

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Toni Matišev



Sveučilište u Zagrebu
Grafčki fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

IZRADA 3D MODELA I ANIMACIJE SUNČEVOG
SUSTAVA

Mentor:

prof. dr. sc. Lidija Mandić

Student:

Toni Matišev

Zagreb, 2018.

Sažetak

3D modeliranje je postupak koji se u računarskoj grafici koristi za kreiranje matematičke reprezentacije oblika nekog objekta u tri dimenzije. Izvodi se u softveru specijaliziranom za trodimenzionalno oblikovanje. Kao rezultat dobiva se 3D model odnosno 3D *mesh*. Dobiveni rezultat može se prikazati kao dvodimenzionalna slika koja se dobiva postupkom 3D *renderiranja* ili se dobiveni 3D model koristi kao računalna simulacija nekog predmeta. Također, 3D modeli mogu biti fizički izrađeni pomoću 3D printera. ^{[1][2][3]}

3D modeli mogu biti kreirani manualno i automatski. 3D modele najčešće izrađuju umjetnici i stručnjaci tehničkih djelatnosti koristeći se softverom za 3D modeliranje. Još jedan od načina generiranja 3D *mesheva* je pomoću specijaliziranog hardvera koji skenira materijalne objekte te se oni računalno pretvaraju u 3D modele. ^[1]

3D animiranje je jedan od segmenata računalne animacije, uz 2D animaciju. 3D animacija je postupak kreiranja iluzije pokreta koristeći trodimenzionalne modele u digitalnom prostoru. ^[4]

U teorijskom dijelu ovog završnog rada objašnjeni su temeljni koncepti i metode u procesu izrade, dok je u eksperimentalnom dijelu izrađen trodimenzionalni model Sunčevog sustava i animacija istog modela pri čemu su korištene neke od metoda objašnjene u teorijskom dijelu kao što su izrada objekta odnosno *mesha*, oblikovanje objekata te animacija objekata.

Ključne riječi: 3D modeliranje, 3D animacija, softver, *Blender*

Sadržaj

1. Uvod.....	5
1. 1. Softveri za izradu 3D računalne grafike.....	5
2. Teorijski dio.....	6
2.1. Blender.....	6
2.1.1. Značajke softvera.....	6
2.1.2. Korisničko sučelje.....	7
2.1.3. <i>Editori</i>	9
2.1.4. Modeliranje.....	10
2.1.5. Animiranje.....	14
2.1.6. <i>Physics</i>	15
2.1.7. <i>Render</i>	16
3. Eksperimentalni dio.....	17
3.1. Izrada 3D modela Sunčevog sustava.....	17
3.1.1. Sunce.....	18
3.1.2. Saturn.....	23
3.2. Animacija modela.....	31
3.2.1. Izrada animacije na primjeru modela Saturna.....	34
4. Zaključak.....	39
5. Popis slika.....	40
6. Literatura.....	41

1. Uvod

1. 1. Softveri za izradu 3D računalne grafike

3D računalna grafika je područje računalne grafike koje se bavi kreiranjem matematičke odnosno geometrijske reprezentacije površine nekog objekta u trodimenzionalnom prostoru. Proizvode 3D računalne grafike često se naziva 3D modelima. Modeli mogu biti prikazani dvodimenzionalno postupkom koji se naziva 3D *renderiranje* ili se mogu koristiti kao prikaz računalne simulacije. ^{[1][2][5]}

Softveri za 3D modeliranje spadaju u vrstu softvera za 3D računalnu grafiku koji se koriste za izradu trodimenzionalnih modela. Oni kao rezultat daju računalno generirane slike, odnosno *computer-generated imagery (CGI)*. Softveri svojim korisnicima omogućavaju kreiranje i preoblikovanje objekata pomoću 3D mreža (*mesh*) modela. ^[6]

Modeli su sastavljeni od skupa točaka u 3D prostoru koje su povezane raznim geometrijskim oblicima (linije, trokuti, zaobljene površine,...). Točke u 3D prostoru nazivaju se *vertices* (jedn. *vertex*). Mreža tih točaka i geometrijskih oblika naziva se *wire frame*. *Wire frame* nastaje stvaranjem crta koje predstavljaju rubove objekta. Crte se dobivaju spajanjem dvije susjedne točke (*vertices*) ravnim ili zaobljenim linijama, ili na spoju dvije susjedne ravnine (površine). ^{[3][7][8][9]}

3D modeli imaju široku primjenu u brojnim djelatnostima. Koriste se u medicini za prikaz modela organa, u znanosti za detaljni prikaz kemijskih spojeva, arhitekturi za prikaz građevina, no najčešća primjena je u filmskoj industriji kod izrade *CGI* elemenata i animiranih filmova te u industriji video igara. ^{[2][3][10]}

Brojni su softveri koji se koriste za izradu 3D modela od kojih su najučestaliji danas *3Ds Max*, *LightWave 3D*, *Maya*, *Modo*, *Silo*, *XSI*, *Zbrush*, *Rhinoceros 3D* i *Blender*.^[6]

2. Teorijski dio

2.1. Blender

2.1.1. Značajke softvera

Blender je besplatan, *open-source* softver koji se koristi za izradu 3D računalne grafike. Koristi se za izradu animacija, vizualnih efekata, umjetničkih djela, 3D modela za 3D tisak, interaktivnih 3D aplikacija i videoigara. Prva verzija *Blendera* izašla je u siječnju 1998. godine. Posljednja odnosno najnovija verzija *Blendera* (v. 2.79b) izašla je 22. ožujka 2018. Programski jezici korišteni za izradu programa su *C*, *C++* i *Python*. *Blender* je podržan na *Linux*, *macOS* i *Windows* operativnim sustavima u 32 i 64 bitnim varijantama. Autor *Blendera* je nizozemski animacijski studio NeoGeo dok je glavni autor bio suvlasnik tvrtke i *software developer* Ton Roosendaal. ^[13]

Iako besplatan, *Blender* posjeduje brojne značajke koje su karakteristične za sve vrhunske softvere koji se koriste za izradu 3D računalne grafike: *rendering*, modeliranje, animacija, vizualni efekti, simulacije, kreiranje video igara, montaža videozapisa,... ^{[13][14]}

Blender posjeduje vlastiti format za spremanje datoteka te taj format ima dodatak *.blend* i koristi se za kombiniranje više kadrova u jedan dokument. Program također podržava velik broj formata za uvoz/izvoz datoteka (slikovni formati: JPEG, JPEG 2000, PNG, TARGA, OpenEXR, DPX, Cineon, Radiance HDR, SGI Iris, TIFF; video formati: AVI, MPEG, Quicktime; 3D formati: Alembic, 3D Studio (3DS), COLLADA (DAE), Filmbox (FBX), Autodesk (DXF), Wavefront (OBJ), DirectX (x), Lightwave (LWO), Motion Capture (BVH), SVG, Stanford PLY, STL, VRML, VRML97, X3D). ^{[13][14]}

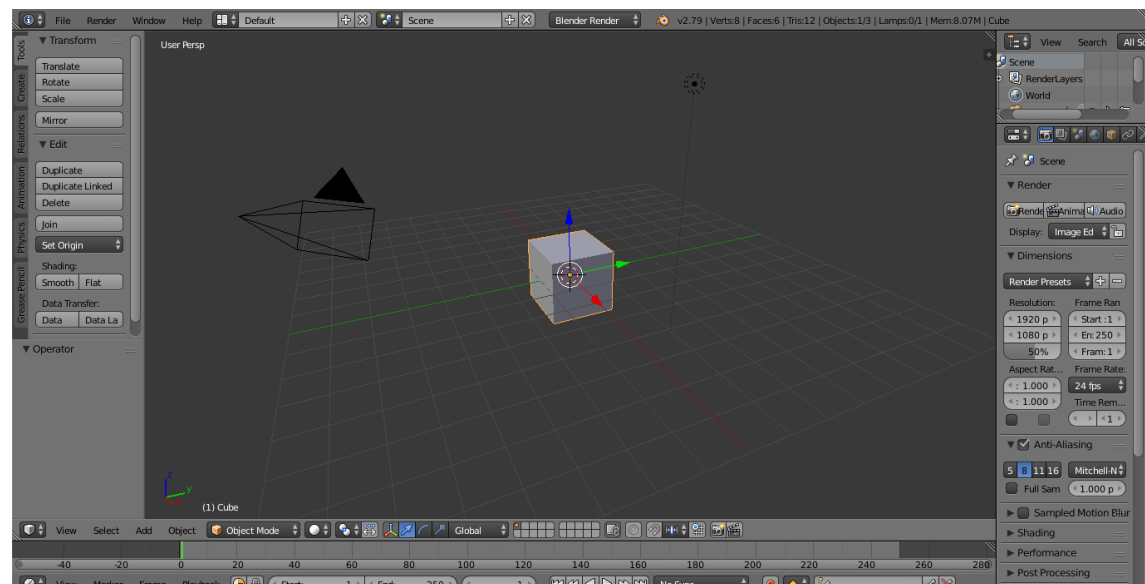
2.1.2. Korisničko sučelje

Prilikom pokretanja *Blendera* otvara se *Blenderov splash screen* (slika 1.) u središtu ekrana. *Splash screen* sadrži korisne poveznice te prethodno zatvarane projekte.



Slika 1. *Blenderov splash screen*

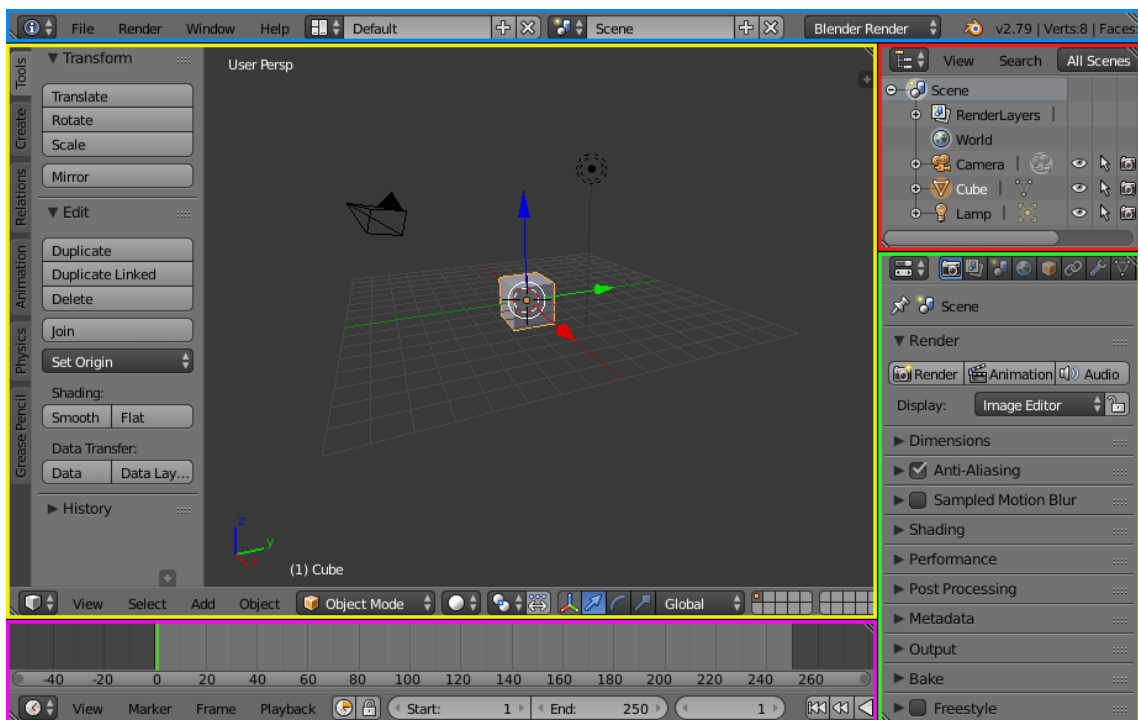
Nakon zatvaranja *splash screena*, otvara se „pravo“ korisničko sučelje *Blendera* (slika 2.) te se može započeti s izradom novog projekta.



Slika 2. korisničko sučelje

Korisničko sučelje sastoji se od nekoliko dijelova od kojih svaki sadrži nekoliko *editora* (slika 3.), odnosno alata i funkcija koje služe za manipulaciju i podešavanje objekata i ostalih sastavnica projekta. Zadano korisničko sučelje se sastoji od nekoliko *editora*: traka informacija na vrhu, 3D pregled projekta, vremenska crta (*Timeline*) na dnu koja služi za pregled kadrova animacije, *editor layera* desno gore te *editor svojstava* desno dolje. [15]

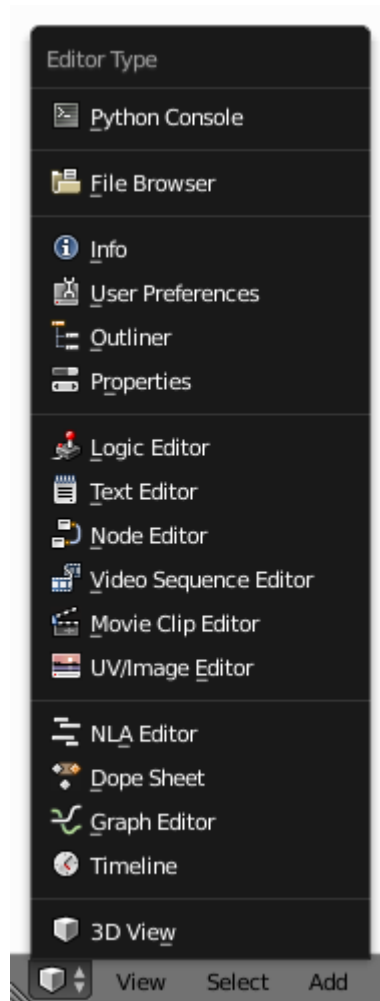
Korisničko sučelje je dizajnirano tako da su sve potrebne informacije vezane za projekt lako vidljive, bez nepotrebnog pomicanja *editora*. *Blender* ima brojne prečace za odabir alata i opcija koji se koriste kombinacijom tipaka na tipkovnici te time omogućuju brži i lakši rad u programu. [15]



Slika 3. prikaz *editora* zadanog korisničkog sučelja

2.1.3. Editori

Blender ima velik broj različitih *editora* (slika 4.) za prikaz i prilagođavanje podataka. Izbornik vrste *editora* nalazi se na lijevoj strani zaglavlja i omogućuje odabir vrste *editora* za to područje. Svako područje u *Blenderu* može sadržavati neku vrstu *editora*.^[15]



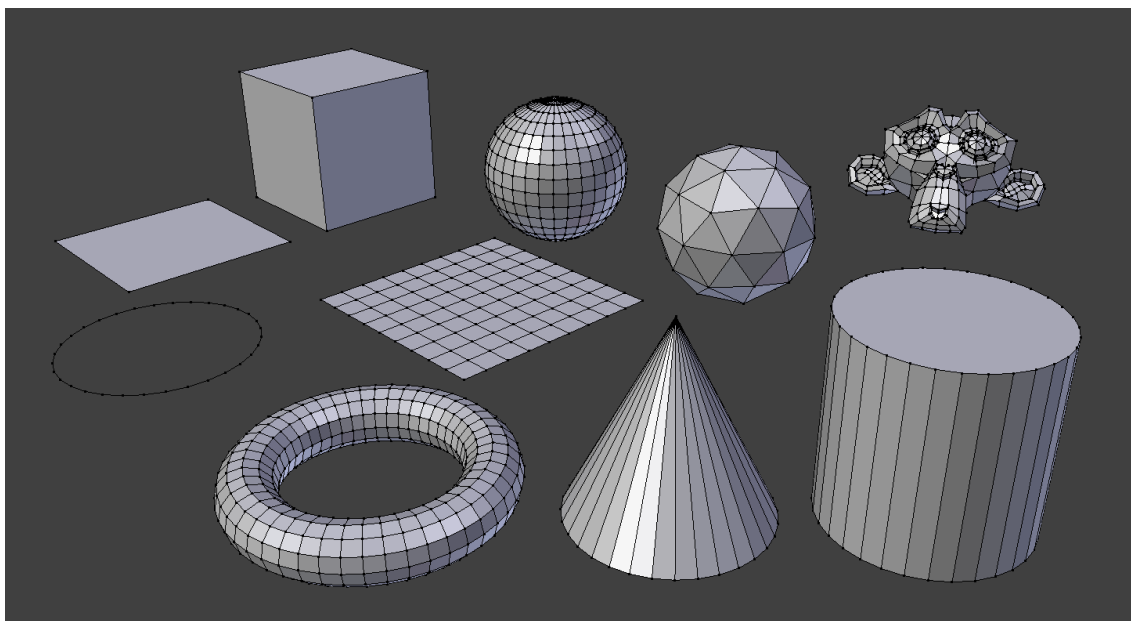
Slika 4. izbornik vrste *editora*

2.1.4. Modeliranje

Modeliranje je postupak kreiranja površine koja predstavlja predmet iz stvarnog svijeta ili zamišljeni, apstraktni predmet. Ovisno o modelu koji se izrađuje postoji više načina modeliranja. Glavni način modeliranja je *Edit mode* koji se koristi za izradu raznih vrsta objekata: *meshes*, *curves*, *surfaces*, *metaballs*, *text objects*, *empties*, *modifiers*.^[15]

Modeliranje *mesheva* obično započinje od najjednostavnijih *mesh* modela (kocka, krug, valjak,...) iz kojih se kasnije mogu napraviti složeniji modeli. Postoje tri glavna načina izrade i oblikovanja *mesh* modela. Svaki od tih načina ima raznolike alate. Neki od tih alata zajednički su za više načina modeliranja. Načini koji se koriste za modeliranje su: *Object mode*, *Edit mode* i *Sculpt mode*. Izrada *mesh* modela obično započinje kreiranjem jednostavnog modela u *Object modeu*. *Blender* nudi mnogo jednostavnih („primitivnih“) modela (slika 5.) koji se mogu koristiti za daljnje modeliranje. Jednostavni objekti dostupni u *Blenderu* su ravnina (*plane*), kocka (*cube*), krug (*circle*), UV kugla (*UV sphere*), *Icosphere* (kugla koja je građena od trokuta), valjak (*cylinder*), konus (*cone*), *torus*, mreža (*grid*) te majmun (*monkey*, koji pritiskom na gumb *Monkey* dodaje glavu majmuna Suzanne koja je *Blenderova* maskota). *Object mode* omogućava malen broj radnih akcija na objektu koje se odnose na objekt kao cjelinu, poput promjene veličine, položaja, orijentacije, spajanja i grupiranja više objekata. *Edit mode* koristi radne operacije koje se odnose samo na geometriju objekta koji se oblikuje i ne može utjecati na veličinu objekta i njegovu poziciju. Moguće je oblikovati samo *mesh* odabranog objekta. Da bi se oblikovao drugi objekt, potrebno je prijeći u *Object mode*, odabrati željeni model, te vratiti se u *Edit mode*.^[15]

Mesh modeli sastavljeni su od tri osnovne strukture: *vertices*, *edges* i *faces*. *Vertices* su najosnovniji elementi 3D *mesh* objekta. *Vertices* predstavljaju pojedinačne točke ili položaje u 3D prostoru. *Edges* predstavljaju ravne linije koje spajaju dvije točke. *Faces* su plohe koje se koriste za izradu površina objekta. Plohe su površine koje su sastavljene od linija (*edges*) odnosno pojedinačnih točaka (*vertices*) i sastoje se od najmanje tri povezane točke.^[15]



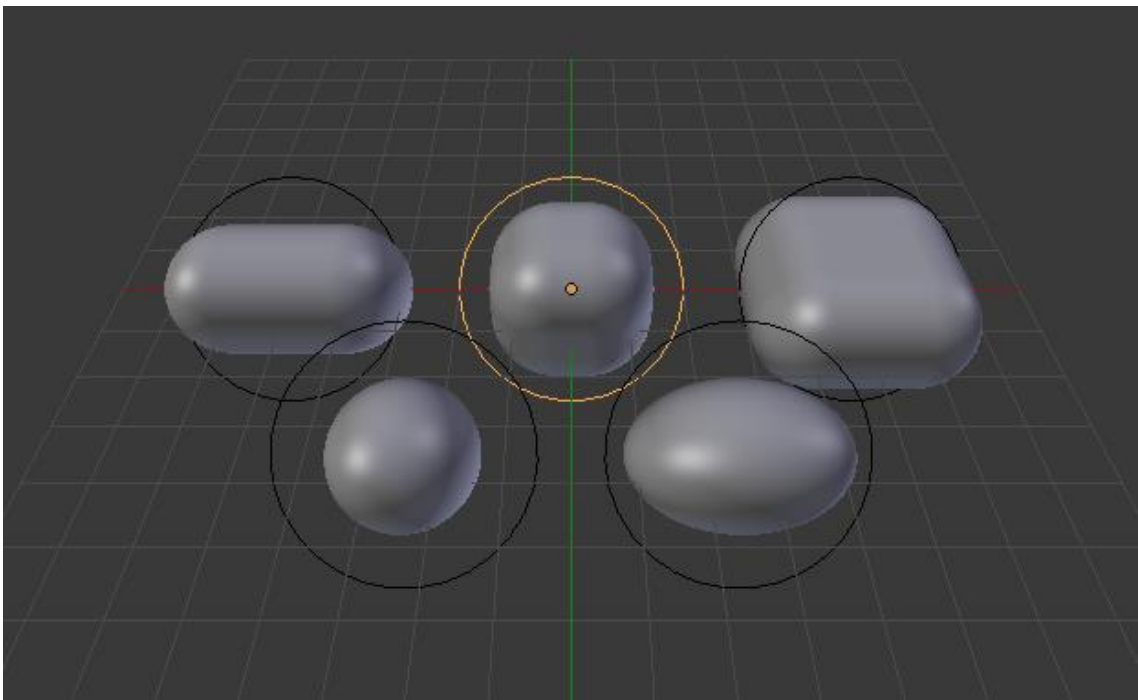
Slika 5. jednostavni *mesh* oblici

Curves i *Surfaces* elementi su karakteristične vrste *Blender* objekata. Za njihovu izradu koriste se matematičke funkcije umjesto niza točaka u prostoru kao kod *mesh* elemenata. U *Blenderu* je moguće izraditi Bézierove krivulje kao i *N.U.R.B.S.* krivulje. Prednost korištenja krivulja u odnosu na mnogokutne *mesh* objekte je ta što su krivulje definirane manjim brojem podataka zbog čega zauzimaju manje radne memorije i memorije za pohranu te skraćuju vrijeme modeliranja, no zbog postupaka njihove matematičke definiranosti mogu usporiti vrijeme *renderiranja*. Bézierove krivulje se u *Blenderu* najčešće koriste za dizajn slova tj. tipografije te logotipa. ^[15]

Najjednostavniji oblici krivulja su Bézierova krivulja, Bézierov krug, *NURBS* krivulja, *NURBS* krug, staza (*path*) i *draw curve* (alat koji omogućava vlastoručno crtanje krivulje povlačenjem miša). Kao i *mesh* modeli, *curve* objekti dodaju se u *Object modeu*. Dok su krivulje (*curves*) dvodimenzionalni objekti, *surfaces* su njihovi trodimenzionalni „produžeci“. U *Blenderu* se mogu koristiti samo *NURBS surfaces*, dok Bézier *surfaces* nisu dostupne. ^[15]

Meta objekti (slika 6.) su objekti koji se ne temelje na točkama u prostoru (*vertices*) kao *mesh* objekti, ni na kontrolnim točkama kao *curves* objekti već se temelje

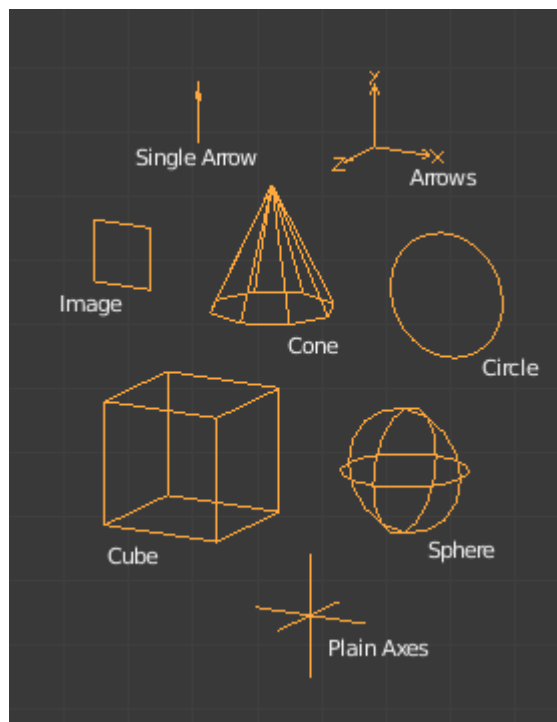
na matematičkim formulama koje *Blender* računa „u hodu“. *Meta* objekti imaju karakterističan, zaobljeni izgled. Kad se dva *meta* objekta približe jedan drugom, oni počinju međusobno reagirati – oni se „miješaju“ ili „spajaju“. Kad se objekti udalje jedan od drugog, nazad poprimaju svoj prvotni oblik. *Meta* objekti najčešće se koriste kao temelj za daljnje modeliranje ili za izradu specijalnih efekata. Najjednostavniji *meta* modeli su kugla (*meta ball*), cijev (*meta tube*), ravnina (*meta plane*), elipsoid (*meta ellipsoid*) i kocka (*meta cube*).^[15]



Slika 6. jednostavni *meta* objekti

Empties (slika 7.) su „prazni“ objekti u *Blenderu* koji se sastoje od točaka i nemaju dodatne geometrije. *Empty* objekti nemaju površinu i volumen zbog čega se ne mogu renderati, no mogu se koristiti u druge svrhe. U *empty* oblike spadaju osi ravnine (*plain axes*; crta šest linija od kojih je svaka usmjerena u jednom smjeru, odnosno u pozitivnom i negativnom smjeru triju osi (X, Y i Z)), strelice (*arrows*), strijela (*single arrow*), krug (*circle*), kocka (*cube*), kugla (*sphere*), konus (*cone*) te slika (*image*). *Empty* objekti mogu se modificirati jedino u *Edit modeu*. *Empty* objekti često se koriste

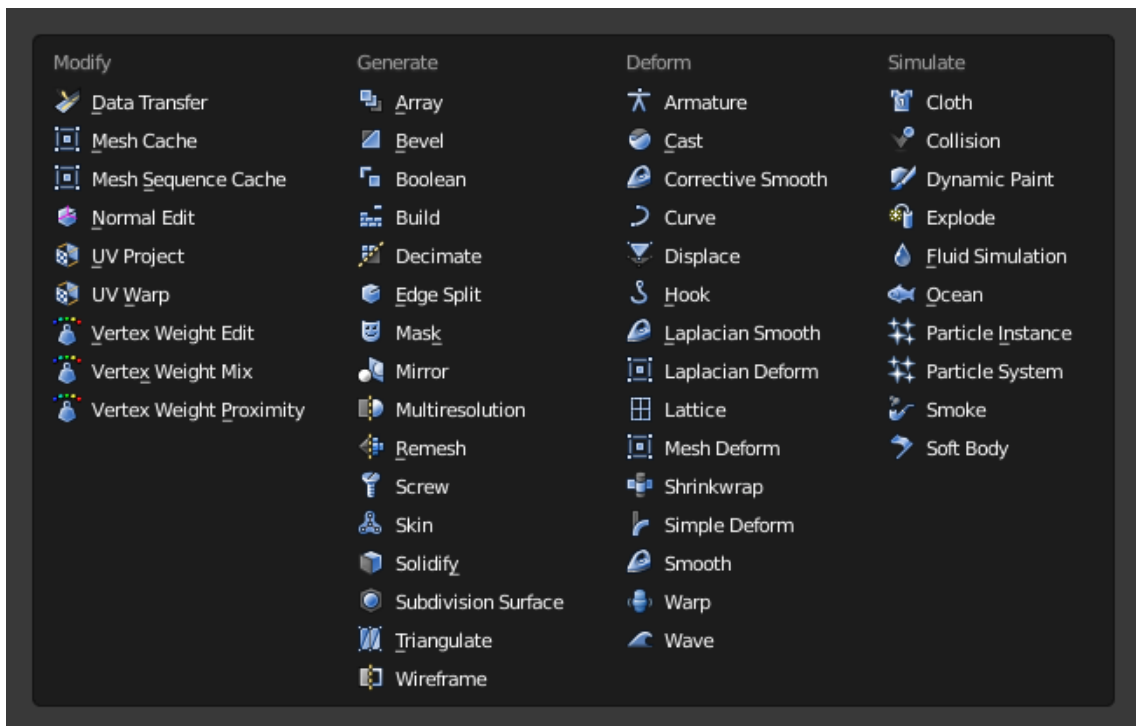
kao „roditelji“ drugih objekata što omogućuje brzu i jednostavnu kontrolu skupine objekata. ^[15]



Slika 7. *Empty* objekti

Modifiers (slika 8.) su automatske radne operacije kojima se utječe na objekte. Pomoću njih moguće je automatski ostvariti brojne efekte bez utjecaja na osnovnu geometriju objekta. Oni utječu na prikaz i *renderanje* objekta. Na jedan objekt moguće je primijeniti više od jednog *Modify* efekta. Postoje četiri glavne skupine *Modifiers* efekata: *Modify*, *Generate*, *Deform* i *Simulate*. ^[15]

Modify skupina sadrži alate slične *Deform* skupini, no alati *Modify* skupine ne utječu direktno na oblik objekta već mijenjaju podatke vezane uz objekt (npr. skupine *vertexa*). *Generate* skupina sadrži alate koji se koriste za konstrukciju, odnosno promjenu izgleda objekta ili automatsko dodavanje geometrije na već postojeći objekt. *Deform* skupina koristi se za izmjenu oblika objekta bez dodavanja geometrije na postojeći objekt. Najčešće se koristi za *mesh* objekte, no može se koristiti i za *text* i *curves* objekte. *Simulate* skupina koristi se za dodavanje simulacija na objekte. ^[15]



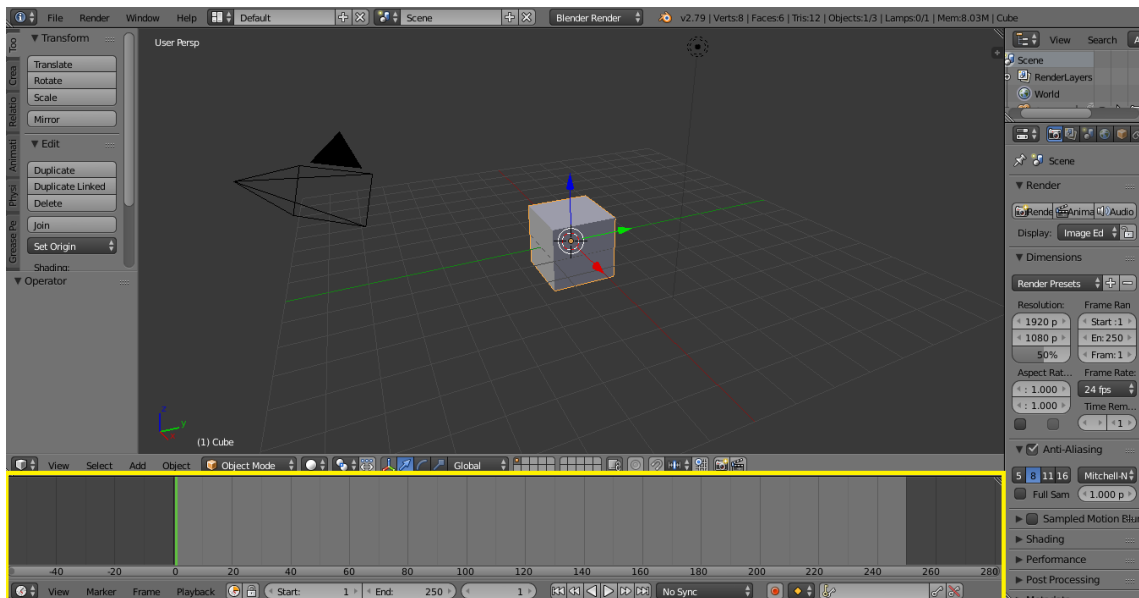
Slika 8. *Modifiers* izbornik

2.1.5. Animiranje

Animiranje je postupak transformacije odnosno mijenjanja položaja ili oblika objekta u određenom vremenskom periodu. Postoji više načina animiranja objekata. Pomicanje objekta kao cjeline odnosi se na mijenjanje položaja objekta, njegove orijentacije u prostoru odnosno usmjerenja, i promjenu njegove veličine. Deformacija objekta odnosi se na animiranje točaka (*vertices*) objekta. Treći način animiranja objekata se temelji na međusobnom odnosu objekata, odnosno kretanje jednog objekta se temelji na kretanju drugog objekta. ^[15]

Kod animiranja, vrijeme je podijeljeno na „okvire“ (*frames*). *Blender* koristi 24 okvira za svaku sekundu. Okviri su vidljivi na *Blender*ovoj vremenskoj crti - *timeline* (slika 9.). Animacije se postiže umetanjem „ključnih okvira“ – *keyframe*ova. Pomoću *keyframe*ova *Blender* pohranjuje podatke vezane uz transformaciju objekata u određenom vremenu. Pomoću *keyframe*ova može se odrediti položaj, rotacija i razmjer (veličina) objekata. *Keyframe*ovi omogućavaju izradu interpoliranih animacija. Interpolacija je metoda konstrukcije novih točaka podataka unutar raspona skupa

poznatih točaka podataka. Primjerice, ako na početnom *keyframeu* postavimo 3D model kocke na neki početni položaj te na zadnjem *keyframeu* kocku postavimo u krajnji položaj, *Blender* može automatski odrediti pravilan položaj kocke za svaki okvir između početnog i završnog *keyframea* pomoću metode interpolacije. [15]



Slika 9. vremenska crta (*timeline*) u *Blenderu*

2.1.6. *Physics*

Blenderov softver sadrži fizikalni sustav (*physics system*) koji omogućuje simulaciju brojnih pojava iz stvarnog svijeta. *Physics* sustav može se koristiti za izradu raznolikih statičnih i dinamičnih efekata poput efekata kose, trave, kiše, dima, vode, tkanine i gravitacije. Gravitacija je „globalna“ postavka koja se odnosi i na sve ostale *physics* efekte. Zadana vrijednost efekta gravitacije iznosi $-9,81\text{m/s}^2$ po Z osi, što je istovjetno iznosu gravitacije na Zemlji. [15]

U *Blenderu* je dostupno nekoliko *physics* tipova: *force fields*, *collisions*, *cloth simulations*, *dynamic paint*, *soft body*, *fluid simulation*, *smoke simulation*, *rigid body*, *particles system*. [15]

2.1.7. Render

Renderiranje je postupak kreiranja dvodimenzionalne slike ili videa iz trodimenzionalne napravljene u *Blenderu*. Na izgled slike utječu postavke kamere, rasvjete, materijala, kvalitete, veličine slike,... *Blender* koristi dva principa *renderiranja*: *Blender render* i *Cycles render*.^[15]

Blender render je *Blenderov* integrirani sustav *renderiranja* koji se ne temelji na realističnom prikazu. *Cycles render* je *Blenderov* sustav *renderiranja* koji se temelji na fizikalnim zakonima. *Cycles* može koristiti *GPU (Graphics Processing Unit)* računala za brže *renderiranje*. Osim *Blendera*, *Cycles* sustav koristi i u *Poser* i *Rhinoceros 3D* programima za 3D modeliranje.^[15]

3. Eksperimentalni dio

Cilj eksperimentalnog dijela rada bio je izraditi 3D model i animaciju Sunčevog sustava. Pri izradi modela koristile su se neke od osnovnih metoda modeliranja objašnjene u teorijskom dijelu rada. Model je izrađen u *Blenderu* u njegovom *Cycles render* sustavu. Modeli Sunca te planeta Sunčevog sustava izrađeni su u različitim mjerilima da bi se olakšala njihova vidljivost i manipulacija. Budući da su svi objekti koji predstavljaju modele Sunca i planeta Sunčevog sustava rađeni po istom principu, proces izrade bit će objašnjen na primjeru izrade modela Sunca i modela Saturna.

3.1. Izrada 3D modela Sunčevog sustava

Prvo je na red došlo određivanje veličine pojedinih modela. Za definiranje veličine modela *Blender* koristi svoju jedinicu veličine.

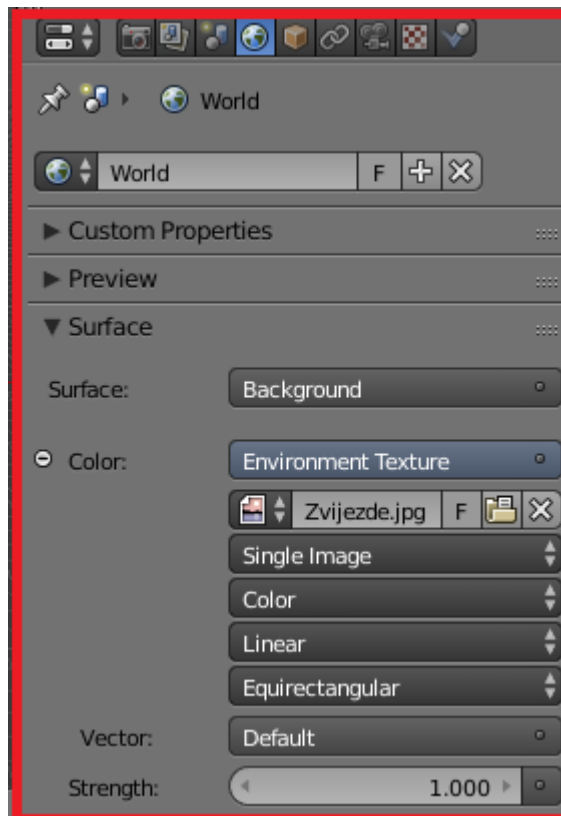
Model Sunca izrađen je u mjerilu 1 : 100 000 km što znači da 1 *Blender* jedinica predstavlja 100 000 kilometara u stvarnom svijetu. Tako je model Sunca u ovom projektu definiran veličinom od 6,96 *Blender* jedinica veličine.

Model Merkura izrađen je u mjerilu 1 : 5 000 km što znači da 1 *Blender* jedinica predstavlja 5 000 kilometara u stvarnom svijetu. Time je model Merkura definiran veličinom od 0,48 *Blender* jedinica. To mjerilo korišteno je zbog Merkurove male veličine, da bi se omogućila bolja vidljivost modela.

Modeli ostalih planeta unutarnjeg Sunčevog sustava (Venera, Zemlja, Mars) izrađeni su u mjerilu 1 : 10 000 km što znači da 1 *Blender* jedinica predstavlja 10 000 kilometara u stvarnom svijetu. Model Venere definiran je veličinom od 0,61 *Blender* jedinica, model Zemlje definiran je veličinom od 0,64 *Blender* jedinice, i model Marsa definiran je veličinom od 0,34 *Blender* jedinice.

Modeli planeta vanjskog Sunčevog sustava (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun) izrađeni su u mjerilu 1 : 50 000 km što znači da 1 *Blender* jedinica predstavlja 50 000 kilometara u stvarnom svijetu. Tako je model Jupitera definiran veličinom od 1,4 *Blender* jedinice, model Saturna (bez prstenova) definiran je veličinom od 1,16 *Blender* jedinica, model Urana definiran je veličinom od 0,5 *Blender* jedinica, i model Neptuna definiran je veličinom od 0,49 *Blender* jedinica.

Prije dodavanja objekata koji će predstavljati planete, dodaje se pozadinska tekstura zvjezdanog neba (slika 10.). Pozadinska tekstura dodaje su u *World editoru* u *Surface* sekciji. U *Color* izborniku odabire se *Environment texture* te se dodaje slika koja će služiti kao pozadinska tekstura modela i animacije.

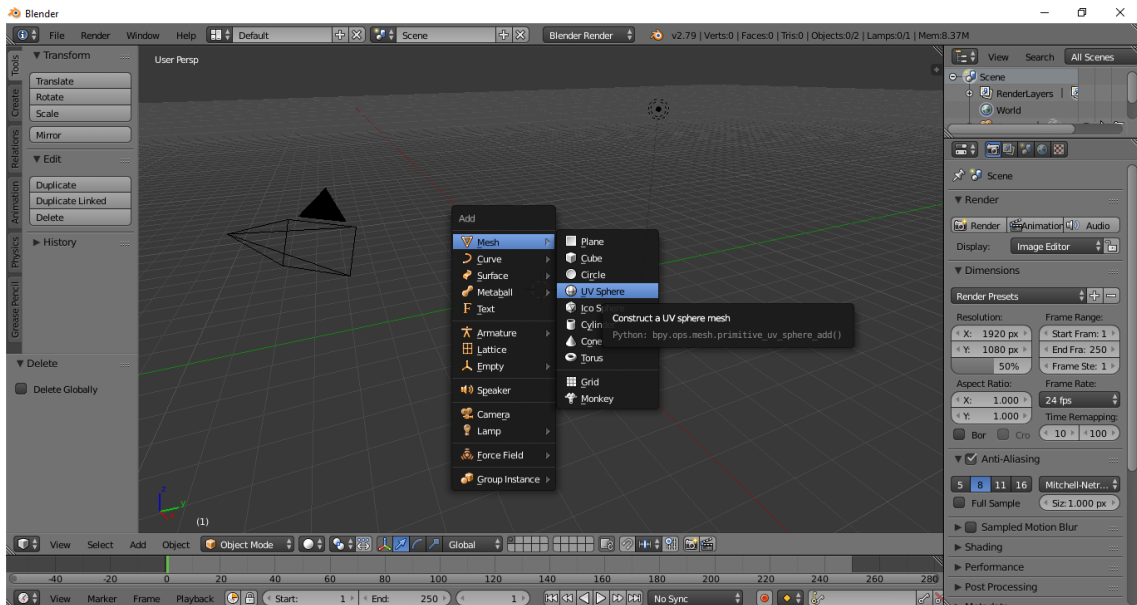


Slika 10. dodavanje pozadinske teksture

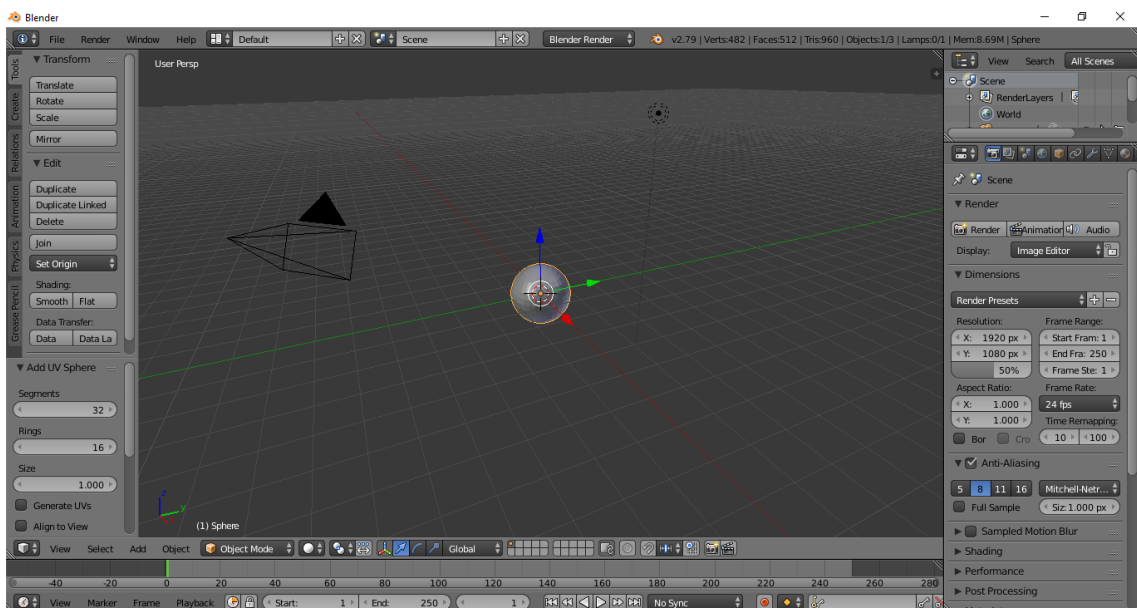
3.1.1. Sunce

Izrada modela započinje dodavanjem *mesh* objekta (slika 11.). Dodaje se *UV sphere mesh* objekt (slika 12.). Nakon dodavanja kugle, povećavaju se *Segments* i *Rings* segmenti objekta, i mijenja se veličina (slika 13.). Nakon toga, pomoću *Smooth* alata vrši se zaglađivanje površine objekta (slika 14.). Nakon toga dodaje se tekstura na objekt. Da bi se dodala tekstura, prvo u donjem *editoru* umjesto zadanog *Timeline* editora odabiremo *UV/Image Editor* (slika 15.). U *UV/Image Editoru* dodaje se slika koja će se koristiti kao tekstura objekta. Prelazi se u *Edit mode* te se u izborniku *Mesh*

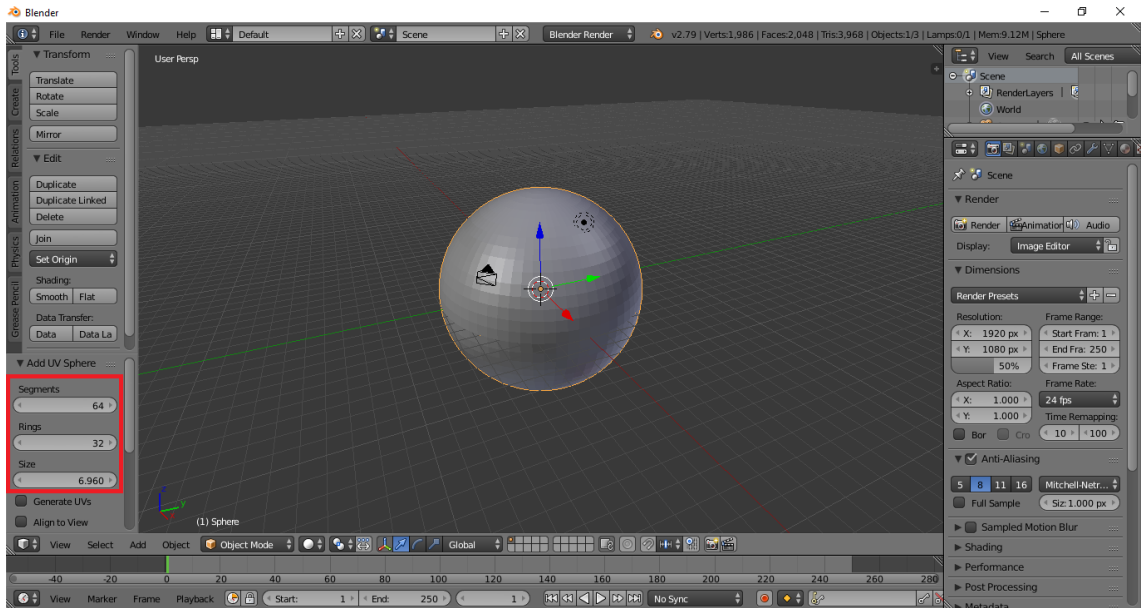
odabire slijedeći izbornik, *UV Unwrap*, u kojem odabiremo *Sphere Projection* (slika 16.). Mreža objekta (*wire frame*) projicira se na sliku odabranu za teksturu (slika 17.). U *Viewport Shading* izborniku odabire se *Texture* da bi se prikazala tekstura koja se primijenjuje na objekt (slika 18.). Na kraju, u *Material editoru* uređuje se *Surface* objekta, odnosno dodaje se *Emission* karakteristika. Vrijednost *Emission* karakteristike postavlja se na 2.0 da bi površina objekta emitirala svjetlost (slika 18.).



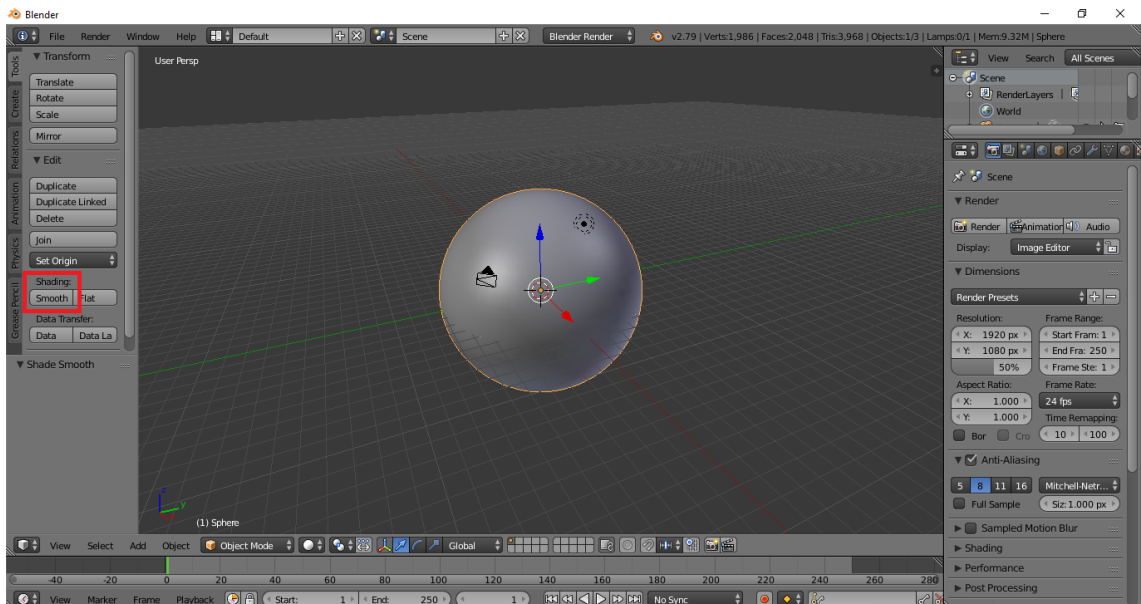
Slika 11. dodavanje *mesh* objekta (*UV sphere*)



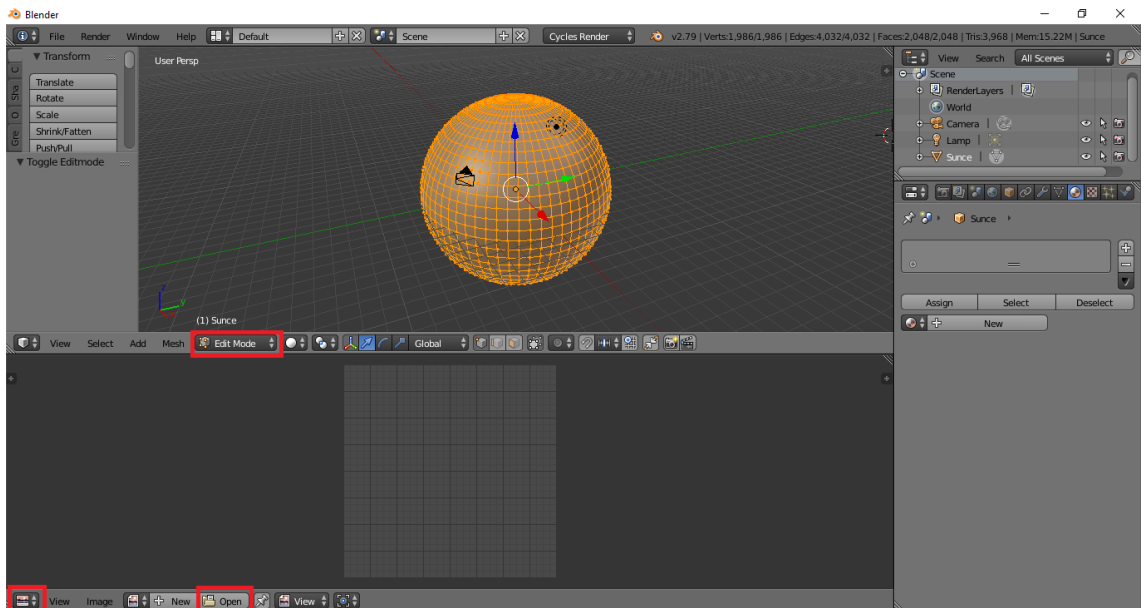
Slika 12. *UV sphere*



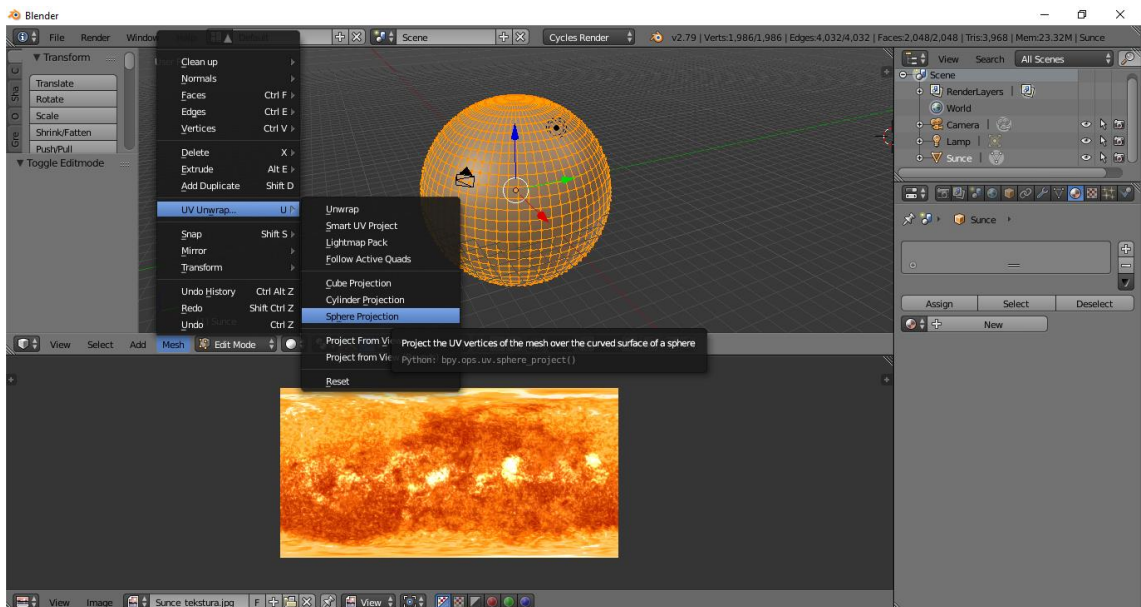
Slika 13. podešavanje *Segments*, *Rings* i *Size* karakteristika



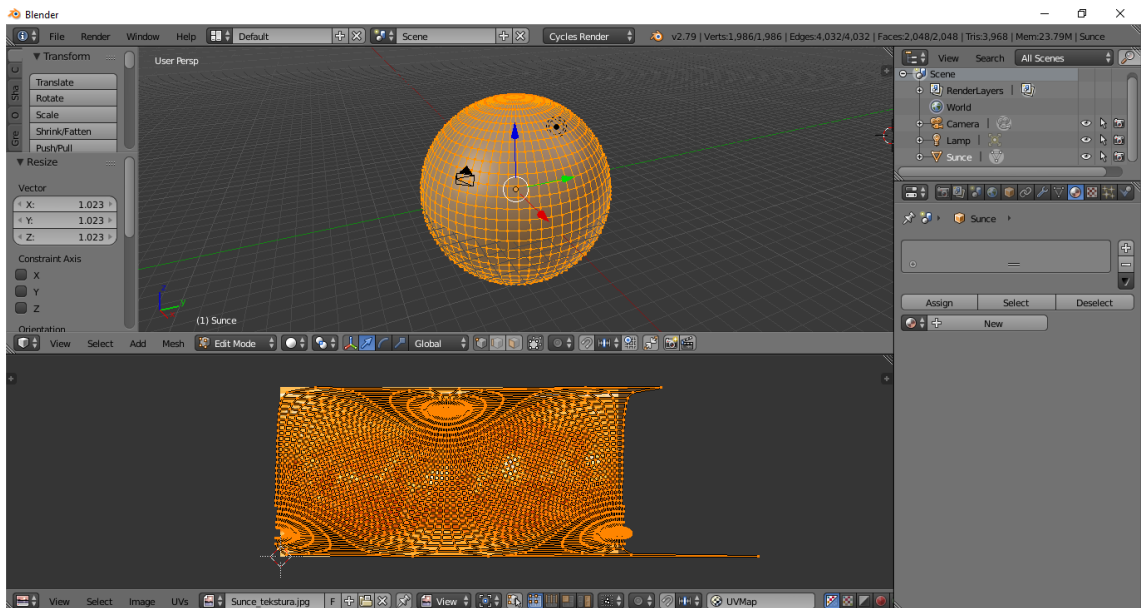
Slika 14. zглаđivanje površine *Smooth* alatom



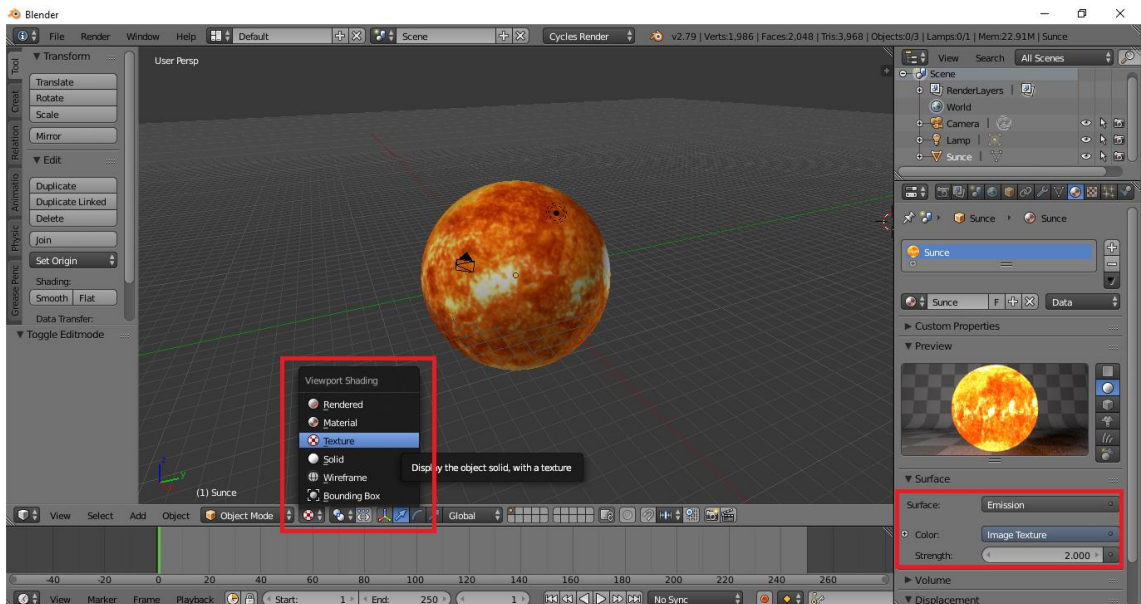
Slika 15. dodavanje teksture



Slika 16. UV Unwrap



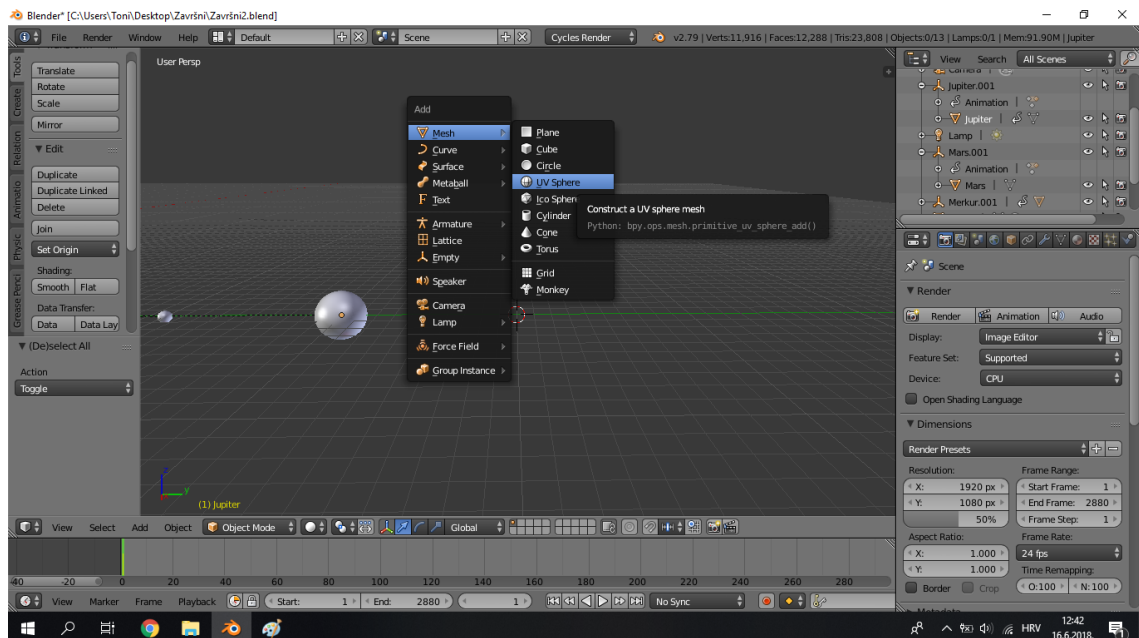
Slika 17. UV Sphere projekcija na teksturu



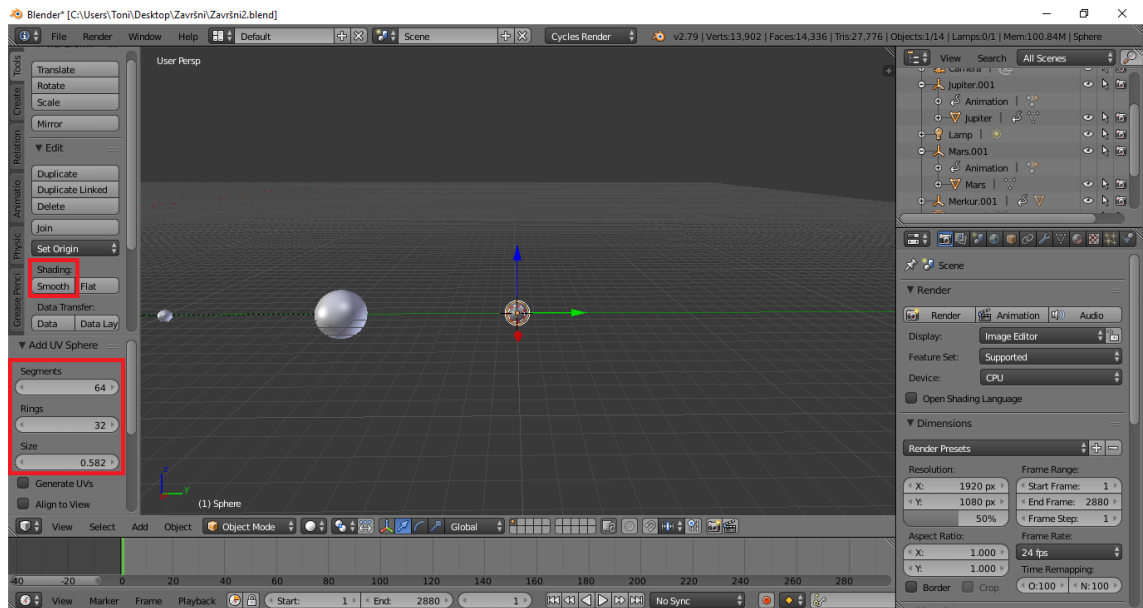
Slika 18. dodavanje *Emission* karakteristike

3.1.2. Saturn

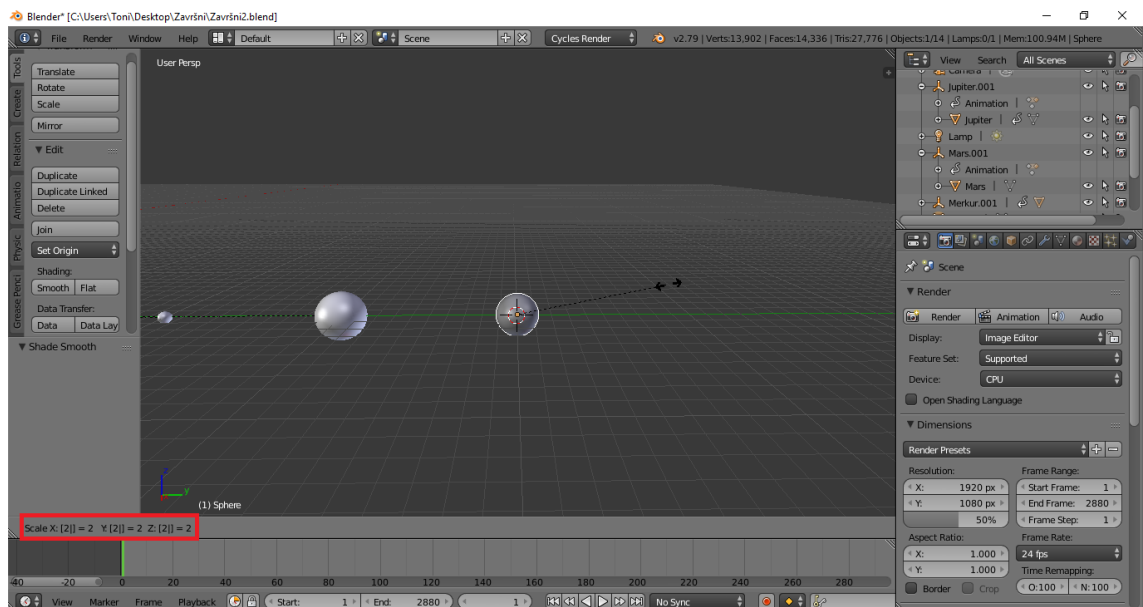
Postupak izrade ostalih modela isti je kao postupak izrade modela Sunca. Dodaje se *mesh (UV Sphere)* objekt (slika 19.), podešavaju mu se *Segments* i *Rings* karakteristike, mijenja se veličina, zaglađuje se površina pomoću *Smooth* alata (slika 20.) i dodaje se tekstura (slika 22., slika 23.). Jedina razlika u izradi modela planeta i modela Sunca je ta da se modelima planeta ne dodaje *Emission* karakteristika. Umjesto *Emission* karakteristike, u *Surface editoru* postavlja se *Diffuse BSDF shader*. *Diffuse BSDF* karakteristika koristi se za dodavanje difuzne refleksije svjetlosti.



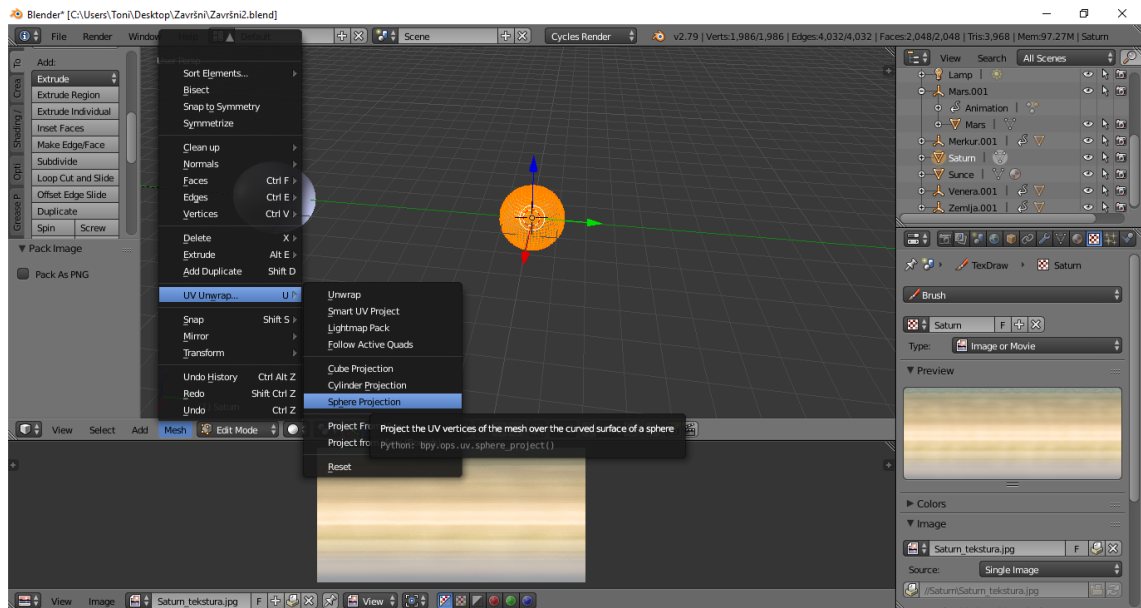
Slika 19. dodavanje *mesh* objekta (*UV Sphere*)



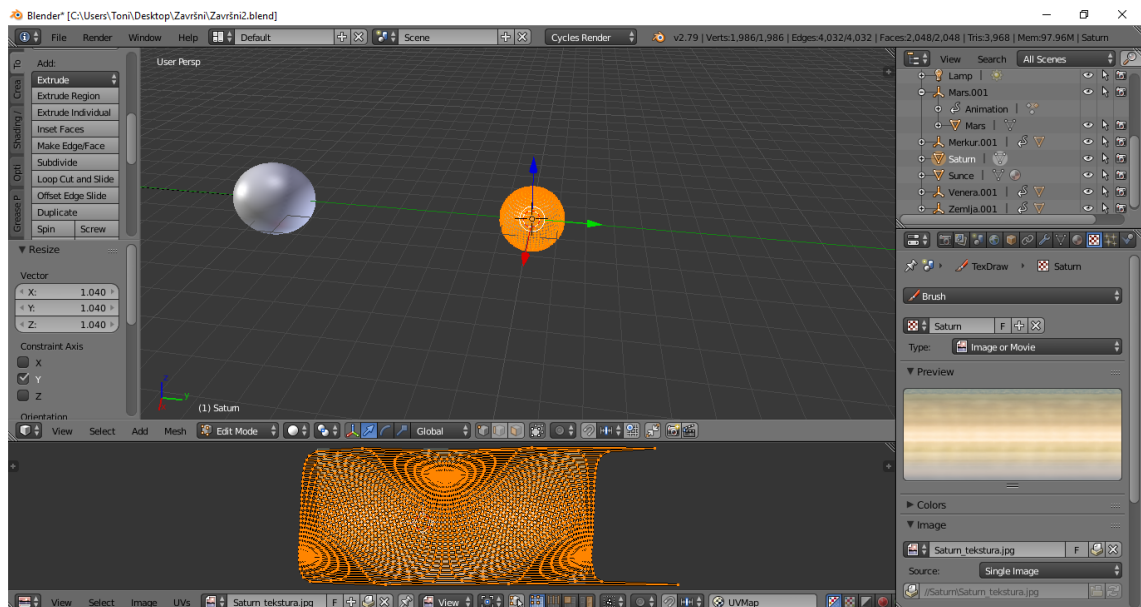
Slika 20. podešavanje *Segments*, *Rings* i *Size* karakteristika



Slika 21. *scale*anje objekta



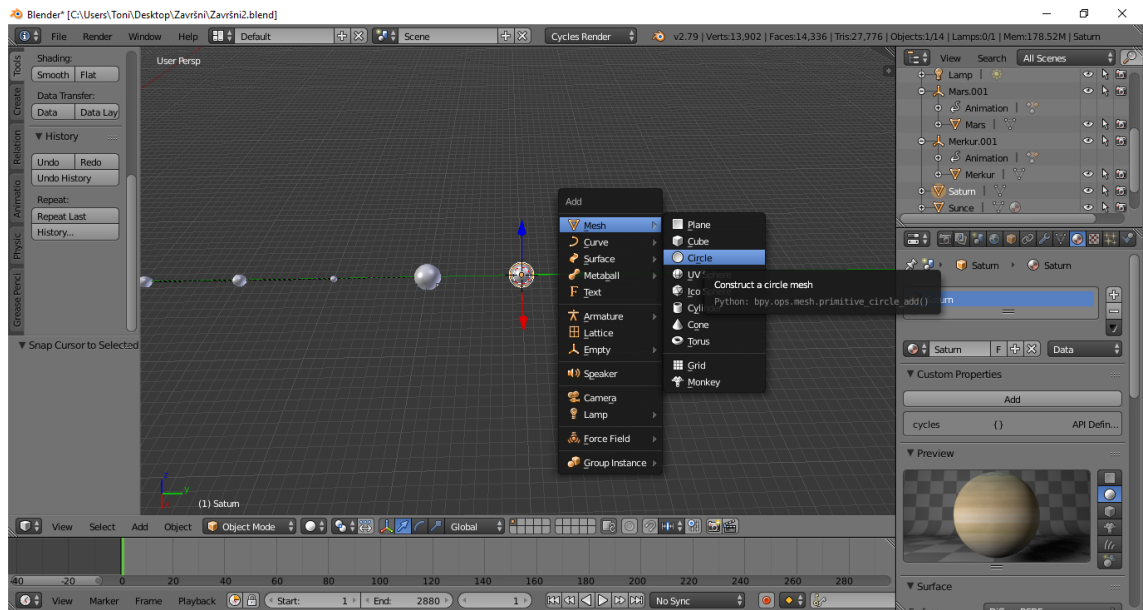
Slika 22. UV Unwrap, Sphere Projection



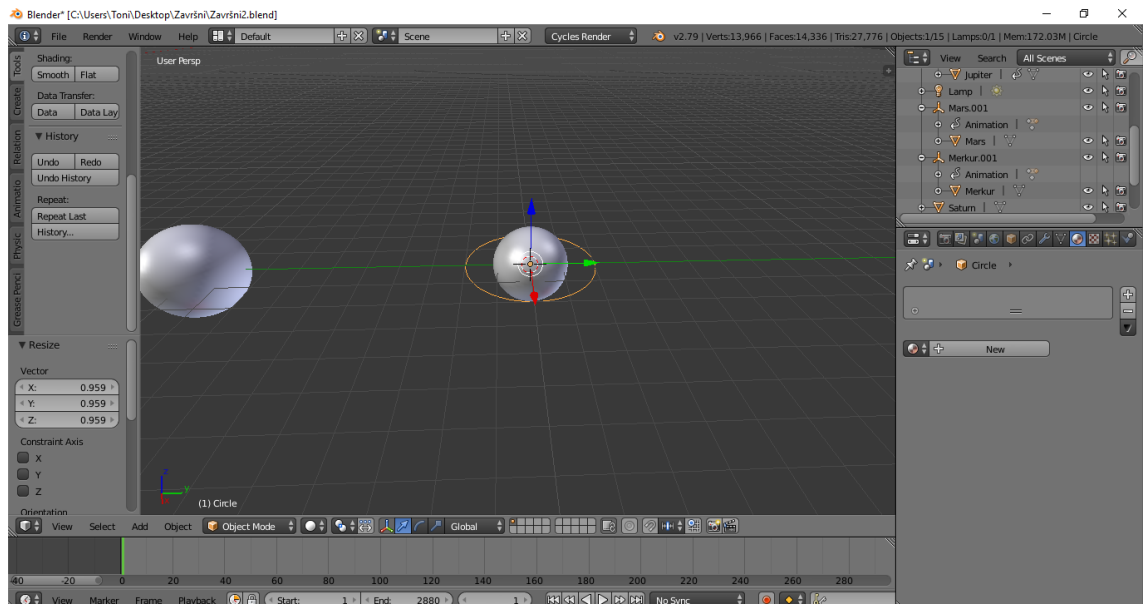
Slika 23. pozicioniranje UV Unwrap projekcije

Izrada Saturnovih prstenova

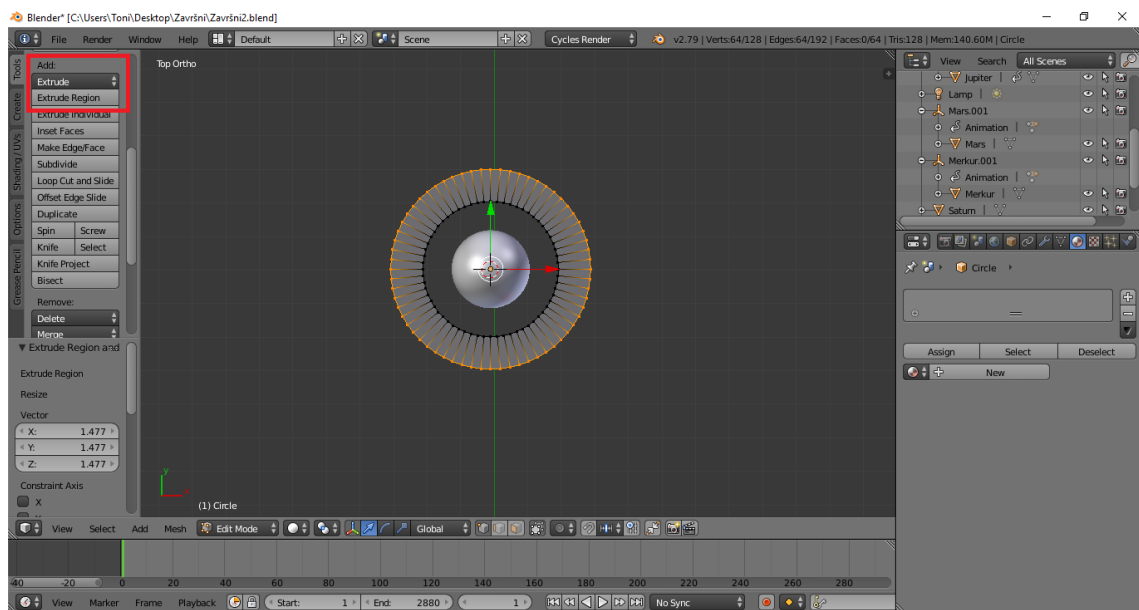
Izrada Saturnovih prstenova počinje dodavanjem kružnice (*Circle*) (slika 24., slika 25.) koja je također *mesh* objekt. Da bi se dobio potreban oblik kružnice, koristi se opcija *Extrude*, točnije *Extrude region* (slika 26.) koja ekstrudira vrhove objekta u određenom smjeru, po određenoj osi. Vrhovi kružnice ekstrudirani su po X i Y osima da bi se dobila kružnica željenog oblika. Tekstura za prstenove dodaje se na isti način kao i kod planeta (pomoću *UV/Image Editor*). U *Mesh* izborniku odabire se *UV Unwrap* izbornik, iz kojeg se najprije odabire *Unwrap* opcije (slika 27.), dobiva se projekcija kruga i zatim se odabire *Reset* opcija (slika 28., slika 29.). Za razliku od modela planeta, u *Material editoru Surface* karakteristika definira se pomoću *Mix shadera*. Nakon toga otvara se *Node editor* da bi se dodalo i povezalo više vrsta različitih *shadera*. *Nodes* koje se koriste su *Image Texture*, *Transparent BSDF*, *Diffuse BSDF*, *Transluscent BSDF*, dva *Mix Shader nodea* i *Material Output*. *Image Texture node* povezuje se na *Diffuse BSDF* i *Transluscent BSDF shader* svojom *Color* karakteristikom. *Diffuse BSDF* i *Transluscent BSDF shader* spajaju se na prvi *Mix shader*. Na drugi *Mix Shader node* povezuju se *Transparent BSDF* i prethodni *Mix shader* na koji su spojeni *Diffuse* i *Transluscent shader*. Taj *Mix Shader* povezan je i sa *Image Texture nodeom*. *Alpha* karakteristika *Image Texture nodea* povezan je sad *Fac:* karakteristikom *Mix Shadera*. Zatim se taj *Mix Shader* povezuje na *Material Output* (slika 30.). Dobivenu *UV Unwrap* projekciju potrebno je *scaleati* (slika 31.) da bi obuhvatila sliku koja se koristi za teksturu prstenova. Nakon toga se kugla postavlja definira kao „roditelj“ kruga (*Parent*) da bi se objekti kretali kao cjelina (slika 32.).



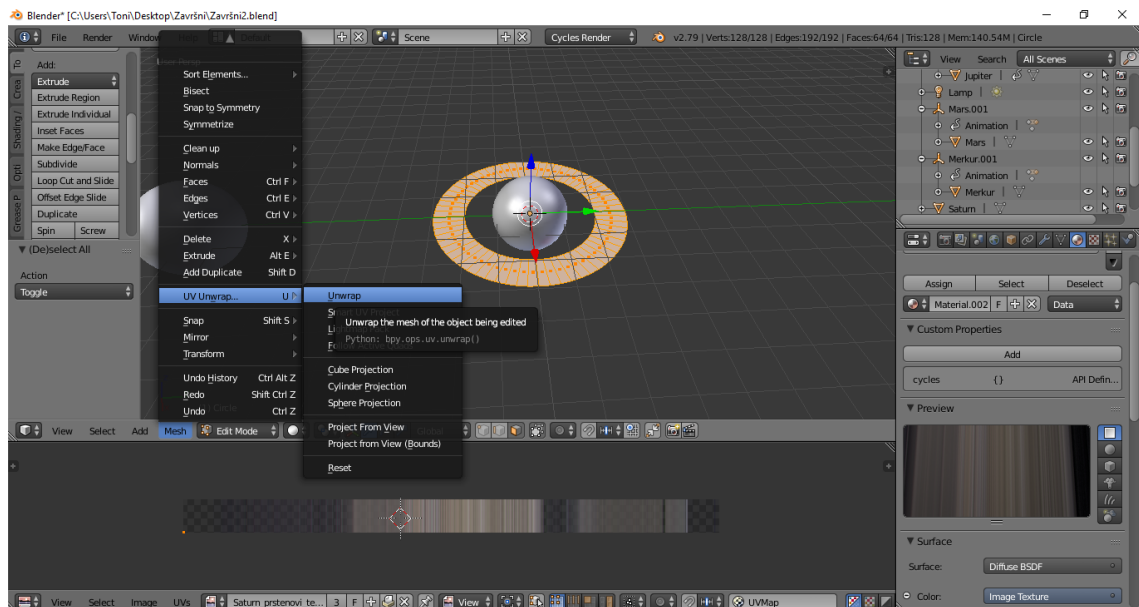
Slika 24. dodavanje *mesh* objekta za prstenove (*Circle*)



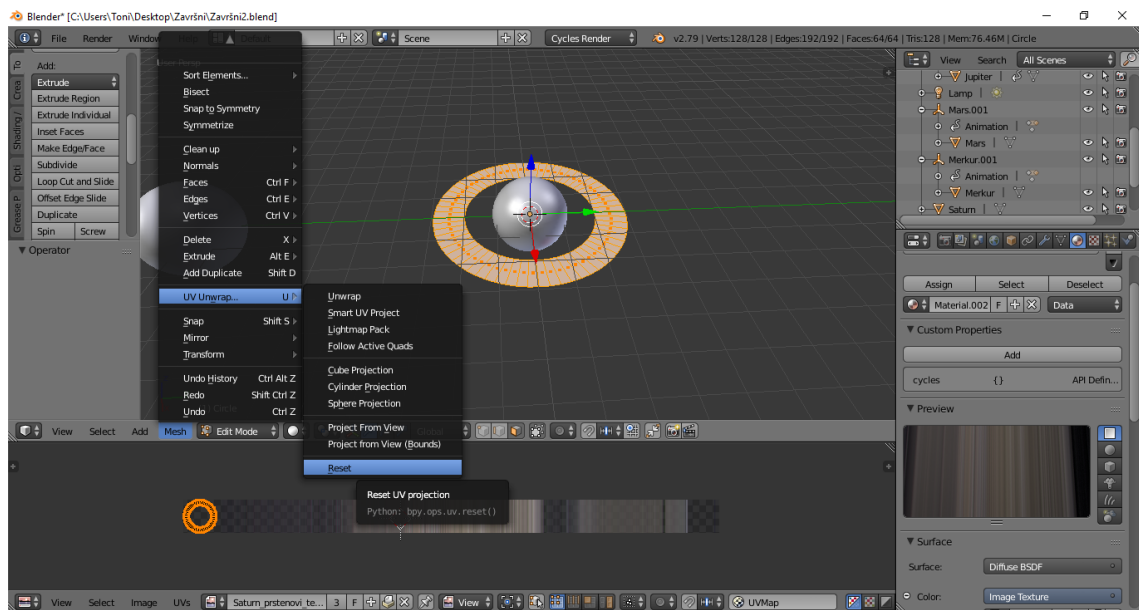
Slika 25. kružnica (*Circle*)



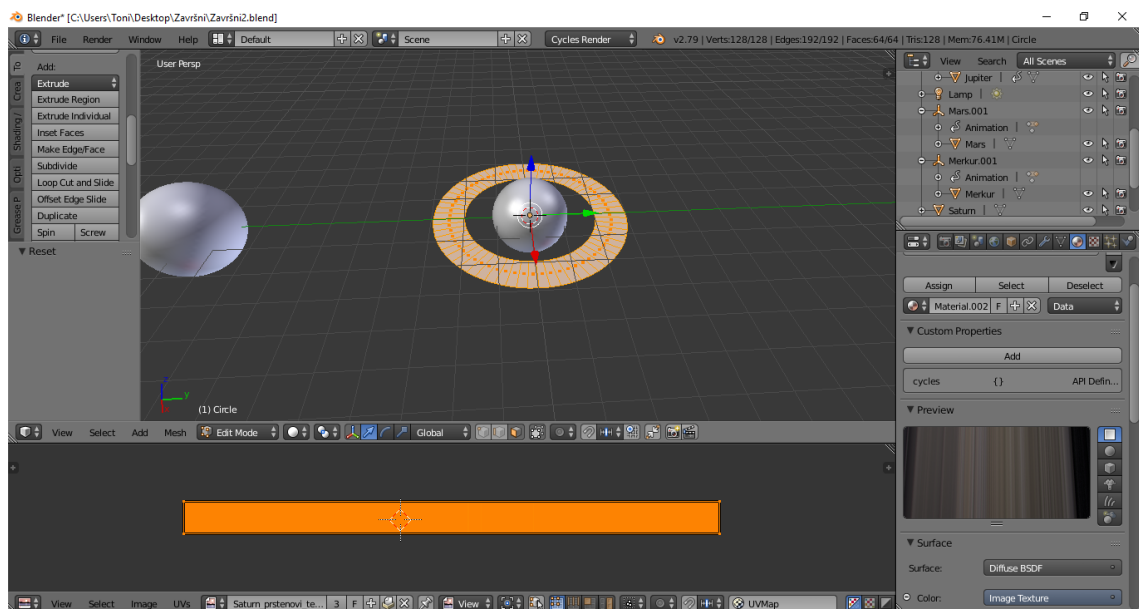
Slika 26. Extrudeanje kružnice



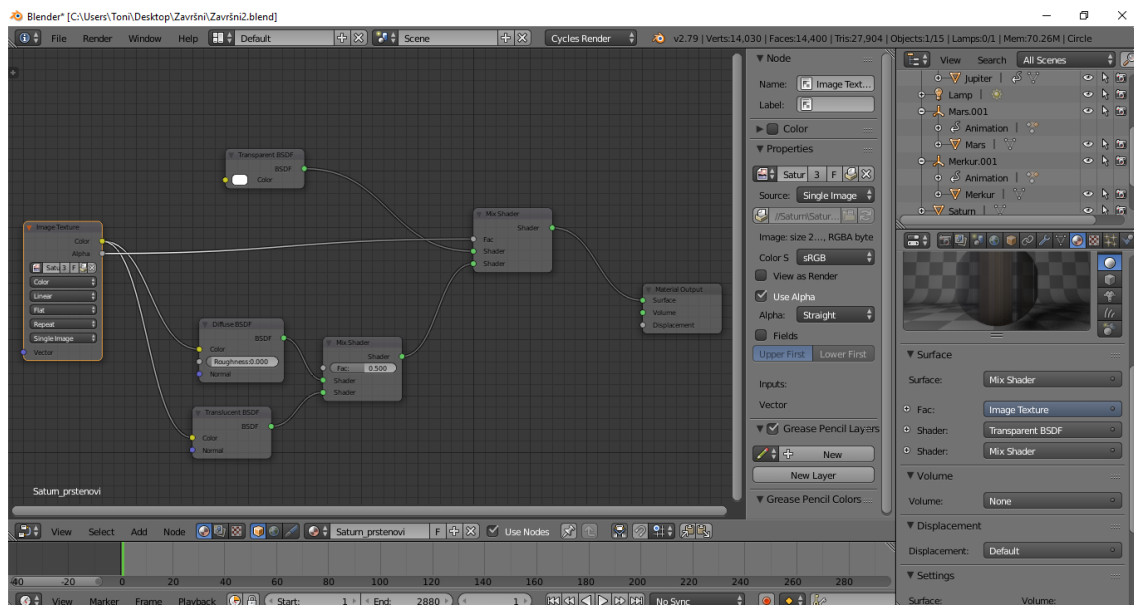
Slika 27. UV Unwrap, Unwrap



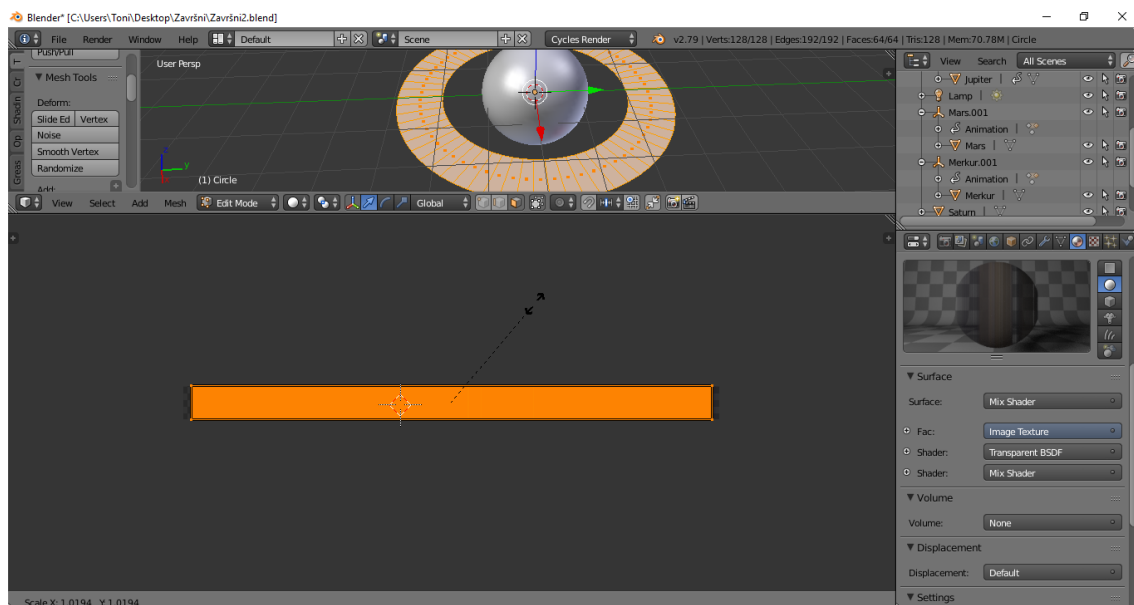
Slika 28. UV Unwrap, Reset



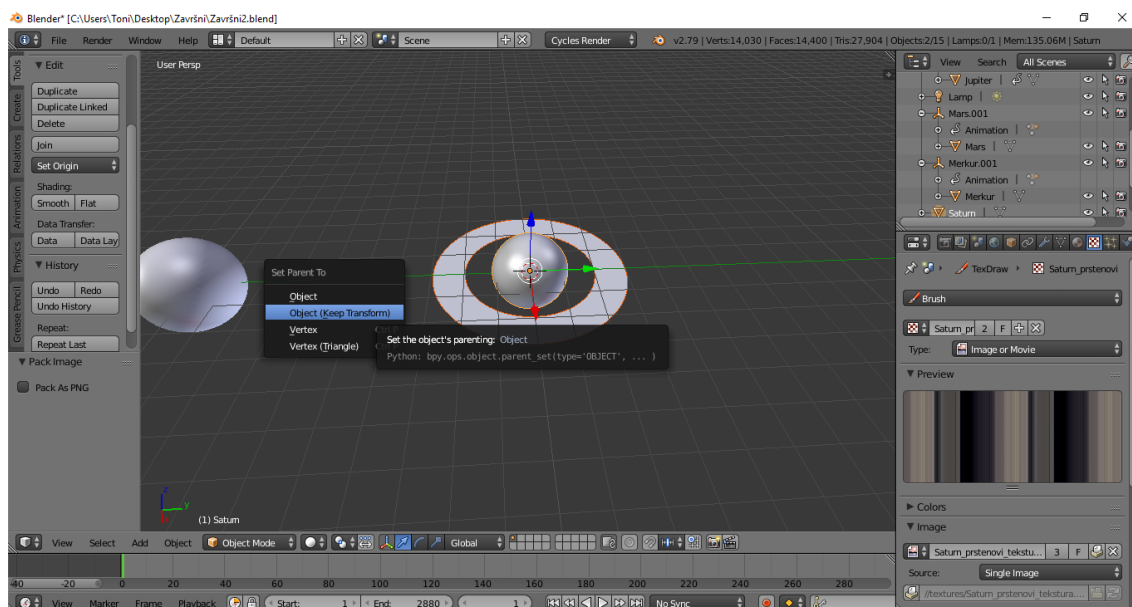
Slika 29. UV Unwrap, Reset



Slika 30. Node editor



Slika 31. scaleanje UV Unwrap projekcije



Slika 32. dodavanje *parent* odnosa

3.2. Animacija modela

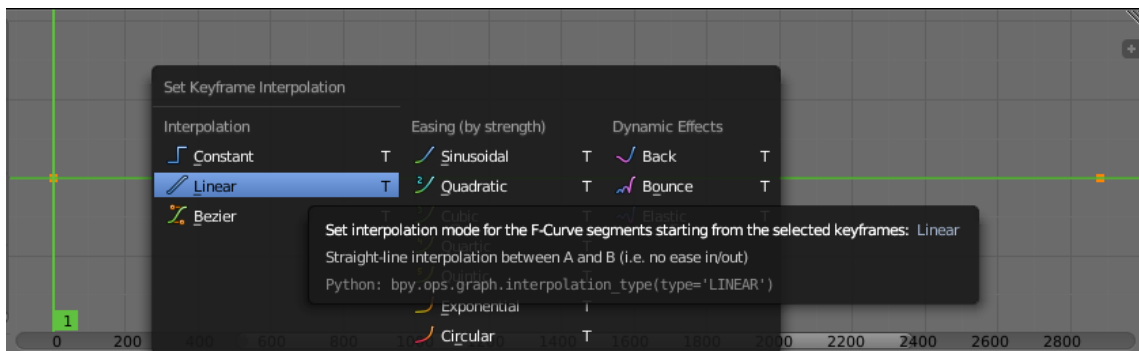
U drugom dijelu eksperimentalnog dijela rada napravljena je animacija u trajanju od 2 minute. Za svaku sekundu animacije korištena su 24 okvira (*framea*). Time se dobio broj od ukupno 2 880 okvira koji čine animaciju. Kao i modeli, princip izrade animacija za sve objekte koji predstavljaju modele planeta je jednak, tako da će postupak izrade biti prikazan na primjeru Saturna.

Izrada animacije počinje dodavanjem *Empty* objekta (slika 34.). Oko modela Sunca dodaje se *Empty* objekt, točnije kugla (*Sphere*) (slika 35.). Zatim se odabire („selektira“) prvo model planeta, a zatim *Empty* objekt. Povezivanje dva objekta izvodi se pomoću *Set Parent* opcije (slika 35.). To u ovom slučaju znači da je *Empty* objekt „roditelj“ objekta koji predstavlja model planeta. Pomoću „roditeljskog“ odnosa između objekata olakšava se postupak izrade animacije. Za svaki model planeta dodaje se po jedan *Empty* objekt da bi se svaki objekt mogao zasebno animirati. Animacija se zapravo primjenjuje na *Empty* objekte, dok ih povezani objekti modela planeta prate.

Animacija se postiže dodavanjem *keyframe*ova. Za svaki *Empty* objekt dodaju se po dva *keyframe*a – jedan *keyframe* za početni položaj te jedan *keyframe* za krajnji položaj. Pri dodavanju *keyframe*ova otvara se izbornik u kojem se izabire vrsta *keyframe*a (postoji više vrsta *keyframe*ova – *Location*, *Rotation*, *Scale* kao i kombinacije te tri vrste). U izborniku se dodaje *Rotation keyframe* (slika 36.). *Keyframe*ovi se dodaju na prvi (1.) i zadnji okvir (2 880.). Na prvom okviru, vrijednost rotacije je jednaka za svaki objekt – 0° . Za referentnu vrijednost rotacije i krajnjeg položaja objekata uzima se rotacija modela Zemlje u trajanju animacije (2 minute). Da bi Zemlja napravila puni krug (360°) oko Sunca potrebno je 365 dana. Kao vrijeme rotacije Zemlje oko Sunca u animaciji se uzima vrijednost od 3,65 sekundi što znači da će za jedan krug oko Sunca u animaciji biti potrebno 87,6 *frame*ova. U 2 minute animacije, Zemlja će napraviti 33 kruga oko Sunca, što odgovara iznosu od $11\ 880^\circ$. Zbog toga parametar rotacije na početnom *keyframe*u iznosi 0° , a na zadnjem *keyframe*u $11\ 880^\circ$.

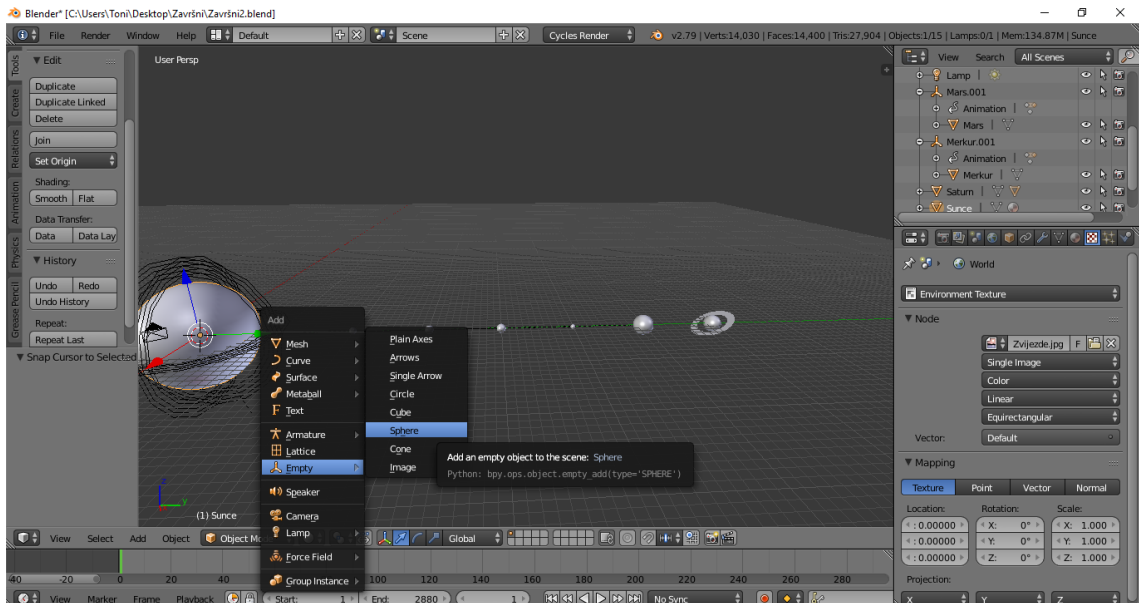
Merkuru je za krug oko Sunca potrebno 87 zemaljskih dana (0,87 s) što u animaciji znači 21 *frame*. U trajanju animacija napravi 137 krugova oko Sunca čime se dobiva vrijednost rotacije od $49\ 320^\circ$. Veneri je za krug oko Sunca potrebno 224,7 zemaljskih dana (2,24 s) što u animaciji znači 53 *frame*a. U trajanju animacije napravi 54 kruga oko Sunca, stoga je iznos rotacije $19\ 440^\circ$. Marsu je za krug oko Sunca potrebno 687 zemaljskih dana (6,87 s) što u animaciji znači 164 *frame*a. U trajanju animacije napravi 17,5 krugova oko Sunca i iznos rotacije je $6\ 300^\circ$. Jupiteru je za krug oko Sunca potrebno 11,86 zemaljskih godina (43,28 s) što u animaciji predstavlja 1 038 *frame*ova. U trajanju animacije napravi 2,5 kruga oko Sunca i iznos rotacije je 900° . Saturnu je za krug oko Sunca potrebno 10 579 zemaljskih dana (105,79 s) što u animaciji predstavlja 2 538 *frame*ova. U trajanju animacije napravi 1,1 krug oko Sunca i iznos rotacije je 396° (slika 37). Uranu su za krug oko Sunca potrebe 84 zemaljske godine (306,6 s) što bi u animaciji predstavljalo 7 358 *frame*ova. Budući da animacija traje 2 880 *frame*ova Uran neće napraviti puni krug oko Sunca u animaciji. U trajanju animacije napraviti će 0,39 krugova oko Sunca te je tako iznos animacije $140,4^\circ$. Neptunu je za krug oko Sunca potrebno 164,8 zemaljskih godina (601,52 s) što u animaciji predstavlja 14 436 *frame*ova. Baš kao i Uran, Neptun neće napraviti puni krug oko Sunca u trajanju animacije, nego će napraviti 0,19 krugova te će vrijednost rotacije iznositi $68,4^\circ$.

Nakon dodavanja *keyframe*ova za rotaciju potrebno je još podesiti gibanje objekata. Odabire se („selektira“) željeni objekt te se iz *Timeline editora* prelazi u *Graph editor*. To je glavni *editor* za animaciju. Nakon ulaska u *Graph editor*, pomoću prečaca na tipkovnici (slovo T) otvara se *Set Keyframe Interpolation* izbornik u kojem se pod izbornikom *Interpolation* odabire opcija *Linear*. Time se postiže jednoliko gibanje modela od početka do kraja animacije.

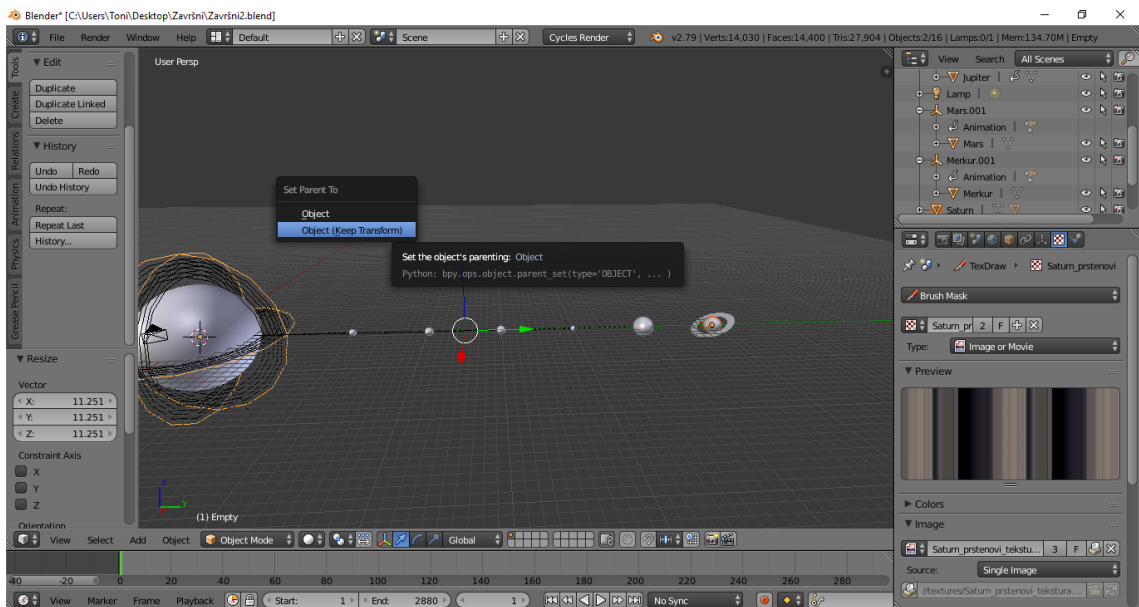


Slika 33. *Set Keyframe Interpolation* izbornik u *Graph editoru*

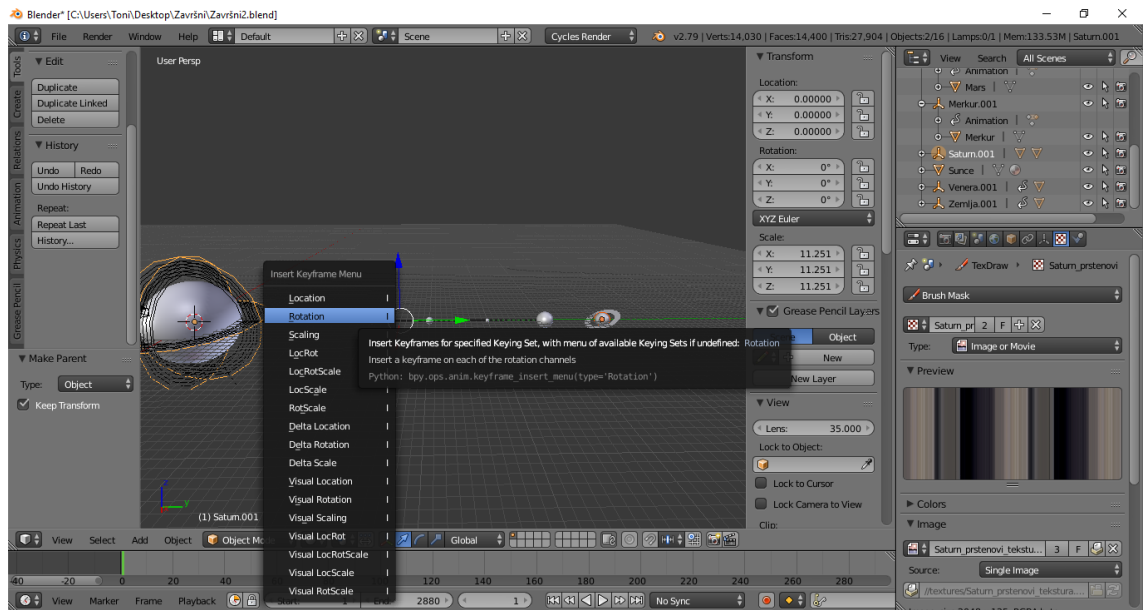
3.2.1. Izrada animacije na primjeru modela Saturna



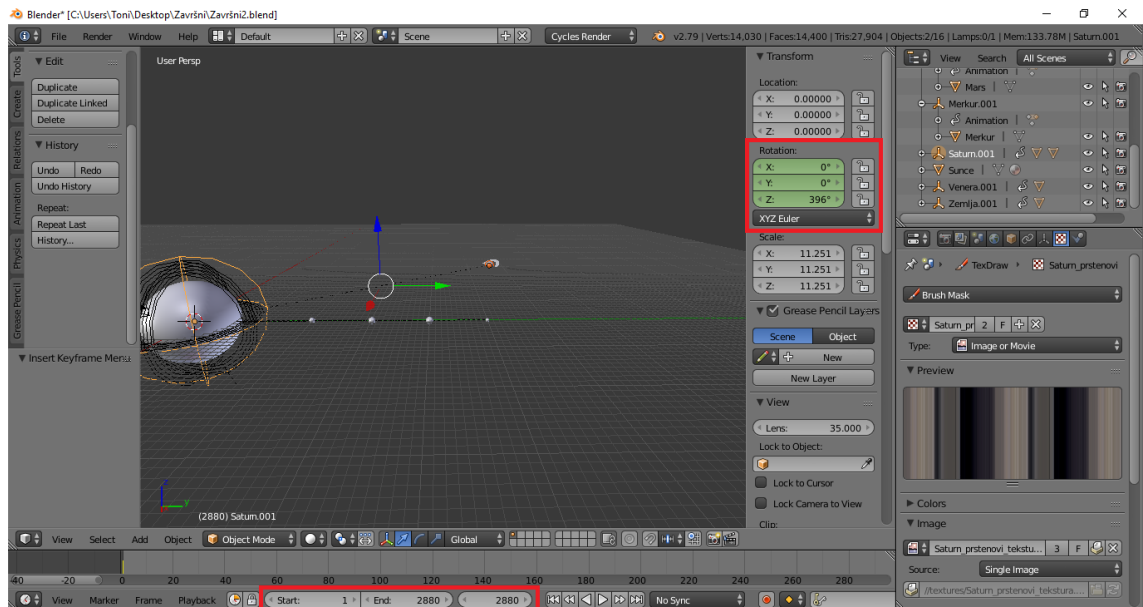
Slika 34. dodavanje *Empty* objekta (*Sphere*)



Slika 35. *Empty* objekt i dodavanje *Parent* odnosa



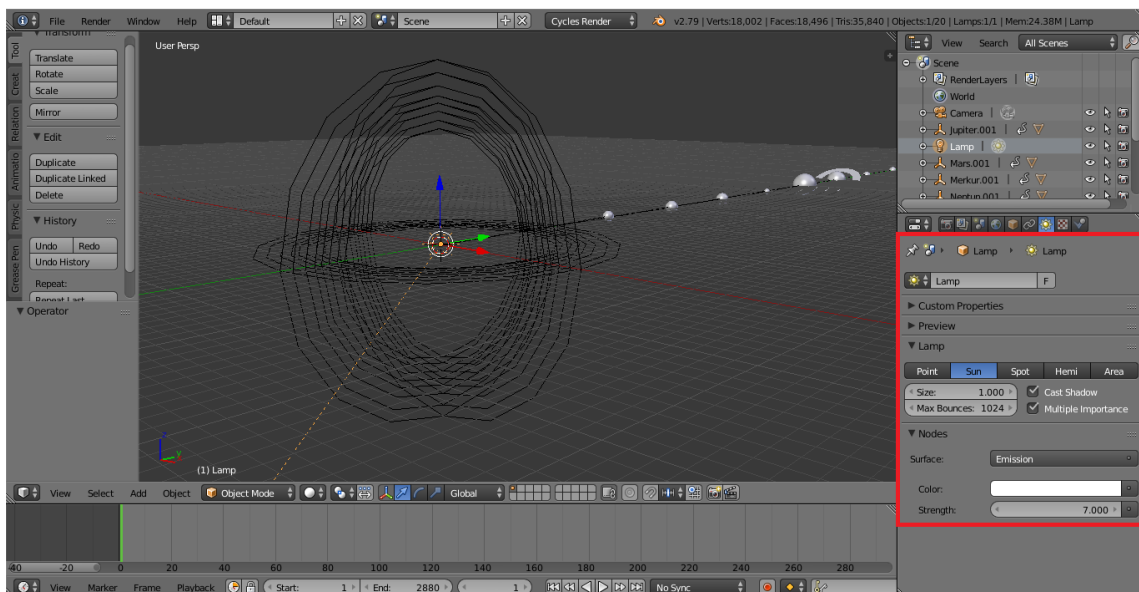
Slika 36. dodavanje *Rotation keyframe*ova



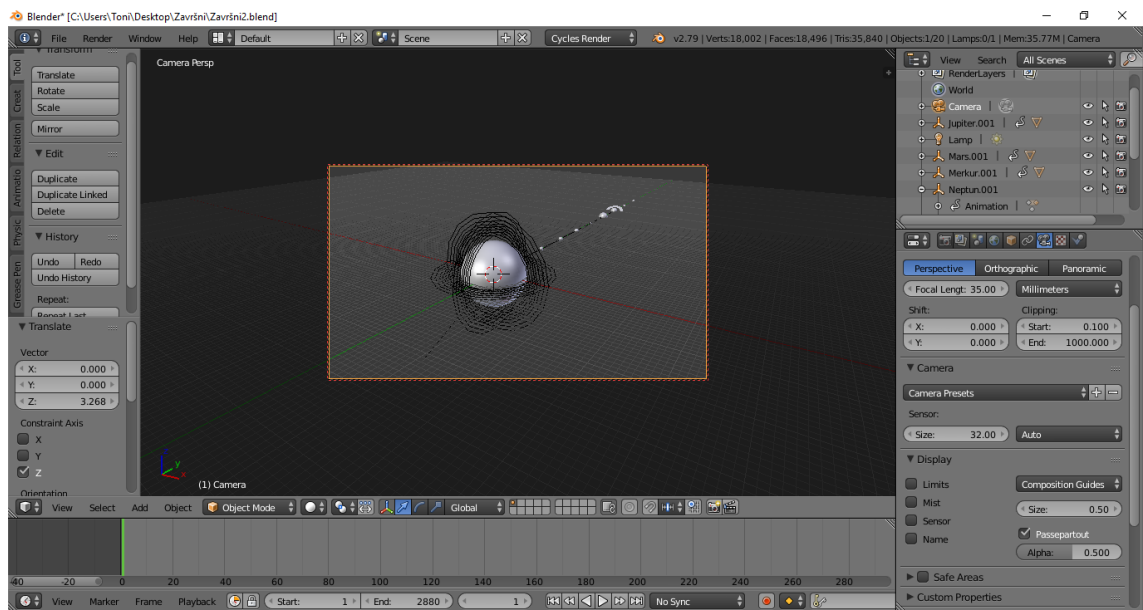
Slika 37. definiranje parametara rotacije

Po završetku izrade modela i definiranja animacije, potrebno je podesiti postavke svjetla, odnosno rasvjete (slika 38.), podesiti položaj kamere (slika 39.) i postavke kamere (slika 40.), te podesiti postavke *renderanja* slike i videa animacije (slika 41.).

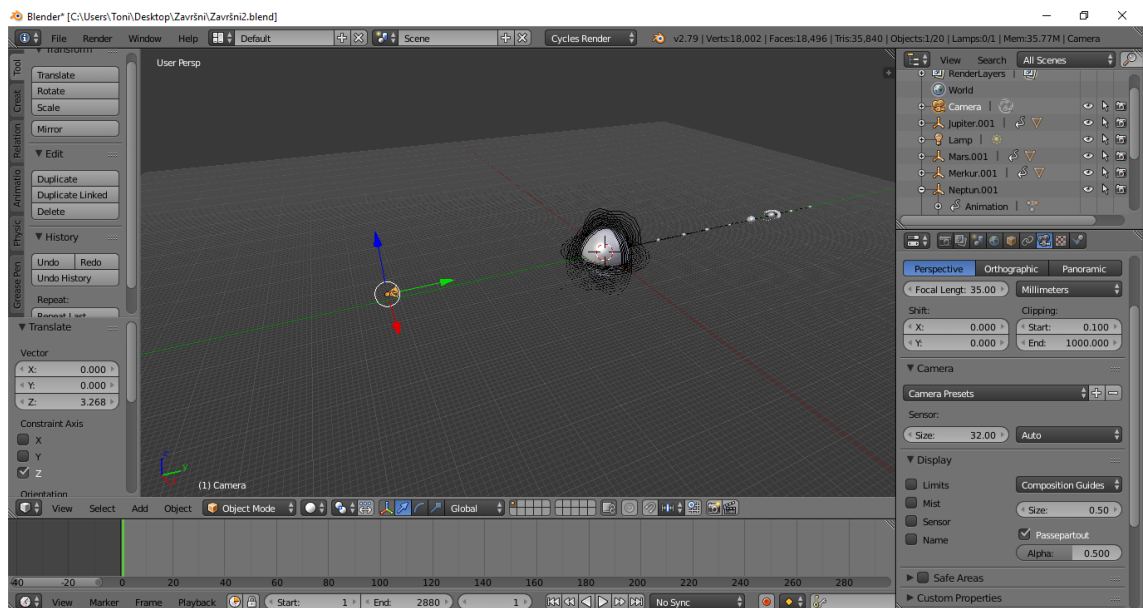
Rasvjetno tijelo postavlja se u središte modela Sunca te se vrijednost emisije svjetla postavlja na 7,0. Da bi se dobila dvodimenzionalna slika izrađenog modela, u *Scene editoru* odabire se opcija *Render*. Rezolucija slike postavlja se na $1\ 920 \times 1\ 080$ px. Rezolucija koja se koristi za animaciju je 960×540 px, uz dodatnu postavku broja okvira po sekundi (*frames per second*) koja se postavlja na *24 fps*. Slika se pohranjuje u formatu *PNG* a animacija se pohranjuje u *AVI JPEG* formatu.



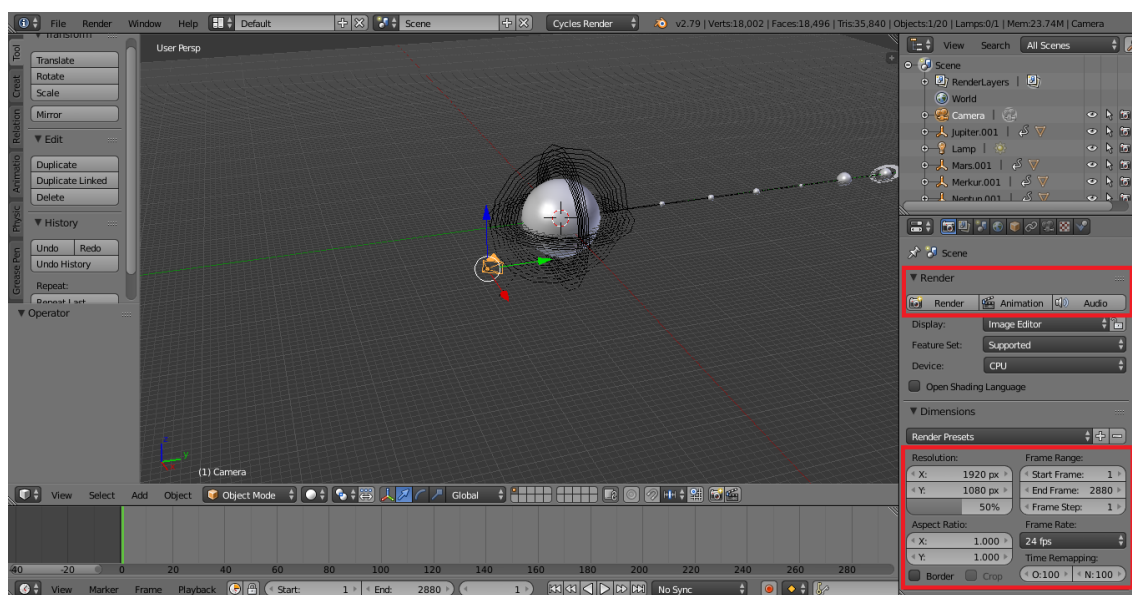
Slika 38. postavke rasvjete



Slika 39. namještanje položaja kamere



Slika 40. postavke kamere



Slika 41. render postavke



Slika 42. render modela Sunčevog sutava

4. Zaključak

Tematika ovog završnog rada je upoznavanje s osnovnim znanjima o 3D računalnoj grafici, 3D modeliranju i 3D animaciji kao i principima izrade istih. U teorijskom dijelu rada objašnjene su temeljne značajke 3D modeliranja i animacije. U eksperimentalnom dijelu rada izrađen je 3D model Sunčevog sustava i animacija istog uz primjenu nekih od objašnjenih metoda iz teorijskog dijela rada. Eksperimentalni dio rada izrađen je u programu za 3D modeliranje i animaciju Blenderu. Blender je besplatan, open-source program za izradu 3D modela i animacija. Izrađeni model sastoji se od modela Sunca i planeta Sunčevog sustava (Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Neptun, Uran). Modeli su izrađeni jednostavnim naredbama za dodavanje objekata, kao i naredbama za njihovo oblikovanje (promjenu dimenzije, dodavanje teksture, i sl.).

Animaciju čine modeli planeta koji rotiraju oko Sunca. Trajanje animacije je 2 minute, a svaka sekunda animacije sastoji se od 24 framea (okvira). Animiranje modela postignuto je dodavanjem keyframeova („ključnih okvira“) na prvi i zadnji frame animacije. Prvi keyframe definira početni položaj modela u animaciji dok se na zadnjem frameu definiraju željeni parametri animacije – u ovom slučaju rotacija koja se definira u stupnjevima. Kao referentna vrijednost za izradu animacije koristilo se trajanje jedne godine na Zemlji (365 dana).

Nakon izrade modela i animacije, izvršeno je renderiranje slike i animacije. Renderiranje je postupak izrade 2D slike ili videozapisa iz 3D modela izrađenog u programu.

3D računalna grafika i 3D modeliranje je područje koje u današnjem svijetu sve više i više dobiva na važnosti i značaju zbog svoje mogućnosti primjene u raznim spektrima znanosti i tehnologije. Najznačajnija primjena 3D računalne grafike i 3D modeliranja je u grafičkoj i filmskoj industriji, ali i u tiskarstvu – 3D tiskanje. 3D tiskanje je postupak računalno kontrolirane izrade trodimenzionalnih objekata prema unaprijed izrađenom 3D modelu.

5. Popis slika

Slika 3.

https://docs.blender.org/manual/en/dev/images/interface_window-system_introduction_default-screen.png

Slika 4.

https://docs.blender.org/manual/en/dev/images/editors_index_menu.png

Slika 5.

https://docs.blender.org/manual/en/dev/images/modeling_meshes_primitives_all.png

Slika 6.

https://docs.blender.org/manual/en/dev/images/modeling metas_primitives_all-five.png

Slika 7.

https://docs.blender.org/manual/en/dev/images/modeling_emptys_draw-types.png

Slika 8.

https://docs.blender.org/manual/en/dev/images/modeling_modifiers_introduction_menu.png

Teksture Sunca i planeta

<https://www.solarsystemscope.com/textures/>

6. Literatura

1. https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling
2. https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics
3. https://hr.wikipedia.org/wiki/3D_modeliranje
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_animation
5. Vaughan W., (2012.), Digital Modeling, New Riders
6. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_3D_modeling_software
7. Chopine A., (2011.), 3D Art Essentials – The Fundamentals of 3D Modeling, Texturing and Animation, Elsevier Inc.
8. Hess R., (2010.), Blender Foundations – The Essential Guide to Learning Blender 2.6, Elsevier Inc.
9. Hess R., (2009.), Animating with Blender – How to Create Short Animations from Start to Finish, Elsevier Inc.
10. <https://computer.howstuffworks.com/3dgraphics.htm>
11. https://hr.wikipedia.org/wiki/3D_ra%C4%8Dunalne_grafike
12. Lauer D.A., Pentak S., (2012.), Design Basics, Eight Edition, Clark Baxter
13. <https://www.blender.org/about/>
14. <https://www.blender.org/features/>
15. <https://docs.blender.org/manual/en/dev/>