

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 2926

3D interaktivna vizualizacija simulacije vibracija

Nikola Vugdelija

Zagreb, lipanj 2022.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 2926

Pristupnik: **Nikola Vugdelija (0036509409)**

Studij: Računarstvo

Profil: Računarska znanost

Mentor: prof. dr. sc. Krešimir Matković

Zadatak: **3D interaktivna vizualizacija simulacije vibracija**

Opis zadatka:

Vibracije mehaničkih dijelova raznih uređaja jedan su od glavnih izvora buke. S porastom svijesti o štetnosti buke i sve strožim normama, analiza vibracija postaje sve važnija. Rezultati simulacije vibracija predstavljaju velike i složene podatke. Interaktivna vizualizacija znatno olakšava njihovu analizu. Osim dijagrama koji prikazuju pregled cijelog spektra u ovisnosti od radne točke i frekvencije, često je potrebno prikazati rezultate i na 3D modelu simuliranog uređaja. Vaša je zadaća proučiti metode interaktivne 3D vizualizacije općenito, osnovne zadatke kod analize vibracija i, na temelju osnovnih zadataka, osmisliti i implementirati metode koje će omogućiti prikaz vibracija za nekoliko frekvencija simultano na 3D modelu. Posebni pažnju treba posvetiti interakciji. Svu potrebnu literaturu i uvjete za rad osigurat će Vam Zavod za telekomunikacije.

Rok za predaju rada: 27. lipnja 2022.

Bogu hvala!

SADRŽAJ

Popis slika	v
1. Uvod	1
2. Pregled područja	2
3. Analiza zadatka i zahtjeva	4
3.1. Identificirani zadaci	4
3.2. Identificirani zahtjevi	4
4. Dizajn vizualizacije	7
4.1. Prikaz motora	7
4.2. Prikaz grafa	9
4.3. Postavke grafa	9
4.4. Odabir frekvencija	9
4.5. Postavke evaluacije odabranih frekvencija	9
4.6. Postavke boja	9
4.7. Generalne informacije	9
5. Implementacija	11
6. Demonstracija rada alata	12
7. Zaključak	13
Literatura	14

POPIS SLIKA

4.1. Snimka zaslona alata	7
4.2. Prikaz motora tijekom normalnog načina rada	8
4.3. Prikaz motora tijekom načina rada sa preddefiniranim ograničenjima .	9
4.4. Drugačije postavke uzorkovanja gradijenta	10

1. Uvod

Buka i vibriranje motora su jedni od ključnih faktora koji utječu na osjećaj udobnosti putnika u osobnom automobilu. No, iako se može reći kako je osjećaj udobnosti subjektivne prirode, propisi koji kontroliraju dozvoljene razine buke motora vozila pri određenim brzinama su objektivni i egzaktni. Zbog navedenih razloga je inženjerima iznimno važno da je vibriranje motora prilikom rada na što nižoj razini, a najjednostavniji način na koji to mogu provjeriti u fazi projektiranja motora je pomoću NVH (engl. *Noise, Vibration, Harshness*) simulacija. NVH simulacije inženjerima omogućuju precizan uvid u razinu vibriranja pojedinih dijelova motora, a probleme koji mogu uzrokovati vibraciju mogu rješavati prilikom projektiranja.

No, računanje simulacije je samo dio problema. Računske simulacije ove vrste, nerijetko proizvode podatke koje se ne može jednostavno vizualizirati i analizirati [3]. Kako bi stručnjaci mogli navedene podatke koristiti na što efikasniji način, potrebno ih je intuitivno i razumljivo prikazati. Iako su podaci koji su prikazani u obliku tablica i grafova korisni, vizualizacijom istih podataka na 3D modelu motora se postiže jasniji, intuitivniji i potpuniji prikaz rada motora.

Ovaj rad opisuje izradu alata za vizualizaciju podataka dobivenih iz NVH simulacije pomoću 3D modela motora i 2D grafova. Fokus predstavljenog alata je na vizualizaciji vibracija motora prilikom rada na višestrukom broju frekvencija, kako bi se razine vibracije različitih taktova motora jednostavnije uspoređivale.

2. Pregled područja

Iako često zanemarena, vizualizacija podataka je iznimno važno područje analize podataka. Pošto isti skup podataka može prenijeti potpuno drugačije informacije ovisno o načinu prikaza, od velike je važnosti odabrati optimalne vizualizacijske tehnike za konkretni skup podataka. Ali kako je naglašeno u [4], kod vizualizacije ne postoji jedna, "optimalna" grafika koja vrijedi za svaki skup podataka, nego je često potrebno pronaći grupu vizualizacijskih tehnika koje se međusobno upotpunjuju i prikazuju cjelovitu sliku. Stoga je tijekom osmišljavanja alata za vizualizaciju izrazito važno utvrditi za koju svrhu se taj alat koristi, te koje informacije je potrebno njime vizualizirati iz danog skupa podataka. Odgovori na navedena pitanja postaju kompleksniji za odgonetnuti s porastom kompleksnosti skupa podataka koji alat vizualizira. Zbog toga je pomoć stručnjaka u domeni itekako korisna.

Kao što je već spomenuto, glavna svrha alata razvijenog u sklopu ovog rada je vizualizacija NVH podataka na modelu motora. Prilikom izrade ovog rada je korišten isti skup podataka koji je korišten kod [3]. Spomenuti podaci su izračunati NVH simulacijom pomoću alata AVL EXCITE™[1]. Motor je zadan kao skup ćelija, a za svaku ćeliju su poznate koordinate okolnih točaka u 3D prostoru, te kojom snagom ćelija vibrira pri različitim frekvencijama rada.

Kako je spomenuto u [3], stručnjake pri analizi NVH podataka ponajprije zanimaju tri stavke:

- Usporedba podataka na različitim frekvencijama rada
 - Kako se vibracije mijenjaju sa promjenom frekvencije rada motora?
- Lokalizacija značajki
 - Koje ćelije motora pri zadanoj frekvenciji vibriraju iznosom koji pripada zadanom rasponu?
- Lokalna pretraga
 - Kojom snagom vibriraju odabrane ćelije?

Alat razvijen u [3] dobro adresira navedene značajke. Koristeći paralelne koordinate, omogućen je detaljan pregled usporedbe podataka na različitim frekvencijama. Adresiranje druge i treće značajke je olakšano omogućavanjem korištenja višestrukih, međusobno povezanih prozora sa 3D prikazom motora. Lokalna pretraga je ostvarena uz pomoć "kista" kojim korisnik može odabrati raspon iznosa za određene frekvencije, a svi prozori automatski ažuriraju prikaz modela motora označujući ćelije koje pripadaju zadanim rasponima. Konačno, u [3] je lokalna pretraga omogućena bojanjem modela motora bazirano na vrijednostima vibracija pojedinačnih ćelija pri radu na zadanoj frekvenciji. Detaljniji uvid u snagu vibriranja pojedine ćelije modela je omogućen odabirom interesne ćelije, nakon čega se istakne 2D graf vibracija zadane ćelije.

No, iako je referirani rad cjelokupno odlično pokrio sve tri značajke, u području usporedbe podataka na različitim frekvencijama rada još ima prostora za napredak. Naime, trenutna usporedba podataka na različitim frekvencijama je moguća samo pomoću 2D grafova, koji iako korisni, imaju problema sa čitljivošću i jasnoćom. Alat koji je razvijen u sklopu ovog rada implementira niz vizualizacijskih tehnika koje potencijalno povećavaju intuitivnost usporedbe vibracija motora na različitim frekvencijama u odnosu na izvedbu kod [3].

3. Analiza zadatka i zahtjeva

Pošto dizajniranje alata za vizualizaciju nije jednostavan zadatak, potrebno je poduzeti određene predproduksijske korake kako bi se osigurala zadovoljavajuća implementacija glavnog zadatka. Navedeni je zadatak potrebno dodatno analizirati, čime bi se uočili zahtjevi potrebni za njegovo uspješno odrađivanje. Identificirane zahtjeve je također potrebno analizirati, kako bi se utvrdila njihova povezanost sa glavnim zadatkom, te osiguralo njihovo uspješno i cjelovito zadovoljavanje.

3.1. Identificirani zadaci

Ključni zadatak alata razvijenog u sklopu ovog rada je prikazivanje razlika i sličnosti između različitih frekvencija rada ćelija motora na intuitivan i razumljiv način. Kao što je već navedeno u prethodnom poglavlju, alat iz [3] ima problema sa čitljivošću i jasnoćom usporedbe. Usporedba utjecaja više frekvencija rada motora na vibraciju ćelija je jedino moguća koristeći grafove kod kojih svaka linija predstavlja funkciju vibracije jedne ćelije (x-os predstavlja sve frekvencije za koje postoje podaci, a y-os predstavlja snagu vibracije). Takav način rada stvara nezanemarive poteškoće sa korištenjem alata: teže je usporediti frekvencije koje nisu susjedne na grafu, čitljivost grafa je uvelike smanjena kada je odabrano više ćelija i otežano je uočiti gdje se točno na modelu motora nalaze razlike u radu motora.

3.2. Identificirani zahtjevi

Kako bi se usporedbu učinilo intuitivnijom i jasnijom, očiti korak je omogućiti iscrtavanje rezultata usporedbe na 3D modelu motora. Naime, iako se u [3] ćelije bojažu na temelju jačine vibracija pri radu na zadanoj frekvenciji, nije moguće iscrtati utjecaj više frekvencija na modelu motora. Takvim iscrtavanjem bi se uveliko olakšalo uočavanje promjena na dijelovima motora. Naravno, kod više odabranih frekvencija,

postavlja se pitanje kako iz niza vibracija kojim ćelija vibrira pri odabranim frekvencijama, odabrati jedan konačni iznos koji će pomoću zadanog raspona i gradijenta odrediti konačnu boju ćelije kojoj pripada. Alat razvijen u sklopu ovog rada korisniku nudi nekoliko funkcija koje može odabrati, a koje primaju niz iznosa vibracija te vraćaju jednu vrijednost vibracije, koja predstavlja "sažetak" navedenog niza:

- MIN - najmanji iznos vibracije
- MAX - najveći iznos
- AVERAGE - prosjek vibracija
- MEDIAN - medijan vibracije
- SPREAD - razlika između najvećeg i najmanjeg iznosa vibracije

Korisnik zatim može odabrati funkciju koja najbolje odgovara njegovim potrebama. Na primjer, ako korisnik treba saznati maksimalno opterećenje za svaku ćeliju pri odabiru različitih frekvencija za to mu može koristiti funkcija MAX, a ako ga zanima kolike će vibriranje ćelija varirati tijekom rada na višestrukim frekvencijama može koristiti funkciju SPREAD itd.

No, kada navedene funkcije izračunaju konačnu vrijednost iz niza vrijednosti, taj iznos treba prebaciti u interval $[0, 1]$ kako bi se omogućilo uzorkovanje gradijenta. Za ostvarivanje prijelaza u taj interval potrebno je znati koji broj označava najmanju vrijednost intervala, odnosno 0, a koji broj označava najveću vrijednost intervala, odnosno 1.

U alatu su ponuđena tri načina računanja navedenog raspona:

- GLOBAL - donju i gornju granicu raspona čine najmanji i najveći iznos vibriranja kojim neka ćelija može vibrirati tijekom rada na bilo kojoj od mogućih frekvencija
- LOCAL - donju i gornju granicu raspona čine najmanji i najveći iznos vibriranja kojim neka ćelija može vibrirati tijekom rada na bilo kojoj od odabranih frekvencija
- USER DEFINED - korisnik sam definira donju i gornju granicu raspona

Alat korisniku omogućuje da sam definira boje gradijenta na temelju kojeg će se model odrediti boje ćelija.

U sklopu alata je implementiran još jedan način "bojanja" modela motora koji je baziran na definiranim ograničenjima vibracija. Navedena ograničenja dijele raspon vibracija na 3 zone: bezopasnu, rizičnu i opasnu. Rasponi su definirani za određene

frekvencije(ne nužno za sve) u posebnoj datoteci. Ovaj način bojanja je odvojen od normalnog načina rada, objašnjenog u prijašnjem odlomku.

Boje ćelija u načinu rada s ograničenjima se određuju na sljedeći način:

- Zelena - ako se snage vibracije svih odabranih frekvencija za trenutnu ćeliju nalaze u bezopasnoj zoni
- Gradijent žute - ako se snage vibracije barem jedne odabrane frekvencije nalaze u rizičnoj zoni, a nijedna u opasnoj zoni
- Gradijent crvene - ako se snage vibracije barem jedne odabrane frekvencije nalaze u opasnoj zoni

Navedeni gradijenti se uzorkuju pomoću omjera broja frekvencija čiji iznos spada u zonu gradijenta i ukupnog broj odabranih frekvencija. Navedena boja i gradijenti su početno postavljeni na spomenute vrijednosti, a korisnik ih može mijenjati kako njemu odgovara.

Kako bi se adresirao problem sa uspoređivanjem nesusjednih frekvencija, na grafu se isctavaju samo podaci za odabrane frekvencije.

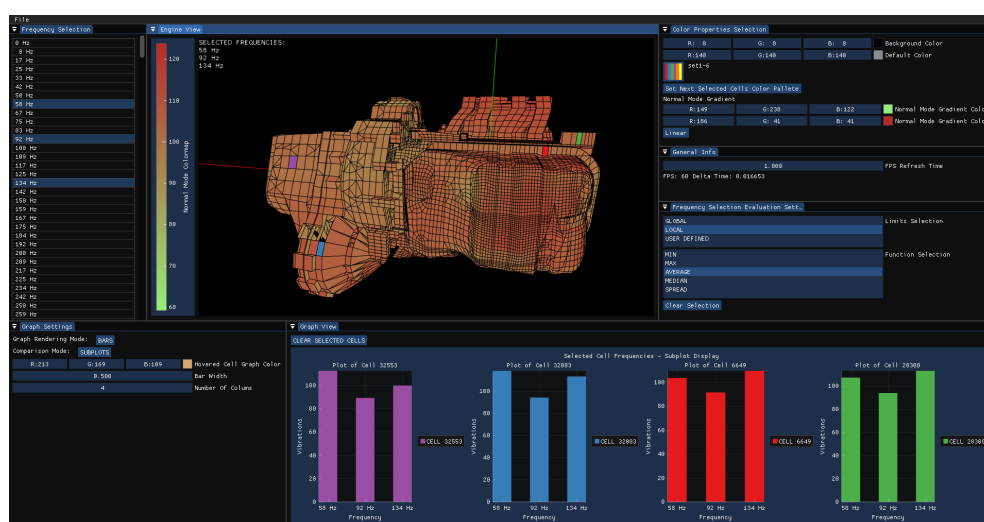
Konačno, kako bi se poboljšala čitljivost grafa u sklopu alata su implementirana dva načina isctavanja podataka: stupčasti i linijski, te tri načina uspoređivanja:

- NORMAL - svi grafovi su prikazani unutar jednog prikaza(?)
- SUBPLOTS - svaki graf je prikazan unutar zasebnog prikaza
- RELATIVE - kao NORMAL, ali je dodatno moguće odabrati jednu ćeliju s obzirom na koju će se prikazati grafovi svih ostalih ćelija

Navedeno rješenje predstavlja poboljšanje na području čitljivosti zbog više razloga. Više nisu grafovi svih ćelija prikazani odjednom, već su samo prikazani grafovi odabranih ćelija. Moguće je prikazati svaki graf na zasebnom prikazu, čime je pojednostavljeno uspoređivanje u slučaju više odabranih ćelija. Sa relativnim uspoređivanjem, korisnik može lakše usporediti odabranu ćeliju sa ostalim ćelijama. Konačno, pošto su omogućena dva načina isctavanja podataka, korisnik može odabrati onaj način koji odgovara njegovim potrebama i preferencama, te nije prisiljen koristiti linije za isctavanje grafova.

4. Dizajn vizualizacije

Zahtjevi navedeni u prijašnjem poglavlju daju naslutiti kako će sučelje alata biti kompleksno, pošto korisniku trebaju biti na raspolaganju brojne opcije. Kako bi se svi navedeni zahtjevi zadovoljili, a upotrebljivost alata se ne bi smanjila, potrebno je alat organizirati u smislene prikaze (engl. *view*). Na slici 4.1 se može vidjeti kako je alat zapravo organiziran u sedam prikaza. Navedeni prikazi su detaljno opisani u nastavku.

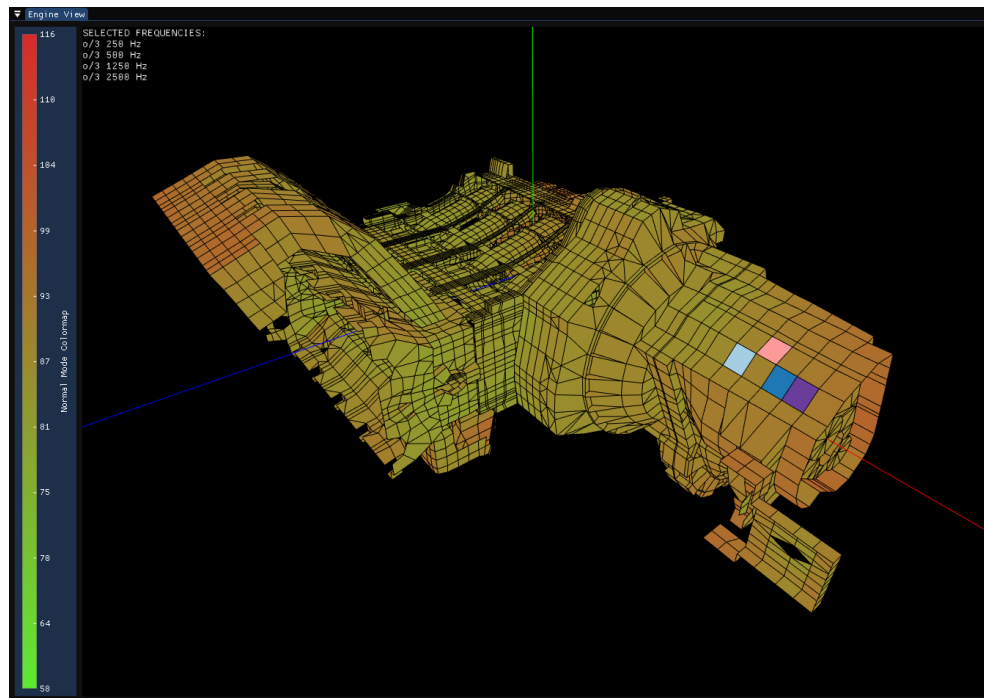


Slika 4.1: Snimka zaslona alata

4.1. Prikaz motora

Zadaća prikaza motora je jasno vizualizirati podatke o vibracijama ćelija, pritom uzimajući u obzir brojne postavke vizualizacije poput: načina rada, odabranih frekvencija, načina računanja konačnih podataka ćelije, zadanih raspona podataka, gradijenata koji se koriste za vizualizaciju i načina uzorkovanja tih gradijenata. Korisnik ovu komponentu također može koristiti i za označavanje interesnih ćelija.

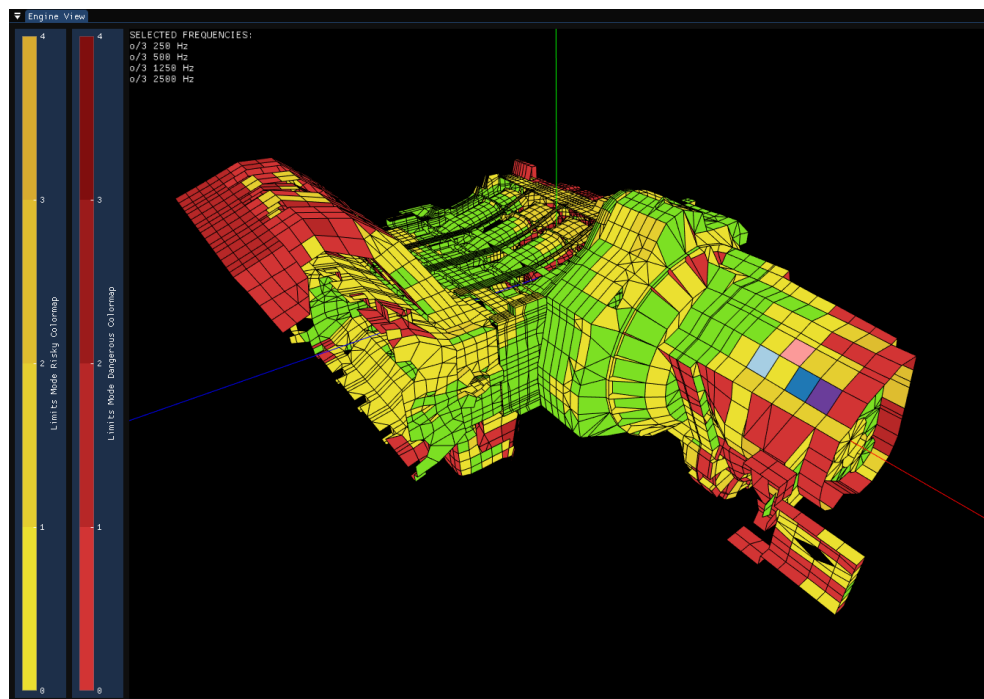
Na slikama 4.2 i 4.3 se može vidjeti primjer ovog prikaza tijekom dva moguća načina



Slika 4.2: Prikaz motora tijekom normalnog načina rada

rada. Uz prikaz obojanog modela ova komponenta alata je zadužena i za prikaz legende gradijenta i nabrojanje odabranih frekvencija, kako bi snimak prikaza prenosio sve informacije potrebne za razumijevanje rezultata vizualizacije. Osi koordinatnog sustava su nacrtane uz model motora kako bi korisnik dobio osjećaj za koordinatni sustav u kojem se model nalazi. Označavanje ćelija se odrađuje klikom na lijevu tipku miša kada se pokazivač miša nalazi iznad interesne ćelije. Kada korisnik pokazivačem miša pređe preko ćelije bez klikanja, boja ćelije postaje inverz prijašnje boje. Jednom kada korisnik klikne na ćeliju, ćelija se označava jednom od boja iz trenutne palete (detaljno objašnjeno u poglavlju 4.6) te je korisniku prikazan detaljan uvid u podatke označene ćelije putem prikaza grafa (detaljno objašnjeno u 4.2).

Kao što je vidljivo iz slika 4.2 i 4.3, razlike u dva načina rada se ne manifestiraju samo u vizualizaciji motora, već i u sučelju ovog prikaza. Naime, kako je objašnjeno u poglavlju 3.2, u normalnom načinu rada alatu je potreban jedan kontinuirani gradijent, a u načinu rada sa preddefiniranim ograničenjima su potrebna dva diskretna gradijenta, jedan za rizičnu i jedan za opasnu zonu. Osim što je navedene gradijente moguće mijenjati pomoću dvije kontrolne boje, moguće ih je mijenjati i promjenom funkcije uzorkovanja gradijenta, ali više o svim postavkama gradijenata je objašnjeno u poglavlju 4.6.



Slika 4.3: Prikaz motora tijekom načina rada sa preddefiniranim ograničenjima

4.2. Prikaz grafa

4.3. Postavke grafa

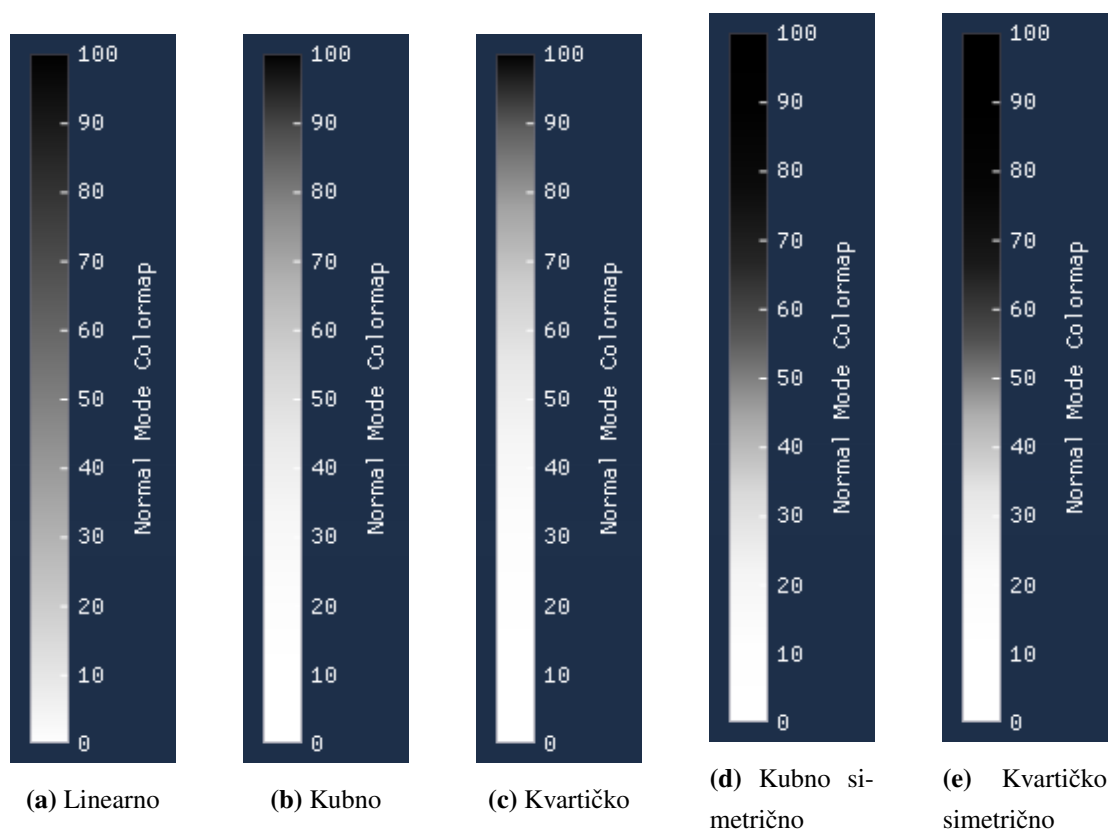
4.4. Odabir frekvencija

4.5. Postavke evaluacije odabranih frekvencija

4.6. Postavke boja

4.4 referiraj [2]

4.7. Generalne informacije



Slika 4.4: Drugačije postavke uzorkovanja gradijenta

5. Implementacija

1 // ovdje

6. Demonstracija rada alata

Par sličica i tako to.

7. Zaključak

Zaključak.

LITERATURA

- [1] AVL EXCITE™. <https://www.avl.com/excite>. [Pristupljeno 3. lipnja 2022].
- [2] Easing Functions Cheat Sheet. <https://easings.net/#>. [Pristupljeno 9. lipnja 2022].
- [3] Krešimir Matković, Rainer Splechtna, Denis Gračanin, Goran Todorović, Stanislav Goja, Boris Bedić, i Helwig Hauser. Getting insight into noise, vibration, and harshness simulation data. U *2021 Winter Simulation Conference (WSC)*, stranice 1–12. IEEE, 2021.
- [4] Antony Unwin. Why is Data Visualization Important? What is Important in Data Visualization? *Harvard Data Science Review*, 2(1), 31. siječnja 2020. <https://hdsr.mitpress.mit.edu/pub/zok97i7p>.

3D interaktivna vizualizacija simulacije vibracija

Sažetak

Sažetak na hrvatskom jeziku.

Ključne riječi: Ključne riječi, odvojene zarezima.

3D Interactive Visualization of Vibration Simulation

Abstract

Abstract.

Keywords: Keywords.