

TARTU ÜLIKOOL  
Arvutiteaduse instituut  
Informaatika õppekava

**Kreete Kuusk**  
**Reflexions – Interaktiivsete visuaalide loomine**  
**sügavuskaamera abil**  
**Bakalaureusetöö (9 EAP)**

Juhendaja:  
Mathias Plans, MSc

Tartu 2025

## **Reflexions – Interaktiivsete visuaalide loomine sügavuskaamera abil**

### **Lühikokkuvõte:**

Tartu Ülikooli Delta õppehoones asuvat interaktiivset digitaalset kunstinäitust “Magic Mirror” sooviti asendada uue väljapanekuga. Lõputöös käsitletakse uue näituse loomise protsessi – teoste puhul kasutatakse interaktiivsuse saavutamiseks sügavuskaamerat ning hinnatakse, kas loodud näitus on piisavalt hea, et asendada olemasolevat väljapanekut. Visuaalide loomisel kasutatakse erinevaid graafilisi võtteid. Lõputöö tulemusena valmis uus näitus, mida oli võimalik kasutada näituse “Magic Mirror” asemel.

**Võtmesõnad:** Arvutigraafika, sügavuskaamera, Godot, 3D mudel, kunst

**CERCS:** P175 Informaatika, süsteemiteooria

## **Reflexions – Creating Interactive Visuals With a Depth Camera**

### **Abstract:**

The interactive digital art exhibition "Magic Mirror", located in the University of Tartu's Delta building, was due to be replaced by a new exhibition. This thesis examines the process of creating the new exhibition – using a depth camera to add interactivity to the works and assessing whether the new exhibition is good enough to replace the existing one. Different graphic techniques are used to create the visuals. As a result of this thesis, a new exhibition was created that could be used as a replacement for the "Magic Mirror" exhibition.

**Keywords:** Computer graphics, depth camera, Godot, 3D model, art

**CERCS:** P175 Informatics, systems theory

## Sisukord

1.	Sissejuhatus.....	4
2.	Interaktiivne digitaalne kunst.....	5
2.1	Definitsioon.....	5
2.2	Magic Mirror.....	5
2.3	Inspiratsioon.....	6
2.4	Sügavuskaamera .....	7
3.	Teoste loomine.....	10
3.1	Eeltöö .....	10
3.2	Kunstiteosed.....	11
3.2.1	Virmalised.....	12
3.2.2	Liilia.....	15
3.2.3	Meduus.....	18
3.3	Esitus.....	22
3.3.1	Stseenide vahetus .....	22
3.3.2	Veebileht.....	24
4.	Testimine ja teoste parendamine.....	25
4.1	Arvutigraafika Expo.....	25
4.1.1	Üldiselt.....	25
4.1.2	Virmalised parandused.....	26
4.1.3	Liilia parandused.....	27
4.2	Vilistlaste päev .....	29
4.2.1	Üldiselt.....	29
4.2.2	Valmis Virmalised .....	30
4.2.3	Valmis Liilia .....	30
4.2.4	Valmis Meduus .....	31
4.3	Individuaalne testimine .....	33
4.4	Jõudluse testimine.....	35
5.	Tulemused.....	37
6.	Kokkuvõte.....	38
	Viited.....	39
	Lisad.....	40
	Lisa 1. Sõnastik.....	40
	Lisa 2. Küsitlus .....	41
	Lisa 3. Kaasnevad failid.....	44
	Litsents.....	45

## 1. Sissejuhatus

Tartu Ülikooli Delta õppehoones asuvat kunstinäitust “Magic Mirror” sooviti asendada uue väljapanekuga. Antud näitus vajab värskendust ning kuna projektil puudus ka dokumentatsioon, oli väga keeruline seda parandada või edasi arendada. Arvutigraafika ning Virtuaalreaalsuse (CGVR) labori inventaris oli mitu sügavuskaamerat, mis ei olnud aktiivses kasutuses. Seega tekkis idee luua uus väljapanek, milles rakendatakse neid kaameraid.

Bakalaureusetöö on rakenduslik töö ning selle eesmärk on luua kunstinäitus “Reflexions”, mis koosneb erinevatest interaktiivsetest digitaalsetest teostest. Töö jooksul uuritakse, kuidas saab kasutada sügavuskaameraga saadud infot kunstiteostes interaktiivsuse saavutamiseks ning kas loodud kunstiteosed pakuvad paremat kogemust, kui väljapanek “Magic Mirror”. Asendamiseks peab projekt olema kvaliteetne kahes aspektis: see peab meeldima näituse külastajatele ning olema kasutatav turundus otstarbega.

Antud näitus valmis koos kaasarendajaga Henri Maandi [1], kes arendas väljapaneku jaoks kolm teost kuuest. Tema tegeles ka taustal töötavate elementidega – seadistas projekti üles nii, et oli võimalik alustada kunstiteoste loomisega ning tegeles sügavuskaamera info edastamise optimiseerimisega. Antud töö autor arendas rohkem projekti esituse poolt – viidi läbi intervjuu, lisati loogika kunstiteoste vahetuseks ning arendati veebileht projekti info kuvamiseks.

Peatükis 2 seletatakse lahti interaktiivse digitaalse kunsti mõiste, uuritakse eksisteerivaid interaktiivseid digitaalseid kunstinäituseid ning analüüsitakse sügavuskaameraid. Peatükis 3 kirjeldatakse esialgsete kunstiteoste loomise protsessi ning selle tulemusi. Peatükis 4 analüüsitakse testimise tulemusi ning parendatakse visuaale vastavalt testijate tagasisidele. Peatükis 5 tehakse ülevaade saavutustest ning antakse lõplik hinnang projekti kasulikkusele.

Lisa 1 on lahti seletatud erinevad mõisted, mis on kasulikud antud lõputöö lugemisel. Lisa 2 sisaldab lõputöö käigus läbi viidud küsitlustest pilte. Lisa 3 on lahti seletatud kõik tööga kaasnevad failid.

## 2. Interaktiivne digitaalne kunst

Interaktiivne digitaalne kunst on lai mõiste, mida pole otseselt kuskil defineeritud. Selle lahti seletamiseks on esmalt vaja selgeks teha, mida tähendavad digitaalne kunst ja interaktiivsus. Peale seda on kergem mõista, mida interaktiivne digitaalne kunst võib enda all hõlmata.

### 2.1 Definitsioon

Christiane Paul'i [2] koostatud raamatus "A Companion to Digital Art" on digitaalne kunst defineeritud kui kunst, mis on loodud, hoitud ning esitatud tehnoloogiliste vahendite abil. Raamatu näitel võivad sellisteks kunstiteosteks olla näiteks interaktiivsed installatsioonid, tarkvaraga loodud kunst, virtuaalreaalsus jms.

Vallaste sõnastikust<sup>1</sup> saab välja lugeda, et interaktiivne programm ootab aktiivselt oma töö ajal kasutajalt mingit sisendit. Peale sisendi saamist võib programm kasutajale vastata soovitud kujul. Sõnastikus on hea näitena toodud videomängud, mis vajavad pidevat interakteerumist inimese poolt. Kasutaja poolseks sisendiks võivad olla sellise programmi puhul häälkäsklused, hiireklikid, klaviatuuri vajutused jne.

Seega on interaktiivne digitaalne kunst selline vorm, mis ühendab tehnoloogia, loovuse ja inimesed. Oma olemuselt on see tehnoloogia abil loodud kunstiteos, mis moonutab ennast vastavalt selle kasutajatele. Antud töös on tähtsal kohal digitaalse interaktiivse kunsti loomine ning uurimine. Edaspidi on kunsti all alati mõeldud digitaalset kunsti.

### 2.2 Magic Mirror

Selle projekti üheks peamiseks eesmärgiks on luua uus näitus olemasoleva väljapaneku "Magic Mirror" asemele. See interaktiivne digitaalne kunstinäitus, 2025 aasta seisuga, asus Delta õppehoone kolmandal korrusel. Joonisel 1 on näha, et väljapanek koosneb kaamerast ning suurest ekraanist. Näituse põhimõte on selles, et ekraanil kuvatakse kaamera voog, millel on populaarsete maalide stiilis moonutused. Vaataja saab reaajas näha ennast erinevates "kunstiteostes". Ekraani alumises osas kuvati väike maali pilt koos selle autoriga. Teosed vahetusid iga mingi aja tagant ning teatud kaugusel seistes tegi kaamera pildi. Tehtud ekraanitõmmis jäi mõneks sekundiks ekraanile koos QR-koodiga, mis viis digitaalse pildi lingile – sealt sai foto alla laadida.

---

<sup>1</sup> <http://www.vallaste.ee/>

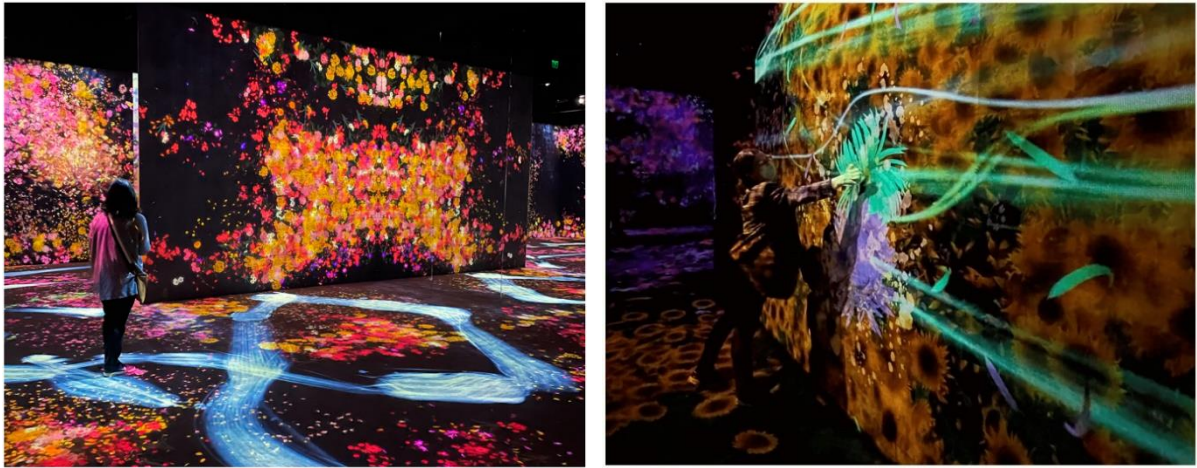


Joonis 1. “Magic Mirror” väljapanek Delta õppehoones.

Kuna “Magic Mirror” loodi mitu aastat tagasi ning sellega ei kaasnenud selget dokumentatsiooni, siis on seda projekti raske edasi arendada ning see on üldiselt juba kaua püsinud väljapanek. Sellest tulenevalt luuakse antud lõputöö käigus uudne ning huvitav kunstinäitus “Magic Mirror” asenduseks.

### 2.3 Inspiratsioon

Kunstiteoste loomise alustuseks on vaja esialgu koguda ideid ja leida inspiratsiooni. Üle terve maailma on loodud mitmeid erinevaid interaktiivseid digitaalseid kogemusi. Enamus neist on ekspertide poolt hinnatud kunstiteosed, mis ongi loodud näitustena muuseumides eksponeerimiseks, kuid on ka selliseid, mis on loodud kommertslike või isiklike eesmärkidega. Siinse töö eesmärgi jaoks erinevaid töid analüüsid jäi kõige rohkem silma üks loodusest inspireeritud väljapanek. Emily Lawhead [3] kirjutab interaktiivse kunsti näitusest, mis avati 2021. aastal ühes San Francisco muuseumis, nimega “teamLab: Continuity”. Autor kirjeldab näitusele sisenemist kui hoomamatut kogemust, kuna vastu vaatab digitaalne ökosüsteem, kus on maagilised lilled, kirjud liblikad ning valgete vareste parved. Joonisel 2 on näidatud keskkonda, mis reageerib inimeste liikumisele ning kuvab visuaale vastavalt aktiivsele interaktsioonile, tänu sellele jääb ka peale lahkumist maha jälg järgmistele üllatunud muuseumi külalistele.



Joonis 2. teamLab'i loodud interaktiivne kunstinäitus [3].

Kristi Jackson'i arvates ongi interaktiivne kunst selle peale üles ehitatud, et teos vajab kunstivaatajatega kontakti, et täita enda eesmärk [4]. Lawhead'i sõnul teeb interaktiivset kunsti veelgi kaasahaaravamaks see, et kaasatud on kõik läheduses viibivad inimesed – sellisel juhul on tegemist *collective interactive experience*'iga ehk kollektiivse interaktiivse kogemusega [3]. Sellist kogemust kirjeldab ka Jackson, kui ta külastas näitust, kus hõljusid ringi virtuaalsed mullid. Seal jooksid ringi lapsed, kes püüdsid aktiivselt mulle katki teha – neid nähes tundis autor tungi lastega koos lõbutseada ja mulle taga ajada [4]. Seega on kunstiteose interaktiivsus tähtis vaatajatele hea kogemuse pakkumiseks.

## 2.4 Sügavuskaamera

Lõputöös on interaktiivsuse saavutamiseks kasutusel sügavuskaamerad (*depth cameras*), millega on võimalik teha sügavuspilte. Joonisel 3 on näha antud töös kasutusel olev Intel Realsense SR305 sügavuskaamera. Tavalised digitaalkaamerad väljastavad kahemõõtmelise pildi, mille pikslid kannavad endas värvi (RGB) infot<sup>2</sup>. SR305 ametlikust dokumentatsioonist [5] saab välja lugeda, et sügavuskaamera puhul on see sarnane – edastatud videovoog annab tulemuse, kus iga piksli väärtus tähistab värvi asemel kaugust kaamerast. Seega märgib sügavus vahemaad kaamera ning objekti vahel. Joonisel 4 on näha inimese käest tehtud sügavuspilti, kus punase värvi intensiivsus tähendab kaugust. Antud kaamera saab edastada nii värvi kui sügavuse infot.

<sup>2</sup> <https://www.intelrealsense.com/beginners-guide-to-depth/>



Joonis 3. SR305 kaamera.

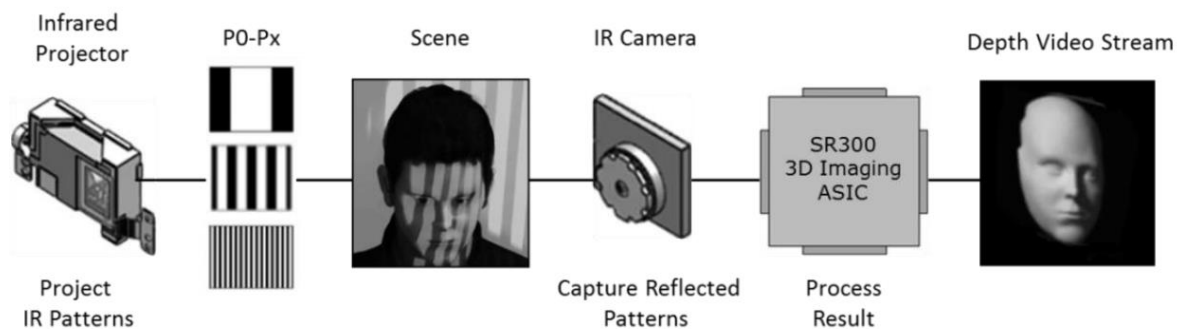


Joonis 4. Sügavuspilt käest.

Sügavusinfot on klassikaliselt RGB pildilt raske välja lugeda. Kui vaadata joonisel 5 kuvatud Pisa torni “toetavat” inimest, siis pildi järgi tunduvad torn ja isik samal kaugusel olevat [6]. Reaalsuses on objekt inimesest oluliselt kaugemal. Sellepärast on loodud mitmeid erinevad tehnikaid sellise probleemi lahendamiseks. SR305 [5] kasutab sügavuspildi loomiseks infrapunakiirgust. Joonisel 6 on näha, kuidas kaamerasse sisse ehitatud infrapuna prožektor (*IR projector*) valgustab pidevalt keskkonda vertikaalsete ribadega. Vastav keskkond moonutab seda mustrit ning peale peegelduse läbi töötlemist on võimalik luua sügavuskaader. Mitu kaadrit järjest moodustavad videovoo, mis sisaldab endas sügavusega seotud informatsiooni.



Joonis 5. Inimene “toetamas” Pisa torni, [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



Joonis 6. SR305 kaamera töökaik sügavusvoo loomiseks [5].

Sügavuskaameraid kasutatakse erinevatel eesmärkidel ning mitmetel erialadel, kus ei piisa ainult värviinfost. Intel RealSense tooteid kasutatakse näiteks dronides, objektide 3D skaneerimisel ja näo tuvastamisel<sup>3</sup>. Antud töös kasutatakse sügavuskaamerat, et saada kätte inimese kaugus kaamerast reaalsajas. Edasi on võimalik kunsti vaatleja sügavusinfo integreerida kunstiteosesse, mis tänu sellele uuendab ennast vastavalt liikumisele reaalsajas ehk teeb teose interaktiivseks. Peale sügavuskaameraga tutvumist, näituse “Magic Mirror” analüüsimist ning inspiratsiooni kogumist oli võimalik alustada kunstiteoste arendusega.

<sup>3</sup> <https://www.intelrealsense.com/use-cases/>

### 3. Teoste loomine

Selles projektis loodi kokku kolm kunstiteost, mis olid kõik seotud loodusega. Enne arendust viidi läbi intervjuu, et saada täpsem ülevaade loodavast näitusest. Peale eeltööd oli võimalik alustada teoste arendusega ning hiljem oli vaja tegeleda ka kunstiteoste esitusega.

#### 3.1 Eeltöö

Kuna uus näitus hakkab tulevikus asendama Tartu Ülikooli Delta õppehoones asuvat “Magic Mirror” eksponaati, siis viidi läbi intervjuu arvutiteaduse instituudi turundus- ja kommunikatsiooni juhiga. Intervjuust selgusid mõned tähtsamad arusaamad ning ootused:

- Projekt hakkab asendama väljapanekut “Magic Mirror”, seda viiakse erinevatele üritustele (messid, sTARTUp day jne);
- Sihtgrupiks on Delta külalised ehk igas vanuses inimesed (gümnasistid, ettevõtjad jms).
- Teoste vahetuse intervall võib olla näiteks 30 sekundit kuni minut;
- Ekraani peal peaks kuskil olema Tartu Ülikooli ja arvutiteaduse instituudi logo;
- Tööga peab kaasa tulema dokumentatsioon, kus on kirjas kuidas projekti tööle saada.

Suure loodusehuvilisena oli soov luua midagi seoses erinevate loodusnähtustega. Teema valiti koos kaasarendajaga, et hiljem loodud teosed oleks ühtlase stiiliga [1]. Looduse teema poole andis kindlasti ka lükke teamLab'i loodud interaktiivne kunstinäitus, kus peamisteks esinejateks olid lilled, varesed ja liblikad [3]. Peale teema valimist hakkasid kohe tekkima ideed erinevate teoste loomiseks.

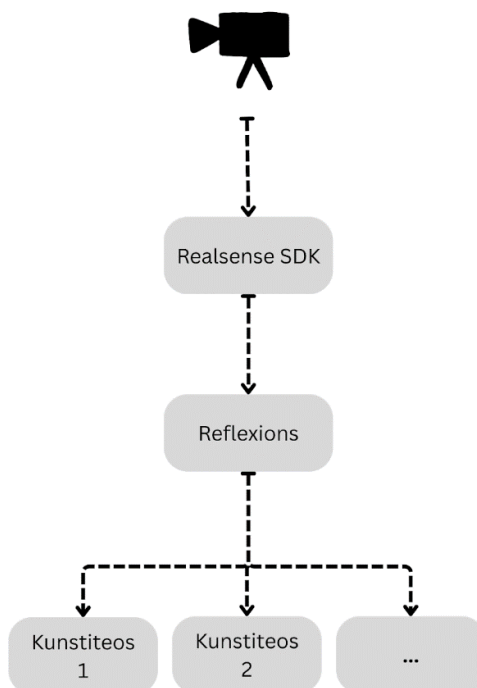
Kunstiteoste peamine eesmärk on vaatjatele pakkuda silmailu ning meelelahutust interaktiivsuse näol. Visuaalid loodi nii, et kui kaamera ees liikumist ei esine, siis on teoste puhul ikkagi midagi, mis kutsuks enda juurde. Interaktiivsuse saavutamiseks on siin projektis kasutusel sügavuskaamera. Teoste loomisel oli vaja ennustada, kuidas inimesed kaamera ees liikuda võivad. Lawhead väidab, et kunstiteos peab olema võimeline vastu võtma korraga mitmeid signaale, mis koosnevad suvalistest ning ootamatutest liigutustest [3].

Joonisel 7 on kujutatud kaamera suhtlust ”Reflexions” projektiga. Kaamera töötamiseks oli vaja arvutis alla laadida selle jaoks mõeldud tarkvaraarenduskomplekt Intel® RealSense™ SDK 2.0<sup>4</sup>. See võimaldas kaameravoo kuvamist ning video edastuse erinevate sätete muutmist. Kaasarendaja kirjutas Godot’s vajaliku klassi kaamera kasutamiseks [1]. Peale seda oli

---

<sup>4</sup> <https://github.com/IntelRealSense/librealsense/releases/tag/v2.33.1>

võimalik projektis kindlate käskudega ligi pääseda kaameraga saadud sügavuskaadritele. Kaader oli kujutatud ühe massiivina, kus iga väärtus tähistas kaugust – mida suurem väärtus, seda lähemal antud punkt kaamerale oli.



Joonis 7. Kaamera info edastamine kunstiteostele.

Teoste loomiseks kasutati mängumootorit Godot<sup>5</sup>. Iga visuaali jaoks on kasutatud eraldi stseene (Lisa 1). Antud keskkonnas on võimalik luua nii kahemõõtmelisi (2D) kui ka kolmemõõtmelisi (3D) stseene. Selles töös on kahemõõtmeliste teoste jaoks kasutatud varjutajaid (Lisa 1) ning kolmemõõtmeliste teoste puhul erinevaid mudeleid, mis loodi modelleerimisprogrammis Blender<sup>6</sup>.

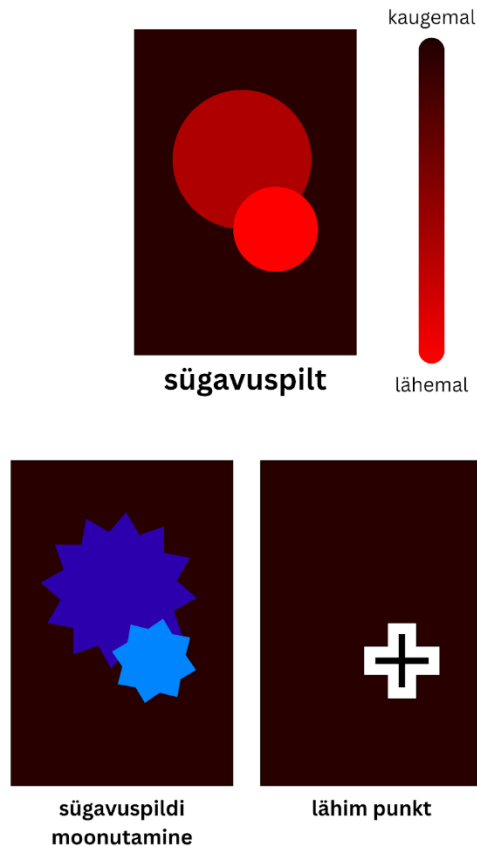
### 3.2 Kunstiteosed

Siin peatükis on kirjeldatud kolme kunstiteose esialgsete variantide loomist. Peale testimisi parendati visuaale vastavalt testijate tagasisidele. Esimene loodud teos kasutas puhas sügavuspilti ning teised kaks kasutasid sügavuspildilt leitud lähimat punkti. Nende meetodite illustatsiooni on näha joonisel 8.

---

<sup>5</sup> <https://godotengine.org/>

<sup>6</sup> <https://www.blender.org/>



Joonis 8. Sügavuspildi kaks kasutust teoste puhul.

Kahe meetodi kasutamine võimaldas luua erinevaid kunstiteoseid. Sügavuspildi moonutamist kasutati kahemõõtmelise teose puhul ning lähimat punkti kasutati kolmemõõtmeliste teose puhul. Viimaste visuaalide puhul oli vaja luua ka 3D mudelid.

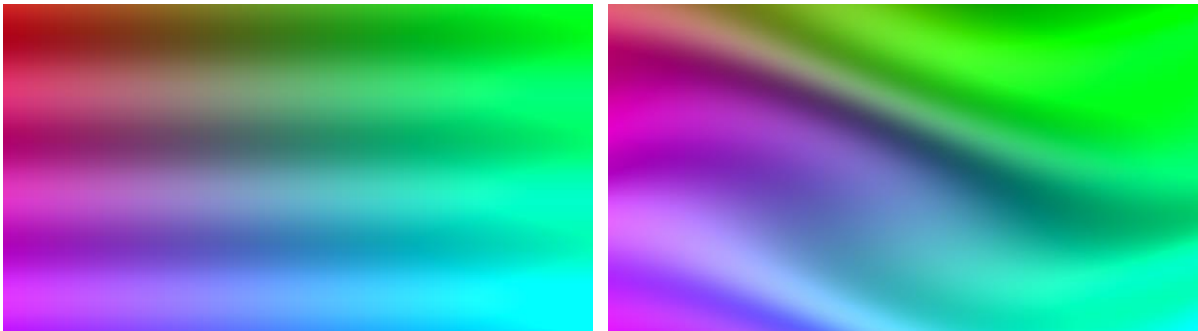
### 3.2.1 Virmalised

Idee virmaliste loomiseks tekkis varjutajatega tutvumise ajal. Enne sügavuse kasutamist oli õppimise mõttes soov kirjutada mõni lihtsam koodijupp, mis kuvaks 2D keskkonnas risküliku peal mingit huvitavat visuaali. Internetis leidub mitmeid õpetusi varjutajate loomiseks. Püüdes ühes õpetuses<sup>7</sup> loodud visuaali jäljendada, ilmnes, et saadud tulemus meenutas virmalisi. Kuna antud visuaal oli seotud looduse teemaga ning nägi visuaalselt kena välja, jõustus plaan seda edasi arendada.

Virmaliste efekti loomiseks kinnitati tavalise risküliku materjaliks varjutaja, mis oli kirjutatud Godot enda väljatöötatud keeles. Koodis kasutati funktsiooni `fragment()`, mis käivitatakse

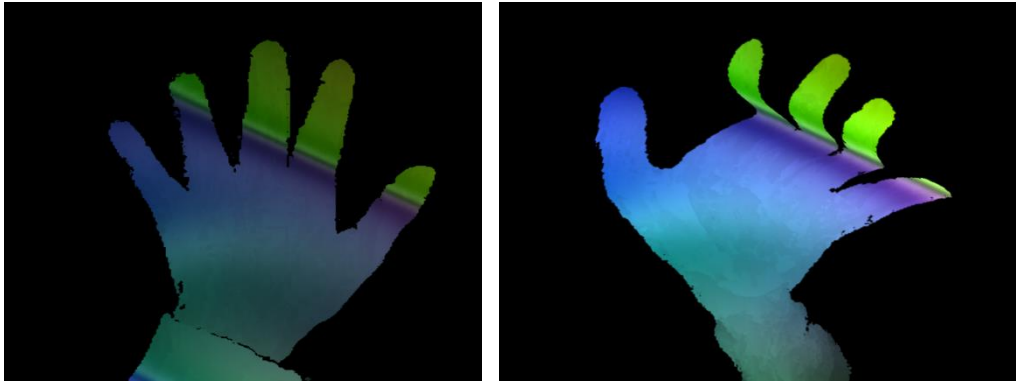
<sup>7</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=0Rcxr76-3Ms>

iga piksli peal tekstuuris. Eialgu kasutati  $\sin(\text{noise\_uv.y})$ , et tekitada tekstuurile horisontaalsed staatilised ribad. Muutuja  $\text{noise\_uv}$  viitab siin värvi tekstuuri UV-le (Lisa 1). Ribade värvimiseks korrutati ribade punane, roheline ja sinine väärtus läbi UV  $x$  ning  $y$  väärtustega, et värvi tugevus sõltuks koordinaatidest. See andis tekstuuris virmalistele iseloomuliku värvuse. Peale soovitud värvi saavutamist tuli ribad ka sujuvalt liikuma panna. Selleks moonutati UV koordinaate kasutades loogikat, mis on sarnane Fractal Brownian Motion'iga. Luuakse tsükkel, mida jooksutatakse soovitud arv kordi. Selle sees liidetakse piksli UV  $y$  koordinaadile  $\sin(\text{noise\_uv.x} * 4.0 + \text{time}) / \text{freq}$  tulemus ning UV  $x$  koordinaadile  $\cos(\text{noise\_uv.y} * 8.0 + \text{time}) / \text{freq}$  tulemus ja lõpus korrutatakse sagedus sageduse koefitsiendiga. Muutuja  $\text{freq}$  tähendab siin sagedust ning  $\text{time}$  aega. Joonisel 9 on näha, kuidas tänu sellele hakkavad värvitud ribad liikuma sujuvalt üles alla. Sellega oli võimalik saavutada alus, mis nägi välja nagu tervet ekraani täidaksid virmalised.



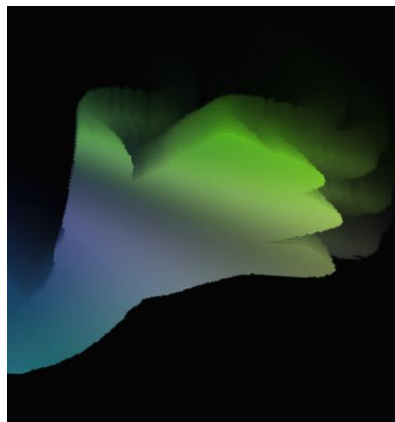
Joonis 9. Vasakul staatiline tekstuur ning paremal liikumise käigus.

Peale seda oli vaja teosesse integreerida sügavus. Tänu sügavuse kasutamisele sai ekraanil näha kujutisi, mis tulid läbi sügavuskaamera. Mida lähemal on objekt kaamerale, seda erksamad on ekraanil vastavas kohas värvid. Selles etapis oli näha kõigest objekti siluett ja selle sees virmaliste kujutis. Kuidagi oli vaja sügavuspilt ka saada liikuma, et ekraanil kujutatu meenutaks rohkem virmalisi. Selle saavutamiseks sai sügavuse UV-d mõjutatud samasuguste matemaatiliste moonutustega nagu virmaliste värvi UV puhul – nii liikus sügavusega saadud kujutis ka sama voolavalt nagu virmalised ise. Joonisel 10 on näha, kuidas antud moonutus tegi visuaali huvitavamaks.



Joonis 10. Enne sügavuse moonutamist vasakul, peale sügavuse moonutamist paremal.

Kogu visuaali oli vaja veel realistlikumaks muuta – vaatajale peab selge olema, et tegemist on virmalistega. Probleem oli see, et siluett küll liikus virmaliste moodi, kuid puudus loodusnähtusele omane hajusus. Selle parandamiseks oli plaan lisada sama kujutise kuvamine nihkega ülespoole, mis meenutaks virmaliste sujuvat liikumist päris elus. Soovitud efekti saavutas viimase kaadri salvestamine, see võimaldas kuvada eelmist kaadrit nihkega originaali suhtes. Nihe lisati suunaga üles poole ning natuke ka paremale. Joonis 11 on näha, kuidas see muudatus andis virmalistele tule laadse välimuse.

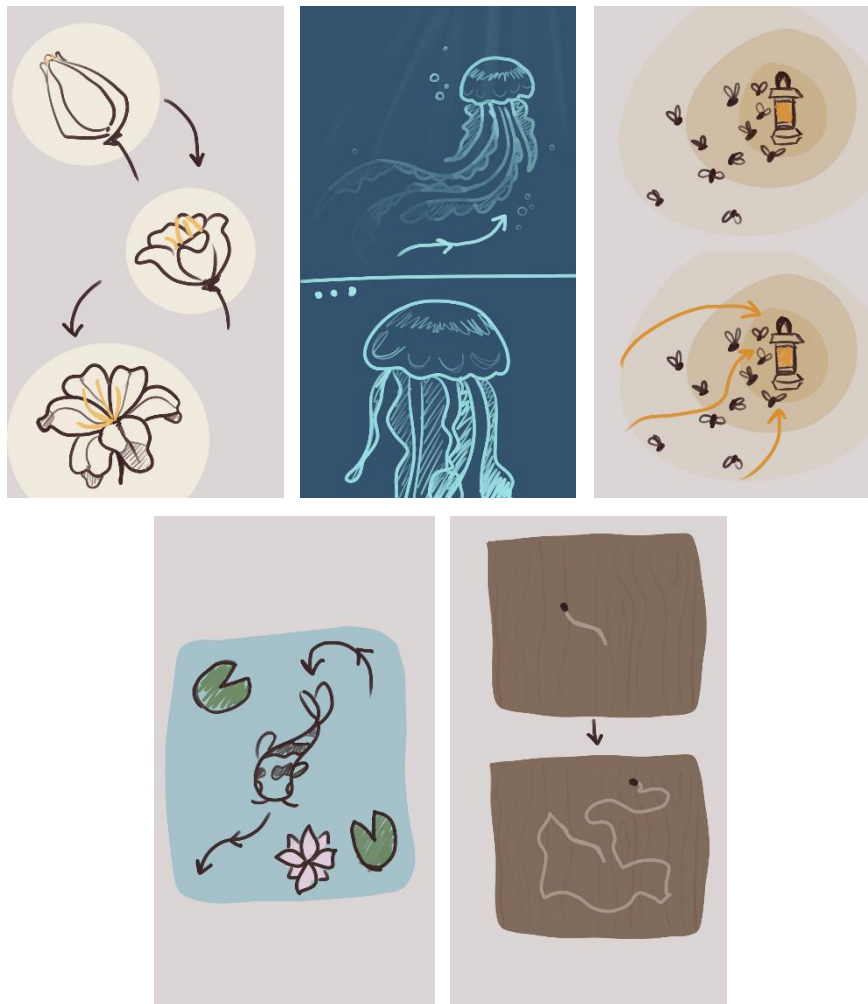


Joonis 11. Virmaliste teos pärast parandusi.

Lõplik tulemus on väga rahuldav ning võrreldav päris virmalistega. Koodis loodud muutujaid, nagu näiteks virmaliste liikumise kiirus või eredus, sai muuta Godot keskkonnas – nende abil oli võimalik virmaliste kuvamist muuta vastavalt soovile. Lisaks sai muutujate abil eelmise kaadri kuvamist kujundada oma nägemuse järgi.

### 3.2.2 Lillia

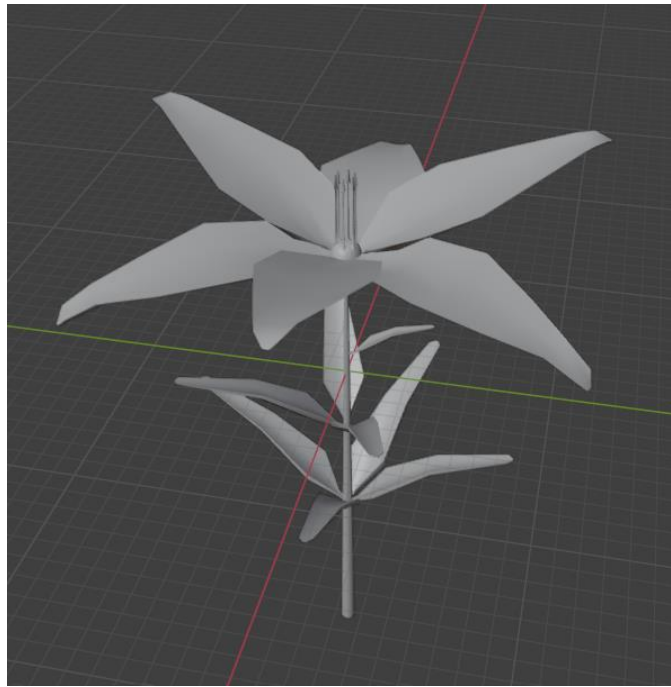
Peale 2D teose loomist oli soov luua midagi, mis ei põhineks ainult matemaatikal. Enne teose loomist oli vaja välja mõelda mõned visuaalselt huvitavad ideed ning plaanida, kuidas nendega interakteeruda saab. Kwastek väidab, et loomise protsessi toetab ettekujutus sellest, kuidas vaatleja potentsiaalselt teosega interakteerub [7]. Joonisel 12 on näha, kuidas joonistusprogrammiga Clip Studio Paint<sup>8</sup> sai loodud mitu erinevat visandit. Üheks väljavalituks osutus idee üksikust liiliast, mille õied avanevad selle läheduses olles. See tundus huvitav valik, kuna kinnine taim ekraanil kutsuks inimesi enda juurde uudistama ning õite avamine võiks tekitada vaatajates sarnase üllatunud tunde, mida teamLab'i näituse külastajad olid kogunud [3].



Joonis 12. Erinevate ideede visandamine.

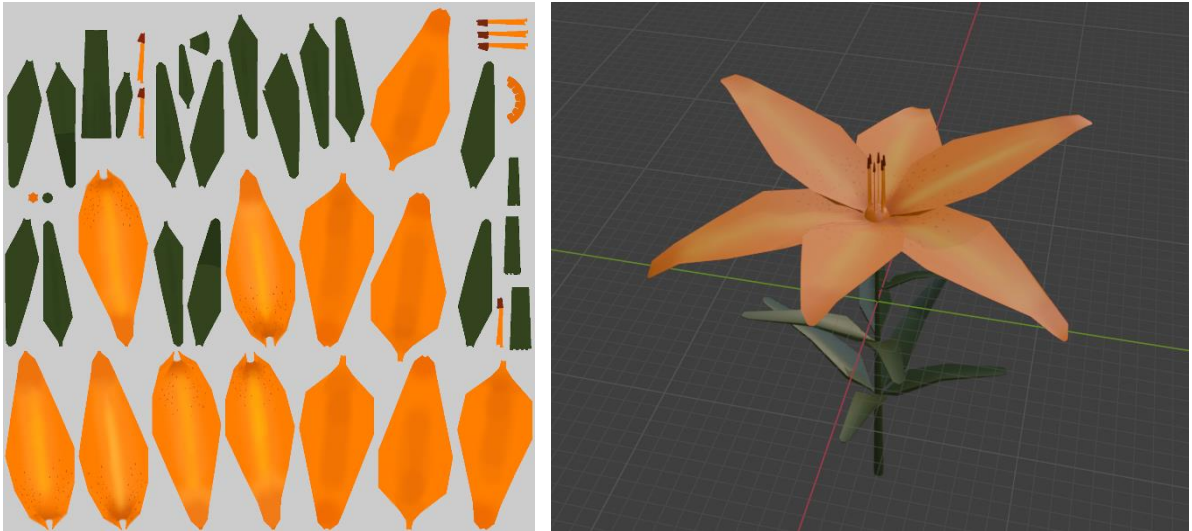
<sup>8</sup> <https://www.clipstudio.net/en/>

Visandi järgi loodi esmalt lille mudel kasutades programmi Blender. Kogu modelleerimise vältel oli kasulik jälgida erinevate nurkade alt fotosid päris taimest, kuna siis oli tulemus kõige realistlikum. Lõpus on lille peal rakendatud Blenderi funktsiooni “*Shade smooth*” ehk varjuta sujuvalt. Selle abiga sai mudeli muuta nii-öelda kuubikust keraks – liilia nägi välja pehmem ning realistlikum. Sama funktsiooni on kasutatud ka hiljem teiste mudelite peal. Joonisel 13 on näha lille lõplikku mudelit.



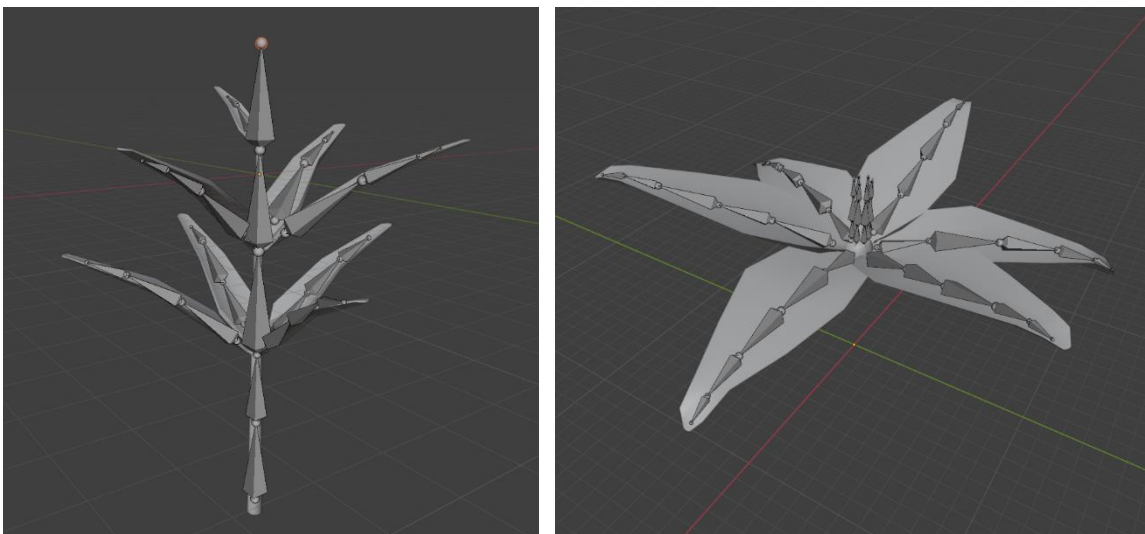
Joonis 13. Valmis liilia mudel Blenderis.

Järgmine etapp oli mudeli värvimine. Esialgu oli plaan lille õied valgeks teha, kuid analüüsisides fotosid erinevatest taime isenditest tuli huvitavam idee. Selles faasis tekkis ettekujutus erk oranžist liiliast, mis asub süsimusta tausta ees – see loob tugeva kontrasti tausta ning objekti vahel. Tänu erksale toonile erineks see teos teistest olemasolevatest oma dramaatilisusega. Selle ideega edasi minnes oli esialgu vaja objektile luua UV-laotus (Lisa 1). Peale seda sai Blenderisse sisseehitatud vaadet “*Texture Paint*” kasutades värvida üle loodud UV-laotus. Joonisel 14 on näha värvimise tulemust.



Joonis 14. Vasakul lille värvitud UV-laotus ja paremal mudel koos värviga.

Liilia animeerimiseks oli vaja luua ja ühendada mudeliga skelett (Lisa 1). Selle ehitamine algas lille puhul altpoolt üles. Kõigepealt tuli luua kondid lille varrele ning lehtedele. Peale seda oli kondid vaja lisada ka kõikidele õitele ja viimaks ka igale tolmukale eraldi. Loodud skeletti on näha joonisel 15, see andis võimaluse igat lille osa individuaalselt liigutada.



Joonis 15. Liilia skelett, selguse mõttes on õie ning varre kondid kuvatud eraldi.

Lõpuks oli võimalik skeleti abiga panna liilia liikuma endale soovitud kujul. Selles teoses on lillel kokku neli seisundit: avatud, suletud, avamisel ning sulgemisel. Animatsioone oli vaja rohkem kui kaks, kuna kui lill ainult avaneks ja sulgeks siis ülejäänud hetkedel oleks mudel staatiline. Joonis 16 on näha liilia suletud ning avatud seisundit, nende puhul sai animatsioonid

tehtud nii, et lille õied ning vars kergelt kõiguksid tuule käes. See teeb teose oluliselt huvitavamaks ja naturaalsemaks.

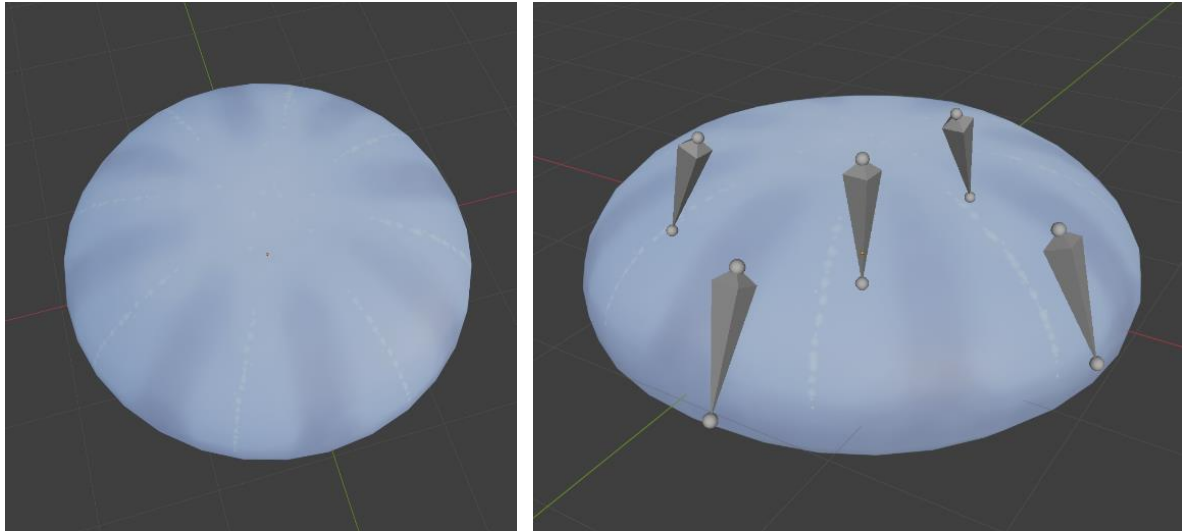


Joonis 16. Lille suletud ning avatud seisund.

Lõpuks sai Godot's 3D sõlmele kinnitatud skripti fail (Lisa 1), mis kontrolliks, millist liilia animatsiooni millisel hetkel mängida. Loogika seisneb selles, et lill on alati suletud ja avaneb ainult siis, kui sügavuskaadris on mingi konkreetne sügavus ületatud ehk inimene asetseb kaamera suhtes teatud kaugusel. Seni, kuni inimene asetseb sellel kaugusel või lähemal, siis on liilia ooteseisundis ehk kõigub kergelt õied avatuna. Sarnane animatsioon suletud õitega jookseb ka siis, kui sügavust ei ole ületatud ning lill ootab, et keegi tuleks teost uudistama.

### 3.2.3 Meduus

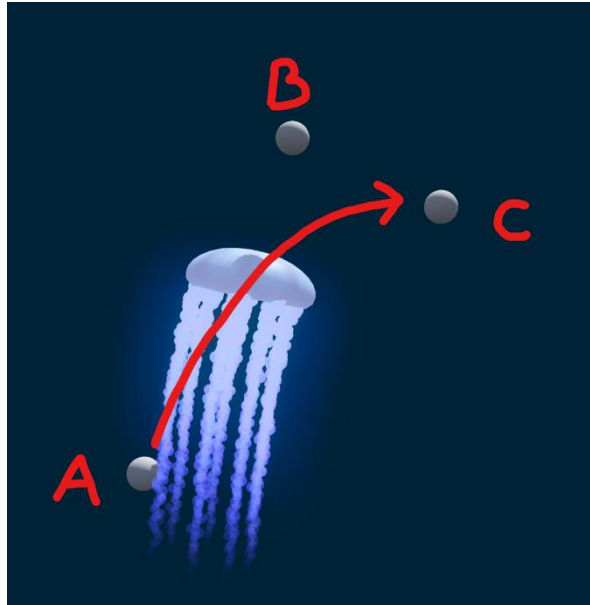
Viimase teosena osutus valituks arendada meduusi idee, mille mustandit on ka näha joonisel 12. Kavandatu teostamiseks tuli taaskord luua, värvida ning animeerida mudel Blenderis. Joonis 17 on näha poseerimiseks valmis mudel, siis sai luua meduusile edasitõukamise animatsioon.



Joonis 17. Meduusi kummiku mudel Blenderis, paremal pildil kuvatud ka skelett.

Peale mudeli tõstmist Godot projekti, oli vaja meduusile lisada ka kombitsad, mis hõljuksid kaasa. Üheks esimeseks ideeks oli kasutada Godot's olevat osakeste süsteemi (Lisa 1) iga kombitsa jaoks eraldi. Helendavad osakesed langesid ühtlase kiirusega alla ning tekitasid pikliku kombitsa.

Ühest punktist teise liikumiseks kasutati neljandat järku Bézier' kõverat. Loogika seisnes selles, et vaadati kolme väärtust: algus-, lõpp- ning kontrollpunkti, neid on näha joonisel 18. Alguspunktiks oli meduusi hetke asukoht ning lõpp-punktiks oli sügavuskaameraga saadud kõige lähem punkt kaamerale. Kontrollpunkt asus algus- ja lõpp-punkti keskel, kuid ülespoole nihutatud. Aja väärtuse kasvades liikus meduus algusest (punktist A) lõppu (punkti C), kuid võttis arvesse ka kontrollpunkti B. Tekkinud trajektoor oli sarnane tavalisele paraboolile. Uued punktid võeti siis, kui meduus oli eelmise liikumise lõpetanud. Sügavuskaamerale lähima punkti koordinaadid leiti sügavusmassiivist tsükliliselt suurima väärtuse otsimisel ning indeksi abil oli võimalik arvutada välja punkti x ning y koordinaadid.



Joonis 18. Bezier' kõveraga liikumine.

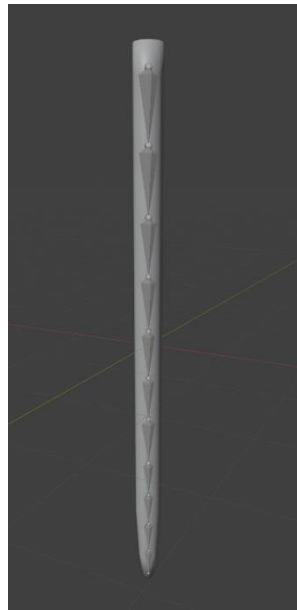
Antud lahenduse tulemuseks oli huvitav välimus, kuid kohati ebarealistlik liikumine. Kui meduus vahetas liikumissuunda vasakult paremale või vastupidi, siis tekkis kombitsatel terav nurk, mis nägi ebaloomulik välja. Lisaks oli probleeme kombitsatega, kui toimus liikumine allapoole – osakeste vähese gravitatsiooni pärast jäid need maha meduusi kehast (paiknesid kõrgemal meduusist). Mõlema vea esinemist on näha joonisel 19. Meduusi välimus sellel hetkel ei olnud veel piisavalt rahuldav, oli soov teisi variante proovida.



Joonis 19. Meduusi liikumisel kohati kehv kombitsate välimus.

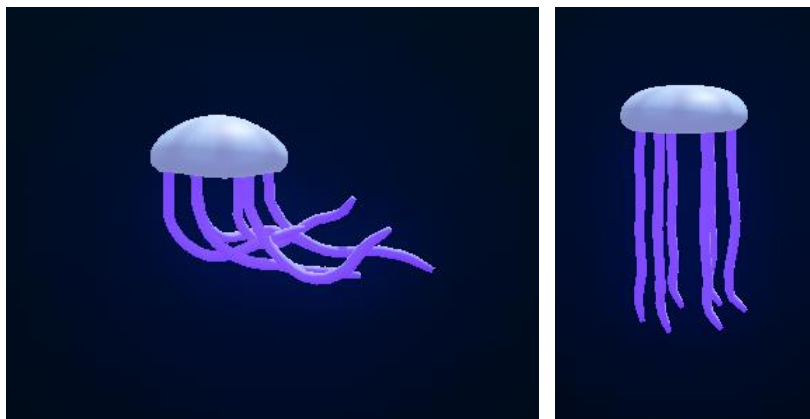
Paremaks lahenduseks osutus kombitsate jaoks Godot's füüsikalise keha sõlme (*RigidBody3D node*) kasutamine. Selle jaoks oli vaja ühe kombitsa jaoks luua eraldi mudel Blenderis ning kinnitada sellele skelett, mida on näha joonisel 20. Peale seda tuli Godot's muuta ühe

nupuvajutusega skelett hoopis füüsikaliseks skeletiks, mis tegi mudelil vajalikud muudatused, et kombits saaks liikuda füüsika põhiselt. Stseeni ülesehituses pidi korrektseks töötamiseks iga soovitud keha ülemsõlmeks olema füüsikalise keha sõlm – see võimaldas antud objekti mõjutada füüsikaga. Seega oli kummiku ning iga kombitsa jaoks eraldi vaja eelnev muudatus teha. Siis sai lisada meduusi kummiku alla mitu kombitsat ning muuta iga kondi ja kummiku gravitatsiooni individuaalselt kergemaks, et meduus ei vajuks pidevalt allapoole.



Joonis 20. Meduusi kombits Blenderis.

Eelnevalt toimus meduusi hõljumine lihtsalt mudeli positsiooni koordinaatide muutmisega, nüüd aga tuli uus liikumine teha füüsika põhiselt. Seekord rakendati meduusi kummiku skriptis kehale kiirust suunaga lähima punkti poole, siis liikus kogu meduus sujuvalt sihtmärgi poole ning jalad lohisesid talle järgi. Joonisel 21 on näha, kuidas uus lahendus nägi välja loomulikum.



Joonis 21. Meduusi uus, füüsikal põhinev, liikumine.

Selguse mõttes oli vaja lisada lähimale punktile mingi märgis, et inimesed saaksid aru, kuidas meduusi juhtida. Selleks kasutati Godot osakeste süsteemi, kus iga osakese kujuks oli läbipaistev kera, mis meenutab mulli. Joonisel 22 on näha lähima punkti asukoha muutumisest tekkinud mullide rada.



Joonis 22. Mullid teosesse lisatuna.

Selleks hetkeks oli esialgne meduusi teos valmis. Käega tekitatud mullide abil oli võimalik meduusi juhtida soovitud kohta. Kombitsad liikusid füüsikal põhinevalt kaasa koos meduusi kummikuga. See oli plaanitudest viimane teos ning järgmisena oli vaja mõelda, kuidas kogu projekti vaatajatele esitleda.

### 3.3 Esitus

Kunstinäituse külastajatele parima kogemuse pakkumiseks oli vaja läbi mõelda projekti disain. Teostele oli vaja luua süsteem, mis vahetaks teoseid teatud intervalli tagant, lisaks tuli ekraanile paigutada logod. Veel tekkis idee luua veebileht, mis annaks projektist detailsema ülevaate.

#### 3.3.1 Stseenide vahetus

Kunstiteoste valmides mõeldi välja esialgne loogika, kuidas teoseid omavahel vahetada. Selleks loodi ülem stseen, mille skript hakkas kontrollima teoste muutmist. Koodi sees lisati esialgu ühe teose stseen ülemstseeni alla, siis sai seda intervalli möödudes vahetada järgmise visuaali stseeni vastu.

Projekti dünaamilisemaks muutmiseks lisati ka loogika, et kunstiteoseid sai vahetada nuppude abil. Selleks ühendati arvutiga väike kahe klahviline klaviatuur, mida on näha joonisel 23, mis paiknes ekraani lähedal. Esimesel testimisel näidati ühe ekraani peal kokku kolme teost (üks neist oli kaasarendaja oma), seega esimene klahv viis eelmise stseeni juurde ning teine klahv

kuvas järjekorras järgmise visuaali. Joonisel 23 on näha kuue nupuga klaviatuuri, mida kasutati hiljem, peale kõigi kuue teose valmimist. Teose manuaalse vahetusega algas aja intervalli lugemine algusest peale. See süsteem võimaldas kasutajal vabalt kuvada soovitud visuaali.



Joonis 23. Vasakul kahe ja paremal kuue klahviga klaviatuur.

Üheks tingimuseks oli Tartu Ülikooli ja arvutiteaduse instituudi logo lisamine. Seda tehti enne viimast testimist. Selleks lisati ülemstseeni, mis tegeles visuaalide vahetamisega, 2D kiht, kus ekraani alumisse äärde paigutati instituudi ning arvutigraafika labori logod. Selle tulemust on näha joonisel 24. Nii olid lisatud logod iga teose puhul kõige peal ja olid nähtavad ka peale teoste vahetust.

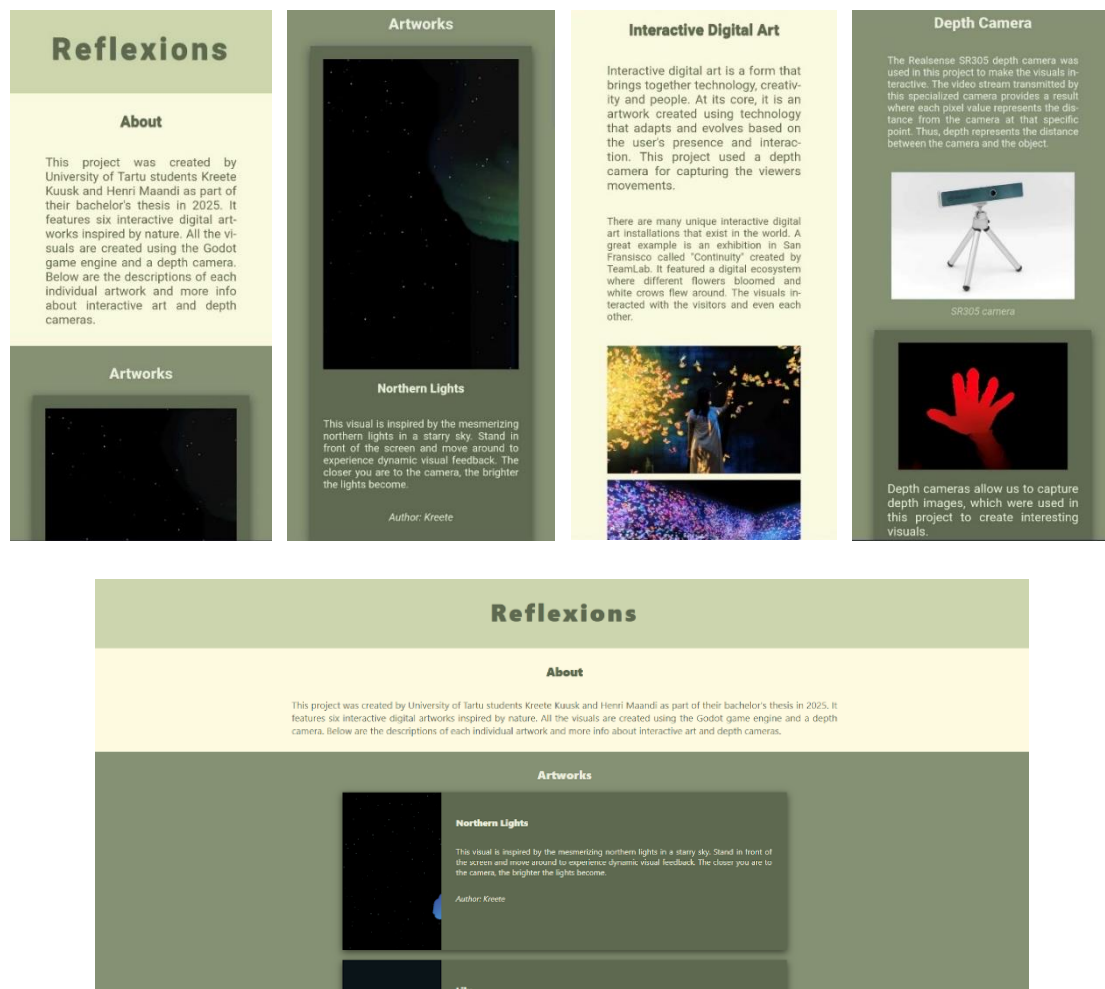


Joonis 24. Lisatud arvutiteaduse instituudi ning CGVR logod.

Sellega oli kunstiteoste esitamise disain valmis. Veel oli jäänud välja mõelda, kuidas selle projektiga seoses infot mugavalt kuvada saaks. Tänu sellele saaksid huvitatud külalised lisainfot selle projekti kohta juurde uurida.

### 3.3.2 Veebileht

Peale kõikide kunstiteoste valmimist loodi staatiline veebileht, kus näituse külastajad saaksid ülevaate kogu projektist. Universaalsuse mõttes kasutati veebilehel inglise keelt. Selle eesmärk on hoida endas infot nii praeguste kui ka potentsiaalselt tulevaste kunstiteoste kohta. Leht arendati programmeerimiskeskonnaga Visual Studio Code ning kasutati ainult HTML ning CSS faile. Joonisel 25 on näha, et veebileht loodi eelkõige telefonivaate jaoks, kuid töötab ka suurematel ekraanidel. Hiljem saab veebilehe lingi QR-koodina lisada ekraani paigutuse juures sobivasse kohta.



Joonis 25. Telefonis (üleval) ning sülearvutil (all) tehtud kuvatõmmised veebilehest.

Veebileht koosneb peamiselt kolmest osast, kus esimeses osas räägitakse iga individuaalse kunstiteose kohta, Henri Maandi teoste kirjeldused ning illustratsioonid on tema koostatud [1]. Teises osas seletatakse lahti interaktiivse digitaalse kunsti mõiste ning kolmandas osas sügavuskaamera. See võimaldab vaatajatel uurida iga teose kohta lisainfot ning tutvuda lähemalt projektiga.

## 4. Testimine ja teoste parendamine

Loodud kunstiteoseid oli vaja ka testida, et koguda infot inimeste kogemustest visuaalidega. Testimise voore oli kokku kolm ning peale esimesi testimisi parandati teoseid vastavalt saadud tagasisidele. Kaks esimest testimist toimusid konkreetsetel üritustel ning nende jaoks loodi Google Forms keskkonnas küsitlused (Lisa 2). Seal esitati iga kunstiteose kohta eraldi kaks küsimust ning küsiti viie palli süsteemis üldist hinnangut näitusele. Küsitlused sisaldasid ka kursusekaaslase kunstiteoseid, kuna neid kuvati samal ekraanil. Kolmandana viidi läbi individuaalne testimine, mis aitas hinnata „Reflexions“ kvaliteeti. Kõige lõpus viidi läbi ka jõudluse testimine selleks, et oleks võimalik kinnitada, mis on minimaalne vajalik arvuti riistvara projekti töötamiseks.

### 4.1 Arvutigraafika Expo

Juhendaja soovitusel osaleti projektiga 24. jaanuaril 2025 Delta õppehoones toimuval üritusel “Arvutigraafika Expo”<sup>9</sup>. Esimest korda oli võimalik testida kunstiteoseid teiste inimeste peal ja analüüsida nende kogemust teostega. Esimese testimise jaoks olid valminud teosed “Liilia” ning “Virmalised”.

#### 4.1.1 Üldiselt

Esimese testimise vooru tagasiside oli üldiselt positiivne. Mõned inimesed kommenteerisid näitust suuliselt, kuid Google Formsis loodud küsitlusele vastasid kokku 8 inimest. Peale selle, et hinnati igat teost eraldi oli küsitud ka vaatleja üldise kogemuse kohta.

Valminud teosed peavad olema arusaadavad võimalikult paljudele vaatajatele. Kwastek'i raamatus pööratakse tähelepanu sellele, et interaktiivse kunsti juures on oluline kunstiteoste looja kohaloleku puudumine autori rollis [7]. See tähendab seda, et valmis teose puhul peab autor justkui teesklema, et ta on näiteks tavaline vaatleja. Selle tulemusena realiseeruvad kunstiteosed päris vaatlejate läbi. Testimise käigus on asjad teisiti.

Loodud 2D teosed olid puutumata seisus üsnagi staatilised, seega esialgu ei saanud inimesed aru, et nendega üldse interakteeruda saab. Sellepärast oli mõistlik testimise faasis vaatlejatega ühineda, et tutvustada neile projekti sisu ning demonstreerida kunstiteoseid. Sellist situatsiooni kirjeldab ka Kwastek, kus projekti autorid julgustavad külastajaid teostega interakteeruma või näitavad ise ette kuidas kunsti mõjutada saab [7]. Peale lühikest seletust said vaatlejad üsna

---

<sup>9</sup> <https://cgvr.cs.ut.ee/computer-graphics-expo-2025/>

kiiresti interakteerumise põhimõtted selgeks ja said kunstidest juba meelelahutust. Joonisel 26 on näha projekti seadistust esimesel testimisel.

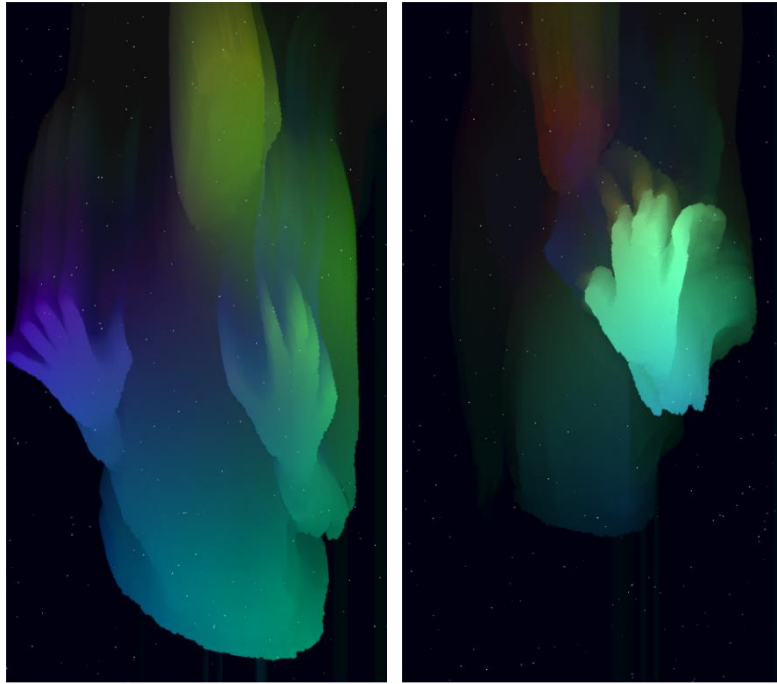


Joonis 26. Arvutigraafika expo, autor: Olevus Art.

Testimise ning tagasiside analüüsimise käigus selgusid mitmed probleemid. Üheks probleemiks oli see, et peale mingit aega jooksis terve programm kunstiteoste vahetuse hetkel kokku. Probleemi uuriti koos kaasarendajaga ning selle mure lahendamiseks tuli teha lühike parandus [1]. Koodis, mis kontrollis stseenide vahetust, loodi iga teose stseeni puhul uus kaamera objekt sügavuspildi massiivi saamiseks. Parandatud variandis loodi kaamera objekt ülemstseenis ning tänu sellele oli võimalik alamstseenis juba loodud kaamerale ligi pääseda. See muudatus parandas projekti ootamatu sulgemise jooksmise ajal ning muutis visuaalide vahetamist kiiremaks kui varasemalt.

#### **4.1.2 Virmalised parandused**

Testimise käigus pakuti suuliselt välja, et virmaliste juurde võiks lisada tähed. See oli hea idee, kuna sellel juhul on kunstiteosel kuvatud midagi isegi siis, kui kaamera lähedal pole liikumist. Joonisel 27 on näha „Virmalised“ teos koos lisatud tähtedega. Algselt kaaluti tähtede loomiseks kasutada varjutajat, kuid siiski otsustati teise meetodi kasuks.



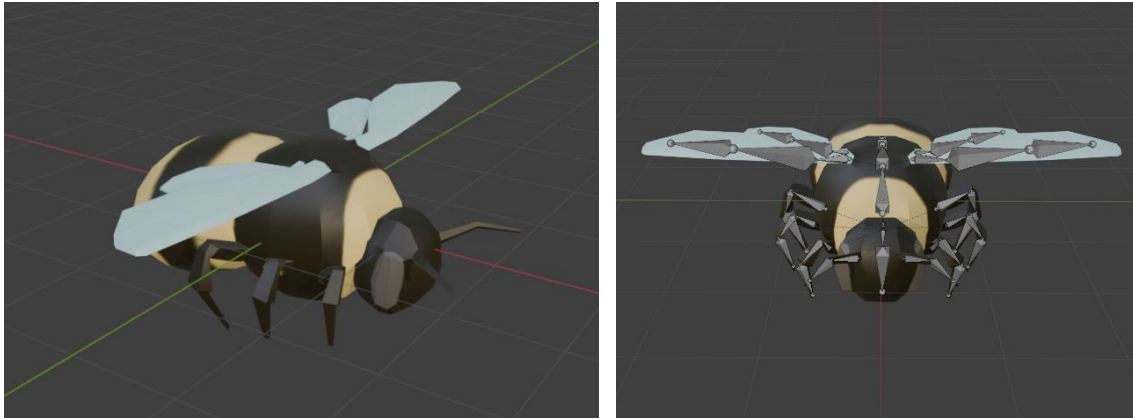
Joonis 27. „Virmalised“ teos tähtedega.

Tähed teose „Virmalised“ jaoks loodi Godot’s sisseehitatud osakeste süsteemiga. See võimaldas teatud pindalal kuvada valgeid täpikesi, mis liiguvad erineva kiirusega ühes suunas. Antud valged osakesed sarnanesid selges taevas olevatele tähtedele ning muutsid teose veelgi huvitavamaks ja realistlikumaks.

#### 4.1.3 Liilia parandused

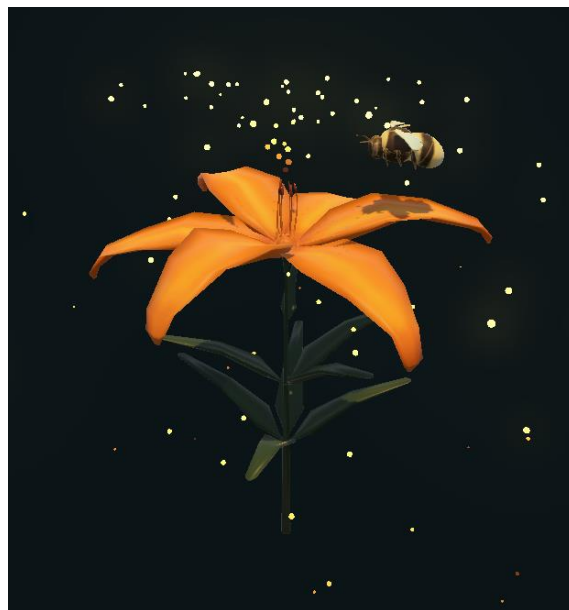
Mõned inimesed märkisid tagasisides, et liilia oli liiga vähe interaktiivne. Sellel hetkel oli implementeeritud vaid õie sulgemine ning avamine. Kirjalikust tagasisidest võeti idee lisada teosesse mesilane, kes ilmub vaatesse lille avamisel.

Mesilase mudel loodi, värviti ning animeeriti Blenderis, lõplikku tulemust on näha joonisel 28. Idee seisnes selles, et mesilane liikus keskkonnas  $xy$ -tasandil selle punkti poole, mis oli sügavuskaamerale kõige lähemal. See tähendab seda, et mesilast oli võimalik enda käega juhtida. Liikumisele lisati  $y$ -telje suhtes kontroll, et lähim punkt ei asetseks madalamal kui lill – vastasel juhul liikus mudel ebarealistlikult läbi liilia õite. Mesilasele tehti ka skelett, mille abil loodi lendamise animatsiooni. Godot’s pandi animatsioon mängima lõputult (*looping*), et toimuks pidev liikumine. Veel lisati kood, mis kontrollis putuka ümber pööramist. See sõltus mudeli hetke asukohast võrreldes eelmise kaadriga – kui mesilase uus asukoht paiknes eelmisest paremal pool, siis nägu pidi samuti vaatama samasse suunda. Teisele poole liikudes rakendati antud loogikat vastupidi.



Joonis 28. Mesilase mudel Blenderis, paremal pildil kuvatud ka skelett.

Veel tuli idee lisada keskkonda lendlev õietolm, mida mesilane saab koguda. Selleks lisati Godot osakeste süsteemiga õietolmulaadsed pallikesed lillest välja purskama siis, kui lill avaneb. Mesilase mudeli külge pandi osakeste magnet (*particle attractor*), mis tõmbas pallikesi enda poole. Nii sai mesilane, inimese juhtimisel, justkui koguda õietolmu. Joonisel 29 on näha „Liilia“ teost peale seda, kui kõik suuremad parandused said tehtud.



Joonis 29. Liilia kunstiteos pärast parandusi.

Veel tulid liilia puhul tagasisidest välja mõned väiksemad vead mudelis ning animatsioonides. Liilia sulgemisel ning avamisel tekkis mudelis mõnda kohta väike auk õie halvast paigutusest ja nurgast. Varre animatsioon jäi ühes kohas „lonkama”, kuna kahe animatsiooni algus ja lõpp ei ühtinud. Need vead said üle vaadatud ning parandatud Blenderis.

## 4.2 Vilistlaste päev

Veel osaleti projektiga 15. märtsil 2025 Delta õppehoones toimunud TÜ matemaatika, statistika ja IT erialade vilistlaspäeval<sup>10</sup>. Ürituse käigus oli antud projekt osa näitusest "Kunst ja teadus". Selleks korraks oli valmis saanud ka "Meduus" ning sai testida kõiki planeeritud teoseid korraga.

### 4.2.1 Üldiselt

Üldine tagasiside oli taaskord pigem positiivne, kuid testimine selle ürituse käigus polnud sama edukas kui eelmine mitmel põhjusel. Seekord oli projekt üles seatud koridoris, horisontaalse kaameraga ning uue arvutiga, seadistust on näha joonisel 30. Horisontaalse kaamera idee seinses selles, et vaatajatel oleks laiem ruum liikumiseks, kuid peale testimist otsustasime kaasarendajaga siiski vertikaalse paigutuse kasuks – sügavusvoog klapib sellel juhul paremini ekraanil toimuvaga [1].



Joonis 30. Vilistlaste päeval testimine.

Antud testimisel oli kasutusel juhendaja arvuti, mis kasutas operatsioonisüsteemi Linux. Projekti üleminek uuele operatsioonisüsteemile põhjustas palju probleeme. Kuna teoste arendus toimus muidu operatsioonisüsteemiga Windows, siis nüüd tuli teha sügavuskaamera klassile vastavaid muudatusi, et see töötaks ka selle testimise käigus kasutatava arvuti peal. Vajalikud parandused kaamera klassis tegi kaasarendaja [1].

---

<sup>10</sup> <https://math.ut.ee/et/Vilistlaspaev2025>

Uute muudatustega seoses tekkis sügavusvoo edastamisega mitu viga. Esiteks, kui varasemalt luges kaamera sügavusinfot korrektselt, siis nüüd oli sügavuspildi massiiv probleemne. Pildi viimane rida oli täitunud lähima punkti väärtusega ehk alumises ääres oli virmaliste teose puhul pidevalt virmaliste efekt näha, kuigi tegelikult kaamera väljas seal midagi lähedal polnud. Teiseks murekohaks osutus sügavuskaamera võime kaugust korrektselt tuvastada. Infot loeti valesti peaaegu kõige kaugemast punktist – seal kus sügavuse väärtus oleks pidanud olema madal oli hoopiski kõrge. Sellest tulenevalt töötas virmaliste teos korrektselt ainult teatud kauguseni – kaamerast kaugemale liikudes oli visuaal korrektne, kuid täpselt enne maksimaalse piirini jõudmist muutus efekt seal kohas kõige intensiivsemaks. Kahjuks probleemid mõjutasid ka kolmemõõtmelisi teoseid.

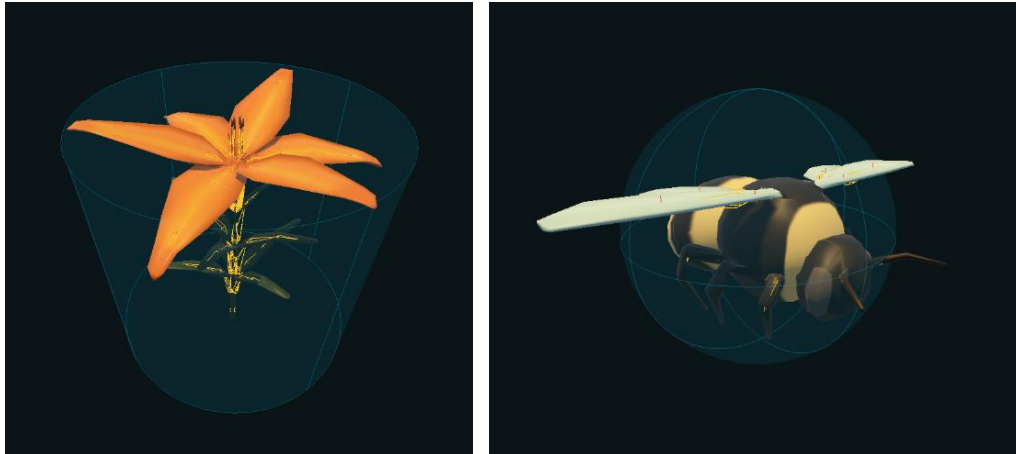
Liilia ning meduusi puhul oli kasutatud sama loogikat, mis koodi muutuste tõttu ei töötanud. Mesilast ja mulle liigutati punkti, kus oli kõige suurem sügavus ehk katkisel versioonil oli see pidevalt kas pildi alumises pooles või inimese keha, mitte käe juures. Sellest tulenevalt ei saanud käega neid juhtida nii, nagu esialgu planeeritud oli. Antud probleem sai lahendatud alles peale testimist kaasarendaja poolt ning peale seda töötasid teosed ootuspäraselt [1].

#### **4.2.2 Valmis Virmalised**

Virmaliste teose puhul oli vaja teha veel mõned väiksemad muudatused. Visuaali mõõtmed oli vaja Godot keskkonnas saada korrektses. Selleks tuli muuta tekstuuri laiust ja kõrgust, et need kattuks kasutatava ekraani mõõtmetega. Kuna tähtede osakeste teke olid seadistatud väikese ekraani järgi, oli vaja nende ilmumise pindala reguleerida. Viimane ülesanne oli virmaliste efekti erinevate parameetrite, nagu hajuvus ja kiirus, muutmine, et tulemus oleks kõige parem.

#### **4.2.3 Valmis Liilia**

Peamiselt oli vaja teha parandusi mesilase liikumise suhtes, kuna sellel hetkel ei saanud lille kõrval liikuda. Selle lahendamiseks oli vaja nii mesilane kui lill teha füüsikalisteks objektideks ehk kasutada *RigidBody3D* sõlme. See nõuab, et kehale määrataks ka mingi nähtamatu kolmemõõtmeline kujund, mis kataks kogu mudeli – selleks on kokkupõrke kuju ehk *CollisionShape3D*. Antud sõlm võimaldab erinevatel objektidel füüsikal põhinevalt mõjutada üksteist – üks kokkupõrke kuju ei saa teisest läbi minna. Joonisel 31 on näha, et lillele lisati selleks kujundiks silinder ning mesilasele kera. Peale antud sõlmede lisamist viidi mesilase lendlemine üle füüsikapõhisele liikumisele ehk mudelile rakendati liikumiseks kiirust. Tänu muudatustele sai mesilane vabalt ümber lille liikuda.

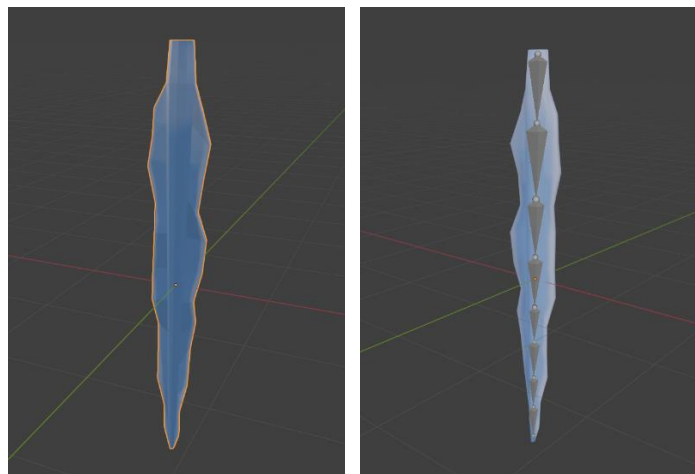


Joonis 31. Liilia ning mesilase kokkupõrke kujud.

Parema kogemuse saavutamiseks uuendati mesilase liikumise võimalusi. Varasemalt lendles mesilane ainult x- ning y-teljel, kuid nüüd lisati ka liikumine z-teljel. Selles suunas hõljumist mõjutas kaamera lähima punkti sügavuse väärtus. Suurema väärtuse korral lendas mesilane virtuaalsele kaamerale lähemale ning väiksema korral kaugemale. Lisaks aeglustati putuka ekraanile ilmumise kiirust. Nende parandustega oli teos „Liilia“ selleks hetkeks valmis.

#### 4.2.4 Valmis Meduus

„Meduus“ teoses oli vaja teha veel mitmeid parandusi, kuna visuaali oli sellel hetkel kõige vähem arendatud võrreldes teistega. Esmalt oli vaja parandada meduusi üldist välimust – kogu mudelile kinnitati Godot keskkonnas materjal, mis helendas ning oli veidi läbipaistev. Veel muudeti meduusi kombitsaid kitsamaks ning lisati kummiku suhtes keskele suusagarad, selle mudelit on näha joonisel 32. Uus välimus tegi meduusi ilusamaks ning realistlikumaks.



Joonis 32. Meduusi üks suusagar, paremal ka skelett.

Teiseks probleemiks oli kombitsate liikumine, mis oli küll füüsikal põhinev, kuid ei meenutanud veel piisavalt vee all hõljumist. Loomulikumaks liikumiseks rakendati kombitsatele ja suusagaratele tugevamat gravitatsiooni ning suurendati sellist väärtust nagu summutamine ehk *damping*. Selle tulemusena need enam ei kõikunud ühelt poolelt teisele suuna muutmisel, vaid jäid samasse asendisse. Meduusi uusi kombitsaind ning suusagaraid on näha joonisel 33.



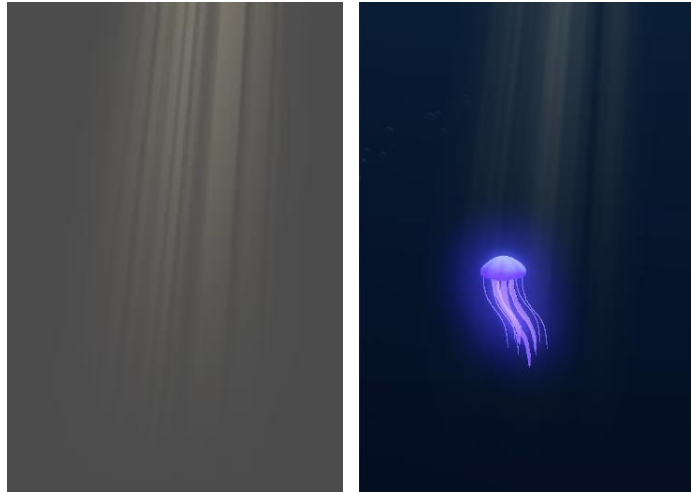
Joonis 33. Meduusi uus välimus.

Meduusile lisati ka ooteseisund, juhul kui kaamera ees ei ole aktiivset liikumist. Kui mõnda aega pole inimeste interaktsiooni esinenud, siis mullid kaovad ja meduus hakkab keset ekraani aeglaselt ringe tehes ujuma. Sellega oli kunstiteos ka interaktsiooni ootamise ajal huvitav vaadata.

Viimasena lisati visuaalile veepinnast läbi tungivad dünaamilised päikesekiired. See saavutati internetist leitud vaba kasutusega Godot keeles kirjutatud varjutaja<sup>11</sup>, millel oli võimalik muuta erinevaid parameetreid. Joonisel 34 on näha, kuidas efekt laotati üle terve ekraani ning tulemuseks oli realistlikum veealune stseen koos meduusi ja mullidega.

---

<sup>11</sup> <https://godotshaders.com/shader/god-rays/>



Joonis 34. Vasakul päikesekiirte varjutaja eraldi ja paremal visuaali lisatuna.

Nende parendustega olid kõik teosed valmis. Iga visuaali puhul sai tehtud erinevaid uuendusi ning viimistlusi. See tähendas, et oli aeg kõige viimaseks testimiseks, kus tuli hinnata näituse “Reflexions” adekvaatsust asendada olemasolevat väljapanekut “Magic Mirror”.

### 4.3 Individuaalne testimine

“Reflexions” projekti kvaliteedi hindamiseks viidi läbi individuaalselt inimestega testimine. Peamiselt oli küsimuste rõhk näituste “Reflexions” ning “Magic Mirror” võrdlemisel. See testimine andis vastuse küsimusele, kas uus väljapanek on parem kui olemasolev “Magic Mirror”.

Testmise ühtlaseks läbiviimiseks koostati testimise protokoll. See nägi välja järgmine:

- Testijale näituse “Magic Mirror” demonstreerimine;
- Testijale näituses “Reflexions” iga teose demonstreerimine;
- Peale mõlema näituse demonstreerimist esitatakse küsimused:
  - Kumb kogemus oli meeldivam?
  - Mis meeldis “Reflexions” näituse juures?
  - Mis oli konkreetselt näituse “Reflexions” puhul parem võrreldes väljapanekuga “Magic Mirror”?

Testimine korraldati individuaalselt ja küsimuste esitamine viidi läbi suuliselt intervjuu vormis. Mõlema väljapaneku juures võis testija olla ajaliselt senikaua kui ise soovis. Viimasel testimisel osales kokku kuus inimest, kellest antud töö autor intervjuueeris kolme ning

kaasarendaja ülejäänud kolme. Joonisel 35 on näha ühte testijat, kes antud lõputöö käigus näitust hindas.



Joonis 35. Üks testijatest näituse “Reflexions” juures.

“Reflexions” kvaliteedi hindamiseks analüüsi testijate vastuseid. Esimese küsimuse puhul tuli välja, et kõik inimesed tundsid meeldivamat kogemust väljapanekuga “Reflexions” kui näitusega “Magic Mirror”. Teise küsimuse vastuseks anti kõige rohkem, et meeldis interaktiivsuse lahendus. Kaks inimest nautisid veel seda, et kõik teosed on erinevad – üks neist mainis, et mõndadel visuaalidel on küll sarnaseid elemente, kuid on ikkagi olemuselt piisavalt erinevad. Lisaks öeldi, et meeldisid looduse teema, kasutatud värvid ning visuaalide dünaamilisus. Üleüldiselt oli näitusel “Reflexions” testijate jaoks palju meeldivaid aspekte.

Kolmanda küsimuse esitamisel ehk näituste võrdlusel toodi välja mitmeid mõtteid. Kaks testijat ütlesid, et “Magic Mirror” näitusest tüdineb kiiremini ära, kuna sealsed filtrid on omavahel sarnased. Samad inimesed ütlesid, et Reflexions tundus interaktiivsem. Kiideti ka seda, et näituse “Reflexions” teoste puhul toimub ekraanil ka midagi siis, kui liikumist pole. Üks inimene märkis, et parem oli see, et teoseid sai, peale automaatse teoste vahetuse, ka ise klaviatuuri abil vahetada. Seega oli näitusel “Reflexions” mitmeid häid külgi, mis puudusid väljapanekul “Magic Mirror”.

Parema kasutajakogemuse saavutamiseks tehti veel viimased muudatused. Inimestel oli kohati raskusi lille ja meduusi teose puhul mesilase ning mullide liigutamiseiga. Seega muudeti nende liikumist kiiremaks, et teosed oleks rohkem vaataja liikumistega vastavuses.

## 4.4 Jõudluse testimine

Viimasena uuriti loodud programmi jõudlust kahel erineval arvutil. Selleks kasutati Godot pistikprogrammi Debug Menu<sup>12</sup>, mis kuvas programmi jooksumise ajal kaadrite töötlemise kohta kasulikke andmeid. Mõlema arvuti puhul jooksumati igat visuaali umbes minut aega ning siis salvestati tulemused.

Üheks testitavaks masinaks oli võimekas lauaarvuti, mille protsessor oli **Intel Core i7-9700** ning graafikakaart **NVIDIA GeForce RTX 4060**. Selle testimise tulemusi on näha tabelis 1, kus numbrid näitavad iga teose puhul ühe kaadri töötlemise jaoks kulunud aega millisekundites. CPU ehk *central processing unit* on arvuti protsessor ning GPU ehk *graphics processing unit* on arvuti graafikaprotsessor. Sellelt tabelilt on näha, et antud arvuti peal oli iga teose puhul kaadrite keskmine töötusaeg kiire. Keskmine kaadrisagedus (*frames per second* ehk FPS) “Liilia” ning “Meduus” teoste puhul oli natuke üle 200 FPS ning “Virmalised” puhul 432 FPS, see arvutati valemiga  $kaadrisagedus = 1000 / kokku\ kulunud\ aeg$ , ühes sekundis on 1000 millisekundit. Kuna inimeste silmade jaoks on 30–60 FPS sujuv<sup>13</sup>, siis on saadud tulemused sellega võrreldes oluliselt paremad – suurem kaadrisagedus tähendab, et vaatajal on mugav visuaali vaadata. Teosed töötasid antud arvutil hästi, kuna selle riistvara oli rakenduse jaoks piisavalt võimekas.

Tabel 1. Lauaarvutil läbi viidud testimise tulemused.

	Keskmine (ms)			Parim (ms)			Halvim (ms)		
	Kokku kulunud aeg	CPU	GPU	Kokku kulunud aeg	CPU	GPU	Kokku kulunud aeg	CPU	GPU
Liilia	4.56	0.25	2	4	0.21	1.95	5.77	0.34	2.48
Virmalised	2.31	0.15	0.16	1.6	0.1	0.15	5.64	0.42	0.72
Meduus	4.83	0.32	3.05	4.08	0.27	2.98	6.03	0.46	3.66

Protsessor: Intel Core i7-9700 @ 3.00 GHz

Graafikakaart: NVIDIA GeForce RTX 4060

Teine jõudluse test viidi läbi vähem võimekama sülearvuti peal, mille protsessor oli **11th Gen Intel Core i5-1135G7** ning integreeritud graafikakaart **Intel Iris Xe Graphics**. Selle testimise tulemusi on näha tabelis 2. Tabelilt on näha, et võrreldes eelmise arvutiga kulutatakse oluliselt rohkem aega graafiliste elementide töötlemisel. Selle arvuti puhul jäi keskmine kaadrisagedus

<sup>12</sup> <https://godotengine.org/asset-library/asset/1903>

<sup>13</sup> <https://sksmemorialeye.com/blogs/item/26>

teoste “Meduus” ja “Liilia” puhul 20 FPS ja 30 FPS vahele. Sellisel juhul on visuaali tõkkamine juba silmaga märgatav. “Virmalised” teose puhul oli keskmine kaadrisagedus natuke suurem kui 30 FPS, kuid siiski pigem vähe. Seega polnud antud sülearvuti piisavalt hea kunstiteoste näitamiseks.

Tabel 2. Sülearvutil läbi viidud testimise tulemused.

	Keskmine (ms)			Parim (ms)			Halvim (ms)		
	Kokku kulunud aeg	CPU	GPU	Kokku kulunud aeg	CPU	GPU	Kokku kulunud aeg	CPU	GPU
Liilia	34.86	1.29	29.76	25.88	0.44	23.55	46.08	3.21	40.23
Virmalised	30.91	0.44	2.62	18.35	0.22	1.86	43.63	1.13	8.88
Meduus	45.66	1.33	39.35	36.91	0.57	34.17	56.06	3.14	47.91

Protsessor: 11th Gen Intel Core i5-1135G7 @ 2.40 GHz  
 Graafikakaart: Intel Iris Xe Graphics

Jõudluse testimise tulemusena saab anda hinnangu, mis oleks miinimum riistvara näituse kuvamiseks. Kuna mõlema seadme peal oli halvimal juhul arvuti protsessori tööaeg pigem väike, siis on piisav selle sülearvuti protsessor ehk vähemalt **11th Gen Intel Core i5-1135G7**. Graafika kaardi puhul oleks vaja võimsamat lahendust. Kokkuvõttes oli meduusi teos kõige suurema graafika nõudlusega – halvimal juhul läks graafikakaardil ühe kaadri töötlemiseks aega 47.91 millisekundit ehk kaadrisagedus oli siis 20 FPS. Parima kogemuse pakkumiseks oleks vaja, et kaadrisagedus oleks vähemalt 60 FPS. Seega oleks vaja kolm korda võimekamat graafika kaarti kui sellel sülearvutil on. **Intel Iris Xe Graphics** hinnang on veebilehe PassMark Software<sup>14</sup> järgi 2661, siis tuleks otsida graafika kaarti, mille hinnang on  $2661 \times 3 = 7983$  (eeldades hinnangu lineaarsust) ehk umbes 8000. Samalt lehelt otsides on võimalik leida **GeForce GTX 780**, mille hinnang on 7994. Seega võiks antud graafikakaart olla piisav, et kõik teosed saaksid töötada 60 FPS.

<sup>14</sup> [https://www.videocardbenchmark.net/gpu\\_list.php](https://www.videocardbenchmark.net/gpu_list.php)

## 5. Tulemused

Selles peatükis analüüsitakse lõputöö käigus saavutatud tulemusi. Enne praktilist osa seati tööle mitmed eesmärgid. Nüüd on võimalik hinnata, kas lõputöö alguses kirjeldatud nõuded said täidetud.

Lõputöö üheks eesmärgiks oli uurida, kuidas saab kasutada sügavuskaameraga saadud infot kunstiteostes interaktiivsuse saavutamiseks. Selles töös rakendati kahte lahendust – esiteks kasutati ühe teose puhul moonutatud sügavuspilti ning teiseks kasutati kahe teose puhul sügavuspildi lähimat punkti. Need meetodid osutusid sobivaks soovitud kunstiteoste puhul interaktiivsuse saavutamiseks.

Teiseks eesmärgiks oli luua kunstiteosed, mis oleks piisavalt head, et asendada olemasolevat väljapanekut “Magic Mirror”. Peale viimase testimise läbiviimist oli võimalik hinnata loodud näituse “Reflexions” kvaliteeti. Individuaalse testimise käigus selgus, et testijatele väga meeldis uus väljapanek ning nad tunnevad sellest rohkem naudingut kui näitusest “Magic Mirror”.

Kliendi intervjuu käigus selgunud nõuete rahuldamiseks täideti kõik tingimused. Näituse “Magic Mirror“ asenduseks loodi uus interaktiivne digitaalne kunstinäitus, mida kuvatakse suurel liigutataval ekraanil – tänu sellele saab väljapanekut mugavalt ümber paigutada. Kunstiteoseid näidati testimise käigus kahel üritusel, kus esimesel olid enamus tudengid ning teisel Tartu Ülikooli vilistlased – kuna üldine tagasiside oli positiivne, siis sobib projekt igas vanuses külalistele. Teoste vahetuse intervall on minut aega, kuid visuaalse saab vahetada ka manuaalselt nuppude abil. Visuaalide peal kuvatakse alati Tartu Ülikooli arvutiteaduse instituudi logo. Lisaks kaasneb projektiga dokumentatsioon, mille koostas Henri Maandi [1]. Dokumentatsioonis on olemas juhend projekti paigaldamiseks ning näidis-stseen uute teoste loomiseks. Viimases etapis tutvustati näitust ka projekti klientidele ning nemad kiitsid selle heaks. Seega on uus väljapanek võimeline asendama näitust “Magic Mirror”.

Kõige viimasena viidi läbi ka jõudluse testimine. Programmi käivitati kahe erineva arvuti peal ning mõõtmiste tulemusena oli võimalik hinnanguliselt paika panna projekti jaoks minimaalne vajalik riistvara. Programmi sujuvaks töötamiseks oleks vaja vähemalt sama võimsusega arvuti protsessorit **11th Gen Intel Core i5-1135G7** ning graafikakaarti **GeForce GTX 780**.

## 6. Kokkuvõte

Uue näituse loomiseks oli vaja uurida interaktiivse digitaalse kunsti olemust ning koguda inspiratsiooni. Erinevate materjalide analüüsimise käigus selgus, et digitaalne interaktiivne kunst on tehnoloogia abil loodud kunstiteos, mis moonutab ennast vastavalt selle kasutajatele. Peale selle, et uue väljapaneku üks eesmärkidest oli näituse “Magic Mirror” asendamine, oli terve töö vältel põhiliseks inspiratsiooniks teamLab’i loodud interaktiivne kunstinäitus [3]. Veel viidi läbi intervjuu arvutiteaduse instituudi turundus- ja kommunikatsiooni juhiga. Vestluse käigus said selgemaks uue näituse tulevased kasutused ning mõned tähtsamad asjad, mida arendamisel tuleks silmas pidada.

Näituse jaoks valmisid selle töö käigus kolm looduse teemalist visuaali. Kuna projekt valmis koostöös teise kursusekaaslasega [1], siis lõpus oli kahe peale teoseid kokku kuus. Esialgu loodi kaks teost nimega “Virmalised” ning “Liilia”, peale esimest testimist valmis ka viimane teos “Meduus”. Esimene teos oli kahemõõtmeline visuaal ning ülejäänud kolmemõõtmelised. Teoste loomise ajal tuli põhiliselt uurida, kuidas ekraani kõrval asuvat sügavuskaamerat sai kasutada teoste interaktiivseks muutmiseks. Teose “Virmalised” lahendus koosnes sügavuspildi moonutamisest ning “Meduus” ja “Liilia” teoste puhul kasutati sügavuspildilt lähimat punkti.

Interaktiivsete digitaalsete kunstiteoste parendamiseks viidi läbi kolm testimise vooru. Esimene viidi läbi Arvutigraafika Expo ürituse käigus ning teine Tartu Ülikooli Vilistlaste Päeval. Mõlema testimise käigus koguti tagasisidet ning vastavalt soovitudele parandati teoseid. Viimane testimine toimus individuaalselt kuue inimesega ning selle tulemusena saadi teada, et testijatele meeldis “Reflexions” rohkem kui “Magic Mirror”. Veel sai uus näitus positiivset tagasisidet ka projekti klientidelt. Seega oli väljapanek “Reflexions” piisavalt hea, et asendada vanemat väljapanekut “Magic Mirror”.

Tulevikus saaks tööd parendada mitmes aspektis. Hea oleks disainida näitusele kena välimus ekraani raami kujul. Kunstiteoseid võiks optimeerida, et näitus töötaks ka vähem võimekama arvuti peal. Oleks võimalik moonutada sügavuspilti, et see oleks rohkem vastavuses vaataja kehaga, nagu peegel. Veel oleks huvitav lisada teostele helid. Nende muudatustega oleks väljapanek veelgi parem kui hetkel.

## Viited

- [1] H. Maandi, „Reflexions - Using a Depth Camera to Create Interactive Generative Art“. Tartu Ülikool, Arvutiteaduse Instituut, 2025.
- [2] C. Paul, „Introduction“, *A Companion to Digital Art*, John Wiley & Sons, Ltd, 2016, lk 1–19. doi: 10.1002/9781118475249.ch0.
- [3] E. Lawhead, „Continuity: Sharing Space in teamLab’s Digital Ecosystems“, *Arts*, kd 12, nr 2, Art. nr 2, apr 2023, doi: 10.3390/arts12020074.
- [4] K. Jackson, „Where Qualitative Researchers and Technologies Meet: Lessons From Interactive Digital Art“, *Qualitative Inquiry*, kd 23, nr 10, lk 818–826, dets 2017, doi: 10.1177/1077800417731086.
- [5] „Intel RealSense SR30x Datasheet“, Intel® RealSense™ Developer Documentation. Vaadatud: 2. detsember 2024. <https://dev.intelrealsense.com/docs/intel-realsense-sr300-datasheet>
- [6] M. Schmeing ja X. Jiang, „Depth Image Based Rendering“, *Pattern Recognition, Machine Intelligence and Biometrics*, P. S. P. Wang, Toim, Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, lk 279–310. doi: 10.1007/978-3-642-22407-2\_12.
- [7] K. Kwastek, *Aesthetics of Interaction in Digital Art*. The MIT Press, 2013. doi: 10.7551/mitpress/9592.001.0001.

## Lisad

### Lisa 1. Sõnastik

#### Blender mõisted

**Skelett** (ingl *armature*) – virtuaalsed luud, mis võimaldavad mudelit poseerida<sup>15</sup>.

**UV-laotus** (ingl *UV-map*) – 3D mudeli kujutamine kahemõõtmelisel tasapinnal, et hiljem oleks võimalik mudelile tekstuure lisada<sup>16</sup>.

#### Godot mõisted<sup>17 18 19</sup>

**Varjutaja** (ingl *shader*) – koodijupp, mis arvutab iga piksli puhul selle lõpliku värvi<sup>20</sup>.

**UV** – Godot's sisseehitatud muutuja, mis hoiab endas hetkel töödeldava piksli koordinaate (väärtused vahemikus [0, 1])<sup>21</sup>.

**Stseen** (ingl *scene*) – mäng ehitatakse üles stseenide abil, need sisaldavad endas erinevaid sõlmesid või teisi stseene.

**Sõlm** (ingl *node*) – stseenide all olevad “plokid”, mis on erinevad mängu objektid. Sõlmeks võib olla näiteks kaamera, helimängija või pildi kuvaja (jpt).

**Skript** (ingl *script*) – sõlmedele kinnituvad koodifailid, mis võimaldavad sõlmele lisada veel erinevaid käitumisi.

**Osakeste süsteem** (ingl *particle system*) – sõlm, mis võimaldab lisada veel efekte erinevate osakeste abil. Saab kasutada nii kahemõõtmelises kui ka kolmemõõtmelises stseenis.

---

<sup>15</sup>[https://archive.blender.org/wiki/2015/index.php/Doc:ET/2.6/Manual/Rigging/Armatures/#Skeletid\\_.28Armatu res.29](https://archive.blender.org/wiki/2015/index.php/Doc:ET/2.6/Manual/Rigging/Armatures/#Skeletid_.28Armatu res.29)

<sup>16</sup><https://3dcoat.com/et/articles/article/what-is-uv-mapping/>

<sup>17</sup>[https://docs.godotengine.org/en/stable/getting\\_started/step\\_by\\_step/nodes\\_and\\_scenes.html](https://docs.godotengine.org/en/stable/getting_started/step_by_step/nodes_and_scenes.html)

<sup>18</sup>[https://docs.godotengine.org/en/stable/getting\\_started/step\\_by\\_step/scripting\\_languages.html](https://docs.godotengine.org/en/stable/getting_started/step_by_step/scripting_languages.html)

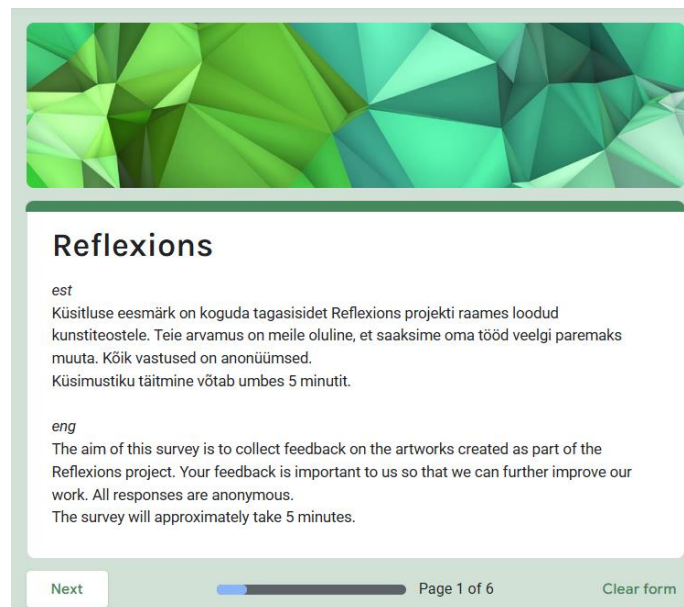
<sup>19</sup><https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/3d/particles/index.html>

<sup>20</sup><https://thebookofshaders.com/01/>

<sup>21</sup><https://gdsript.com/solutions/shaders-in-godot/>

## Lisa 2. Küsitlus

Esimesel testimisel olid küsimused virmaliste, liilia, suitsu ning vee simulatsiooni kohta.

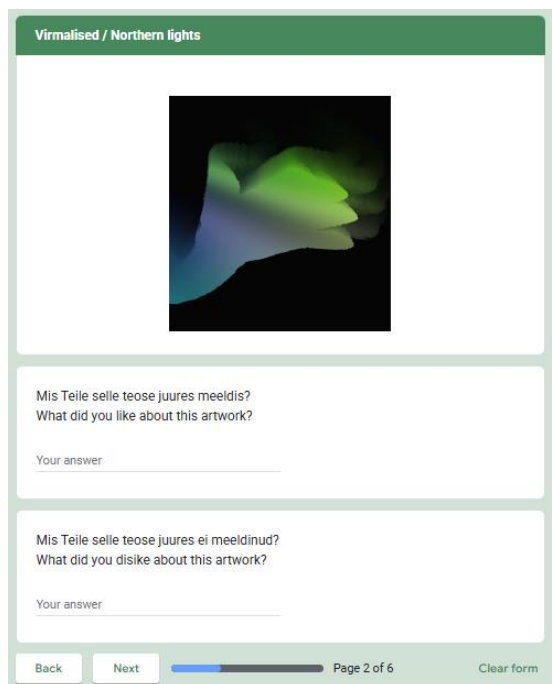


**Reflexions**

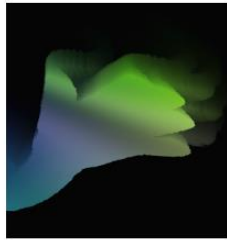
*est*  
Küsitluse eesmärk on koguda tagasisidet Reflexions projekti raames loodud kunstiteostele. Teie arvamus on meile oluline, et saaksime oma tööd veelgi paremaks muuta. Kõik vastused on anonüümsed.  
Küsimustiku täitmine võtab umbes 5 minutit.

*eng*  
The aim of this survey is to collect feedback on the artworks created as part of the Reflexions project. Your feedback is important to us so that we can further improve our work. All responses are anonymous.  
The survey will approximately take 5 minutes.

Next  Page 1 of 6 Clear form



**Virmalised / Northern lights**



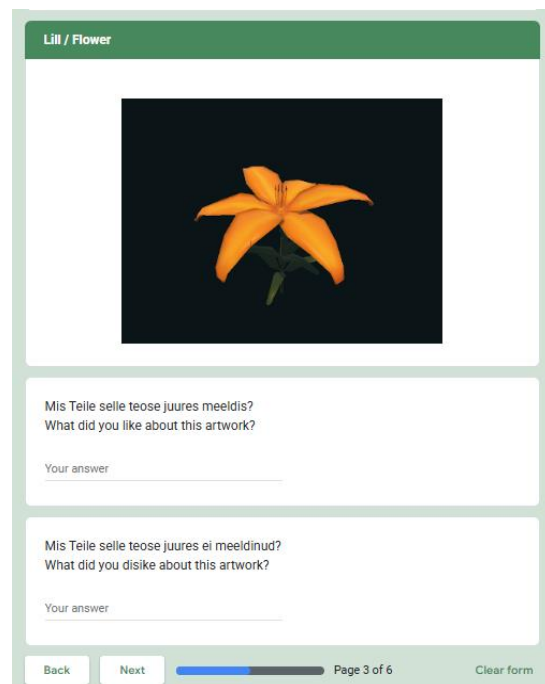
Mis Teile selle teose juures meeldis?  
What did you like about this artwork?

Your answer


Mis Teile selle teose juures ei meeldinud?  
What did you dislike about this artwork?

Your answer

Back Next  Page 2 of 6 Clear form



**Lill / Flower**



Mis Teile selle teose juures meeldis?  
What did you like about this artwork?

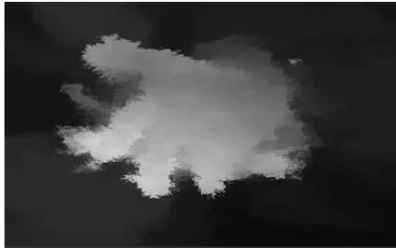
Your answer

Mis Teile selle teose juures ei meeldinud?  
What did you dislike about this artwork?

Your answer

Back Next  Page 3 of 6 Clear form

Suits / Smoke



Mis Teile selle teose juures meeldis?  
What did you like about this artwork?

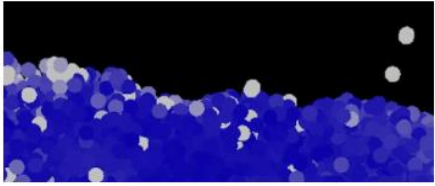
Your answer \_\_\_\_\_

Mis Teile selle teose juures ei meeldinud?  
What did you dislike about this artwork?

Your answer \_\_\_\_\_

Back Next  Page 4 of 6 Clear form

Vee simulatsioon / Water simulation



Mis Teile selle teose juures meeldis?  
What did you like about this artwork?

Your answer \_\_\_\_\_

Mis Teile selle teose juures ei meeldinud?  
What did you dislike about this artwork?

Your answer \_\_\_\_\_

Back Next  Page 5 of 6 Clear form

Lõpetuseks.. / Lastly..

Kogemus kokkuvõttes. \*  
Overall experience.

1 2 3 4 5

♡ ♡ ♡ ♡ ♡

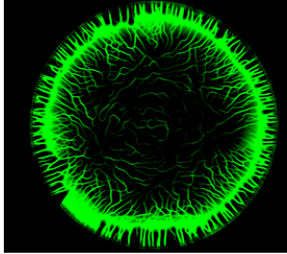
Soovi korral saab siia projekti kohta kommentaare jätta.  
You can leave any additional comments about the project here.

Your answer \_\_\_\_\_

Back Submit  Page 6 of 6 Clear form

Teisel testimisel oli küsitlus sama, kuid lisandusid küsimused meduusi ning lima kohta.

**Lima simulatsioon / Slime simulation**



Mis Teile selle teose juures meeldis?  
What did you like about this artwork?


Your answer \_\_\_\_\_

Mis Teile selle teose juures ei meeldinud?  
What did you dislike about this artwork?

Your answer \_\_\_\_\_

Back Next  Page 6 of 8 Clear form

**Meduus / Jellyfish**



Mis Teile selle teose juures meeldis?  
What did you like about this artwork?

Your answer \_\_\_\_\_

Mis Teile selle teose juures ei meeldinud?  
What did you dislike about this artwork?

Your answer \_\_\_\_\_

Back Next  Page 7 of 8 Clear form

### Lisa 3. Kaasnevad failid

Siin on lahti seletatud lõputööle lisatud failid:

- *build/* – siin kaustas asuvad vajalikud failid programmi käivitamiseks.
- *build/Reflexions.exe* – selle faili käivitamisel avaneb näituse programm. NB! Arvutiga peab olema ühendatud SR305 kaamera ning alla laetud Intel® RealSense™ SDK 2.0. Projekt on mõeldud käivitamiseks 4K vertikaalse ekraani peal.
- *kood/* – siin kaustas asuvad näituse ning veebilehe ZIP-failid.
- *kood/reflexions.zip/deltatvartexhibit-main/README.md* – siin asub juhend Godot's projekti käivitamiseks.
- *ReflexionsDemo.mp4* – see on video, mis näitab kõiki näituse kunstiteoseid.
- *ReflexionsTagasiside.pdf* – siin on vormistatud kahe testimise käigus läbi viidud küsitluste tulemused.

## Litsents

### Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Kreete Kuusk,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Reflexions – Interaktiivsete visuaalide loomine sügavuskaamera abil“, mille juhendaja(d) on Mathias Plans, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
2. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
3. olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Kreete Kuusk

**14.05.2025**