

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

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
1.1. Kontekst i rast popularnosti sportskog penjanja . . . . .	1
1.2. Problem identifikacije penjačkih smjerova i ograničenja tradicionalnih alata . . . . .	2
1.3. Ograničenja postojećih digitalnih alata . . . . .	3
1.4. Cilj i doprinos rada . . . . .	3
<b>2. Analiza postojećih rješenja, tehnologija i tehnika</b>	<b>5</b>
2.1. Postojeće aplikacije za penjače . . . . .	5
2.1.1. Tradicionalni tiskani penjački vodiči . . . . .	6
2.1.2. Digitalne platforme . . . . .	7
2.2. Računalni vid u prepoznavanju objekata . . . . .	11
2.2.1. Detekcija i opis značajki (engl. feature detection and description)	11
2.2.2. Uparivanje značajki (engl. feature matching) . . . . .	11
2.2.3. Transformacija perspektive i homografija . . . . .	11
2.3. Tehnologije za razvoj sustava . . . . .	11
2.3.1. Razvoj za iOS platformu . . . . .	11
2.3.2. Tehnologije pozadinskog sustava . . . . .	11
2.3.3. Tehnologije web aplikacije . . . . .	11
<b>3. Arhitektura i dizajn sustava "Alpinity"</b>	<b>12</b>
3.1. Arhitektura sustava . . . . .	12
3.2. Dizajn baze podataka . . . . .	12
3.3. Dizajn pozadinskog sustava . . . . .	12
3.4. Dizajn procesa prepoznavanja smjera . . . . .	12
<b>4. Implementacija rješenja</b>	<b>13</b>
4.1. Implementacija pozadinskog sustava . . . . .	13

4.2. Implementacija iOS aplikacije . . . . .	13
4.2.1. Korisničko sučelje u SwiftUI . . . . .	13
4.2.2. Integracija s bibliotekom OpenCV . . . . .	13
4.3. Implementacija web aplikacije . . . . .	13
<b>5. Testiranje i vrednovanje rješenja</b>	<b>14</b>
5.1. Funkcionalno testiranje . . . . .	14
5.2. Vrednovanje performansi prepoznavanja . . . . .	14
5.3. Analiza ograničenja . . . . .	14
<b>6. Zaključak</b>	<b>15</b>
6.1. Sažetak ostvarenih rezultata . . . . .	15
6.2. Smjernice za budući razvoj . . . . .	15
<b>Literatura</b>	<b>16</b>

# 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.

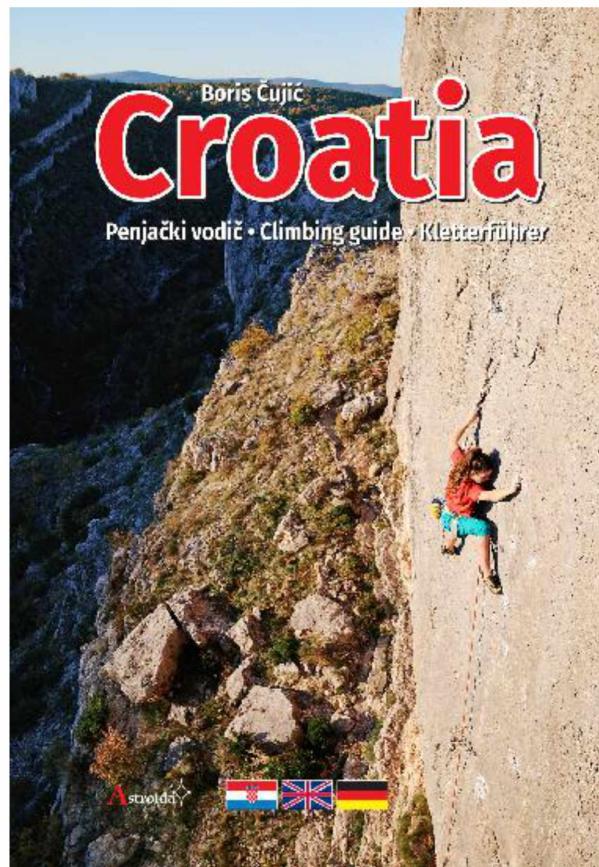
Dok su postojeće digitalne platforme omogućile lak pristup informacijama penjačkih lokacija, ključni izazov ostaje upotreba tih informacija u stvarnom okruženju - isprijeđ same stijene. Taj ključni izazov otvara prostor za inovacije, posebice u domeni mobilnih tehnologija, računalnog vida i proširene stvarnosti.

## 1.1. Kontekst i rast popularnosti sportskog penjanja

Sportsko penjanje i srodnna disciplina *bouldering* posljednjih su desetljeća doživjeli eksponencijalni rast u popularnosti, Privlačeći sve veći broj zainteresiranih ljudi kako u specijalizirane penjačke dvorane, tako i na prirodne stijene. 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 [1]. S rastom zajednice, raste i potreba za kvalitetnim, dostupnim i preciznim informacijama o penjalištima i smjerovima.

## 1.2. Problem identifikacije penjačkih smjerova i ograničenja tradictionalnih alata

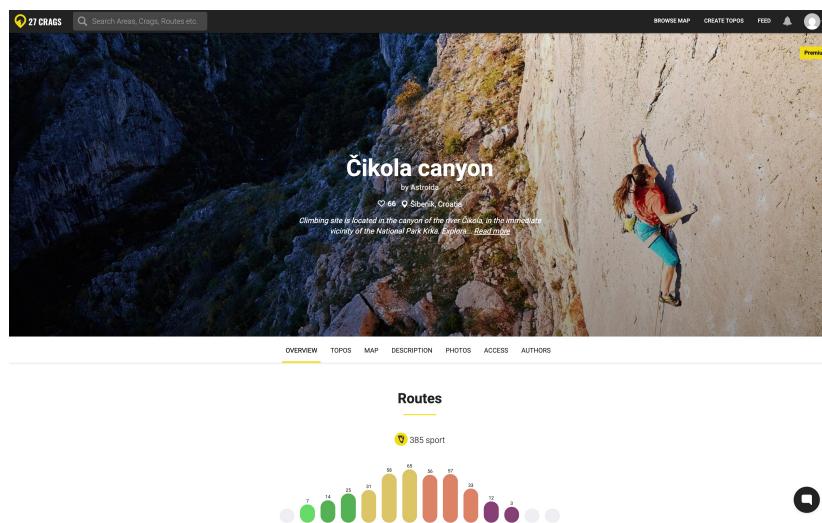
Tradicionalno, glavni izvor informacija za penjače su tiskani penjački vodiči. Ovi vodiči sadrže detaljne opise penjališta, karte pristupa, kao i skicirane prikaze stijene ili često nazivane *topo* s ocrtnim linijama penjačkih smjerova, njihovim nazivima i težinama. Iako su desetljećima bili nezamjenjiv alat, tiskani vodiči imaju ograničenja. Podložni su zastarijevanju jer ne mogu pratiti dinamiku promjena na penjalištima poput dodavanja novih smjerova, promjena težina ili upozorenja o opasnostima na pojedinim smjerovima. Bilo kakve promjene zahtjevaju novo tiskanje i kupovanje novog izdanja. Tiskani vodiči su nepraktični za nošenje, a najveći izazov predstavlja interpretacija dvodimenzionalnih skica, koje su često slikane iz daljine, na trodimenzionalnu strukturu stijene. Proces lociranja točnog početka smjera na temelju crteža često je subjektivan, dugotrajan i može dovesti do frustracija ili pokušaj penjanja smjera koji je težinski izvan dohvata za penjača.



Slika 1.1: Prikaz tiskanog penjačkog vodiča

### 1.3. Ograničenja postojećih digitalnih alata

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. Unatoč tim prednostima, digitalna rješenja nisu bez nedostataka. Većina postojećih aplikacija i dalje se oslanja na prikazivanje statičnih, dvodimenzionalnih *topo* skica, čime se ne rješava temeljni problem identifikacije smjera u stvarnom okruženju. Nadalje, oslanjanje na elektronički uređaj u često udaljenim prirodnim okruženjima uvodi i praktične izazove. Ograničeno trajanje baterije i čest nedostatak mobilnog signala ili internetske veze mogu učiniti digitalne alate nedostupnima u trenutku kada su potrebni. Korisnik se tako suočava s dva ključna problema: interpretacija 2D prikaza i ovisnost o bateriji i signalu.



**Slika 1.2:** Prikaz penjačke lokacije Čikola na platformi 27crags

## 1.4. Cilj i doprinos rada

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 rješenja, tehnologija i tehnika**

Nakon postavljanja motivacije te definiranja problema identifikacije penjačkog smjera slijedi analiza postojećih rješenja te definiranje tehnologija i tehnika za razvoj novih funkcionalnosti.

Prvi dio poglavlja bavi se detaljnim pregledom postojećih rješenja 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.

Drugi dio poglavlja posvećen je tehnološkoj podlozi koja omogućuje implementaciju funkcionalnosti prepoznavanja penjačkih smjerova. Budući da se rješenje temelji na primjerni računalnog vida, ovaj dio obrađuje osnove relevantnih algoritama i metoda. Objasnjavaju se koncepti poput detekcije i opisa značajki (eng. *feature detection and description*), s posebnim fokusom na algoritam SIFT (eng. *Scale-Invariant Feature Transform*) te metoda za transformaciju perspektive temeljenih na homografiji. Razumijevanje ovih koncepta omogućuje bolje razumijevanje kako precrtati liniju penjačkog smjera na sliku stvarne stijene dobivene kamerom mobilnog uređaja.

Treći i završni dio poglavlja analizira i obrazlaže odabir specifičnih tehnoloških okvira i platformi korištenih za razvoj sustava. Detljano se opisuju odabrane tehnologije za iOS aplikaciju, pozadiniski (eng. *backend*) sustav te web aplikaciju čime se postavlja tehnički temelj sustava.

### **2.1. Postojeće aplikacije za penjače**

Za razmijevanje potreba penjača potrebno je analizirati alate koje penjači koriste. Ta rješenja mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: tradicionalne tiskane vodiče i mo-

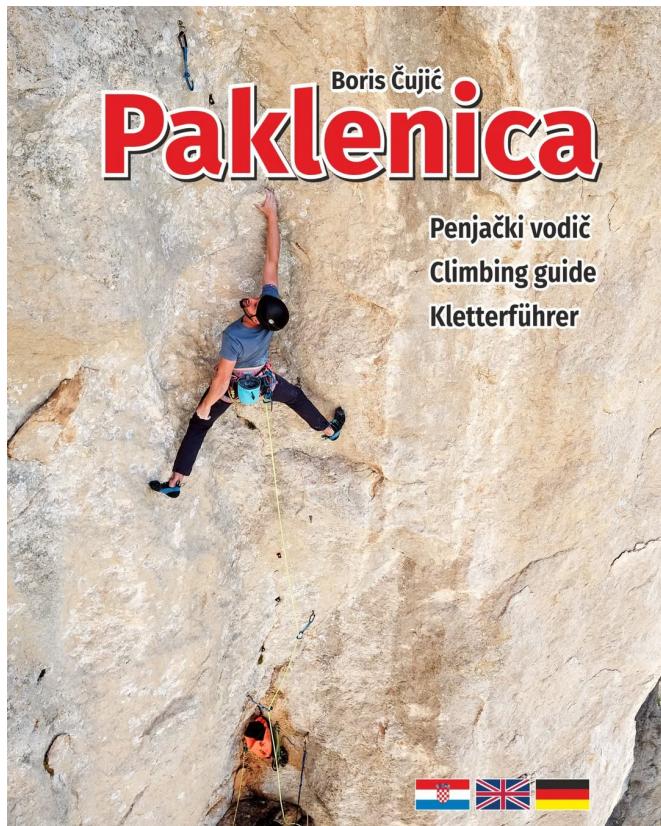
derne digitalne platforme koje su odgovorile na neka od ograničenja tiskanih vodiča.

### **2.1.1. 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 šira penjačka područja, primjerice Kalnik, Kanjon Čikola, Golubinjak. Ta penjačka područja 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 osuščanost 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, dužina smjera te eventualno napomene poput upozorenje na nestabilno kamenje skljono kidanju. Osim informativnih *topo* prikaza, vodiči su često obogaćeni fotografijama penjača te pejzažnim fotografijama.

U pravilu svaki vodič pokriva specifično geografsko područje, od pojedinačnog velikog 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 područja poput Nacionalnog parka Paklenica ili za regiju Istre.



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

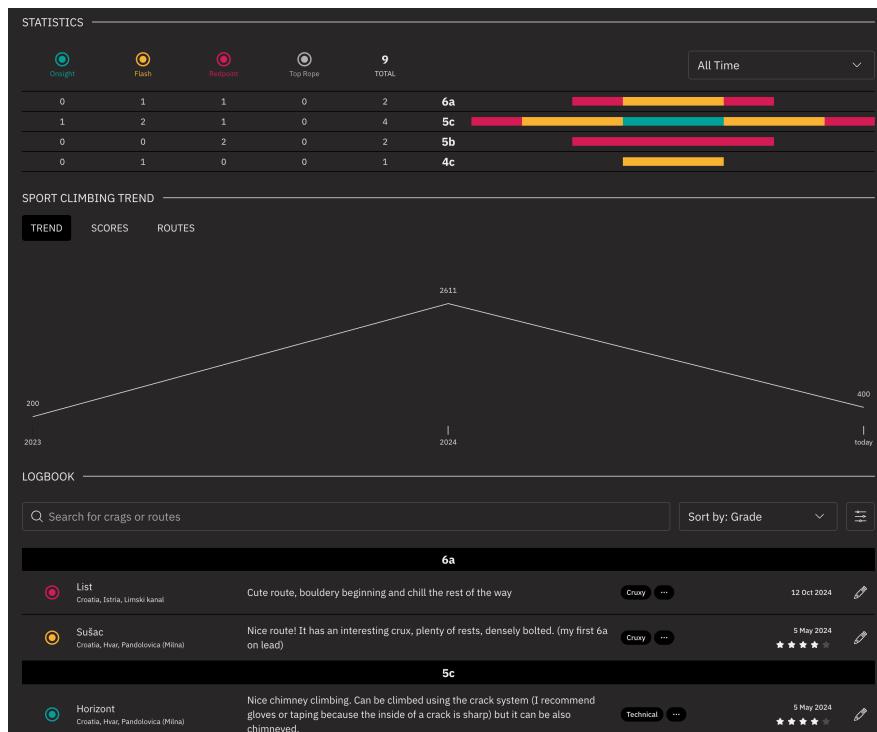
Dodatnu složenost unoše i izdanja stranih izdavača poput "Istra" autora Jurija Ravnikarja. Ova raznolikost izdavača dovodi do nedostatka konzistentnosti. Različiti vodiči koriste različite simbole, stilove i metodologije izrade *topo* skica. Neki se oslanjaju na ručno crtane skice, a neki na fotografije. 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.

### 2.1.2. 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, ističu se kao primjer rezličitih pristupa unutar digitalnog penjačkog svijeta.

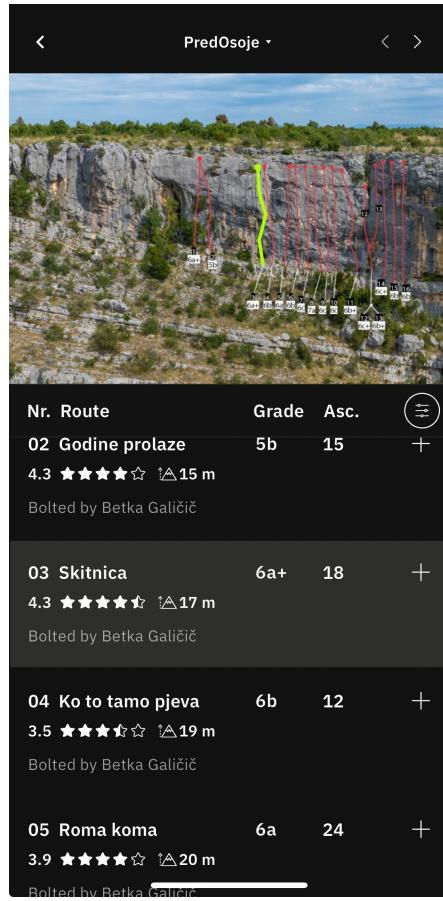
## 8a.nu

Platforma 8a.nu pokrenuta je 2000. 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. Korisnici koriste platformu kako bi bilježili svoje ispenjane smjerove, navodeći stil uspona, predlagajući težine i komentare za smjerove. Time se stvara velika, iako često nestrukturirana, baza podataka koja služi kao arhiv i statički resurs.



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

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 organizirane penjačke lokacije, 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

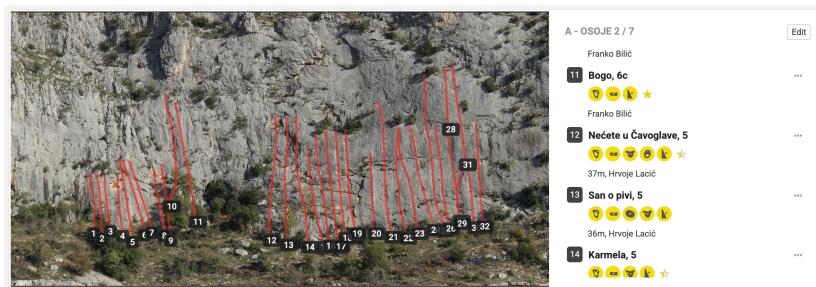
Analizirajući 8a.nu kao alata za snalaženje na stijeni, njeni nedostaci u kontekstu vizalne navigacije su i dalje prisutni. Temeljni problem leži u samoj prirodi vizalnih prikaza. *Topo* fotografije su često snimljene s velike udaljenosti kako bi obuhvatile cijeli sektor, zbog čega su ucrtane linije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

## 27crams

27crams predstavlja digitalnu platformu za penjače koje je izrađeno primarno s ciljem pružanja informacija o penjačkim lokacijama i smjerovima. Ideja platforme 27crams je

popisati što više penjačkih lokacija i smjerova, a manji fokus je stavljen na društveni aspekt. *Topo* skice su napravljene na sličan način kao i kod 8a.nu, no društveni aspekt po pitanju uspona drugih penjača nije toliko u fokusu kao kod 8a.nu. Aplikacija nudi više informacija o penjačkoj lokaciji, poput parking lokacije sa detaljnim kartografskim prikazom.

Unatoč boljoj pokrivenosti penjačkih lokacija, 27crags također ima limitacije po pitanju dvodimenzionalnog *topo* prikaza čime se ne riješava problem identifikacije penjačkih smjerova.



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



Slika 2.5: Stvarna stijena na penjalištu Čikola sektora Osoje

## **2.2. Računalni vid u prepoznavanju objekata**

- 2.2.1. Detekcija i opis značajki (engl. feature detection and description)**
- 2.2.2. Uparivanje značajki (engl. feature matching)**
- 2.2.3. Transformacija perspektive i homografija**

## **2.3. Tehnologije za razvoj sustava**

- 2.3.1. Razvoj za iOS platformu**
- 2.3.2. Tehnologije pozadinskog sustava**
- 2.3.3. Tehnologije web aplikacije**

## **3. Arhitektura i dizajn sustava "Alpinity"**

- 3.1. Arhitektura sustava**
- 3.2. Dizajn baze podataka**
- 3.3. Dizajn pozadinskog sustava**
- 3.4. Dizajn procesa prepoznavanja smjera**

## **4. Implementacija rješenja**

**4.1. Implementacija pozadinskog sustava**

**4.2. Implementacija iOS aplikacije**

**4.2.1. Korisničko sučelje u SwiftUI**

**4.2.2. Integracija s bibliotekom OpenCV**

**4.3. Implementacija web aplikacije**

## **5. Testiranje i vrednovanje rješenja**

**5.1. Funkcionalno testiranje**

**5.2. Vrednovanje performansi prepoznavanja**

**5.3. Analiza ograničenja**

## **6. Zaključak**

**6.1. Sažetak ostvarenih rezultata**

**6.2. Smjernice za budući razvoj**

# LITERATURA

- [1] 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.