenja i područja za poboljšanje.

6.1. Metodologija testiranja

Testiranje je provedeno na penjalištu Kalnik, koje zbog svoje popularnosti i raznolikosti stijena predstavlja prikladnu lokaciju za ispitivanje sustava. Za detaljnu analizu odabrana su dva penjačka smjera s različitim vizualnim karakteristikama kako bi se ispitala robusnost algoritma.



(a) Referentna slika smjera "Apaches"



(b) Referentna slika smjera "Steyr"

Slika 6.1: Referentne slike odabralih penjačkih smjerova na penjalištu Kalnik

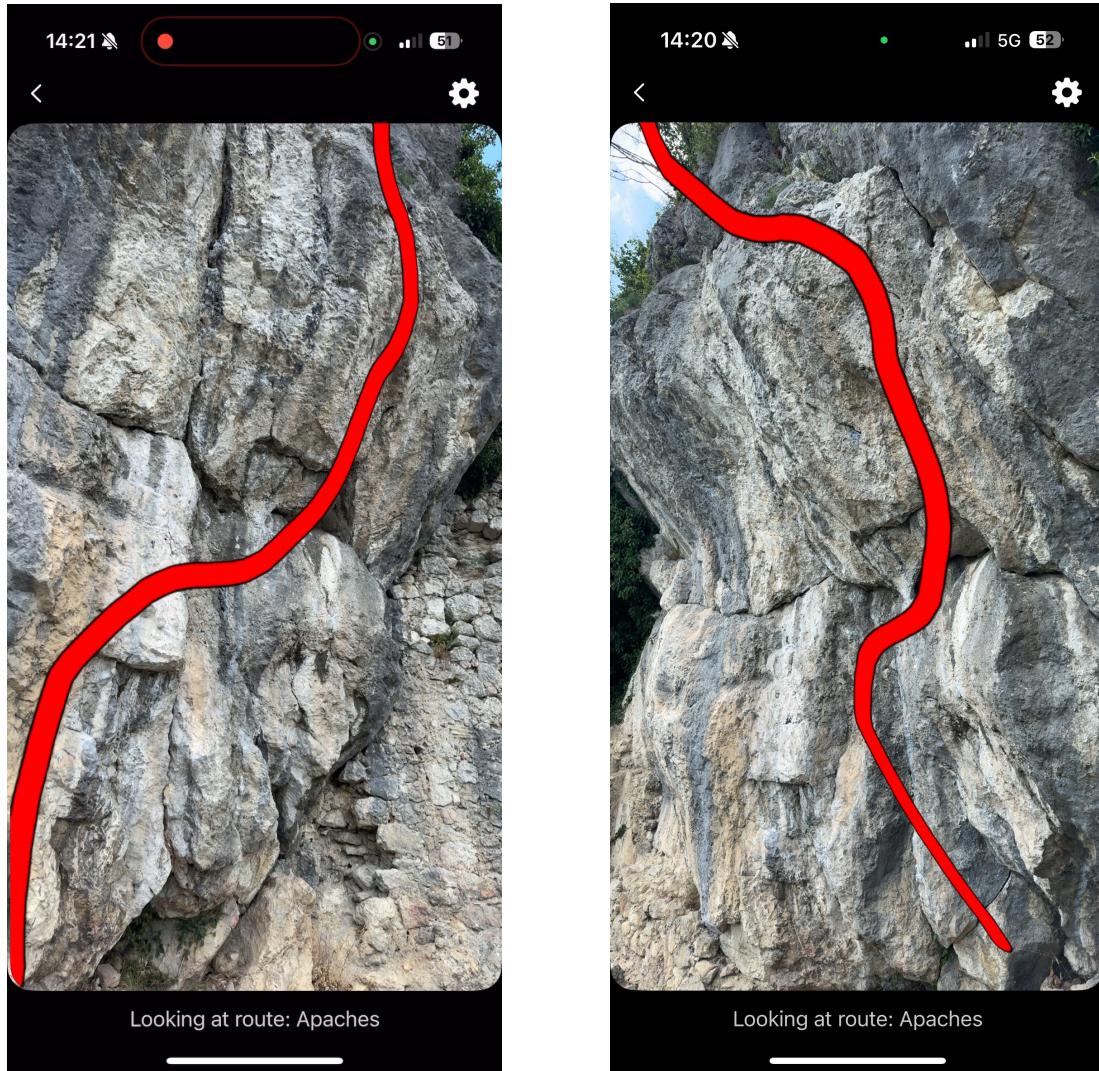
Prvi primjer penjačkog smjera je "Apaches" u sektoru Stari Grad B (Slika 6.1a). Smjer je lako prepoznatljiv zbog mnogo distinktnih značajki poput rupa, pukotina i varijacija u boji. Drugi primjer je smjer "Steyr" u sektoru Stari Grad A (Slika 6.1b). Za razliku od "Apaches", smjer se nalazi na relativno glatkoj i uniformnoj stijeni s manje izraženih značajki, što predstavlja izazov za algoritam.

Za oba smjera prethodno su, putem aplikacije, kreirane referentne slike s ucrtanim linijama. Testiranje je izvršeno na uređaju iPhone 15 Pro u automatskom načinu rada primarno na "High" razini prepoznavanja, no također su testirane i niže razine "Medium" i "Low".

6.2. Rezultati i analiza funkcionalnosti

Sustav je u praksi potvrdio svoju funkcionalnost. Na smjeru "Apaches", koji je bogat značajkama, aplikacija brzo i stabilno prepoznaće stijenu te precizno projicira virtualnu

liniju smjera preko video prikaza čak i iz različitih kutova (Slika 6.2) i korištenjem nižih razina prepoznavanja.



(a) Testiranje smjera "Apaches" s lijeve strane

(b) Testiranje smjera "Apaches" s desne strane

Slika 6.2: Testiranje smjera "Apaches" iz dva različita kuta

Testiranje je na zahtjevnijem smjeru "Steyr" također rezultiralo u uspješnom detektijom (Slika 6.3), no učeno je da je za stabilno prepoznavanje bilo potrebno pažljivije i strpljivije usmjeravanje kamere prema stijeni kako bi linija smjera bila preciznije pozicionirana.



(a) Testiranje smjera "Steyr" s lijeve strane



(b) Testiranje smjera "Steyr" s desne strane

Slika 6.3: Testiranje smjera "Steyr" iz dva različita kuta

6.3. Analiza performansi i uočenih problema

Unatoč uspješnoj funkcionalnoj validaciji, testiranje je otkrilo nekoliko problema vezanih uz performanse i korisničko iskustvo.



(a) Prije pomicanja kamere

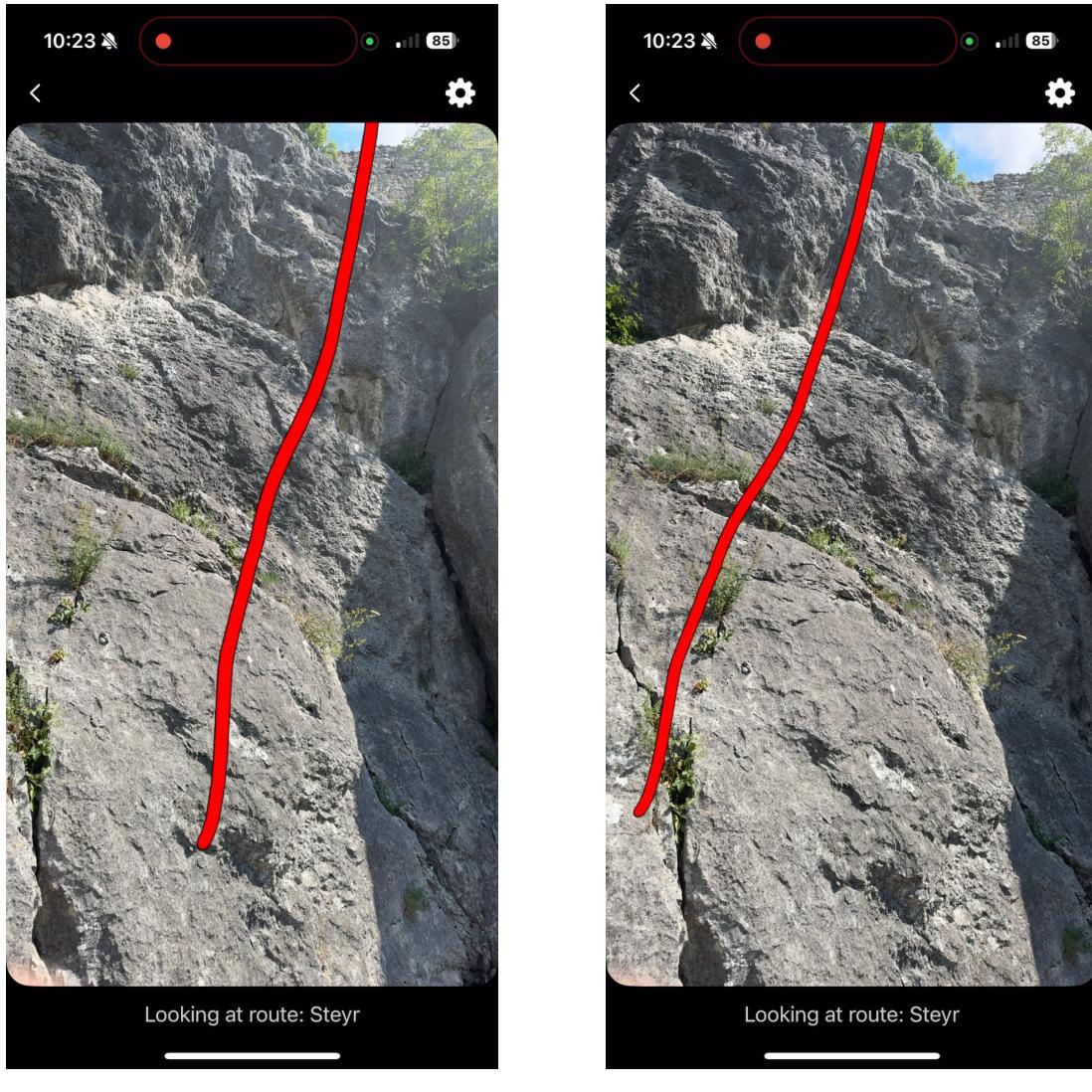


(b) Nakon pomicanja kamere

Slika 6.4: Primjeri latencije kod detekcije smjera "Apaches"

Prvi uočeni nedostatak je kašnjenje ili latencija između fizičkog pomicanja kamere i ažuriranje položaja virtualne linije na ekranu što prikazuje slika 6.4. Ovo kašnjenje je posljedica računske zahtjevnosti SIFT algoritma i cijelokupnog procesa obrade koji se izvršava na mobilnom uređaju. Problem je izražen pri korištenju "High" postavke jačine prepoznavanja, gdje je kašnjenje bilo vidljivo i ometajuće, dok je na "Low" postavci bilo manje primjetno, ali uz smanjenu preciznost. Važan uvid dobiven testiranjem, a isto vezan uz problem latencije, odnosi se na odluku o upravljanju kadrovima dobivenim s kamere. Inicijalna implementacija koristila je *AsyncStream* s politikom *bufferingOldest(1)*, s idejom da nije bitno je li se koristi *bufferingOldest(1)* ili *bufferingNewest(1)* jer se u idealnim uvjetima pokazalo da brzina obrade nije toliko mala da ima značaja. Međutim, u realnim uvjetima, posebice na "High" postavci, obrada jed-

nog kadra traje znatno duže od intervala između dva kадра. Korištenje *bufferingOldest* politike u takvom scenariju dovodi do lošijih detekcija jer se koristi stariji kадар, a ne najnoviji. Time bi aplikacija prikazivala virtualnu liniju izračunatu na temelju kадра koji ne predstavlja najnoviji kадар.



(a) Prije pomicanja kamere

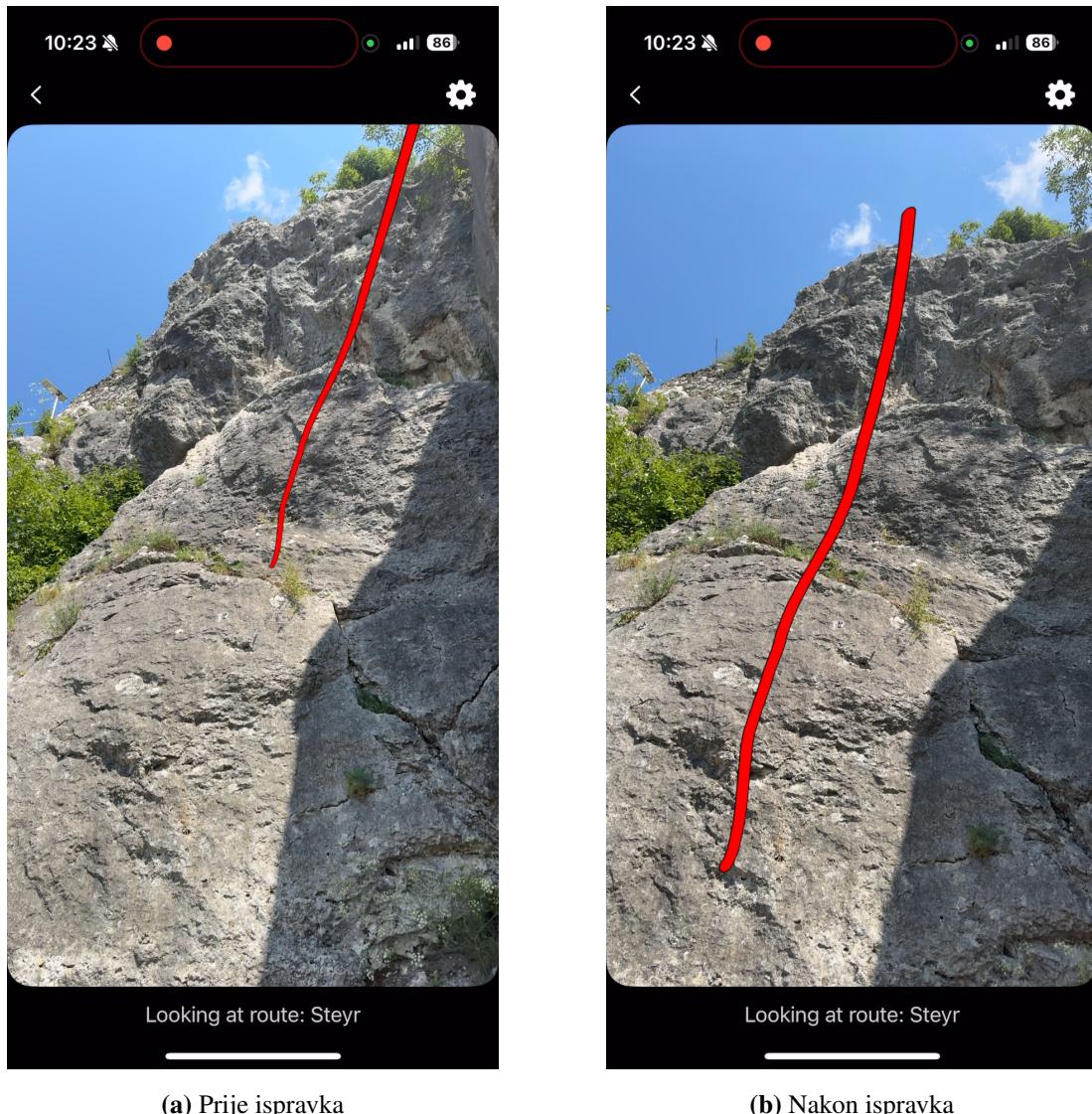
(b) Nakon pomicanja kamere

Slika 6.5: Primjeri posljedice korištenja *bufferingOldest(1)* politike

Slika 6.5 prikazuje primjere posljedice korištenja *bufferingOldest(1)* politike. Na slici 6.5a prikazan je primjer prije pomicanja kamere, a na slici 6.5b nakon pomicanja kamere. Vidljivo je da se virtualna linija pojavila na pogrešnoj lokaciji prije nego što bi se stabilizirala na ispravnoj poziciji. Pogreška dolazi zbog sljedeće situacije. Kada je završila detekcija, proces detekcije uzima kадар iz spremnika i kreće obradu. Sljedeći kадар koji dolazi s kamere se sprema u spremnik i ne spremaju se novi kadrovi.

Kada dolazi vrijeme za obradu novog kadra, uzima se taj stariji kadar. Korištenjem `bufferingNewest(1)` politike, svaki novi kadar zamjenjuje kadar iz spremnika, što bi minimiziralo ovaj problem jer bi se obradio kadar koji je netom došao s kamere.

Drugi uočeni problem je nestabilnost detekcije. Tijekom korištenja, virtualna linija bi se kratkotrajno pojavila na pogrešnoj lokaciji prije nego što bi se stabilizirala na ispravnoj poziciji. Slika 6.6 prikazuje primjer nestabilnosti detekcije smjera "Steyr".



Slika 6.6: Primjer nestabilnosti detekcije smjera "Steyr"

Ovaj fenomen nastaje u trenucima kada algoritam pronađe prividno dovoljan broj podudarnosti koje su zapravo pogrešne, ali ih RANSAC algoritam privremeno prihvati kao valjan model. Slično se događa kada korisnik zapravo ne gleda u smjer, već negdje drugdje i na trenutak se pojavi linija penjačkog smjera. Iako se sustav oporavi i

pronalazi ispravnu homografiju, ova nestabilnost može smanjiti povjerenje korisnika u sustav.

7. Zaključak

7.1. Sažetak rada i ostvareni rezultati

Problem identifikacije penjačkih smjerova na terenu, koji proizlazi iz ograničenja tradicionalnih tiskanih i postojećih digitalnih vodiča, predstavlja je temeljnu motivaciju za ovaj diplomski rad. Cilj je bio implementirati cijelovit softverski sustav "Alpinity" koji koristi tehnologije računalnog vida i proširene stvarnosti kako bi riješio taj problem.

Uz rad razvijen je i funkcionalni digitalni penjački vodič koji se sastoji od pozadinskog sustava, web aplikacije i mobilne aplikacije za iOS. Implementirana je funkcionalnost koja korisniku omogućuje da, usmjeravanjem kamere prema stijeni, u stvarnom vremenu dobije vizualnu informaciju o položaju penjačkog smjera. Testiranje u realnim uvjetima potvrđilo je da je odabrani algoritamski pristup, temeljen na detekciji značajki pomoću SIFT algoritma i procjeni homografije, funkcionalan i sposoban za prepoznavanje smjerova s različitim vizualnim karakteristikama.

Međutim, testiranje i vrednovanje je također otkrilo i ograničenja implementacije, prvenstveno u vidu latencije i povremene nestabilnosti detekcije, što je posljedica računskog opterećenja na mobilnom uređaju. Unatoč tim ograničenjima, rad je demonstrirao da je koncept vizualizacije smjerova pomoću proširene stvarnosti izvediv i da nudi potencijal za unapređenje korisničkog iskustva digitalnih penjačkih vodiča.

7.2. Smjernice za budući razvoj

7.2.1. Poboljšanja procesa prepoznavanja

Iako je razvijeni sustav funkcionalan, postoji prostor za daljnja poboljšanja. U nastavku se razmatraju područja za budući razvoj, s posebnim naglaskom na unapređenje procesa prepoznavanja.

Uočeni problemi latencije i vizualnog šuma mogu se ublažiti implementacijom optimizacija. Namještanjem parametara za SIFT algoritam i povećanjem minimalnog

broja potrebnih parova značajki mogli bi pojačati preciznost detekcije i smanjiti vizualni šum. Trenutni sustav izračunava homografiju neovisno za svaki obrađeni kadar, što može dovesti do nestabilnosti i pogrešne detekcije. U budućnosti bi se moglo implementirati provjera koeficijenta matrice homografije kako bi se osiguralo da matrica ne transformira sliku u nestvarne oblike ili koristeći druge apstraktnije metode provjere matrice. Ako je dobivena matrica pala te testove onda se ne bi koristila za transformaciju slike i time se ne bi detektirala linija penjačkog smjera.

Nadalje, obrada zamućenih kadrova, nastalih brzim pokretom kamere, bespotrebno troši resurse i može dovesti do pogrešnih podudaranosti. Moguće je implementirati pred-procesni korak za filtriranje zamućenih kadrova. Primjerice, izračunom varijance Laplaceove transformacije slike može se procjeniti razina oštine, te bi se kadrovi koji ne zadovoljavaju minimalni prag oštine mogli ne dodati u spremnik kadrova i time ne bi se slali na obradu pomoću SIFT algoritma.

Konačno, trenutna arhitektura dizajnirana je za prepoznavanje jednog, unaprijed odabranog smjera. Značajno unapređenje bilo bi omogućiti sustavu detekciju više smjerova, recimo jednog sektora, istovremeno. To bi zahtjevalo da se deskriptori s kamere uspoređuju s cjelokupnom bazom deskriptora za sve smjerove u sektoru. Iako je ovo računski znatno zahtjevnije, pružilo bi bolje korisničko iskustvo.

7.2.2. Integracija topografskih prikaza

Testiranje je pokazalo da su referentne slike snimljene sa tla korisne za identifikaciju početka smjera, ali često ne mogu obuhvatiti cijeli tijek smjera, pogotovo kod dužih smjerova. S druge strane, klasične topo skice, iako apstraktne, pružaju jasan pregled cijele linije. Budući razvoj mogao bi uključivati hibridni pristup. Nakon što aplikacija uspješno prepozna penjački smjer, korisniku bi se mogla ponuditi opcija prebacivanja na 2D topo prikaz tog sektora, s jasno istaknutim prepoznatim smjerom. Time bi se kombinirale prednosti oba svijeta, precizna identifikacija na terenu i jasan pregled cijelog smjera pomoću topografske skice.

LITERATURA

- [1] D.G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, siječanj 2004.
- [2] OpenCV. *OpenCV: Feature Matching*, 2025. URL https://docs.opencv.org/4.x/dc/dc3/tutorial_py_matcher.html.
- [3] The Oxford Blue. Why does everyone suddenly want to rock climb? <https://theoxfordblue.co.uk/why-does-everyone-suddenly-want-to-rock-climb/>, siječanj 2025. Pristupljeno 7. lipnja 2025.
- [4] A. Torralba, P. Isola, and W.T. Freeman. *Foundations of Computer Vision*. Adaptive Computation and Machine Learning series. MIT Press, 2024. ISBN 9780262378666. URL <https://mitpress.mit.edu/9780262048972-foundations-of-computer-vision/>.