

# Izrada 3D modela na primjeru stupa za dalekovod

---

Vlahović, Dario

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:840079>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**UNIVERZITET JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I**  
**INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Stručni studij Računarstva**

**IZRADA 3D MODELA NA PRIMJERU STUPA ZA**  
**DALEKOVOD**

**Završni rad**

**Dario Vlahović**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za ocjenu završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Dario Vlahović
Studij, smjer:	Stručni prijediplomski studij Računarstvo
Mat. br. pristupnika, god.	4599, 07.10.2020.
JMBAG:	0165078334
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Alfonzo Baumgartner
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	doc. dr. sc. Tomislav Galba
Član Povjerenstva 1:	izv. prof. dr. sc. Alfonzo Baumgartner
Član Povjerenstva 2:	izv. prof. dr. sc. Tomislav Keser
Naslov završnog rada:	%naziv_rada%
Znanstvena grana završnog rada:	<b>Procesno računarstvo (zn. polje računarstvo)</b>
Zadatak završnog rada:	[Rezervirano: Dario Vlahović] Koristeći gotove programe za 3D modeliranje izraditi stup za dalekovodu po mogućnosti prema stvarnom nacrtu s realnim dimenzijama. Generirati nekoliko 3D slika, te po mogućnosti i kratku animaciju kako bi se stup dalekovoda vidio sa svih strana.
Datum ocjene pismenog dijela završnog rada od strane mentora:	05.09.2024.
Ocjena pismenog dijela završnog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum obrane završnog rada:	12.09.2024.
Ocjena usmenog dijela završnog rada (obrane):	Izvrstan (5)
Ukupna ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio stručni prijediplomski studij:	12.09.2024.



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 12.09.2024.

**Ime i prezime Pristupnika:**

Dario Vlahović

**Studij:**

Stručni prijediplomski studij Računarstvo

**Mat. br. Pristupnika, godina upisa:**

4599, 07.10.2020.

**Turnitin podudaranje [%]:**

9

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Izrada 3D modela na primjeru stupa za dalekovod**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Alfonzo Baumgartner

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak završnog rada .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKA OSNOVA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Povijest i razvoj dalekovoda.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Tehnički zahtjevi i standardi .....</b>	<b>3</b>
2.2.1. Tehnički zahtjevi .....	3
2.2.2. Razlozi za odstupanje od standarda .....	4
<b>3. KORIŠTENE TEHNOLOGIJE.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Blender .....</b>	<b>5</b>
3.1.1. O programu.....	5
3.1.2. Glavne značajke programa.....	6
3.1.3. Komparacija s alternativnim alatima za 3D modeliranje .....	7
<b>4. MODEL DALEKOVODA.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Proces modeliranja.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2. Izbor materijala i tekstura .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3. Izazovi i rješenja.....</b>	<b>20</b>
<b>5. ANALIZA MODELA.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1. Prikaz i analiza slika modela.....</b>	<b>24</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>29</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>30</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>32</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>33</b>

# 1. UVOD

U modernom svijetu, tehnologija 3D modeliranja predstavlja neizostavan alat u dizajnu i inženjeringu, omogućujući precizno i detaljno vizualiziranje objekata iz stvarnog svijeta. Ovaj završni rad istražuje primjenu programa Blender za 3D modeliranje u svrhu izrade autentičnog i preciznog modela stupova za dalekovode. Cilj rada je postići visoki realizam te omogućiti vizualizaciju stvarnih dimenzija i oblika stupova, uz generiranje niza 3D slika za sveobuhvatno promatranje modela iz različitih kutova, kao i izradu kratke animacije radi poboljšanja percepcije i razumijevanja dizajna. U drugom poglavlju rada obrađuje se teorijska osnova, uključujući povijest i razvoj dalekovoda te tehničke zahtjeve i standarde. Treće poglavlje posvećeno je korištenim tehnologijama, s posebnim naglaskom na Blender, njegovim glavnim značajkama i komparacijom s alternativnim alatima za 3D modeliranje. Četvrto poglavlje detaljno opisuje proces izrade modela dalekovoda, od izbora materijala i tekstura do rješavanja tehničkih izazova. U petom poglavlju se prikazuje analiza modela, s naglaskom na prikaz i analizu slika modela iz različitih perspektiva. Na kraju, šesto poglavlje donosi zaključke i osvrt na postignute rezultate i potencijalne primjene modela u inženjerskim i obrazovnim kontekstima.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Koristeći gotove programe za 3D modeliranje izraditi stup za dalekovodu po mogućnosti prema stvarnom nacrtu s realnim dimenzijama. Generirati nekoliko 3D slika, te po mogućnosti i kratku animaciju kako bi se stup dalekovoda vidio sa svih strana.

## **2. TEORIJSKA OSNOVA**

Dalekovod je specijalizirana struktura dizajnirana za prijenos električne energije ili signala na velike udaljenosti, igrajući ključnu ulogu u isporuci električne energije od elektrana do trafostanica, a potom i do kuća i poslovnih objekata. Dalekovodi su ključni za učinkovit prijenos visokog napona na velike udaljenosti. Dalekovodi se sastoje od nekoliko ključnih komponenti. Vodiči su osnovni elementi koji prenose električnu struju, obično izrađeni od materijala poput aluminija ili bakra, a često su poduprti čelikom radi dodatne čvrstoće. Izolatori sprječavaju curenje električne struje s vodiča na tlo ili druge objekte, a često su izrađeni od stakla, porculana ili polimera. Osim fizičkih komponenti, dalekovodi imaju i svojstva poput otpornosti, koja uzrokuje gubitke energije u obliku topline, te induktivnosti, koja nastaje zbog magnetskog polja koje se stvara oko vodiča. Kapacitivnost se javlja između vodiča i tla ili između više vodiča, što utječe na raspodjelu napona duž linije. Zaštitni vodiči koriste se za zaštitu dalekovoda od udara munje pružanjem niskootporne staze do tla, dok stupovi i tornjevi podržavaju vodiče i održavaju potrebnu udaljenost od tla i drugih struktura. Dalekovodi se klasificiraju prema razinama napona. Nadzemni dalekovodi uključuju visokotlačne linije (69 kV do 765 kV) koje se koriste za prijenos energije na velike udaljenosti, srednjenaponske linije (1 kV do 69 kV) za regionalnu distribuciju te niskonaponske linije (ispod 1 kV) za lokalnu distribuciju do potrošača. Podzemni dalekovodi koriste se u urbanim područjima gdje su nadzemni vodovi nepraktični [1]. Oni uključuju kableske dalekovode, koji su izolirani kako bi spriječili gubitke energije i osigurali sigurnost, te plinom izolirane vodove (GIL), koji koriste plinove poput SF<sub>6</sub> za prijenos visokog napona u kompaktnim prostorima [2]. Podmorski dalekovodi koriste se za prijenos električne energije preko vodenih tijela, kao što su otoci ili morski prolazi, koristeći teške izolirane i zaštićene kablove [1].

### **2.1. Povijest i razvoj dalekovoda**

Prvo prijenos električnih impulsa na veću udaljenost demonstrirao je 14. srpnja 1729. godine fizičar Stephen Gray kako bi pokazao da se na taj način može prenijeti elektricitet. Demonstracija je koristila vlažne konopce od konoplje obješene o svilene niti (niski otpor metalnih vodiča tada još nije bio poznat). Međutim, prva praktična primjena nadzemnih vodova

bila je u kontekstu telegrafije. Do 1837. godine eksperimentalni komercijalni telegrafski sustavi funkcionirali su na udaljenostima do 20 km (13 milja). Prijenos električne energije ostvaren je 1882. godine prvim visokovoltažnim prijenosom između Münchena i Miesbacha. Godine 1891. izgrađen je prvi trofazni nadzemni vod izmjenične struje povodom Međunarodne izložbe električne energije u Frankfurtu, između Lauffena i Frankfurta. Godine 1912. u funkciju je stavljen prvi nadzemni vod snage 110 kV, a 1923. godine prvi nadzemni vod snage 220 kV. Tijekom 1920-ih godina RWE AG je izgradio prvi nadzemni vod za ovaj napon i 1926. godine izgradio prijelaz preko Rajne s tornjevima u Voerdeu, s dva stupa visoka 138 metara. U Njemačkoj je 1957. godine puštena u rad prva nadzemna linija snage 380 kV (između transformatorske stanice i Rommerskirchena). Iste godine puštena je u rad nadzemna linija preko Mesinskog tjesnaca u Italiji, čiji su tornjevi poslužili kao model za izgradnju Elbe Crossing 1. Ovo je poslužilo kao model za izgradnju Elbe Crossing 2 u drugoj polovici 1970-ih, kada su izgrađeni najviši stupovi za nadzemne vodove na svijetu. Počevši od 1967. godine u Rusiji, kao i u SAD-u i Kanadi, izgrađene su nadzemne linije za napon od 765 kV. Godine 1982. u Rusiji je izgrađena nadzemna linija između Elektrostala i elektrane u Ekibastuzu, trofazna izmjenična strujna linija na 1150 kV (električni vod Ekibastuz-Kokshetau). Godine 1999. u Japanu je izgrađena prva dvokružna dalekovodna linija za napon od 1000 kV, Kita-Iwaki Powerline. Godine 2003. započela je izgradnja najvišeg nadzemnog voda u Kini, prijelaz rijeke Yangtze [3].

## **2.2. Tehnički zahtjevi i standardi**

U ovom projektu, glavni cilj bio je izraditi vizualno i funkcionalno prikaziv model dalekovoda, fokusirajući se na osnovne aspekte dizajna, poput visine konstrukcije, koja iznosi približno 30 metara. Međutim, s obzirom na prirodu zadatka i ograničenja, model nije bio u potpunosti usklađen s tehničkim zahtjevima i standardima koji bi se primjenjivali u stvarnim projektima izgradnje dalekovoda.

### **2.2.1. Tehnički zahtjevi**

Glavni tehnički zahtjev koji je primijenjen u ovom modelu odnosi se na visinu strukture, koja je projektirana tako da odražava tipičnu visinu stvarnog dalekovoda, približno 30 metara. Ovo je postignuto kako bi model vizualno odgovarao stvarnim dimenzijama dalekovoda, pružajući realističan prikaz visine u odnosu na okolinu.



### **2.2.2. Razlozi za odstupanje od standarda**

Budući da je ovaj projekt prvenstveno usmjeren na izradu 3D modela radi vizualizacije i demonstracije osnovnog koncepta dalekovoda, nije bilo nužno ili praktično uključiti sve složene tehničke zahtjeve i standarde. Glavni fokus bio je na stvaranju osnovne strukture koja bi mogla služiti kao vizualni alat, a ne na detaljnoj inženjerskoj analizi ili izradi koja bi zahtijevala precizno poštivanje svih standarda.

### **3. KORIŠTENE TEHNOLOGIJE**

Računalna grafika je područje koje se bavi stvaranjem, manipuliranjem i prikazivanjem vizualnih elemenata s pomoću računalnih tehnologija. Računalna grafika kombinira princip rada računala i principa vizualne umjetnosti kako bi se stvorila digitalni vizualni sadržaji. Između ostalih vizualnih sadržaja, u ovom radu ćemo se baviti ponajviše slikama. Slike, kao osnovni grafički elementi, definirane su brojem piksela u visini i širini. Kada se radi o računalnom kontekstu, slike se mogu sačuvati u obliku vektorske grafike, gdje se koriste matematički opisi poznati kao vektori kako bi se stvorile linije i krivulje. S druge strane, rasterska grafika se manifestira kroz piksele, gdje svaki piksel pohranjuje informaciju o boji. Ovo često rezultira većom memorijskom potrošnjom datoteke. Važno je napomenuti da povećavanjem veličine rasterske slike dolazi do gubitka kvalitete i oštine slike, za razliku od vektorske grafike koja održava kvalitetu neovisno o veličini.

#### **3.1. Blender**

Blender je besplatan i otvoren izvorni program za 3D modeliranje, animaciju, renderiranje, simulaciju, video montažu i stvaranje interaktivnih aplikacija, uključujući igre. Razvijen od strane Blender Foundation i podržan velikom zajednicom korisnika i programera, Blender nudi širok spektar alata za 3D modeliranje, animaciju likova, realistično renderiranje sa engine-ima poput Cycles i Eevee, kao i za simulacije fizike, čestica i fluida. Pored toga, omogućava osnovnu video montažu, postprodukciju i jednostavno stvaranje interaktivnih aplikacija. Blender je svestran alat koji se koristi u industrijama kao što su film, igre, vizuelni efekti i arhitektonske vizualizacije, a njegova otvorenost omogućava proširenja i prilagodbe putem dodataka i skripti u Pythonu.

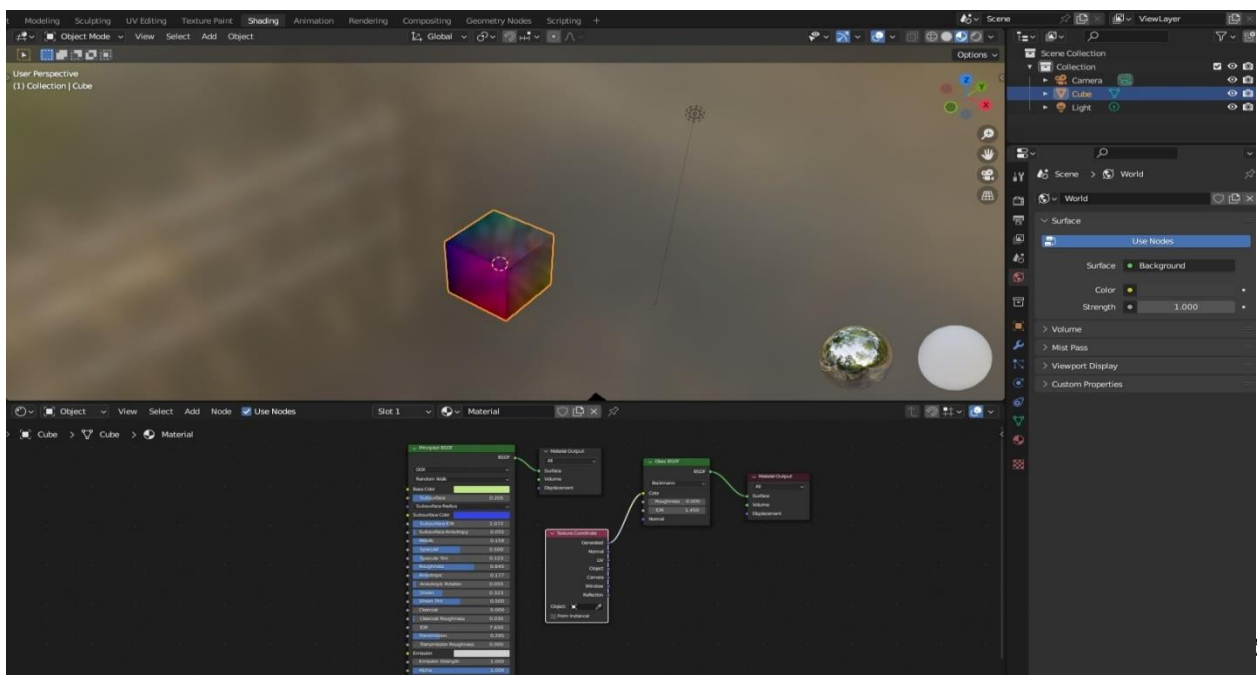
##### **3.1.1. O programu**

Blender se pojavljuje kao besplatni softver za 3D računalnu grafiku, nudeći širok spektar mogućnosti uključujući stvaranje animacija, modeliranje u 3D-u, izradu video igara, simulacija, aplikacija u 3D okruženju, virtualne stvarnosti i postprodukciju video materijala. Za iskusnije korisnike, program pruža opciju programiranja u Pythonu, omogućavajući razvoj prilagođenih alata prema vlastitim zahtjevima. S obzirom na podršku različitih operativnih sustava, Blender postaje pristupačan širokom spektru korisnika. Izuzetno bitno je napomenuti da je Blender otvorenog koda, otvarajući put svima za pristup izvornom kodu programa. Zbog te činjenice, zajednica oko Blendera je konstantno rasla tijekom godina. Što se tiče procesa renderiranja,

Blender se oslanja na dva primarna mehanizma: Eevee i Cycles. Cycles je preporučen za zahtjevnije renderiranje koje uključuje kompleksne elemente i scene gdje svjetlo igra ključnu ulogu. Važno je napomenuti da Cycles, dok pruža visokokvalitetne rezultate, može zahtijevati duže vrijeme za izvršavanje renderiranja u usporedbi s Eevee-om.

### 3.1.2. Glavne značajke programa

Renderiranje, modeliranje, kiparstvo, animacija, Story Art, VFX, simulacija, obrada videa i mnoge druge značajke i funkcionalnosti koje nudi potpuno besplatno. U ovom projektu završnog rada ponajviše se radi o modeliranju 3D modela dalekovoda i kratkom animacijom, stoga je Blender bio prvi i najbolji izbor za izradu. Prilikom procesa izrade modela, Blender nudi mogućnost primjene raznih modifikatora na sam objekt. Ovi modifikatori uključuju dodavanje kosina na rubovima objekta, izgladivanje površine podjelom, te druge slične tehnike. Kada je riječ o animaciji, koristi se koncept ključnih kadrova kako bi se postigao željeni animirani efekt. Ova tehnika pruža fleksibilnost u stvaranju raznovrsnih animacija te omogućava animiranje specifičnih dijelova objekta. Unutar trenutnog projekta to neće biti potrebno jer se radi o animaciji koja će prikazati dalekovod iz svih kutova kako bi se što više detalja prikazalo. Uz to, Blender olakšava primjenu gotovih tekstura na modele, ali isto tako pruža mogućnost stvaranja proceduralnih tekstura unutar samog programa kako je prikazano na slici 3.1., koristeći čvorovski sustav za postizanje željenih vizualnih efekata. Ova kombinacija funkcionalnosti omogućava precizan prikaz detalja modela željenih rezultata u kreiranju i animiranju modela.



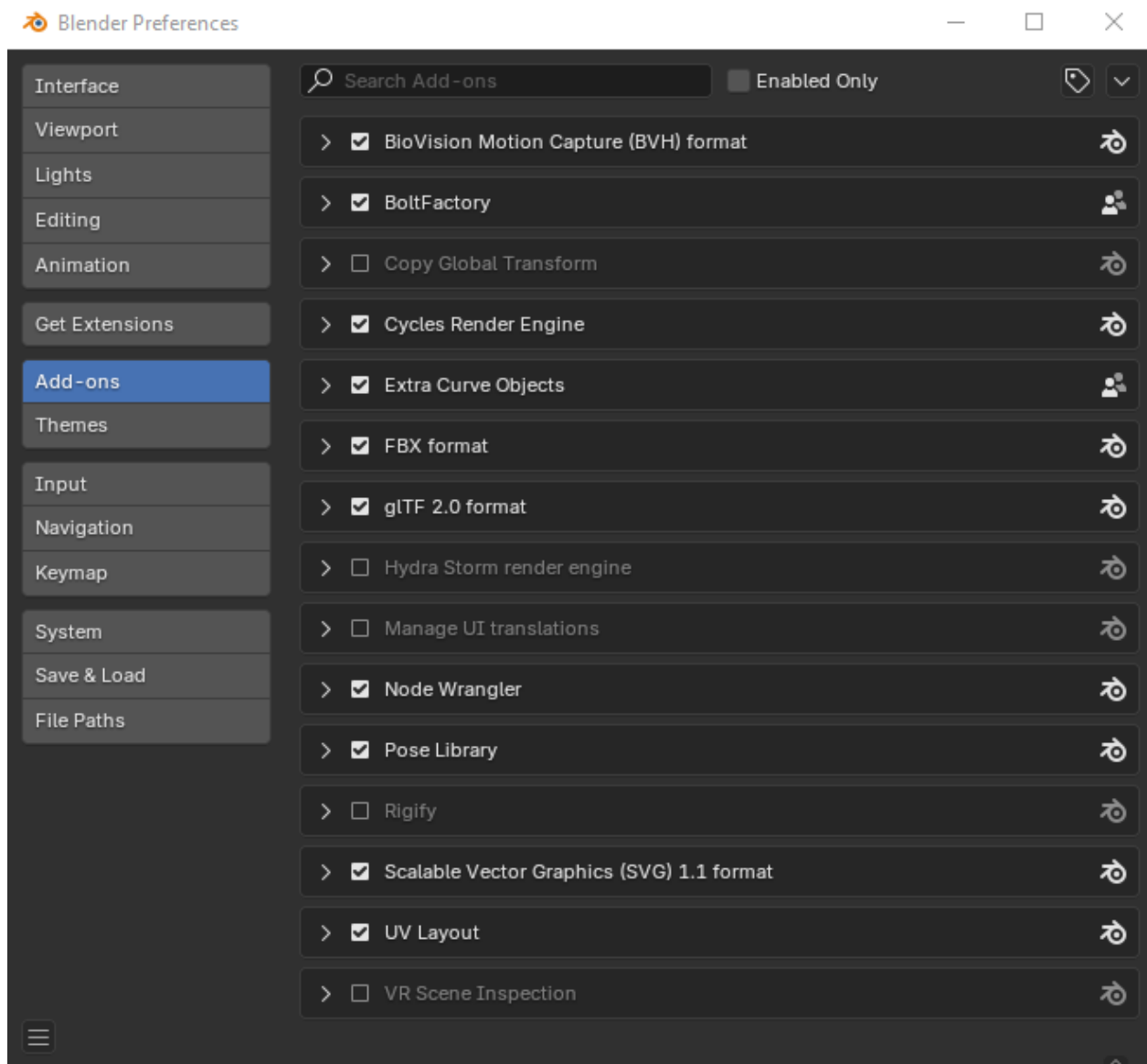
Slika 3.1. Primjer sustava čvorova

### **3.1.3. Komparacija s alternativnim alatima za 3D modeliranje**

U okviru završnog rada, odabran je alat za 3D modeliranje software „Blender“. Razmatrani su različiti softverski alati, uključujući Blender, Autodesk 3ds Max, Maya i SketchUp, te je napravljena komparacija kako bi se odredio najbolji izbor. Blender je odabran zbog širokog spektra funkcija, koje obuhvaćaju sve što je potrebno za izradu složenog 3D modela dalekovoda. Blender, kao open-source alat, nudi brojne mogućnosti za modeliranje, animaciju i renderiranje, a ima i snažnu zajednicu korisnika te veliku količinu dostupnih resursa za učenje. Iako zahtijeva nešto vremena za učenje, njegova pristupačnost i fleksibilnost čine ga idealnim za ovaj projekt. S druge strane, Autodesk 3ds Max i Maya, iako izuzetno moćni alati, imaju visoku cijenu i složeno sučelje, što ih čini manje prikladnima za projekte s ograničenim budžetom i resursima. 3ds Max je posebno popularan u arhitekturi i gamingu, dok je Maya često korištena u filmskoj industriji zbog svojih naprednih mogućnosti za animaciju. Oba alata su odlična za složene projekte, ali zahtijevaju značajna financijska ulaganja i vrijeme za ovladavanje svim njihovim funkcijama. SketchUp, s druge strane, nudi jednostavno i intuitivno korisničko sučelje, ali ima ograničene mogućnosti za složenije modele i animacije. Iako je dobar za brzu izradu koncepata i arhitektonskih vizualizacija, nije dovoljno robustan za zahtjevnije zadatke poput modeliranja dalekovoda u stvarnim dimenzijama.

## 4. MODEL DALEKOVODA

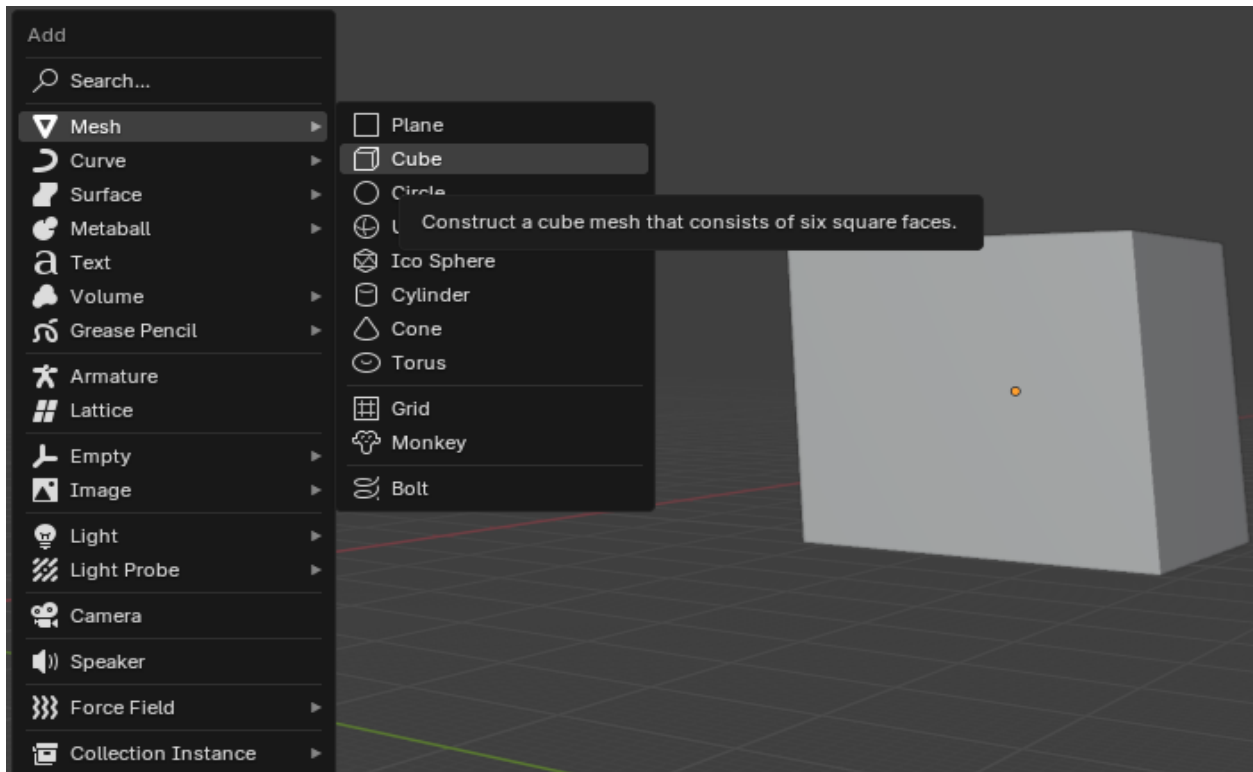
U ovom poglavlju bit će detaljno opisan proces izrade 3D modela dalekovoda, počevši od početnih faza modeliranja, preko izbora materijala i tekstura, pa sve do rješavanja tehničkih izazova koji su se pojavili tijekom rada. Bit će prikazani ključni koraci u procesu modeliranja, objašnjeni razlozi za odabir određenih materijala, te opisana rješenja koja su omogućila uspješnu realizaciju ovog modela dalekovoda uz prikaz svih korištenih Add-on biblioteka. Add-on biblioteke se koriste u svrhu dodavanja novih alata koji nisu zastupljeni u osnovnoj verziji Blendera kako bi olakšali i obogatili projektni model, korištene biblioteke su prikazane na slici (Slika 4.1.).



Slika 4.1. Korištene Add-ons biblioteke

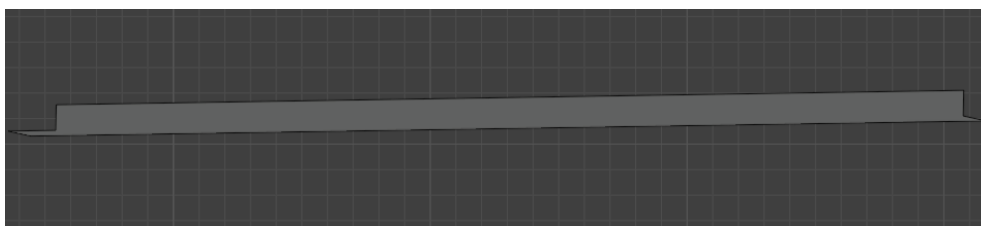
## 4.1. Proces modeliranja

Proces modeliranja započeo je s definiranjem osnovnih struktura dalekovoda, kao što su stupovi i vodiči. U ovoj fazi, korišteno je jednostavno mesh tijelo kocke prikazano na slici 4.2. i alati za modeliranje Bevel, Extrude, Scale, Inset Faces, Loop Cut, raznih Modifiera i Add-on biblioteka.



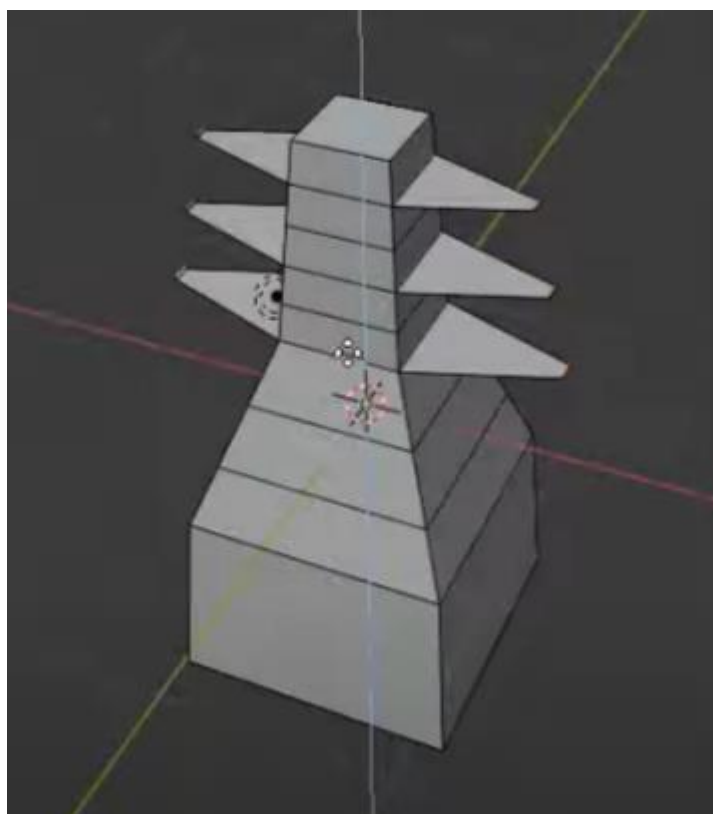
Slika 4.2. Mesh tijelo kocke

Iz mesh tijela kocke napravljen je početni oblik modela metalne šipke prikazan na slici 4.3. koji će kasnije biti sastavni dio kompletne rešetkaste baze modela dalekovoda.



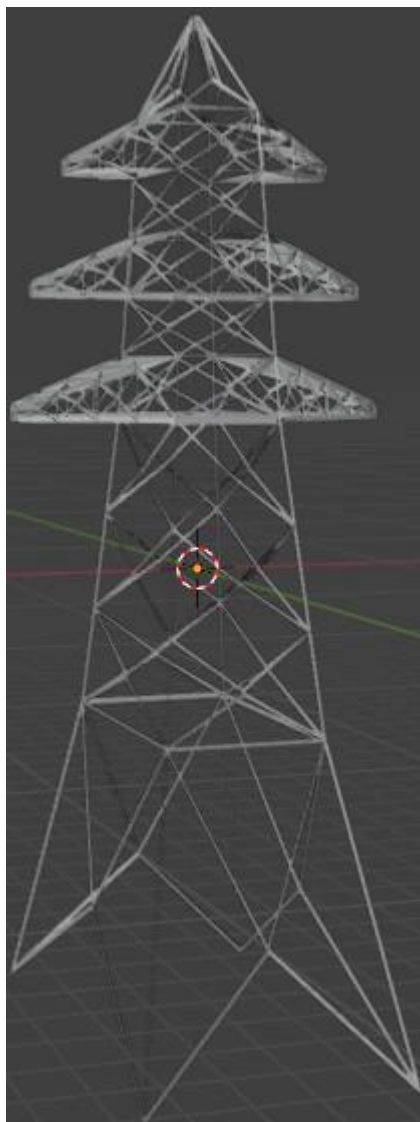
Slika 4.3. Model metalne šipke

Kako bi dobili tijelo i oblik po kojem će se modelirati model dalekovoda korišteno je još jedno mesh tijelo kocke prikazano na slici 4.4. kojem je alatom Scale dana visina i širina stvarnog dalekovoda, te alatom Loop Cut podijeljeno je novo tijelo mesha kocke u dijelove kako bi se mogli iz početnog stupa izvući vodoravni nosači visokonaponskog kabla.



**Slika 4.4.** Početni oblik modela dalekovoda

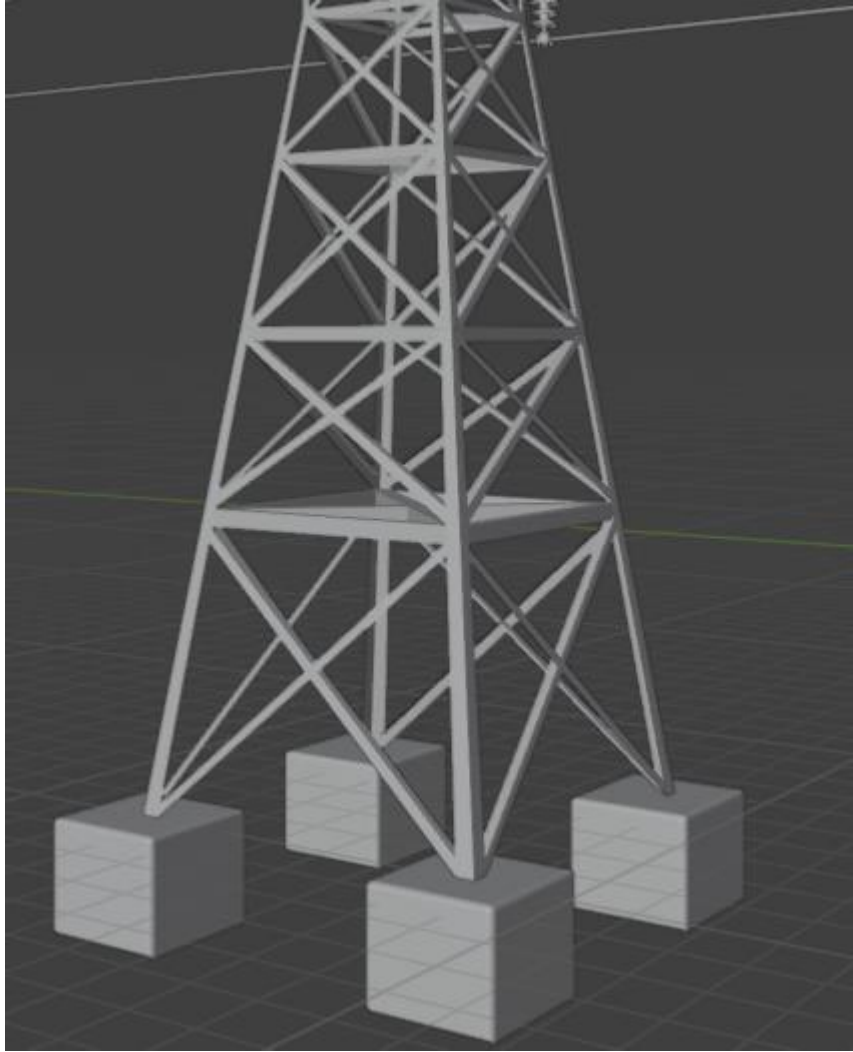
Nakon što je mesh poprimio oblik dalekovoda, dodan je modifikator Wireframe koji radi po principu pretvaranja mreže u žičanu strukturu tako što iterira preko njezinih ploha, prikuplja sve rubove i pretvara te rubove u četverostrane poligone, nakon dodanog Wireframe modifikatora, dalekovod je poprimio oblik po kojem će biti napravljen stvaran model dalekovoda kako je prikazano na slici (Slika 4.5.).



**Slika 4.5.** Efekt Wireframe modifikatora

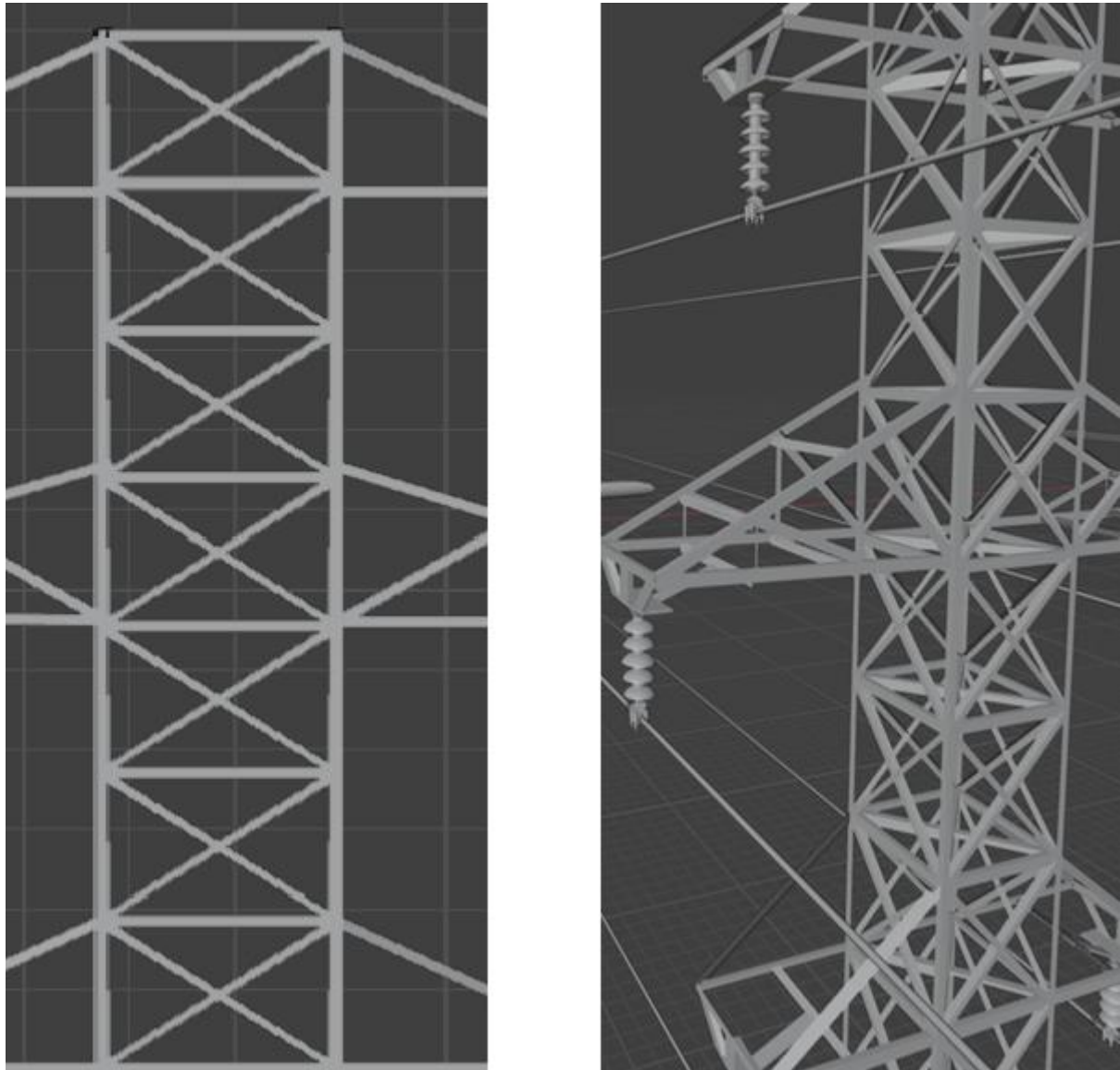
Dobiveni oblik i model dalekovoda nije mogao biti korišten u svrhe izrade stvarnog modela zbog nedostatka mogućnosti obrađivanja modifikatora Wireframe-a, pa kako bi model dalekovoda izgledao što realističnije korišten je ranije napravljeni model metalne šipke. Od modela šipke izrađena je baza s nosačima stupa dalekovoda koja je izgledom inspirirana od strane Wireframe modela prikazanog na slici (Slika 4.6.).





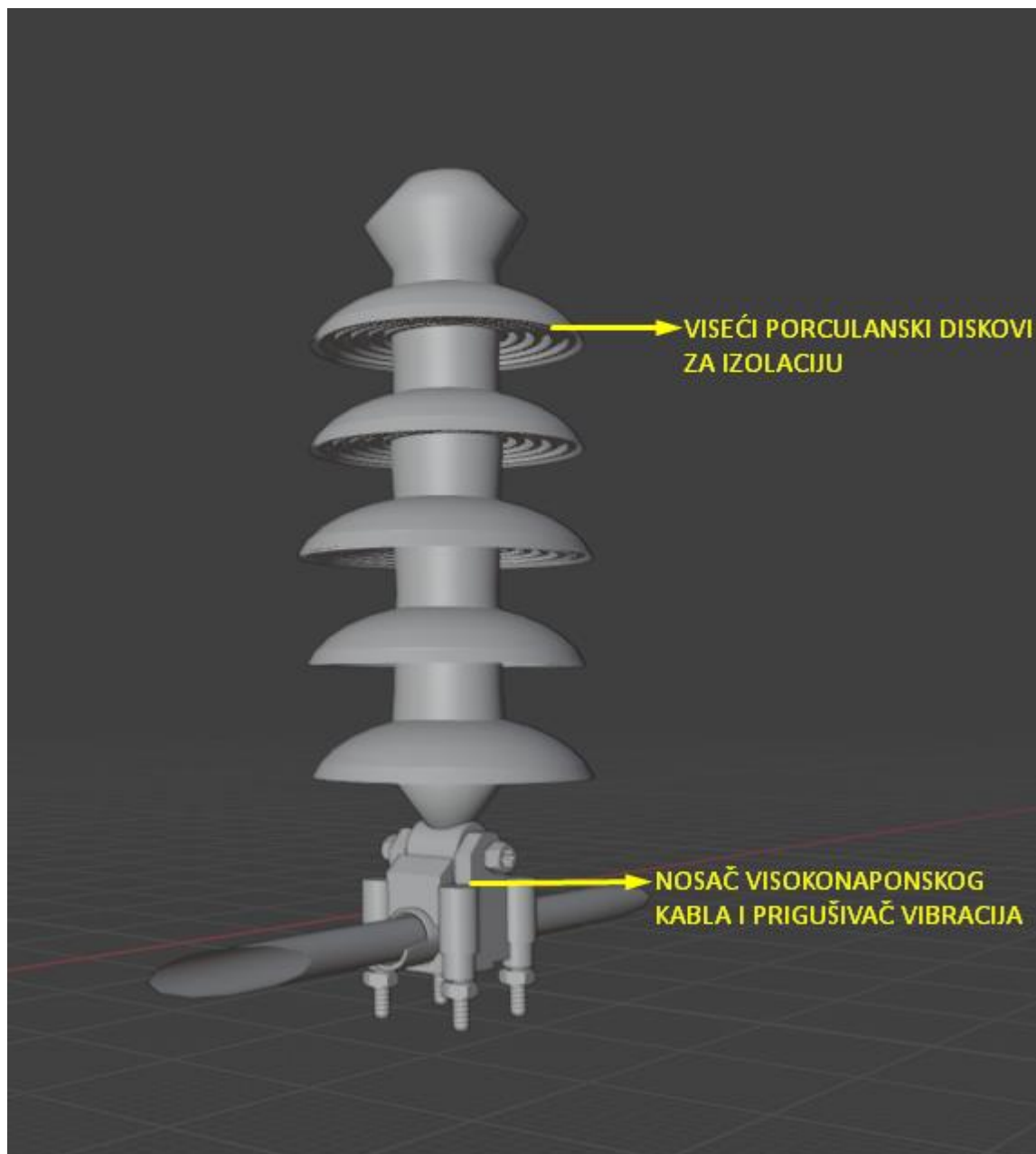
**Slika 4.6.** Baza s nosačima stupa dalekovoda

Tijelo stupa je dobiveno od konstrukcije kocki koje se slažu jedna na drugu, dok su kocke sastavljene od modela šipke prikazanog na slici (Slika 4.7.).



**Slika 4.7.** Rešetkasto tijelo stupa sastavljeno od modela šipke

S bočne strane dalekovoda nalaze se nosači visokonaponskog kabla, visećeg izolatora koji se sastoji od porculanskih diskova i držača visokonaponskog kabla koji sadrži prigušivač vibracije, kako je prikazano na slici 4.8., koji će tek kasnije tijekom projekta biti dodani na bočni nosač visokonaponskog kabla.



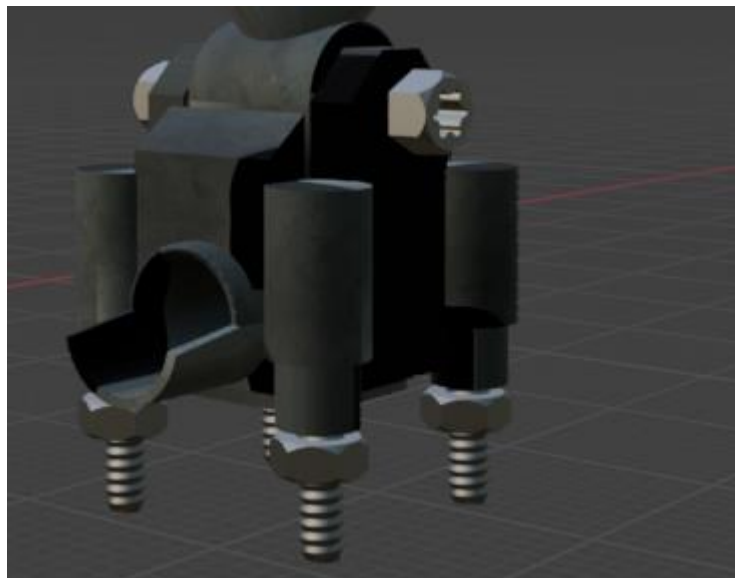
**Slika 4.8.** Nosač visokonaponskog kabla

Viseći izolator sastavljen je od mesh modela cilindra koji čini tijelo dok su diskovi napravljeni o mesh modela UV Sfere koja je prerezana na polovici alatom Loop Cut i naredbe Delete, te su se iz polovice UV Sfere izradili diskovi koji predstavljaju porculanske diskove. Dobiveni disk je dupliciran nekoliko puta i dodan na tijelo visećeg izolatora kako je prikazano na slici (Slika 4.9.).



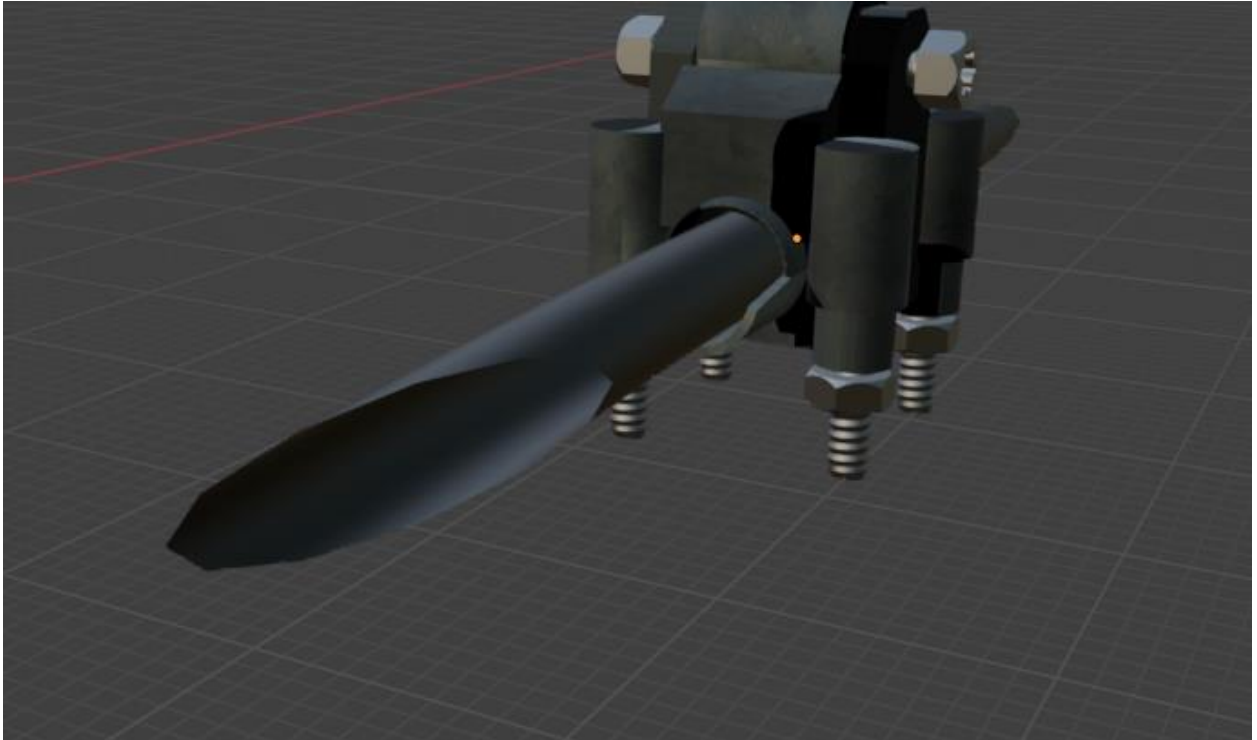
**Slika 4.9.** Viseći izolator s porculanskim diskovima

Nosač visokonaponskog kabla i prigušivač vibracija sastavljen je od jednog mesha kocke, 4 mesha cilindra i 6 vijaka generiranih iz Add-on biblioteke Boltfactory. Korištenjem alata Bevel, Intrude i Loop Cut dobiven je model nosača visokonaponskog kabla i prigušivača vibracija koji su prikazani na slici (Slika 4.10.).



**Slika 4.10.** Nosač visokonaponskog kabla i prigušivač vibracija

Na kraju za izradu je ostao visokonaponski kabel koji je svoj oblik dobio iz jednostavnog oblika Bézier krivulje kojoj je dodana razina Thicknessa kako bi krivulja poprimila oblik visokonaponskog kabla, ovaj model je također služio za stvaranje rupe kroz koju prolazi kabel s pomoću modifikatora Boolean kako je prikazano na slici (Slika 4.11.).



**Slika 4.11.** Visokonaponski kabel

Boolean modifikator nam omogućuje nedestruktivno mijenjanje objekta. To znači da možemo prilagoditi postavke i poništiti promjene bez utjecaja na našu izvornu mrežu. Ovaj projekt zahtijeva 3D slike i kratku animaciju stoga je za scenu potrebno nebo, svjetlo i zeleni okoliš. Dalekovodi se obično nalaze u prirodi na brdima, planinama i šumama stoga je za ovu scenu odabrano brdo. Modeli stabala, ograde i tla su preuzeti od free-source online kreatora, kombinacija ovih modela daje realizam zamišljenoj sceni kako je prikazano na slici (Slika 4.12.).



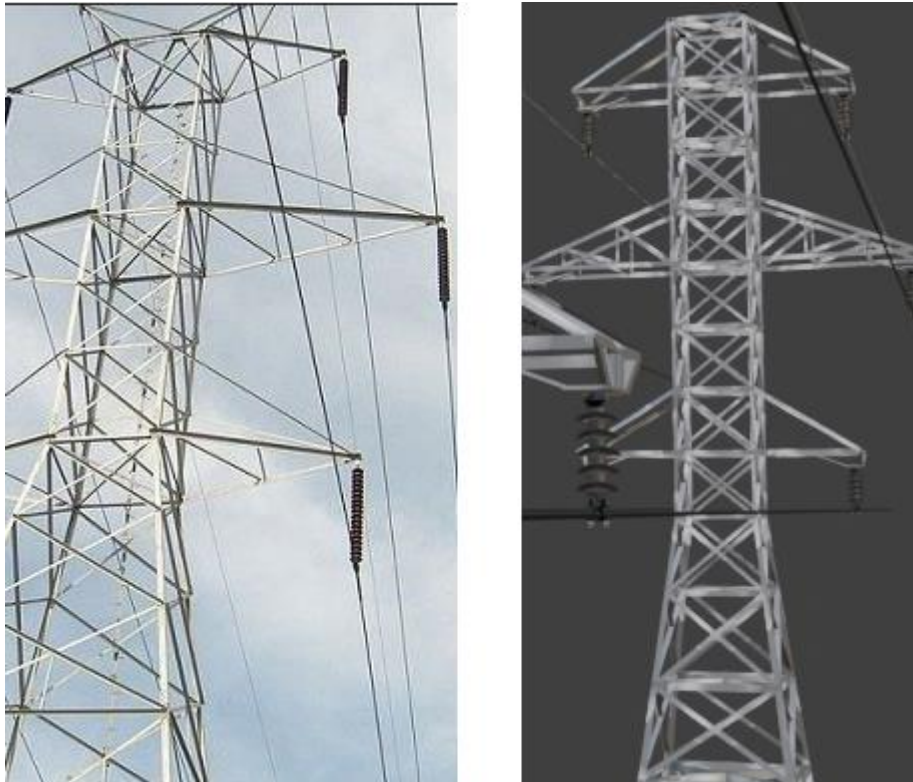
Slika 4.12. Prikaz okoliša korištenog za scenu

Proces modeliranja završava postavljanjem scene i prelazi se na dio određivanja materijala i tekstura. Posebna pažnja posvećena je proporcijama i detaljima kako bi model što vjernije prikazao stvarni dalekovod.

## 4.2. Izbor materijala i tekstura

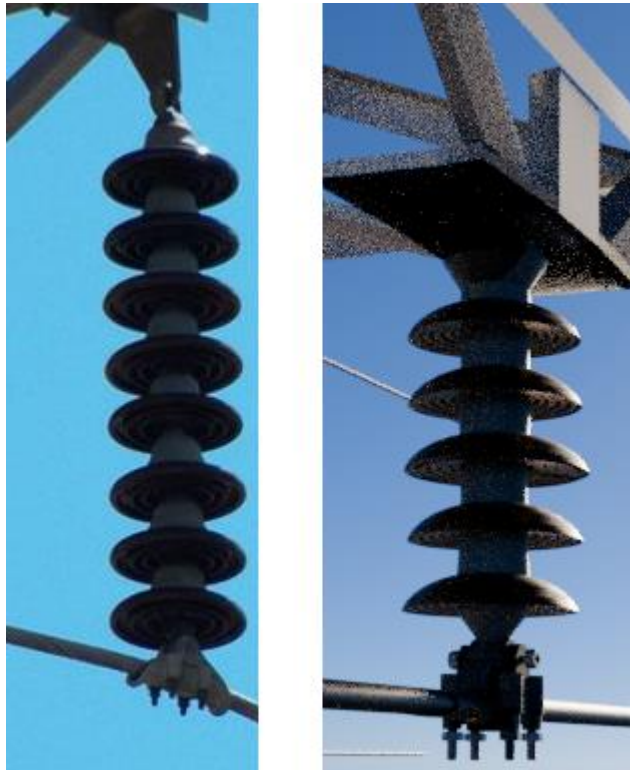
Odabir materijala i tekstura ključan je za postizanje realističnog izgleda modela. Ovdje ćemo objasniti kriterije koji su korišteni pri odabiru odgovarajućih materijala za različite dijelove dalekovoda, kao što su metalni stupovi, izolatori i vodiči. U stvarnom svijetu stup dalekovoda izrađen je nehrđajućeg čelika i visokonaponski kablovi su izrađeni od bakrenog ili aluminijskog vodiča i poluvodičkog sklopa u svojoj jezgri, te im je izolacija od umreženog polietilena [4] [5]. Kako bi se osigurao visoki nivo kvalitete modela, teksture korištene u ovom modelu preuzete su s internetskih resursa specijaliziranih za 3D modeliranje. Odabrane teksture primijenjene su na dijelove modela, poput čeličnih stupova, izolatora, vodiča, betonskog temelja dalekovoda, tla, drveća i ograde pri čemu su osigurale autentičan vizualni dojam. Iako teksture nisu ručno izrađene, pažljivo su odabrane i prilagođene kako bi se uklopile u cjelokupni dizajn modela, doprinoseći njegovoj realističnosti i vizualnoj privlačnosti. Za čelične stupove korištena je

tekstura koja simulira izgled pocinčanog čelika [6] i daje potpuno realističan izgled koji je prikazan na slici (Slika 4.13.).



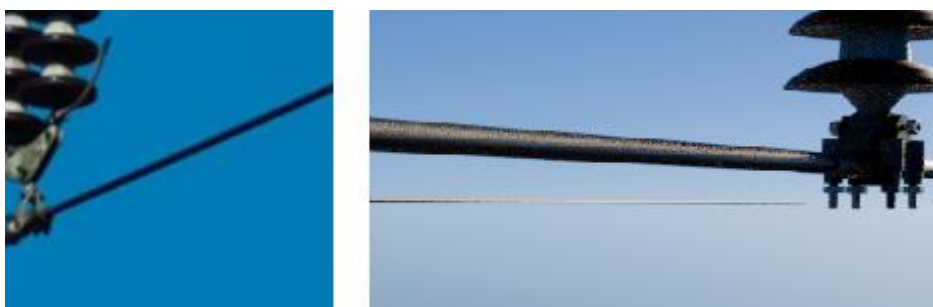
**Slika 4.13.** Materijal stvarnog dalekovoda [7] i tekstura Blender modela

Tijelo visećeg izolatora i držač visokonaponskog kabla u stvarnom svijetu izrađeni su od pocinčanog metala, stoga je u ovom projektu izabrana tekstura pocinčanog metala [8] prikazanog na slici (Slika 4.14.).



**Slika 4.14.** Materijal stvarnog visećeg izolatora [9] i tekstura Blender modela

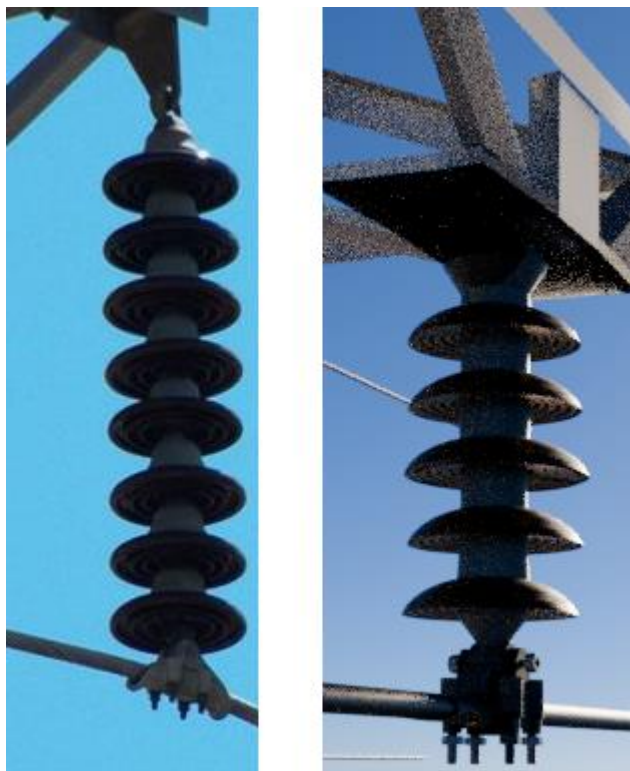
Tekstura izolacije visokonaponskog kabla u projektu nije podjednaka onoj u stvarnom svijetu stoga je izabrana tekstura crne hrapave plastike koja svojom bojom i teksturom daje sličan izgled visokonaponskom kablju iz stvarnog svijeta [10]. Sličnost je prikazana na slici (Slika 4.15.).



**Slika 4.15.** Materijal stvarnog visokonaponskog kabla [11] i tekstura Blender modela

Porculanski diskovi na visećem izolatoru iako su izrađeni od porculana, tekstura bronce savršeno se podudara s bojom iz stvarnog svijeta [12] kako je prikazano na slici (Slika 4.16.).





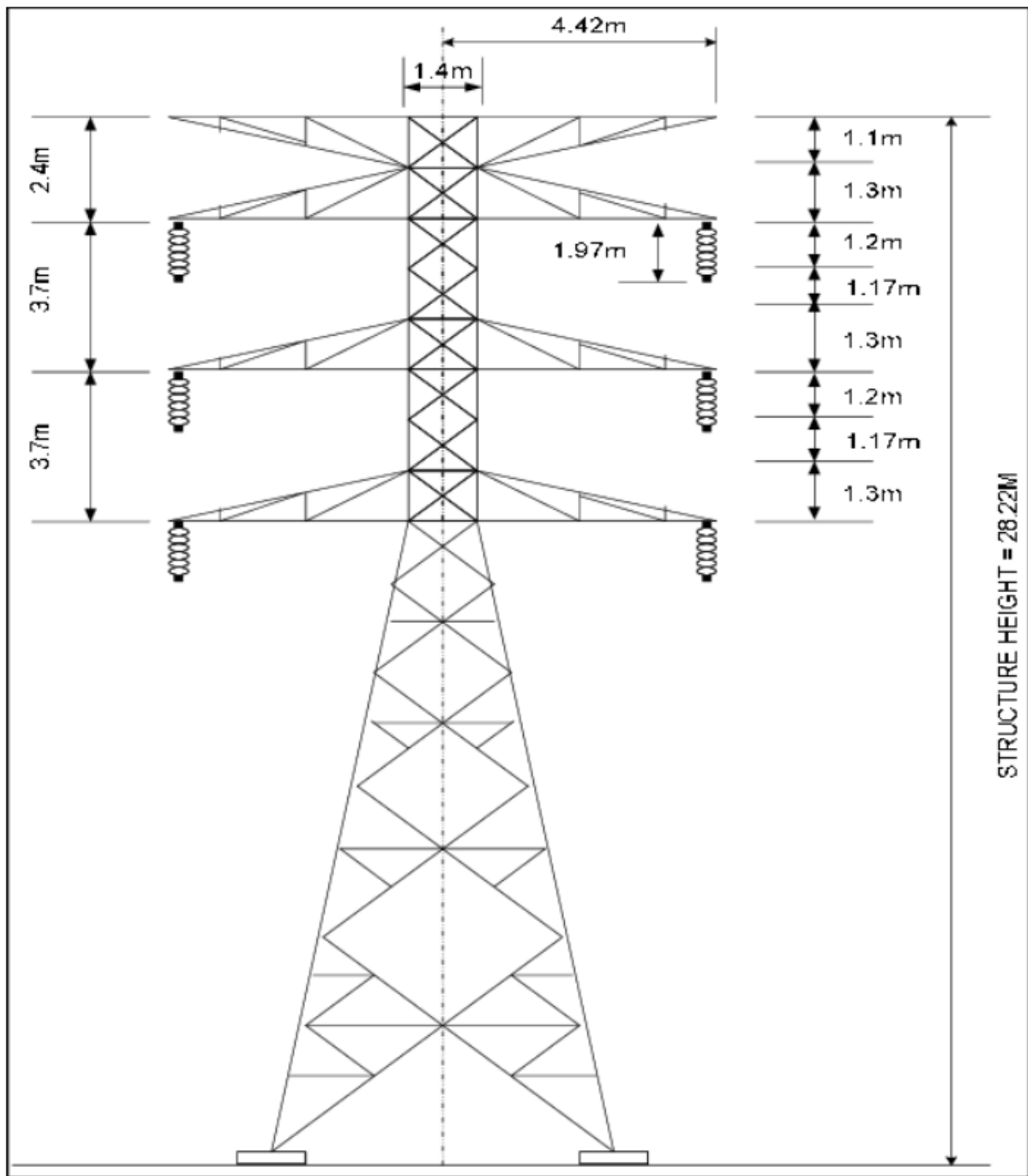
**Slika 4.16.** Materijal stvarnih poručlanskih diskova [13] i tekstura Blender modela

Temelje u stvarnom svijetu može biti od različitog materijala kao što su kamen, beton i metal. U ovom projektu odabrani materijal za temelje je betonski stup te je korištena tekstura grubog betona koja daje vrlo realističan izgled [14]. Mjesto za scenu je odabrano brdo pa je tlu dodijeljena tekstura mješavina kamenitog tla i zemlje bez trave i niskog raslinja [15]. Ogradi je dodijeljena tekstura sivih industrijski obrađenih dasaka [16]. Za deblo drveta odabrana je tekstura smeđeg hrasta [17] i za boju listova na krošnji odabrana je tekstura zelene trave [18] koja daje raznolik izgled zelenih listova s različitim udaljenosti kamere.

### **4.3. Izazovi i rješenja**

Tijekom izrade 3D modela dalekovoda, pojavilo se nekoliko izazova izazvanih slabim računalnim specifikacijama i nedostatkom izvora informacija vezanih uz same detalje dalekovoda.

Jedan od glavnih izazova bio je nedostatak dostupnih nacrti sa stvarnim dimenzijama dalekovoda. Precizne tehničke informacije o dimenzijama i strukturi dalekovoda bile su teško dostupne, što je otežalo točno modeliranje. Korištene su dostupne reference, poput fotografija i tehničkih opisa iz različitih izvora kako je prikazano na slici (Slika 4.17.).



**Slika 4.17.** Shematski prikaz modela dalekovoda [19]

Bilo je potrebno prilagoditi dimenzije i proporcije modela koristeći slobodnu procjenu i razumijevanje osnovnih principa konstrukcije dalekovoda.

Dodatni izazov bio je proces renderiranja, koji je zbog složenosti modela bio izrazito zahtjevan za računalo koje je prvobitno korišteno, na slici 4.18. se prikazuje render na slabijoj grafičkoj kartici, dok se na slici 4.19. prikazuje render jače grafičke kartice gdje se i zaključno vidi velika

razlika. Računalo je opremljeno grafičkom karticom GTX 1650 Super s 4 GB GDDR6 memorije i 128-bitnom širinom memorijskog sabirnice, te procesorom AMD Ryzen 5 3600, koji ima 6 jezgri i 12 niti na baznoj frekvenciji od 3.6 GHz. Iako ova konfiguracija omogućava rad na manje zahtjevnim projektima, renderiranje složenih 3D scena s visokim brojem poligona i detaljnim teksturama značajno je usporeno. Razlog tome je relativno mala količina memorije grafičke kartice i ograničena procesorska snaga, što je rezultiralo sporim renderiranjem i s duljim vremenom obrade. Kako bi se prevladao ovaj problem, projekt je renderiran na računalu s grafičkom karticom RX 7900 XT i procesorom Intel i5 13600KF. Grafička kartica RX 7900 XT nudi 20 GB GDDR6 memorije i znatno veću procesorsku snagu u usporedbi s GTX 1650 Super, omogućujući brže i učinkovitije renderiranje složenih scena. Procesor Intel i5 13600KF sa svojih 14 jezgri (6 performansnih i 8 efikasnih) i 20 niti dodatno je ubrzao proces renderiranja zahvaljujući svojoj visokoj frekvenciji i sposobnosti upravljanja velikim brojem istovremenih zadataka. Još jedan izazov bio je nedostatak detaljnih slika dalekovoda izbliza, koje bi poslužile kao referenca za precizno modeliranje sitnih detalja, poput izolatora i spojnih elemenata. Kako bi se nadoknadio ovaj nedostatak, korištene su informacije iz završnog rada „Elektromontaža visokonaponskih dalekovoda“ [20]. Unatoč ovim izazovima, primjenom ovih rješenja uspješno je realiziran model koji zadovoljava postavljene ciljeve i pruža visokokvalitetnu vizualizaciju dalekovoda.



**Slika 4.18.** Prikaz rendera slike na grafičkoj kartici GTX 1650 Super 4 GB GDDR6



**Slika 4.19.** Prikaz rendera slike na grafičkoj kartici RX 7900 XT 20 GB GDDR6

## **5. ANALIZA MODELA**

Analiza modela dalekovoda uključuje ocjenu koliko vjerno model prikazuje stvarnu strukturu dalekovoda, uzimajući u obzir dimenzije, proporcije i detalje poput izolatora, vodiča i stupova. U procesu izrade modela, posebna pažnja posvećena je točnosti i vjerodostojnosti elemenata, s ciljem postizanja što veće sličnosti sa stvarnim dalekovodima. Pri izradi modela korištene su stvarne reference i tehnički podaci, gdje god su bili dostupni, kako bi se osigurala maksimalna preciznost. Model je analiziran s aspekta njegove primjenjivosti u stvarnim situacijama, a također je ocijenjena i mogućnost prilagodbe različitim scenarijima u inženjerskim i obrazovnim aplikacijama. Korištenje moćne grafičke kartice, poput AMD Radeon RX 7900XT, omogućilo je visokokvalitetno renderiranje modela s mnogo detalja, što je značajno pridonijelo realizmu prikaza.

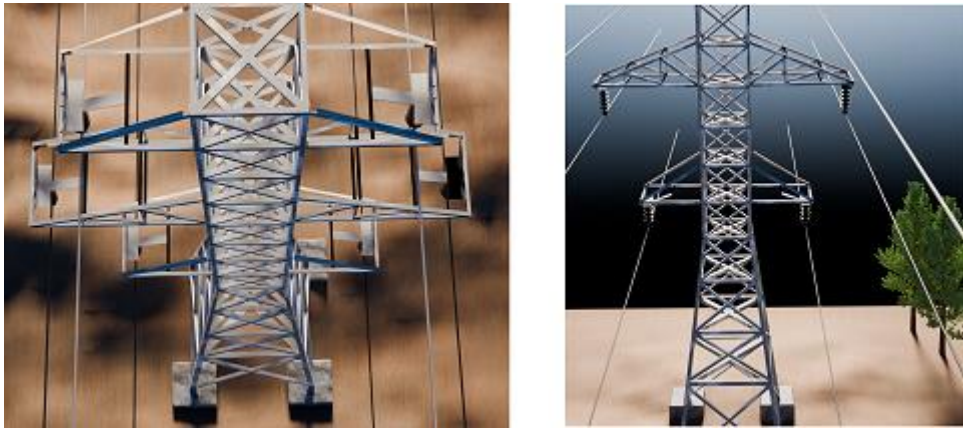
### **5.1. Prikaz i analiza slika modela**

Kao završni dio projekta, model dalekovoda renderiran je u nekoliko različitih perspektiva kako bi se prikazala njegova složenost i različiti aspekti dizajna. Slika iz ljudske perspektive prikazuje dalekovod iz ugla promatrača na zemlji, što omogućuje uvid u njegovu visinu i veličinu iz perspektive osobe na terenu što je prikazano na slici (Slika 5.1.).



**Slika 5.1.** Pogled iz ljudske perspektive

Slika 5.2. iz zraka prikazuje pregled odozgo, pružajući sveobuhvatan pogled na cijelu strukturu i njezin položaj u odnosu na okoliš.



**Slika 5.2.** Pogled na model iz zraka

Slika 5.3. prikazuje model s prednje strane koji nudi detaljan prikaz prednjeg dijela dalekovoda, fokusirajući se na konstrukcijske elemente poput stupova i izolatora.



**Slika 5.3.** Prednja strana modela dalekovoda

Slika 5.4. prikazuje iz bližeg kadra viseći izolator koji naglašava detalje izolatora i način na koji on drži visokonaponski kabel, što je ključno za procjenu preciznosti modeliranja malih, ali važnih komponenti.



**Slika 5.4.** Prikaz detalja visećeg izolatora i visokonaponskog kabla



Slika 5.5. nudi puni pogled na oba dalekovoda i šumu pruža širi kontekstualni prikaz, ističući kako dalekovodi funkcioniraju kao dio šireg sustava i kako se uklapaju u prirodni krajolik.



**Slika 5.5** Prikaz na oba modela dalekovoda i prirodni krajolik

Renderiranje je izvršeno na grafičkoj kartici AMD Radeon RX 7900XT, koja sadrži 24 GB GDDR6 memorije i omogućuje visoke rezolucije i brzi rendering. Ova grafička kartica značajno je unaprijedila kvalitetu renderiranih slika, omogućujući detaljan prikaz modela uz minimalne artefakte i smetnje. Međutim, korištenje još snažnije grafičke kartice, poput NVIDIA RTX 4090, moglo bi dodatno poboljšati kvalitetu renderiranja, omogućujući još brže izvođenje kompleksnih scena i prikaz još više detalja, osobito u scenama s visokom razinom kompleksnosti i osvjetljenja. Ove slike omogućuju sveobuhvatnu analizu modela, prikazujući njegovu složenost, detaljnost i prilagodljivost različitim scenarijima. Svaka perspektiva pruža drugačiji uvid u dizajn i funkcionalnost dalekovoda, što je ključno za razumijevanje njegovog značaja i potencijalne primjene.

## 6. ZAKLJUČAK

Detaljno je prikazana izrada 3D modela dalekovoda koristeći Blender, s naglaskom na tehničke aspekte i izazove povezane s ovim procesom. Slično kao što CUDA tehnologija omogućuje paralelno izvođenje algoritama na GPU-u, čime značajno ubrzava složene računalne zadatke, korištenje naprednih grafičkih kartica u ovom projektu omogućilo je kvalitetno i brzo renderiranje kompleksnih 3D scena. Na početku, projekt je razvijan na računalnoj konfiguraciji s grafičkom karticom GTX 1650 Super i procesorom AMD Ryzen 5 3600, koja, zbog svojih ograničenja, nije mogla optimalno obraditi i renderirati sve potrebne detalje modela.

Kasnije, proces je premješten na snažniju konfiguraciju s grafičkom karticom RX 7900XT i procesorom Intel i5-13600KF, što je omogućilo znatno brže i kvalitetnije renderiranje, usporedivo s načinom na koji CUDA tehnologija optimizira izvođenje algoritama na GPU-u. Renderiranje na još snažnijem sustavu, poput onog s grafičkom karticom NVIDIA RTX 4090, moglo bi dodatno ubrzati proces i poboljšati vizualnu kvalitetu modela.

Ovaj projekt demonstrira važnost odabira odgovarajuće hardverske konfiguracije u 3D modeliranju i renderiranju, kao i mogućnost daljnje optimizacije kako bi se postigli još bolji rezultati. Model dalekovoda stvoren u ovom radu pruža sličan prikaz stvarnog objekta, koji može biti koristan u različitim inženjerskim i edukativnim kontekstima. Ovaj model također ima potencijal za daljnje usavršavanje i primjenu u različitim područjima.

## LITERATURA

- [1] J. Duncan Glover, Thomas J. Overbye, Mulukutla S. Sarma, „POWER SYSTEM ANALYSIS & DESIGN SIXTH EDITION“, str. 238-251, srpanj 2024.
- [2] „Entsoe Technopedia“, <https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/gas-insulated-lines-gil-ac>, srpanj 2024.
- [3] „Power System Loss“, <https://powersystemsloss.blogspot.com/2011/05/transmission-line-history.html>, srpanj 2024.
- [4] „KristechWire“, <https://www.kristechwire.com/what-is-cross-linked-polyethylene-xlpe/>, kolovoz 2024.
- [5] Sermek Tom, „Elektromontaža visokonaponskih dalekovoda“, str. 6, kolovoz 2024.
- [6] „Poliigon“, <https://www.poliigon.com/texture/lightly-worn-galvanised-steel-industrial-metal-texture/3129>, kolovoz 2024.
- [7] „Circuit Globe“, <https://circuitglobe.com/transmission-lines.html>, kolovoz 2024.
- [8] „Poliigon“, <https://www.poliigon.com/texture/clean-zinc-galvanized-metal-texture/7184>, kolovoz 2024.
- [9] „Accionsrl“, <http://www.accionsrl.com.ar/?e=transmission-line-230kv-in-west-vancouver-pylon-up-close-hh-ZdwgxAUQ>, kolovoz 2024.
- [10] „Poliigon“, <https://www.poliigon.com/texture/dry-blast-mold-plastic-texture-black/7495>, kolovoz 2024.
- [11] „Shutterstock“, <https://www.shutterstock.com/image-photo/close-high-voltage-electricity-pylon-wires-581310307>, kolovoz 2024.
- [12] „Poliigon“, <https://www.poliigon.com/texture/worn-bronze-metal-texture/7248>, kolovoz 2024.
- [13] „steemit“, <https://steemit.com%2Fscience%2F@steemit.com/science/@asbonclz/power-line-insulation-using-ceramic-electrical-insulators>, kolovoz 2024.
- [14] „Polyhaven“, [https://polyhaven.com/a/rough\\_concrete](https://polyhaven.com/a/rough_concrete), kolovoz 2024.
- [15] „Polyhaven“, [https://polyhaven.com/a/rocky\\_trail](https://polyhaven.com/a/rocky_trail), kolovoz 2024.

- [16] „Polyhaven“, [https://polyhaven.com/a/wood\\_planks\\_grey](https://polyhaven.com/a/wood_planks_grey), kolovoz 2024.
- [17] „Polyhaven“, [https://polyhaven.com/a/bark\\_brown\\_02](https://polyhaven.com/a/bark_brown_02), kolovoz 2024.
- [18] „Everytexture“, <https://everytexture.com/everytexture-com-stock-nature-grass-texture-00008/>, kolovoz 2024.
- [19] „Researchgate“, [https://www.researchgate.net/figure/132kV-double-circuit-transmission-line\\_fig1\\_237843321](https://www.researchgate.net/figure/132kV-double-circuit-transmission-line_fig1_237843321). kolovoz 2024.
- [20] Sermek Tom, „Elektromontaža visokonaponskih dalekovoda“, str. 9-59, kolovoz 2024.

## SAŽETAK

Ovaj rad bavi se izradom 3D modela dalekovoda korištenjem softvera Blender, s ciljem stvaranja realistične i detaljne vizualizacije. Glavni problem je stvaranje vjernog prikaza dalekovoda koji odražava stvarne tehničke specifikacije. Rješenje je postignuto korištenjem stvarnih tehničkih podataka tijekom modeliranja te renderiranjem na grafičkoj kartici AMD Radeon RX 7900XT, što je omogućilo visoku kvalitetu prikaza. Rezultat rada su ključne perspektive modela: pogled iz ljudske perspektive, pogled iz zraka, prednji pogled, detalj visećeg izolatora i puni pogled na oba dalekovoda u prirodnom okruženju.

**Ključne riječi:** 3D model dalekovoda, animacija, Blender, modeliranje, renderiranje

## **ABSTRACT**

### **Title: Creation of a 3D model on the example of a power line pole**

This paper deals with the creation of a 3D model of a transmission line using Blender software, with the aim of creating a realistic and detailed visualization. The main problem is to create a faithful representation of the transmission line that reflects the actual technical specifications. The solution was achieved by using real technical data during modeling and rendering on an AMD Radeon RX 7900XT graphics card, which enabled high quality display. The result of the work are the key perspectives of the model: a human perspective view, an aerial view, a front view, a detail of a suspended insulator and a full view of both transmission lines in a natural environment.

**Keywords:** 3D model of transmission line, animation, Blender, modeling, rendering