

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA**

DIPLOMSKI RAD br. 682

VIZUALIZACIJA SEIZMIČKIH PODATAKA

Matejka Ivančić

Zagreb, Lipanj 2014.

Iskreno se zahvaljujem voditeljici prof. dr. sc. Željki Mihajlović na sugestijama, pomoći i podršci koju mi je pružala tijekom izrade ovog rada.

Posebnu zahvalnost dugujem doc. dr. sc. Snježani Markušić s Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta na prijedlogu teme mog diplomskog rada, na stručnoj podršci i savjetima.

Zahvaljujem se Ivi Dasović, dipl. ing. fizike-geofizike, na dodatnim idejama i savjetima.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Žarišni mehanizam potresa	3
2.1 Geometrija rasjeda	3
2.2 Vrste rasjeda	4
2.3 Žarišni mehanizam u praksi.....	6
3. Implementacija	13
3.1 Vizualizacija rasjeda	13
3.1.1 Promjena nagiba rasjeda.....	14
3.1.2 Promjena smjera relativnog pomaka	16
3.1.3 Pomak krovine.....	16
3.1.4 Promjena smjera pružanja rasjeda	17
3.2 Vizualizacija žarišne sfere	18
3.2.1 Povezivanje rasjeda i žarišne sfere	19
3.3 Izgradnja terena	21
3.3.1 Pretvaranje podataka o terenu na WebGL prikladan format.....	21
3.3.2 Priprema terena.....	22
3.3.3 Izgradnja terena.....	24
3.3.4 Generiranje teksture terena.....	27
3.3.4.1 Izrada hipsometrijske karte	27
3.3.4.2 Izrada sjenčane karte.....	28
3.3.4.3 Spajanje u terensku kartu	29
3.3.4.4 Dodavanje vodene karte	32
3.3.5 Dodavanje teksture.....	35
3.4 Odabir empirijskih podataka	37
3.5 Prikaz mehanizma žarišta potresa na karti.....	38
4. Daljnja razmatranja.....	41
5. Zaključak	42
Literatura	44
Sažetak	47
Abstract.....	48
Dodatak.....	49
Privitak	55

1. Uvod

Seizmologija je znanost koja se bavi proučavanjem potresa. Pod pojmom potres najčešće se smatra naglo oslobađanje nakupljene potencijalne energije u Zemljinoj kori u obliku seizmičkih valova i topline. Seizmički valovi se bilježe seizmografima. Najčešći potresi su tektonski potresi koji nastaju na rasjedima i rezultat su djelovanja tektonskih sila [1].

Mehanizam pomaka u žarištu potresa ili žarišni mehanizam (engl. *focal mechanism*) koristi se za opis procesa koji dovode do oslobađanja energije na mjestu nastanka potresa. Najčešće se radi o pojavi rasjedanja (engl. *faulting*) koji opisuje relativni pomak dvije geološke cjeline, odnosno dva bloka, stvaranjem novog rasjeda ili pomicanjem, tj. smicanjem, po već postojećem rasjedu. Potresi dakle nastaju naglim oslobađanjem energije unutar nekog ograničenog područja [1].

Osnovno geodinamičko pitanje je koji procesi dovode do akumulacije energije. Istraživanja su pokazala da se radi o energiji elastične deformacije uzrokovane tektonskim silama. Prvu teoriju o procesima koji dovode do pojave potresa objavio je H. F. Reid 1911. godine. Nazvao ju je teorijom elastičnog povratnog djelovanja ili elastičnog odraza ili elastičnog odziva (engl. *elastic rebound theory*). On je pretpostavio da potres nastaje kada akumulirane napetosti u nekom području u unutrašnjosti Zemlje nadvladaju jakost odnosno elastičnost stijena. One tada naglo pucaju stvarajući rasjed uz oslobađanje akumulirane energije, dio koje se širi elastičnim valovima potresa. Već je i Reid naglasio da je to vrlo pojednostavljena slika i da je stvarnost znatno složenija jer u obzir treba uzeti još mnoge faktore [1].

Danas se zna da je potpuni opis procesa koji se odvijaju u žarištu potresa previše složen da bi ga se moglo matematički prikazati. To osobito vrijedi za velike potrese čiji su rasjedi dugački nekoliko desetaka, pa čak i stotina, kilometara i proces oslobađanja energije traje desetke sekundi, pa i do nekoliko minuta (najjači zabilježen potres: Čile, 22.5.1960. 19:11, površina

rasjedanja 800×200 km, prosječni pomak na rasjedu 21 m, dubina žarišta 30 km, $M_w = 9.5$). Ipak, ograničimo li se na vrlo kratko vrijeme nakon početka potresa i promatramo li pojave dovoljno daleko od izvora, matematički modeli koji se odnose na točkaste izvore mogu objasniti neke od opaženih svojstava na seizmogramima. Seizmolozi su tako već početkom 20. stoljeća uočili da smjer prvog pomaka tla, dakle pomak pisaljke seizmografa gore ili dolje, nije slučajan nego ovisi o mjestu na kojem se relativno prema epicentru postaja nalazi. Pionirski radovi objavljeni u Japanu i Italiji ukazali su da se područja s prvim pomakom tla na gore (kompresija okolnih stijena u izvoru) odnosno na dolje (dilatacija u izvoru) mogu na geografskoj karti odvojiti linijama. Prve analize seizmičkog izvora objavljene su 20-ih i 30-ih godina 20. stoljeća (npr. Nakano, 1923; Honda, 1934). Pokazalo se da se opažanja mogu objasniti pomoću dva jednostavna modela, te se dugi niz godina (tri desetljeća) vodila debata koji od ova dva modela predstavlja sistem sila ekvivalentan rasjedanju. Ovaj presudan problem riješili su Burridge i Knopoff (1964), koji su razvili teoriju ekvivalentnih sila u heterogenom i anizotropnom sredstvu. Pokazali su da u slučaju dislokacije u (x_1, x_2) ravnini u x_1 smjeru, pod pretpostavkom izotropije, ekvivalentne sile upravo predstavlja dvostruki par sila. Sustav dvostrukog para sila danas se najčešće koristi za opis procesa u izvoru seizmičkih valova [1,2].

Nakon što dođe do potresa, seizmolozi stvaraju grafički prikaz žarišnog mehanizma, neformalno nazvan „*beach ball*“ (hrvatski prijevod bi bio „lopta za plažu“ pa je u seizmologiji uobičajeno koristiti engleski naziv), kako bi pokazali pojavu rasjedanja koja je izazvao potres. Žarišni mehanizam, odnosno rješenja mehanizma pomaka u žarištu potresa zasnivaju se na prvom dolasku P vala (prvi nadolazeći seizmički val), te se koriste za prikaz smjera kretanja rasjeda.

2. Žarišni mehanizam potresa

Žarišni mehanizam opisuje orijentaciju rasjeda i kut relativnog pomaka na rasjednoj plohi prema relativnom odnosu geografskog koordinatnog sustava. Žarišni mehanizam je najvažniji parametar za odrediti nakon što su poznate lokacija i magnituda potresa i koristi se za određivanje stvarne geometrije rasjeda, te zaključivanje stila rasjedanja (eng. *stress regimes*) određene regije [4].

2.1 Geometrija rasjeda

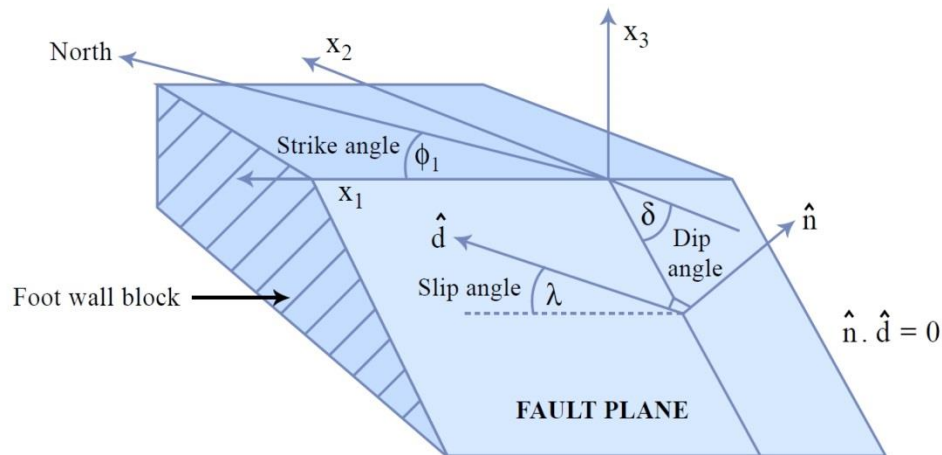
Jednostavno rečeno, potres je relativni pomak dva bloka Zemlje zvane rasjedne plohe (eng. *walls*) duž planarne površine koja se zove ravnina rasjeda (eng. *fault plane*) [3].

Rasjed se definira kao posmične pukotine po kojim je ostvaren vidljiv pomak stijenskih blokova, u pravilu veći od par centimetara, odnosno strukturna jedinica litosfere što nastaje izdizanjem, spuštanjem ili uzdužnim pomicanjem dijelova litosfere duž pukotine [1].

Pokret koji uzrokuje potres može se opisati orijentacijom rasjeda i smjerom pomaka duž rasjedne plohe kao što se može vidjeti na slici 2.1. Smjer pružanja rasjeda φ (eng. *strike*), je azimut (kut u odnosu na Sjever u smjeru kazaljke na satu) pravca sjecišta rasjedne plohe i horizontalne ravnine. Kut nagiba rasjedne plohe δ (eng. *dip*) je kut koji zatvara rasjedna ploha s horizontalnom ravninom. Kut relativnog pomaka λ (eng. *rake* ili *slip*) mjeri se od pravca smjera pružanja rasjeda u horizontalnoj ravnini prema gore (u smjeru suprotnom od kazaljke na satu) i opisuje smjer gibanja krovine po rasjednoj plohi. Usmjerenje, tj. orijentacija, pružanja rasjeda određuje se tako da se rasjedna ploha nalazi s desne strane smjera pružanja rasjeda. Prema dogovoru rasjedni parametri mogu poprimiti sljedeće vrijednosti:

$$\begin{aligned}0 &\leq \varphi < 360^\circ \\-180^\circ &< \lambda < 180^\circ \\0 &< \delta < 90^\circ\end{aligned}$$

Kako bi se potres u potpunosti opisao, potreban je još jedan dodatni skalar, u odnosu na duljinu relativnog pomaka i na taj način u odnosu na veličinu ili magnitudu događaja [1].



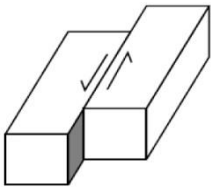
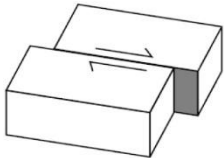
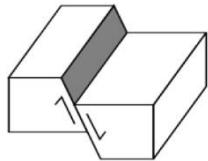
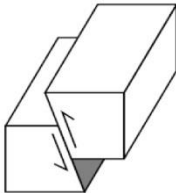
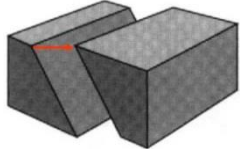
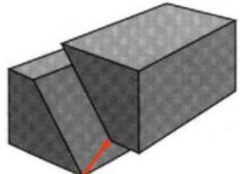
Slika 2.1 Geometrija rasjeda, orijentacija rasjeda određena smjerom pružanja rasjeda, kutom nagiba i kutom relativnog pomaka. Smjer pomaka krovine (eng. *hanging wall*) u odnosu na podinu (eng. *foot wall*) je prikazan vektorom $\hat{d}$ [4]

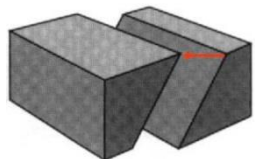
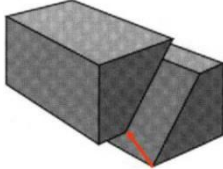
2.2 Vrste rasjeda

S obzirom na smjer pomaka na rasjedu (vektora pomaka, eng. *slip*, *slip vector*), odnosno vrijednost kuta relativnog pomaka λ , razlikujemo nekoliko vrsta rasjeda (tablica 1):

- rasjedi s pomakom po pružanju – lijevi ili desni rasjed,
- rasjedi s pomakom niz nagib – normalni ili reversni rasjed,
- rasjedi s dijagonalnim pomakom (eng. *oblique*).

Tablica 1. Vrste rasjeda (preuzeto i prilagođeno iz Stein i Wyssession, 2003) [1].

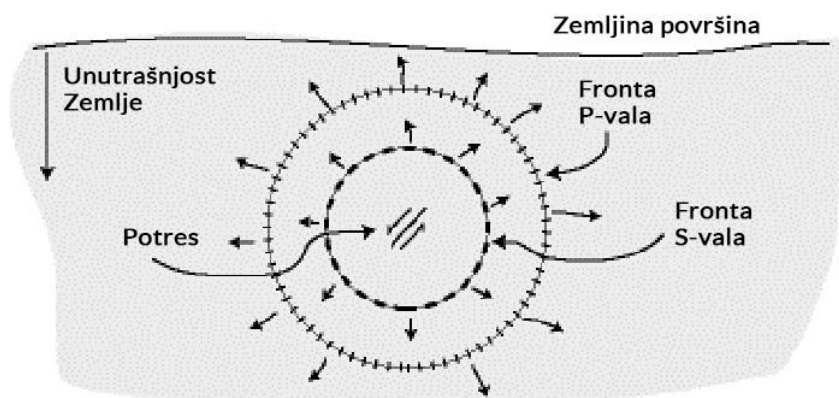
Rasjedi s pomakom po pružanju		
Lijevi (lateralni) (eng. <i>strike-slip</i>)	$\lambda = 0^\circ$	
Desni (lateralni) (eng. <i>strike-slip</i>)	$\lambda = 180^\circ$	
Rasjedi s pomakom niz nagib		
Normalni (eng. <i>dip-slip</i>)	$\lambda = -90^\circ$	
Reversni (eng. <i>dip-slip</i>)	$\lambda = 90^\circ$	
Rasjedi s dijagonalnim pomakom		
Lijevi normalni	$0 < \lambda < -90^\circ$	
Lijevi reversni	$0 < \lambda < 90^\circ$	

Desni normalni	$-90 < \lambda < -180^\circ$	
Desni reversni	$90 < \lambda < 180^\circ$	

Ako rasjed razbije površinu, kutovi se mogu odrediti geološkim metodama, no u većini slučajeva potresi ne razbijaju površinu pa se moraju koristiti seizmološki podaci kako bi se odredilo rješenje rasjedne plohe [4].

2.3 Žarišni mehanizam u praksi

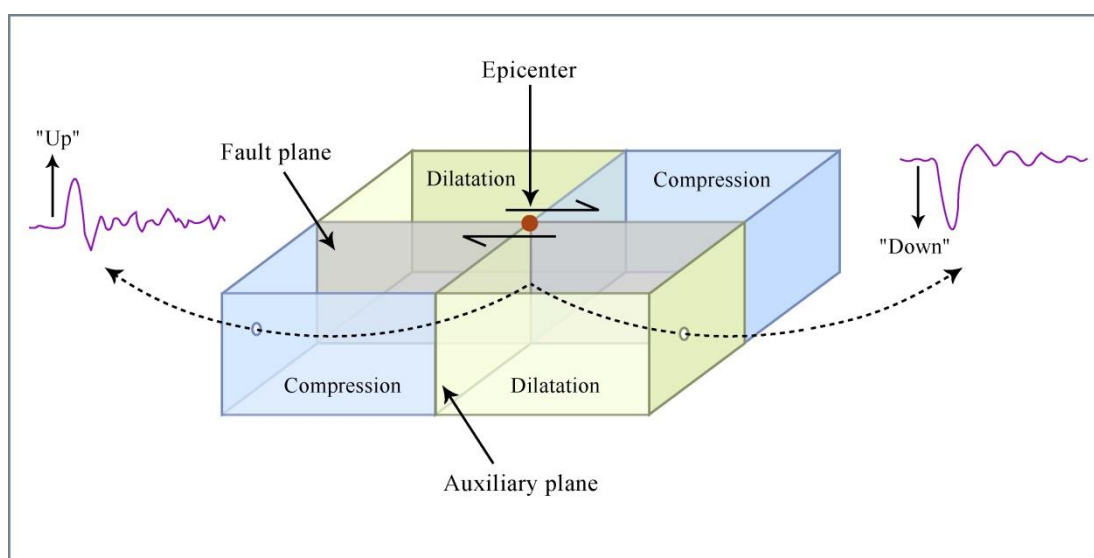
Kada se tlo naglo pomakne za vrijeme potresa, energija u obliku seizmičkih valova zrači u svim smjerovima. Valovi prolaze kroz Zemljinu unutrašnjost prema površini. U trenutku nastanka potresa iz žarišta se šire seizmički valovi (slika 2.2). Brži longitudinalni valovi (P valovi, P za prima) i sporiji transverzalni valovi (S valovi, S za sekunda).



Slika 2.2 Širenje seizmičkih valova potresa [24]

Rasjedne plohe se pomiču u suprotnim smjerovima što stvara drugačiji polaritet P valova prvog pomaka. Prema jednostavnom primjeru koji se može vidjeti na slici 2.3, površina ravne Zemlje se tako dijeli na četiri kvadranta od kojih svaki ima drugačiji polaritet. Ako se strana rasjedne plohe pomakne

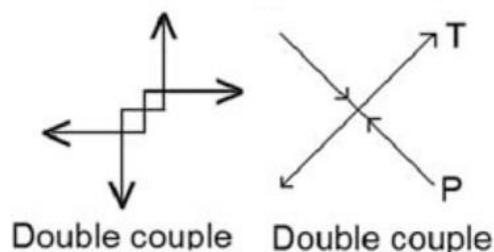
prema seizmološkoj postaji (guranje tla) onda se prvi pomak zove kompresija (eng. *compression*, C), a ako se pomakne od postaje (povlačenje tla) zove se dilatacija (eng. *dilatation*, D). Na vertikalnom komponentnom senzoru (seizmograf) to odgovara gibanjima prema gore ili dolje. Kada bi postojalo puno ravnomjerno distribuiranih postaja, orijentacija dviju rasjednih ploha bi se mogla jednostavno odrediti dijeljenjem površine na četiri kvadranta s drugačijim polaritetom, no ne bi postojalo načina kako odrediti koja ploha je krovina, a koja podina bez dodatnih informacija [4,6].



Slika 2.3 Prvi pomak P vala promatran iz različitih smjerova u odnosu na rasjed za desni (lateralni) rasjed. Dvije strelice na rasjedu pokazuju relativni smjer pomaka na plohi rasjeda. Dvije strelice na pomoćnoj plohi pokazuju isti pomak koji daje isti seizmogram. Strelice se mogu smatrati silama koje vode pokret [4].

Geološki ekvivalent izvora kojeg razmatramo je vertikalni rasjed čija ploha leži u bilo kojoj od dvije čvorne ravnine. Onu ravninu na kojoj je stvarno došlo do rasjedanja zovemo ravnina rasjeda, tj. rasjedanja, (eng. *fault plane*), dok se ona druga na nju okomita naziva pomoćnom ravninom (eng. *auxiliary plane*). Bitno je znati da rasjedanje po ravnini rasjeda daje identični učinak, kao i rasjedanje po pomoćnoj ravnini [2]. Na slici 2.3. pokret rasjeda je prikazan strelicama na plohama rasjeda ili pomoćnim plohama. Radijacija koja nastaje od temeljnih sila može se opisati parom sila (slika 2.4). Kako

klizanje na plohi rasjeda i pomoćnoj plohi daje iste polaritete, drugi par sila u pomoćnoj plohi može stvoriti isti polaritet (slika 2.4).



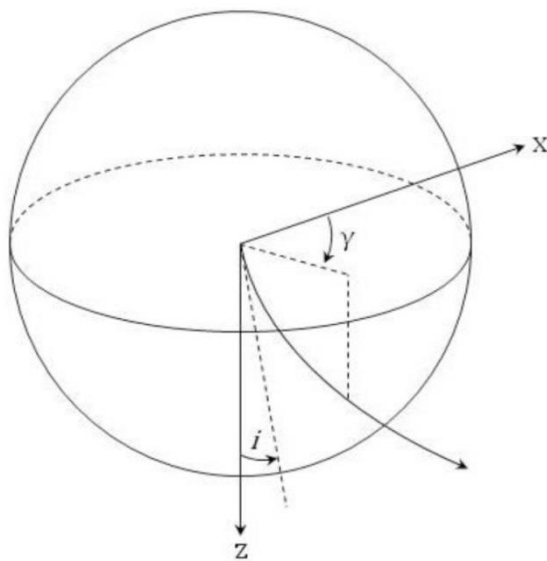
Slika 2.4 Dvostruki par sila koji može stvoriti pomake zabilježene od klizanja rasjeda. Dvostruki parovi sila stvaraju isti pomak dalekog polja i svako od njih se može koristiti za matematički opis pomaka rasjeda [4].

Seizmolozi koriste informacije dobivene iz seizmograma za izračunavanje žarišnog mehanizma tako da skupe podatke prvih pomaka P vala u velike skupove podataka od lokalnih i udaljenih postaja, te prate te podatke natrag duž relevantnih zraka i preslikavaju (eng. *mapping*) ih u žarišnu sferu (eng. *focal sphere*) u izvoru.

Ako je poznat rasjed odnosno njemu ekvivalentni par sila, smjer prema seizmološkoj postaji određuju dva kuta:

1. azimut postaje u odnosu na epicentar γ , promatran u odnosu na smjer sjevera
2. kut emergencije i (eng. *take-off angle*), mjeren u odnosu na vertikalnu Z-os,

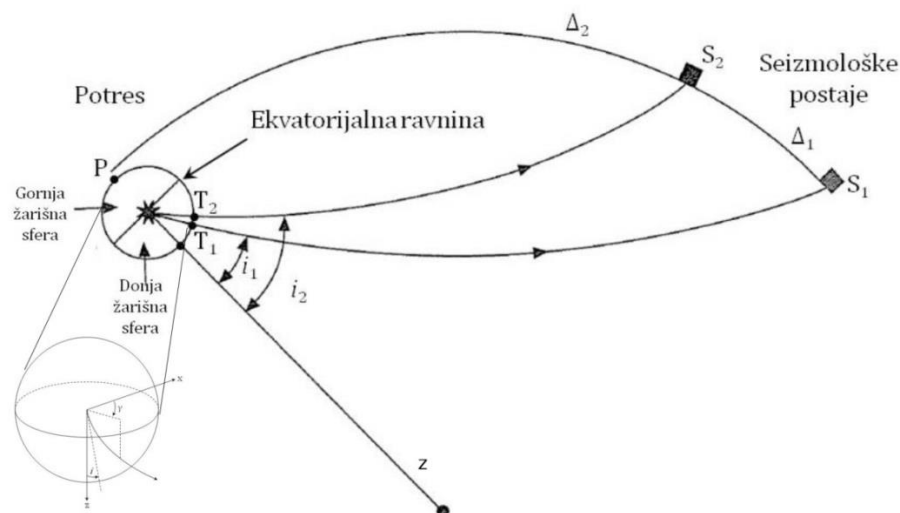
čija je shema prikazana na slici 2.5 [1].



Slika 2.5 Shema prikazuje zraku vala koja iz izvora putuje do seizmološke postaje i veličine kojima ju opisujemo [1].

Žarišna sfera se postavlja u hipocentar potresa, te se pomoću nje promatraju pokreti potresa. Površina sfere je podijeljena na četiri kvadranta s dilatacijom i kompresijom [4].

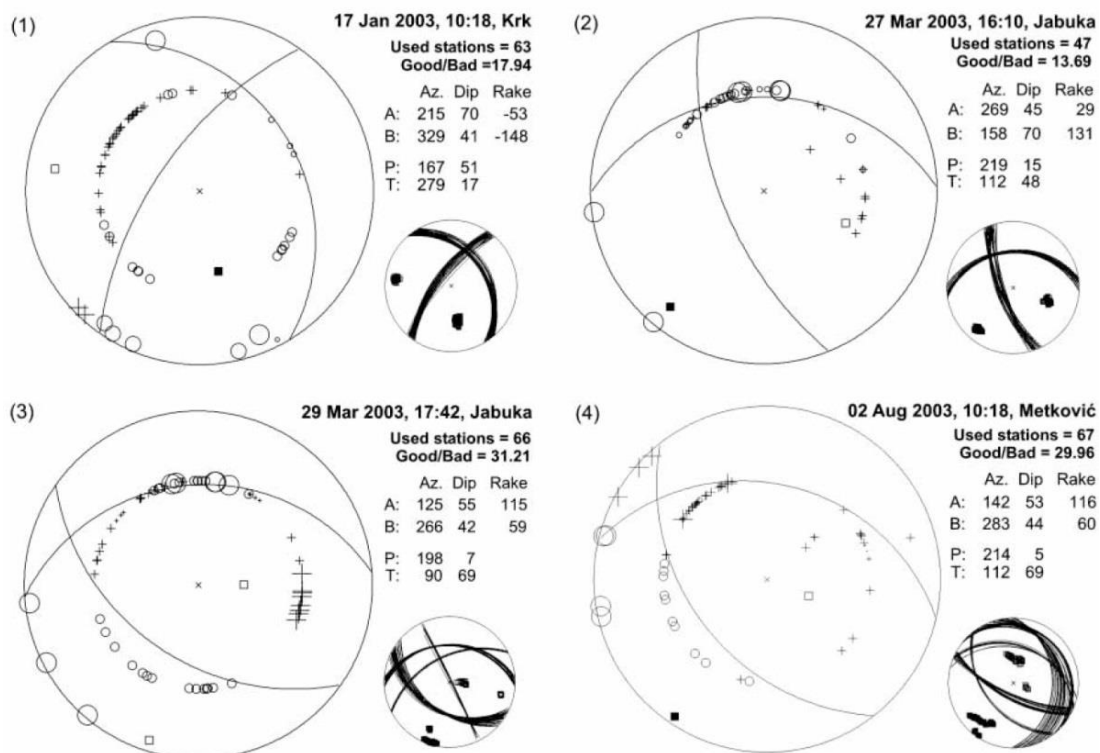
Svaka staza P-vala, odnosno smjer postaje na kojoj se taj val zabilježio, definirana je s dva kuta: γ i i kao na slici 2.5. Kut emergencije i ovisi o epicentralnoj udaljenosti Δ . Na slici 2.6 prikazane su dvije zrake koje probadaju žarišnu sferu u točkama T_1 i T_2 – te točke predstavljaju položaj seizmoloških postaja S_1 i S_2 . Ukoliko su poznate epicentralne udaljenosti tih dviju postaja Δ_1 i Δ_2 , mogu se odrediti kutovi emergencije tih dviju zraka (i_1 i i_2), a time i točke $T_1(\gamma_1, i_1)$ i $T_2(\gamma_2, i_2)$. Zadatak je unijeti informacije o orijentaciji prvog pomaka P-vala na položaj projekcije točaka T_1 i T_2 u koordinatnoj mreži te pronaći ravnine koje odjeljuju homogena područja različite orijentacije pomaka [1].



Slika 2.6 Žarišna sfera jediničnog polumjera u odnosu na staze dva vala koji nailaze na seizmološke postaje S_1 i S_2 na epicentralnim udaljenostima Δ_1 i Δ_2 (preuzeto i prilagođeno iz Stein i Wysession, 2003) [1].

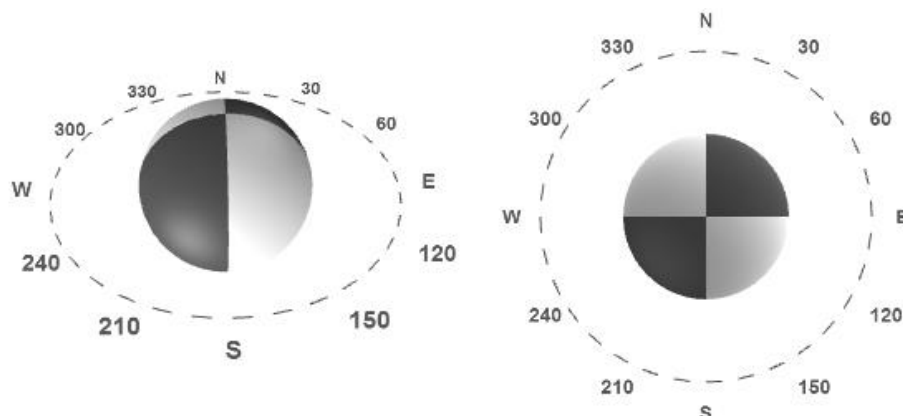
FAULT-PLANE SOLUTIONS

+ Compression
○ Dilatation



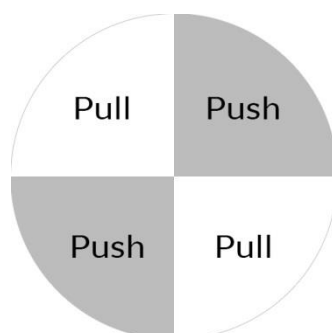
Slika 2.7 Primjeri za žarišne mehanizme na području Hrvatske za potrese koji su se dogodili 2003. godine kod Imotskog, otoka Krk i Jabuka [23]. Križići označavaju kompresiju, a kružići dilataciju.

Žarišna sfera se tipično prikazuju kao „*beach ball*“ tako da se projiciraju ekvatorijalne ravnine žarišne sfere.



Slika 2.8 *Beach ball* i projekcija

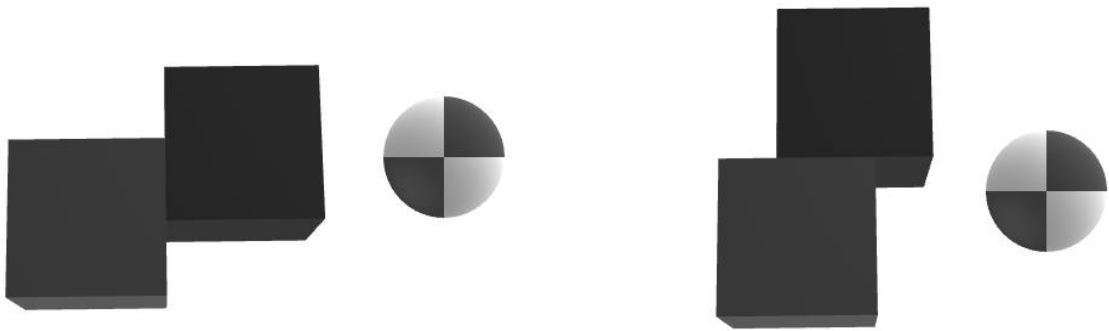
Beach ball je podijeljena na četiri kvadranta (bije i crne). Crna polja opisuju micanje od izvora (kompresija), dok bijela polja opisuju micanje prema izvoru (dilatacija). Postaje koje se nalaze u crnom kvadrantu bilježe P valove koji započinju prema gore, dok oni u bijelom bilježe P valove koji započinju prema dolje (slika 2.9). Promjena žarišnog mehanizma rezultira kao jednostavna rotacija žarišne sfere, *beach balla* te mu ne mijenja prirodu.



Slika 2.9 *Beach ball*

Opća značajka modela parova sila i njegovog prikaza kao *beach balla* je njegov visoki stupanj simetrije. Dvije ravnine koje opisuju kvadrante su međusobno zamjenjive, te zbog toga postoji neodređenost između dva moguća fizička rješenja dobivena iz seizmičkih podataka po modelu

dvostrukog para sila. Na primjer: lijevi (lateralni) rasjedi s pomakom po pružanju s orijentacijom S-J se seizmički ne može razlikovati od desnog (lateralnog) rasjeda s pomakom po pružanju s orijentacijom I-Z. Ovo svojstvo, zasnovano je u simetriji sustava dvostrukog para sila koje vrijedi za sve seizmičke valove, pa tako i P valove [3].



Slika 2.10 Primjer neodređenosti: lijevi (lateralni) rasjedi s pomakom po pružanju S-J, desni rasjedi s pomakom po pružanju I-Z i njihovi odgovarajući *beach ballovi*

Neodređenost se može odstraniti samo kada se uzme u obzir izvor proširen na prostor, u odnosu samo na točkasti izvor. U praksi se to radi na različite načine kao što su terenske metode kako bi se odredila orijentacija rasjeda ili praćenjem naknadnih potresa (eng. *afterschoks*) nakon glavnog potresa koji se očekuju da će se desiti duž rasjeda [3].

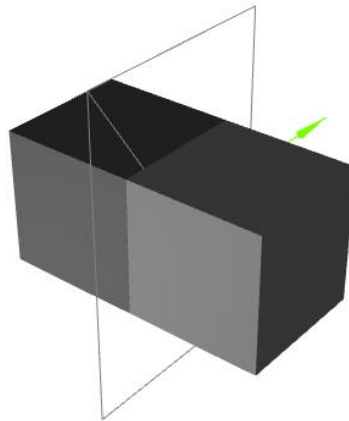
3. Implementacija

Izrađena je interaktivna 3D vizualizacija rasjeda uz njegov odgovarajući *beach ball* prikaz kao 3D sfera i 2D projekcija ekvatorijalne ravnine žarišne sfere kako bi se omogućilo interaktivno prikazivanje svake vrste rasjeda. Aplikacija nudi opciju direktnog unošenja smjera pružanja rasjeda φ , kut nagiba rasjedne plohe δ i kut relativnog pomaka λ . Dodatno je dana mogućnost demonstracije pomaka duž vektora pomaka. Također je implementirana 3D reljefna karta Republike Hrvatske s prikazanim žarišnim sferama odabranih potresa. Omogućen je odabir potresa i prikaz odgovarajućeg rasjeda i žarišne sfere u 2D i 3D. Sve scene su napravljene u WebGL jeziku pomoću Three.js (JavaScript) 3D knjižnice [7].

3.1 Vizualizacija rasjeda

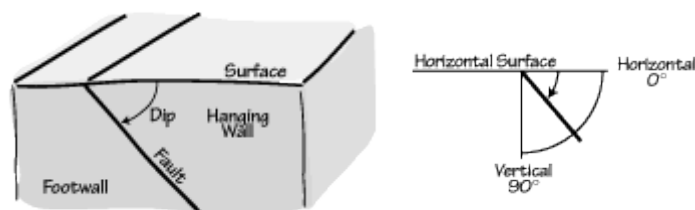
Najčešći potresi su tektonski potresi koji nastaju na rasjedima i rezultat su djelovanja tektonskih slika, te se najčešće radi o pojavi rasjedanja koji opisuje relativni pomak dvije geološke cjeline, odnosno dva bloka [1]. Blokovi rasjeda se radi jednostavnosti objašnjavanja procesa potresa opisuju kuboidnim tijelima, stoga su tako prikazani u aplikaciji. Kako bi se omogućio prikaz svih vrsta rasjeda, bila je potrebna deformacija kuboidnog tijela (kocki) u odnosu na nagib rasjeda.

Početna scena se sastoji od dvije kocke (rasjedi s pomakom po pružanju $\delta=90^\circ$), ravnine na poziciji ravnine rasjeda, te vektora smjera pomaka kako bi se olakšao njihov prikaz.



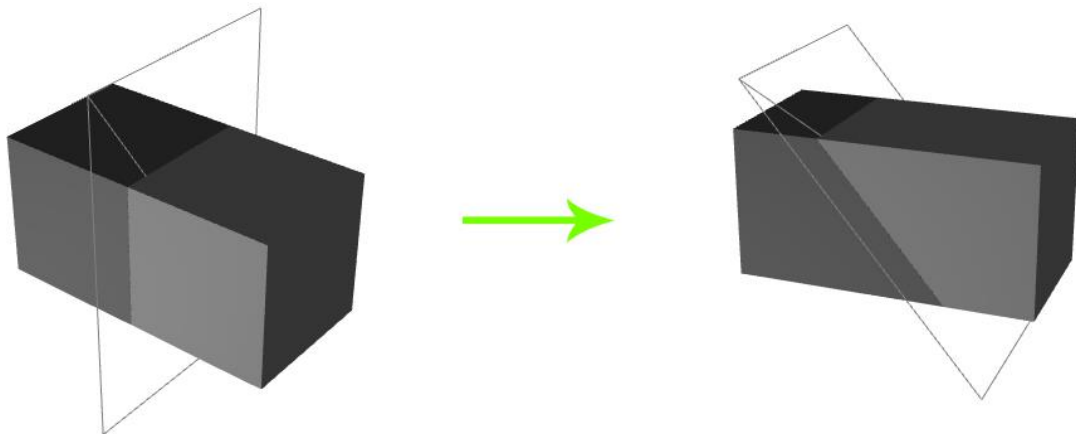
Slika 3.1 Početna scena rasjeda

3.1.1 Promjena nagiba rasjeda



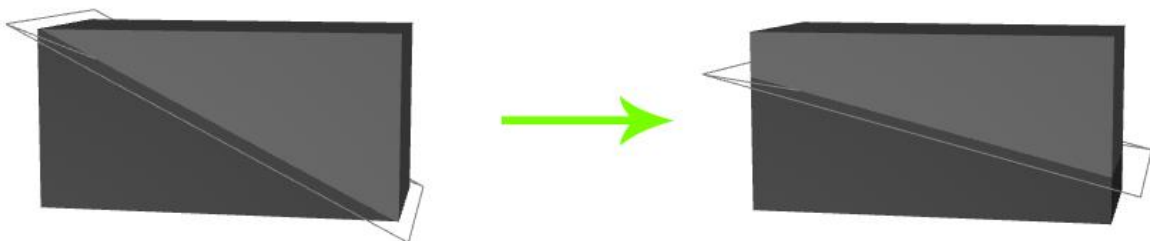
Slika 3.2 Ilustracija kuta nagiba rasjeda [8]

Pri promjeni nagiba rasjeda potrebno je izračunati točke sjecišta ravnine rasjeda sa stranicama, odnosno bridovima blokova. Izračunata sjecišta bit će vrhovi blokova željenog rasjeda. Novi prikaz rasjeda, odnosno blokova pod određenim kutom su stari blokovi deformirani u nove tako da su im zadane nove pozicije vrhova (slika 3.3).



Slika 3.3 Promjena nagiba rasjeda

Prekretnica u računu sjecišta je kada je kut nagiba manji od kuta koji zatvara dijagonalna ravnina (određena gornjim lijevim vrhovima lijevog bloka i donjim desnim vrhovima desnog bloka), tada blokovi drastično mijenjaju oblik. Krovina rasjeda, odnosno desni blok postaje gornji blok, dok podina rasjeda, odnosno lijevi blok postaje donji blok (slika 3.4).

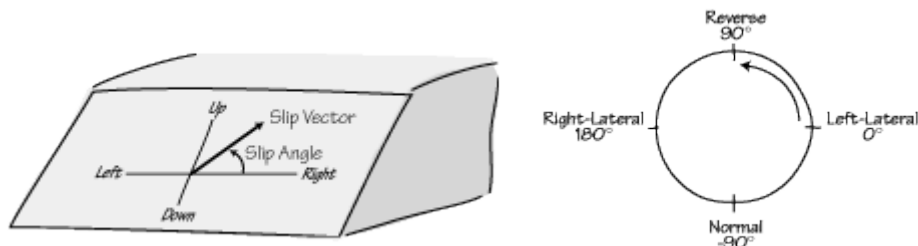


Slika 3.4 Promjena nagiba rasjeda za kut nagiba manji od kuta dijagonalnih ravnina

Ravnina za vizualizaciju ravnine rasjeda mijenja nagib jednostavnom rotacijom oko z-osi.

3.1.2 Promjena smjera relativnog pomaka

Sljedeći korak je omogućavanje promjene smjera pomaka krovine rasjeda.

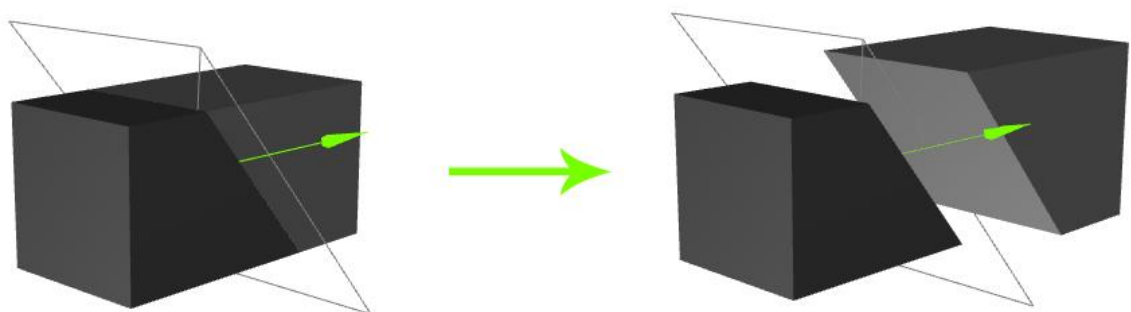


Slika 3.5 Ilustracija kuta pomaka [8]

Smjer pomaka je prikaz pomoćnim vektorom. Pri promjeni kuta pomaka računa se novi vektor smjera pomaka duž kojeg se krovina pomiče. Vektor smjera je u početnoj sceni smješten u yz-ravnini, pa se tako preko kosinusa i sinusa dobije vektor smjera pomaka koji se zatim rotira za kut nagiba. Potrebno je napomenuti da treba uzeti u obzir da se kut smjera pomaka računa suprotno od kazaljke na satu, dok se kutovi u prostoru scene, odnosno Kartezijevom koordinatnom sustavu računaju u smjeru kazaljke na satu.

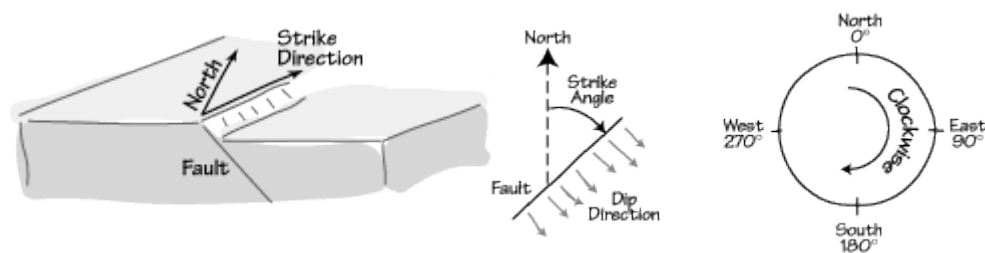
3.1.3 Pomak krovine

Krovina se pomiče računanjem pomaka duž vektora smjera i translacijom krovine na izračunatu poziciju (pomak).



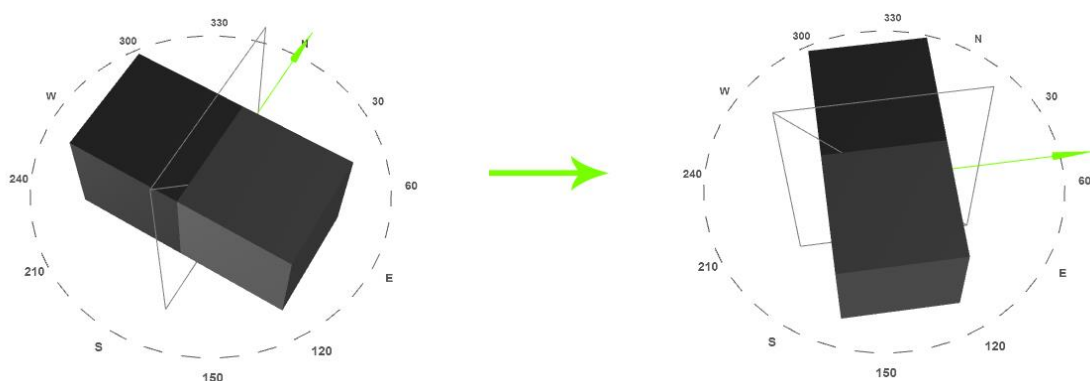
Slika 3.6 Pomak krovine

3.1.4 Promjena smjera pružanja rasjeda



Slika 3.7 Ilustracija smjera pružanja rasjeda [8]

Kako bi se bolje prikazala promjena smjera pružanja rasjeda u prostoru, oko rasjeda su označene strane 'svijeta', te je promjena smjera rasjeda postignuta jednostavnom rotacijom oko y-osi.

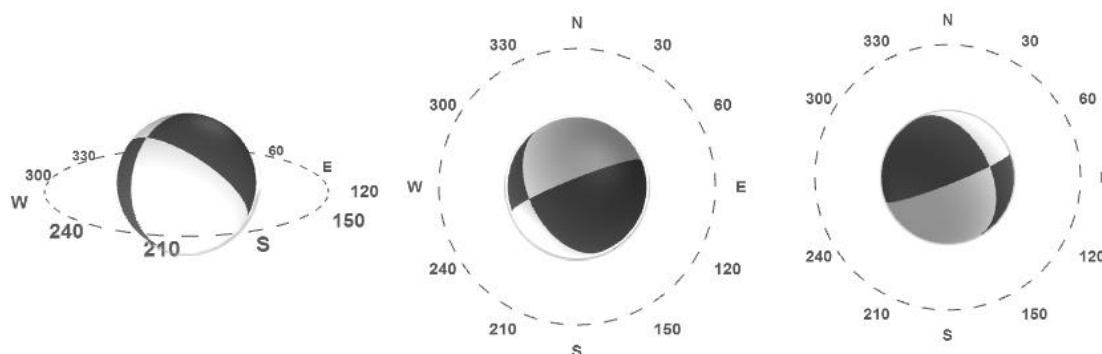


Slika 3.8 Promjena smjera pružanja rasjeda

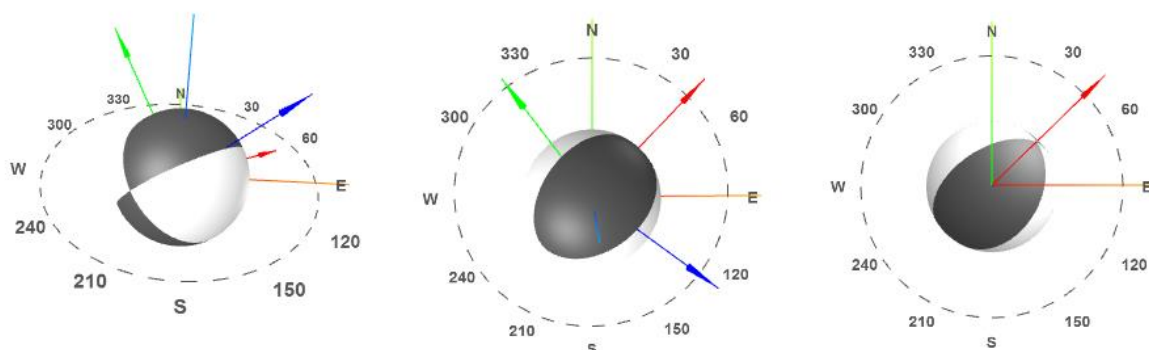
3.2 Vizualizacija žarišne sfere

Beach ball je sfera podijeljena na četiri kvadranta (bijele i crne). Crna polja opisuju micanje od izvora (kompresija), dok bijela polja opisuju micanje prema izvoru (dilatacija). Za opis svih vrsta potresa pomoću žarišne sfere s parametrima implementirana je rotacija oko odgovarajućih osi za svaki od parametara.

Početno stanje lokalnog koordinatnog sustava koji opisuje žarišnu sferu: smjera pružanja rasjeda ϕ (z-os), kut nagiba rasjedne plohe δ (y-os), kut relativnog pomaka λ (normala ravnine rasjeda, tvore ju x i y os). Dodane su oznake strana svijeta kako bi se bolje prikazale rotacije.



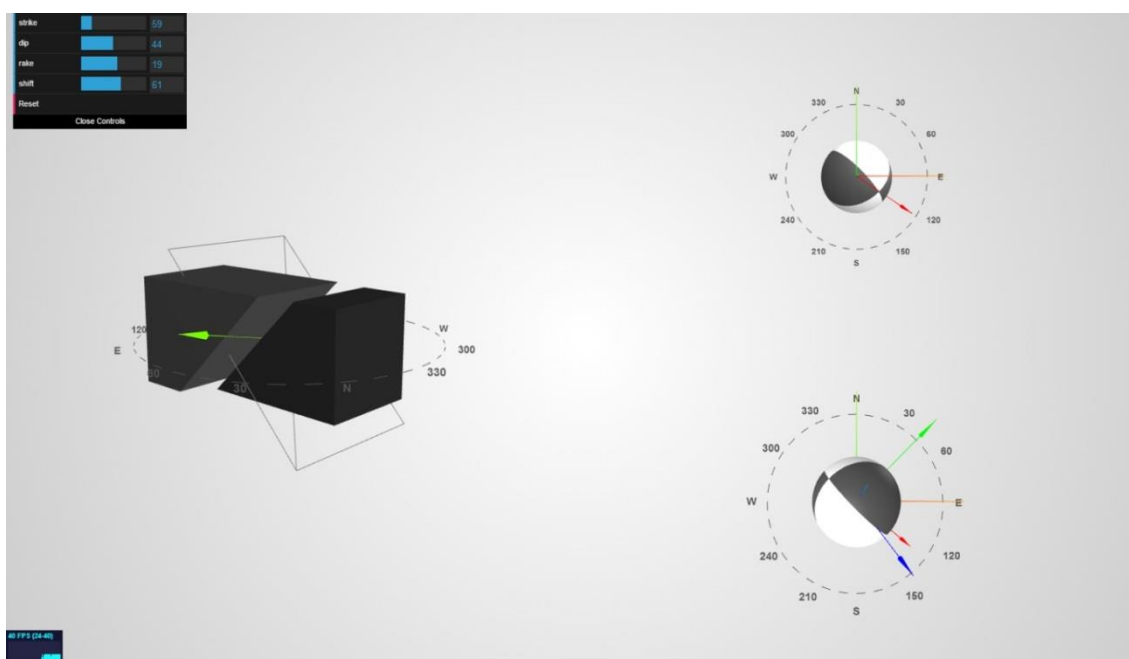
Slika 3.9 *Beach ball*: Prikaz sa strane (desno), odozgo (gornja hemisfera, sredina) i prikaz projekcije ekvatorijalne ravnine žarišne sfere (donja hemisfera, desno)



Slika 3.10 Prikaz *beach balla* s osima lokalnog i globalnog koordinatnog sustava

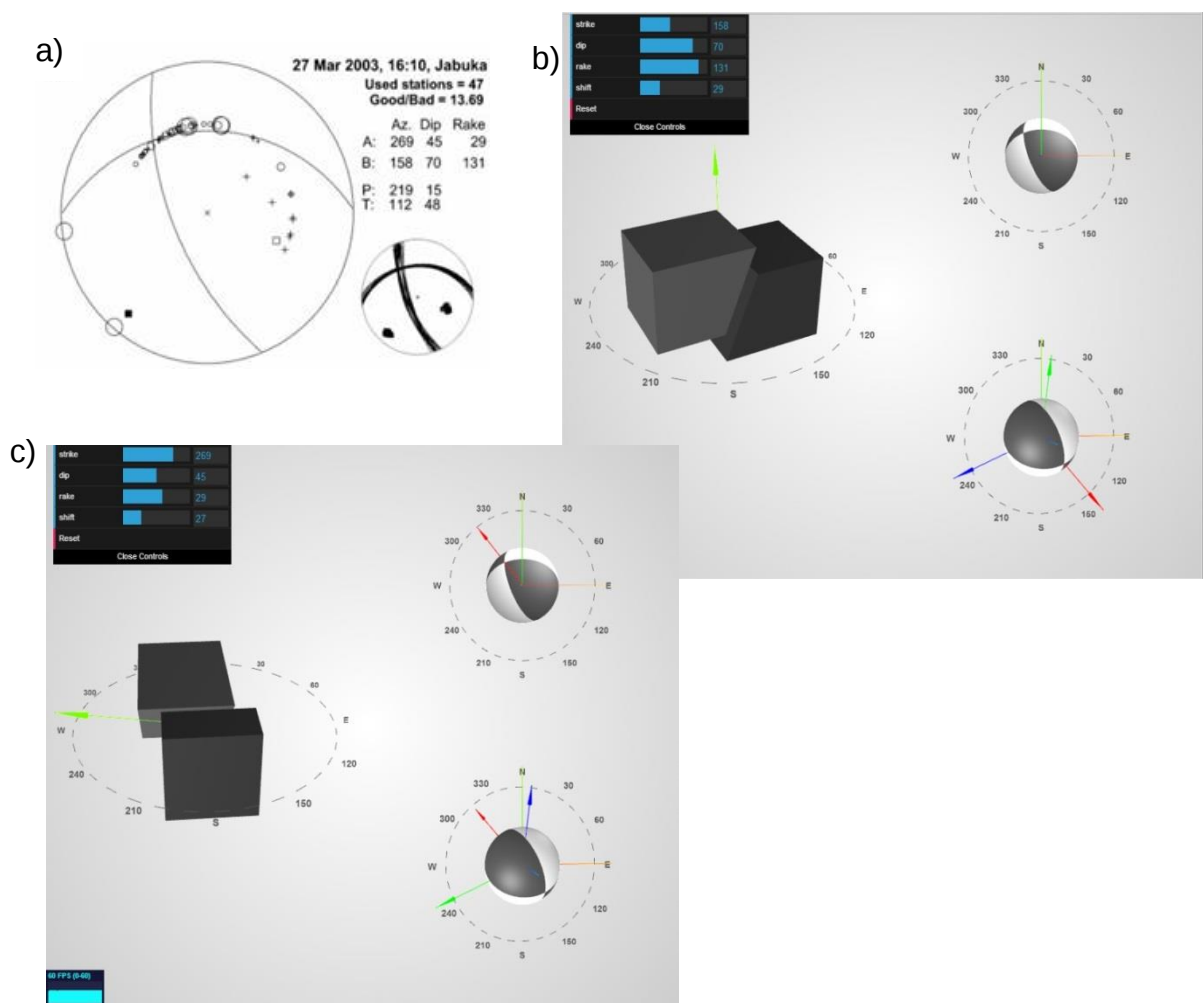
3.2.1 Povezivanje rasjeda i žarišne sfere

Završna scena (slika 3.11) prikazuje rasjed s rotacijom pogleda oko blokova kako bi se bolje promatrao pomak krovine rasjeda. Uz rasjed su dana dva prikaza odgovarajućeg *beach balla*: 3D prikaz s rotirajućim pogledom i statična projekcija kakva se najčešće koristi na kartama. Za neovisan prikaz objekata u sceni se koriste tri kamere: dvije projekcijske kamere za 3D prikaz (za blokove rasjeda i 3D prikaz žarišne sfere) i jedna ortogonalna kamera (za 2D prikaz ekvatorijalne projekcije).



Slika 3.11 Završna scena

Za ilustraciju, na slici 3.12 prikazani su vizualizirani podaci potresa koji se dogodio kod otoka Jabuka 27. ožujka 2003. godine, čije je rješenje žarišnih mehanizama prikazano na slici 2.7 [23]. Između dva moguća fizička rješenja dobivena iz seizmičkih podataka po modelu dvostrukog para sila postoji neodređenost koja se na slici sada lako uoči iz prikazanog modela kubnih rasjednih ploha.



Slika 3.12. Vizualizirani podaci potresa koji se dogodio kod otoka Jabuka 27. ožujka 2003. godine (a) rješenje žarišnih mehanizama iz [23] (slika 2.7); b) i c) dva moguća rješenja (eng. *double couple solutions*) žarišnih mehanizama.

3.3 Izgradnja terena

Jedna od metoda rješavanja neodređenosti između dva moguća rješenja *beach balla* je terenska metoda. Jednostavno rečeno iz karte se očitava orijentacija već poznatih rasjeda kako bi dobili potrebne dodatne informacije o orijentaciji rasjeda na kojem se dogodio potres. U tu svrhu izrađena je mapa Republike Hrvatske na koju su u postavljeni *beach ballovi* reprezentativnih potresa.

3.3.1 Pretvaranje podataka o terenu na WebGL prikladan format

Podaci u terenu su preuzeti s OpenTopography [12-16] kao SRTM datoteka (eng. *Shuttle Radar Topography Mission*) u GeoTIFF izlaznom formatu. Prekriveno područje je između geografskih širina 42 ° i 47 ° N i dužina 13 ° i 20 ° E.

Korišten je GIS (eng. *Geographic information system*) sustav GDAL (eng. *Geospatial Data Abstraction Library*) [17] za rad s rasterskim geoprostornim podacima.

Terenski podaci su spremljeni kao Digitalni model reljefa (eng. *Digital elevation model*, DEM) prikazani kao rasteri. Digitalni model reljefa (DEM) raster je mreža ćelija gdje svaka ćelija predstavlja visinu na nekoj geografskoj poziciji. Veličina svake ćelije definira razinu detalja, odnosno rezoluciju podataka. GDEM (eng. *Global Digital Elevation Model*) je dan u 90 metarskoj rezoluciji.

Svojstva datoteke su:

```
Driver: GTiff/GeoTIFF
Files: output_srtm.tif
Size is 8400, 6000
Coordinate System is:
GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["WGS_1984",
        SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
            AUTHORITY["EPSG","7030"]],
        AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0],
```

```

UNIT["degree",0.0174532925199433],
AUTHORITY["EPSG","4326"]]
Origin = (12.999583333289479,47.0004166666669622)
Pixel Size = (0.0008333333333333,-0.0008333333333333)
Metadata:
  AREA_OR_POINT=Area
Image Structure Metadata:
  INTERLEAVE=BAND
Corner Coordinates:
Upper Left  ( 12.9995833,  47.0004167 ) ( 12d59'58.50"E, 47d
0'1.50"N )
Lower Left  ( 12.9995833,  42.0004167 ) ( 12d59'58.50"E, 42d
0'1.50"N )
Upper Right ( 19.9995833,  47.0004167 ) ( 19d59'58.50"E, 47d
0'1.50"N )
Lower Right ( 19.9995833,  42.0004167 ) ( 19d59'58.50"E, 42d
0'1.50"N )
Center      ( 16.4995833,  44.5004167 ) ( 16d29'58.50"E,
44d30'1.50"N )
Band 1 Block=8400x1 Type=Int16, ColorInterp=Gray
  Computed Min/Max=-35.000,3044.000
  NoData Value=-32768

```

Ovi podaci nam govore da je slika veličine 8400 x 6000 piksela. Koordinatni sustav je standardni WGS 84 (eng. World Geodetic System), koordinatna jedinica je metar, svaki piksel prekriva područje od 92,59 x 92,59 m, područje je definirano s četiri para koordinata i prekriva područje otprilike površine 308,380 km², a visinski podaci su spremljeni kao 16-bit *integeri*. Najmanja visina je -35 metra, a najveća je 3044 metra.

3.3.2 Priprema terena

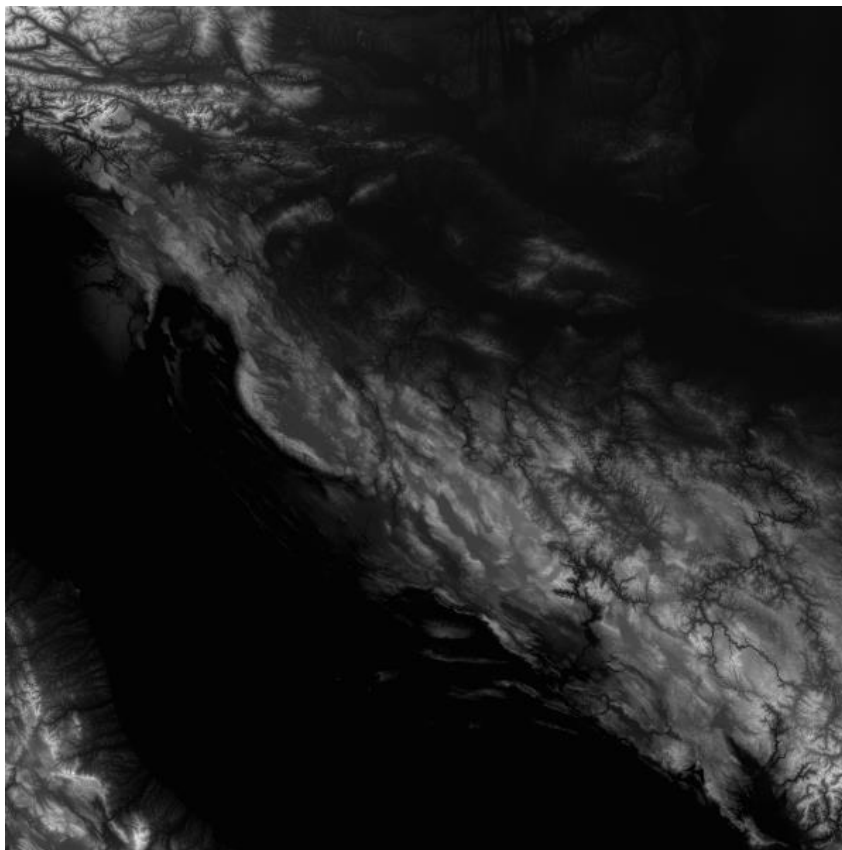
Kako većina web preglednika ne podržava TIFF datoteke, uobičajeno je da se podaci pretvore u visinske mape (eng. *heightmap*). Visinske mape su sive slike (eng. *grayscale*) gdje intenzitet svake točke predstavlja visinu na toj poziciji. Crna boja pokazuje minimalnu, a bijela maksimalnu. Visinska mapa se jednostavno stvori pomoću `gdal_translate` naredbe:

```

gdal_translate -scale -35 3044 0 255 -outsize 200 200 -of PNG -ot
Byte croatia.tif croatia_heightmap.png

```

Ova naredba kreira PNG datoteku pri čemu su vrijednosti visina smanjene na 256 nijansi sive boje (slika 3.13). Također smanjuje se veličina slike s 8400 x 6000px na 200 x 200 px. Svaka točka sada prekriva područje od ~ 2.7 km.



Slika 3.13 Visinska mapa Republike Hrvatske

Slika daje dojam visina, tamne boje su nizine, a što je boja svjetlija to je visina veća. Sada bi mogli sliku prenijeti u preglednik i čitati vrijednosti visina iz slike, no iako je to dovoljno u nekim slučajevima, može izgledati točkasto (eng. *blocky*) sa samo 256 vrijednosti. Moguće je koristiti format zvan ENVI. U ovom formatu su visinske vrijednosti postavljene kao nizovi bajtova, te kako bi sačuvali što više detalja vrijednosti se spremaju kao 16-bitni cijeli brojevi (0-65535) [9].

```
gdal_translate -scale -35 3044 0 65535 -ot UInt16 -outsize 200 200 -  
of ENVI croatia.tif croatia_heightmap.bin
```

3.3.3 Izgradnja terena

Sada kad imamo WebGL prikladan format (koji se može jednostavno učitati i parsirati s JavaScript jezikom u pregledniku) koristimo visinske podatke kako bi izgradili terensku mrežu (eng. *terrain mesh*) s three.js.

Prvo što je potrebno je učitati podatke o terenu u preglednik. Visinski podaci su spremljeni u binarne podatke kao 16-bitni cijeli brojevi. Koristeći XMLHttpRequest učitava se visinska mapa, te se pomoću Uint16Array funkcije vraća kao niz vrijednosti visina:

```
var oReq = new XMLHttpRequest();
oReq.addEventListener("load", transferComplete, false);
var url = 'img/croatia.bin';
oReq.open('GET', url, true);
oReq.responseType = 'arraybuffer';
oReq.send( null );

function transferComplete(event) {
    var data = new Uint16Array( event.target.response );
}
```

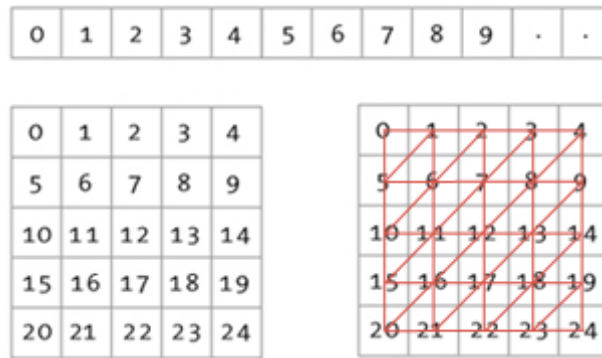
Visinske vrijednosti kao niz:

```
[60388, 40011, 65535, 58477, 39427, 46379, 43938, 56779, 65535,
52693, 35235, 35606, 37198, 34970, 47440, 56992, 45689, 38419,
42611, 52322...]
```

Radi očuvanja detalja, visinske vrijednosti (0-3079) bile su skalirane na 16-bitni cijeli broj (0-65535) pa visinske vrijednosti tražimo po formuli:

```
var height = Math.round( ((data-0) / (65535-0)) * (3044-(-35)) + (-
35) );

[2311, 1543, 2559, 2239, 1521, 1783, 1691, 2175, 2675, 2021, 1363,
1377, 1437, 1353, 1823, 2183, 1757, 1483, 1641, 1749, 2007, 2013,
2135...]
```

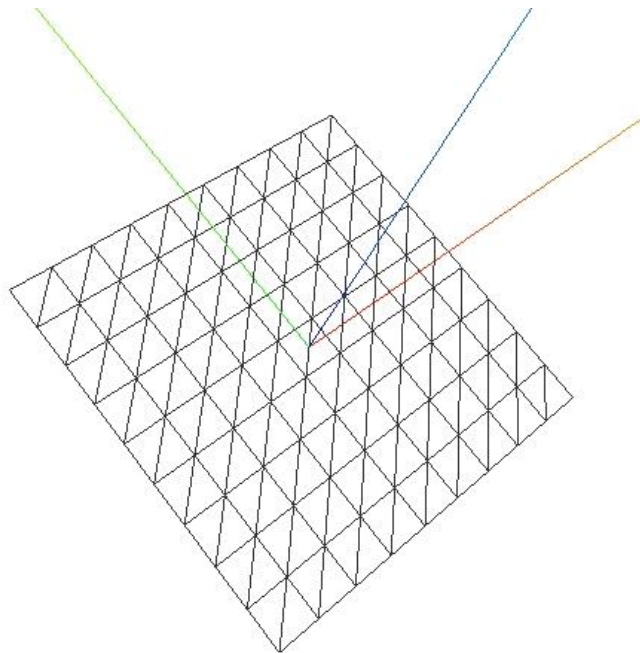


Slika 3.14 Od visina spremljenih u nizu do trokutaste mreže

Stvaranje trokutaste mreže je jednostavno i three.js radi teški dio posla za nas. Koristimo `THREE.PlaneGeometry` koji stvara ravninu:

```
var geometry = new THREE.PlaneGeometry(60, 60, 9, 9);
```

Prva dva argumenta su visina i širina ravnine, a druga dva argumenta su brojevi segmenata za visinu i širinu (slika 3.15).



Slika 3.15 Vrhovi mreže su vrhovi trokuta. Svaki vrh ima (x,y,z) koordinatu. Crvena linija je x-os, zelena linija je y-os i plava linija je z-os (visina).

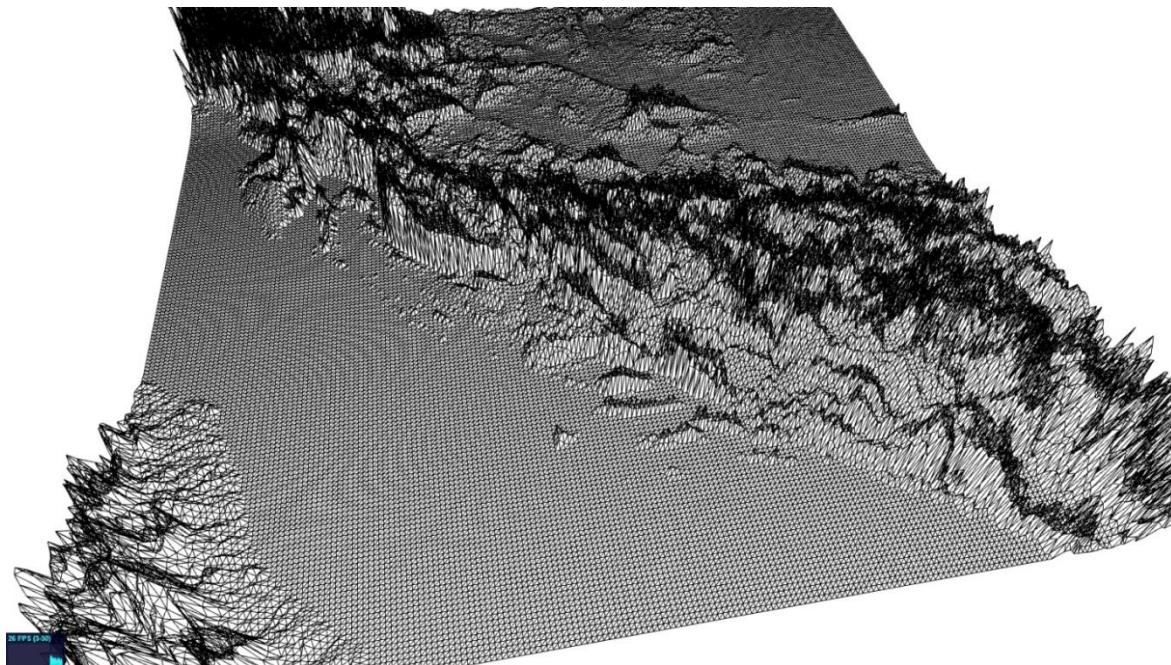
Segmenti širine i visine trebaju iznositi koliko i širina i visina visinske rešetke minus jedan. Binarna datoteka koja je prethodno bila napravljena je 200 x 200, tako da je geometrija ravnine 199 x 199:

```
var geometry = new THREE.PlaneGeometry(60, 60, 199, 199);
```

Three.js sprema sve vrhove u niz (`geometry.vertices`) slično nizu visinskih vrijednosti (red pored, od gore prema dolje) što omogućuje jednostavno mijenjanje Z vrijednosti pozicije [10]:

```
var geometry = new THREE.PlaneGeometry(60, 60, 199, 199);
for (var i = 0, l = terrainGeometry.vertices.length; i < l; i++) {
    terrainGeometry.vertices[i].z = data[i] / 65535 * 10;
}
var material = new THREE.MeshPhongMaterial({
    color: 0x000000,    wireframe: true
});
var plane = new THREE.Mesh(geometry, material);
scene.add(plane);
```

Što daje sljedeću sliku:



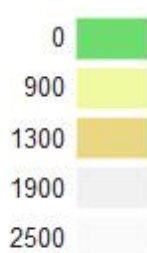
Slika 3.16 Žična forma (eng. *Wireframe*), ilustrativan prikaz terena (visine su uvećane)

3.3.4 Generiranje teksture terena

Sada kada je geometrija terena postavljena, potrebno je kreirati teksturu i postaviti je na mrežu. Digitalni model reljefa (DEM) se može koristiti za kreiranje bojanog reljefa i konture planina (eng. *hillshade*) koji će naglasiti izgled terena.

3.3.4.1 Izrada hipsometrijske karte

Obojani reljef ili hipsometrijska karta (eng. *hypsochromatic tints*) prikazuju visinu prema bojama kako bi se istaknule visine pojedinog područja, te kako bi čitači karte bolje vidjeli razlike u reljefu. Odabrane nijanse boje su pretpostavljene da odgovaraju bojama zemlje tipično nađene na određenoj nadmorskoj visini prikazanoj na karti. Sheme boja najčešće idu od tamnijih zelenih boja za niže nadmorske visine, prema žutim/smeđim, do sivih i bijelih kod najviših nadmorskih visina (slika 3.17).



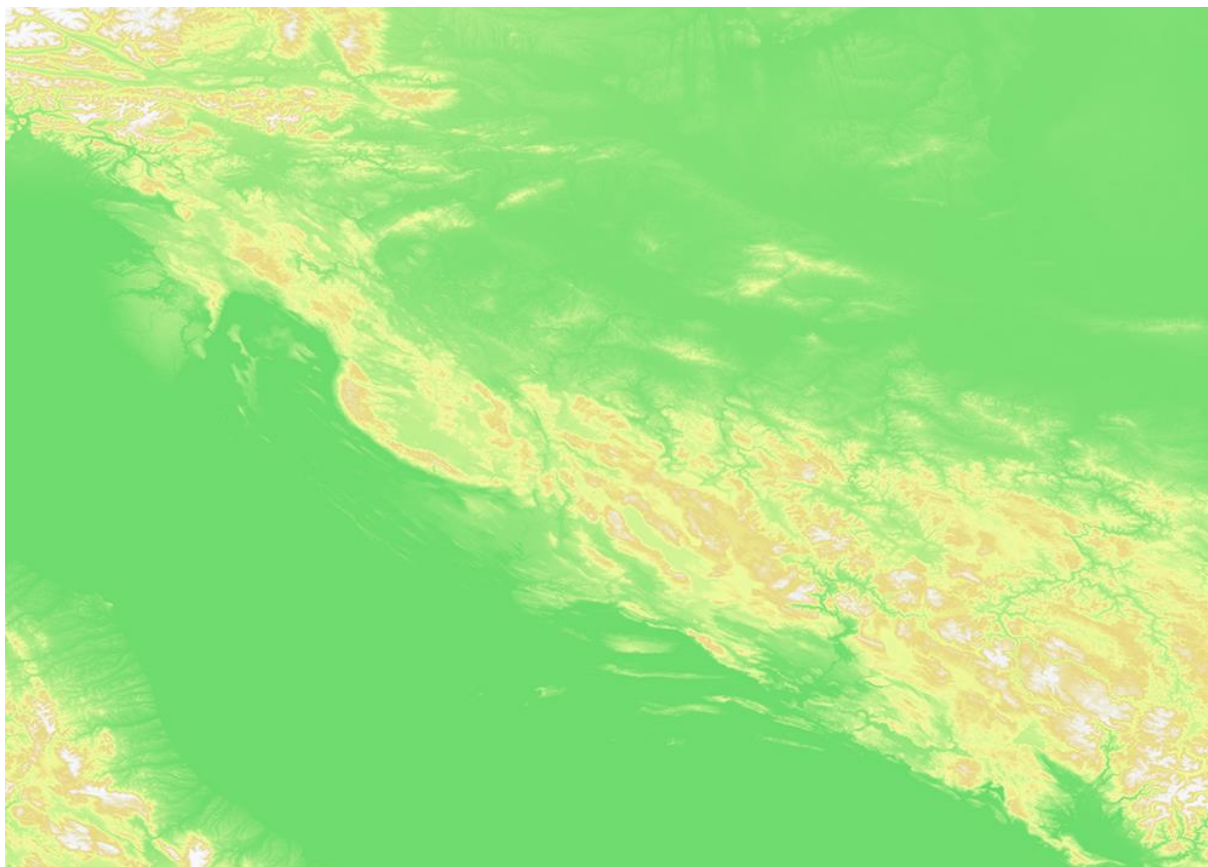
Slika 3.17 Shema boja

Kako bi kreirali obojani reljef s GDAL programom, prvo je potrebno kreirati tekstualnu datoteku konfiguracije boja koja za svaku visinu ima određenu boju. Datoteka sadrži 4 stupca po liniji: vrijednost visine i odgovarajuće crvenu, zelenu i plavu vrijednost 0-255 (RGB) [18]:

```
0 110 220 110
900 240 250 160
1300 233 216 129
1900 241 241 241
2500 250 250 250
```

Navedene vrijednosti definiraju gradijent koji će uklopiti 5 boja preko 2500 metara nadmorske visine. Naredba `gdaldem` se koristi za primjenu navedenih boja na kartu.

```
gdaldem color-relief croatia.tif color_relief.txt  
croatia_colour_relief.tif
```



Slika 3.18 Obojani reljef

3.3.4.2 Izrada sjenčane karte

Digitalni model reljefa (DEM) se također može koristiti za mjerenje nagiba i strmina terena. Nagib se procjenjuje usporedbom svake točke DEMa s visinama okolnih točaka. Kreiranje sjenčanih nagiba (eng. slope shading) s `gdaldem` se radi u dva koraka [18].

Prvo se koristi DEM kako bi se kreirao raster gdje svaka točka sadrži kut od 0-90 prema terenu koji ide od horizontalnog do vertikalnog [18]:

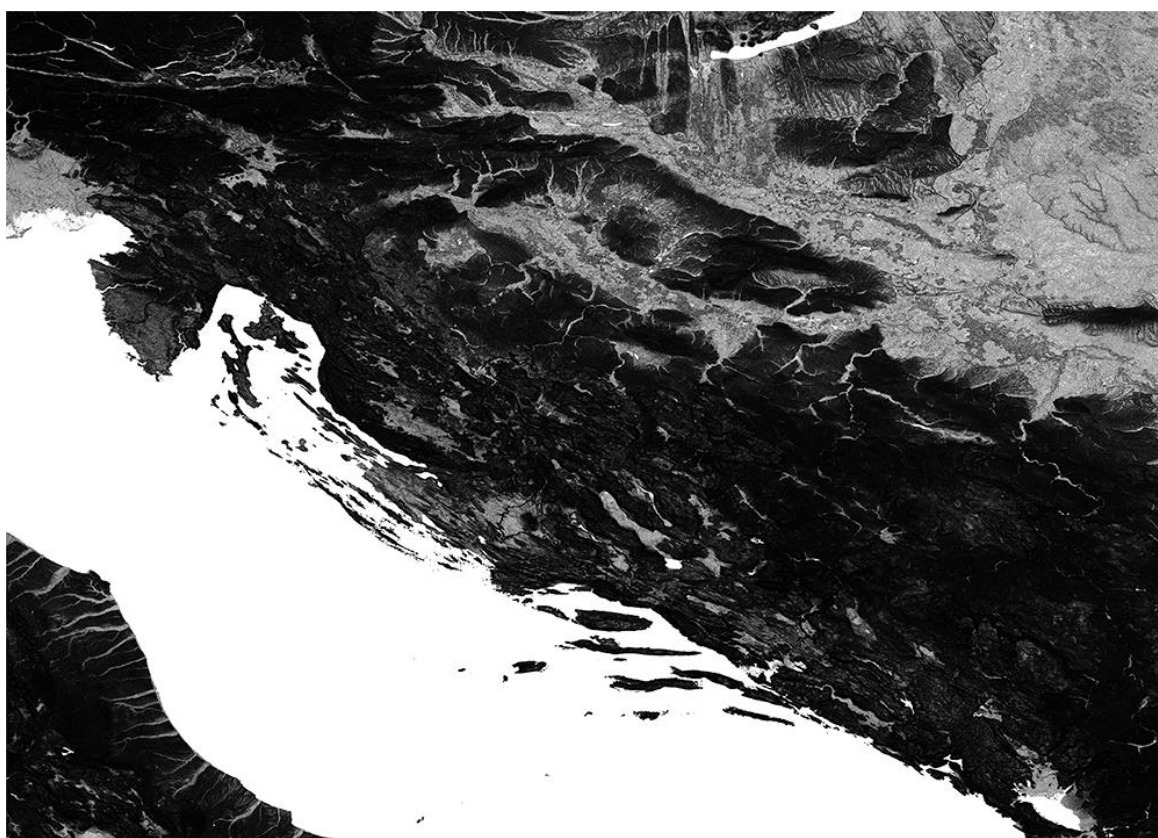
```
gdaldem slope jotunheimen.tif jotunheimen_slope.tif
```

Zatim se napravljeni raster koristi za izradu osjenčanih nagiba tako da se dodjeli boja svakoj točki koristeći istu tehniku kao i kod izrade obojanog reljefa. Opet se izrađuje konfiguracijska datoteka [18]:

```
0 255 255 255
90 0 0 0
```

Ravni teren će biti prikazan u bijeloj boji, litice u crnoj boji i kutovi između u različitim nijansama sive. Naredba je [18]:

```
gdaldem color-relief croatia_slope.tif color_slope.txt
croatia_slopesshade.tif
```



Slika 3.19 Sjenčane visine

3.3.4.3 Spajanje u terensku kartu

Kada su pripremljene karte sjenčanih strmina i brjegova, i obojani reljef, potrebno je spojiti slike u jednu terensku kartu. To se radi s Mapnik programom za izradu karti [19]. Za ovu potrebu koristi se `RasterSymbolizer`

kako bi sjedinili GeoTIFF datoteke u jednu. Stilovi i slojevi (slike) se definiraju XML datotekom:

```
<Map srs="+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m
+no_defs">
  <Style name="color relief style">
    <Rule>
      <RasterSymbolizer />
    </Rule>
  </Style>
  <Style name="slopesshade style">
    <Rule>
      <RasterSymbolizer opacity="0.1" comp-op="multiply"
scaling="bilinear"/>
    </Rule>
  </Style>
  <Style name="hillshade style">
    <Rule>
      <RasterSymbolizer opacity="0.2" comp-op="multiply"
scaling="bilinear"/>
    </Rule>
  </Style>
  <Layer name="color relief">
    <StyleName>color relief style</StyleName>
    <Datasource>
      <Parameter name="type">gdal</Parameter>
      <Parameter name="file">croatia_colour_relief.tif</Parameter>
    </Datasource>
  </Layer>
  <Layer name="slopesshade">
    <StyleName>slopesshade style</StyleName>
    <Datasource>
      <Parameter name="type">gdal</Parameter>
      <Parameter name="file">croatia_slopesshade.tif</Parameter>
    </Datasource>
  </Layer>
  <Layer name="hillshade">
    <StyleName>hillshade style</StyleName>
    <Datasource>
      <Parameter name="type">gdal</Parameter>
```

```

        <Parameter name="file">croatia_hillshade.tif</Parameter>
    </Datasource>
</Layer>
</Map>

```

Prvi red definira projekciju karte. Mapnik koristi PROJ.4 biblioteku [20], te ne može mijenjati projekciju rasterske slike, tako da slike moraju biti u željenoj projekciji prije unošenja u Mapnik. Zatim su definirana tri stila s `RasterSymbolizer`. Sjenčane karte strmina i brjegova, i obojani reljef koji će se sjediniti. Zadnje su zadani slojevi ispod stilova. Mapnik će prikazati slojeve u zadanom redu krećući od najvišeg [21].

Za kreiranje nove slike koristi se jednostavna Python skripta:

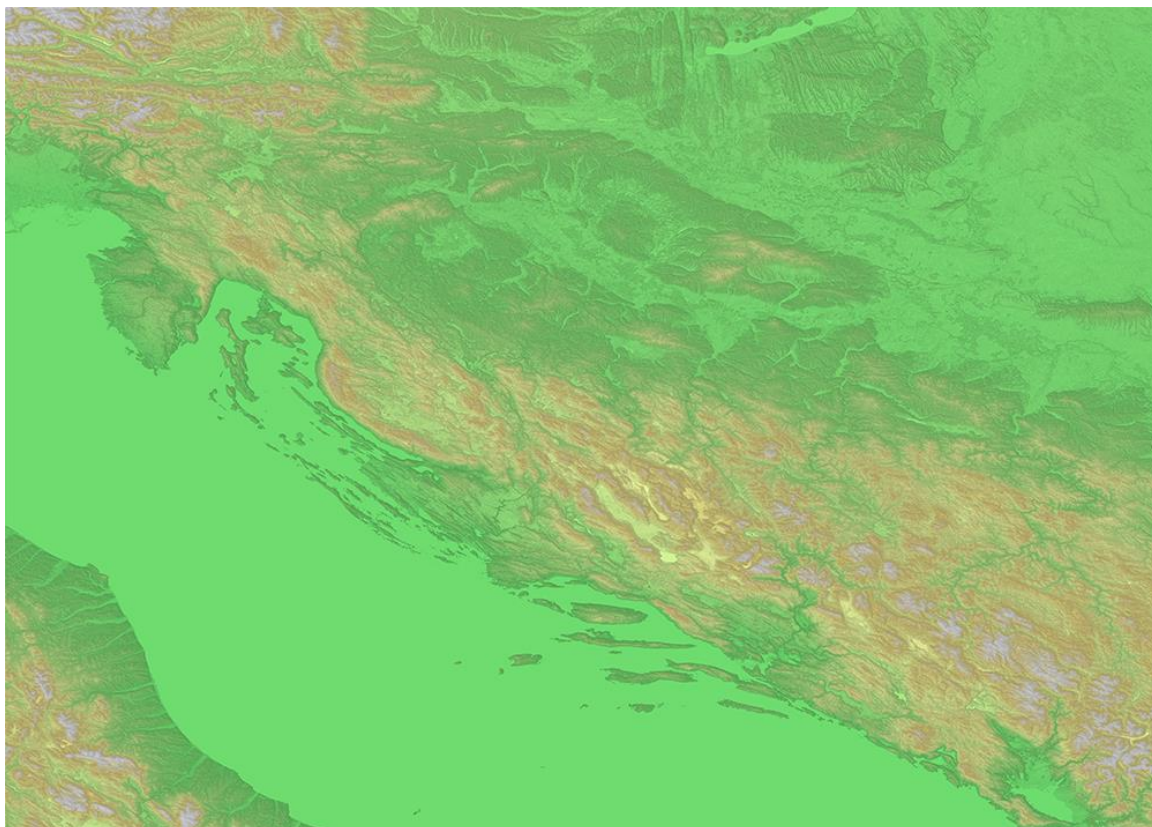
```

#!/usr/bin/env python
import mapnik
map = mapnik.Map(8400, 6000)
mapnik.load_map(map, 'croatia_terrain.xml')
map.zoom_all()
mapnik.render_to_file(map, 'croatia_terrain.png')

```

Navedena skripta kreira sljedeću sliku (slika 3.20):

`python jotunheimen_terrain.py`



Slika 3.20 Sjedinjen teren

3.3.4.4 Dodavanje vodene karte

Zadnje što nedostaje na izrađenoj reljefnoj karti su vode (more, rijeke, jezera). Preuzete podatke o vodenim površinama preuzete su s Corine Land Cover dataset od European Environment Agency (EEA) [22]. Preuzeta su četiri skupa podataka: mora, jezera, rijeke, obalne lagune.

Navedeni skupovi podataka pokrivaju cijelu Europu, no Mapnik može odrezati željeno područje.

U gornju konfiguracijsku XML datoteku dodajemo sljedeće stilove i slojeve:

```
<Style name="sea style">
  <Rule>
    <PolygonSymbolizer fill="rgb(183,218,255)"/>
  </Rule>
</Style>
<Style name="lake style">
  <Rule>
```

```

        <PolygonSymbolizer fill="rgb(138,184,255)"/>
    </Rule>
</Style>
<Style name="water courses style">
    <Rule>
        <PolygonSymbolizer fill="rgb(161,196,232)"/>
    </Rule>
</Style>
<Style name="coastal lagoons style">
    <Rule>
        <PolygonSymbolizer fill="rgb(161,196,232)"/>
    </Rule>
</Style>
<Layer name="lake" srs="+proj=laea +lat_0=52 +lon_0=10 +x_0=4321000
+y_0=3210000 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs">
    <StyleName>lake style</StyleName>
    <Datasource>
        <Parameter name="type">shape</Parameter>
        <Parameter name="file">landcover/clc00_c512.shp</Parameter>
    </Datasource>
</Layer>
<Layer name="sea" srs="+proj=laea +lat_0=52 +lon_0=10 +x_0=4321000
+y_0=3210000 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs">
    <StyleName>sea style</StyleName>
    <Datasource>
        <Parameter name="type">shape</Parameter>
        <Parameter name="file">landcover/clc00_c523.shp</Parameter>
    </Datasource>
</Layer>
<Layer name="water courses" srs="+proj=laea +lat_0=52 +lon_0=10
+x_0=4321000 +y_0=3210000 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs">
    <StyleName>water courses style</StyleName>
    <Datasource>
        <Parameter name="type">shape</Parameter>
        <Parameter name="file">landcover/clc00_c511.shp</Parameter>
    </Datasource>

```

```

</Layer>

<Layer name="coastal lagoons" srs="+proj=laea +lat_0=52 +lon_0=10
+x_0=4321000 +y_0=3210000 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs">
  <StyleName>coastal lagoons style</StyleName>
  <Datasource>
    <Parameter name="type">shape</Parameter>
    <Parameter name="file">landcover/clc00_c521.shp</Parameter>
  </Datasource>
</Layer>

```

Dodani su novi stilovi koristeći PolygonSymbolizer. Kako je projekcija drugačija od DEMa, potrebno je definirati projekciju sloja u srs atributu. U skripti definiramo okvir na koji želimo odrezati karte vode, pa je nova Python skriptica [21]:

```

#!/usr/bin/env python
import mapnik
map = mapnik.Map(8400, 6000)
mapnik.load_map(map, 'croatia_terrain2.xml')
bbox = mapnik.Box2d(mapnik.Coord(13,47), mapnik.Coord(20,42))
map.zoom_to_box(bbox)
mapnik.render_to_file(map, 'croatia_terrain3.png')

```

čime dobijemo potpunu reljefnu kartu koju onda koristimo kao teksturu (slika 3.21).

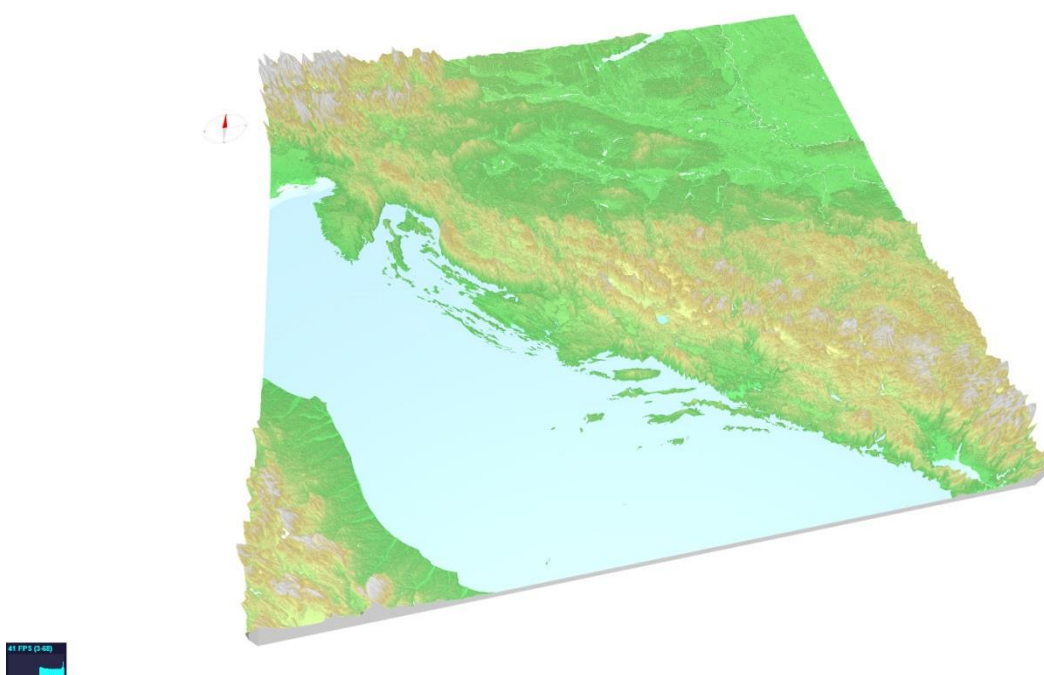
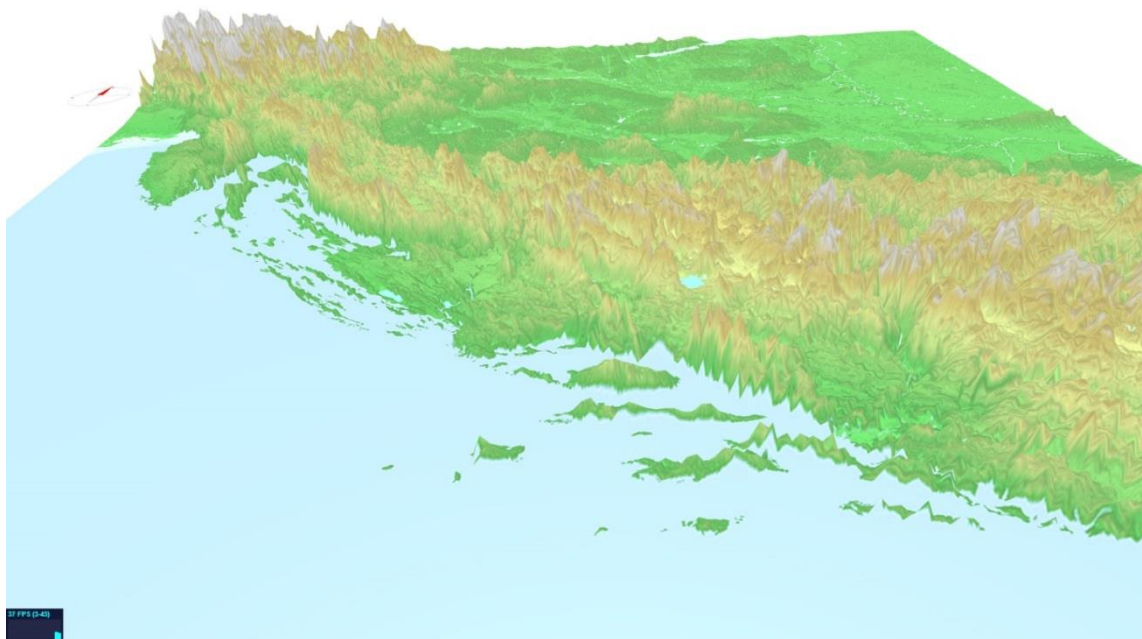


Slika 3.21 Terenska karta/tekstura

3.3.5 Dodavanje teksture

Dodavanje teksture s three.js je jednostavno. Koristi se `THREE.ImageUtils.loadTexture` za učitavanje teksture i dodavanje na mrežu.

```
var terrainMaterial = new THREE.MeshPhongMaterial({  
  color: 0xffffffff,  
  map: THREE.ImageUtils.loadTexture('img/croatia_terrain.jpg'), //  
  texture  
  side: THREE.DoubleSide  
});
```



Slika 3.22 Završni izgled karte u sceni

3.4 Odabir empirijskih podataka

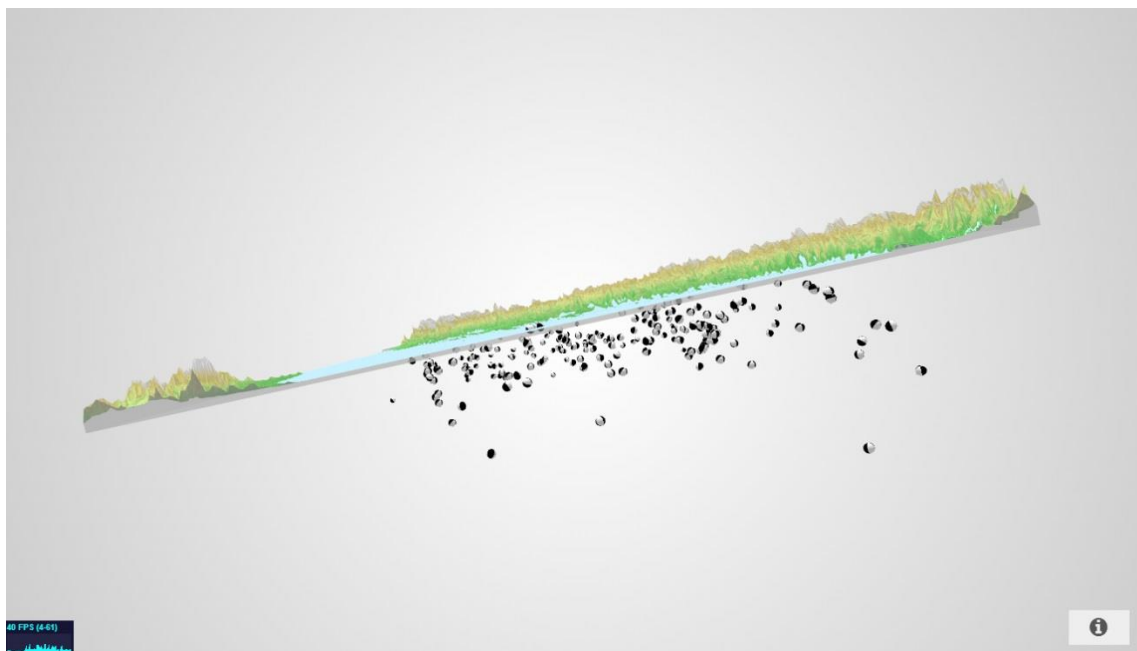
Datoteka s podacima o mehanizmu žarišta potresa (eng. *Fault Plane Solution*, FPS) organizirana je tako da su u prvih 13 stupaca upisani podaci iz Kataloga potresa Hrvatske i susjednih područja, na 14. mjestu je upisana pouzdanost rješenja (ocjena), a u stupcima 15. do 17. su upisani FPS parametri (smjer pružanja rasjeda - ϕ , kut nagiba rasjeda - δ , kut relativnog pomaka rasjednih ploha - λ). Tablica 2. prikazuje datoteku s FPS podacima [25,26].

Tablica 2. FPS podaci potresa: vrijeme nastanka, lokacija, dubina hipocentra, smjer pružanja rasjeda ϕ , kut nagiba rasjeda δ i kut relativnog pomaka λ (potpuni skup podataka dan je u dodatku) [26].

God.	Mj.	Dan	Sat	Min.	Sek.	Lat °N	Lon °E	H, km	M	I.	Kv.	ϕ	δ	λ
1909	10	8	9	59	11,9	45,565	16,011	14,1	5,8	8	3	295	46	52
1938	3	27	11	15	59,8	46,105	16,894	3	5,6	8	0	190	25	142
1956	8	15	12	2	56,1	43,21	15,95	14	5,75	-7	2	292	67	-25
1961	6	22	0	56	4	42,32	19,26	24	4,9	7	3	303	66	23
1962	1	7	10	3	12,9	43,22	16,855	12	5,9	8	2	266	59	8
1962	1	11	5	5	1	43,225	16,913	14,1	6,1	8,5	4	194	76	154
1962	1	21	2	51	32,4	43,106	16,954	16	5,15	-6	5	209	73	162
1962	4	17	10	3	46	42,15	17,07	21	5,15	-4	4	183	73	141
1962	6	11	7	15	38,4	43,563	18,349	15,8	6	8	3	252	61	-34
1963	5	19	10	0	4	46,19	14,72	14	4,8	7	0	294	70	131
1964	4	13	8	29	60,1	45,238	18,029	12,1	5,65	-8,5	0	262	62	17
1966	8	5	17	47	43	42,1	18,8	35	5	0	2	148	88	127
1969	10	26	15	36	47,5	44,874	17,276	9,7	6	7,5	3	254	43	51
1969	10	27	8	10	55,8	44,907	17,277	16,7	6,4	8,5	3	294	56	120
1969	10	27	8	53	38,7	44,891	17,115	6,4	4,75	-7	2	316	86	42
1969	12	31	13	18	28,9	44,829	17,286	7,4	5,1	-6,5	3	295	62	123
1970	8	25	1	40	11	43,35	18,41	13	5	7,5	2	307	86	42
1970	9	7	20	58	51,1	43,971	16,017	12,1	5,45	-8	2	330	61	-161
1970	10	20	20	19	24,6	44,764	17,195	14,2	4,5	5	1	146	72	44
1974	6	20	17	8	27,8	46,205	15,506	11,6	4,5	0	4	155	60	165

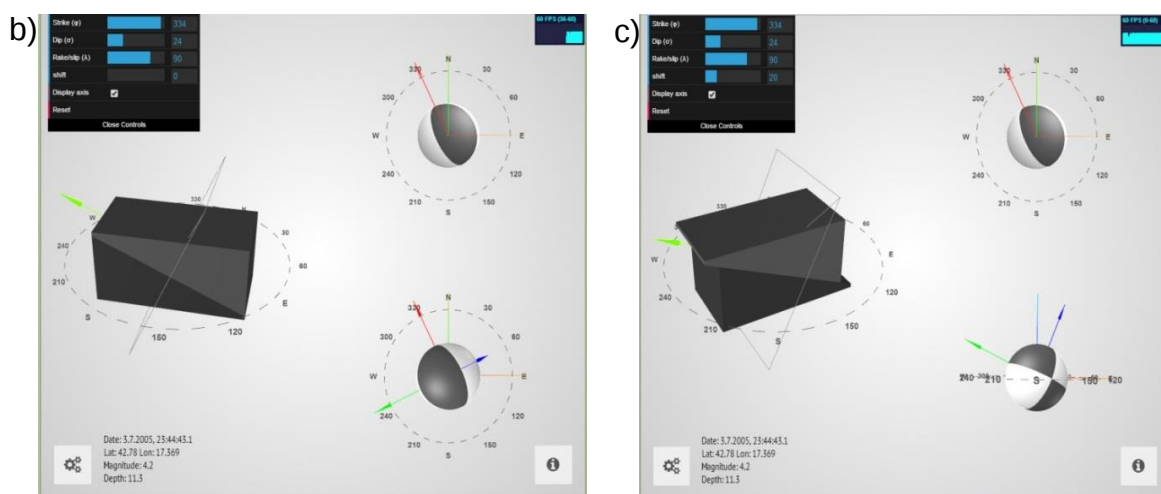
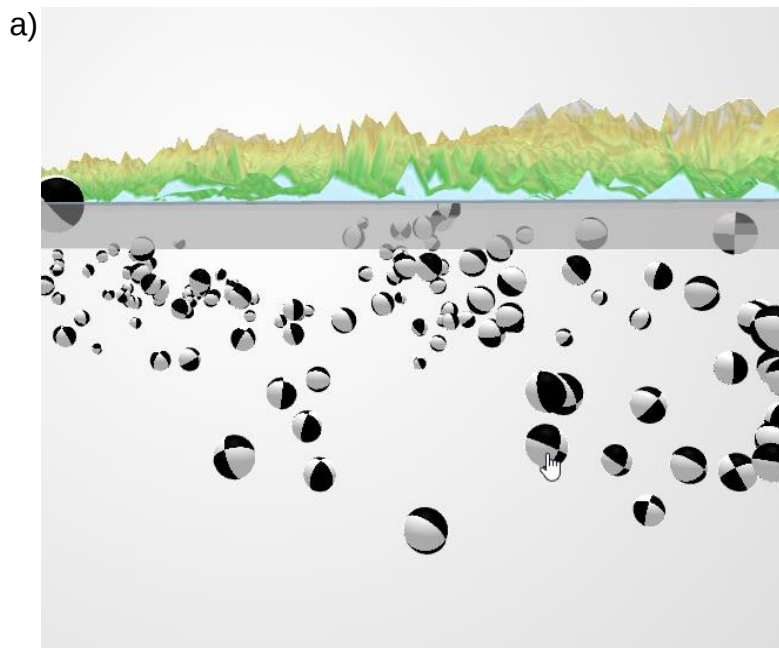
3.5 Prikaz mehanizma žarišta potresa na karti

Kako bi prikazali žarišne mehanizme na karti, bilo je potrebno preračunati geografsku širinu i dužinu u x i y koordinate na karti. Visinska mapa podijeljena na 200 x 200 piksela, jedna točka prekriva područje od 0.025° u smjeru S-J, odnosno 0.035° u smjeru I-Z, uzevši u obzir da je središnja točka (16.4995833, 44.5004167) odabranog područja u ishodište koordinatnog sustava scene, za svaku lokaciju su izračunate x i y koordinate. U scenu su na lokacije potresa postavljene odgovarajući *beach ballovi* (slika 3.23).

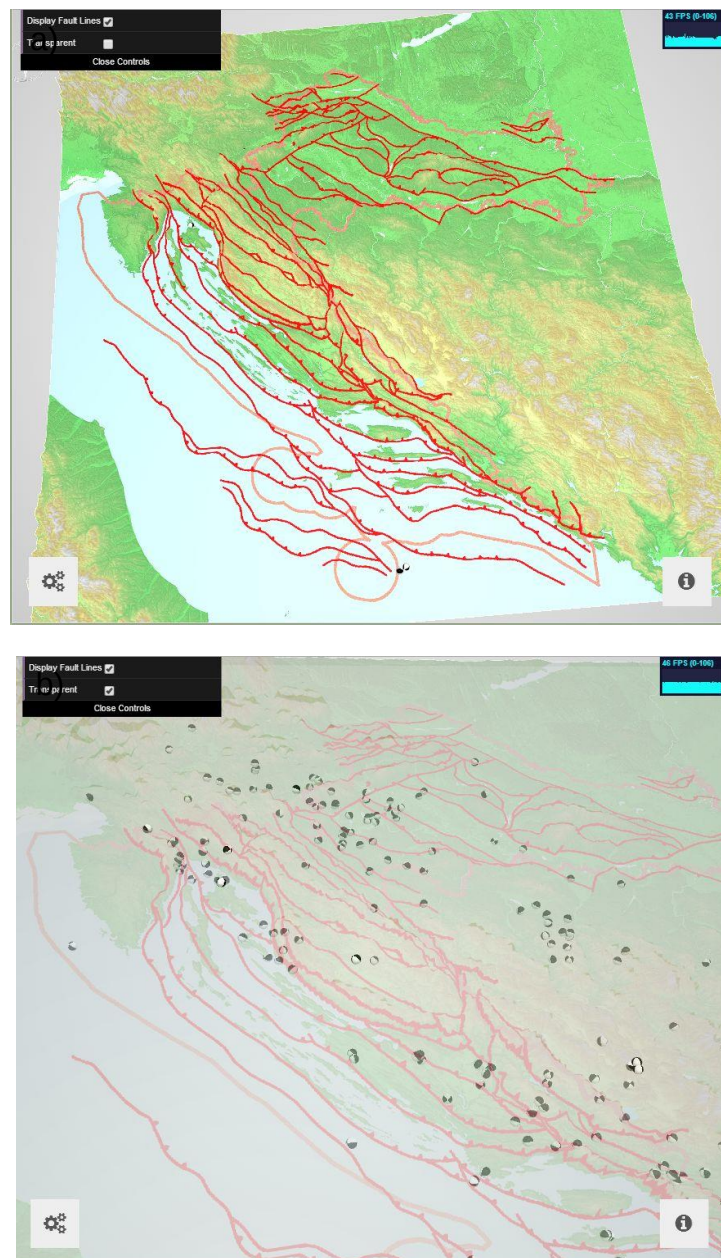


Slika 3.23 Prikaz mehanizma žarišta potresa na karti

Odabirom određenog potresa (slika 3.24a), otvara se prikaz rasjeda i žarišnog mehanizma (slika 3.24 b i c) i informacije o potresu. Slike 3.24b i 3.24c prikazuju žarišni mehanizam potresa koji se dogodio 23. ožujka 2005. godine u $23^h 44^m$, magnitude 4.2 ($\varphi=334^\circ$, $\sigma=24^\circ$ i $\lambda=90^\circ$), ali s izborom različitog kuta pogleda, čime se za svaki potres mogu lakše vizualizirati pomaci rasjednih ploha u prostoru. U ovom konkretnom slučaju radi se o reversnom rasjedu.



Slika 3.24 a) Odabirom određenog potresa prikazuje se (b) žarišni mehanizam potresa, za kojeg se može (c) izabrati različit kut pogleda, čime se za svaki potres mogu lakše vizualizirati pomaci rasjednih ploha u prostoru, što je još bolje ilustrirano pomicanjem kliznog izbornika za pomak (*shift*). Na slikama je prikazano rješenje mehanizma žarišta potresa za potres koji se dogodio 23. ožujka 2005. godine u 23^h 44^m, magnitude 4.2 ($\varphi=334^\circ$, $\sigma=24^\circ$ i $\lambda=90^\circ$).



Slika 3.25 a) Prikaz scene s Geološkom kartom rasjeda Hrvatske [27]; b) Scena s prozirnom kartom na kojoj su mehanizmi žarišta potresa vidljivi i u pogledu odozgo.

Implementacijom Geološke karte rasjeda Hrvatske [27] (slika 3.25a) omogućen je bolji uvid u geologiju prostorne raspodjele *beach ballova*, a mogućnost izbora scene s prozirnom teksturom karte Hrvatske (slika 3.25b) omogućuje još bolju vizualizaciju podataka.

4. Daljnja razmatranja

Postignuta je osnovna vizualizacija rasjeda i žarišnog mehanizma potresa. Kako bi se bolje mogla proučavati područja rasjeda, sljedeći korak je proširenje interakcije odabira potresa po vremenu, prostoru ili magnitudi. Tako treba omogućiti odabir potresa po određenim vremenskim periodima, te ih dodatno prikazati i preko crtanih epicentara potresa na karti (kružić koji prikazuje lokaciju potresa, promjera proporcionalnog s magnitudom potresa).

Bilo bi korisno omogućiti dodatnu interakciju s kartom, tako da se odabirom određenog područja ponovno prikaže samo taj dio karte u većoj rezoluciji s odgovarajućim žarišnim mehanizmima potresa.

U daljnjem radu preporuča se poboljšanje korisničkog sučelja dodatnim oznakama i vektorima koji opisuju temu koja se vizualizira.

Dodatno, uz vizualizaciju žarišnih sfera, potresi se još opisuju preko razdiobe intenziteta zračenja (eng. *radiation pattern*), tako bi još jedan od sljedećih koraka bio grafički prikaz karakteristika zračenja (trodimenzionalni i dvodimenzionalni) za daleko polje P i S valova.

5. Zaključak

Određivanje žarišnog mehanizma potresa je rezultat analize zapisa potresa s brojnih seizmoloških postaja koji nam daje geološki i seizmološki značajne informacije o fizikalnim procesima u trenutku nastanka potresa. Kompletana analiza žarišnog mehanizma potresa daje informacije o vremenu nastanka potresa, lokaciji epicentra potresa, žarišnoj dubini, seizmičkom momentu (direktna mjera energije potresa), magnitudi, te informaciju o pomacima rasjednih ploha u žarištu potresa.

Na osnovi prvih pomaka valova potresa zabilježenih na seizmogramu određuje se model žarišnog mehanizma potresa koji prikazuje dva moguća rješenja rasjednih ploha, glavne i pomoćne (tzv. sustav dvostrukog para sila, eng. *double couple*). Jedna od metoda rješavanja neodređenosti između dva moguća rješenja je terenska metoda očitavanja orijentacije već poznatih rasjeda kako bi dobili potrebne dodatne informacije o orijentaciji rasjeda na kojem se dogodio potres. S druge strane upravo rješenja žarišnog mehanizma potresa omogućuju nam uvid u geološku strukturu nekog područja.

Osnovni cilj ovog diplomskog rada bio je s jedne strane vizualizirati u 3D prostoru moguće mehanizme žarišta potresa koji se na seizmološkim kartama prikazuju 2D prikazom tzv. *beach ball*ova. Uzimajući u obzir sva relevantna svojstva rješenja pomaka rasjednih ploha u žarištu prikazani su 2D i 3D prikaz *beach ball*ova, ali i model kubnih kocki kojeg je općenito lakše vizualizirati. Takav prikaz omogućava lakše razumijevanje geometrije prostora, što može biti korisno kako studentima seizmologije tako i svima koji žele vizualizirati pomake rasjednih ploha prilikom nastanka određenog potresa.

U drugom dijelu rada pristupljeno je vizualizaciji rješenja mehanizama žarišta potresa u realnom prostoru. Baza podataka korištena za prikaz žarišnih mehanizama sastoji se od 236 potresa na području Hrvatske i

susjednih područja (Arhiv Geofizičkog odsjeka PMF-a, [26]), odnosno prikaz *beach ballova* na karti Hrvatske, uzimajući u obzir osim geografskih koordinata i dubinu žarišta potresa. Takav 3D prikaz omogućuje lakši vizualni uvid u prostor „ispod“ površine Zemlje i predstavlja jednostavan alat za interaktivnu vizualizaciju seizmičkih podataka, koji je osnova za daljnja poboljšanja predložena u prethodnom poglavlju.

Literatura

1. Herak, M. i Dasović, I. (2014): Odabrana poglavlja seizmologije, Skripta kolegija Odabrana poglavlja geofizike, Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
2. Mandić, I. (2010): Analiza žarišnih mehanizama značajnih potresa na području istočnog Jadrana, Diplomski rad, Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 69 str.
3. Okal, E.A. (2011) Earthquake focal mechanisms, In: Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, ed. by H. Gupta, Earth Sciences Series, Springer, pp. 194-199.
4. Havskov, J. i Ottemöller, L. (2010) Routine Data Processing in Earthquake Seismology, Springer Science+Business Media B.V., DOI 10.1007/978-90-481-8697-6_7.
5. Stein, S., Wysession, M. (2003) An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. Oxford, Blackwell Publishing.
6. Focal Mechanism - Incorporated Research Institutions for Seismology, http://www.iris.edu/hq/programs/education_and_outreach/animations/25, 25.5.2014.
7. Cabello, R. (Mr.doob), Three.js JavaScript library, 24.4.2014., <http://threejs.org/>, 26.4.2014.
8. Ammon, C.J., Penn State earthquake seismology group, Department of Geoscience, Pennsylvania State University, Faults and Faulting, 8.1.2001., <http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/faults.html>, 26.4.2014.
9. Sandvik, B., Thematic mapping blog, Converting terrain data to a WebGL-friendly format, 6.10.2013., <http://blog.thematicmapping.org/2013/10/terrain-building-with-threejs-part-1.html>, 28.4.2014.

10. Sandvik, B., Thematic mapping blog, Terrain building with three.js, 9.10.2013., <http://blog.thematicmapping.org/2013/10/terrain-building-with-threejs.html>, 28.4.2014.
11. Sandvik, B., Thematic mapping blog, Textural terrains with three.js, 14.10.2013., <http://blog.thematicmapping.org/2013/10/textural-terrains-with-threejs.html>, 28.4.2014.
12. Farr, T. G., i M. Kobrick (2000) Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. Eos Trans. AGU, 81:583-583.
13. Farr, T. G. et al. (2007) The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
14. Kobrick, M., 2006, On the toes of giants--How SRTM was born, Photogramm. Eng. Remote Sens., 72:206-210.
15. Rosen, P. A. et al., 2000, Synthetic aperture radar interferometry, Proc. IEEE, 88:333-382. <http://dx.doi.org/10.5069/G9445JDF>.
16. Topography material provided OpenTopography Facility with support from the National Science Foundation under NSF Award Numbers 1226353 & 1225810.
17. Geospatial Data Abstraction Library, Open Source Geospatial Foundation, 25.4.2014., <http://www.gdal.org/>, 6.5.2014.
18. Sandvik, B., Creating color relief and slope shading with gdaldem, 30.6.2012., <http://blog.thematicmapping.org/2012/06/creating-color-relief-and-slope-shading.html>, 28.4.2014.
19. Mapnik, open source mapping toolkit for desktop- and server-based map rendering, 3.6.2013, www.mapnik.org, 28.4.2014.
20. Proj.4 biblioteka kartografskih projekcija, <http://trac.osgeo.org/proj/>, 28.4.2014.
21. Sandvik, B., Land cover mapping with Mapnik, 2.7.2012., <http://blog.thematicmapping.org/2012/06/creating-color-relief-and-slope-shading.html>, 28.4.2014.

22. Corine Land Cover dataset, European Environment Agency,
22.8.2012., <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database-4>, 28.4.2014.
23. Ivančić, I., Herak, D., Markušić, S., Sović, I. i Herak, M. (2006):
Seismicity of Croatia in the Period 2002 – 2005, Geofizika, Vol. 23, 87
– 103.
24. Seismic Waves and Earth's Interior, 8.1.2001.,
http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/waves_and_interior.html, 1.6.2014.
25. Herak, M., Herak, D. i Markušić, S. (1995): Fault-plane solutions for
earthquakes (1956-1995) in Croatia and neighbouring regions,
Geofizika, 12, 43-56.
26. Mehanizmi žarišta potresa u Hrvatskoj i susjednim područjima (1909-
2013), Arhiv Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog
fakulteta u Zagrebu.
27. Prelogović, E., Tomljenović, B., Herak, M. i Herak, D. (2006): Geološka
karta rasjeda Hrvatske, prema Karti aktivnih rasjeda COST – 625,
neobjavljeno.

Sažetak

Naslov: Vizualizacija seizmičkih podataka

Programska implementacija vizualizacije žarišnih mehanizama potresa ostvarena je izradom interaktivnog 3D prikaza rasjeda uz njegov odgovarajući *beach ball* prikaz kao 3D sfere i 2D projekcije ekvatorijalne ravnine žarišne sfere čime se omogućilo interaktivno prikazivanje svih vrsta rasjeda. Izrađena je aplikacija koja nudi opciju direktnog unošenja smjera pružanja rasjeda ϕ , kuta nagiba rasjedne plohe δ i kuta relativnog pomaka λ . Dodatno je dana mogućnost demonstracije pomaka duž vektora pomaka. Također je implementirana 3D reljefna karta Republike Hrvatske s prikazanim žarišnim sferama odabranih potresa. Omogućen je odabir potresa i prikaz odgovarajućeg rasjeda i žarišne sfere u 2D i 3D. Sve scene su napravljene u WebGL jeziku pomoću Three.js (JavaScript) 3D knjižnice.

Ključne riječi: žarišni mehanizam potresa, interaktivna vizualizacija rasjeda

Abstract

Title: Seismic data visualization

Visualization of focal mechanism was achieved by creating interactive 3D faults with its corresponding beach ball displayed as a 3D sphere and 2D equatorial plane projection which makes it possible to visualize all types of faults and interact with the objects. The application offers the choice of direct input of earthquake data (strike (ϕ), dip (δ) and rake (λ)) as well as demonstrates movement along the slip vector. In addition, a 3D height map of Croatia was implemented showing focal spheres of selected earthquakes. A user can select and display the appropriate earthquake faults and focal sphere in 2D and 3D. All scenes are made in WebGL using Three.js language (JavaScript) 3D library.

Keywords: focal mechanism solution, interactive fault plane visualization

Dodatak

FPS podaci potresa: vrijeme nastanka, lokacija, dubina hipocentra, smjer pružanja rasjeda ϕ , kut nagiba rasjeda δ i kut relativnog pomaka λ [26]

God.	Mj.	Dan	Sat	Min.	Sek.	Lat °N	Lon °E	H, km	M	I.	Kv.	ϕ	δ	λ
1909	10	8	9	59	11,9	45,565	16,011	14,1	5,8	8	3	295	46	52
1938	3	27	11	15	59,8	46,105	16,894	3	5,6	8	0	190	25	142
1956	8	15	12	2	56,1	43,21	15,95	14	5,75	-7	2	292	67	-25
1961	6	22	0	56	4	42,32	19,26	24	4,9	7	3	303	66	23
1962	1	7	10	3	12,9	43,22	16,855	12	5,9	8	2	266	59	8
1962	1	11	5	5	1	43,225	16,913	14,1	6,1	8,5	4	194	76	154
1962	1	21	2	51	32,4	43,106	16,954	16	5,15	-6	5	209	73	162
1962	4	17	10	3	46	42,15	17,07	21	5,15	-4	4	183	73	141
1962	6	11	7	15	38,4	43,563	18,349	15,8	6	8	3	252	61	-34
1963	5	19	10	0	4	46,19	14,72	14	4,8	7	0	294	70	131
1964	4	13	8	29	60,1	45,238	18,029	12,1	5,65	-8,5	0	262	62	17
1966	8	5	17	47	43	42,1	18,8	35	5	0	2	148	88	127
1969	10	26	15	36	47,5	44,874	17,276	9,7	6	7,5	3	254	43	51
1969	10	27	8	10	55,8	44,907	17,277	16,7	6,4	8,5	3	294	56	120
1969	10	27	8	53	38,7	44,891	17,115	6,4	4,75	-7	2	316	86	42
1969	12	31	13	18	28,9	44,829	17,286	7,4	5,1	-6,5	3	295	62	123
1970	8	25	1	40	11	43,35	18,41	13	5	7,5	2	307	86	42
1970	9	7	20	58	51,1	43,971	16,017	12,1	5,45	-8	2	330	61	-161
1970	10	20	20	19	24,6	44,764	17,195	14,2	4,5	5	1	146	72	44
1974	6	20	17	8	27,8	46,205	15,506	11,6	4,5	0	4	155	60	165
1974	6	20	22	26	31,4	46,166	15,503	19,9	4,4	0	4	162	86	157
1974	10	29	1	5	12,3	44,63	18,503	12,6	5	-8	2	285	59	-161
1977	4	20	0	31	52	44,905	17,401	13,8	4,7	-6	3	284	77	52
1979	4	15	6	19	45,8	42,02	19,07	13	6,8	9,5	3	135	79	128
1979	4	15	14	43	5,7	42,21	18,68	4	5,8	0	0	249	2	11
1979	5	24	17	23	18,1	42,14	18,76	5	6,1	7,5	0	141	28	80
1981	8	13	2	58	11,4	44,811	17,321	12,4	5,3	-8	3	152	88	169
1982	3	16	13	52	23,7	46,163	16,21	18,5	4,5	-7	0	267	38	89
1984	3	11	11	55	32,3	45,869	15,445	14,2	4,2	-6	0	326	54	-128
1984	5	13	12	45	54,6	42,97	17,808	13,4	5,4	-7	0	311	16	112
1985	4	21	18	13	19,7	43,821	16,478	13,2	4,25	-5	4	294	69	69
1986	1	8	0	27	20,8	42,644	15,451	1,5	4,85	0	2	328	57	46
1986	11	25	13	59	40,3	44,063	16,308	8	5,5	-7,5	4	173	45	34
1986	11	27	12	10	32	44,049	16,315	14,6	4,4	-6	2	308	58	-156

1986	12	16	6	22	48,3	45,123	14,878	13,1	4,85	6,5	0	56	42	67
1986	12	24	16	48	3,5	44,037	16,285	7,4	4,7	-6,5	4	165	53	31
1988	4	26	0	53	45,7	42,341	16,641	0	5,3	-4,5	4	109	49	105
1988	4	26	19	17	58,1	42,364	16,707	0	4,7	0	2	245	64	-47
1988	12	16	11	35	50,3	44,708	15,033	6	4,5	-5	3	234	79	50
1989	12	6	5	33	12,4	43,661	16,965	9,1	4,8	-7	2	322	69	140
1990	6	3	11	39	11,4	44,622	17,602	3,4	4,65	-7	3	259	45	90
1990	9	3	10	48	32,2	45,911	15,913	13,6	5	-7	0	261	43	94
1990	11	27	4	37	57,7	43,833	16,635	7,9	5,6	-7	3	335	41	141
1991	4	27	18	44	54,4	46,516	15,12	26,2	3,7	6	0	123	74	91
1991	9	8	19	45	21,8	42,153	18,768	6,2	4,3	-6	4	333	7	118
1992	2	21	20	50	32,4	45,472	14,349	13	4,1	-5,5	5	268	57	27
1992	10	30	5	38	27,1	42,378	19,046	13,8	4,5	6,5	4	275	43	72
1993	4	6	23	24	48,4	43,011	17,83	12,6	4,05	-5	3	306	58	120
1993	5	29	8	43	11,1	45,549	15,289	13,8	4,6	-6,5	2	228	43	-4
1993	6	1	19	51	9,8	46,225	16,557	17,8	4,7	-7	0	93	38	71
1993	11	6	21	7	54,1	44,881	17,253	4,6	4,1	-7,5	3	161	55	121
1994	2	25	16	3	5,9	43,654	16,679	10,6	4,55	-6	3	300	59	-143
1995	5	22	12	50	30,9	45,64	14,246	18	4,6	-6	3	333	84	-167
1995	8	25	9	27	20,6	45,383	17,672	16,4	5	-7	0	287	49	71
1995	9	28	23	44	41,8	42,604	18,134	4,6	5	-6	3	292	68	-42
1996	3	26	22	55	1	44,313	15,424	15,7	4,3	0	3	318	72	128
1996	4	27	2	25	32,2	45,624	14,275	15,1	2,7	-4	2	341	82	-130
1996	9	5	20	44	9	42,755	17,898	10,5	6	-8	3	318	42	61
1996	9	6	3	31	52,3	42,745	17,818	13,1	4,7	0	1	92	53	-73
1996	9	7	5	45	33,5	42,811	17,826	7,8	4,5	0	3	306	49	58
1996	9	9	15	57	5,4	42,729	17,782	7,5	5	-7	2	279	45	-38
1996	9	10	5	9	26,8	45,416	16,271	11,6	4,5	-6	0	233	49	-8
1996	9	17	13	45	23,1	42,784	17,928	16,4	5,1	0	3	282	44	63
1996	10	20	15	0	2,9	42,755	17,868	10,1	4,6	-6	3	185	47	105
1997	1	27	0	46	18,1	45,191	16,21	12,6	4,3	-4	2	63	40	72
1997	2	5	17	6	31,7	45,185	14,577	0	3,4	-5	2	56	61	-41
1997	3	15	21	29	57,7	44,844	15,711	13,9	4	-5	3	314	88	130
1997	4	30	19	18	18,4	45,93	16,189	15,1	3,75	-6	0	251	52	13
1998	2	4	14	7	7,7	45,513	14,468	9,6	4	-4	2	12	34	-105
1998	2	4	14	25	42,5	45,533	14,454	6,3	3,3	0	1	307	61	-90
1998	2	5	17	2	26,6	45,609	14,053	1,5	2,8	0	2	331	75	-91
1998	2	8	17	1	1,6	45,53	14,475	2,7	2,5	0	2	301	84	-130
1998	2	26	12	9	19,7	44,727	17,772	15	4,6	-6,5	0	298	50	56
1998	3	1	7	22	43,1	43,319	17,618	16,5	4,45	-6,5	0	8	30	119
1998	3	13	15	14	56,8	45,649	14,237	16,3	4,3	-5,5	2	155	69	-150
1998	3	13	15	21	11,1	45,621	14,24	13,5	3,1	0	2	332	51	113
1998	3	13	23	7	28,2	43,068	18,197	1,2	4,35	0	3	248	63	8

1998	5	16	10	55	11,8	43,427	18,212	2,2	4,3	0	0	200	83	-155
1998	6	2	18	2	56,8	46,116	17,109	15,2	4,1	-6	0	86	45	-165
1998	8	31	2	32	4,3	45,949	14,81	13,8	4,3	-4	0	80	63	21
1999	1	13	5	39	37,8	45,418	14,642	0,7	2,7	-4	4	130	80	130
1999	1	18	22	41	23,5	45,509	14,479	13,1	2,7	-3	3	314	35	157
1999	7	24	22	10	35,5	43,544	16,075	5,2	3,25	0	3	247	41	103
1999	11	22	23	11	10	43,506	17,769	5,1	3,75	0	4	299	81	16
1999	12	13	11	14	11,5	44,081	16,234	6,5	3,25	0	2	218	51	71
1999	12	16	7	1	0,2	45,364	14,553	8,6	3,15	0	4	345	28	122
1999	12	18	1	12	50,9	42,836	17,692	1,5	3,4	0	3	197	88	-91
2000	6	16	2	34	58	45,924	15,955	14,1	3,7	-5,5	0	248	53	52
2000	10	8	15	44	52,5	43,55	16,063	11,6	3,8	-5	2	151	75	-52
2000	11	9	3	1	1,1	44,182	15,848	8	4,45	-6	0	275	39	93
2002	4	16	7	42	58,3	43,02	17,838	8,8	4,4	0	2	268	41	49
2002	6	2	13	37	18,7	45,664	14,209	9,1	4,6	0	0	255	89	-14
2002	10	23	11	1	26,8	42,687	17,167	14,4	4,75	0	0	311	50	108
2003	1	17	3	18	19	44,974	14,703	8,8	4,15	0	0	300	68	130
2003	2	4	11	51	14,6	43,17	16,002	11,6	4,55	0	2	4	41	168
2003	3	27	16	10	35,8	43,07	15,312	4,2	5,05	0	4	271	45	30
2003	3	29	17	42	13,6	43,093	15,325	3,8	5,85	0	4	123	53	112
2003	3	30	0	56	22,8	43,128	15,282	1,5	4,55	0	0	264	50	80
2003	3	30	11	9	59,5	43,083	15,297	7,5	4,7	0	0	98	43	83
2003	3	31	19	36	28	43,089	15,322	14,6	4,65	0	0	290	43	97
2003	4	3	22	30	10,5	43,114	15,289	13	3,85	0	0	256	67	78
2003	4	26	8	20	43,2	43,126	15,314	12,3	4,5	0	0	264	48	66
2003	4	29	15	13	6,3	43,113	15,309	8,6	5	0	0	322	63	107
2003	5	5	6	16	37,6	43,093	15,29	5,8	4,55	0	0	348	60	134
2003	5	10	6	42	49,1	43,905	16,978	2,9	4,75	0	0	233	88	15
2003	6	21	9	0	22,5	43,109	15,395	20,5	4,9	0	0	249	40	62
2003	8	2	10	18	39,8	43,128	17,74	5,2	4,9	0	3	302	40	74
2003	8	2	20	31	48	45,894	17,215	24,5	3,45	0	0	259	61	-28
2004	1	8	14	23	31,4	45,873	15,975	13,8	2,4	0	0	103	32	34
2004	4	24	0	38	56,4	43,021	17,767	14,4	3,7	0	3	237	39	130
2004	5	23	15	19	6,6	43,395	17,389	7,7	5,5	0	4	297	53	77
2004	9	14	18	9	25,1	45,297	14,607	5,1	4,5	0	0	325	61	121
2004	11	25	6	21	16	43,11	15,37	5,9	5,2	0	0	280	49	82
2004	12	3	8	13	13	43,091	15,39	6,4	4,7	0	0	279	32	91
2005	5	19	23	19	56,2	42,726	18,95	21	4,6	0	0	310	88	-81
2005	7	3	23	44	43,1	42,78	17,369	11,3	4,2	0	0	334	24	90
2005	9	14	10	43	25,1	43,048	17,863	11,8	3,1	0	3	242	87	-90
2005	9	27	0	25	34,3	43,146	18,144	20,9	5,1	0	0	273	65	52
2005	12	7	5	22	2,6	46,191	16,501	18,3	3,6	0	0	243	43	60
2006	1	8	15	22	34,4	45,491	16,152	13,1	3,28	3	4	336	38	155

2006	1	15	2	34	48,5	46,287	14,954	8,6	2,3	0	0	81	46	76
2006	1	15	2	41	50,9	46,285	14,965	10,2	3	0	0	86	50	84
2006	1	15	5	20	37,8	46,292	14,956	11,2	2,3	0	0	235	77	16
2006	1	23	21	29	4,4	45,776	15,721	12,9	3,65	0	0	47	88	5
2006	1	28	19	26	4,2	43,395	17,393	5,3	4,2	0	4	285	83	129
2006	2	8	11	42	43,1	42,708	16,856	11,6	3,5	0	2	249	38	143
2006	2	19	20	55	18,6	42,999	17,925	11,2	3	0	2	37	64	19
2006	4	10	8	35	21,6	46,207	15,441	14,2	2,6	0	0	224	87	9
2006	4	18	19	18	58,9	42,693	17,693	5,4	3,7	0	4	291	38	130
2006	4	23	16	21	36,9	46,071	13,557	10,1	3,3	0	0	105	57	40
2006	4	28	10	47	57,6	46,187	14,927	13,6	2,9	0	0	232	55	4
2006	6	17	20	1	11	43,327	17,992	9,2	3,4	0	3	85	79	39
2006	6	17	20	9	25,1	43,324	18,031	15,7	3,4	0	3	91	61	38
2006	7	19	2	34	5,9	45,695	15,629	14,6	3,2	0	0	30	73	18
2006	8	30	22	38	42,4	46,156	14,351	15,1	2,4	0	0	52	80	3
2006	10	4	17	34	20,2	42,399	15,933	13,6	4,58	0	5	274	79	178
2006	10	28	13	55	29,8	45,734	15,651	15	4,2	0	0	315	90	180
2006	12	8	17	34	20,5	46,111	14,776	11,1	2,95	0	0	71	46	76
2006	12	10	11	3	40	42,075	16,255	23	4,64	0	5	217	59	94
2007	1	1	14	59	44,5	46,527	14,214	12,2	4,2	0	0	26	28	43
2007	1	13	15	48	35,7	45,829	15,707	9,1	2,5	0	0	79	73	25
2007	2	3	10	49	12,8	43,323	17,691	19,7	4,4	0	3	304	48	-164
2007	2	5	8	30	4,5	45,07	14,95	13,4	4,9	0	3	303	77	171
2007	2	19	20	37	49	46,218	15,465	11,4	1,8	0	0	230	71	36
2007	4	11	9	57	1,6	46,262	14,639	13,6	2,1	0	0	62	48	48
2007	4	17	8	5	33,3	45,843	15,236	0,2	2,1	0	0	120	35	90
2007	4	19	11	18	35,5	46,196	15,518	11,9	2,8	0	0	304	53	116
2007	4	19	11	18	35,5	46,196	15,518	11,9	2,8	0	0	299	57	82
2007	5	2	12	49	12,4	46,532	14,431	5,6	3,8	0	0	90	45	83
2007	5	4	3	20	59,1	46,046	14,532	3,7	1,95	0	0	55	50	57
2007	7	18	10	54	11,2	43,736	15,242	2,7	4,9	0	4	21	31	-156
2007	8	10	14	59	29,6	42,93	15,989	2,9	3,4	0	2	295	80	-49
2007	8	13	13	58	28,6	45,154	13,413	18,3	4,15	0	2	315	66	-14
2007	8	15	10	43	28,1	44,943	17,117	6	3,32	0	2	246	49	87
2007	8	25	3	55	8,3	43,57	17,385	3,3	3,85	0	2	321	64	132
2007	9	26	19	47	7,2	45,894	15,596	7,5	2,95	0	0	248	29	58
2007	9	26	20	38	59,4	45,887	15,592	7,8	2,95	0	0	279	25	78
2007	9	28	6	59	22,9	43,17	15,224	6,7	4,1	0	2	310	70	143
2007	9	29	1	24	54,1	45,935	15,381	8,2	3,3	0	0	233	33	62
2007	10	18	15	41	21,2	43,269	17,85	10,2	4,4	0	0	95	82	-2
2007	11	9	3	29	53,9	44,097	16,372	9,9	3,53	-4	3	126	85	62
2007	12	18	3	26	36,6	45,659	15,409	9,9	3,2	0	0	71	79	33
2007	12	25	9	39	27,4	42,559	16,357	9,9	3,45	0	2	252	84	-49

2007	12	31	16	5	50,7	44,051	18,238	9,4	3,91	0	2	12	70	-84
2008	1	20	22	41	52,8	46,071	15,604	10,5	2,1	0	0	295	51	111
2008	2	4	18	37	30,9	42,757	18,002	6,6	2,95	0	3	176	50	131
2008	2	9	8	47	53,6	43,182	17,866	6,8	3,3	0	3	329	66	99
2008	2	16	5	20	7,2	43,407	17,302	4	2,9	0	2	322	48	115
2008	3	5	19	41	24,6	45,769	15,936	16,5	3,2	0	0	239	84	33
2008	3	31	0	14	34,9	42,654	17,94	10,1	4,1	0	3	354	50	109
2008	7	31	5	44	39,2	45,914	15,993	13,3	3,15	0	0	255	71	52
2008	11	8	12	30	17	46,156	15,958	14,8	2,15	0	0	205	87	44
2008	11	14	13	26	4,8	42,574	18,561	12,1	4,4	0	3	318	42	75
2008	11	27	3	52	28,1	43,239	17,546	1,9	3,55	0	2	296	67	87
2008	12	21	20	20	15,8	43,937	17,272	0,1	4,25	0	3	68	41	-8
2009	1	20	0	35	45,9	45,895	15,118	10,4	2,2	0	3	258	5	-21
2009	2	6	2	18	53	45,874	15,476	7	2,6	0	4	313	49	131
2009	3	10	4	2	58,9	45,631	14,269	12,1	2,6	0	4	308	40	80
2009	3	11	1	34	16,3	45,658	17,333	16,9	3,5	0	5	318	65	109
2009	3	25	20	49	33,4	43,425	17,196	4,4	3,6	0	5	117	70	52
2009	3	28	9	4	3,4	42,128	16,461	10,3	3,65	0	4	313	68	-15
2009	3	31	1	46	1,8	43,882	18,524	4,1	4,1	0	4	314	48	75
2009	4	21	1	25	23,8	44,206	15,903	13,1	3,5	0	3	203	71	1
2009	5	1	21	39	34,9	42,814	17,375	9	4	0	4	298	82	-15
2009	5	7	12	11	5,9	45,028	16,959	8,7	4,05	0	2	232	50	91
2009	5	13	22	58	37	45,172	15,782	12,1	3,6	0	4	320	59	60
2009	5	23	20	42	54,4	44,651	15,467	0,1	3,2	0	3	315	81	133
2009	6	12	0	5	43,7	43,466	17,353	9,1	3,45	0	3	328	76	93
2009	6	21	10	54	37,1	44,261	15,419	13,9	4,1	0	4	355	82	148
2009	6	21	11	20	2,8	43,466	17,326	6,8	4,75	0	4	302	67	133
2010	1	1	17	12	48,6	45,93	16,086	11,1	3,2	0	3	100	51	-18
2010	1	12	15	37	30,2	44,836	14,872	8,6	3,2	0	2	332	26	-177
2010	1	15	14	20	54,2	45,792	14,22	14,1	4,05	0	5	179	72	-128
2010	1	16	5	52	27,6	42,626	18,974	17,8	4,2	0	4	211	42	-145
2010	1	21	17	9	11,6	45,737	15,644	10,2	3,1	0	5	353	35	161
2010	2	6	17	53	50,4	43,933	17,25	1,4	3,85	0	3	175	44	-41
2010	3	21	22	16	23	45,915	16,156	12,3	2	0	4	135	56	-113
2010	5	7	2	19	18,6	43,074	18,186	5,3	3,65	0	3	346	48	-114
2010	5	27	5	31	37,1	43,011	18,71	4,4	3,5	0	5	299	44	63
2010	6	4	18	44	52,4	42,245	16,565	10,8	4,2	0	4	62	33	47
2010	6	20	23	13	51,2	43,844	17,069	8,4	4,5	0	3	320	65	163
2010	7	14	4	29	25,7	43,048	17,611	11,1	3,75	0	3	315	57	54
2010	11	3	15	8	9	45,702	15,795	14,4	3,3	0	5	253	49	77
2010	12	30	8	23	59,4	45,896	15,908	14,2	2,9	0	5	53	62	1
2011	2	8	16	29	44,6	43,905	17,271	0,5	4,15	0	4	68	47	-24
2011	3	21	0	4	12,3	44,84	17,093	8,6	3,6	0	1	46	41	-11

2011	4	20	6	45	57,3	42,994	15,598	4,7	3,5	0	3	255	61	44
2011	4	20	14	4	35,4	42,971	15,619	4,6	3,65	0	3	252	58	55
2011	4	28	23	30	42,9	44,741	17,321	13,4	4,7	0	5	70	83	14
2011	5	6	23	44	52	45,008	15,022	17,1	3,9	0	4	142	79	-155
2011	6	17	5	31	4,5	43,802	16,517	6,4	3,95	0	4	107	84	69
2011	8	15	5	22	36	45,685	16,47	17,4	2,6	0	5	82	48	22
2011	8	15	13	8	34,5	43,044	17,685	14,3	4,05	0	3	325	39	95
2011	8	18	1	17	23,3	45,012	17,055	5,9	3,7	0	4	94	61	66
2011	8	20	9	7	46,4	43,395	17,546	4,5	4,2	0	5	121	79	42
2011	10	12	20	20	54,6	46,022	16,258	15,2	2,6	0	4	127	77	-143
2011	12	14	19	47	13,9	42,908	17,899	12,4	4	0	5	134	52	33
2012	2	20	14	14	14,5	43,009	15,728	8	3,1	0	3	263	40	8
2012	4	21	21	48	45,2	42,93	17,816	8,8	3,8	0	4	111	63	89
2012	5	5	22	14	19,9	43,864	16,611	7,7	3,55	0	4	323	49	67
2012	5	18	20	38	53	44,913	15,115	7,4	3,6	0	4	223	71	1
2012	7	27	23	12	21,9	44,221	17,925	10,9	4,95	0	4	149	64	167
2012	8	3	19	57	24,2	43,989	16,776	11,7	4,6	0	5	359	73	177
2012	8	3	22	30	52,1	44,017	16,772	9,6	3,65	0	5	354	89	175
2012	9	8	20	31	6,4	45,689	15,624	10,2	3,2	0	5	69	68	53
2012	9	24	2	32	11,3	44,138	15,791	4,6	3,4	0	4	338	56	113
2012	10	8	12	18	45	44,091	17,123	2,4	4,16	0	4	168	47	-115
2013	2	4	4	29	45,4	43,647	16,389	3,5	4,25	0	5	101	28	99
2013	3	9	6	58	8	42,831	17,405	9,2	3,31	0	5	107	29	49
2013	5	20	9	24	0,7	43,706	17,137	5	3,8	0	3	52	51	69
2013	5	29	13	31	21,5	45,399	15,787	9,8	3,3	0	4	34	42	54
2013	6	6	23	30	15,4	43,845	17,193	2	3,06	0	5	318	77	180
2013	7	13	18	47	16,6	44,933	14,976	16,6	3,65	0	5	311	45	145
2013	7	30	12	58	30,4	45,071	15,039	13,5	4,4	0	5	118	69	146
2013	8	25	22	39	41,3	45,886	15,858	6	2,8	0	2	64	65	-64
2013	11	18	7	58	41	43,671	16,89	13,8	4,71	0	5	90	41	84

Privitak

Programska potpora s uputama za korištenje nalazi se na CD-u priloženom uz rad.