

3-D model Plitvičkih jezera

pišu: *Almin Đapo, dipl.ing.geod.*

Damir Buljan, dipl. ing. geod.

1. Osnovne značajke Nacionalnog parka Plitvička Jezera

U Lici, središnjem dijelu Republike Hrvatske, unutar planinskog makroprostora Dinarida, nastala su Plitvička Jezera. Radi se o specifičnom hidrogeološkom sustavu od 16 jezera, koje čine vode rijeke Korane i njenih pritoka Bijele Rijeke, Crne Rijeke i Riječice. Ona se kaskadno nižu i povezuju prirodnim stepenicama, stvarajući prekrasne vodopade različitih visina i veličina. Nanizana u duljini od desetak kilometara, Plitvička jezera se probijaju između planinskih masiva Ličke Plješevice s jugoistoka i Male Kapele sa sjeverozapada. Cijelo zaštićeno područje ovog Nacionalnog parka zaprema oko 295 km² ili točnije 29482 ha površine, od čega na šume otpada 22000 ha, jezera 217 ha, te na travnjake 7203 ha. Osnovna vodena masa Plitvica nastaje od spomenutih dviju riječica - Crne i Bijele rijeke - koje se slijevaju u zajedničku, oko jedan kilometar dugačku maticu. Dodatne vode stižu od potoka Ljeskovca, utječući u veliko Prošćansko jezero koje se nalazi na nadmorskoj visini od 636.6 m. Odatle se prema sjeveru nižu ostala jezera, s prekrasnim slapovima, brzacima, cijevima, pregradama, zastorima i žljebovima, spuštajući se postupno preko stotinu metara jedno ispod drugoga. Kod Sastavaka se ruši i najveći, 75 metara visok slap Plitvice. U kanjonskoj dolini ispod slapova je izvor rijeke Korane, koja se kamenim klisurama probija na sjever.

Osnovna geološka podloga cijelog područja Plitvičkih jezera sastoji se od kamenih naslaga vapnenca i dolomita, nastalih taloženjem u moru, u doba gornje krede, prije nekih 80 do 100 milijuna godina. Gornja jezerska područja leže pretežno na nepropusnim dolomitnim slojevima, a Donja jezera protječu kroz propusne i u vodi lako topive rudistne vapnenice. Tektonski poremećaji, uz eroziono djelovanje voda, naročito u ledeno doba uzrokovali su postanak Plitvičkih jezera i njihov oblik, pa se taj živi, dinamički proces zbiva neprimjetno i danas. Upravo specifične hidrološke osobine dolomitskih stijena, stvorile su mogućnost stvaranja jezera, ali i kanjonsko

urezivanje u vapnenačke stijene. S duge strane kemijski sastav vode, uvjetovan litologijom stijena kojima protječe, te vlažna klima i prisutni mikroorganizmi u vodi, omogućuju temeljni fenomen Plitvičkih jezera, - stvaranje sedre.

Naime, voda Plitvičkih jezera bogata je mineralnim tvarima, koje se talože na dnu jezera te na raznim predmetima koji se nalaze u vodi. U vodi otopljeni vapnenac prerađuju i nataložuju neke biljke, naročito alge i mahovine iz roda *Crateroneuron* i *Bryum*, a nastalu tvorevinu nazivamo sedra, koja je u biti tvrdi, šupljikavi i lomljivi vapnenac, prepun ostataka sitnih algi i okamenjenih vodenih mahovina.

Tako nastaju mnogoliki podvodni pragovi i barijere, koje se s vremenom izdižu iznad vode, stalno rastući u visinu i širinu. Dakle spomenuti fenomen stvaranja sedre i sedrenih barijera je omogućio stvaranje današnjeg oblika Plitvičkih jezera. Važno je ponovno naglasiti da se radilo o dinamičkom procesu, naime barijere stalno rastu, neke su i nestale ili su se smanjile, a i vodno lice jezera se neprekidno mijenja, što također čini ovaj hidrogeološki sustav jedinstvenim. Razni poremećaji, a osobito erozione vodene sile, uvjetovali su cijeli niz neobičnih krških pojava od kojih su mnoge vezane za stvaranje i formiranje spilja, polupećina i ponora. Na ovom području postoji 36 ponora i pećina, od kojih su neke prave spilje, nastale tektonskim pomicanjem kamenih slojeva, dok su druge, naročito polupećine, zasvođene ispod vodenih slapova, nastale djelatnošću sedrotvornih algi i mahovina.

2. Izvođenje najnovijih geodetskih mjerenja na području Nacionalnog parka Plitvička jezera

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, obavio je hidrografska mjerenja na području Nacionalnog parka Plitvička jezera i to na jezeru Kozjak, čime je i pokrenut izvedbeni dio projekta "Dinamički trodimenzionalni geodetski model Plitvičkih jezera, sedrenih barijera i

pritoka”.

Hidrografska mjerenja izvedena su kombinacijom satelitskih metoda pozicioniranja s batimetrijskim mjerenjima. Satelitska

GPS mjerenja izvedena su GPS prijamnicima marke TRIMBLE 4400 SSI. Dva GPS prijavnika bila su povezana radio vezom koja je omogućila izvođenje mjerenja RTK (Real Time Kinematics), kinematičkom metodom pozicioniranja u realnom vremenu. Mjerenje dubina izvedeno je ehosounderom ATLAS DESO 11. Naime, na čamac koji je za potrebe predmetnih istraživanja osigurala Uprava Nacionalnog parka montiran je navedeni ehosounder i GPS prijamnik koji je bio povezan sa istim, te RTK modul koji je omogućio vezu GPS prijavnika na brodu sa drugim prijemnikom na referentnoj GPS točki u realnom vremenu. Za referentnu GPS točku uzeta je GPS/NVT EUREF (EUVN) točka PLITVICE koja se nalazi u središnjem dijelu Nacionalnog parka.

Ehosounder i GPS prijamnik na brodu su bili povezani sa PC-laptop računalom te je na taj način bilo moguće pregledavanje i kontroliranje podataka mjerenja u realnom vremenu. Slika 1. prikazuje princip obavljenih mjerenja na jezeru Kozjak. Čamac sa sustavom ehosounder i GPS-RTK plovi po “trackovima” - preplaniranim linijama

snimanja i na “fixevima” - horizontalnoj poziciji dobivenoj GPS-RTK metodom, dodjeljuju se dubine dobivene mjerenjem ehosounderom za dobivenu točku (fix).

Ofset ili pomak koji postoji između faznog centra antene i transducera određen je prije mjerenja pri samoj uspostavi sustava, te je apriori definiran u softveru koji koristi ovaj sustav, te su sva mjerenja u realnom vremenu reducirana za tu veličinu. Laganom vožnjom po jezeru Kozjak po već prije planiranim putanjama sakupljen je veliki broj kvalitetnih i visokotočnih podataka položaj/dubina na osnovu kojih je napravljen 3D model jezera Kozjak i sedrene barijere u tom jezeru.

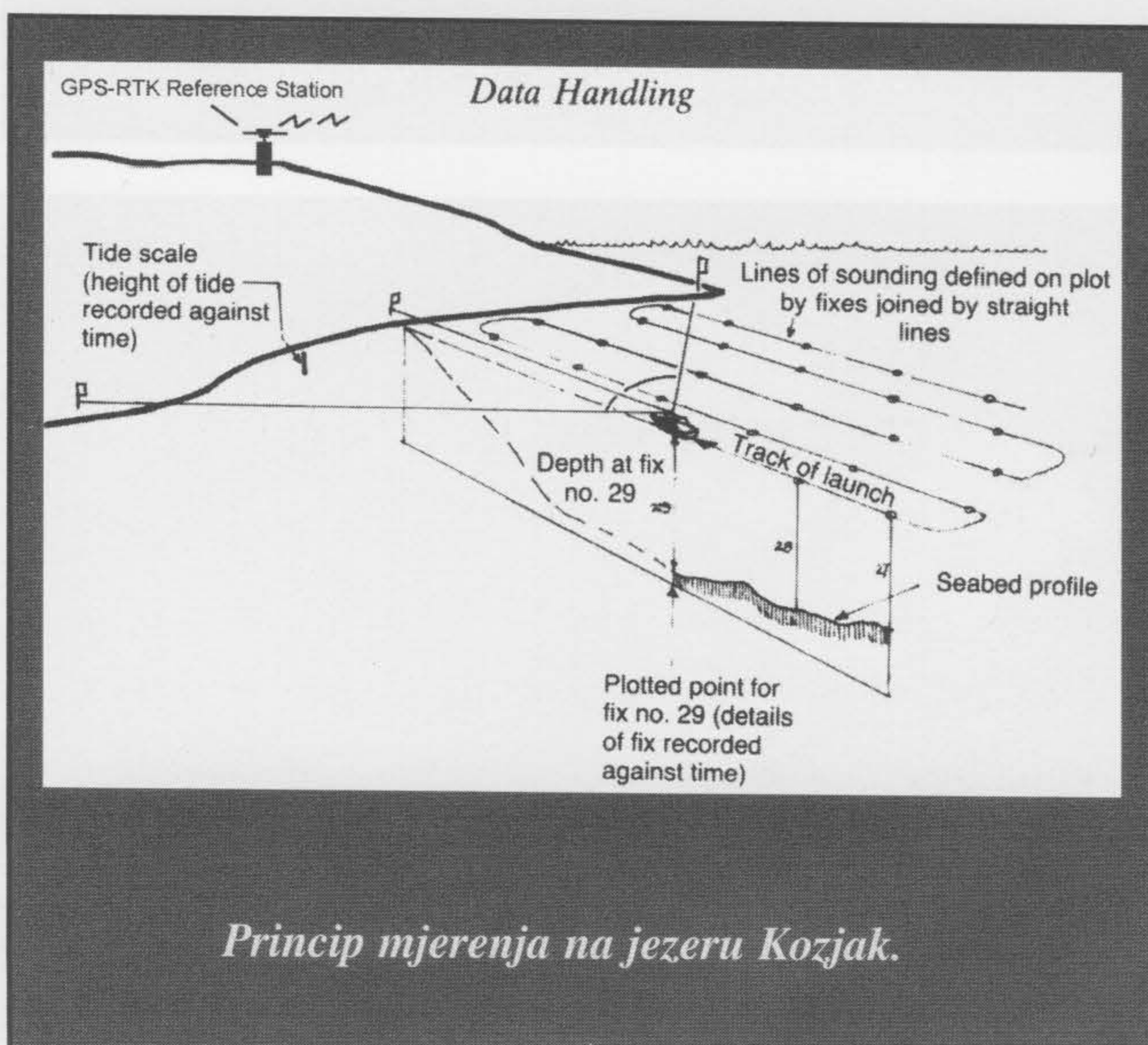
3. Izrada 3D geodetskog modela jezera Kozjak

3.1 Dobivanje položajnih koordinata na jezeru Kozjak i njima pridruženih dubina

Kombinacijom mjerenja GPS-RTK i ehosoundera dobiveno je oko 6000 točaka na jezeru s poznatom dubinom i položajnim koordinatama. Zahvaljujući geodetskoj mreži koja je razvijena prije na području Plitvica određeni su parametri transformacije te su GPS koordinate u WGS84 sustavu transformirane u Gauss Krügerove koordinate kako bi se spojile sa koordinatama okolnog terena dobivenih digitalizacijom. Dakle, nakon transformacije WGS koordinata dobiveno je oko 6000 koordinata u GK sustavu.

3.2 Digitalizacija

Kako bi se dobili podaci (koordinate) potrebni za izradu digitalnog modela terena digitalizirana je karta TK PLITVICE 22, mjerila 1:5000, ekvidistancije slojnica 5 m. Karta je skenirana i unešena u programski paket AutoCAD Map R2. U AutoCAD-u je izvedena ručna digitalizacija (vektORIZACIJA). Nakon što je karta digitalizirana, napravljen je program u BASIC-u koji iz datoteke formata *dxf* (data exchange format) u kojoj se nalaze digitalizirani podaci sa karte, izdvaja X,Y,Z prostorne koordinate u posebnu



Princip mjerenja na jezeru Kozjak.

datoteku. Na taj način je dobiveno oko 34000 koordinata. Dakle, dobiveno je sve skupa za cijelo područje, jezero i okolno područje oko jezera, oko 40000 koordinata.

3.3 Interpolacija prostornih podataka i tvorba 3D geodetskog modela jezera Kozjak

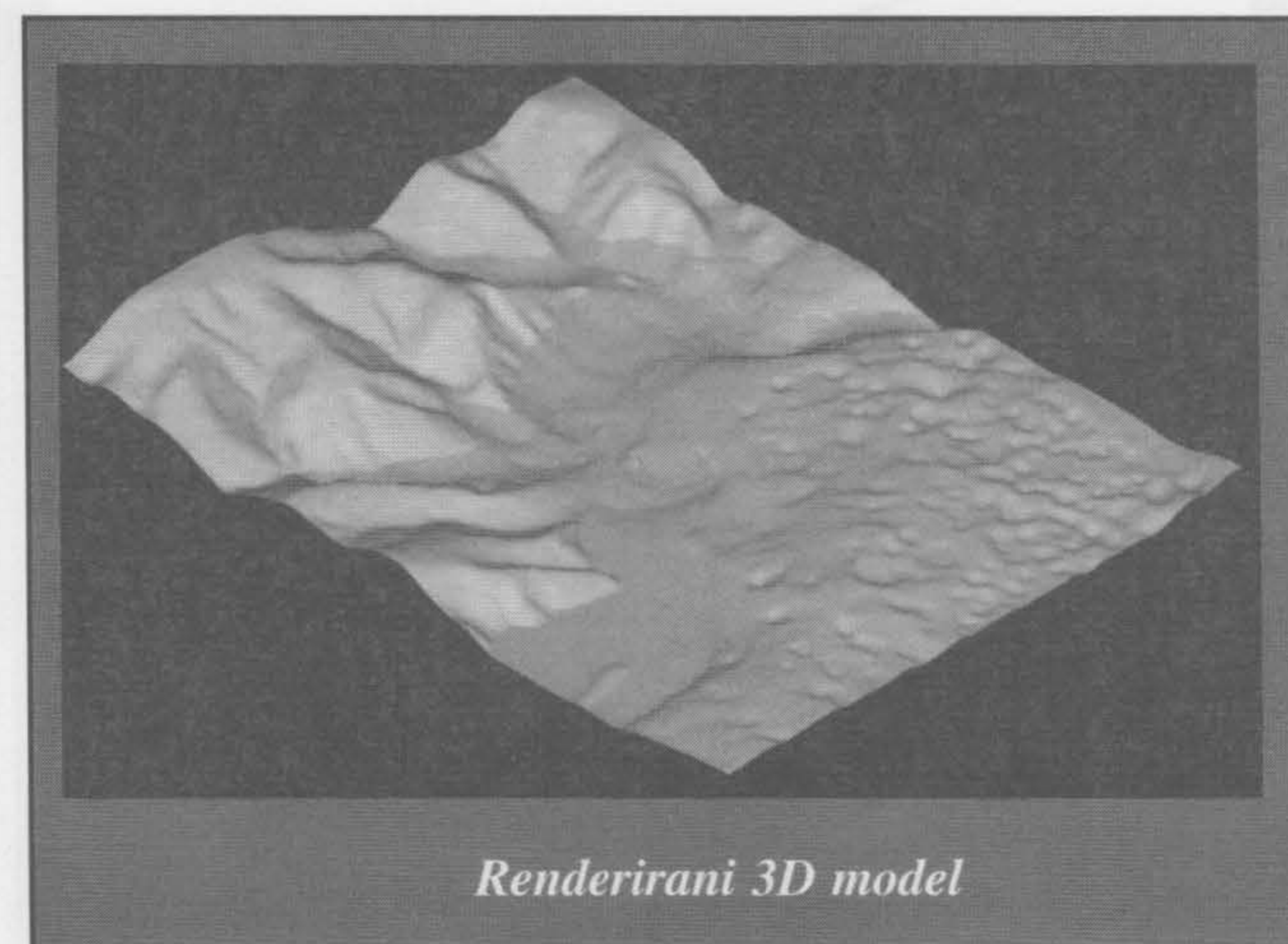
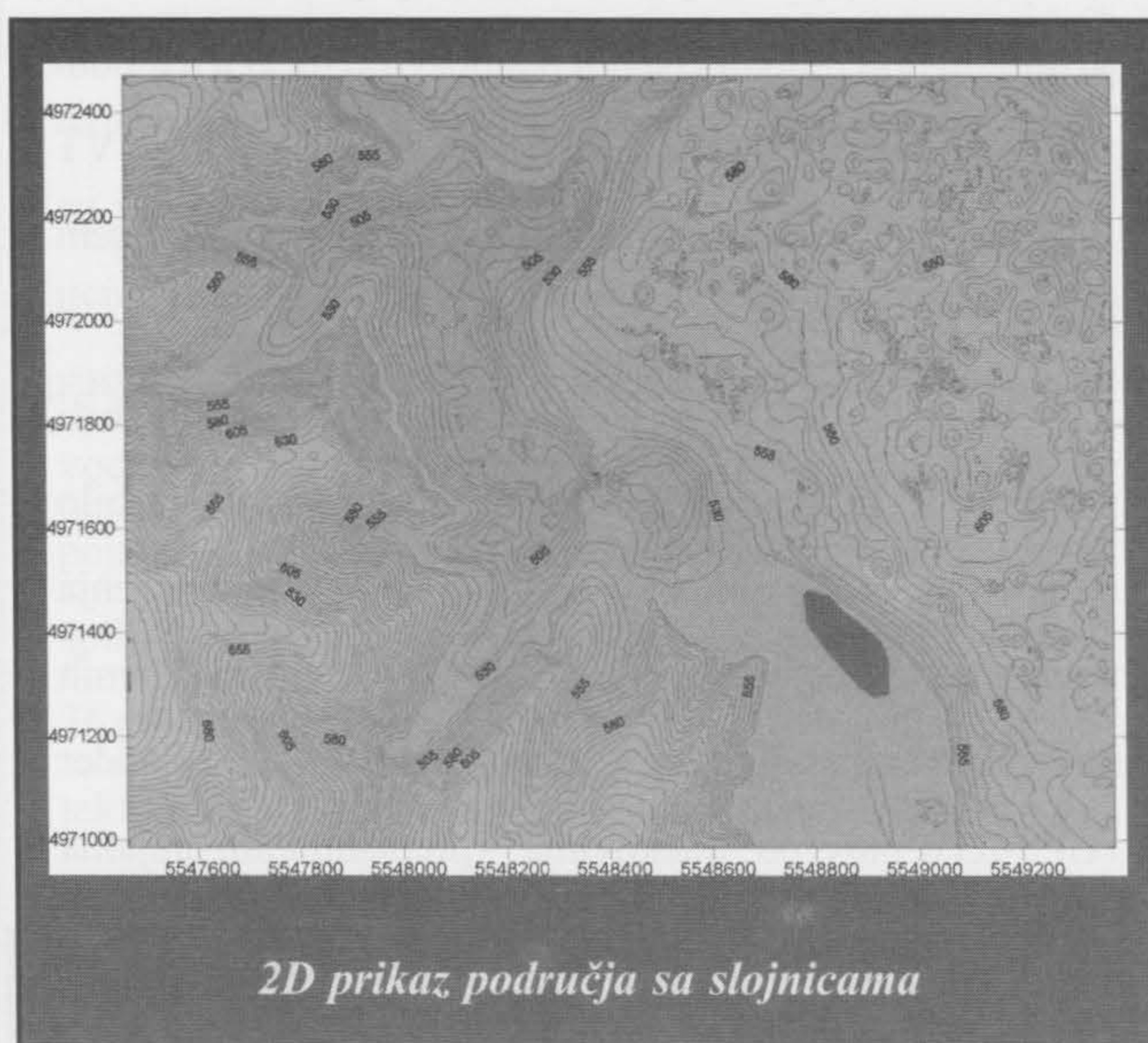
Koordinate dobivene pomoću navedenog programa, pohranjene su u posebnu tekstualnu datoteku i služile su kao ulazni podaci za računanje prostorne mreže (grid) tj. za postupak interpolacije, kojom se dobija gušća, pravilna prostorna mreža koordinata od kojih se tvori 3D model. Interpolacija je obavljena *kriging* metodom u programskom paketu Surfer 7. Kriging je geostatistička metoda interpolacije koja se pokazala vrlo korisnom i vrlo popularnom u raznim granama znanstvenih istraživanja. Ova metoda omogućuje dobivanje vizualno dopadljive karte iz nepravilno raspoređenih ulaznih podataka (koordinata). Kriging kao metoda interpolacije zadržava trendove koji su izraženi u ulaznim podacima tj. zadržava i ne mijenja njihove vrijednosti kod postupka interpolacije već ih uzima kao fiksne. Time upravo predstavlja idealan izbor za interpolaciju ulaznih podataka koji su korišteni za tvorbu ovog 3D geodetskog modela jezera Kozjak. Za dobivanje rezolucije interpolacije od 1m potrebno je bilo postaviti prostornu mrežu od 1900x1500 točaka što čini oko 1350000 interpolacijom dobivenih točaka s pripadnim X, Y, Z prostornim koordinatama koje tvore ovaj 3D geodetski model.

Nakon postupka interpolacije u programskom paketu Surfer 7, iz navedenih prostornih koordinata visoke rezolucije, iscratan je 3D geodetski model jezera Kozjak, dobivanje kojeg je i krajnji rezultat ovoga rada. Također je iscrtan i 2D prikaz jezera i okolnog područja sa slojnicama koje su na jednome od prikaza preklopljene sa 3D modelom. Iz navedenog 3D modela također je izdvojeno područje

u kojem se nalazi sedrena barijera jezera Kozjak te je napravljen uvećani i detaljniji prikaz te sedene barijere.

3.4 Renderirani 3D geodetski model jezera Kozjak

Metodom interpolacije dobivena mreža prostornih koordinata korištena je pri izradi datoteke *scr* formata (script), kao bi bilo moguće dobiti 3D model i u programskom paketu AutoCAD MapR2 koji podržava ovaj format. Naime navedeni format datoteke (*scr*) sadrži oblik zapisa koji uz koordinate sadrži i pridodjeljene naredbe koje se izvode u samom AutoCAD-u, konkretno ovdje su to bile naredbe za iscrtavanje 3D mreže linija. U navedenom programu bilo je moguće i renderirati 3D geodetski model jezera Kozjak te ostvariti njegov prirodni i realističniji





Isječak iz video animacije leta kroz generirani krajolik jezera iznad i ispod vodene površine

prikaz. AutoCAD dwg format zapisa navedenih prostornih podataka koristio se i u programima 3D StudioMax i Artlantis koji su poslužili za izradu video animacije 3D modela, odnosno virtualnog leta kroz taj 3D model, te također VRML modela za internet prezentaciju.

3.5 Multimedijalni karakter ovog studentskog rada - VRML model i dostupnost na internetu

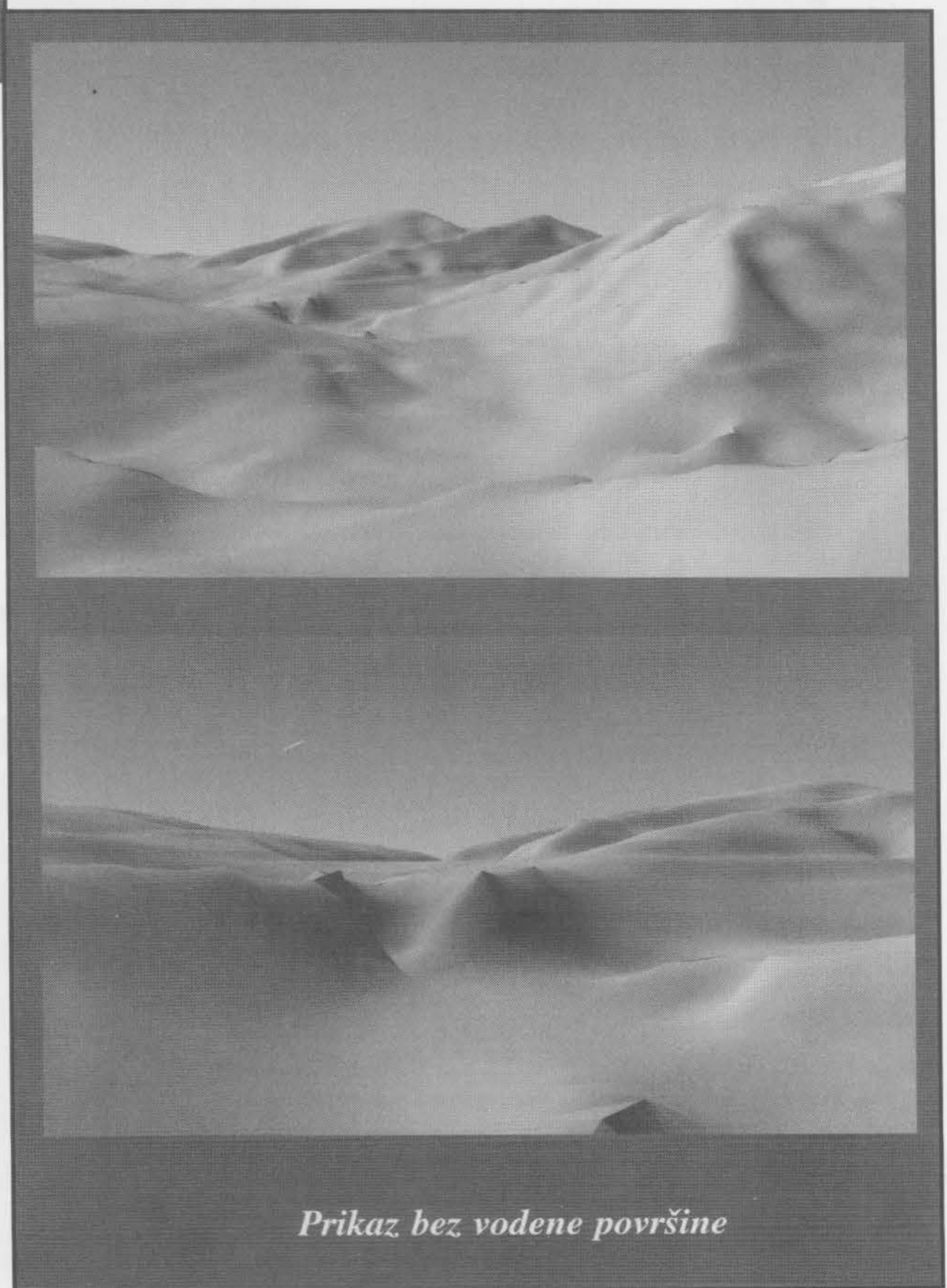
VRML (Virtual Reality Modeling Language) je računalni format zapisa datoteke ili jezik koji je neovisan o računalnoj platformi na kojoj se izvodi, a služi za opisivanje,

vizualizaciju i međusobno povezivanje virtualnih (umjetno stvorenih) 3D svjetova najrazličitijih tematskih sadržaja putem Interneta. VRML svjetovi mogu biti interaktivni, animirani i sadržavati hiperveze na ostale WWW dokumente.

Standard tj. specifikacija koja opisuje implementaciju VRML zapisa i njegovu strukturu prihvaćena je 1995. godine na godišnjoj World Wide Web konferenciji u Ženevi.

Osnovna ideja pri donošenju ovog standarda bila je izgraditi oblik sustava koji će omogućiti 3D grafičku vizualizaciju i prikaz 3D scena te popratne programske alate koji će ih moći generirati i prikazivati, a sve putem interneta i WWW hipertekstualnih veza na internetu. VRML u biti predstavlja analogiju HTML jeziku opisa internet stranice, koji je više tekstualno orijentiran dok VRML omogućuje prikaz najrazličitijih interaktivnih i animiranih grafičkih simulacija u realnom vremenu i tri dimenzije.

Stoga VRML ima vrlo širok spektar primjene posebno kada se zahtijeva objavljivanje i vizualizacija putem interneta rezultata najrazličitijih istraživanja u obliku simulacija, modeliranja te općenito svih vrsta grafičkih podataka ili



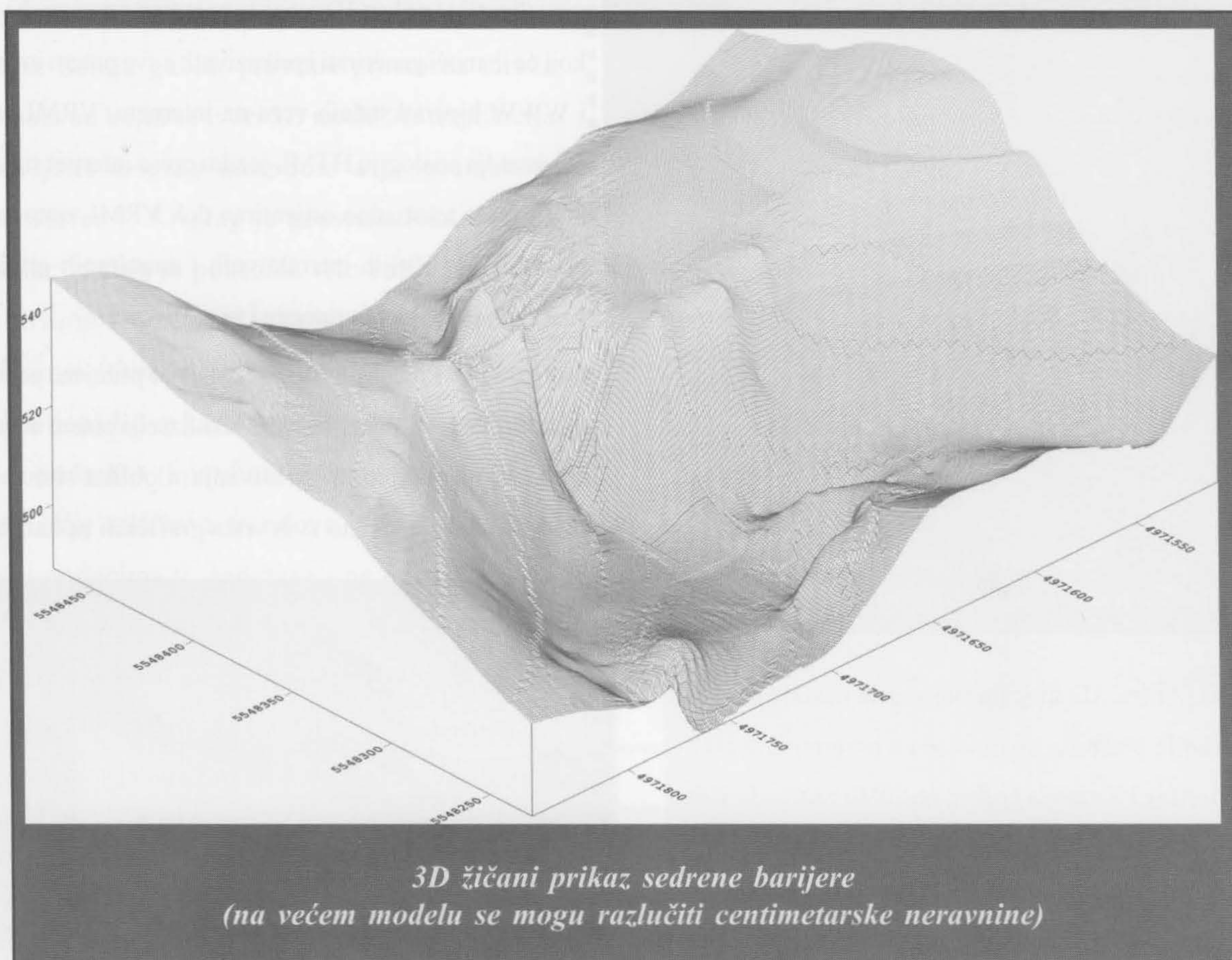
Prikaz bez vodene površine

informacija promjena kojih se prikazuje u realnom vremenu i tri dimenzije, a s naglaskom na interaktivnost s korisnikom.

Osnova VRML jezika je da se sastoji od objekata koji mogu sami sebe čitati i zapisivati. Teoretski, objekti u VRML jeziku mogu biti 3D objekti različite geometrije, rasterske slike, zvučni zapisi itd. Ovi objekti nazivaju se čvorovi (nodes). Čvorovi su svrstani u hijerarhijske strukture koje se nazivaju scene. Scene su skupovi čvorova i definiraju njihov redosljed prikazivanja. Svaka

Pošto je definicija VRML jezika doista opširna, napomenuti ćemo još da on sadrži definicije koordinatnog sustava (desni kartezijev 3D sustav) u kojemu se navedeni objekti prikazuju, naredbe za rotaciju, translaciju te najrazličitije transformacije objekata i njihovo kretanje kroz prostor i uopće sve potrebne instrukcije za njihovu prostornu manipulaciju, sjenčanje, interakciju s ostalim objektima te svjetovima koji su dostupni putem interneta.

Geodetski 3D model jezera Kozjak dobiven kao rezultat ovog rada, zbog same svoje prirode upravo je



scena ima parametar svoga stanja (state). Čvorovi mogu imati sljedeće parametre.:

- Definicija tipa objekta - npr. kocka, sfera, tekstura, transformacija, rotacija itd.
- Parametre koji razlikuju taj čvor od ostalih čvorova - ovi se parametri zovu polja (fields)
- Ime koje je karakteristično za upravo taj čvor
- Pokazivač na drugi čvor koji se hijerarhijski nalazi na nižoj poziciji

idealno da u VRML obliku bude prikazan na internetu i tako omogućiti njegovo proučavanje na jednom masovnom i globalnom mediju. Naime, napravljen je VRML virtualni svijet 3D geodetskog modela jezera Kozjak koji će zajedno s ostalim pojedinostima i opisima njegove izrade biti dostupan na internet stranicama postavljenim na serveru geodetskog fakulteta, a čime će ovaj rad dobiti svoj multimedijalni karakter i mogućnost da njegove pojedinosti i aspekti istraživanja budu dostupni i širim znanstvenim krugovima.

4. Zaključak

Ovaj rad prikazuje znanstvene osnove i metodologiju koja se koristila pri modernim geodetskim mjerenjima na području jezera Kozjak, njihovu obradu te konačno dobivanje digitalnog trodimenzionalnog geodetskog modela jezera iz takovih podataka kao krajnjeg rezultata.

Trodimenzionalni geodetski model Plitvičkog jezera Kozjak, stvara digitalni, prostorno egzaktni model jezera. On nam omogućuje vrlo točno praćenje prostorno-položajnog stanja sedrene barijere u tom jezeru, praćenje taloženja na sedrenoj barijeri kao i dobivanje podataka o vodostaju na jezeru Kozjak.

Na osnovu dobivenih prostornih informacija nakon mjerenja, obrade i postupka interpolacije stvorit će se također digitalna baza prostornih podataka koja će doista dati mogućnost istraživanja svim zainteresiranim znanstvenicima raznih disciplina, te im omogućiti pristup do egzaktnih mjernih podataka njima interesantnim promjenama na području jezera Kozjak, a koji se nalaze u jedinstvenom koordinatnom sustavu.

Navedena digitalna baza prostornih podataka osnova je i za formiranje raznorodnih geoinformacijskih sustava (GIS), što pruža svim uključenim znanstvenicima suvremeni oblik pohranjivanja podataka istraživanja, kao i suvremene oblike njihove prezentacije (modeliranje, vizualizacija i sl.) i razne analize.

Ovaj prvi trodimenzionalni geodetski model jezera Kozjak pruža dakle visokotočne prostorne informacije i mogućnost da se na osnovu istih mogu obaviti znanstvene multidisciplinarnе analize prikazanih prirodnih fenomena te potvrđuje ispravnost i visoki znanstveni nivo primjenjenih geodetskih postupaka i metoda i na jasan način određuje smjernice daljnjih interdisciplinarnih istraživanja na području Nacionalnog parka Plitvička jezera. Naime, veza s ostalim znanstvenim disciplinama daje mogućnost zainteresiranim znanstvenicima da aktivno sudjeluju u definiranju pojava i diskretnih točaka ili sustava točaka koje će biti opažane najmodernijim geodetskim metodama, a tijekom budućih multidisciplinarnih istraživanja na području Nacionalnog parka Plitvička jezera.

Prvi korak u tom smislu dakle je već učinjen geodetskim mjerenjima na području jezera Kozjak na temelju kojih je dobiven prvi geodetski 3D model jednog Plitvičkog jezera i njegovih barijera, čiji se prikaz nalazi u prilogima ovom radu, a metodologija i postupci koji su se pritom koristili su prikazani u napisanim poglavljima ovog studentskog rada.

Nacionalni park Plitvička jezera je nesumnjivo jedan od prirodnih dragulja Republike Hrvatske, koji svakako treba sačuvati, jer bi njegov gubitak bio neprocijenjiv i nedopustiv za čitavo čovječanstvo. Geodezija kao znanost zasigurno u tom smislu ima veliku ulogu i zadaću te samim time predstavlja čimbenik koji se ne može i ne smije zaobići.

