

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

STJEPAN LAĆA

**USPOREDBA SIMULACIJA SUDARA
U BLENDERU I 3DS MAXU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

STJEPAN LAĆA

USPOREDBA SIMULACIJA SUDARA U BLENDERU I 3DS MAXU

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Sanja Bjelovučić Kopilović

Student:

Stjepan Laća

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

Simulacijom se može prikazati gibanje predmeta ili čestica u prostoru za dobivanje što realnijeg prikaza njihova ponašanja u stvarnom svijetu. Za izradu simulacije potrebno je grafički što moćnije računalo, te neki od programa za izradu 3D objekata i animacija, u ovom slučaju Blender i Autodeskov 3ds Max. U ovome radu pokušat će se napraviti simulacija ispaljene kugle koja razbija veliki objekt u puno malih dijelova. Animacija počinje ispaljivanjem vodoravnoga hitca prema objektu predviđenom za razbijanje, te se tako događa sudar s objektima. Programi koji će se koristiti su Blender i 3ds Max. Blender je besplatan, a Autodeskov 3ds Max nije, ali je zato industrijski standard i ima širu uporabu. Naglasak cijeloga rada bit će na postizanju realnih simulacija gibanja kugle i razbijanja objekta na dijelove. Ciljani objekt prije pogotka bit će puno geometrijski tijelo, a razbijeni dijelovi imat će svaki svoj smjer gibanja ovisno o postavljenim mehaničkim parametrima na pogođenom objektu. Svi postavljeni parametri, kao i parametri izvedbe računala, bit će opisani u detaljnim koracima. Simulacija će se dodatno vizualno poboljšati teksturom i prikladnom rasvjetom. Testiranje će se provesti na stolnom i prijenosnom računalu sličnih specifikacija.

Ključne riječi: animacija, simulacija, Blender, 3ds Max, hitac, sudar

ABSTRACT

Simulating can be used for showing the movement of objects or particles in space on the most realistic way possible to represent their behavior in the real world. To create a simulation it's necessary to have graphically powerful computer, and some of the programs for the creation of 3D objects and animation, in this case Blender and Autodesk 3ds Max. In this project the goal is to do the simulation of fired balls that smash up large objects in a lot of small parts. The animation begins with firing horizontal shots towards the object that is specified for smashing, and that results with impact. Programs that will be used are Blender and 3ds Max. Blender is free, and Autodesk 3ds Max is not, but it is the industry standard and has a broader use. The goal of the whole work will be achieving realistic simulation of motion balls and breaking the object into parts. The target object before the shot will be full geometric body, and each of the broken parts will have their own movement direction depending upon the mechanical parameters on the affected objects. All set parameters and performance parameters of the computer, will be described in detailed steps. Simulation will be further improved with visual texture and appropriate lighting. Testing will be performed on desktop and on laptop with similar specifications.

Key words: animation, simulation, Blender, 3ds Max, shot, collision

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Modeliranje kao osnova izrade simulacije.....	1
1.2. Metodologija i plan istraživanja.....	2
1.3. Cilj i hipoteza.....	2
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1. Blender.....	3
2.2. Autodesk 3ds Max.....	4
2.3. Razlike između Blendera i 3ds Maxa.....	5
2.4. Izrada scena.....	6
2.4.1. Knjiga snimanja.....	6
2.4.2. Izrada scene u Blenderu.....	7
2.4.2.1. Pod.....	8
2.4.2.2. Objekt za razbijanje.....	9
2.4.2.3. Postolje.....	13
2.4.2.4. Kugla.....	14
2.4.2.5. Izbijač.....	15
2.4.3. Izrada scene u 3ds Maxu.....	16
2.4.3.1. Pod.....	18
2.4.3.2. Objekt za razbijanje.....	19
2.4.3.3. Postolje.....	21
2.4.3.4. Kugla.....	21
2.4.3.5. Izbijač.....	22
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	24
3.1. Postavljanje parametara simulacije u Blenderu.....	24
3.1.1. Postavljanje ključnih točaka.....	24
3.1.2. Rigid Body.....	27
3.1.3. Testiranje simulacije.....	31
3.2. Postavljanje parametara simulacije u 3ds Maxu.....	33
3.2.1. Postavljanje ključnih točaka.....	33
3.2.2. Mass FX Rigid Body.....	36
3.2.3. Testiranje simulacije.....	40

3.3. Iscrtavanje simulacija.....	42
3.3.1. Cycle iscrtavač.....	42
3.3.1.1. Postavke iscrtavača.....	43
3.3.1.2. Postavke svjetlosti.....	44
3.3.1.3. Postavke materijala.....	44
3.3.1.4. Postavke kamere.....	45
3.3.2. Mental Ray iscrtavač.....	46
3.3.2.1. Postavke iscrtavača.....	47
3.3.2.2. Postavke svjetlosti.....	48
3.3.2.3. Postavke materijala.....	48
3.3.2.4. Postavke kamere.....	50
3.3.3. Usporedba rezultata.....	51
3.4. Testiranje iscrtavanja na računalima.....	52
3.4.1. Cycle iscrtavač.....	53
3.4.2. Mental Ray iscrtavač.....	53
3.4.3. Usporedba rezultata.....	56
3.5. Potvrđivanje hipoteza.....	57
3.5.1. Potvrđivanje 1. hipoteze.....	57
3.5.2. Potvrđivanje 2. hipoteze.....	57
4. ZAKLJUČAK.....	58
5. LITERATURA.....	59

1. UVOD

Kroz cijelu povijest čovjek je želio vizualnim i drugim sredstvima obilježiti događaje i svoja postignuća kako bi budući naraštaji imali iz čega učiti. Prvobitni ljudi su od pamtivijeka crtežom bilježili događaje iz svoga života, najprije na stjenkama špilja, a zatim na drvetu, papiru i ostalim materijalima. Ilustracije su se tisućama godina radile na klasičan način, a pojavom računala počelo se na zaslonu manipulirati podacima. Čovjek je imao potrebu prikazati kako doživljava svijet oko sebe služeći se sredstvima koja su mu u pojedinim povijesnim razdobljima bila na raspolaganju. Razvoj znanosti omogućio je sve savršenija sredstva za predočavanje pojava, a informatika je otkrila neslućene mogućnosti nezamislive prije samo nekoliko desetljeća. Ne samo da se stvarni događaj ili pojava mogu zabilježiti, nego se mogu i simulirati, oponašati, davanjem potrebnih parametara. Fizikalne pojave mogu se proizvesti kao realne ili nerealne, njima se može manipulirati, a sve s ciljem stvaranja virtualne slike tih pojava umjesto stvarnih. Ta je mogućnost iskorištena u raznim područjima ljudske djelatnosti, a najviše u videoigrama i filmskoj industriji.

Danas se simulacijom može zamijeniti stvarni događaj jer svojim parametrima vrlo realno oponaša stvarno gibanje čestica ili tijela. Računala su sve snažnija i pojavom novih tehnoloških postignuća svakih nekoliko godina znanost i zabavna industrija doživljavaju novi, nevjerojatan procvat.

Prvi korak u izradi simulacije je kreiranje scene s modelima, odnosno modeliranje.

1.1. Modeliranje kao osnova izrade simulacije

Prije svake simulacije moraju se izraditi modeli ili objekti kojima se daju određena svojstva. Ako se simulacija treba dogoditi u prostoru, nužno je stvoriti 3D modele. Postoji više načina stvaranja 3D modela, ali samo je nekoliko tehnika postiglo planetarnu popularnost i one se mogu implementirati u programe Blender i 3ds Max. To se ponajprije odnosi na poligonalno, NURBS i *Patch* modeliranje.

Poligonalno modeliranje je modeliranje u više točaka (eng. *vertices*) međusobno povezanih ravnim linijama koje tvore poligon. Najmanji poligon sadrži tri međusobno povezane točke i zove se trokut (eng. *tris*). Poligon koji se sastoji od četiri točke naziva se *quad* i on je izbor većine 3D modelatora. Poligonalno modeliranje pogodnije je za anorgansko kreiranje, modeliranje tehničkih objekata, arhitekture, strojeva i naprava.

NURBS (*Non-Uniform Rational Bezier Splines*) je matematički izraz koji 3D modele prikazuje pomoću krivulja i površina. To je zapravo virtualno kiparstvo koje služi ponajviše za organsko kreiranje živih bića, ljudi i životinja.

Postoji još jedna tehnika koja spaja više samostalnih linija u 3D površinu zvanu zakrpa (eng. *patch*), gdje više spojenih zakrpa čine 3D model. 3D modelatori često koriste referencu iz stvarnog svijeta te skice modela da bi olakšali proces modeliranja.

Za simulaciju eksplozije, vatre, tekućine, ponašanja jata ptica, roja kukaca koriste se čestice (eng. *particles*) koje zapravo generiraju veliku količinu koordinata. Zbog velike količine podataka, može se usporiti trajanje izvedbe simulacije. [1][2]

1.2. Metodologija i plan istraživanja

U teorijskom dijelu opisat će se opće razlike između 3D programa Blender i 3ds Max. Napravit će se knjiga snimanja (engl. *storyboard*) kako bi se točno znao raspored objekata i njihova gibanja. Zatim će se modelirati, teksturirati i dodati mehanički parametri (težine, sile, čvrstoće) objektima.

U eksperimentalnom dijelu mijenjat će se parametri kao što su sila vodoravnog hitca, čvrstoća i tvrdoća objekata. Nakon ispisa parametara i dostatnog broja testnih simulacija, dodat će se i rasvjeta za što bolji vizualni dojam. Dobiveni rezultati trebali bi biti fotorealistične animacije objekata s varijacijama gore navedenih kao i nekih drugih parametara, te tablice korištenih parametara s pripadajućim grafikonima. Sve prikaze simulacija mora se iscrtati kao konačne verzije video isječaka uz eventualni dodatak zvučne pozadine.

1.3. Cilj i hipoteze

Cilj rada je napraviti što realniju simulaciju sudara uzrokovanog vodoravnim hitcem odabranog objekta u mirujućem objektu, te uočiti razlike između Blendera i 3ds Maxa. Prilikom izrade simulacija treba istražiti koji ih program realnije predodžuje, i uz koje parametre. Uz razlike među programima, mjerit će se i uspoređivati brzina iscrtavanja stolnog i prijenosnog računala identičnih specifikacija.

Prva hipoteza: Blender je dostojan suparnik Autodeskovu standardu u modeliranju i mehaničkoj simulaciji jednostavnog sudara iako je besplatan.

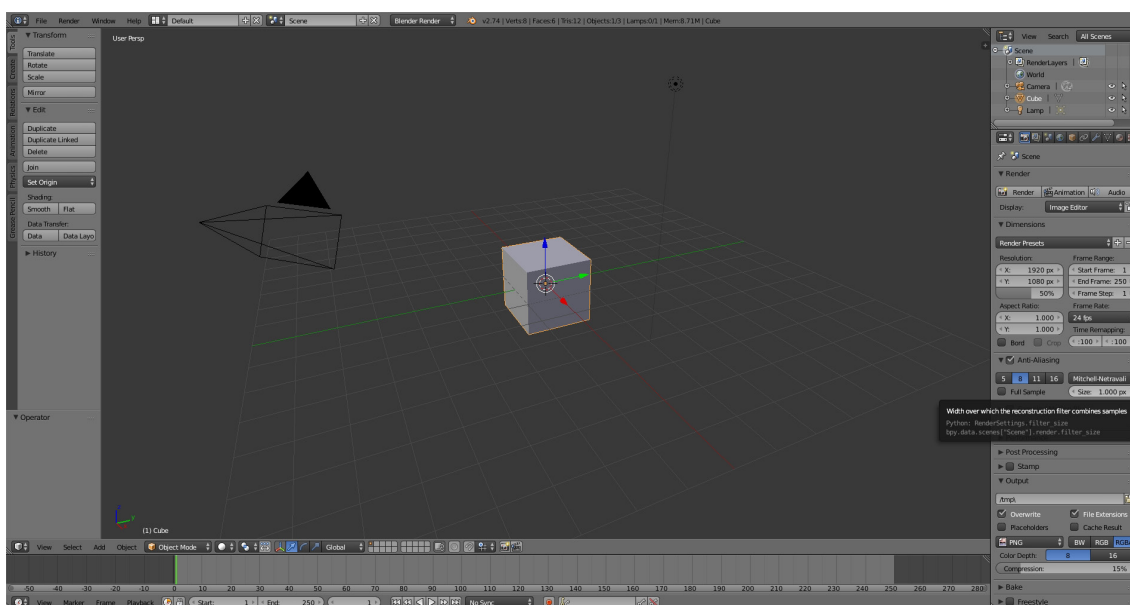
Druga hipoteza: Prijenosno računalo, bez obzira na svoja toplinska i ostala ograničenja, dostojna je zamjena stolnom računalu identičnih specifikacija.

2. TEORIJSKI DIO

U teorijskom dijelu opisat će se programi za modeliranje Blender i 3ds Max. Obrazložiti će se razlike između njih i mogućnosti, s obzirom da je Blender besplatan i da se razvija uz pomoć donacija, a 3ds Max je Autodeskov najrašireniji program za modeliranje i postavljen je kao industrijski standard. Blender je zadnjih nekoliko godina jako napredovao i zajednica ljubitelja Blendera se jako brzo širi, ali 3ds Max je i dalje najrašireniji program u toj vrsti industrije. U ovom radu koristit će se Blender 2.74 i 3ds Max 2015.

2.1. Blender

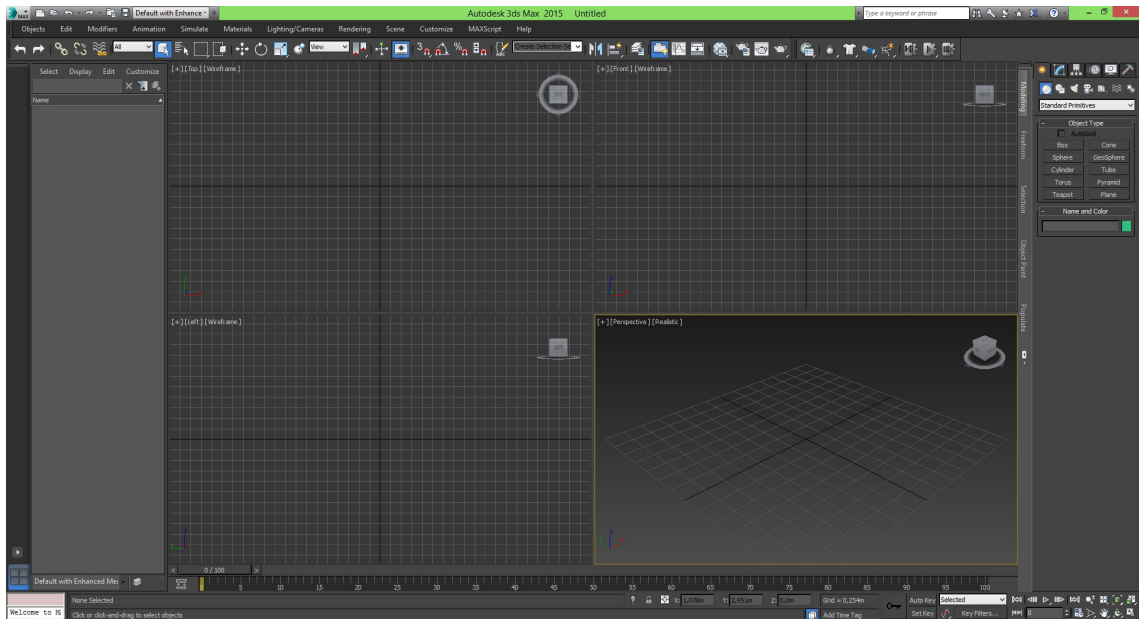
Blender je besplatan program otvorenog koda (eng. *open source*) za 3D modeliranje iz Blender zaklade (eng. *Blender Foundation*). Koristi se za modeliranje, animiranje, simuliranje, iscrtavanje, slaganje i praćenje pokreta, za video obradu i stvaranje računalne igre. Napredni korisnici pomoću *Python* programskog jezika izrađuju nove specijalizirane alate koji su uključeni u buduća izdanja Blendera. Blender je dobro prilagođen pojedincima i malim studijima koji mogu stvarati modele, animacije i videoigre i zaraditi bez davanja udjela Blender zakladi. Sastoji se od dva iscrtavača (eng. *render*), *Blender render* i *Cycle render*. *Cycle* je fotorealističan iscrtavač koji se koristi u izradi realnih videa, ali zato troši puno računalnih resursa. Sjedište Blender zaklade je u Nizozemskoj (sl. 1). [3][4]



Slika 1. Sučelje Blendera 2.74

2.2. Autodesk 3ds Max

Autodesk 3ds Max je industrijski standard Autodesk korporacije koja pod svojim okriljem ima i druge značajne programe kao *Maya*, *AutoCAD*, *Inventor*, *Revit* itd. Najviše se koristi u industriji videoigara, arhitekturi i filmskoj industriji. Glavni iscrtavač je *Mental Ray*. Autodesk nakon konzultacija s korisnicima izbacuje servisne pakete (eng. *Service pack*) kojima se isprave moguće pogriješke i dodaju još neki sadržaji. Sjedište Autodesk je u Sjedinjenim Američkim Državama (sl. 2). [5]



Slika 2. Sučelje 3ds Maxa 2015

2.3. Razlike između Blendera i 3ds Maxa

Osnovna razlika između Blendera i 3ds Maxa je korisničko sučelje. 3ds Max je baziran na klicanju lijevom tipkom miša, a Blender na desnom kliku miša što je dosta zbunjujuće korisnicima koji prelaze s jednog na drugi program ili u isto vrijeme uče oba programa, iako je u novijim verzijama Blender uveo opciju da se ponaša kao 3ds Max ili Maya. Navigacija po sceni, rotacije, povećanje dimenzija, pogledi na scenu, mogu se na isti način postići. Razlika je i u nastajanju početnih objekata jer Blender napravi gotovo tijelo, a u 3ds Maxu se mora prvo odrediti baza objekta, zatim se povlači visina. U Blenderu su objekti sive boje dok im se ne dodijeli materijal. 3ds Max daje nasumično boju bez materijala, što je vizualna prednost na početku jer se lakše razlikuju objekti. Parametri duljine, širine i visine u Blenderu su samo označeni po osima XYZ, dok u 3ds Maxu postoje oznake za duljinu (*length*), širinu (*width*) i visinu (*height*). Razlika je i u središtu objekta (*pivot*), koje je u Blenderu automatski u sredini tijela, dok je u 3ds Maxu na bazi tijela. U 3ds Maxu će se *pivot* naknadno postavljati u središte tijela jer lokacije objekta moraju biti potpuno identične za što bolju usporedbu simulacije. Razlika je i u XYZ osima gdje je os X u Blenderu prema jugoistoku scene, dok je u 3ds Maxu prema sjeveroistoku po početnom pogledu na scenu. Sve ostalo je svako na svoj način postavljeno, ali opća pravila XYZ osi koordinatnog sustava su prisutna u svakom programu za modeliranje. Ovdje će se izrađivati simulacije i uspoređivati programi na početnim postavkama uz male promjene u izgledu alatnih traka.

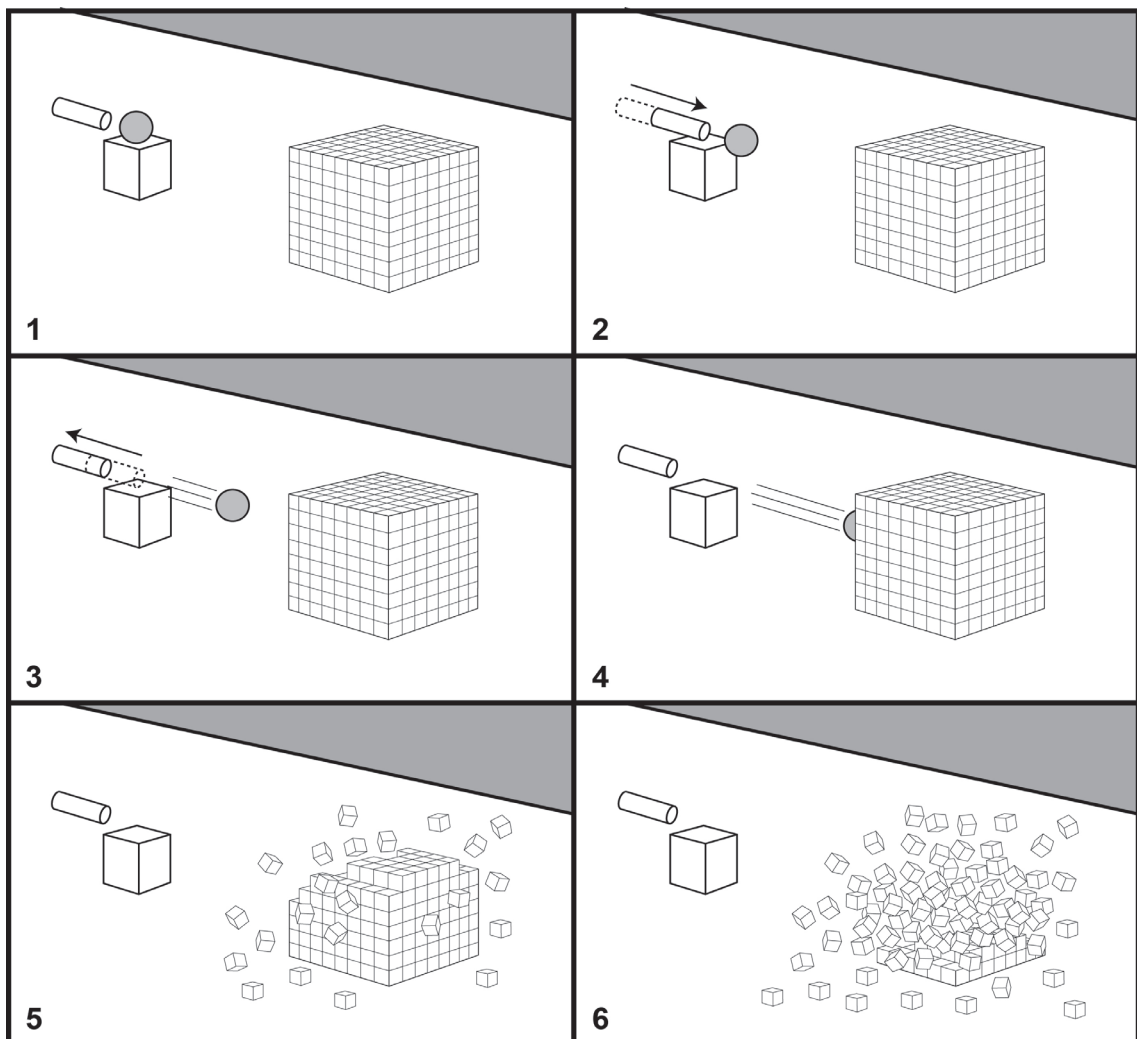
Blender nije zahtjevan za instalaciju, ne zauzima puno prostora na tvrdom disku, samo se uđe na službenu stranicu, besplatno preuzme instalacijska datoteka od 70 megabajta i instalira na osobno računalo. Nakon instaliranja zauzme se oko 260 megabajta što i dalje nije puno za program ovakvog kalibra. Blender često izdaje noviju verziju s dodatcima i poboljšanjima, dok 3ds Max jednom godišnje izbacuje verziju naziva kao i godina, te unutar te verzije izbacuje servisne pakete. Za 3ds Max treba izdvojiti znatna sredstva za licencu i imati dovoljno mjesta na tvrdom disku jer uz popratni sadržaj zauzima prostor od 4.5 gigabajta, ali zato raspolaže velikim brojem opcija u standardnom i arhitektonskom modeliranju. [3][4][5]

2.4. Izrada scena

Prije početka izrade scena izrađuje se knjiga snimanja (*storyboard*) da bi se ugrubo analizirao izgled scene i ponašanje objekata. Prva scena će se izraditi u Blenderu, a zatim identična u 3ds Maxu. Jako se mora paziti na dimenzije objekata, koje moraju biti velike u odnosu na stvarni svijet jer se tako bolje simulira fizika u simulaciji. Nakon završetka izrade scena u oba programa, slijedi eksperimentalni dio u kojem će se postavljati ključne točke i parametri za simulaciju fizike, te iscrtavanje fotorealističnim iscrtavačima.

2.4.1. Knjiga snimanja

Simulacija se sastoji od površine poda, postolja za kuglu, valjka za izbijanje, kugle i velikog objekta koji se razbija, te svjetla koje se naknadno dodaje u scenu za potrebe završnog iscrtavanja. Ova simulacija se zasniva na fizici krutih tijela (*rigid body*) i na ključnim točkama (*key frame*) (sl. 3).



Slika 3. Storyboard

1. Prikaz statične početne scene kugle na postolju, valjka izbijača i objekta za razbijanje.
2. Izbijač udara u kuglu i izbacuje je prema objektu za razbijanje.
3. Izbijač se vraća u početni položaj dok se kugla kreće prema objektu.
4. Kugla se kreće prema objektu, a izbijač je statičan.
5. Kugla sudarom razbija objekt na male dijelove.
6. Objekt se nastavlja raspadati dok se dijelovi potpuno ne zaustave.

2.4.2. Izrada scene u Blenderu

Pri otvaranju Blendera pojavljuje se mala naslovnica (*splash screen*) koja prikazuje verziju programa s pripadajućom slikom scene, rad istaknutog modelatora. S lijeve strane su poveznice (*links*) za službenu stranicu, donacije, zahvale i značajke ove verzije. S desne strane je popis nedavno otvorenih scena (*recent*), slično kao u ostalim programima. Iznad popisa je interakcija (*interaction*) u kojoj se može namjestiti ponašanje Blendera (sl. 4).

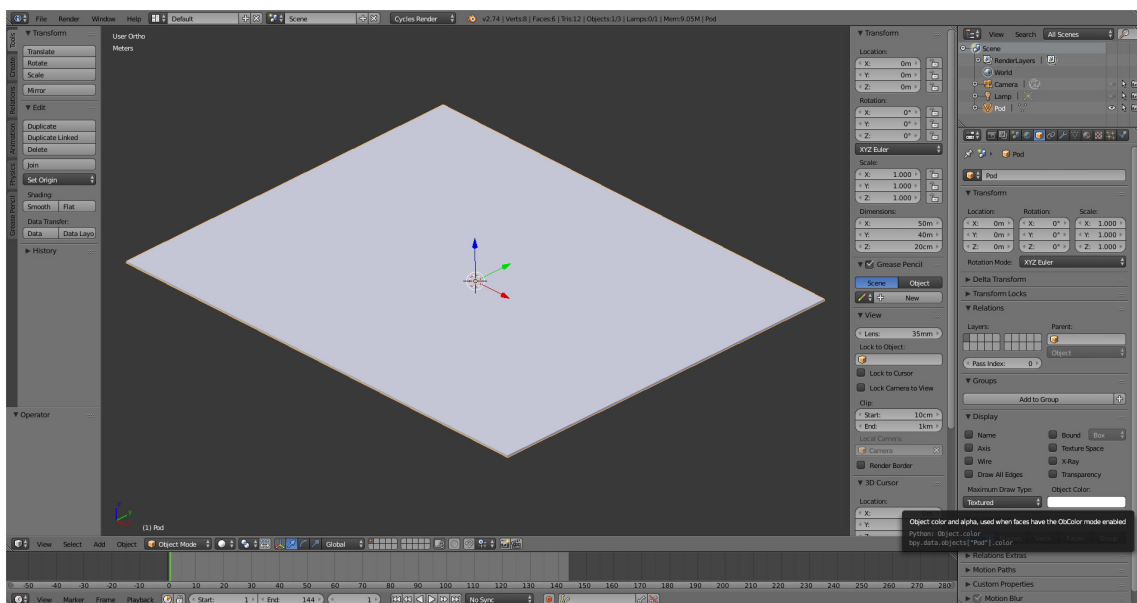


Slika 4. *Splash screen* Blendera 2.74

Za novu scenu klikne se lijevom tipkom miša na prazni prostor i *Splash screen* će nestati. Radit će se u ortogonalnom pogledu (kratica *ortho*) kako bi se najbolje vizualno vidjela točnost objekta koji se modelira. Treba obratiti pozornost da svaki zasebni objekt bude kreiran u *Object mode* opciji kako bi međusobno bili nezavisni. Na sceni je kocka (*cube*) koja je po tvorničkim postavkama u sredini XYZ osi. Kocka je u početnoj sceni jer se najčešće počinje od nje u izradi scene. Prije početka rada treba postaviti parametre da mjere budu po europskom standardu (metri, centimetri). To se mijenja pod opcijom *Scene > Units > Metric* u desnoj alatnoj traci programa. Najbolje je i odmah namjestiti vrstu iscrtavača na *Cycle render* zbog određivanja radne boje objektima. Pod opcijom *View* s donje lijeve strane Blendera može se odabrati neki od pogleda na scenu uz prikaze kratica na tipkovnici.

2.4.2.1. Pod

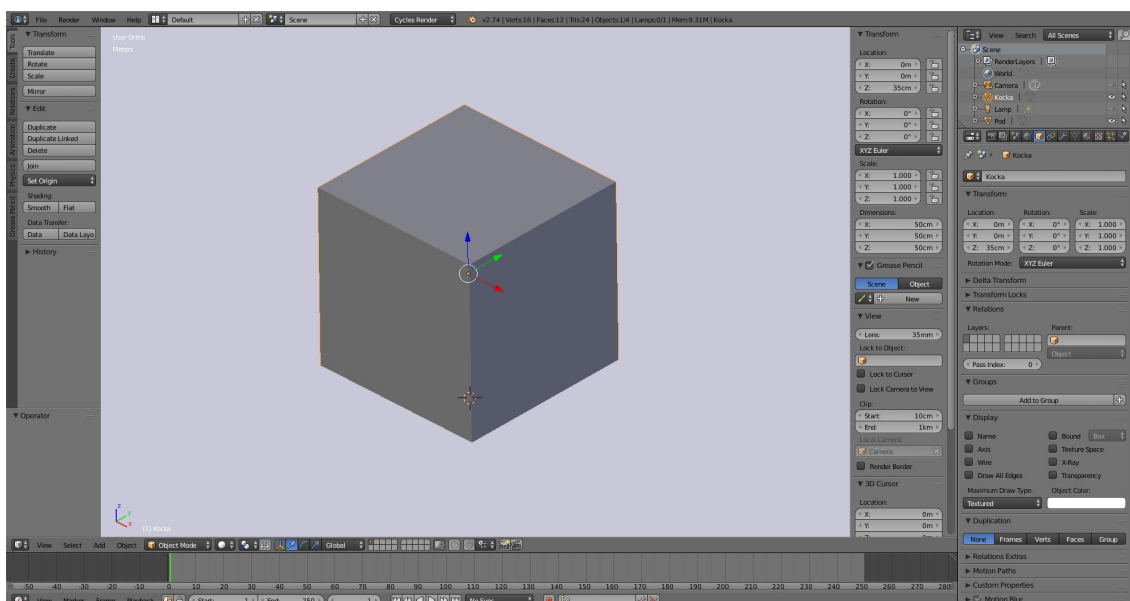
Pod se može izraditi od kocke na početku scene. Dok je kocka i dalje odabrana, stisne se znak + u kutu scene ili kratica N na tipkovnici za postavke objekta i scene, te se pod opcijom *Dimensions* mijenja dimenzija tijela. Dimenzije poda su 50 metara po X osi, 40 metara po Y osi, 20 centimetara (0.20 metra) po Z osi. Upisivanjem broja 0.5, Blender automatski promijeni u 50 cm. Glavna točka poda (*pivot*) je na 0,0,0 parametrima XYZ osi koordinatnog sustava. Preporučeno je resetirati skalu dimenzija kraticom Ctrl+A u kojoj se otvori *Apply*, te izabere *Scale* kako bi tijelo opet bilo u početnoj skali. Tako je i veća vjerojatnost točnosti izvedbe simulacije. Najbolje je odmah dodijeliti radnu boju poda kako bi se vizualno razlikovao od objekata na njemu. To se izvodi odabirom opcije *Material* u desnoj alatnoj traci Blendera. Kad se odabere *Material*, izabere se naredba *New* te se automatski dodijeli bijela boja i osnovna svojstva koja će za sada biti dovoljna u ovom poglavlju (sl. 5).



Slika 5. Pod na kojem se odvija simulacija u Blenderu

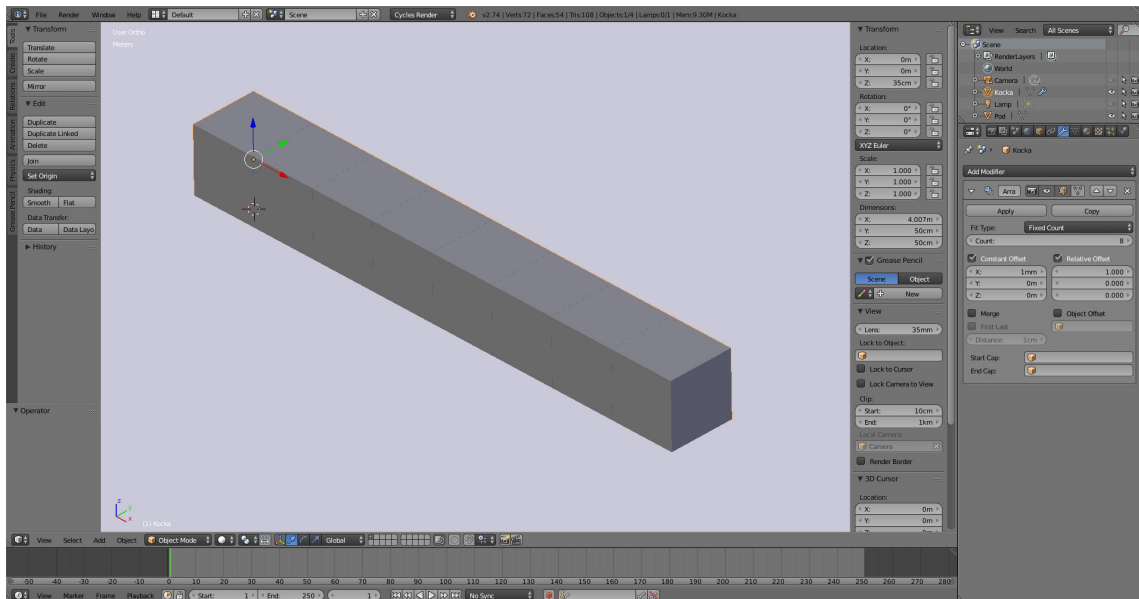
2.4.2.2. Objekt za razbijanje

Nakon modeliranja *pada* slijedi modeliranje objekta za razbijanje koji se sastoji od skupine malih kocaka koje zajedno čine veliki objekt. Pod opcijom *Create* s lijeve strane programa nalazi se popis gotovih modela koji su temelj daljnjim kompleksnijim modelima koje autor modelira. Klikne se na model *Cube* i na nultoj točki XYZ osi nastaje kocka, ako je crveno-bijela kružnica (*cursor*) u toj koordinati. Da bi svaki sljedeći objekt nastao u središtu scene, potrebno je kraticom Shift+C namjestiti *cursor* u središte scene. Kocka se pomakne iznad *poda* da se bolje vidi te se upisuje dimenzija od 50 cm po svim osima zbog same jednakostraničnosti kocke. I ovdje se ponovi resetiranje skale dimenzija (sl. 6).



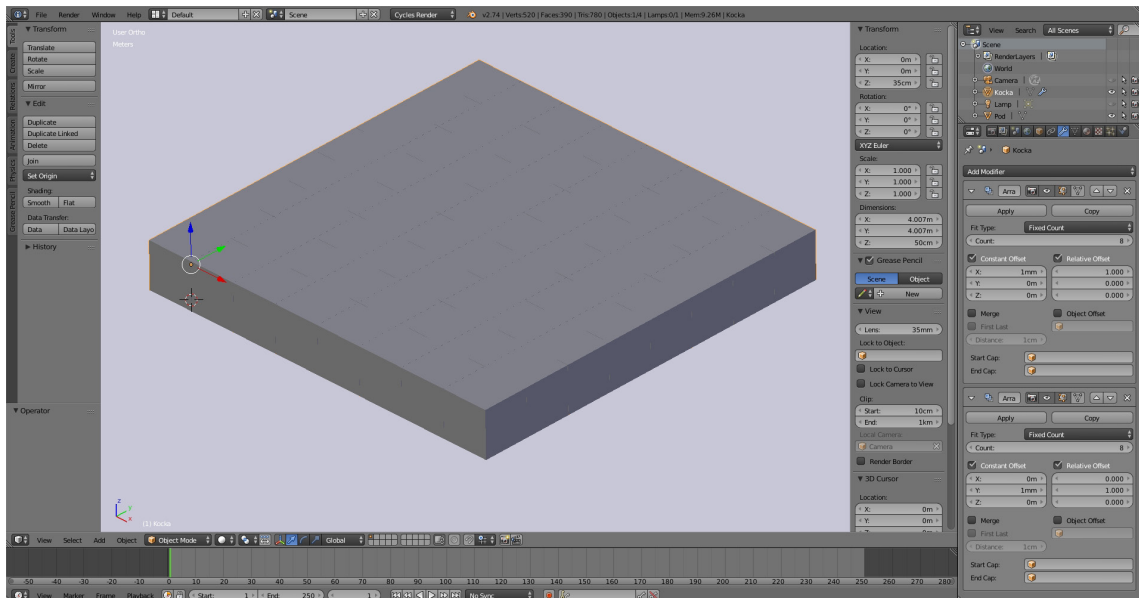
Slika 6. Prva kocka na podu

Najbolji način za kreiranje objekta za razbijanje je skupina kocaka koja nastaje modifikatorom *Array* u *Object modifier* opciji s desne strane Blendera. Za kompletnu skupinu kocaka potrebne su tri *Array* naredbe zbog XYZ osi. Prva *Array* naredba izvodi se po X, druga po Y i treća po Z osi. Pod naredbom *Count* upisuje se broj 8 da bi se pod X os dobila navedena količina kocaka. Nakon upisa broja uključuje se opcija *Constant Offset* i upisuje 1 mm po X osi kako bi se stvorio razmak od jednoga milimetra između svake kocke jer je za uspješnu simulaciju razmak preporučan. Desno od *Constant Offset* je *Relative Offset* koji je tvornički uključen na X os pod vrijednošću 1.000. Može se i pod *Relative Offset* povećati vrijednost iznad 1.000, ali ovako je lakše odrediti jedan milimetar. *Pivot* je ostao na prvoj kocki koja ima funkciju glavne kocke u redu, a to će se kasnije poništiti da svaka kocka bude potpuno neovisni objekt. Modifikator se na prihvati odmah (*Apply*) jer se sljedeći modifikator mora povezati s ovim (sl. 7). [6]



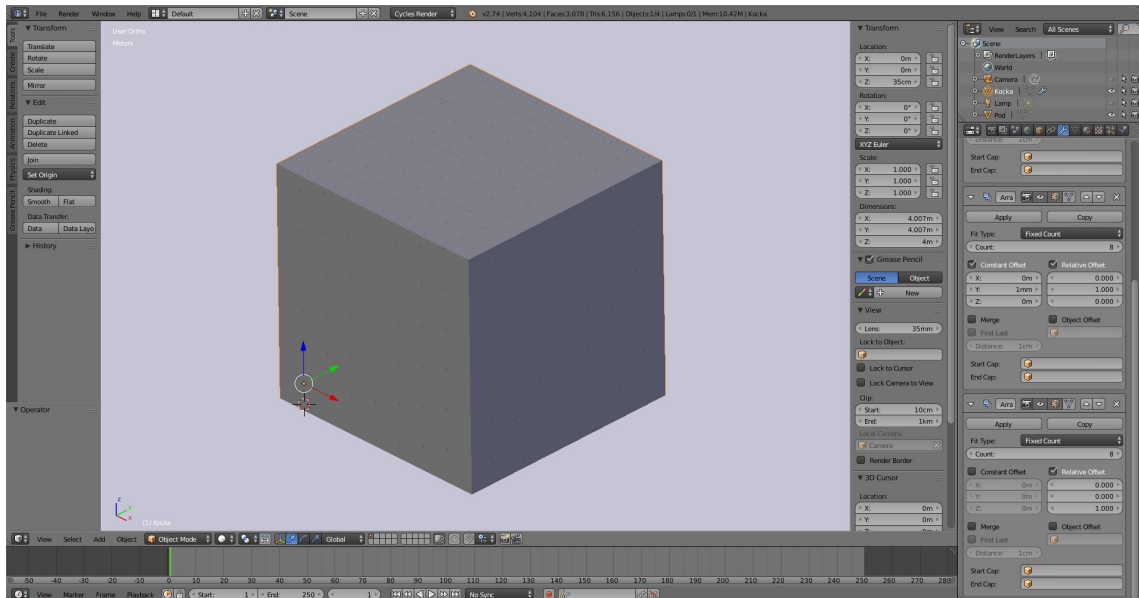
Slika 7. Naredba Array po X osi

Sljedeći Array izvodi se po Y osi kako bi se dobila duljina i širina objekta za razbijanje, a zatim po Z osi da se dobije potpuna skupina kocaka. Izabere se novi Array modifikator i upiše vrijednost 8 u količinu, ponište se X parametri, te se upišu isti brojevi, ali pod Y os u *Constant Offset* i *Relative Offset*. Svaka kocka iz prvog Arraya je dobila svoj red po Y osi zbog neprihvatanja modifikatora (*Apply*) koji je prethodno spomenut (sl. 8). [6]



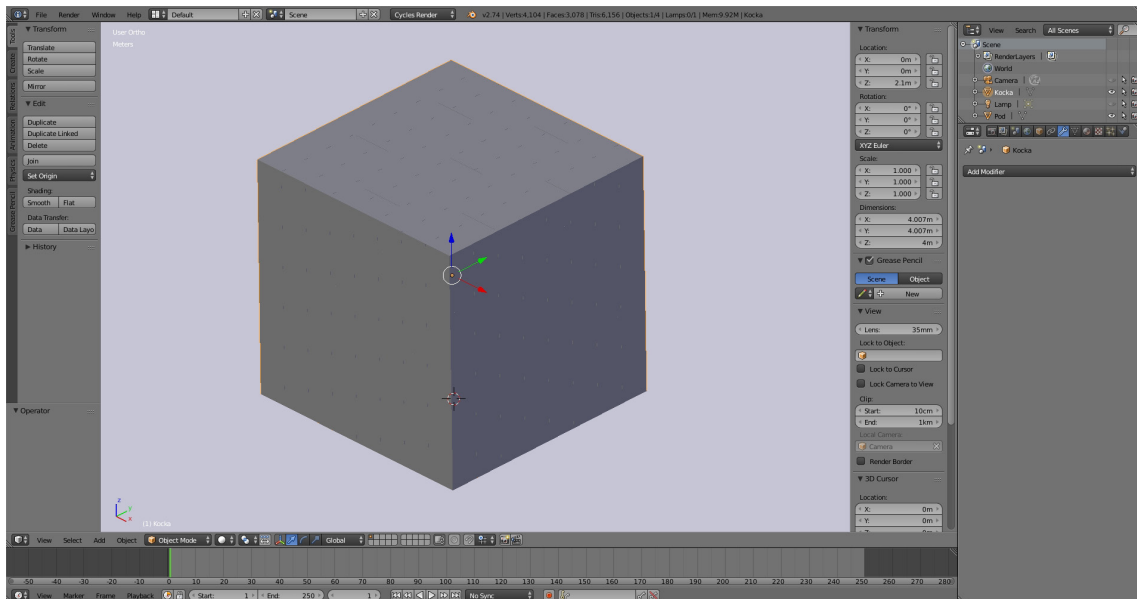
Slika 8. Naredba Array po Y osi

Zadnji *Array* izvodi se po Z osi kako bi se dobila visina objekta za razbijanje. Ponovno se uđe u novi *Array* modifikator i upiše vrijednost 8 u količinu, ponište se X parametri, te se upiše isti broj 1, ali pod Z os u *Relative Offset*. *Constant Offset* se ne aktivira jer nije potrebno određivati 1 mm u visinu. Svaka kocka iz prvog i drugog *Arraya* je dobila svoj red po Z osi i tako je nastala pravilna skupina objekata (sl. 9). [6]



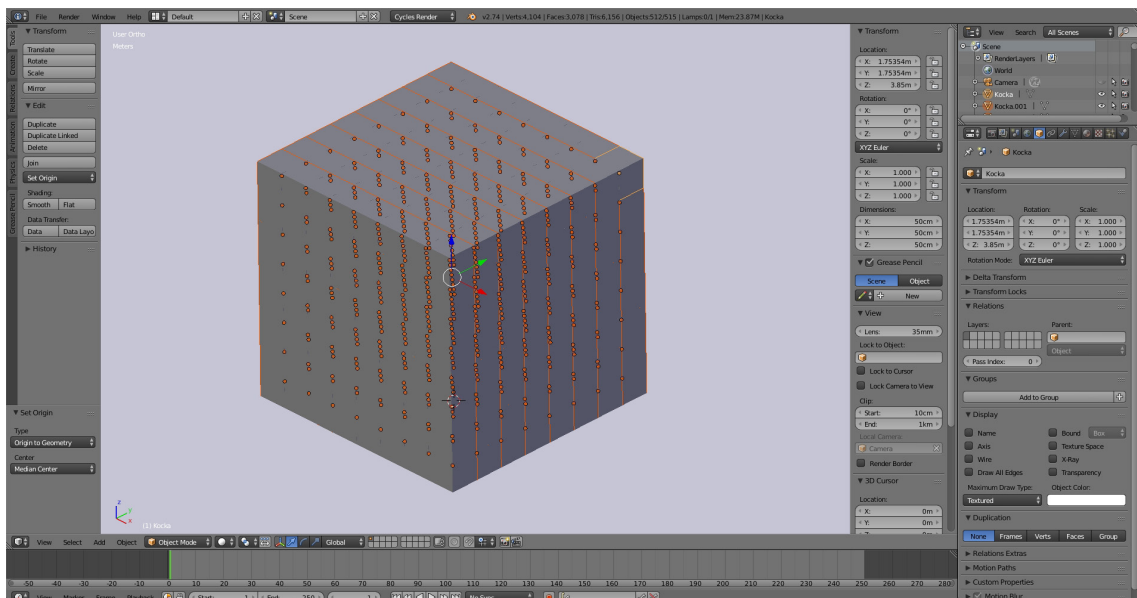
Slika 9. Naredba *Array* po Z osi

Pivot glavne kocke je ostao kao središnji pivot objekta za razbijanje. Potrebno je centrirati *pivot* kako bi se centrirao objekt za razbijanje u sredinu scene. Da bi se to postiglo, moraju se prihvatiti sva tri *Array* modifikatora u opciji *Apply* unutar modifikatora i to obvezno po redu kako su nastali za što točniji odnos. Zatim se u lijevom alatnom prozoru pod *Tools* odabere naredba *Set Origin* ili kriticom Shift+Ctrl+Alt+C, te se odabere *Origin to Geometry* za centriranje *pivota* u središte objekta. Objekt se pomakne na 0 po X i Y osi, te na 2.1 po Z osi da bi bio na središtu *podu* i scene (sl. 10). [6][7]



Slika 10. Pivot u središtu objekta za razbijanje

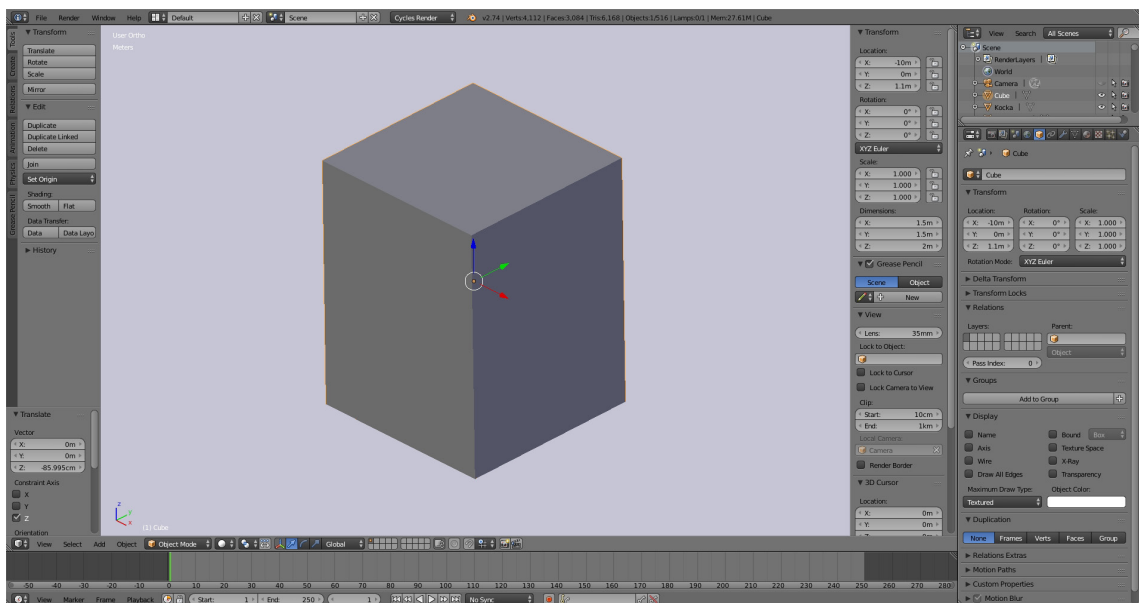
Sad je na redu postavljanje *pivota* na svaku kocku da bi se dobila nezavisnost težišta pojedinog objekta u kasnijoj simulaciji razbijanja. Prvo se ulazi pod opciju *Edit mode*, i ako nije već označeno, izabere se kompletna suma kocaka kriticom B na tipkovnici, te odabere *Separate > By loose parts* kriticom P na tipkovnici. Sada su nastali zasebni objekti, ali i dalje je *pivot* na matičnoj kocki. Treba se vratiti na *Object mode*. Ponovno se pod Tools odabere naredba *Set Origin* ili kriticom Shift+Ctrl+Alt+C, zatim *Origin to Geometry* za centriranje *pivota* u središte novim objektima (sl. 11). [6][7]



Slika 11. Nezavisni objekti po pivotu i težištu

2.4.2.3. Postolje

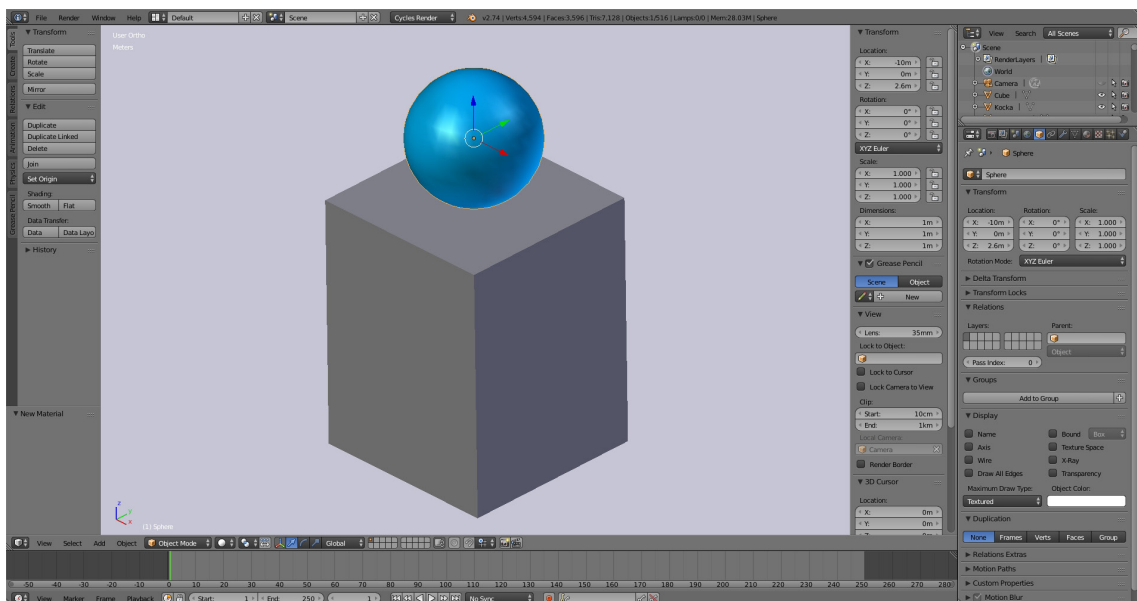
Sljedeće je na redu modeliranje *postolja* za kuglu koju će *izbijač* izbiti prema objektu za razbijanje. Ide se ponovno pod opciju *Create* i izabere naredba *Cube*. Model je kvadratnog oblika kojem se daju parametri od 1.5 m po X osi, 1.5 m po Y osi i 2 m po Z osi. *Postolje* je nastalo u središtu, te se pod *Location* pomakne za -10 m po X osi od središta scene, te po Z osi za 1.1 m da bi taman bilo na podu (sl. 12). Ovdje se za svaki slučaj primijeni resetiranje skale dimenzija. Da bi svaki sljedeći objekt nastao u središtu scene, potrebno je kraticom Shift+C namjestiti crveno-bijelu kružnicu (*cursor*) u središte scene. Lijevom tipkom miša odredi se položaj cursora i tamo nastaje novi objekt. Preporučeno je cursor zadržati u središtu.



Slika 12. Postolje za kuglu

2.4.2.4. Kugla

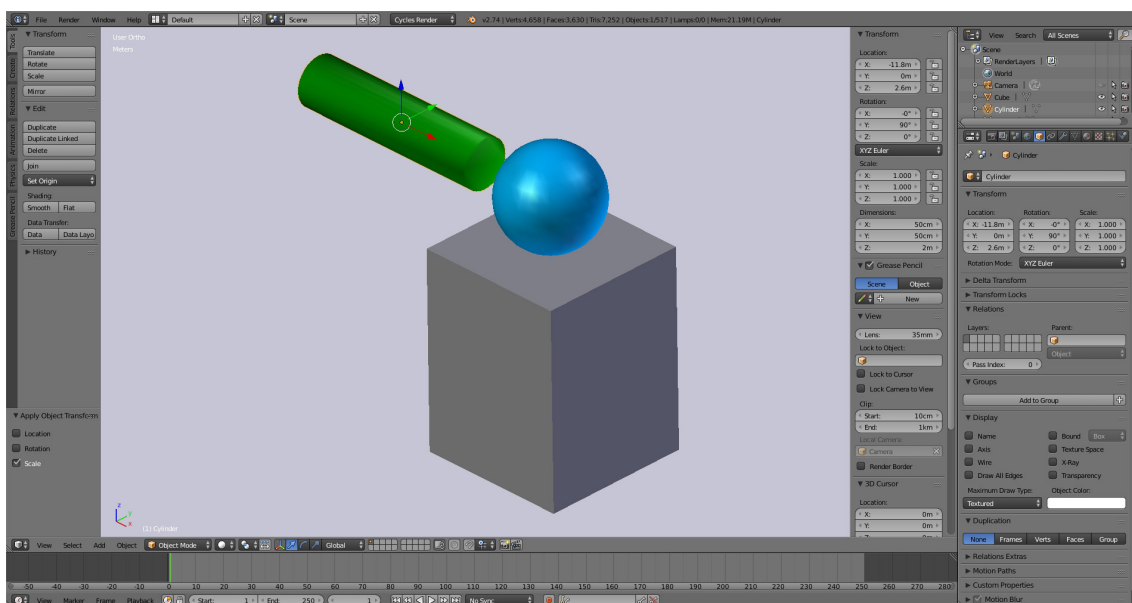
Sada slijedi modeliranje *kugle* na postolju. Ide se ponovno pod *Create* i izabere naredba *UV Sphere*. U središtu nastaje *kugla*, te joj se promijeni dimenzija na 1 m po svim osima. *Kugla* ima parametre kao i svi ostali objekti, odnosno nema opciju polumjera koji ima u 3ds Maxu. Pod opcijom *Tools* s lijeve strane Blendera i naredbom *Shading* odabere se *Smooth* što zagladi kuglu da se ne vide poligoni. Kugla se pomakne u isti položaj po X osi kao i postolje (-10 m), samo se još pomakne za 2.6 m iznad postolja po Z osi. Napravi se resetiranje skale kraticom Ctr+A i odabirom *Scale*. Za bolje razlikovanje na slikama, može se dodijeliti materijal i boju isto kao i kod poda (sl. 13).



Slika 13. Kugla na postolju

2.4.2.5. Izbijač

Zadnja komponenta koja slijedi je *izbijač* koji ima ključnu ulogu za pokretanje simulacije. Ide se ponovno pod *Create* i izabere naredba *Cylinder*. Valjak je nastao okomito u središtu scene, te se pomakne iznad poda da se vidi njezino oblikovanje. *Izbijač* također ima parametre kao i svi ostali objekti, znači bez opcije polumjera. Pod *Dimensions* upisuje se 50 cm u X i Y osi i 2 m u Z os, a pod *Tools* i naredbom *Shading* odabere se *Smooth* za zaglađivanje površine. Valjak se zarotira pomoću *Tools > Rotate* ili kraticom R na tipkovnici, zatim upisivanjem Y za os, te upisivanjem broja 90 za stupnjeve rotiranja u vodoravni položaj potreban za hitac kugle. *Izbijač* se pomakne za -11.8 m po X osi, te se još pomakne iznad postolja po Z osi za 2.6 m da bude u ravnini s *kuglom* (sl. 14).



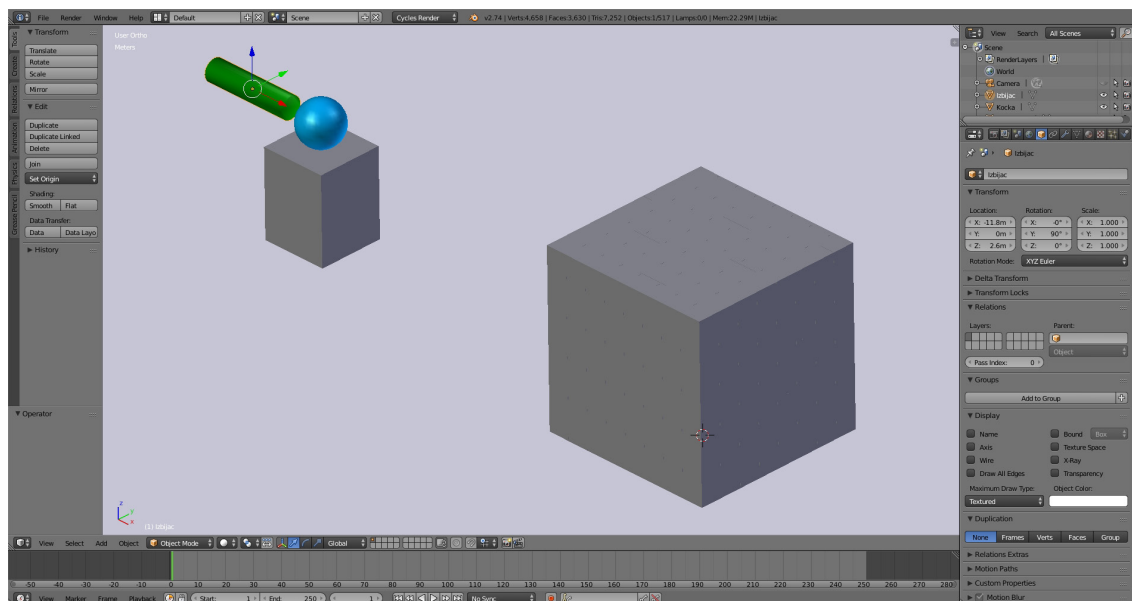
Slika 14. Valjak izbijač

Na tablici 1. prikazani su parametri dimenzija i položaja objekata u sceni. Sve mjere prikazane su u metrima. Dimenzija objekta za razbijanje je ukupan zbroj kocaka i razmaka između njih koji je određen u Array opciji.

OBJEKTI U SCENI	DIMENZIJE (m)			POLOŽAJ (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Pod	40	50	0.20	0	0	0
Objekt za razbijanje	4.007	4.007	4.007	0	0	2.1
Postolje	1.5	1.5	2	-10	0	1.1
Kugla	1	1	1	-10	0	2.6
Izbijač	0.5	0.5	2	-11.8	0	2.6

Tablica 1. Parametri dimenzije i položaja objekata u Blenderu

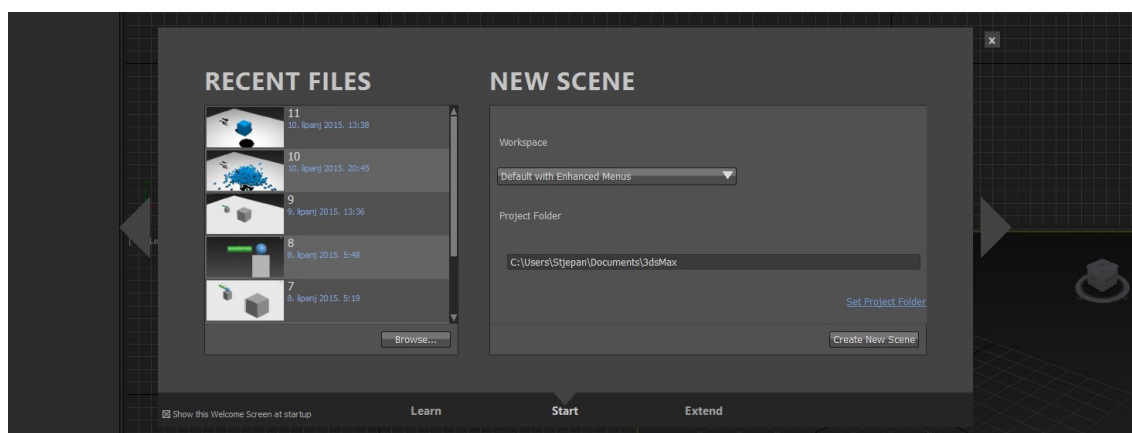
Završetkom kreiranja izbjajača dobila se potpuna scena u Blenderu (sl. 15). Sljedeće je kreiranje potpuno iste scene u 3ds Maxu kako bi se programi mogli što bolje usporediti.



Slika 15. Potpuna scena u Blenderu

2.4.3. Izrada scene u 3ds Maxu

Pri otvaranju 3ds Maxa pojavljuje se naslovnica koja prikazuje tri opcije, *Learn*, *Start* i *Extend*. Pod *Learn* prikazane su video vježbe za početnike i dodatne vježbe sa službenih stranica Autodesk. Pod *Start* s lijeve su strane prikazane nedavno otvorene scene (*recent files*). S desne strane su prikazani naziv radne površine programa (*workspace*) i projektna datoteka koja se koristi (*project folder*). Pod *Extend* su dodatne opcije Autodesk servisa. Radna površina je promijenjena iz *Default* u *Default with Enhanced Menus* kako bi sučelje bilo preglednije (sl. 16).



Slika 16. Splash screen 3ds Maxa 2015

Za novu scenu klikne se mišem na *X* i *Splash screen* se zatvori. Scena je prazna i nema nikakvog objekta za razliku od Blendera. Prije početka rada treba postaviti parametre da mjere budu po europskom standardu. To se mijenja pod opcijom *Customize > Customization* te se izabere *Units Setup* i promijeni na *Metric*. Ovdje ne treba odmah odabrati vrstu iscertavača zato jer način davanja boje objektima nije povezan izravno s iscertavačem. U eksperimentalnom dijelu tijekom iscertavanja postaviti će se iscertavač. [15]

Program 3ds Max ima odmah četiri pogleda na scenu koja su jako korisna u preciznom modeliranju, iako se slično može složiti i u Blenderu. Pogled koji je izabran može se jednostavno povećati da bude dominantan i da se bolje mogu modelirati detalji objekta. To se radi naredbom *Maximize Viewport Toggle* u desnom donjem kutu programa ili kriticom *Alt+W*. Kreiranje scene započinje istim redoslijedom kao i u Blenderu zbog bolje usporedbe tijekom rada. [15]

U gornjem lijevom kutu scene su opcije određivanja pogleda i vrste prikaza. Preporučeno je namjestiti na ortografski (*ortographic*) način perspektive za geometrijsku točnost prikaza i *Shaded* vrstu prikaza objekata kako ne bi smetale sjene koje zasad još nisu potrebne.

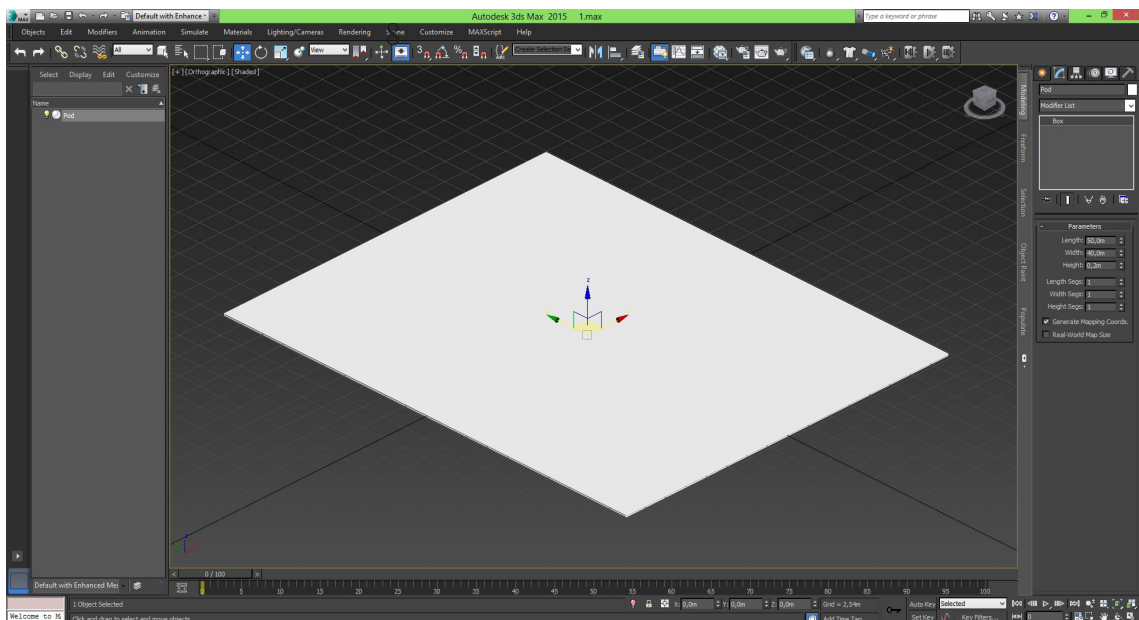
Za biranje objekta u sceni, mijenjanje parametara skale dimenzija, pozicije objekta, rotacije, zadužene su naredbe u glavnoj alatnoj traci iznad scene (*main toolbar*) (sl. 17.).



Slika 17. Glavne naredbe za poziciju, rotaciju, skalu u alatnoj traci
(*Select and Move* označen plavom bojom)

2.4.3.1. Pod

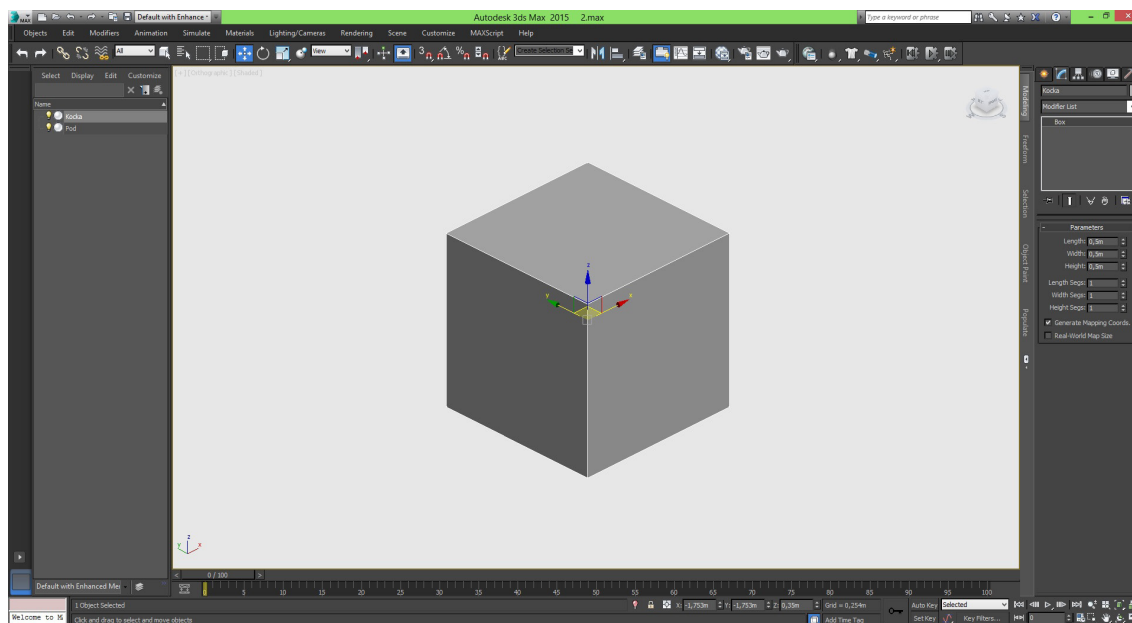
Prvi objekt koji se modelira je *pod*. Pod opcijom *Create* u desnoj alatnoj traci izabere se *Geometry* i naredba *Box* koja označava kvadratni objekt. Nakon odabira *Box* označi se početak bilo gdje na sceni, te držeći lijevu tipku miša vuče baza kocke i kad se tipka pusti, ostaje opcija odabira visine. Objekt uvijek nastane na mreži koja predstavlja tlo za modele. Sad nije važno kako se izabralo jer se ionako moraju upisati parametri kako bi kocka bila točnih dimenzija. Pod *Parameters* s desne strane upišu se parametri za duljinu (*length*), širinu (*width*) i visinu (*height*). Pod *Length* upisuje se 50 metara, *Width* 40 metara i za *Height* 20 centimetara. Inače za mijenjanje parametara ide se u *Modify* pokraj *Create*. Količina poligona odnosno segmenata (*segments*) ispod parametara dužine, širine i visine ostaje 1 zato jer ih ne treba više po stranici poda. Treba centrirati *pivot* da bude u sredini objekta zbog razmještaja objekata u sceni s obzirom da se koordinate ravnaju po *pivotu* objekta. To se izvodi pod opcijom *Hierarchy* pokraj *Modify*, te se odabere *Pivot > Adjust Pivot > Affect Pivot Only* te se unutar *Alignment* izabere *Center to Object*. Bijela boja je odabrana pokraj imena objekta u naredbi *Name and Color* ili pod *Modify* u desnoj alatnoj traci. Desnim klikom miša na naredbu *Select and Move* upisuje se 0 pod XYZ osi. Ovdje ne treba resetirati skalu dimenzija ni paziti na *Object* ili *Edit mode* za razliku od Blendera (sl. 18). [14][15]



Slika 18. Pod u 3ds Maxu

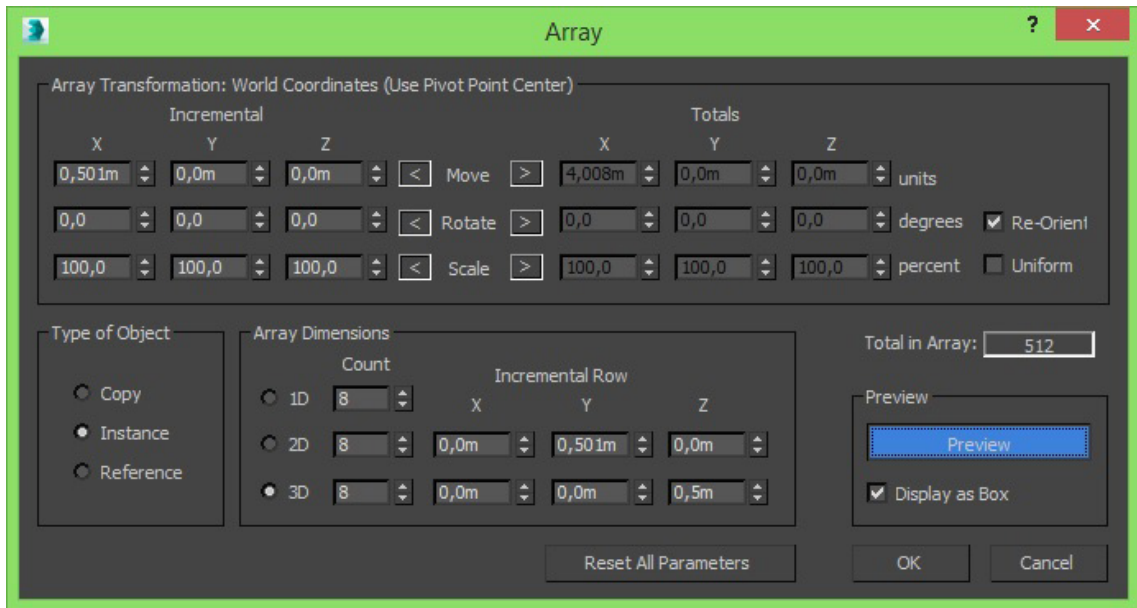
2.4.3.2. Objekt za razbijanje

Nakon modeliranja *pada* slijedi modeliranje *objekta za razbijanje* koji se sastoji od skupine malih kocaka koje zajedno čine ovaj objekt. Pod *Create* s desne strane programa izabere se opet naredba *Box* i na isti način se napravi kao i *pod*, samo se upisuju drukčije dimenzije. Pod *Length*, *Width*, *Height* upisuje se 50 cm ili 0.5 metara, a segmenti se ostave pod 1. Namjesti se da *pivot* bude u središtu objekta kao i kod *pada* (sl. 19). [14][15]



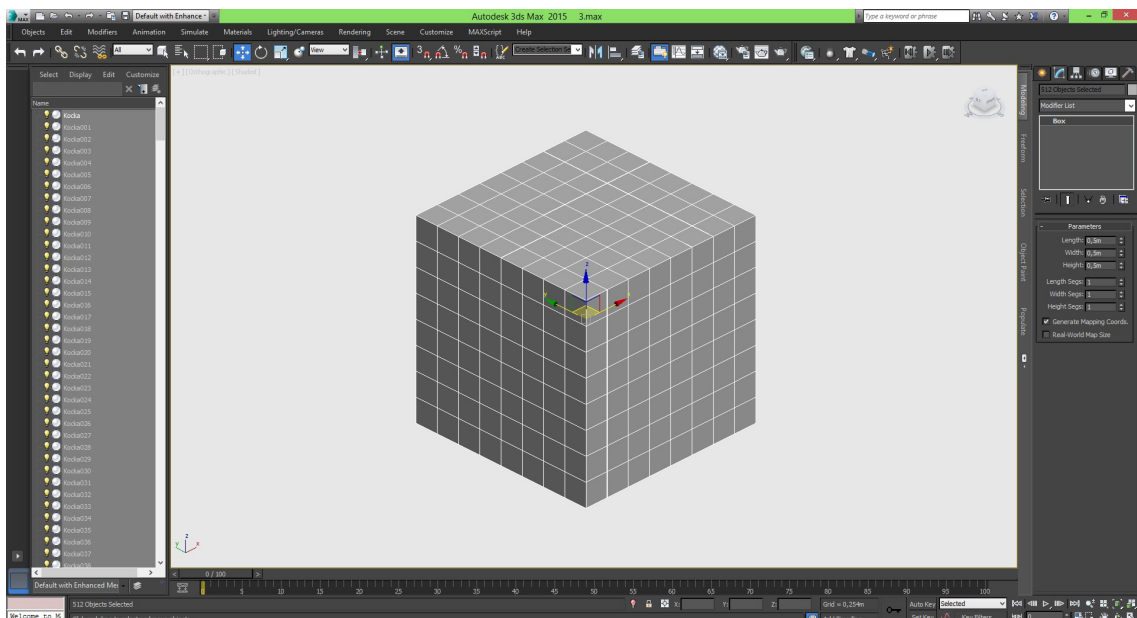
Slika 19. Prva kocka na *podu*

Za umnožavanje kocaka također se izabere *Array* modifikator u *Edit menu > Duplicate > Array* i otvori se prozor za parametre. U 3ds Maxu potreban je samo jedan *Array* modifikator za sve tri osi što ubrzava izradu *objekta za razbijanje*. U opcijama *Array* izabere se *3D* pod *Array Dimensions* kako bi se modifikator primijenio na sve tri XYZ osi. Upisuje se broj 8 pod *Count* što označava količinu objekata u jednom redu. Isto se upiše za *2D* i *3D* opciju što daje ukupan zbroj od 512 kocaka. Parametri razmaka se odnose na prostor između središnjeg *pivota* svakog objekta, te iznose 0.501 m (50 cm i 1 mm). Parametar za prvi red kocaka je u gornjem polju *Incremental* i odnosi se na X iako se može početi i sa Y ili Z, ali bolje je po redu kako je i u Blenderu napravljeno. 3ds Max na ovakav način radi razmake između objekata, jer ako je kocka 50 cm, a razmak između *pivota* 50 cm i 1 mm, onda je razmak između kocaka 1 mm. Pod polje *2D* unutar Y upisuje se isto 0.501 m, a u polje *3D* unutar Z upisuje se 0.5 m jer ne treba razmak od 1 mm u visini. Tu treba pažljivo izračunati da se ne pogriješi. Pod *Type of Object* ostavi se početna postavka *Instance* što znači da se i svojstva kopiraju, u ovom slučaju *pivoti* u kocki. Za bolju vidljivost označi se kvačicom *Display as Box* (sl. 20). [9][14][15]



Slika 20. Parametri Array modifikatora

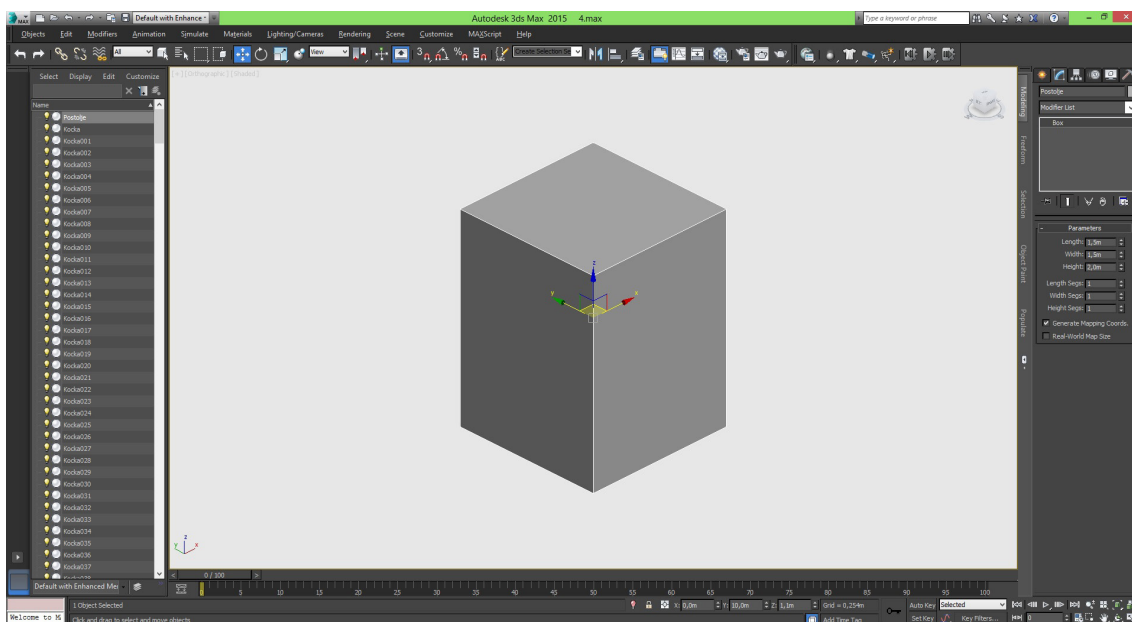
Za prikaz rezultata odabere se *Preview*. Nakon odabira *OK* makne se način prikaza *Display as Box* koji prikazuje objekte žičanim načinom za bolju preglednost na sceni. Svaka kocka je istih svojstava i uredno složena. Ovdje nema samo jedne glavne kocke s *pivotom*, nego sve imaju svoj *pivot*. Za centriranje *objekta za razbijanje* potrebno ga je grupirati pod naredbom *Edit > Group > Group*, te upisati 0 pod X i Y i 2.1 pod Z os, i onda razdvojiti pod *Edit > Group > Ungroup* kako bi kocke opet bile samostalne (sl. 21).



Slika 21. Objekt za razbijanje

2.4.3.3. Postolje

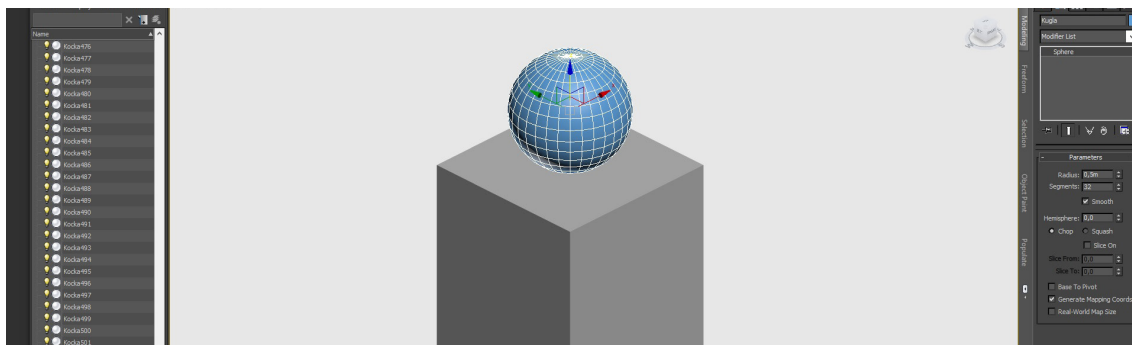
Sljedeće na redu je *postolje* za kuglu koju će izbijač izbiti prema *objektu za razbijanje*. Ide se ponovno pod *Create* i izabere *Box*. Parametri su 1.5 m za *Length*, 1.5 m za *Width* i 2 m za *Height*. Segmenti se ostave pod 1 jer je objekt jednostavan. Centrira se *pivot*. *Postolje* se pomakne za 10 m po Y osi i podigne iznad poda po Z osi za 1.1 m (sl. 22).



Slika 22. Postolje za kuglu

2.4.3.4. Kugla

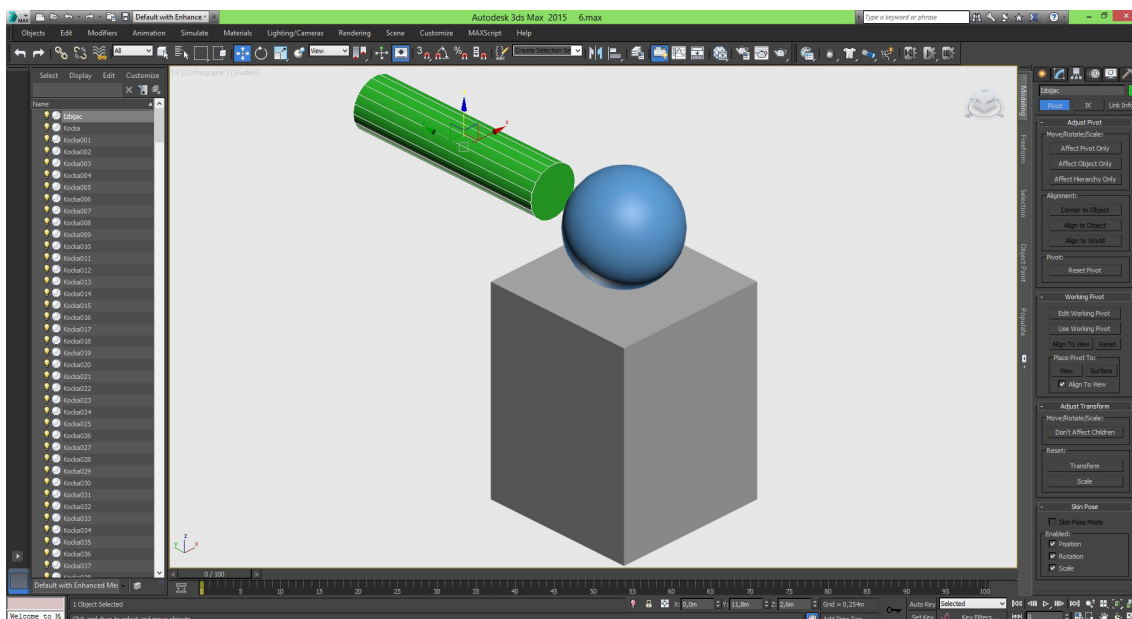
Za kreiranje kugle potrebno je otići pod *Create* i izabrati naredbu *Sphere*. *Kugla* se povećava kao i baza drugih objekata kad se vuče mišem, ali nema određivanja visine. U opciji *Parameters* upisuje se 0.50 m (50 cm) za *Radius* (polumjer) dok je u promjer 100 cm. Ostavi se *Segments* na 32 i kvačica na *Smooth* kako bi *kugla* bila zaglađena. Blender nema opciju polumjera za ovakve objekte. *Kugla* se pomakne za 10 m po Y osi i pomakne iznad *postolja* po Z osi za 2.6 m (sl. 23).



Slika 23. Kugla na postolju

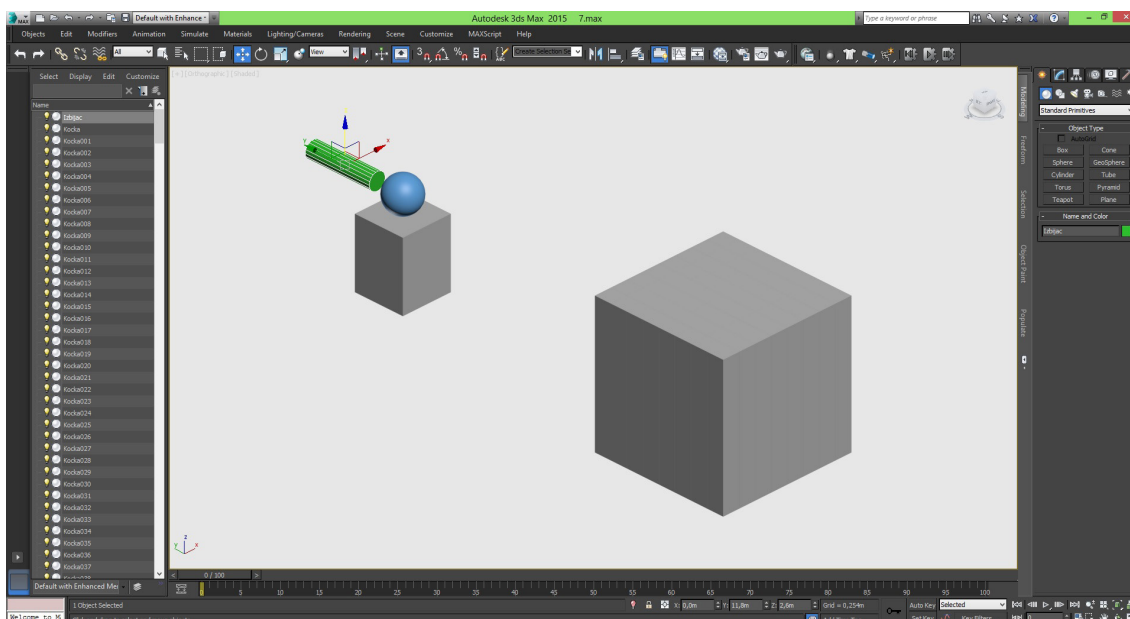
2.4.3.5. Izbijač

Zadnji model koji slijedi je *izbijač* koji ima ključnu ulogu za pokretanje simulacije. Ide se ponovno pod *Create* i izabere *Cylinder*. Valjak ima pod parametrima *Radius* kao i *kugla*. Pod *Parameters* upisuje se 0.25 m (25 cm) za *Radius* dok je u promjeru 50 cm. Pod *Height* se upiše 2 m. U *Height segments* dovoljno je upisati 1 jer su valjku dovoljni segmenti duž plašta. Ostavi se kvačica na *Smooth* kako bi *izbijač* bio zaglađen. Objekt se pomakne za 11.8 m po Y osi i za 2.6 m po Z osi iznad *postolja* da bude u ravlini s *kuglom* (sl. 24).



Slika 24. Valjak izbijač

Sada je gotova scena u 3ds Maxu. U sceni su svi objekti točno složeni i raspoređeni kao i u Blenderu. Razlike su u boji objekata koje 3ds Max sam daje objektima tijekom kreiranja, dok Blender daje sivu boju za sve objekte (sl. 25.)



Slika 25. Potpuna scena u 3ds Maxu

Na tablici 2. prikazani su parametri dimenzija i položaja objekata u sceni. Dimenzija objekta za razbijanje je ukupan zbroj kocaka i razmaka između njih koji se odredio u Array modifikatoru. Pod dimenzije kugle računa se promjer od 1 m jer 3ds Max ima opciju polumjera, koji se dobije množenjem s 2, a ne duljina, širina i visina ili XYZ dimenzija. Isto vrijedi i za izbijač.

OBJEKTI U SCENI	DIMENZIJE (m)			POLOŽAJ (m)		
	Width (X)	Lenght (Y)	Height(Z)	X	Y	Z
Pod	40	50	0.20	0	0	0
Objekt za razbijanje	4.007	4.007	4.007	0	0	2.1
Postolje	1.5	1.5	2	0	10	1.1
Kugla	1	1	1	0	10	2.6
Izbijač	0.5	0.5	2	0	11.8	2.6

Tablica 2. Parametri dimenzije i položaja objekta u 3ds Maxu

3. EKSPERIMENTALNI DIO

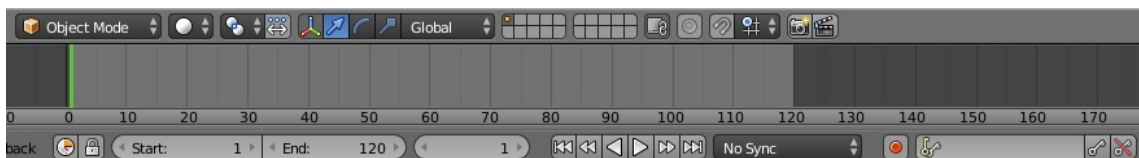
Eksperimentalni dio temeljit će se na razlikama parametara između Blendera i 3ds Maxa, te na postavljanju ključnih točaka (*keyframe*) i parametara fizike na objektima u sceni, zatim na iscertavanju simulacije u video. Prvo će se u Blenderu postaviti parametri i testirati, te onda u 3ds Maxu kako bi se uočile razlike u ponašanju objekata s okolinom. Glavni parametri fizike bit će *Rigid Body* u Blenderu i *Mass FX Rigid Body* u 3ds Maxu. Oni predstavljaju fiziku krutih tijela kao što je njihova masa, slobodan pad, gravitacija, sudari.

3.1. Postavljanje parametara simulacije u Blenderu

Postavljanje fizike početak će se istim redoslijedom kao i teorijski dio kreiranja scene zbog bolje preglednosti rada. Uz postavke parametara *Rigid Body* fizike postaviti će se i ključne točke s *izbijačem*. *Izbijač* će načinom sličnim biljaru kreirati hitac *kuglom* koji će razbiti *objekt za razbijanje* na manje dijelove.

3.1.1. Postavljanje ključnih točaka

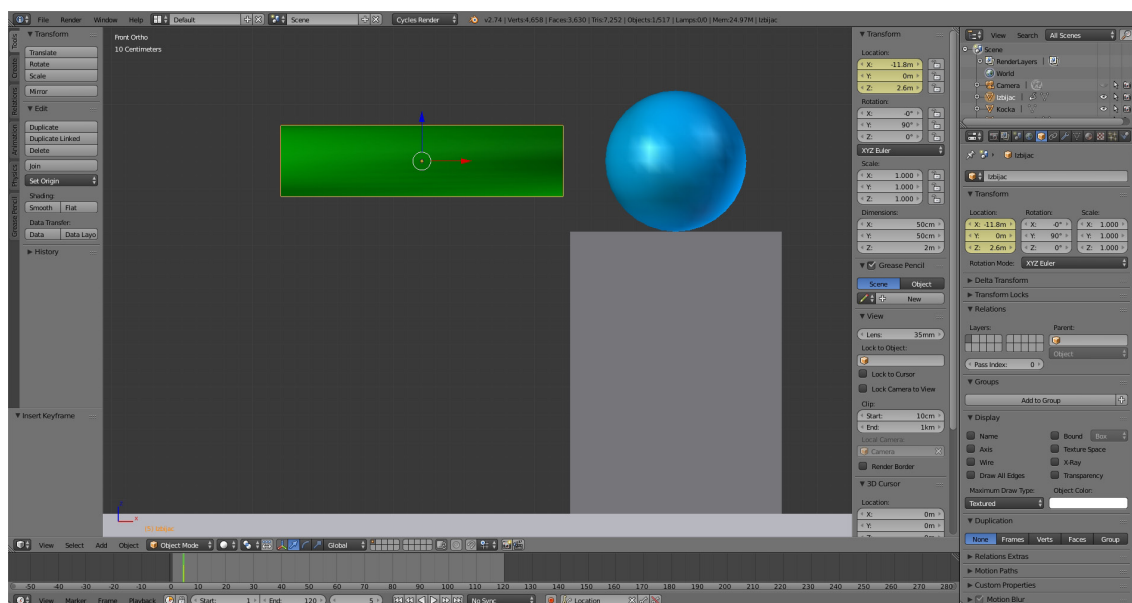
Ključna točka je točka koja označava promjenu kamere, objekta ili neke radnje u animaciji. Postavljanje ključnih točaka je slično u svim programima za modeliranje, animaciju ili video obradu. Najvažnija stavka animacije je vremenska linija (*timeline*) na dnu Blendera. Tamo su sve opcije kako odrediti ključne točke. Treba odmah odrediti duljinu animacije na 5 sekunda ili 120 sličica u naredbi *End* (sl. 26).



Slika 26. Vremenska linija u Blenderu

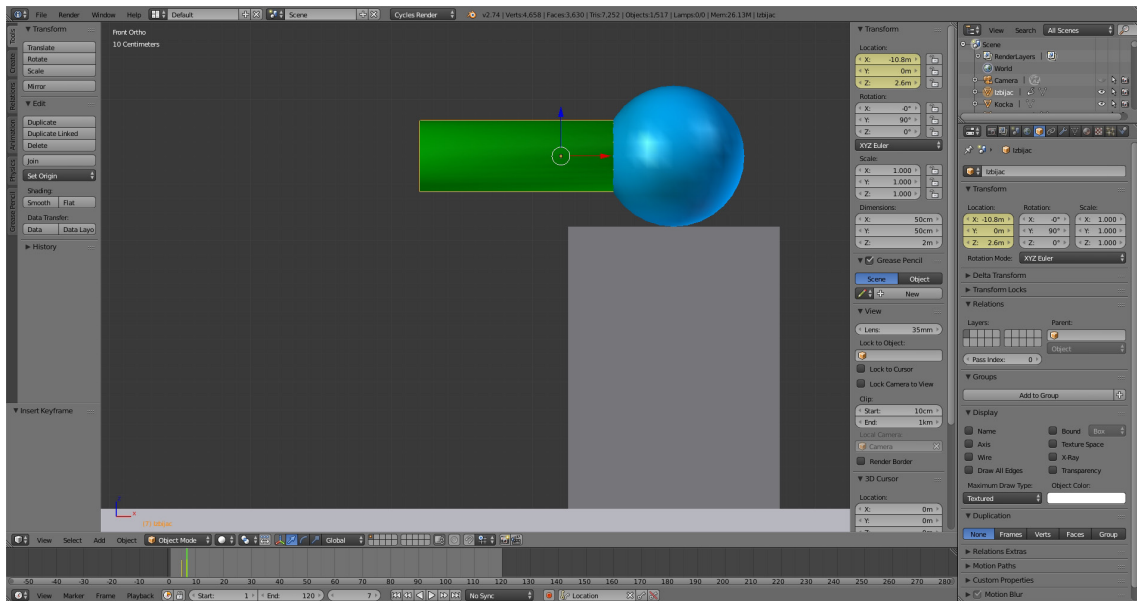
U Blenderu se prvo odredi slika (*frame*) u sekundi, te napravi promjena u sceni i zatim pritisne ključ. Program dalje sam određuje radnju između ključnih točaka. Minimalni standard je 24 sličice u sekundi (*frames per second* ili *fps*) u kojem se dobije dojam animacije. U ovom radu dovoljno je napraviti tri ključne točke koje predstavljaju početni položaj, krajnji pomak i opet početni položaj koji je opcionalan, ali zbog estetike animacije poželjan.

Jedini objekt koji koristi ključne točke je *izbijač* zato jer mora udariti u *kuglu* kako bi se dobio hitac, što nije fizikalno moguće zbog gravitacije. Poželjno je ključne točke postaviti nekoliko sličica kasnije na početku animacije da se dobije osjećaj fluidnosti same animacije. Izabere se *izbijač* te se na donjoj vremenskoj liniji odrede ključne točke. Prvo se odabere vrsta ključne točke *Location* pokraj ikone ključa zato jer se mijenja samo položaj *izbijača*. Početni položaj *izbijača* je na -11.8 m po X osi, te se na tom položaju odredi prva ključna točka. Odabere se 5. sličica u opciji pokraj *Start* i *End*, te se pritisne ikona ključa i dobije prva ključna točka. Točka je prikazana okomitom žutom crtom u vremenskoj liniji. Vremenska linija se može zumirati da bude preglednija (sl. 27). [7]



Slika 27. Prva ključna točka

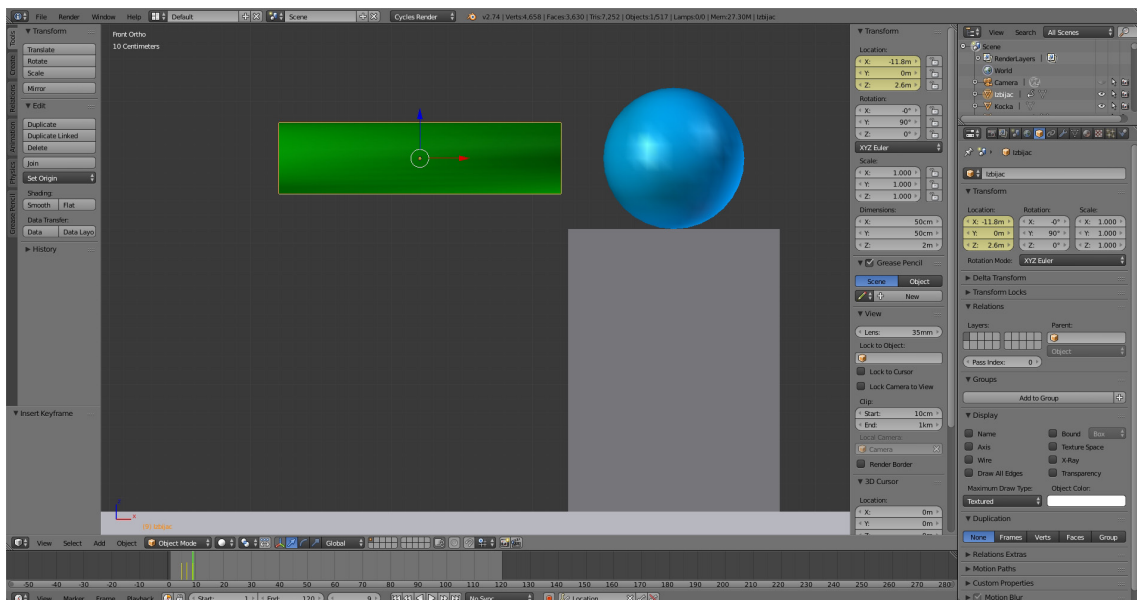
Sljedeća ključna točka predstavlja krajnji pomaknuti položaj *izbijača*. Odredi se odabirom 7. sličice i pomakom valjka po X osi za -1 m da bude na -10.8 m, te pritisne ključ. *Izbijač* je dijelom unutar *kugle* jer još nije zadana fizika krutih tijela. Dobije se druga žuta linija (sl. 28). [7]



Slika 28. Druga ključna točka

Za zadnju ključnu točku odredi se 9. sličica, vrati *izbijač* na početni položaj na -11.8 m i pritisne ključ. Postavljene su tri točke i to je dovoljno za animaciju zbog jednostavnosti pokreta. [7]

Pritiskom mišem na prostor vremenske linije odabere se pojedina sličica u animaciji. Držanjem zelene crte i pomakom lijevo desno po vremenskoj crti uočava se pomak *izbijača* od početnog položaja do položaja unutar *kugle*. Kreiran je pomak unutar 5 sličica (sl. 29.).



Slika 29. Treća ključna točka

Brzina pomaka uz postavke fizike također određuje jačinu hitca. Što su ključne točke međusobno bliže, to je brži pomak *izbijača*. Na vremenskoj liniji su tri žute crte. Ukupna animacija bit će duga 5 sekunda ili 120 sličica. Duljina je smanjena od početne postavke od 250 sličica zato jer je 120 sličica dovoljno da se prikaže cijela simulacija sudara (sl. 30). Mora se uzeti u obzir i duljina trajanja iscrtavanja u fotorealističnom *Cycle* iscrtavaču, koja će biti duga pa je svaki višak sekunda veliko opterećenje u vremenu iscrtavanja. Sljedeće je određivanje fizike *Rigid Body*. [7]



Slika 30. Vremenska linija s ključnim točkama

3.1.2. Rigid Body

Blender ima jednostavnije postavljene parametre za *Rigid Body* simulaciju od 3ds Maxa. Ima zajedničko polje pod nazivom *Physics* u kojem su smještene sve vrste fizika, dok 3ds Max ima nekoliko načina i podvrsta odabira fizike. Najvažniji parametri su vrsta tijela (*type*) koje sudjeluju, trenje (*friction*) i odbijanje (*bounciness*). Ima dvije vrste tijela koja sudjeluju u simulaciji, to su aktivno (*active*) i pasivno (*passive*) tijelo. [8]

Aktivno tijelo se kreće mijenjanjem svojih svojstava ako se na nj primijeni neka zadana sila. Kad se objektu u *Rigid Body* fizici dodijeli aktivno svojstvo, ono postaje dinamično, te objekt odmah pada slobodnim padom od 9.81 m/s. Svi aktivni objekti padaju istom brzinom ako je okruženje u vakuumu, odnosno ako nema otpora zraka što je ovdje po početnim postavkama određeno.

Pasivno tijelo ne mijenja položaj tijekom simulacije, nego ima statičnu ulogu kao čvrsta prepreka ili podloga po kojoj se aktivno tijelo kreće.

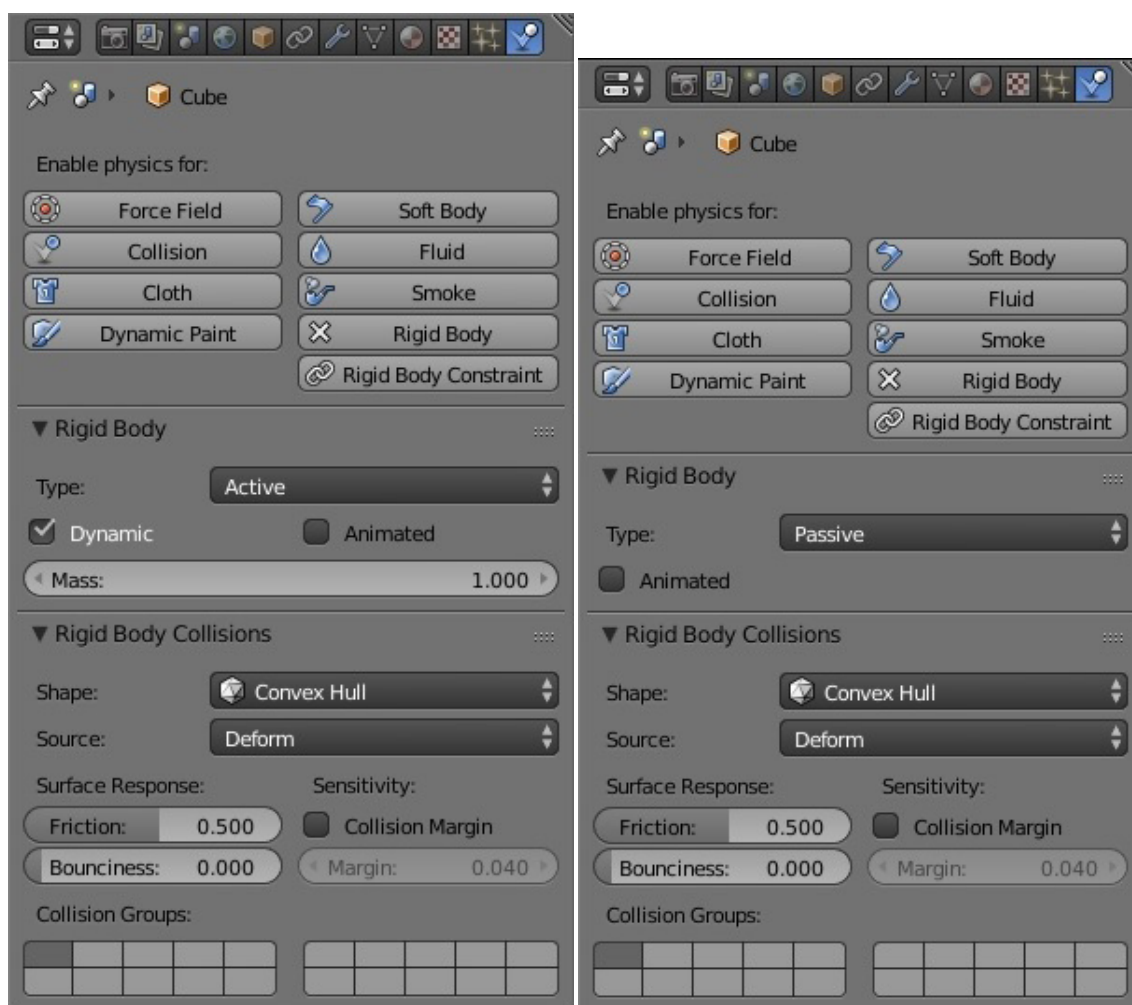
Blender ima samo jednu vrstu trenja koje predstavlja opće trenje između dvaju tijela u koje su uključeni statičko i dinamičko trenje. Trenje u Blenderu je postavljeno na 0.5 po tvorničkim postavkama, a odbijanje na 0.

Odbijanje predstavlja jačinu međusobnog odbijanja krutih tijela. Tehnički, ovaj parametar se zove *koeficijent odbijanja*. Vrijednost 0.0 ukazuje da se ne odbijaju, vrijednost 1.0 ukazuje na to da se objekt potpuno odbija sukladno svojoj težini. Učinkovito odbijanje između dvaju krutih tijela je proizvod njihove vrijednosti odbijanja (odskočna guma na loptica slijetanjem na maslac neće se odbiti). Isti zakoni odbijanja vrijede i za 3ds Max.

Blender ima opciju stiliziranja gdje se *Bounciness* može postaviti i iznad 1 za dobivanje presnažnog nerealnog svojstva odbijanja.

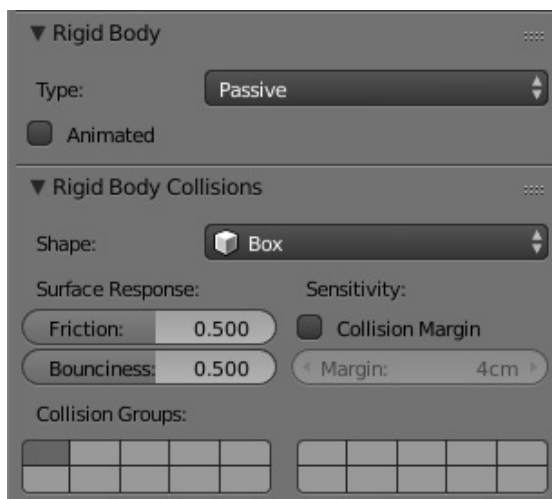
Na svim objektima u sceni primjenjuje se *Rigid Body* fizika. *Pod* i *postolje* su pasivna tijela jer ne smiju mijenjati položaj ili oblik. *Izbijač* može biti i aktivan i pasivan jer se na njega primjenjuju ključne točke i zbog toga neće padati.

Za primjenu fizike krutih tijela ide se u *Physics* opciju i izabere *Rigid Body*, te se pod *Type* izabere *Passive* ili *Active*. Pod *Active* se odredi masa tijela koja je po početnim postavkama 1 kg. Odabirom *Active* pojavljuje se označeno polje *Dynamic* koje pokazuje da navedeni aktivni objekt sudjeluje u simulaciji. U *Rigid Body Collisions* je *Shape* u kojem se izabere oblik fizike tijela. *Convex Hull* i *Mesh* su određeni za bilo kakve oblike, *Box* je preporučan za šesterostrane kockaste oblike. *Cone* je za stožaste, *Cylinder* je za valjkaste oblike. *Collision Margin* je opcija koja dodaje dodatno nevidljivo polje sudara oko tijela, što je u ovoj simulaciji nepotrebno (sl. 31). [8]



Slika 31. *Rigid Body* parametri za aktivno (lijevo) i pasivno(desno) tijelo

Prvi objekt na kojem se primjenjuje fizika je *pod* zato jer je podloga na kojoj su smješteni svi ostali objekti, te je i prvi objekt napravljen u teorijskom dijelu. *Pod* je pasivno tijelo zato jer služi kao nepomična podloga i ne smije dinamično reagirati s drugim objektima. Pod *Shape* se izabere *Box* zato jer je kockastog oblika sa šest strana. *Friction* se ostavi na 0.5 što predstavlja standardno trenje i *Bounciness* na 0.5 da ima malo odbijanje (sl. 32.).



Slika 32. Postavke fizike krutih tijela za *pod*

Slijedi *objekt za razbijanje* kojemu se daju aktivna svojstva krutih tijela. Tijelo se sastoji od 512 malih kocaka. Pod opcijom *Type* se izabere *Active* zato jer aktivno sudjeluje u simulaciji. Pod *Mass* se postavi 100 g. Za *Shape* se odredi *Box* zbog kockastog oblika. Odredi se *Friction* i *Bounciness* na 0.5. Može se samo jednoj kocki u isto vrijeme dati *Rigid Body* fiziku. Kad se izabere jedna kocka, potrebno je cijelu skupinu odabrati kraticom B na tipkovnici. Pritiskom kratice pojavi se opcija uokvirivanja, te se izabere cijela skupina, ali i dalje ostaje aktivna kocka omeđena žutim okvirom, koja je prije odabrana. U *Physics* u lijevom okomitom alatnom prozoru ispod *Create* i *Tools*, odabere se naredba *Copy from Active* i aktivira se svojstvo preuzimanja fizike od prvog izabranog tijela. [8]

Postolju se daje pasivno svojstvo zato jer služi kao podloga za *kuglu*. Za *Shape* se postavi *Box*. *Friction* i *Bounciness* se odrede na 0.5. *Bounciness* na *postolju* ne igra veliku ulogu jer se *kugla* samo kotrlja preko *postolja*.

Kugla je uz *izbijač* najvažniji objekt za dobar početak simulacije. Odabere se aktivno svojstvo krutih tijela. Odredi se *Mass* od 3 kg. *Friction* se ostavi na 0.5 i *Bounciness* na 1 zato jer se mora dobro odbiti od *izbijača*. Ako se *kugli* dodijeli premalo svojstvo odbijanja, *izbijač* mora dobiti veće svojstvo odbijanja od 1, što može dovesti do stiliziranosti i grješaka u simulaciji. U 3ds Maxu nije moguće odrediti *Bounciness* iznad 1. [8]

Izbijač je zadnje tijelo kojemu se daje fizika krutih tijela. Nakon dodjele *Rigid Body*, izabere se pasivno svojstvo, iako može i aktivno zato jer ključne točke imaju prednost u odnosu na odabir vrste svojstva tijela. Za *Shape* se odabere *Cylinder* zbog valjkastog oblika. Ispod opcije *Type* je prazno polje *Animated* koje služi da kruto tijelo bude upravljano animacijom, te se odabirom dobije simbioza ključnih točaka i fizike krutih tijela. *Bounciness* se odredi na 1. [8]

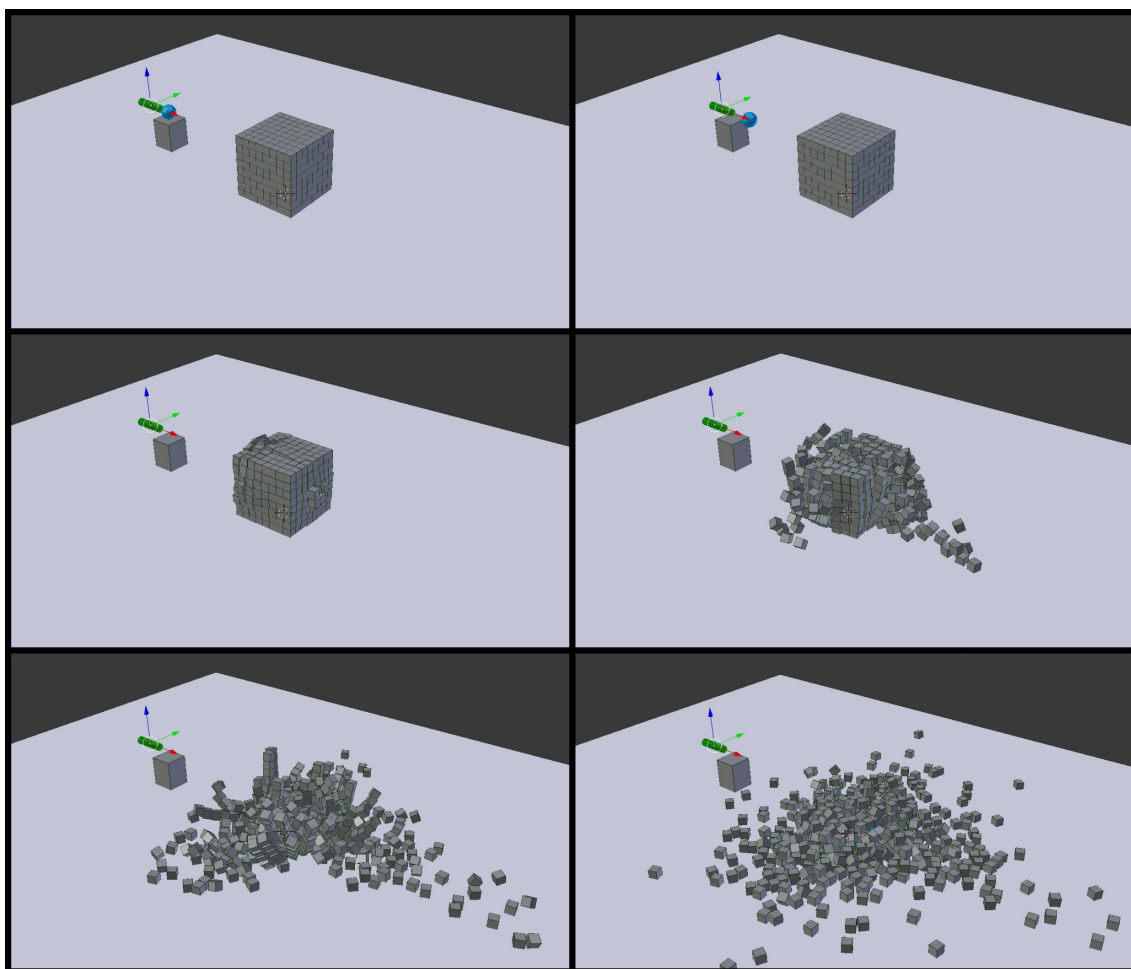
Svi parametri su opisani u tablici 3. U polju *Type* dva su objekta aktivna, dok su ostali pasivni. Polje *Dynamic* povezano je sa svojstvom aktivnosti objekta. U polju *Animated* je samo *izbijač* jer je na njemu primijenjeno svojstvo ključnih točaka. *Mass* je samo na aktivnim objektima, te je izražen u kilogramima. *Shape* je isti kao i izvorni naziv objekta jer nije bilo dodatne modifikacije samih objekata. *Friction* je svima isti po početnim postavkama za aktivna tijela, te dodan za pasivna tijela. *Bounciness* je svima isti osim *kugli* i *izbijaču* jer oni moraju imati jako odbijanje za sudar kojim nastaje hitac. [8]

OBJEKTI U SCENI	Rigid Body				Rigid Body Collisions		
	Type	Dynamic	Animated	Mass (kg)	Shape	Friction	Bounciness
Pod	Passive	X	X	X	Box	0.5	0.5
Objekt za razbijanje	Active	Da	X	51.2	Box	0.5	0.5
Postolje	Passive	X	X	X	Box	0.5	0.5
Kugla	Active	Da	X	3	Sphere	0.5	1
Izbijač	Passive	X	Da	X	Cylinder	0.5	1

Tablica 3. Parametri *Rigid Body* u *Blenderu*

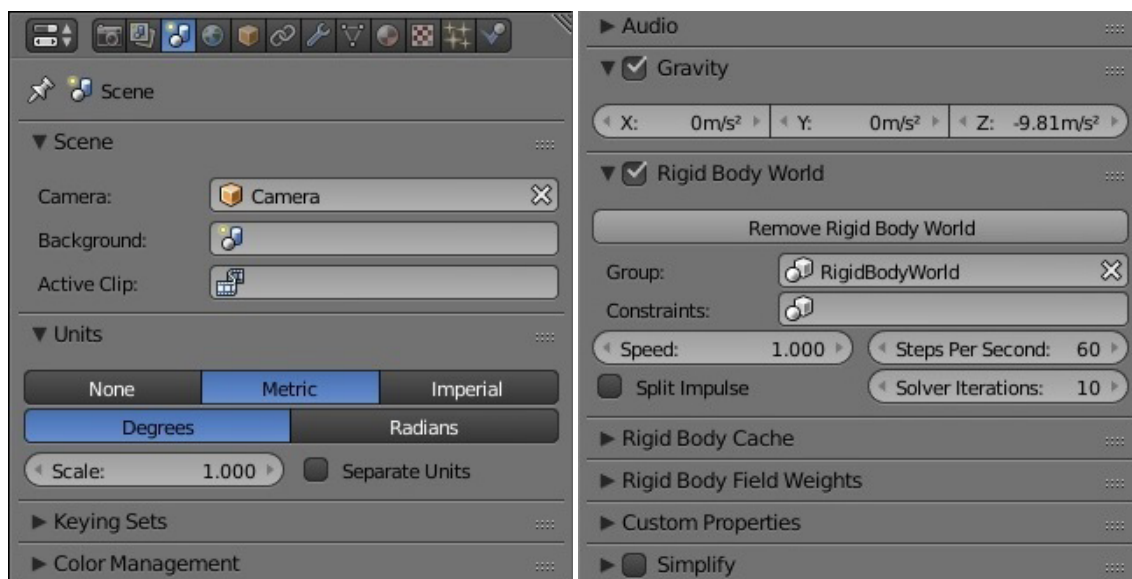
3.1.3. Testiranje simulacije

Simulacija se testira odabirom naredbe *Play animation* u vremenskoj liniji ispod scene ili kraticom Alt+A na tipkovnici. Potrebno je zelenu crtu namjestiti na početak vremenske linije. Ova simulacija nije jako hardverski zahtjevna jer nema previše elemenata. Tako da se na snažnijem prijenosnom i stolnom računalu može u realnom vremenu odvijati. Pritiskom na strjelicu simulacija se počinje odvijati. Valjak *izbijač* napravi hitac *kuglom* i sruši cijeli *objekt za razbijanje* na male dijelove. Sve kocke su se srušile zbog veće težine *kugle* (3 kg). S manjom težinom *kugle*, neke kocke bi ostale stajati uspravno. Postoji mogućnost da se simulacija ne odviše isprve, tako da je preporučljivo pustiti da prođe 120 sličica i tada bi se morala ispravno odvijati ako su svi parametri uvršteni. Tijek simulacije predočen je u šest sličica (sl. 33).



Slika 33. Tijek simulacije sudara i fizike krutih tijela u Blenderu

Za više izračuna u simulaciji postoje dodatni parametri u opciji *Scene*. Polje *Rigid Body World* predstavlja svijet u kojem se odvija simulacija. Uključi se kada se nekom objektu dodijeli fizika krutih tijela. Mjerne jedinice su se u polju *Units* na početku teorijskog dijela odredile na metre. Za kvalitetu simulacije važne su postavke *Steps Per Second* (količina koraka izračuna u sekundi) i *Solver Iterations* (količina izračuna u svakom koraku). Veće postavke od početnih parametara usporavaju protok simulacije, a vizualno nije velika razlika. Sve je na početnim postavkama u polju *Rigid Body World*. (sl. 34).



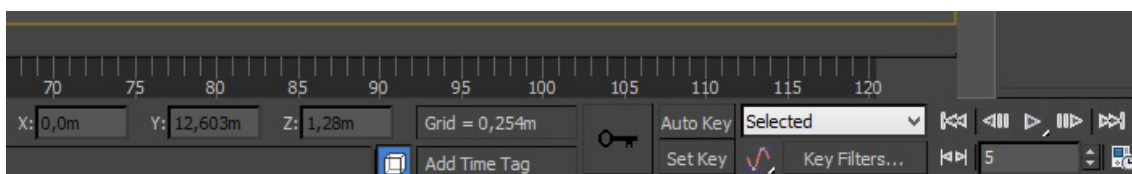
Slika 34. Postavke *Rigid Body World*

3.2. Postavljanje parametara simulacije u 3ds Maxu

Postavljanje fizike počet će se istim redoslijedom kao i teorijski dio kreiranja scene zbog bolje preglednosti rada. Uz postavke parametara *Mass FX Rigid Body* fizike postaviti će se i ključne točke s *izbijačem*. *Kugla* razbija *objekt za razbijanje* na manje dijelove kao i u Blenderu.

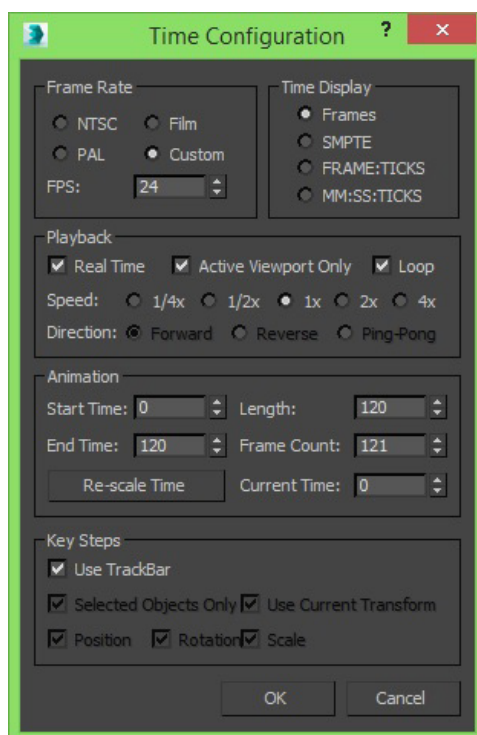
3.2.1. Postavljanje ključnih točaka

Prije određivanja ključnih točaka potrebno je odrediti duljinu animacije i broj sličica u sekundi. Duljina trajanja animacije i broj sličica u sekundi na vremenskoj liniji može se postaviti u opciji *Time Configuration* u desnom kutu programa (sl. 35). [14][15]



Slika 35. Dio vremenske linije s opcijama

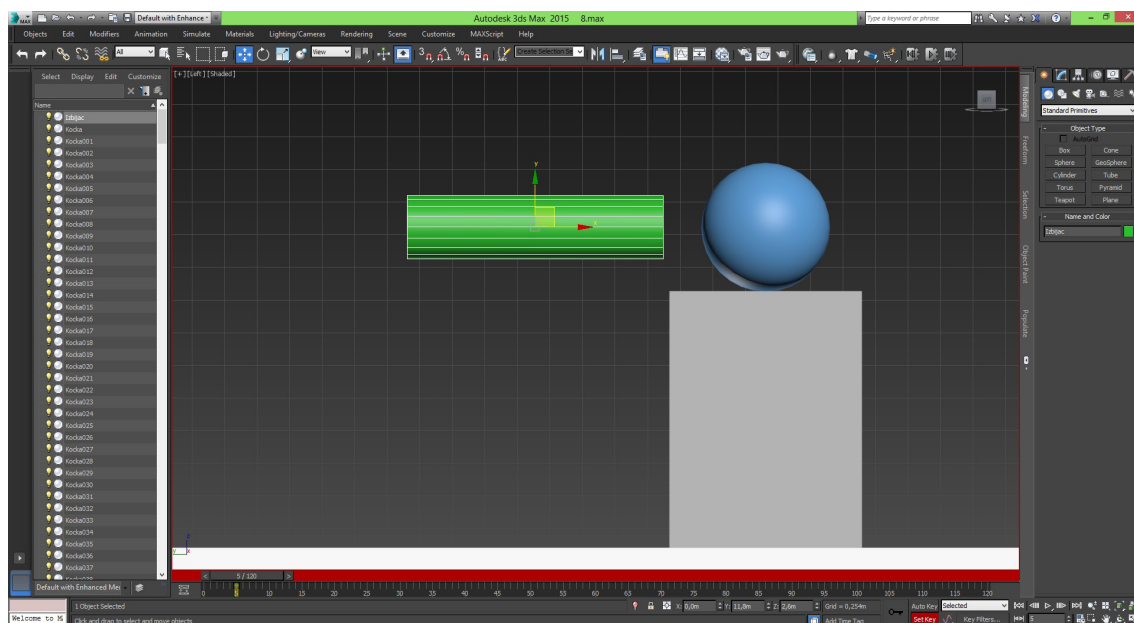
Pod opcijom *Frame Rate* namjesti se na *Custom*, te se odrede 24 sličice u sekundi. *Playback* se ostavi po početnim postavkama. Pod *Animation* odredi se duljina trajanja animacije upisivanjem ukupnog broja sličica od 120 u *End Time*. Sada je vremenska linija postavljena kao i u Blenderu (sl. 36). [10][14][15]



Slika 36. Time configuration za određivanje vremenske linije

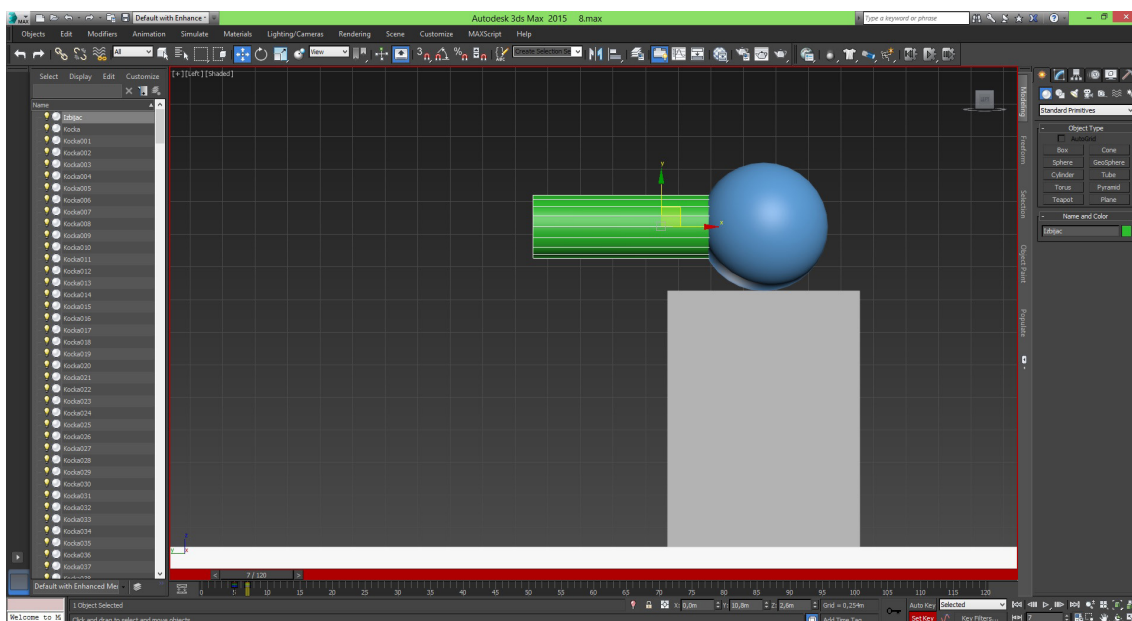
Postavljanje ključnih točaka je slično kao i u Blenderu i drugim programima za modeliranje, animaciju ili video obradu. Najvažnija stavka animacije je vremenska linija na dnu 3ds Maxa. Tamo su sve opcije kako odrediti ključne točke. U 3ds Maxu se također prvo odredi redni broj sličice u sekundi, te se napravi promjena u sceni i zatim pritisne ključ. Program dalje sam određuje radnju između ključnih točaka. U 3ds Maxu je također dovoljno napraviti tri ključne točke koje predstavljaju početni položaj, krajnji pomak i opet početni položaj.

Izabere se *izbijač* te se na donjoj vremenskoj liniji odrede ključne točke. Prvo se odabere *Set Key* pokraj ikone ključa i onda se zacrveni cijeli okvir. Sada se na isti način kao i kod Blendera namjesti sličica pa pomakne *izbijač* i stisne ključ. Ovdje ne treba određivati vrstu ključa. Početni položaj *izbijača* je na 11.8 m po Y osi, te se na tom položaju odredi prva ključna točka. Odabere se 5. sličica u opciji *0/100* iznad vremenske linije te pritisne ikona ključa. Dobije se prva ključna točka prikazana kao oznaka crveno-zeleno-plave boje ili RGB oznaka (sl. 37). [10][14][15]



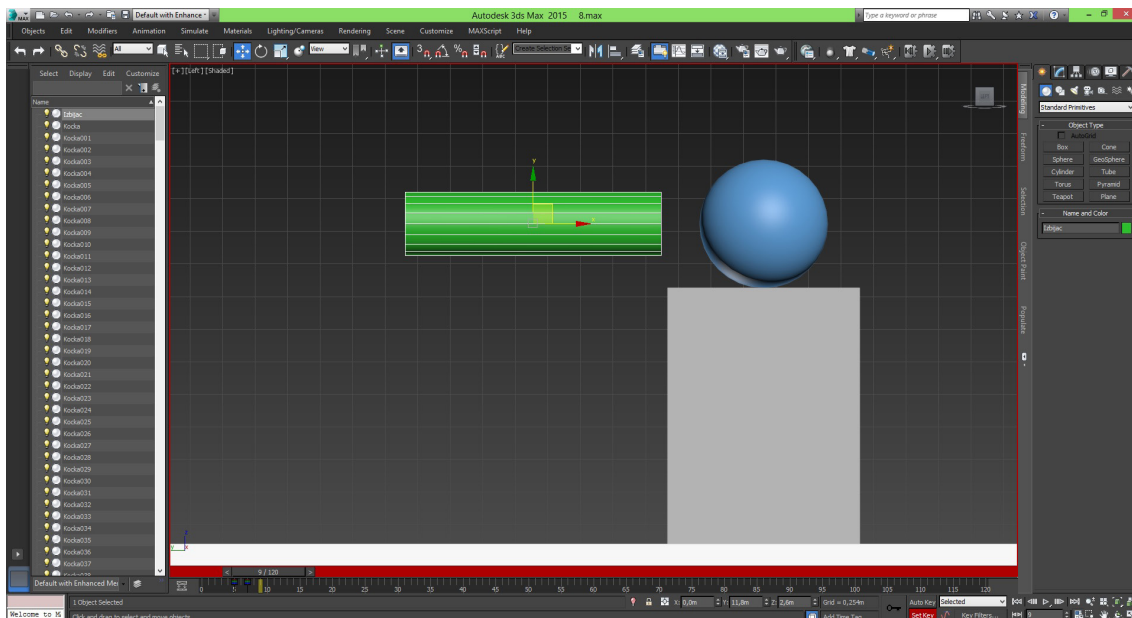
Slika 37. Prva ključna točka

Sljedeća ključna točka predstavlja krajnji pomaknuti položaj *izbijača*. Odabere se 7. sličica i pomakne valjak po Y osi za 1 m da bude na 10.8 m, te pritisne ključ. *Izbijač* je dijelom unutar *kugle* jer još nije zadana fizika krutih tijela. Dobije se druga RGB oznaka (sl. 38).



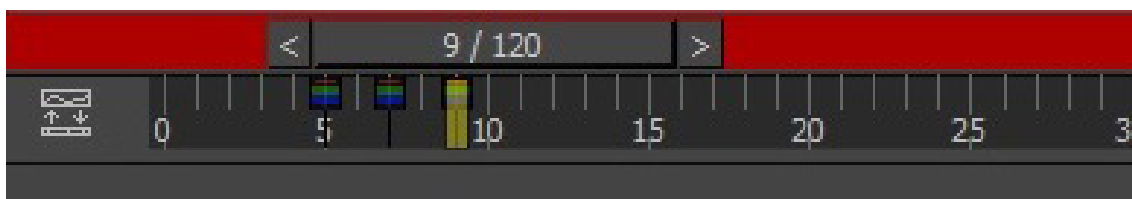
Slika 38. Druga ključna točka

Za zadnju ključnu točku odredi se 9. sličica, vrati *izbijač* na početni položaj na 11.8 m i pritisne ključ. Postavljene su tri točke u obliku RGB oznaka i pomak izbijača unutar 5 sličica (sl. 39).



Slika 39. Treća ključna točka

Brzina pomaka uz postavke fizike također određuje jačinu hitca. Ukupna animacija bit će duga 5 sekunda ili 120 sličica. Mora se i ovdje također uzeti u obzir i duljina trajanja iscrtavanja u fotorealističnom *Mental Ray* iscrtavaču (sl. 40).



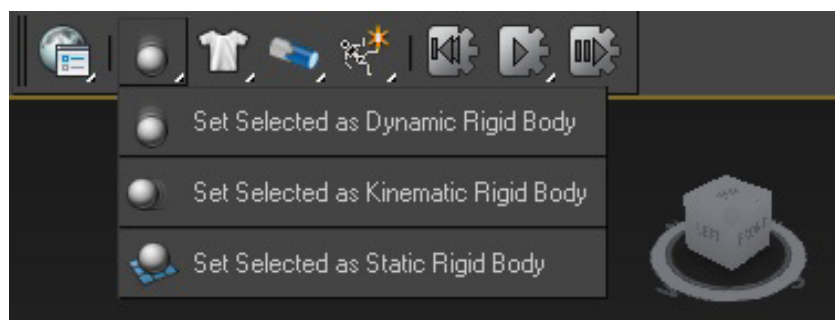
Slika 40. Vremenska linija s ključnim točkama

3.2.2. Mass FX Rigid Body

U 3ds Maxu postoji nekoliko načina kako odabrati *Mass FX Rigid Body*.

- Odabrati objekt/e > Modify panel > Modifier list > Object-Space Modifier > MassFX RBody
- Odabrati objekt/e > MassFX Toolbar > Odabrati opciju iz Rigid Body flyout
- Standard meni: Odabrati objekt/e > Animation menu > Simulation - MassFX > Rigid bodies > Set Selected as Dynamic/Kinematic/Static Rigid Body
- Enhanced meni: Odabrati objekt/e > Simulate menu > Tools - MassFX > Show MassFX Tools > MassFX Tools dialog > Rigid Bodies

Način dodjeljivanja fizike orijentirat će se na *MassFX Toolbar* opciju koja nastane klikom desne tipke miša na prazni dio gornje alatne trake, te se postavi kvačica na *MassFX Toolbar*. Unutar opcija se odabere ikona kugle (sl. 41). [11]



Slika 41. MassFX Toolbar na alatnoj traci i odabrana naredba

Program 3ds Max ima više parametara u *Mass FX Rigid Body* simulaciji. Najvažniji parametri su: vrsta tijela (*rigid body type*) koja sudjeluju, statičko trenje (*static friction*), dinamičko trenje (*dynamic friction*) i odbijanje (*bounciness*).

Postoje tri vrste tijela koja sudjeluju u simulaciji, to su dinamično (*dynamic*), statično (*static*) i kinematično (*kinematic*) tijelo. [11]

Dinamično tijelo se kreće mijenjanjem svojih svojstava ako se na nj primijeni neka zadana sila. Isto je kao aktivno tijelo u Blenderu. Kad se objektu u fizici dodijeli dinamično svojstvo, objekt odmah pada slobodnim padom od 9.81 m/s. Svi aktivni objekti padaju istom brzinom ako je okruženje u vakuumu, što je i ovdje postavljeno.

Statično tijelo ne mijenja položaj tijekom simulacije, nego ima statičnu ulogu kao čvrsta prepreka ili podloga po kojoj se aktivno tijelo kreće. Isto je kao pasivno tijelo u Blenderu.

Kinematično tijelo je vrsta tijela koje mijenja svoja svojstva uz pomoć ključnih točaka. U Blenderu nije bilo važno je li izbijač aktivan ili pasivan zbog prednosti ključnih točaka. U 3ds Maxu samo kinematično tijelo funkcionira s ključnim točkama.

Trenje u 3ds Maxu je postavljeno na 0.0 po početnim postavkama, a odbijanje na 0.3.

Odbijanje predstavlja jačinu međusobnog odbijanja krutih tijela. Vrijednost 0.0 ukazuje da se ne odbijaju, vrijednost 1.0 ukazuje na to da se objekt potpuno odbija sukladno svojoj težini. Isti zakoni odbijanja vrijede i u Blenderu. [11]

Na svim objektima u sceni primjenjuje se *Mass FX Rigid Body* fizika. *Pod* i *postolje* su statična tijela jer ne smiju mijenjati položaj ili oblik. *Objekt za razbijanje* i *kugla* su dinamična tijela, a *izbijač* je kinematično.

Postoje dvije vrste trenja, to su statičko (*static*) i dinamičko trenje (*dynamic friction*).

Static friction prikazuje stupanj trenja dvaju krutih tijela koja počinju kliziti jedno na drugom. Vrijednost 0.0 ukazuje da nema trenja (jako sklisko), vrijednost 1.0 ukazuje na puno trenje (nema klizanja). Ako neko kruto tijelo ima statičko trenje 0.0, nije važno kolika je vrijednost drugog tijela (sve klizi na ledu, čak i brusni papir). Nakon što dva objekta počinju kliziti, nastupa dinamičko trenje. [11]

Dynamic friction prikazuje stupanj trenja dvaju krutih tijela koja nastavljaju kliziti jedno na drugom. Tehnički, ovaj parametar se zove *koeficijent dinamičkog trenja*. Vrijednost 0.0 ukazuje da nema trenja (jako sklisko), vrijednost 1.0 ukazuje na puno trenja (nema klizanja). U stvarnom svijetu, ova bi vrijednost trebala biti manja od koeficijenta statičkog trenja (teže je započeti gurati kauč po podu nego nastavljati gurati). U Blenderu je samo jedna vrsta trenja. [11]

Prvi objekt na kojem se primjenjuje fizika je *pod* zato jer je temelj na kojem su smješteni svi ostali objekti. Dodjeljivanje fizike krutih tijela ići će istim redoslijedom kao i u Blenderu. *Pod* je statično tijelo i zato se u opciji *Rigid Body Type* odabere *Static* jer služi kao nepomična podloga. Ostavi se kvačica na polju *Collide with Rigid Bodies* da bi pod

sudjelovao u simulaciji (*Dynamic u Blenderu*). U opciji *Physical Material* odredi se da je *Mass* 0, iako upisivanjem nule, 3ds Max upiše 0.001. Masa nije bitna kod statičnog tijela u ovoj simulaciji. Pod *Static friction*, *Dynamic friction* i *Bounciness* upiše se 0.5. Pod *Physical Shapes* u polje *Shape Type* odredi se *Box* iako 3ds Max sam odredi oblik ovisno o tijelu koje se modelira. [11]

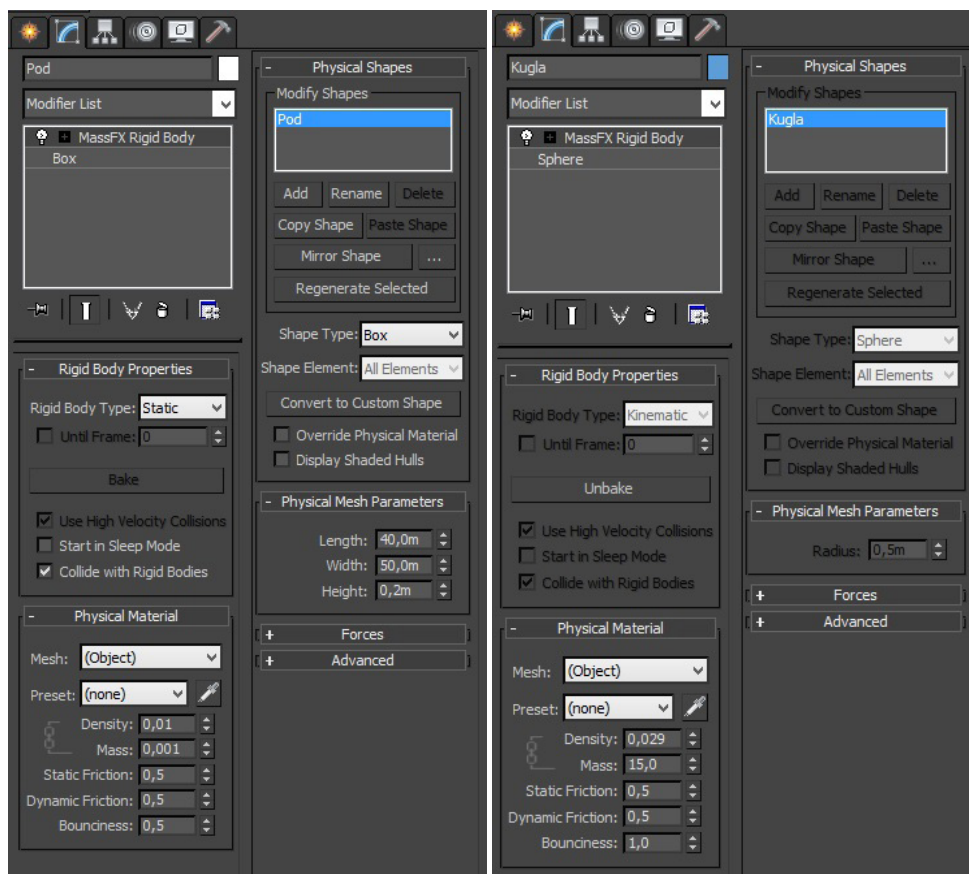
Slijedi *objekt za razbijanje* kojemu se daju dinamična svojstva. Izabere se jedna kocka. Pod *Rigid Body Type* odabere se *Dynamic* zato jer je dinamično tijelo kao i u Blenderu. Ostavi se kvačica na *Collide with Rigid Bodies* da bi objekt sudjelovao u simulaciji što vrijedi i za fiziku u drugim tijelima. U *Physical Material* odredi se da je *Mass* 0.1 što predstavlja 100 g. Pod *Static friction*, *Dynamic friction* i *Bounciness* upiše se 0.5. Pod *Physical Shapes* unutar *Shape Type* odredi se *Box* zbog njegova kockastog oblika. Sve kocke su preuzele fiziku glavne kocke zbog opcije *Instance* u *Array* modifikatoru na koju se obratila pozornost tijekom kreiranja *Array* skupine kocaka.

Slijedi *postolje* kojem se daje statično svojstvo krutih tijela. U *Rigid Body Type* odabere se *Static*. Pod *Physical Material* odredi se da je *Mass* 0. Pod *Static friction*, *Dynamic friction* i *Bounciness* upiše se 0.5 isto kao i za *pod*. U polju *Shape Type* odredi se *Box* zbog svog kockastog oblika ako se već nije samo zadalo.

Kugla je dinamično tijelo i odabere se takvo svojstvo krutih tijela. Odredi se *Mass* od 15 kg što nakon dugog testiranja daje rezultat identičan Blenderovoj simulaciji. Pod *Static friction* i *Dynamic friction* upiše se 0.5. *Bounciness* je 1 što je maksimalno za razliku od Blendera koji može imati jače, stilizirano odbijanje. U polje *Shape Type* odredi se *Sphere* zbog njegova okruglog oblika.

Izbijač je kinematično tijelo. Pod *Rigid Body Type* odabere se *Kinematic*. Odredi se *Mass* od 0 (0.001) što isto nije bitno za ovu simulaciju. Pod *Static friction* i *Dynamic friction* upiše se 0.5 iako ne sudjeluje u simulaciji. *Bounciness* je 1 za jako odbijanje. Pod *Shape Type* odredi se *Convex* zato jer nema opcije za valjak za razliku od Blendera. [11]

Kugla ima opće parametre kao dinamično tijelo, dok *pod* ima opće parametre kao statično tijelo (sl. 42). [11] [15]



Slika 42. Parametri poda kao statičnog objekta (lijevo) i kugle kao dinamičnog objekta (desno)

Svi parametri su opisani u tablici 4. U polju *Rigid Body Type* dva su objekta dinamična, jedan je kinematičan dok su ostali statični. Polje *Collide with RB* povezano je sa svim objektima. *Mass* je na svim objektima, iako na statičnima nije bitno. *Static friction* i *Dynamic friction* su svima na 0.5. *Bounciness* je svima isti osim kugli i izbijaču jer moraju imati jako odbijanje za hitac. [11]

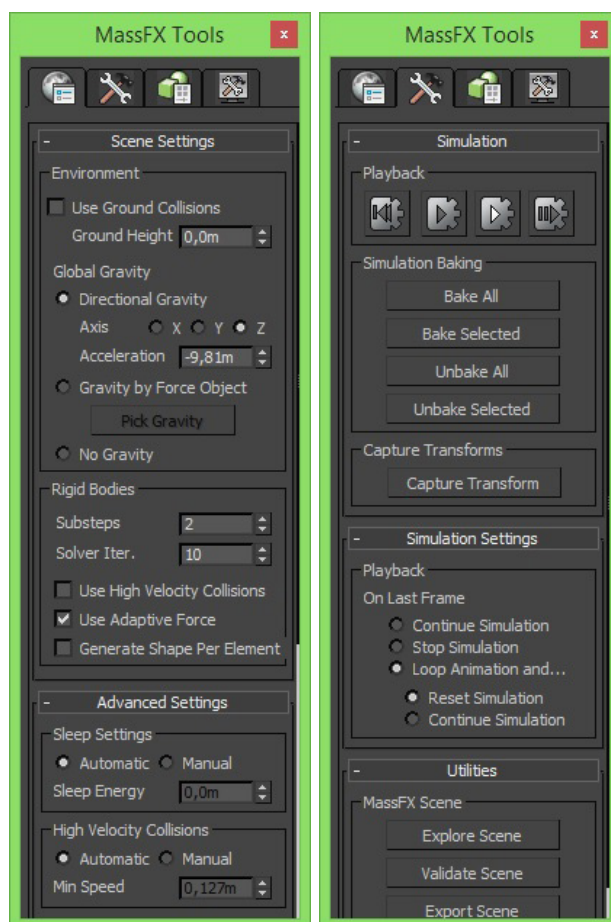
OBJEKTI U SCENI	Rigid Body Properties		Physical Materials				Physical Shapes
	Rigid Body Type	Collide with RB	Mass	S. Friction	D. Friction	Bounciness	Shape Type
Pod	Static	Da	0	0.5	0.5	0.5	Box
Objekt za razbijanje	Dynamic	Da	51.2	0.5	0.5	0.5	Box
Postolje	Static	Da	0	0.5	0.5	0.5	Box
Kugla	Dynamic	Da	15	0.5	0.5	1	Sphere
Izbijač	Kinematic	Da	0	0.5	0.5	1	Convex

Tablica 4. Parametri Mass FX Rigid Body u 3ds Maxu

3.2.3. Testiranje simulacije

Simulacija se prvo testira odabirom naredbe *Start Simulation* u obliku jednostruke strjelice na alatnoj traci u *Mass FX Toolbar*. Standardni način prikaza animacije s naredbom *Play Animation* s desne strane programa neće vrijediti ako simulacija nije "ispečena" (eng. *bake*), odnosno ako se ne pohrani cijeli tijek simulacije u obliku svih 120 ključnih točaka za svaki objekt. [11][15]

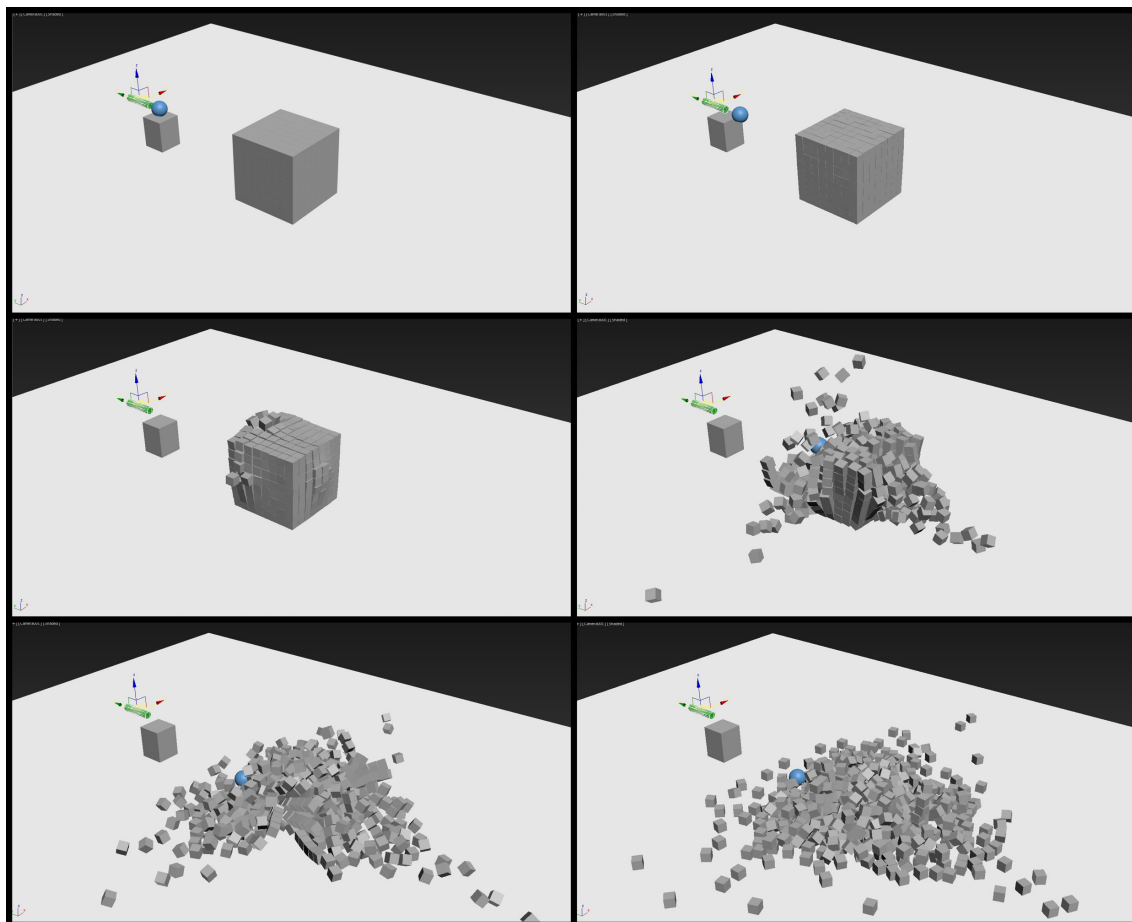
Dodatne opcije poboljšavanja simulacije nalazi se u *Mass FX Tools* unutar alatne trake *Mass FX Toolbar*. Pod *Mass FX Tools* odabere se ikona *World Parameters* i unutar *Rigid Bodies* polja postavi *Substeps* na 2 kako bi se tijela bolje ponašala bez sitnih anomalija (vibriranje na podu) koje imaju tijekom simulacije. Ova postavka je dovoljna za pravilnu simulaciju. Sljedeća ikona unutar *Mass FX Tools* je *Simulation Tools* koja nudi opciju *Simulation Baking*, te se odabere *Bake All* kako bi se cijela simulacija memorirala, odnosno pretvorila u ključne točke. U Blenderu se ne mora simulacija memorirati. Pod polje *Playback > On Last Frame* može se odrediti *Loop Animation* i *Reset* da se ponaša kao i Blender, odnosno da se nakon kraja simulacije ponovo resetira scena i pokrene opet simulacija (sl. 43). [11][15]



Slika 43. *World Parameters* i *Simulation Tools* unutar *Mass FX Tools*

Odabirom bilo kojeg objekta osim *izbijača*, na vremenskom liniji se pojave RGB oznake za svaku sličicu u sekundi. Sada se simulacija može standardno pokrenuti pritiskom na *Play Animation*.

Simulacija nije jako hardverski zahtjevna jer nema previše elemenata. Tako da se na snažnijem računalu može u realnom vremenu odvijati. Na početku simulacije *izbijač* napravi hitac *kuglom* i sruši cijeli *objekt za razbijanje* na male dijelove. Tijek simulacije predočen je u šest sličica (sl. 44).



Slika 44. Tijek simulacije sudara i fizike krutih tijela u 3ds Maxu

3.3. Iscrtavanje simulacija

Iscrtavanje ili *renderiranje* je postupak stvaranja slike od nekoga trodimenzionalnog modela uz pomoć posebnog programa. Iscrtavači ili *renderi* mogu sadržavati podatke o geometriji, točki gledišta, teksturi i osvjetljenju. Računalo uzima sve parametre koji su postavljeni u 3D sceni i stvara sliku. Iscrtavanje uključuje izračunavanje materijala, refleksije, refrakcije, sjene ovisno o parametrima izvora svjetla te reflektiranje toga svjetla od materijala na sceni. Danas se koristi simulacija virtualne zrake *Ray* što znači fizikalno osvjetljavanje. Ovaj proces se koristi kod računalnih igara, simulatora, filmova i specijalnih efekata, te u vizualizaciji dizajna. Iscrtavači su pažljivo napravljeni programi koji se bave disciplinama kao što su fizika svjetla, vizualno sagledavanje, matematika itd.

Dvije osnovne operacije u realističnom iscrtavanju su: transport (koliko svjetla dođe od jednog mjesta do drugog) i raspršenje (kako površina reagira na svjetlo). Tijekom procesa 3D iscrtavanja, broj refleksija “svjetlosnih zraka” može biti iskrojen da bi se postigao željeni vizualni efekt.

U 3D animaciji iscrtavanje se može odvijati sporo (*non-real time rendering*), ili u stvarnom vremenu (*real time rendering*). Prerenderiranje ili *non-real time rendering* je intenzivan proces koji se koristi u stvaranju filmova, dok je renderiranje u stvarnom vremenu ili *real time rendering* najviše prisutno kod 3D računalnih igara, gdje se vizualna scena uz pomoć grafičke kartice odmah obrađuje i prikazuje na monitoru.

Prerenderiranjem (*non-real time rendering*) se unaprijed odrede scene, pokreti kamere i ključne točke. Puno je sporije, ali daje najbolje ponašanje svjetla i fotorealistične rezultate oko 24-30 sličica u sekundi, ili više ovisno o postavkama. [16]

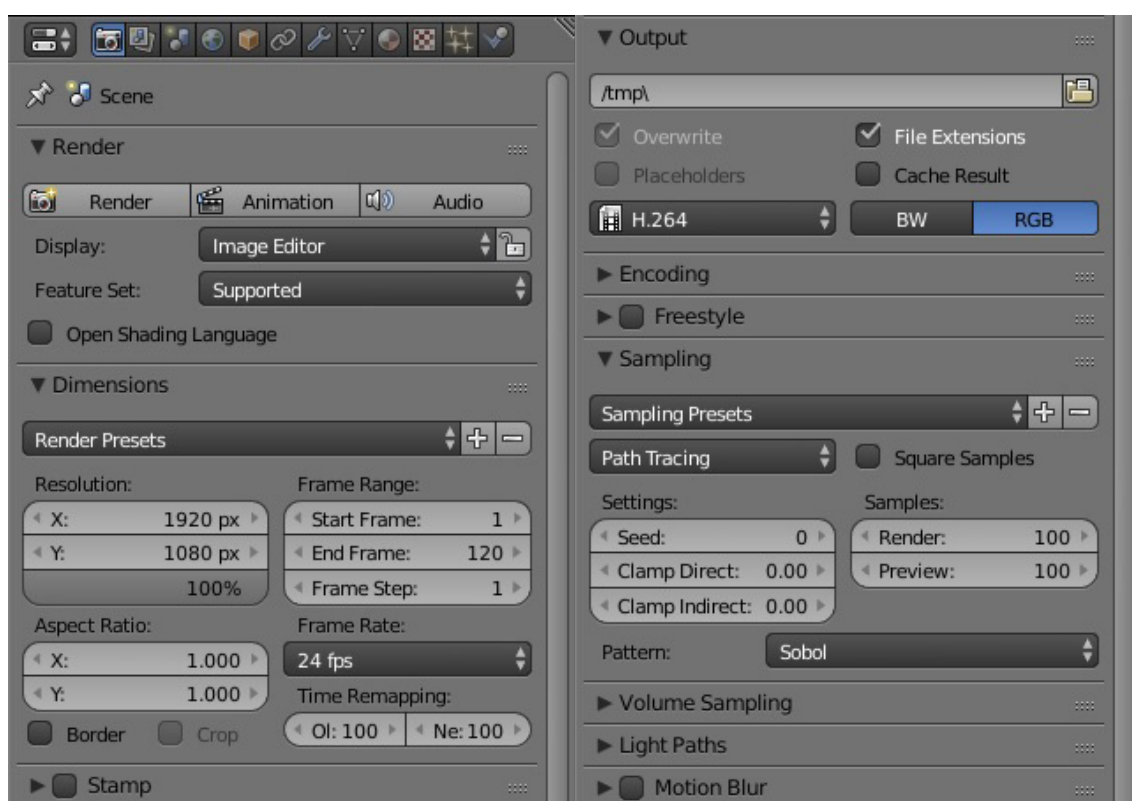
3.3.1. Cycle iscrtavač

Cycle je osnovni fotorealistični iscrtavač u Blenderu. Nastao je prije nekoliko godina u Blender verziji 2.6. Zahvaljujući zajednici i dobrovoljcima danas je jaka konkurencija iscrtavačima kao što su *Mental Ray*, *Vray*, *Iray*, *Octan*.

Za postavljanje scene za iscrtavanje potrebno je postaviti rasvjetu, dodijeliti materijale objektima i postaviti kameru. U ovom radu materijal će biti za *Cycle* iscrtavač s kombinacijom sjajnih i mat materijala. *Kugla* i *izbijač* će biti potpuno sjajni i ogledalasti da se istakne okruglost. *Pod* i *postolje* će biti djelomično sjajni da istaknu ponašanje *objekta za razbijanje*. Ako se ne dodijele materijali objektima, oni će automatski dobiti svojstva standardnog mat (*diffuse*) materijala.

3.3.1.1. Postavke iscrtavača

U opciji *Render* na desnoj alatnoj traci su postavke iscrtavanja. Pod *Render* poljem su naredbe za iscrtavanje slike (*Render*), animacije (*Animation*) i *Audio*. U ovome radu izvodit će se prve dvije naredbe. Sve se ostavi na tvorničkim postavkama unutar tog polja, te se u polju *Dimensions* odrede parametri rezolucije na 1920x1080 piksela i 100% te rezolucije koja predstavlja lakši način njezina smanjivanja ako je potrebno. Odrede se i *Start Frame* na 1 i *End Frame* na 120. U polju *Output* odredi se datoteka gdje će se spremiti video i odredi se format videa na H.264 da bude u RGB formatu, odnosno u boji. U polju *Sampling* odredi se kvaliteta iscrtavača koja se za potrebe svih 120 sličica postavi na 100 pod *Samples* u *Render* polju (sl. 45). [16]



Slika 45. Postavke iscrtavanja u *Render* opciji

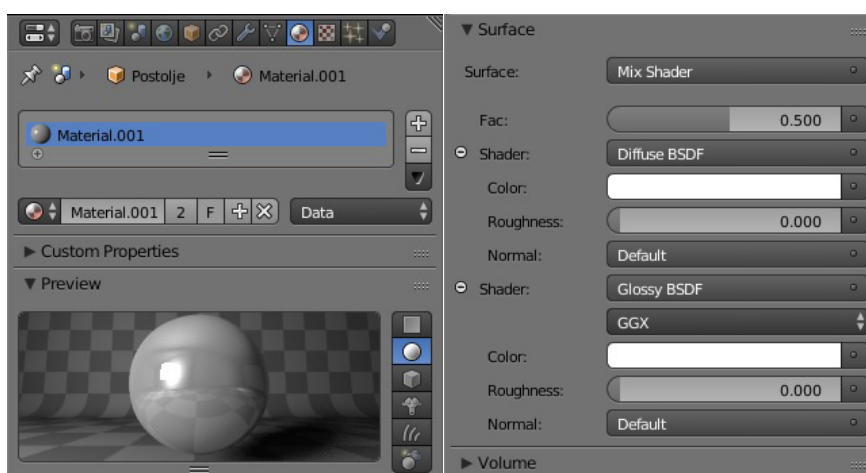
3.3.1.2. Postavke svjetlosti

Najvažniji element u iscrtavanju je svjetlost jer bez svjetlosti nema slike. Postoji nekoliko načina kreiranja svjetlosti. Za ovaj rad je odabran točkasti izvor svjetlosti koji se kreće u svim smjerovima za ljepši izgled simulacije. Pod opcijom *Create* ili kraticom Shift+A odabere se *Point* svjetlo unutar *Lamp*. Svjetlo nastane u sredini gdje je *cursor*, podigne se za 15 m po Z osi, pomakne za 5 m po X osi i -5 m po Y osi. U opciji *Lamp* unutar *Object data* nalaze se parametri i podvrste svjetla. Ostavi se *Point* i kvačica na polju *Cast Shadow* da bi se unutar scene nalazile sjene. Pod *Nodes* ostavi se *Surface* da bude *Emission* što znači da emitira svjetlost. *Color* odnosno boja se ostavi bijela da emitira bijelu svjetlost. *Strength* odnosno snaga se postavi na 10 000 (10000.000). [16]

3.3.1.3. Postavke materijala

Sljedeći važni elementi su materijali. U opciji *Material* na desnoj alatnoj traci nalazi se naredba *New* koja predstavlja stvaranje novog materijala. U teoretskom dijelu odabrano se za *pod*, *kuglu* i *izbijač* početni materijal samo zbog razlikovanja na sceni jer 3ds Max odmah daje boju objektima.

Kad se kreira novi materijal, potrebno je spustiti prozor *Preview* kako bi se vidio izgled materijala. Po početnim postavkama *Preview* prikazana je kugla. U opciji *Surface* pod polje *Surface* nalazi se popis gotovih materijala. Tu se odmah može odabrati sjajni materijal (*Glossy*), stakleni (*Glass*), mat (*Diffuse*), kombinacija materijala (*Mix Shader*) itd. Za pod je odabran *Mix Shader*. Za prvi Shader je odabran *Diffuse* i određena je bijela boja u *Color* parametrima 1/1/1 za RGB. Za drugi Shader je odabran *Glossy* i određena je također bijela boja. *Roughness* se postavi na 0 (sl. 46). [16]



Slika 46. Materijal za Cycle iscrtavač u Blenderu (Mix Shader)

Ne može se kreirati materijal za više objekata odjednom. Prvo se kreira za jedan objekt, onda se kopira na druge objekte. Za kopiranje materijala na više odabranih objekata potrebno je odabrati opciju *Specials > Copy Materials to Others* u obliku crne strjelice prema dolje pokraj naziva materijala. To je potrebno za kopiranje materijala s glavne kocke na sve ostale kocke unutar objekta za razbijanje.

Na tablici 5 su postavke materijala za određene objekte. *Roughness* određuje grubost materijala i postavljen je na 0. Za *pod* i *postolje* vrijedi opcija *Mix Shader* unutar popisa materijala u *Surface* opciji. U opciji *Settings* može se odrediti boja unutar običnog pogleda na scenu (*Viewport Color*). [16]

OBJEKTI U SCENI	Surface		
	Surface	Color (R/G/B)	Roughness
Pod	Diffuse/Glossy	1/1/1	0/0
Objekt za razbijanje	Diffuse	0/0.4/1	0
Postolje	Diffuse/Glossy	1/1/1	0/0
Kugla	Glossy	0/0.5/1	0
Izbijač	Glossy	0/0.5/0	0

Tablica 5. Parametri Cycle materijala u Blenderu

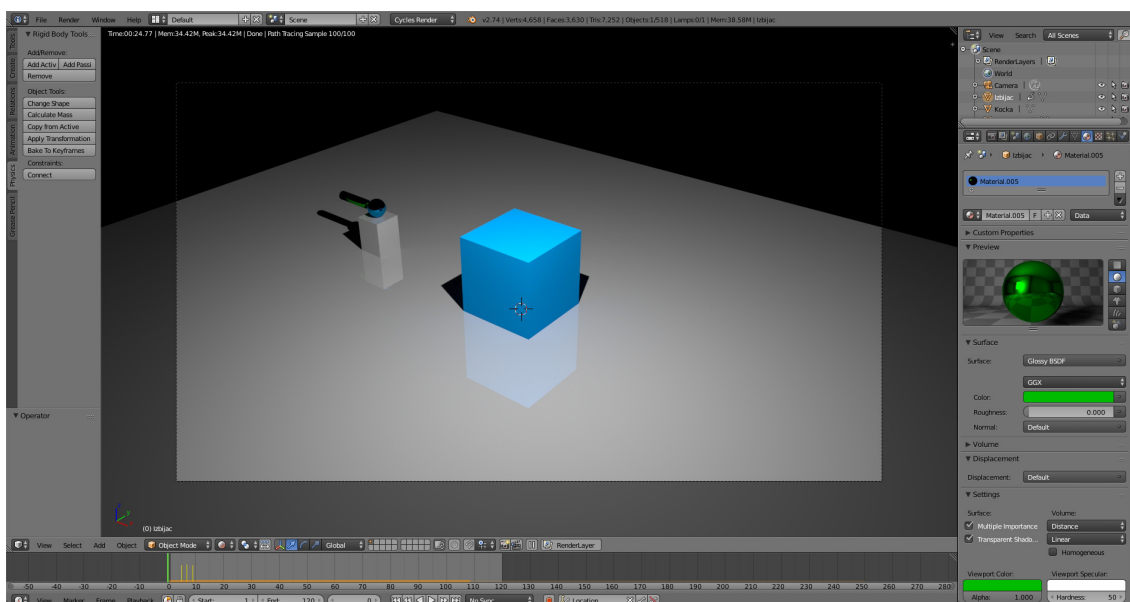
Tijek postavljanja iscrtavača i materijala može se provjeriti pod *Rendered* unutar *Viewport Shading*. Tako se scena prikazuje u iscrtavačkom realnom vremenu. Može se normalno orijentirati po sceni dok je aktivan *Render preview*. Mana tog prikaza je pojava šuma na početku dok se ne iscrta, ali to se s vremenom stabilizira. Izgled scene može se provjeriti i putem iscrtavanja slike pritiskom na *Render* pokraj *Animation* i *Audio* na vrhu *Render* opcije. Na taj način nastaje slika koja se može spremiti kao JPEG ili PNG format. Svjetlo je između kamere i *objekta za razbijanje*, ali je izvor svjetla iznad kadra [16]

3.3.1.4. Postavke kamere

Kamera je također važan element jer iscrtavač iscrtava scenu kroz nju. Slično kao i u stvarnosti jer sve što gledatelj gleda u filmu, seriji, emisiji je pogled kroz kameru. Kamera je prozor u svijet animacije, filma itd. U Blenderu je kamera već postavljena po početnim postavkama, samo se treba postaviti mjesto i kut u kojem će se scena iscrtavati.

U sceni se odabere kamera (*Camera*) i stisne se znak + u kutu scene ili kratica N na tipkovnici za postavke. Kraticom Num 0 uđe se u pogled kamere (*Camera Perspective*) i označavanjem polja *Lock Camera to View* kamera se može postaviti na isti način kao i orijentiranje po sceni. [16]

Za točnost prikaza kadra i bolju usporednu scene u Blenderu i 3ds Maxu, odredit će se koordinate u lokaciji (*Location*) i rotaciji (*Rotation*) kamere. Pod opcijom *Location* postavi se 20 m na X, -25 m na Y i 20 m na Z osi. Pod *Rotation* postavi se 60° za X, 0° za Y i 38° za Z osi. Cilj je da *objekt za razbijanje* bude u sredini kadra za ljepši prikaz završnog videa. Sada se može proučiti scena kroz kameru na *Render preview* način (sl. 47).



Slika 47. Prikaz scene kroz kameru na *Render preview* način

3.3.2. Mental Ray iscrtavač

Mental Ray je osnovni fotorealistični iscrtavač u 3ds Maxu i glavni je iscrtavač zastupljen u Autodeskovim programima. Iako novija verzija ima i poznati *Iray*. Mnogi modelatori također kupuju poznati *Vray* iscrtavač i ugrađuju ga u 3ds Max. Neke od opcija za iscrtavanje i materijal kao *Material editor* i *Render toolbar* su u alatnoj traci pokraj *Mass FX Toolbar* (sl. 48). [13][15]

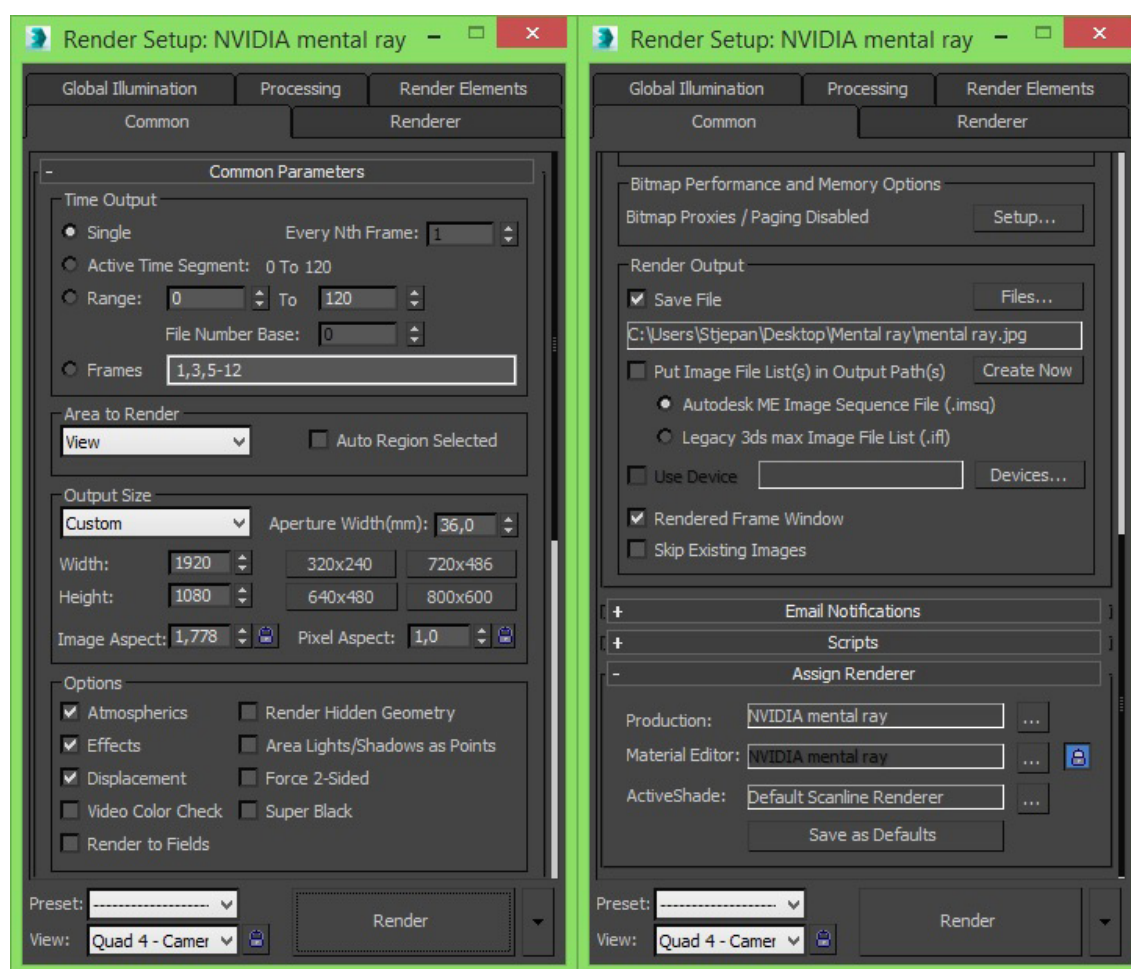


Slika 48. *Material editor* i *Render toolbar* u alatnoj traci

3.3.2.1. Postavke iscertavača

Kao i u Blenderu, potrebno je prvo postaviti iscertavač kako bi se došlo do materijala. U 3ds Maxu nije trebalo odmah postaviti iscertavač jer se mogla odrediti boja objektima za bolju preglednost scene bez davanja materijala.

U opciji *Render Setup* unutar *Render toolbar* i pod *Common* postavi se vrsta i ponašanje iscertavača. U *Common* polju pod *Common Parameters* odredi se rezolucija od 1920x1080 piksela i zadani broj od 120 sličica, te koje sličice iscertati. Prvo će se iscertati zadane sličice, onda cijeli video. Pod *Render Output* odabere se folder i format slike. Spusti se skroz do polja *Assign Renderer* i odabere *NVIDIA Mental ray*, te se spremi kao početna postavka (*Save as Defaults*) (sl. 49). [13][14][15]



Slika 49. Postavke iscertavača u *Render Setup* opciji

3.3.2.2. Postavke svjetlosti

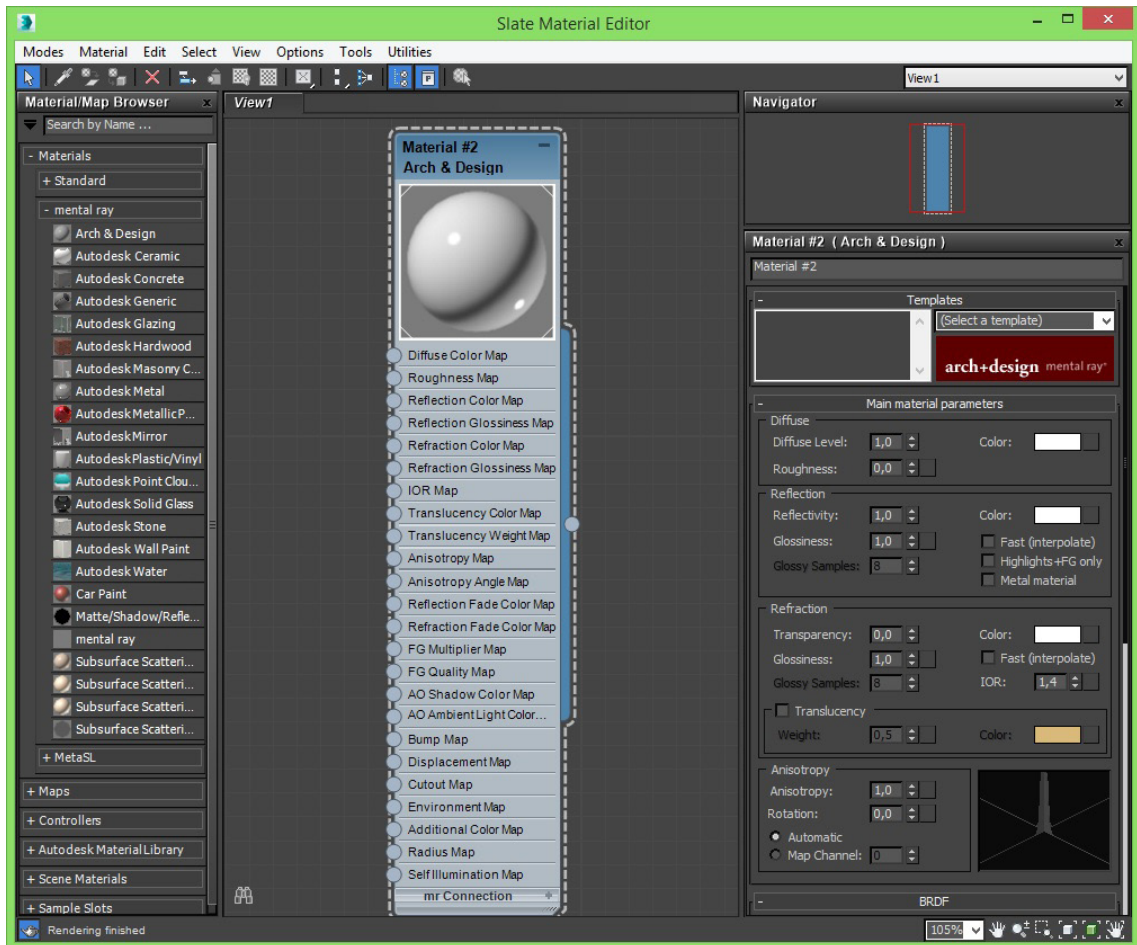
Svjetlost se kreira u opciji *Create* u desnoj alatnoj traci. Odabere se ikona lampe *Lights* pokraj *Geometry* i *Shapes*. Postoji nekoliko načina kreiranja svjetlosti. Za ovaj rad je odabran točkasti izvor svjetlosti koji se kreće u svim smjerovima isto kao i u Blenderu. Unutar *Lights* odabere se *Standard* vrsta svjetla, te *mr Area Omni* svjetlo. Kratica *mr* označava *Mental ray* odnosno da je svjetlost usko povezana sa zadanim iscrtavačem. Klikne se na scenu i objekt nastane na podu, odnosno mreži. Podigne se za 15 m po Z osi, pomakne za -5 m po X osi i -5 m po Y osi. Pod *Modify* nalaze se parametri podvrste svjetla. U *General parameters* unutar *Light Type* ostavi se *Omni* i kvačica na polju *On* da svjetlo bude aktivirano. Unutar *Shadows* ostavi se kvačica na *On* za prikaz sjena unutar scene i *Ray traced Shadow* za vrstu sjene nastalu od fizikalnog svjetla. U *Shadow parameters* može se postaviti boja sjene, ali u ovom slučaju ostaje crna boja da bude slično Blenderu. Ostale početne postavke su dovoljne za kvalitetno iscrtavanje. [13][14][15]

3.3.2.3. Postavke materijala

Material Editor je usko povezan s vrstom iscrtavača. Nakon odabira *Mental ray* iscrtavača, otvorile su se nove opcije materijala. U ovom radu koriste se *Arch & Design* materijali od *Mental ray* koji su dovoljni svim objektima u sceni. *Kugla* i *izbijač* će biti sjajni i ogledalasti kao i u Blenderu. *Pod* i *postolje* će imati odsjaj za bolju predodžbu objekta za razbijanje. *Izbijač* će imati isti materijal kao *kugla*, ali drukčiju boju.

Za postavke materijala odabere se *Material Editor* pokraj *Render Toolbar* ili kraticom M na tipkovnici. Otvori se novi prozor s popisom materijala s lijeve strane. Poželjno je imati dva monitora kako bi se prozor s materijalima mogao prebaciti na drugi monitor. Odabere se *Arch & Design*. Odabirom se stvori novo polje (*node*) unutar prostora za materijal, *node* se naziva *Material #X Arch & Design*. Odabirom na *node* s materijalom, otvore se parametri s desne strane.

Prvi objekt za dodjelu materijala je *pod*. Dovoljno je samo odrediti parametre odnosa *Diffuse* i *Reflection*. Unutar opcije *Diffuse* pod *Diffuse Level* upisuje se 1, za *Roughness* se upisuje 0. Unutar *Reflection* pod *Reflectivity* i *Glossiness* upisuje se 1. Pod *Color* upisuje se 1/1/1 unutar RGB polja za obje opcije. Dobio se materijal za *pod* i *postolje* sličan *Mix Shader* u Blenderu, te se primijeni na zadane objekte *poda* i *postolja* (sl. 50). [12][13]



Slika 50. Postavke Arch & Design materijala za Mental ray iscertavač

Na tablici 6. su postavke materijala za određene objekte. Svi su kreirani na identičan način, samo su im parametri i boja drukčiji. Kodovi boje su isti kao u Blenderu. *Color* za *Diffuse* i *Reflection* su isti za sve objekte. [12][13]

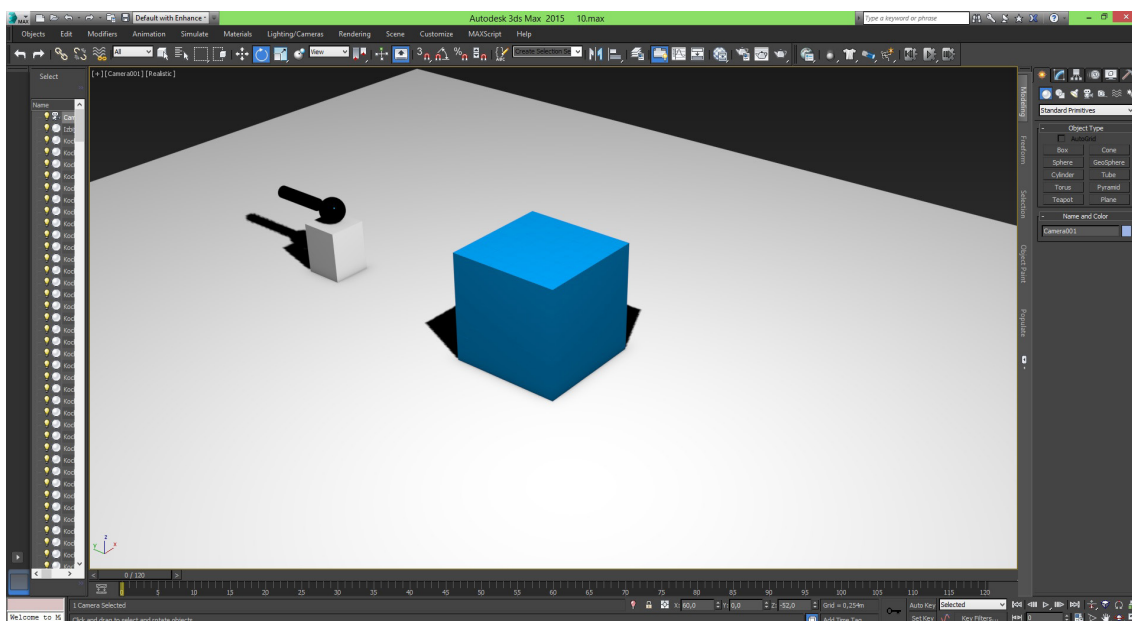
OBJEKTI U SCENI	Diffuse			Reflection		
	Diffuse Level	Roughness	Color (R/G/B)	Reflectivity	Glossiness	Color (R/G/B)
Pod	1	0	1/1/1	1	1	1/1/1
Objekt za razbijanje	1	0	0/0.4/1	0	0	0/0.4/1
Postolje	1	0	1/1/1	1	1	1/1/1
Kugla	0	0	0/0.5/1	1	1	0/0.5/1
Izbijač	0	0	0/0.5/0	1	1	0/0.5/0

Tablica 6. Parametri Mentay Ray materijala u 3ds Maxu

3.3.2.4. Postavke kamere

Autodeskov 3ds Max nema odmah postavljenu kameru u sceni po početnim postavkama. Treba se kreirati kao ostali objekti. Ostala pravila važnosti vrijede kao i za Blender. Pod *Create* na desnoj alatnoj traci odabere se ikona *Cameras* i pod vrstu se odabere *Free* kako bi kamera bila slobodna u sceni. Kamera se postavi na isti način kao i objekti, klikne se na scenu i nastane na podu, odnosno na mreži. Kraticom C uđe se u pogled kamere (*Camera Perspective*)

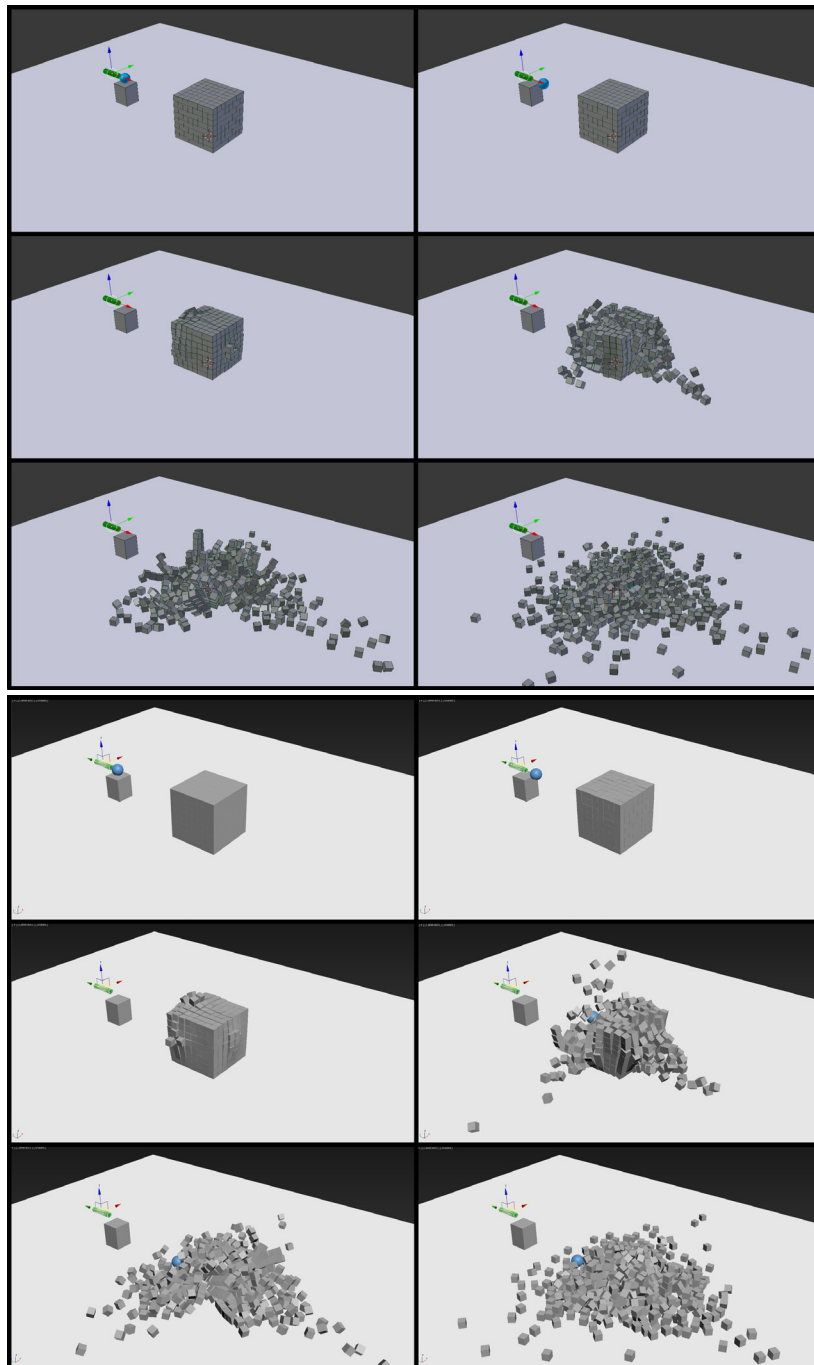
Za točnost prikaza kadra i bolju usporedbu scene s Blenderom odredit će se koordinate u lokaciji (*Select and Move*) i rotaciji (*Select and Rotacion*) kamere. Pod *Select and Move* postavi se -25 m na X, -20 m na Y i 20 m na Z osi. Pod *Rotation* postavi se 61° za X, 0° za Y, te -52° za Z osi. Koordinate su drukčije nego u Blenderu, ali prikaz kadra kroz kameru je identičan. Najvažnije je da objekt za razbijanje bude u sredini kadra za ljepši prikaz završnog videa. Način prikaza scene može se promijeniti iz *Shaded* u *Realistic* i pričekati da se zaglade objekti i sjene. *Shaded* prikazuje tamnom bojom ogledalaste materijale na *izbijaču* i *kugli* (sl. 51). [13][14][15]



Slika 51. Prikaz scene kroz kameru na Realistic način

3.3.3. Usporedba rezultata

Rezultati su slični s obzirom da su parametri identični. Glavna razlika je u masi *kugle* koja je u 3ds Maxu nekoliko puta veća od kugle u Blenderu. Masa *kugle* u Blenderu je 3 kg, a u 3ds Maxu 15 kg. To se postavilo zato jer masa *kugle* unutar 3ds Maxa nije mogla potpuno razbiti objekt za razbijanje, dok je Blender to s lakoćom napravio. Odbijanje (*bounciness*) izbijača i kugle je isto u oba programa (1- potpuno odbijanje). S tim postavkama simulacije su slične i obje se ponašaju realno (sl. 52).



Slika 52. Usporedba simulacije u Blenderu (gore) i 3ds Maxu (dolje)

3.4. Testiranje iscertavanja na računalima

Za testiranje ovih simulacija koriste se dva računala sličnih specifikacija. Konfiguracije su najsnažnije u svojoj klasi. Postoje jače konfiguracije, ali pripadaju profesionalnom segmentu za radne stanice i koštaju nekoliko puta više.

Stolno računalo za ovaj rad koristi jače vodeno hlađenje na procesoru i jače zračno hlađenje na grafičkoj kartici. Vodeno hlađenje je preporučeno jer zrakom hlađena voda izravno cirkulira cijevima od radijatora prema bakrenoj ploči koja je spojena termalnom pastom na procesor. Zračno hlađenje na grafičkoj kartici sastoji se od dva velika ventilatora koji hlade aluminijske i bakrene komponente također spojene preko termalne paste na grafički procesor.

Prijenosno računalo za ovaj rad ima najsnažnije rješenje za hlađenje procesora i grafičke kartice u svojoj klasi. Procesor i grafička kartica hlade se zračnim načinom, odnosno usisavanjem hladnog zraka na bakrenu ili aluminijsku površinu spoјenu na procesor termalnom pastom.

Procesor unutar prijenosnika troši 47 W, dok unutar stolnog troši 84 W struje. Procesori se sastoje od četiri jezgre unutar kojih se procesom *Hyperthreading* očituje osam virtualnih jezgri. Tijekom iscertavanja iskorištenost procesora je 100% i nije preporučeno koristiti druge programe.

Današnji procesori troše manje struje i manje se griju, a imaju veći takt jezgre nego prije (3.5 GHz). Svejedno treba paziti na duljinu i jačinu iscertavanja. Testiranje se odvija s procesorom, te će se usporediti duljina trajanja iscertavanja za pojedinačnu sličicu. Nakon toga slijedi sveukupan izračun za video od 120 sličica. Iz toga slijedi i izračun prosjeka iscertavanja jedne sličice jer nije svaka sličica jednaka u iscertavanju zbog postavki scene.

Osnovna konfiguracija stolnog računala:

Procesor: Intel Core i7 4770K - 4 jezgre od 3.5 GHz (3.9 GHz turbo) 84 W

Grafička kartica: Nvidia Geforce GTX780 - 3GB Video radne memorije

Radna memorija: Kingston HyperX 2x8GB - 16GB radne memorije

Osnovna konfiguracija prijenosnog računala:

Procesor: Intel Core i7 4860HQ - 4 jezgre od 2.4 GHz (3.6 GHz turbo) 47 W

Grafička kartica: Nvidia Geforce GTX980 - 4GB Video radne memorije

Radna memorija: Asus 2x8GB - 16GB radne memorije

3.4.1. Cycle iscertavač

Na tablici 7 prikazano je vrijeme iscertavanja pojedinih sličica i vrijeme iscertavanja cijele simulacije (120 sličica) za *Cycle* iscertavač.

Cycle render	Redni broj sličice						Cijela animacija
	1.	24.	48.	72.	96.	120.	
Stolno računalo	0:40	0:48	0:58	1:02	1:02	0:57	1:58:15
Prijenosno računalo	0:54	1:07	1:20	1:24	1:24	1:19	2:40:30

Tablica 7. Duljina iscertavanja pojedinih sličica i cijele animacije u *Cycle* iscertavaču

Stolno računalo - prosjek iscertavanja jedne sličice u *Cycle* iscertavaču: **59 sek**

- iscertavanje simulacije: **1 h, 58 min i 15 sek** (118 min i 15 sek)

Prijenosno računalo - prosjek iscertavanja jedne sličice u *Cycle* iscertavaču: **80 sek**

- iscertavanje simulacije: **2 h, 40 min i 30 sek** (160 min i 30 sek)

Stolno računalo je za **25%** brže iscertalo simulaciju u *Cycle* iscertavaču.

3.4.2. Mental Ray iscertavač

Na tablici 8 prikazano je vrijeme iscertavanja pojedinih sličica i vrijeme iscertavanja cijele simulacije (120 sličica) za *Mental Ray* iscertavač.

Mental Ray render	Redni broj sličice						Cijela animacija
	1.	24.	48.	72.	96.	120.	
Stolno računalo	0:42	0:45	0:45	0:45	0:42	0:42	1:25:30
Prijenosno računalo	0:54	0:57	0:57	0:57	0:54	0:54	1:50:20

Tablica 8. Duljina iscertavanja pojedinih sličica i cijele animacije *Mental Ray* iscertavaču

Stolno računalo - prosjek iscertavanja jedne sličice u *Mental Ray* iscertavaču: **43 sek**

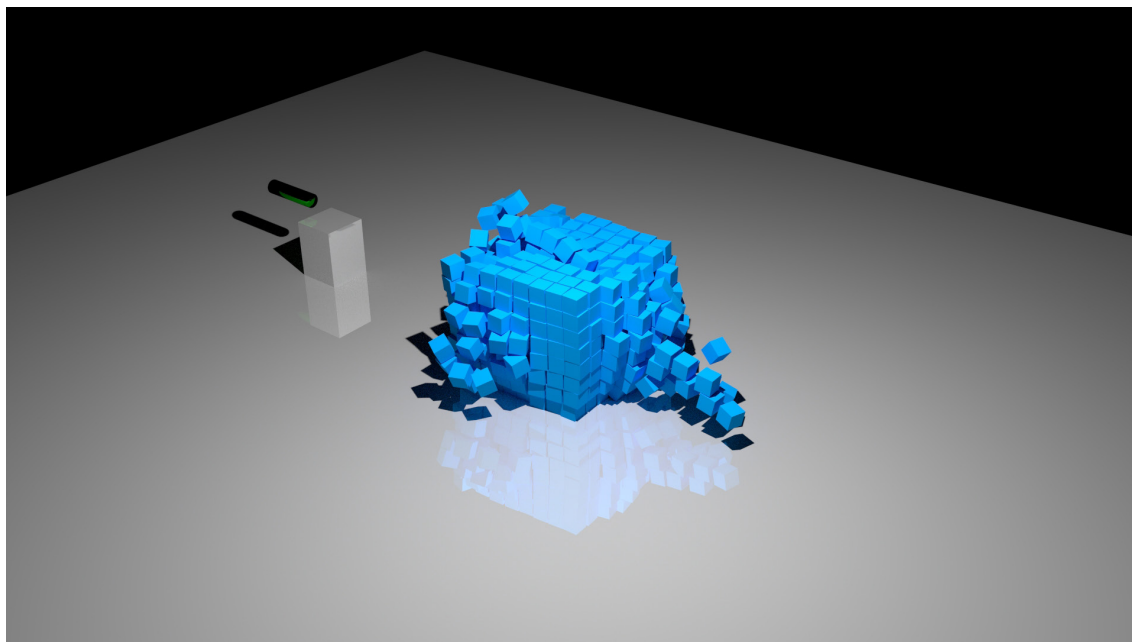
- iscertavanje simulacije: **1h, 25 min i 30 sek** (85 min i 30 sek)

Prijenosno računalo - prosjek iscertavanja jedne sličice u *Mental Ray* iscertavaču: **55 sek**

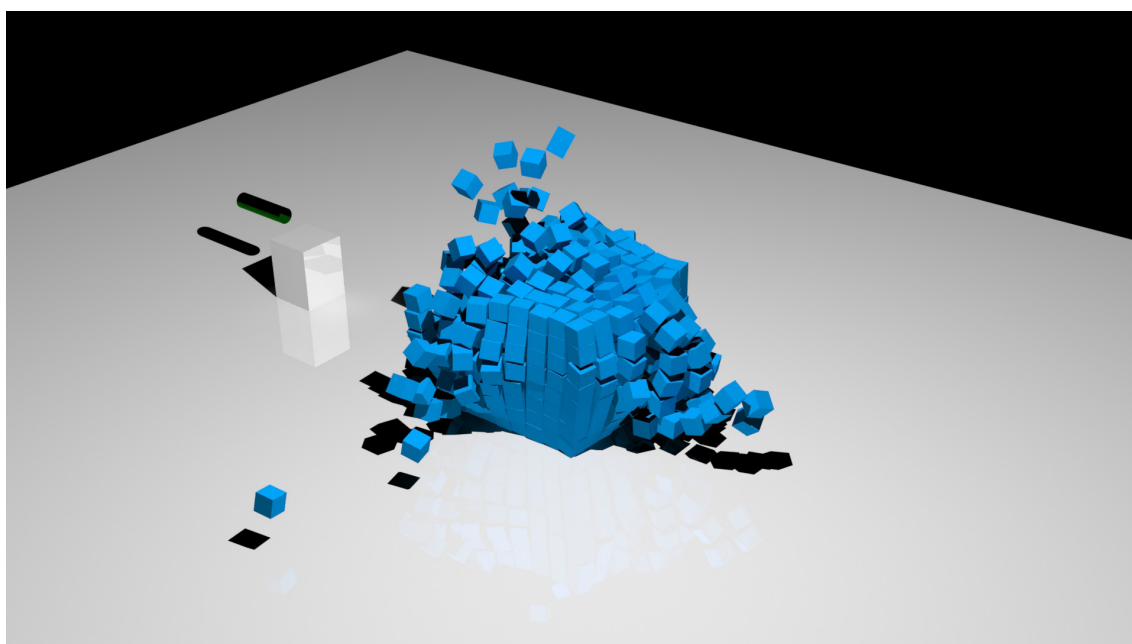
- iscertavanje simulacije: **1 h, 50 min i 20 sek** (110 min i 20 sek)

Stolno računalo je za **25%** brže iscertalo simulaciju u *Mental Ray* iscertavaču.

Cycle i *Mental Ray* nisu postavljeni na jednaku kvalitetu jer su parametri potpuno drukčiji, ali finalno rješenje je slične kvalitete. Nije se uspoređivala brzina iscrtavanja između njih jer su drukčiji parametri. Uspoređivao se isti iscrtavač između prijenosnog i stolnog računala. Uočljiva je razlika u rasvjeti, boji objekta za razbijanje i odsjaju od poda iako je sve identično postavljeno i po početnim postavkama. Svaki iscrtavač koliko god realan bio, ima svoje nijanse u prikazu scene. *Kugla* u 3ds Maxu je jače razbila objekt za razbijanje zbog svoje veće mase. Primjer je prikazan na 24. sličici u oba iscrtavača (sl. 53 i 54).

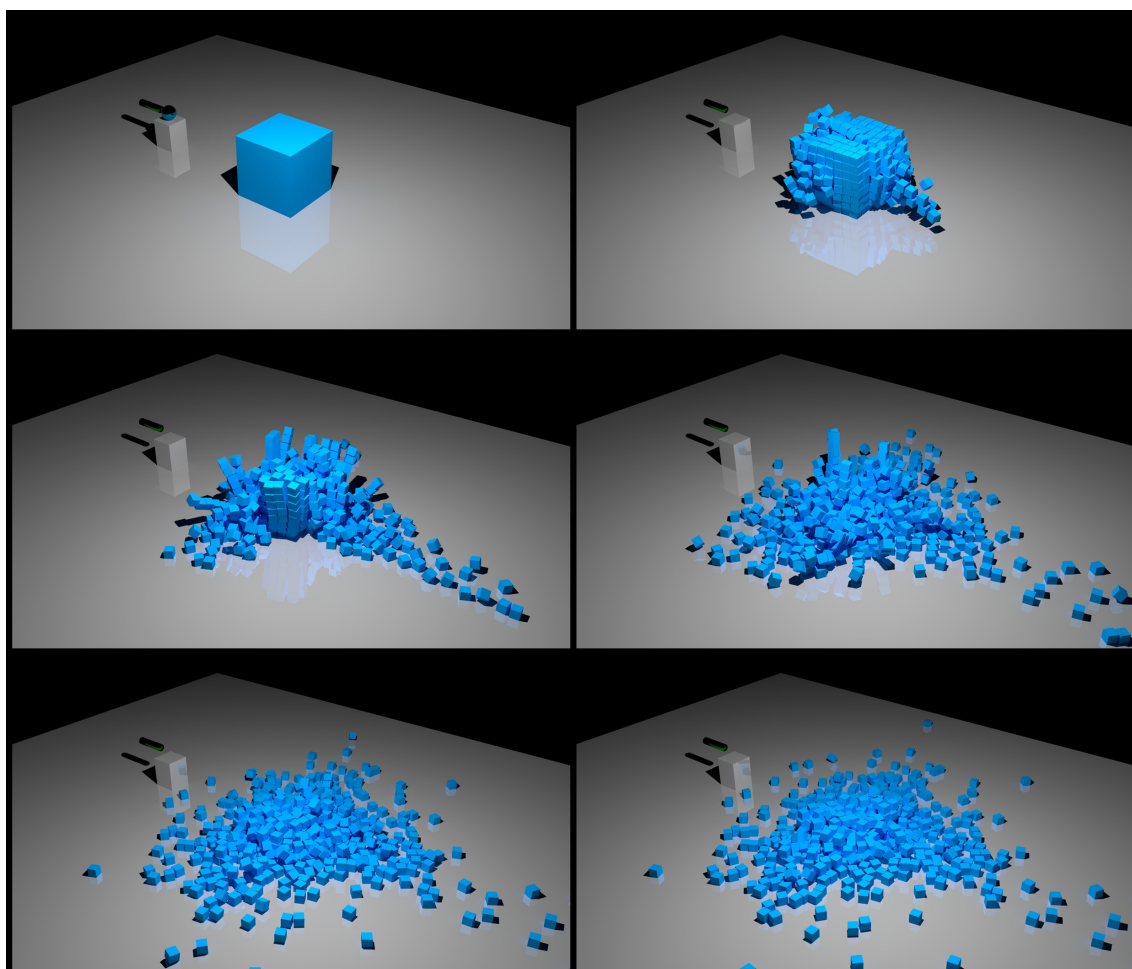


Slika 53. Sličica 24. u videu *Cycle* iscrtavača



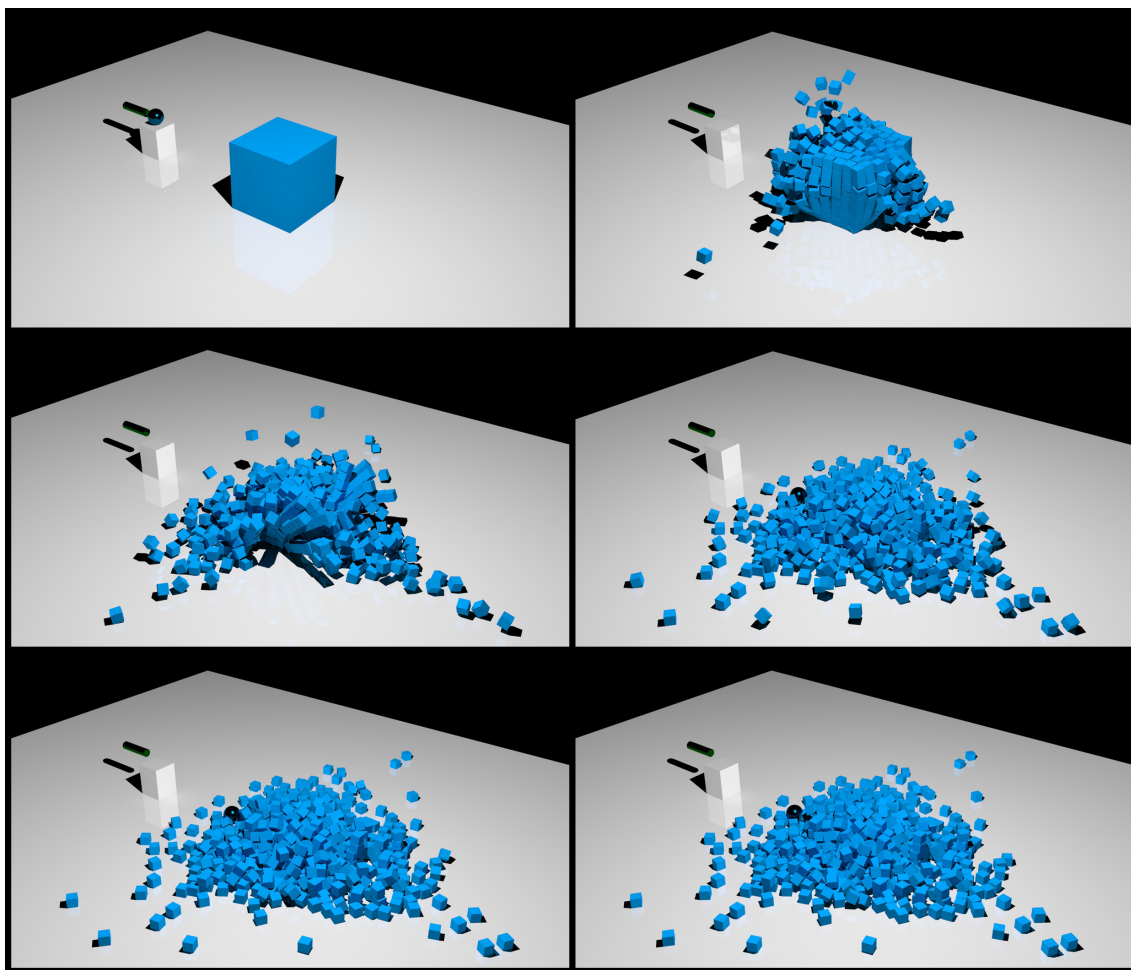
Slika 54. Sličica 24. u videu *Mental Ray* iscrtavača

Presjek iscrtanih videa u *Cycle* iscrtavaču je predodčen u šest sličica koje označavaju svaku sekundu u videu (1; 24; 48; 72; 96; 120. sličica) (sl 55.).



Slika 55. Presjek videa iscrtanog u Cycle iscrtavaču

Presjek iscrtanih videa u *Mental Ray* iscrtavaču je predložen u šest sličica koje označavaju svaku sekundu u videu (1; 24; 48; 72; 96; 120. sličica) (sl 56.).



Slika 56. Presjek videa iscrtanog u *Mental Ray* iscrtavaču

3.4.3. Usporedba rezultata

Stolno računalo je brže iscrtalo pojedine sličice i cijelu simulaciju što se i očekivalo s obzirom da prijenosnik ima termalno slabiju arhitekturu, slabiji procesor s nižim taktom jezgara (0.4 Ghz po jezgri) i manjom potrošnjom struje (47 W). U *Cycle* iscrtavaču je veća razlika između stolnog i prijenosnog računala u vremenu iscrtavanja središnjih sličica u simulaciji. Veća je razlika i u vremenu iscrtavanja od početnih do završnih sličica. *Mental Ray* je pokazao sličnije vrijeme iscrtavanja od početnih do završnih sličica. U oba iscrtavača pokazalo se da stolno računalo 25% brže iscrta simulaciju što i nije velika razlika s obzirom da je poznato da prijenosnici ne služe za iscrtavanje zbog svoje arhitekture hlađenja i stisnutih komponenata unutar tankog kućišta.

3.5. Potvrđivanje hipoteza

Prva hipoteza: Blender je dostojan suparnik Autodeskovu standardu u modeliranju i mehaničkoj simulaciji jednostavnog sudara iako je besplatan.

- pod dostojan suparnik podrazumijeva se približna kvaliteta modeliranja i simulacija bez obzira na manji broj parametara u fizici krutih tijela

Druga hipoteza: Prijenosno računalo, bez obzira na svoja toplinska i ostala ograničenja, dostojna je zamjena stolnom računalu identičnih specifikacija.

- pod dostojna zamjena podrazumijeva se da brzina iscrtavanja prijenosnog računala ne zaostaje puno za brzinom iscrtavanja stolnog računala

3.5.1. Potvrđivanje 1. hipoteze

Prva hipoteza je potvrđena. Blender je dostojan suparnik 3ds Maxa jer može jednako kvalitetno predočiti simulaciju jednostavnog sudara, iako ima manje parametara u fizici krutih tijela kao što su svojstva tijela i vrsta trenja. S Blenderom se može i stilizirati dok je 3ds Max ograničen stvarnošću kao što je na primjer odbijanje tijela.

3.5.2. Potvrđivanje 2. hipoteze

Druga hipoteza je potvrđena bez obzira na toplinska i ostala ograničenja prijenosnog računala. Prijenosno računalo u ovom radu je dalo slabije rezultate u brzini iscrtavanja finalne slike i videa većinom zbog 0.4 GHz razlike unutar osam virtualnih jezgri što daje razliku u jačini od 3.2 GHz takta (kao jačina jedne jezgre). Prijenosnik se ne grije puno s obzirom na druge prijenosnike koji su znaju biti užareni. S predodžbom same izvedbe simulacije jednak je stolnom računalu. Može podnijeti fizikalne parametre bez opterećenja. Iscrtavanje završne slike i videa je malo sporije s prijenosnikom što se i očekivalo. S obzirom da se prijenosna računala uopće ne koriste u iscrtavanju zbog svojih tankih kućišta i malih ventilatora, te nižeg takta procesora, ovaj prijenosnik se pokazao izuzetno pouzdanim. Temperature nisu bile prevelike tijekom jakog napora procesora.

Arhitektura stolnog računala u ovom radu je neusporedivo jača od prijenosnog. Vodeno hlađenje i viši takt jezgre je presudan u brzini iscrtavanja. Prijenosno računalo mora biti pretežito za računalne igre jer uz modeliranje, iscrtavanje i simulacije, računalne igre su najzahtjevnije zbog iscrtavanja i fizike u realnom vremenu.

4. ZAKLJUČAK

Računalna simulacija je najbolja zamjena za stvarnu simulaciju jer razvojem računala razvila se predodžba i točnost u koju se fizičari pouzdaju kada testiraju razne pojave i svojstva. Simulacije sudara kugle koja hitcem udari u objekt su uspješno izvršene u oba programa. Fizika krutih tijela inače nije previše zahtjevna za jaka računala za razliku od čestica koje u velikom broju optereće i najsnažnija računala. Najveće opterećenje je iscrtavanje u gotovi video ili skupinu sličica koje se naknadno u programu spoje u video.

Tijekom rada Blender i 3ds Max nisu puno različiti što se tiče logike postavljanja fizike krutih tijela. Blender se u modeliranju pokazao kao jednostavniji program jer odmah daje gotova tijela. 3ds Max ima poznatije pojmove u izboru parametara kao što su dinamično, statično, kinematično tijelo, te statičko i dinamičko trenje. Blender ima aktivno (dinamično), pasivno tijelo (statično) i jedno opće trenje. Za ove simulacije jednako su se tretirala trenja i vrste tijela. Sudar između izbijača i kugle je potpuno elastičan zbog postavke potpunog odbijanja, iako se izbijač ponaša kinematički uz pomoć ključnih točaka. Objekt za razbijanje se potpuno razbio i svi su se dijelovi srušili po svojoj fizici. Obje simulacije predočuju i izgledaju stvarno u skladu sa zakonima fizike. Stolno i prijenosno računalo jednako predočuju tijek simulacije i način prikaza scene u iscrtavaći pogled (Rendered preview) u Blenderu i realni pogled (Realistic shading) u 3ds Maxu.

Računalna simulacija i animacija razvijaju se jako brzo jer tehnologija stalno napreduje, što se može uočiti zadnjih dvadesetak godina. Računalna simulacija može ići samo naprijed jer razvoj i jačanje računalne tehnologije otvara nezamislive mogućnosti projiciranja raznih događanja. Blender postaje sve popularniji u amaterskom i profesionalnom svijetu. Postoji veliki broj ljudi koji besplatno izdaju vježbe i dijele ih s publikom. Svakim danom velika skupina ljudi razvija nove opcije volonterski ili uz pomoć donacija zajednice. Autodesk je velika korporacija koja i dalje drži veliki udio u računalnom svijetu i predstavlja standard.

5. LITERATURA

1. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=68673> (27.4.2015.)
2. http://hr.wikipedia.org/wiki/3D_modeliranje (27.4.2015)
3. <http://www.blender.org/about/> (28.4.2015)
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Blender_%28software%29 (28.4.2015)
5. <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/37087/3ds-max> (29.4.2015)
6. <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:2.4/Manual/Modifiers/Generate/Array> (3.5.2015)
7. https://www.blender.org/manual/animation/basics/key_frames.html (3.5.2015)
8. <http://wiki.blender.org/index.php/User:Sergof/GSoC2012/Documentation> (5.5.2015)
9. <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-9D7F747F-3F31-41A9-B8AA-BA94F251B5C5-htm.html> (7.5.2015.)
10. <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-065DBA5F-0C10-4F26-A4DE-92CE85090214-htm.html> (8.5.2015.)
11. <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax-Tutorial/files/GUID-60A7521E-B5FD-4165-9A0E-EAAD7FBB5D71-htm.html> (10.5.2015.)
12. <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax-Tutorial/files/GUID-5BA72891-97EC-4688-8B50-9FACC1FF040-htm.html> (13.5.2015.)
13. <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-0BDEA015-99E1-43DD-9CDB-B419A-BDB4100-htm.html> (15.5.2015.)
14. Randi L. Derakhshani, Dariush Derakhshani (2014) - Autodesk 3ds Max 2015 Essentials, Sybex by Wiley, Indiana
15. Kelly L. Murdock (2013) - Autodesk 3ds Max 2014 Bible, Wiley, Indiana
16. Bernardo Iraci (2013) - Blender Cycles: Lightning and Rendering Cookbook, Packt, Birmingham