



**VILNIAUS UNIVERSITETAS**  
**ŠIAULIŲ AKADEMIJA**

INFORMACINIŲ TECHNOLOGIJŲ VALDYMO MAGISTRO STUDIJŲ PROGRAMA

**BERTA ŠINKŪNAITĖ**

**Magistro studijų baigiamasis darbas**

**ERDVINĖ OBJEKTŲ VIZUALIZACIJA GAMTOS PAŽINIMO  
MOKYMU**

Darbo vadovas: prof. dr. Gintautas Daunys

Šiauliai, 2024

**Studijuojančiojo, teikiančio baigiamąjį darbą,  
GARANTIJA**

**WARRANTY of Final Thesis**

Vardas, pavardė <i>Name, Surname</i>	<b>Berta Šinkūnaitė</b>
Padalinys <i>Faculty</i>	<b>Šiaulių akademija</b> <i>Šiauliai Academy</i>
Studijų programa <i>Study Programme</i>	<b>Informacinių technologijų valdymas</b> <i>Information Technology Management</i>
Darbo pavadinimas <i>Thesis topic</i>	<b>Erdvinė objektų vizualizacija gamtos pažinimo mokymui</b> <i>3D Visualization of Objects for Teaching Nature Knowledge</i>
Darbo tipas <i>Thesis type</i>	<b>Baigiamasis darbas</b> <i>Final Thesis</i>

Garantuoju, kad mano baigiamasis darbas yra parengtas sąžiningai ir savarankiškai, kitų asmenų indėlio į parengtą darbą nėra. Jokių neteisėtų mokėjimų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Šiame darbe tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos yra pažymėtos literatūros nuorodose.

*I guarantee that my thesis is prepared in good faith and independently, there is no contribution to this work from other individuals. I have not made any illegal payments related to this work.*

*Quotes from other sources directly or indirectly used in this thesis, are indicated in literature references.*

**Aš, Berta Šinkūnaitė, pateikdama šį darbą, patvirtinu (pažymėti)**



**Embargo laikotarpis**  
***Embargo Period***

Prašau nustatyti šiam baigiamajam darbui toliau nurodytos trukmės embargo laikotarpį:  
*I am requesting an embargo of this thesis for the period indicated below:*

- \_\_\_\_\_ mėnesių / *months*  
(embargo laikotarpis negali viršyti 60 mėn. / *an embargo period shall not exceed 60 months*).
- Embargo laikotarpis nereikalingas / *no embargo requested*.

Embargo laikotarpio nustatymo priežastis / *Reason for embargo period:*

# TURINYS

SANTRAUKA .....	4
SUMMARY .....	5
ĮVADAS.....	6
1. ERDVINIŲ OBJEKTŲ MODELIAVIMAS .....	9
1.1. Erdvinių objektų modeliavimo samprata .....	9
1.2. Erdvinių objektų modeliavimo būdai .....	11
1.3. Erdvinių objektų kūrimo įrankiai ir jų panaudojamumas .....	15
1.3.1. Erdvinių objektų kūrimo įrankiai .....	15
1.3.2. Panaudojamumas.....	18
1.4. Erdvinių objektų pritaikymas ir privalumai.....	19
2. GAMTOS PAŽINIMO UGDYMAS NAUDOJANT ERDVINIŲ OBJEKTŲ MODELIOUS ...	22
2.1. Erdvinio mąstymo ugdymas taikant erdvinius modelius .....	22
2.2. Erdvinių objektų naudojimas švietime .....	24
3. 3D MODELIAVIMO PROGRAMINĖS ĮRANGOS Palyginimas .....	29
3.1. Tyrimo metodologija.....	29
3.2. Tyrimo rezultatai .....	33
3.3. Tyrimo rezultatų aptarimas .....	44
3.4. Tyrimo išvados ir rekomendacijos .....	50
IŠVADOS .....	53
BIBLIOGRAFINIŲ NUORODŲ SĄRAŠAS.....	54

## SANTRAUKA

Erdvinė objektų vizualizacija gamtos pažinimo mokymui – magistro baigiamasis darbas. Yra daug kompiuterinių programinių sprendimų, kurie padeda greičiau, lengviau ir paprasčiau atlikti užduotis ir geriau suprasti rezultatus, todėl juos svarbu diegti į mokymo procesą, kad būtų galima ugdyti mokinių informacinių technologijų gebėjimus bei palengvinti mokymo procesą. Trimačių (3D) objektų modeliavimas gamtos mokymo procese suteikia galimybę pakeisti dvimačius vaizdus, padeda lengviau suprasti sudėtingas ir gamtoje nematomas struktūras, pavyzdžiui, ląsteles, todėl svarbu erdvinį modeliavimą įtraukti į mokymo procesą, siekiant pagerinti mokinių supratimą ir padidinti susidomėjimą ugdymo procesu. Šiame darbe tiriama mokslinė problema – kaip efektyviai kurti erdvinis objektus ir juos panaudoti gamtos pažinimo mokymui? Darbo tikslas – išanalizuoti erdvinį objektų kūrimo principus ir jų pritaikymo galimybes gamtos mokymo procese bei ištirti, kuri 3D modeliavimo programinė įranga yra patogiausia kuriant erdvinis modelius gamtos pažinimo mokymui mokyklose. Siekiant nustatyti patogiausią 3D modeliavimo programinę įrangą kuriant erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį, atlikta „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ programų lyginamoji analizė. Atlikus tyrimą nustatyta, jog kuriant erdvinį modelį patogiausia yra naudotis „SketchUp“ programa, nes joje yra aiški ir lengvai suprantama naudotojo sąsaja, yra visos reikiamos modeliavimui funkcijos ir automatinio piešimo galimybė, kuri palengvina modeliavimą mokyklinio amžiaus vaikams. Raktiniai žodžiai – 3D modeliavimas, erdviniai objektai, gamtos pažinimo ugdymas.

## SUMMARY

3D Visualization of Objects for Teaching Nature Knowledge – master thesis. There are many computer software solutions that help to perform tasks faster, easier and simpler and to better understand the results, so it is important to implement them in the teaching process in order to develop students' information technology skills and facilitate the teaching process. Modeling three-dimensional (3D) objects in the process of teaching nature provides an opportunity to replace two-dimensional pictures, helps to understand complex and invisible structures in nature, for example, cells, so it is important to include 3D modeling in the teaching process in order to improve students' understanding and increase interest in the educational process. This paper examines a scientific problem – how to effectively create 3D objects and use them for teaching nature knowledge? The aim of the study is to analyze the principles of creating 3D objects and the possibilities of their application in the process of nature education and to determine which 3D modeling software is the most convenient for creating 3D models for teaching nature knowledge in schools. In order to determine the most convenient 3D modeling software for creating a 3D model of a typical cell structure, a comparative analysis of “Tinkercad”, “SketchUp” and “Blender” programs was performed. After conducting research, it was found that the most convenient way to create a 3D model is to use the “SketchUp” software, because it has a clear and easy-to-understand user interface, has all the necessary functions for modeling and the possibility of automatic drawing, which facilitates modeling for school-aged children. Key words – 3D modeling, 3D objects, teaching nature knowledge.

## IVADAS

Sparčiai vystantis technologijoms, daugelis žmonių vykdomų darbų neapsieina be kompiuterinių programinių sprendimų, pavyzdžiui, apskaitos, duomenų analitikos, programavimo ir kitų programinių įrankių naudojimo veiklai atlikti. Visa tai padeda greičiau, lengviau ir paprasčiau atlikti reikiamas užduotis ir geriau suprasti bei interpretuoti rezultatus, todėl svarbu domėtis programiniais įrankiais ir juos pritaikyti vykdomoje veikloje. Programinius įrankius verta diegti ir į jaunų žmonių ugdymą, siekiant labiau sudominti ir palengvinti mokymosi procesą. Vienas iš būdų kaip galima lengviau mokyti mokinius, siekiant pakeisti įprastus vadovėliuose esančius ir dažnai sunkiai suprantamus paveikslėlius, yra trimačių (3D) objektų naudojimas ir jų modeliavimas ugdyme. Nors tai nėra nauja technologija, tačiau ji retai taikoma ugdymo turinyje dėl sudėtingos tinkamų modelių paieškos internete ir jų pritaikymo mokyme, skurdžių 3D modeliavimo žinių ar kitų priežasčių.

Gamtos pažinimas yra labai plati sritis, išsamiai nagrinėjama ugdyme, todėl 3D objektų kūrimas ir erdvinių modelių pritaikymas gamtos mokymo procese palengvintų realiame pasaulyje nematomų objektų supratimą. Erdvinių objektų kūrimo procesas padeda gilinti tarpdisciplinines žinias, tokias kaip informatikos, matematikos ir, pavyzdžiui, biologijos, chemijos ar geografijos, todėl mokiniai ugdymo procese kurdami erdvinius modelius, gali tobulinti skirtingus įgūdžius ir gebėjimus. Pavyzdžiui, viena mažiausių gyvųjų struktūrų yra ląstelė, nuo kurios prasideda kiekvienas gyvasis organizmas, todėl siekiant suprasti elementarias struktūras, ugdymo procese galima efektyviai naudoti erdvinius ląstelių modelius.

Lietuvoje nėra atlikta mokslinių tyrimų apie erdvinių objektų modeliavimo pritaikymą ugdymo procese, tačiau trimačių objektų modeliavimas minimas straipsniuose, kuriuose didžiausias dėmesys skiriamas papildytai ar virtualiai realybei. Pavyzdžiui, Indrės Stundžiaitės ir Vidos Davidavičienės 2021 metais tyrime [1] buvo analizuojama, kiek Lietuvos bendrojo ugdymo mokyklų taiko papildytos realybės technologiją pamokų metu – tik 3,7 proc. jas taiko aktyviai, 16 proc. yra taikiusios keletą kartų, o 80,3 proc. niekada netaikė papildytos realybės technologijos. Monika Kelpšienė analizavo papildytos realybės pritaikymą knygoms, kuomet skaitytojai galėjo stebėti knygos personažus 3D formatu – nustatyta, jog tai skatina vaikų domėjimąsi, ugdo savarankiškumą [2]. Informatikos ugdymo bendrojoje programoje [3] siekiama ugdyti skaitmeninį raštingumą ir informatinį mąstymą, kurie susiję su tam tikrų kompetencijų ugdymu, tokių kaip skaitmeninė ir kūrybiškumo kompetencija. Šiose kompetencijose skatinama domėtis ir naudoti skaitmenines priemones mokymo procese bei ieškoti kūrybiškų problemų sprendimų. Tai įgyvendinti padeda erdvinių objektų modeliavimas, nes galima lengviau perteikti

mokslines teorijas, padidinti mokinių įtraukimą ir sudominimą ugdymo turiniu, palengvinti mokymosi procesą [4], todėl šią temą svarbu aktyviau nagrinėti Lietuvoje ir įtraukti erdvinį modeliavimą į ugdymą. Dėl šios priežasties šiame darbe nagrinėjama **mokslinė problema** – kaip efektyviai kurti erdvinius objektus ir juos panaudoti gamtos pažinimo mokymui?

Siekiant nustatyti patogiausią 3D modeliavimo programinę įrangą kuriant erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį, atlikta „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ programų lyginamoji analizė pagal išskirtus funkcionalumo ir panaudojamumo kriterijus. Atlikus tyrimą nustatyta, jog kuriant erdvinį modelį patogiausia naudotis „SketchUp“ programine įranga, nes joje yra aiški ir lengvai suprantama naudotojo sąsaja, automatinio piešimo galimybė, todėl ugdymo procese būtų galima lengvai pritaikyti erdvinių objektų modeliavimą.

**Tyrimo objektas** – erdvinių objektų modeliavimas.

**Darbo tikslas** – išanalizuoti erdvinių objektų kūrimo principus ir jų pritaikymo galimybes gamtos mokymo procese bei ištirti, kuri 3D modeliavimo programinė įranga yra patogiausia kuriant erdvinius modelius gamtos pažinimo mokymui mokyklose.

#### **Uždaviniai:**

1. Ištirti teorinę medžiagą apie erdvinių objektų kūrimą ir jų pritaikymo galimybes.
2. Atlikti mokslinių publikacijų analizę siekiant nustatyti erdvinių objektų naudojimo naudą gamtos pažinimo mokymo procese.
3. Sukurti erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį naudojantis trimis skirtingomis 3D modeliavimo programomis ir atlikti jų lyginamąją analizę.
4. Nustatyti, kuri 3D modeliavimo programinė įranga yra patogiausia naudoti kuriant erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį.

**Tyrimo metodai** – literatūros analizė, erdvinių objektų modeliavimas, lyginamoji analizė.

Šio darbo praktinė reikšmė – tyrinėjamas erdvinio modeliavimo pritaikymas mokyme ir analizuojami funkcionalumo bei panaudojamumo kriterijai 3D modeliavimo programinei įrangai įvertinti padeda išsiaiškinti patogiausią naudoti įrankį kuriant tam tikrą erdvinį modelį, o tai gali prisidėti prie šių įrankių pritaikymo ir efektyvaus naudojimo ugdyme. Ugdymo procese pritaikius erdvinį objektų modeliavimą būtų galima padidinti mokinių motyvaciją mokytis, pagerinti ugdymo turinio įsisavinimą ir supratimą, prisidėti prie erdvinio mąstymo ugdymo ir pasiekti aukštesnių akademinų rezultatų.

Darbą sudaro 3 skyriai, įvadas ir išvados. Pirmame skyriuje tiriamas erdvinių objektų modeliavimas, skirtingi modeliavimo metodai, erdvinių objektų kūrimo programinė įranga, panaudojamumo svarba bei erdvinių objektų pritaikymas skirtingose srityse. Antrame skyriuje nagrinėjamas gamtos pažinimo ugdymas naudojant erdvinius objektų modelius, erdvinio mąstymo ugdymas erdvinių objektų modeliavimo metu bei erdvinių objektų naudojimas švietimo sektoriuje. Trečiame skyriuje atliekamas tyrimas – kuriamas tipinės ląstelės sandaros modelis skirtingose 3D modeliavimo programose, atliekama programinės įrangos lyginamoji analizė pagal funkcionalumo ir panaudojamumo kriterijus ir nustatoma patogiausia modeliavimo programinė įranga erdviniam tipinei ląstelės sandaros modeliui kurti.



# 1. ERDVINIŲ OBJEKTŲ MODELIAVIMAS

Šiame skyriuje pristatoma erdvinių objektų modeliavimo samprata ir istorija, įvairūs trimačių objektų supratimo apibrėžimai, erdvinių objektų modeliavimo būdai ir įrankiai, dažniausiai naudojami kuriant erdvinius modelius ir panaudojamumo sąvoka bei svarba.

## 1.1. Erdvinių objektų modeliavimo samprata

Erdvinių objektų kūrimas ir modeliavimas šiais laikais yra neatsiejamas procesas nuo produktų dizaino, kompiuterinių žaidimų, virtualios ir papildytos realybės kūrimo, pastatų ir kitų objektų projektavimo, trimačių objektų spausdinimo ir ugdymo proceso. Nors gali pasirodyti, kad šiame amžiuje tapo populiari kurti ir naudoti erdvinius objektus, tačiau pirmieji erdviniai objektai buvo sukurti dar dvidešimtame amžiuje. Pirmoji 3D programinė įranga buvo sukurta septintajame dešimtmetyje, tačiau nuo 1990 metų įvyko didelis šuolis dėl kompiuterinių technologijų prieinamumo paprastiems naudotojams – 3D modeliavimo programinės įrangos įdiegimas atvėrė plačias galimybes kurti sudėtingų formų modelius, supaprastino projektavimo ir planavimo procesą, atsirado galimybė identifikuoti ir pašalinti klaidas projektavimo etape, o visa tai leido visuomenei kurti dar geresnius projektus bei gamybos procesus [5]. Literatūroje yra plačiau nagrinėjama 3D produktų modeliavimo kūrimo istorija [6]:

- I. XX amžiaus 5–7 dešimtmečiai. Nors tuo laiku asmeninių kompiuterių dar nebuvo, dvimačiai inžineriniai brėžiniai būdavo brėžiami rankomis, bet buvo įmonių, kurios pradėjo naudoti 3D modelių kūrimo programinę įrangą.
- II. XX amžiaus 8 dešimtmetis. Pradėti tyrimai, skirti produktų vizualizavimui panaudojant 3D modelius, pavyzdžiui, dyzelinio variklio ar suprojektuotų pastatų. Taip pat buvo tyrinėjami 3D modelių leistini nuokrypiai ir matmenys bei kaip duomenų bazės gali būti naudojamos norint užfiksuoti informaciją, kuri yra 3D modeliuose.
- III. XX amžiaus 9 dešimtmetis. 3D produktų modeliai buvo nukreipti į produktų dizainą, o mokslininkai ir toliau aktyviai tyrinėjo šią sritį. Buvo siekiama išanalizuoti 3D produktų modelių paklaidas ir informaciją apie tikimybes, kurios pasireiškė surenkant produkto dalis. Taip pat buvo plėtojami moksliniai tyrimai, įtraukiantys ne tik produkto dizainą, bet ir 3D produkto modelio poveikį surinkimo sekai.
- IV. XX amžiaus 10 dešimtmetis. Buvo pradėti virtualaus surinkimo ir 3D produkto modelio naudojimo virtualioje aplinkoje tyrimai, siekiant ne tik pritaikyti virtualią aplinką fiziniam

pasauliui, bet ir siekiant pakeisti fizinį pasaulį į 3D virtualią aplinką, taip pat aktyviai buvo tyrinėjamas 3D produkto modelio dizainas.

- V. XXI amžiaus 1-asis dešimtmetis. Tyrimai perėjo nuo 3D produkto modelio projektavimo prie 3D produkto modelio projektavimo, skirto produkto surinkimui. Augo 3D produktų modelių naudojimas virtualių darbo instrukcijų kūrimui. Pagerėjus interneto ir žiniatinklio funkcionalumui, pradėti tyrimai, kaip įdiegti 3D produktų modelius žiniatinklyje, todėl buvo sukurta virtualios realybės modeliavimo kalba.
- VI. XXI amžiaus 2-asis dešimtmetis. Buvo kuriamos 3D produktų dizaino bibliotekos, skirtos įvairiems kompiuteriams, kad dizainai galėtų būti panaudoti ateityje, siekiant pagerinti modelių duomenų apdorojimą, pradėti kurti glaudinimo algoritmai, tinklinis segmentavimas, sukurtos programos modelių failų formatams konvertuoti į standartizuotus formatus. Pradėta taikyti papildytos realybės technologija, kuri išplito ir persipynė su 3D modeliais.
- VII. XXI amžiaus 3-asis dešimtmetis. 3D modeliai pradėti taikyti dirbtiniame intelekto, robotikoje ir kitose srityse. Tikimasi, kad ateityje 3D modeliai bus naudojami analizėje, mašiniame mokymesi, daiktų internete.

Taigi erdvinių objektų modeliavimo tema susidomėta jau daugiau kaip prieš 80 metų ir nuolatinis technologijos tobulėjimas bei vis platesnės pritaikymo galimybės įrodo, jog 3D modeliavimas yra svarbus aspektas pramonėje, gamyboje, ugdyme ir kitose srityse.

3D modeliavimas daugelyje šaltinių yra apibrėžiamas labai panašiai. 3D modeliavimą galima apibūdinti kaip kompiuterinės grafikos metodą, skirtą sukurti skaitmeninį bet kokio objekto, erdvės ar paviršiaus vaizdą, naudojantis tam tikru programinės įrangos rinkiniu, skirtu virtualios erdvės taškus perkelti į tinklą [7]. 3D termino etimologija rodo, kad yra kalbama apie objektą, kuris turi tris matmenis – ilgį, plotį ir aukštį ir kuris yra aprašytas taškų debesimi, paviršiaus tinklu, NURBS (ang. Non Uniform Rational Basis Spline) ar kitu būdu – tai sukuria tikslų trimačio tikrovės objekto kompiuterinį modelį [8]. Erdvinių objektų modeliavimas inžinerijoje yra suprantamas kaip trimačio modelio kūrimo procesas, siekiant sukurti, modifikuoti, analizuoti ar optimizuoti objekto dizainą naudojant specialią programinę įrangą, kuri yra naudojama norint sukurti virtualų objekto modelį, kuriame atsižvelgiama į objektą veikiančius matmenis, medžiagas ir kt. [5]. Apibendrinant galima teigti, jog 3D modeliavimas yra procesas, kurio metu, naudojant programinę įrangą, yra sukuriamas trimatis objektas, kuriuo galima manipuluoti.

Analizuojant 3D modeliavimą, dažnai minimi modelių kūrimo privalumai švietime. 3D technologija suteikia naują aplinką, platformą, išteklius, įrankius ir mokymo paradigmas

švietime ir leidžia mokytis tyrinėjant – tai mokymosi metodas, orientuotas į gamtos ir materialaus pasaulio tyrinėjimo procesą, kuris apima orientavimąsi užduoti klausimus, tyrinėti ir atrasti bei analizuoti sudėtingas struktūras tyrinėjimo ir atradimo procesų metu [9]. Taigi kadangi dvidešimt pirmame amžiuje 3D modeliavimas tapo svarbia dizainų kūrimo technologija, kurią gali naudoti visi norintys ir gebantys išmokti tam skirtus įrankius, todėl svarbu šį potencialą išnaudoti ir ugdymo įstaigose bei kitose srityse.

3D modeliai šiuolaikiniame pasaulyje dažnai taikomi tam, kad sustiprintų realybės efektą vaizdo įrašų kūrimo, žaidimų kūrimo, virtualioje realybėje, medicinoje, navigacijoje ir kitose srityse, todėl 3D modeliavimas šiomis dienomis tapo daugelio tyrimų aspektu [10]. Taip pat manoma, jog erdviniai modeliai gali tapti nauja laikmena vaizdams saugoti. Yra tikimasi, jog 3D modeliai ateityje bus dažniau naudojami, lyginant su vaizdo apdorojimo programomis, nes jie gali aprašyti daugiau informacijos nei tiesiog vaizdai [10]. Kadangi 3D modeliavimas plačiai naudojamas komunikacijoje, audinių inžinerijos ir paveldo apsaugos srityse, erdvinių objektų turinys tampa vis labiau reikalingas [11] ir kaip suprantama, tokio tipo turinys reikalingas ne tik objektų kūrimo ir vizualizavimo procesui, bet ir informacijos saugojimo, naujų technologijų kūrimui, kuriose gali būti integruoti 3D modeliai. Pavyzdžiui, kuriamos hologramos, paremtos 3D modeliavimu. 3D hologramos technologija – tai yra 3D vizualizavimo įrankis, kuris, naudodamas fotografijos techniką, nuosekliai įrašo šviesos spindulius ir pavaizduoja įrašytą vaizdą trimatėje erdvėje, kuris, atrodo, laisvai sklendo ore [12]. Tai viena pažangiausių technologijų, kuri gali būti naudojama ir ugdymo procese, pavyzdžiui, naudojant hologramas galima įtraukiau mokytis nuotoliniu būdu [13]. Taigi šiais laikais stebimas aktyvus erdvinių objektų naudojimas įvairiose srityse bei matomos galimybės juos dar plačiau taikyti, naudoti ir paversti nauja duomenų medija, kuri savyje talpintų dar daugiau informacijos. Visa tai taip pat skatina ir naujų technologijų kūrimą bei integravimą į realų pasaulį.

## **1.2. Erdvinių objektų modeliavimo būdai**

Panašu, jog tiek, kiek yra skirtingų erdvinių modelių pritaikymo būdų, tiek yra ir erdvinių objektų modeliavimo būdų – nuo paprasčiausiai vykdomų rankiniu būdu, iki skaitmeninių ar 3D spausdinimo. 3D modeliavimas gali būti vykdomas rankiniu būdu, kuomet 3D brėžiniams sukurti naudojami tam tikri projektavimo metodai: lygiagrečios projekcijos, kai linijos projektuojamos lygiagrečiai trims koordinačių sistemos ašims skirtingais linijų orientavimo kampais ir siejama su bazine horizontaliąja plokštuma ar perspektyvinės projekcijos, kurioms

būdinga lygiagrečių linijų konvergencija begalybės taškuose, išsidėsčiusiuose ant horizontalios linijos [14]. 3D modeliavimas rankiniu būdu yra greitesnis ir paprastesnis, nes gali būti atliekamas visokiomis sąlygomis, o sukurti modeliai įprastai yra trijų dimensijų erdvinis vaizdas, pasiekiamas naudojant homogeninius duomenis, neapibrėžtus elementus ar supaprastinant pateiktas erdves [14]. 3D modeliai yra kuriami ne tik rankiniu būdu ar 3D spausdinimo įranga, bet ir iš vaizdų. Bendras vaizdu pagrįsto 3D modeliavimo procesas susideda iš kelių dalių, tai yra projektavimo (vaizdo jutiklių išdėstymo geometrijos), 3D matavimų (taškinių debesų, linijų ir kt.), struktūrizavimo ir modeliavimo (segmentavimas, tinklo generavimas ir pan.), tekstūros kūrimo ir vizualizacijos [15]. Labai svarbus yra objekto 3D formos vaizdavimo pasirinkimas: jis turi būti pakankamai išraiškingas (atvaizduoti smulkias detales, pakankamai taisyklingas formas), kad būtų gali atkurti vaizdą, nes aiškūs vaizdai yra kompaktiškesni, juos galima lengviau išmatuoti ir valdyti [16]. Kalbant apie vaizdus, literatūroje analizuojant erdvinius modelius yra minima ir 3D vaizdų rekonstrukcijos technologija. Jos tikslas – iširti atitinkamų 3D struktūrų generavimą iš vieno ar kelių vaizdų, tačiau šioje technologijoje yra daug iššūkių: objektų formos sudėtingumo atkūrimas, neapibrėžtų objektų atkūrimas, smulkių objektų atkūrimas, atminties reikalavimai ir skaičiavimo laikas, mokymosi duomenų rinkiniai, 3D formos atvaizdų selektyvumas [17].

Modeliuojant trimatį vaizdą gali atsirasti įvairių problemų, todėl yra nagrinėjami ir aprašomi nauji būdai modeliams kurti. Norint iš dvimačio objekto sukurti trimatį, reikia išspręsti neapibrėžtumo ir duomenų trūkumo problemas, todėl naudojamos keturios strategijos 3D modelio kūrimui [18]:

- a) iteratyvūs metodai leidžia sukurti bendrą modelį dalimis, pakartotinai pridėdant naujas formas – šiai grupei priklauso gyvūnų modeliai;
- b) formų derinimo metodai suderina eskizus su siluetais arba iš anksto nustatytų 3D modelio siluetų dalimis, kad būtų įgalinta deformacija ir šis metodas pritaikytas organinėms formoms, pvz., žmonėms, gyvūnams, taip pat techniniams modeliams;
- c) kelių rodinių metodai, kurie generuoja 3D figūras iš dviejų ar trijų eskizų, nupieštų iš stačiakampio vaizdo taškų, todėl šis metodas naudojamas objektams, o ne organinėms formoms;
- d) tiesioginiais metodais bandoma nustatyti 3D formas iš vieno kompleksinio eskizo, kuriame pavaizduoti sudėtingi siluetai, tai viena patraukliausių technikų, nes piešiamam eskizui taikoma mažai apribojimų, todėl dažniausiai tai naudojama specifinėms formoms, tokioms kaip gėlės, drabužiai, medžiai, indai ir kt.

Literatūroje išskiriami ir specifiskai erdviniam gyvūnų modeliavimui tinkami būdai [19]:

- gyvūno forma 3D skenavimo būdu, tačiau nuskenuoti gyvą gyvūną yra sunku, nes jie nuolatos juda, atsiranda ribotas tikroviškumas;
- gyvūno forma iš nuotraukų, kai 3D modelis projektuojamas iš nuotraukos, kurioje yra nustatomi taškai erdvėje, jiems suteikiant primityvias geometrines figūras, sujungtas į vientisą erdvinį modelį, tačiau yra tam tikrų metodo trūkumų: maža skiriamoji geba, jei gyvūnas yra sudėtingos formos;
- gyvūno forma iš vaizdo įrašo – galimi keli gyvūno formos gavimo būdai: gyvūnai modeliuojami atskiromis kinematinėmis dalimis ir sudaroma jų išvaizda iš vaizdo įrašo; skenuojami lygaus paviršiaus objektai ir išgaunami 3D paviršiai; kuriamas 3D animuotas gyvūno modelis iš duoto dvimačių (2D) vaizdo įrašų; naudojamas gyvūno vaizdo įrašas, kuris interaktyvių eskizų arba sekimo metodu išgauna tekstūruotą 3D gyvūno modelį, tačiau nei vienas iš šių metodų negali sukurti detalaus 3D modelio, taip kaip gali padaryti 3D skenavimas;
- veido forma 3D skenavimo būdu – veidai turi mažiau formos kintamumo ir yra mažiau artikuliuoti nei gyvūnai, todėl tai supaprastina erdvinio tinklelio modeliavimą.

Atkreiptinas dėmesys, jog aukščiau paminėti 3D modeliavimo būdai nėra skirti tik gyvūnų modelių kūrimui. Jie gali būti pritaikomi tiek statiniams objektams, tiek kitiems judantiems objektams. Apibrėžiami ir plačiausiai naudojami erdvinio objektų modeliavimo metodai, kurių yra bent dešimt [7]:

1. Dėžutės modeliavimas. Pagrindinis kūrimo principas yra sukurti 3D modelį naudojant primityvias ir klasikines formas, tokias kaip kubas, rutulys ir pan. Norint apdoroti kai kuriuos nestabilius tinklelius, prie jo pridedamas originalus tinklelis, kuris sudarytas iš papildomos geometrijos tarp kraštų, paviršių ir viršūnių, suteikiančių modeliujamo objekto paviršiui stabilumą ir apvalumą. Dažniausiai šis metodas taikomas architektūrinėje vizualizacijoje ir kietų paviršių dirbtinių objektų modeliavime.
2. Daugiakampių modeliavimas. Modelis kuriamas dėlioiant figūras nuo viršaus vienas šalia kitos, kol sukuriamas visas vaizdas. Dažniausiai naudojamas padalijimo procesas, kad būtų išlyginama objekto geometrija, pvz., 3D ornamentų, skulptūrų vizualizavime.
3. Neturinčios formos atvaizdo ir kreivės modeliavimas. Kuriant paviršių yra naudojami valdymo taškai, kurie sukuria kreivių rinkinį, o paskui kuriamas kelių kreivių tiltas – nekonstruojamos viršūnės ir briaunos. Reguluojant valdymo taškus mastelis yra keičiamas, perkeliamas, sukamas ir pan. Šiuo modeliavimo būdu galima sukurti sklandžius išlenktus 3D modelius.
4. Skaitmeninis 3D skulptūravimas. Skulptūravime naudojamos meninės priemonės, t. y. teptukai, kuriais formuojamos objekto viršūnės, kraštai ir paviršius. Modelių išvestis yra

netolygus tinklelis, kurio veikimo tikslumas yra prastas, todėl dažniausios šio modelio taikymo sritys – tam tikro veikėjo, gyvūno ar būtybės vizualizavimas.

5. Fotogrametrija. Šio erdvinių objektų modeliavimo principas yra atsekti objektą keletą kartų iš įvairių kameros kampų ir esant skirtingoms apšvietimo sąlygoms naudojant kamerą nuskaityti duomenis kodų rinkiniui, kuris sukuria 3D objekto vaizdą kaip išvestį. Fotogrametrijos pranašumas – UV žemėlapių generavimas, kuri galima naudoti pakartotinei topologijai, kad objektas būtų atvaizduojamas tiksliau. Dažniausiai šis metodas yra taikomas senų pastatų vizualizavimui.
6. Simuliacija. Objekto simuliacija priklauso nuo tikslaus parametrų derinimo, kad būtų sukurtas objekto vaizdas, o ne naudojant neapdorotas rankines įvestis, pvz., viršūnes ir briaunas. Pagrindinis principas – sukurti virtualią aplinką, priskirti reikšmes skirtingiems objekto parametrų ir pateikti šiuos duomenis sistemai, kuri vėliau apskaičiuoja ir pažymi, kaip objektas reaguoja ir juda kiekviename kadre, kuriame yra vykdomas modeliavimas. Dažniausiai šis metodas taikomas animacijoje, žaidimų kūrime, pilotų ar vairuotojų mokymams imituojamoje aplinkoje.
7. Procedūrinis modeliavimas. Galimi du procedūrinio modeliavimo būdai: įrankiais pagrįstas modeliavimas – pateikiamas reikšmių rinkinys kaip programos įvestis, kiekvienam vykdytojui programa sugeneruoja skirtingą modelį kaip išvestį; tamsinimas – objektų geometrijos sudėtingumas ištiriamas naudojant vektorinį poslinkį, jie atskleidžia objekto geometrijos sudėtingumą išilgai sferos arba plokštumos. Šis metodas taikomas siekiant sukurti pastatų išorę su didelėmis vizualinėmis detalėmis, masinius miesto modelius ir virtualią archeologinių vietovių rekonstrukciją.
8. Loginis modeliavimas. Loginis modeliavimas pradedamas nuo primityvaus modelio, o po to pereinama prie detalizavimo pridėdant arba iškerpant formas prie primityvaus modelio, naudojant tokias operacijas, kaip skirtumas, susikirtimas ar jungtis. Tokiu būdu norint realizuoti objektą reikia sunaudoti daug laiko sąnaudų. Dažniausiai šis metodas naudojamas konstruojant nevienalyčių materialų objektų 3D modelius.
9. Kit-Bash modeliavimas. Šis modeliavimo būdas dažniausiai naudojamas siekiant pagerinti detalumą, atsižvelgiant į detalių santykį. Tai leidžia išskirtines dalis suformuoti kartu, neturint viso vaizdo ir gauti galutinį objektą. Dažniausiai šiuo metodu vizualizuojami robotai ar organiniai paviršiais, tokie kaip miškas.
10. Modulinis modeliavimas. Tai yra labiau praktika nei technika, nes teigiama, kad didelę problemų erdvę geriau suskaidyti į įvairias smulkesnes sprendžiamas problemas, kurių sprendimus lengva pasiekti. Šis metodas dažniausiai naudojamas miesto ar valstybės vizualizavime.

Nagrinėjant erdvinių objektų modeliavimo būdus svarbu paminėti, jog dažnai modeliui išgauti yra naudojami ir 3D spausdintuvai. 3D spausdintuvai – tai greito prototipų kūrimo naudojant priedus procesas, kurio metu objektai yra materializuojami naudojant 3D modelius [20]. 3D spausdintuvai skiriasi medžiagomis, kurios padeda sukurti objektui kietą paviršių, spausdinimo greičiu, spausdinimo kaina ir spausdintuvo kaina, o jų pritaikymas yra labai platus – juvelyrikoje, madoje, pramoniniame dizaine, odontologijoje, medicinoje, inžinerijoje, kosmoso pramonėje ir kt. [20]. Taigi erdvinių objektų modeliavimo būdų yra įvairių, kurie skiriasi technologija, todėl modeliavimo būdą reikėtų pasirinkti pagal norimo sukurti objekto tipą, turimus ir galimus panaudoti papildomus įrankius vaizdams išgauti ir kitus aspektus.

### **1.3. Erdvinių objektų kūrimo įrankiai ir jų panaudojamumas**

#### **1.3.1. Erdvinių objektų kūrimo įrankiai**

Skaitmeninio erdvinio objekto nebūtų įmanoma sukurti be tam skirtos programinės įrangos. Programinės įrangos produktų yra įvairių – jie skiriasi savo funkcinėmis galimybėmis, naudotojo sąsajomis ir kitais aspektais. Norint išsirinkti geriausią programinę įrangą erdvinio modelio kūrimui, yra siūloma atkreipti dėmesį į kelis aspektus [21]:

- vaizdai ir naudojimo paprastumas – kaip lengva pamatyti objektą ir valdyti, ar lengva kuriamą vaizdą padidinti, pasukti ar perkelti, ar valdikliai yra intuityvūs;
- primitivų ar daugiakampių kūrimo įrankiai – kaip lengvai kiekviena programa leidžia naudotojui tiksliai išdėstyti ir nustatyti primitivų objektą, ar galima įvesti koordinates, ar koordinatės rodomos ekrane, ar yra fiksuojamų tinklelių;
- daugiakampių redagavimas – vertinama intuityvi sąsaja, ar lengva pasirinkti, perkelti ir redaguoti sukurtus daugiakampius, ar objektas juda numatomoje plokštumoje, ar galima objektus pritvirtinti prie tinklelio ar kitų objektų;
- sudėtingos paviršiaus ir tūrio operacijos – ar galima sukurti kreives, daugiakampius ar paviršius, ar galima juos sujungti, ar galima atlikti tūrio sujungimą arba atimti;
- tekstūros žemėlapiai – lyginamas programos tekstūros, taikomos žemėlapiams, ar galima kontroliuoti tekstūros vietą, ar yra peržiūra, kad būtų galima sukurti kuo realistiškesnį objektą;
- medžiagos – lyginamas kiekvienos programos medžiagos sąsajos funkcionalumas, kad būtų sukurtas tikroviškas vaizdas, todėl analizuojama ar difuzinės, veidrodinės ir spalvos

savybes galima valdyti atskirai, ar galima apibrėžti atspindėjimą, skaidrumą, lūžio rodiklį ir kitas savybes.

Ieškant 3D modeliavimo programinės įrangos galima rasti ganėtinai daug atvirojo kodo įrankių, kurie yra plačiai naudojami erdvinių modelių kūrimui. Nemokamos atvirojo kodo programinės įrangos pavyzdžiai [20]:

- „Blender“ – tai vienas žinomiausių modeliavimo, manipuliavimo, animacijos, atvaizdavimo, kompozicijos ir judėjimo sekimo, vaizdo redagavimo ir žaidimų kūrimo įrankių;
- „K-3D“ – gerai žinomas įrankis, kuriuo paprasta naudotis ir jis yra laikomas geriausiu įrankiu pradėjantiems dėl didelio dizaino potencialo, leidžiančio sukurti nuo labai paprastų iki sudėtingų ar profesionalių modelių;
- „Wings 3D“ – modeliavimo įrankis, turintis visiškai konfigūruojamą sąsają, daugybę įrankių, palengvinančių elementų projektavimą, taip pat yra suderinamas su praktiškai bet kokiais 3D dizainais;
- „Tinkercad“ – paprastas 3D modeliavimo įrankis, pagrįstas navigatoriumi, naudotojui nereikia ankstesnių žinių, kad galėtų pasinaudoti šiuo įrankiu, todėl galima per trumpą laiką sukurti tai, ko reikia, sukurti 3D modeliai yra saugomi debesyse, todėl nereikia specialios įrangos modeliams išsaugoti.

Taip pat yra ir internetinė bendruomenė „Thingiverse“, kurioje registruoti vartotojai kuria ir dalinasi savo sukurtais 3D dizainais su aprašymais, juose paaiškina ir detalizuoja panaudotas medžiagas, metodus ir sukurto objekto baigtumą [20].

Kadangi „Blender“ programinė įranga yra viena dažniausiai naudojamų, buvo ieškoma detalesnės informacijos apie šį erdvinio modeliavimo įrankį. „Blender“ yra atvirojo kodo modeliavimo, manipuliavimo, animacijos, atvaizdavimo, sekimo, vaizdo redagavimo ir žaidimų kūrimo įrankis. Patyrę naudotojai įdarbina „Blender“ programavimo sąsają Python skriptams, kad būtų galima kurti ir tobulinti specializuotus įrankius; naudodami programą naudotojai gali sukurti realistiškus vaizdus, su galimybe įterpti sudėtingus apšvietimo sprendimus, gylio jausmą ir fiziškai tikslus atspindžius bei šviesos lūžius; naudojama sintetiniams vaizdams kurti mokslo ir inžinerijos programose bei kompiuterinio regėjimo ir mašininio mokymosi programoms [22]. Taip pat naudojant „Blender“ programinę įrangą galima sukurti artikuliuotą ir realistišką žmogaus 3D modelį, kuris pasižymi taisyklingomis kūno proporcijomis ir tiksliais judesio taškais – tokio plataus spektro modeliavimo įrankių pritaikymas kuriant vizualizacijas gali padėti tyrėjams sukurti



duomenų bazę neuroninių tinklų treniravimui ir vystymui, o žaidimų industrijai – žaidimų kūrimui [23].

Žinoma, yra ir ne atvirojo kodo erdvinio modeliavimo įrankių. Jų pavyzdžiai:

- „SketchUp“ – taip pat dažnai naudojama 3D modeliavimo programinė įranga, kuri labai panaši į „Blender 3D“, dažniausiai naudojama civilinėje ir mechaninėje inžinerijoje, architektūroje ir interjero planavime [24].
- „Solidworks“ – tai trimatė kietojo modelio komponentų ir atnaujinta kompiuterinio projektavimo sistema, turinti galingas modeliavimo funkcijas ir pasižyminti modeliavimo efektyvumu, todėl išsiskiria iš daugelio 3D modeliavimo programų dėl lengvo valdymo; turi unikalias modulines funkcijas (projektavimas, surinkimas, inžinerinis brėžinys, formų projektavimas, judesio modeliavimas), kurios supaprastina modeliavimo procesą [25].
- „AutoCAD“ – tai kompiuterinio projektavimo programinė įranga, naudojama tiksliam dvimačiam ir trimačiam braižymui, projektavimui ir modeliavimui su paviršiais, tinkliniais objektais ir kt.; turi funkcijas, skirtas automatizuoti užduotis ir padidinti efektyvumą, pavyzdžiui, lyginant brėžinius; yra įrankių rinkiniai, skirti elektros, įrenginių ir mechaniniam projektavimui, architektūros brėžiniams, 3D žemėlapių sudarymui [26].

Svarbu paminėti, jog pasirinkus bet kokį įrankį, svarbiausia yra išmokti juo kurti trimačius erdvinius modelius, sąveikauti su jais virtualioje aplinkoje. Viename tyrime yra net siūlomi keli programinės įrangos rinkiniai, kurie yra greitai perprantami ir lengvai naudojami: „Vuforia“ – funkcionali sistema, kuri leidžia kurti išplėstinės realybės programas mobiliuosiuose telefonuose naudojant taikinius, šablonus, vaizdus arba objektus, nes programa seka vaizdą kaip žymeklis ir su juo siekiama sukurti mazgus vaizde, kad 3D objektai galėtų atsirasti tada, kai juos aptinka spausdintuvas; „Unity 3D“ yra įrankių rinkinys, kurį galima naudoti kuriant žaidimus, mobiliąsias programas su įvairiomis technologijomis, galima kurti 3D modelio animacijas naudojant valdiklius, kurie buvo sekami naudojant integruotą „Vuforia“ programinę įrangą [27]. 2022 metais Nacionalinės švietimo agentūros parengtame metodiniame leidinyje, skirtame tikslųjų mokslų ir informacinių technologijų mokytojų dalykinėms kompetencijoms tobulinti [28], buvo pateikiami anksčiau aprašyti 3D modeliavimo įrankiai, tai „Tinkercard“, „SketchUp“, „Blender“.

### 1.3.2. Panaudojamumas

Pagal Tarptautinę Standartizavimo Organizaciją, panaudojamumas apima sistemos ir naudotojo sąveiką, kuomet naudotojas efektyviai, veiksmingai ir su pasitenkinimu pasiekia savo tikslus tam tikroje sistemoje [29]. Panaudojamumas gali būti suprastas ir kaip kokybės metrika, naudotojo sąsajoje matuojanti paprastumą [30]. Yra įvairių kriterijų, pagal kuriuos gali būti įvertinamas sistemos panaudojamumas. Dažniausiai panaudojamumo supratime yra įvardijamos kelios charakteristikos, tai yra [31]:

- naudingumas – nustatoma, ar naudotojas gali įvykdyti išsikeltas užduotis ir jei jam pavyksta įvykdyti užduotis, tai reiškia, jog programa yra naudinga;
- efektyvumas – susijęs su programos naudojimo paprastumu, norint naudotojui pasiekti savo tikslą ir atlikti užduotį;
- išmokstamumas – nustato, kaip gerai naudotojas išmoko naudotis programa per tam tikrą laiką;
- veiksmingumas – susijęs su greičiu ir pastangomis, skirtomis užduočiai atlikti;
- pasitenkinimas – susijęs su naudotojo pasitenkinimu naudojantis programine įranga.

Taip pat yra ir kitų panaudojamumo charakteristikų: lengvas naudojimas – kaip lengva naudoti sistemą, tiesiogiškumas – kaip naudotojas suvokia tiesioginį programos valdymą, informatyvumas – kaip sistema pateikia naudotojui reikiamą informaciją, lankstumas – kaip sistema prisitaiko prie pakeitimų, naudotojų palaikymas – galimybė naudotojui naudotis sistema visą jos gyvavimo ciklą [32]. Vienas iš panaudojamumo kriterijų gali būti ir naudotojo padarytų klaidų nustatymas – tai yra padarytų klaidų skaičius ir kaip lengva ištaisyti padarytas klaidas [32]. Taigi analizuojant programinės įrangos panaudojamumą, galima atsižvelgti į visas išvardintas charakteristikas arba nagrinėti tik dažniausiai vertinamas.

Programinės įrangos testavimas, siekiant įvertinti panaudojamumą, yra svarbus aspektas siekiant nustatyti, kaip lengva naudotis programa (ang. ease of use), nes tai palengvina problemų nustatymą ir padeda tobulinti programinę įrangą ar informacines sistemas [33]. Todėl esant tokiai didelei 3D modeliavimo programinės įrangos įvairovei, svarbu atsižvelgti į tai, ar įrankis bus patogus modelio kūrimui, o panaudojamumo įvertinimas ir palyginimas tarp skirtingų įrankių padeda tai nustatyti. Taip pat panaudojamumas yra vienas svarbiausių faktorių sėkmingame edukacinių technologijų pritaikyme mokymo procese, nes jeigu naudotojo sąsaja lengva naudoti, besimokantis asmuo sistemą naudos dažniau – suvokiamas panaudojamumas daro didelę įtaką mokinio mokymosi patirčiai ir suvokimui, o tai lemia geresnius akademinis rezultatus [34]. Todėl ugdymo procese renkantis 3D modeliavimo programinę įrangą reikia tirti

panaudojamumą, pagal tai tobulinti įrankius, kad naudotojai galėtų kuo lengviau naudodamiesi programine įranga sukurti erdvinius modelius – visa tai padės sėkmingai integruoti erdvinių modelių kūrimą į mokymosi procesą.

#### **1.4. Erdvinių objektų pritaikymas ir privalumai**

3D modeliavimas turi platų pritaikymo spektrą [5]:

- Architektūra – suteikia galimybę inžinieriams ir užsakovams pamatyti, kaip statinys ar pastatas atrodys po užbaigtų statybų.
- Reklama ir filmavimas – kino pramonėje ir reklamos srityje 3D technologijos gali sumažinti išlaidas proceso metu, be to, kartais lengviau sukurti 3D vaizdus nei fotografuoti tam tikrus objektus realybėje.
- Interjero dizainas – 3D baldų modeliai ir kita atributika leidžia imituoti pastato interjero dizainą prieš jį statant, o tai padeda sutaupyti laiko ir pinigų, nes leidžia išvengti neteisingo komponentų pasirinkimo ir išdėstymo.
- Interneto svetainės dizainas – spartus kompiuterinės grafikos vystymas sukelia didelę 3D technologijų paklausą kompiuterinių žaidimų ir interneto svetainių kūrimo procese.
- Mokslas ir pramonė – galima kurti preliminarinius 3D modelius, kurie padeda lengviau analizuoti procesus ir pan.

Erdviniai objektai padeda inžinerinių mokslų, tokių kaip statybų inžinerija, studentams gebėti vizualizuoti planus, integruoti rašytines specifikacijas į statybų procesą, sudaryti sąmatą ir grafiką [35]. Skaitmeniniai 3D objektai gali būti naudojami mokslinių tyrimų ir paveldo komunikacijos plačiajai visuomenei tikslais, kompiuterinėje mirusiojo asmens veido rekonstrukcijoje, virtualaus keramikos, skulptūrų ar kitų artefaktų restauravime, virtualiame pastatų ir archeologinių vietų rekonstravime, trimačių objektų išspausdinime [8].

Neabejotinai plačiai trimačiai erdviniai objektai yra naudojami medicinoje. Kuriami virtualūs 3D modeliai žaizdoms ir įvairiems sužalojimams pavaizduoti, pasitelkiant 3D optinį skaitmenino metodą, atvaizduojant realiu dydžiu ir forma, turint galimybę pasukti ir analizuoti situaciją, nustatyti įvairių įrankių sukeltus sužalojimus, o tokie sukurti modeliai net galėtų būti rodomi teismo posėdžiuose [36]. Medicinoje taip pat plačiai naudojamas ir 3D spausdinimas. Dažniausiai spausdinami 3D anatomijos modeliai, kurie naudojami švietimui, chirurginiam planavimui, operacijos demonstravimo pacientui metu [37].

3D modeliavimas yra vienas pagrindinių aspektų kuriant kompiuterinius žaidimus. 3D modeliavimo technologija gali būti panaudota keturiuose vaizdo žaidimų aspektuose [38]:

- scenarijų modeliavime – sukuriama žaidimo scena, kurioje gali egzistuoti vidaus ir lauko erdvės, todėl virtualioje realybėje svarbu imituoti žmogaus regėjimą, klausą, lytėjimą ir judėjimą natūralioje aplinkoje, o siekiant to tikslo 3D modeliavimas yra taikomas kartu su kompiuterine grafika, dirbtiniu intelektu, žmogaus bei kompiuterio sąsajos, skaitmeninio vaizdo apdorojimo, jutiklių ir kitomis technologijomis;
- vaidmenų modeliavime – virtualus personažas yra labai svarbus aspektas kompiuteriniame žaidime, todėl jis turi būti išraiškingas, kuo realistiškesnis: svarbus žmogaus kūno modeliavimas, judesių fiksavimas, pusiausvyros valdymas ir panašiai;
- dalelių modeliavime – kuriami specialūs efektai, pavyzdžiui, ryškios šviesos efektas, kriokliai, krintantis sniegas, sprogimo poveikis ir kiti efektai, kad būtų įtraukus ir vaizdingas žaidimas, sukeltų stiprų vizualinio šoko efektą;
- 3D variklyje – tai yra algoritmų rinkinys, skirtas galutiniam vaizdui žaidimo variklyje apskaičiuoti ir išvesti kompiuteryje, todėl visi 3D vaizdai žaidimuose yra generuojami naudojant momentines 3D variklio operacijas.

3D technologija kine ir televizijoje yra naudojama siekiant sukurti išgalvotą erdvinę aplinką, kurioje atsiduria personažai, todėl tokios scenos dizainas reikalauja aukštos estetikos ir racionalumo – gera erdvės struktūra ir dizainas gali sustiprinti kino ar televizijos grožį, veikėjo asmenybę arba pagerinti emocinį ryšį su auditorija, todėl vis dažniau 3D modeliavimas ir išskirtinių erdvių kūrimas yra naudojamas kino industrijoje ir televizijoje [39].

Kaip suprantama, erdvinių objektų modeliavimas yra pritaikomas bene kiekvienoje srityje, kurioje norima sukurti labiau įtraukiantį turinį, atkurti vaizdus ar pavaizduoti objektus ar daiktus kita perspektyva. Todėl kuriant produkto ar bet kokio daikto dizainą, modelį, vidinę struktūrą ar kokią kitą komponentą, vizualizaciją svarbu vykdyti atsižvelgiant į kelis aspektus ir galutinį produkto pristatytą: objekto erdvinis modelis – jis turi būti tinkamo dydžio ir parametrų; tekstūros suteikimas – tinkamos tekstūros suteikimas yra pagrindinis vizualizacijos žingsnis, todėl ji turi būti tinkama objektui ir suteikta iš visų kampų ir pusių; erdvinis atvaizdavimas – galima interaktyviai atvaizduoti sukurtus modelius; ekranas – svarbu tinkamas ekranas, skirtas erdvinio modelio peržiūrai [40].

3D modeliavimo ir objektų vizualizacijos platus naudojimas įvairiose srityse sumažino atotrūkį tarp realaus ir virtualaus kompiuterinio pasaulio bei praplėtė žmonių pažinimą apie pasaulį – kadangi vaizdai yra kuriami kaip trimatė forma, tai leidžia geriau suprasti ir įsigilinti

į įvairius objektus, suprasti jų struktūras ir pan. [41]. Taigi panaudojant erdvinių objektų modeliavimą ir vizualizavimą galima kuo priimtinesniu ir suprantamesniu būdu pateikti žmonėms informaciją, kuri būtų lengvai apdorojama ir įsimintina. O tai ypač svarbu daryti mokymosi procese, kad mokiniai galėtų suprasti, įsiminti ir išmokti dėstomą informaciją, kad būtų akademiškai stipresni ir suvokiantys dėstomus dalykus.

## **2. GAMTOS PAŽINIMO UGDYMAS NAUDOJANT ERDVINIŲ OBJEKTŲ MODELIOUS**

Šiame skyriuje analizuojama, kas yra erdvinis mąstymas, kaip yra ugdomas erdvinis mąstymas taikant erdvinius modelius mokymosi procese ir erdvinių objektų naudojimas mokymo procese. Taip pat apžvelgta, kokie tyrimai šioje srityje atliekami Lietuvoje ir kur yra naudojami erdviniai objektų modeliai.

### **2.1. Erdvinio mąstymo ugdymas taikant erdvinius modelius**

Erdvinių objektų modeliavimas yra labai glaudžiai susijęs su erdviu mąstymu. Erdvinis mąstymas – tai gebėjimas protiškai manipuluoti, pasukti ar apversti vaizdingai pateiktą stimuliavimo objektą, o šiuos gebėjimus galima suskirstyti į erdvinio pažinimo elementus, įskaitant erdvinę vizualizaciją, erdvinę orientaciją, erdvinį santykį, suvokimo greitį, regimąją atmintį ir pan. [42]. Erdvinį mąstymą galima apibrėžti ir kaip gebėjimą kurti, transformuoti gerai struktūruotus vizualinius vaizdus – tai yra svarbus veiksnys ir vienas esminių gebėjimų, susijusių su akademinė sėkme gamtos mokslų, technologijų, inžinerijos ir matematikos dalykų srityse [43]. Taigi erdvinių gebėjimų ar mąstymo ugdymas yra susijęs su erdviu vaizdu, kurį svarbu suprasti ir gebėti vizualizuoti, todėl erdvinių objektų kūrimas ir vizualizavimas yra svarbus erdvinio mąstymo ugdymo veiksnys. Visgi literatūroje randama ir tokių tyrimų, kurie nustatė, jog trimačiai modeliai gali sukelti kognityvinės perkrovos problemų, kuomet mokymosi aplinka sukuria didelę pažinimo apkrovą [44]. Tai leidžia suprasti, jog norint ugdyti erdvinį mąstymą, svarbu analizuoti, kaip mokymosi metu informaciją priima besimokantieji ir kaip jie reaguoja į erdvinius objektus. Svarbu paminėti, jog mokslinėje literatūroje yra nustatyta, kad tiek formaliame, tiek neformaliame ugdyme nėra pakankamai dėmesio skiriama erdviniam mąstymui [45].

STEAM – tai yra integruotas gamtos mokslų, technologijų, inžinerijos, menų ir matematikos ugdymas, kuris įkvepia vaikus kūrybiškai veiklai, tyrinėjimams, formuoja kritinį, kūrybinį mąstymą, sudaro galimybes patyriminės veiklos plėtotei, iššūkiams grindžiamam mokymuisi – visa tai skatina norą mokytis ir įsitraukti į mokymosi veiklas [46]. Lietuvos švietimo įstaigose ar mokymo centruose taip pat dažnai minimas STEAM ugdymas: įrengiamos STEAM laboratorijos, skiriamas finansavimas Lietuvos STEAM atviros prieigos centrums, ikimokyklinio amžiaus vaikams kuriami neformalaus ugdymo STEAM būreliai ir pan. [47]. STEAM ugdymas ir erdviniai įgūdžiai, kurie leidžia ieškoti regėjimo laukų, vizualiai suprasti objektų formą ir padėti

bei protiškai manipuluoti reprezentacijomis, yra neabejotinai susiję, nes, pavyzdžiui, studijuojantys chemiją turi išmokti trimatę molekulių sandarą, studijuojantys geologiją – suprasti pagrindines žemės geomorfologinių ypatybių struktūras, vizualizuoti vidines Žemės struktūras, suprasti uolienų ir mineralų cheminę sudėtį ir kt. [27]. Kadangi STEAM ugdomieji dalykai yra susiję ir su gamta, o gamtoje ne visas medžiagas ar organizmus galima pamatyti realioje aplinkoje, erdviųjų objektų naudojimas padeda lavinti erdvinį mąstymą. Erdviniai įgūdžiai yra glaudžiai susiję ir su akademiniais pasiekimais, ypač mokantis apie mikrostruktūras, tokias kaip atomai ir molekulės, bet tai yra sunki užduotis ne tik mokyklinio amžiaus žmonėms, bet ir studentams – praktinėse užduotyse mokiniai ir studentai turėtų gebėti įsivaizduoti, kaip struktūra atrodytų iš skirtingų perspektyvų, protiškai manipuluoti objektais ir vizualizuoti tokių operacijų, kaip sukimasis ir atspindys, poveikį objektui [27]. Tai leidžia pagrįsti, jog erdvės suvokimas yra svarbus gebėjimas, padedantis geriau suprasti aplinką.

Tačiau galima ne tik naudoti erdvinis objektų modelius, bet ir animacijas. Mokymo procese naudojant animacijas ugdomi mokiniai, turintys žemesnius erdvės suvokimo gebėjimus, nes animacijos padeda aiškiai atvaizduoti vaizdo komponentus ir jų santykį bei sumažina protinio manipuliavimo poreikį [48]. Taip pat dažnai samprotaujama, jog vienas geriausių būdų mokytis yra per patirtį, liečiant ir tyrinėjant realius objektus gamtoje, tačiau ne visais atvejais tai yra įmanoma, pavyzdžiui, dėl objektų paplitimo tam tikrose vietovėse, jų dydžio ir kitų problemų. Net jei galima mokymą organizuoti lauke tyrinėjant realius objektus, gali kilti logistinių, finansinių ir fizinių problemų, pavyzdžiui, žmonėms, turintiems fizinę ar kitokią negalią, todėl erdviniai objektų modeliai tampa veiksmingu metodu ugdyti erdvinis gebėjimus, mokytis, pažinti aplinką ir suteikti teigiamą mokymosi patirtį [45]. Taigi erdviniai objektai bei animacijos gali padėti perteikti mokomąją medžiagą kiek įmanoma artimiau realiems objektams.

Erdviųjų objektų modeliavimas ir trimatės erdvės kūrimo procesas padeda mokiniams gauti ir priimti informaciją per patirtį realiose ar virtualiose situacijose ir tai yra daug efektyviau nei mokantis per netiesioginę patirtį ir per kitų žmonių aprašymus ar reprezentacijas – 3D aplinka suteikia mokiniams mokymosi priemonės, artimas realiam pasauliui, ir tai yra didelis pranašumas mokymosi efektyvumui [9]. Mokiniai, naudodami erdvinis objektus mokymosi procese, teigia, jog tai padeda lengviau suprasti mokymosi turinį ir padeda geriau spręsti užduotis, nes yra daug lengviau analizuoti ir suprasti vaizduojamus elementus, tačiau minimi ir neigiami aspektai – erdviųjų modelių vizualizavimas užtrunka daug laiko, kartais nepavyksta jų tinkamai sukurti [49]. Pastebima, kad mokiniams sunku mokytis išspręsti užduotis, kuriose reikalingi vizualizacijos įgūdžiai, todėl svarbu mokėti kurti dizainus su funkcinėmis savybėmis trijose erdvinėse dimensijose ( $x$ ,  $y$  ir  $z$ ) ir nors ortofotografinės programos atrodo mokiniams sudėtingos,

bet kurdami erdvinius modelius, nuo paprasčiausių iki sudėtingų, mokiniai įgyja geometrinių ir trigonometrinių įgūdžių ir tokiu būdu lavina erdvinį suvokimą [50]. Taigi galima daryti prielaidą, jog 3D modeliavimo įrankiai suteikia galimybę ne tik kurti erdvinius modelius, bet ir mokytis geometriją, gilinti žinias tiksliuosiuose moksluose.

## 2.2. Erdvinių objektų naudojimas švietime

Erdvinių objektų naudojimas ugdymo turinyje padeda pedagogams. Trimačiai modeliai pedagogams padeda lengviau perteikti mokslines teorijas, nes jie suteikia mokiniams interaktyvią įtraukimo patirtį – mokytojai ir mokiniai gali lengvai valdyti modelius, žiūrėti į jų struktūras, pavyzdžiui, mokantis biologiją, 3D modeliai gali padėti suprasti molekulinės ir anatomines struktūras, gyvūnų vidines struktūras ir pan. [4]. Taip pat sudėtingas ir abstrakčias temas jauno amžiaus žmonėms yra lengviau suprasti kai tai yra pristatoma vizualiai, nes vaizdai pagerina gebėjimą suprasti kaip kažkas veikia ar leidžia geriau suprasti atskiras dalis, todėl į ugdymo turinį įtraukus 3D elementus, mokytojai gali lengviau sudominti net tuos mokinius, kurie nenori mokytis [51]. Kaip žinia, Lietuvoje mokiniai susiduria su didele motyvacijos stoka, kuomet reikia mokytis. Siekiant sudominti mokinius, o ypač paauglius, svarbu naudoti informacinės komunikacinės technologijas ir tokias mokomąsias priemones, kurias mokiniai galėtų patys išbandyti arba tiesiog susipažinti su jų veikimo principu [52]. Tai padeda didinti mokinių motyvaciją mokytis. Tačiau svarbu paminėti, jog 3D modeliavimo mokymasis yra sudėtingas procesas dėl kelių priežasčių: kai yra pasakojama, kaip kurti 3D modelį, mokiniai pradeda nuobodžiauti ir blaškytis, o kiti nesugeba padaryti visų žingsnių laiku ir ima atsilikti, nes, pavyzdžiui, negeba naudotis programinės įrangos naudotojo sąsaja [50]. Šioje vietoje tampa svarbus ir erdvinis mąstymas, sugebėjimas suprasti objekto struktūrą. Pagrindinius iššūkius, susijusius su 3D modeliavimu, galima suskirstyti į dvi rūšis – erdviniai įgūdžiai ir programinės įrangos sąsaja [50]:

- Perspektyvos keitimas – tai gebėjimas įsivaizduoti, kaip objektas atrodo iš skirtingų perspektyvų, todėl mokiniai, kurdami 3D modelius, susiduria su iššūkiu sukurti trimatį objektą, nes fokusuojasi į dvimatį vaizdą. Šią problemą padeda išspręsti objekto priartinimas ir atitolinimas, tokiu būdu yra lengviau identifikuojamos dizaino klaidos.
- Loginis 3D modelio formavimas – tai apima gebėjimą sujungti objektus, kad būtų sukuriama sudėtingesnės formos ar vizualizacijos ir mintyse jos būtų transformuojamos iš dvimačio eskizo į trimatį arba atvirkščiai. Mokiniais, naudojantis trimačio modeliavimo



programine įranga, gali būti sunku suprasti, kokias figūras reikia pasirinkti, kad būtų sukuriamas modelis ir kaip jis atrodys.

- Loginė rotacija – tai dar vienas erdvinio mąstymo įgūdžių iššūkis, kuri reiškia gebėjimą pasukti modelį tam tikru kampu pagal arba prieš laikrodžio rodyklę. Mokiniai dažnai to padaryti negali, jie fiziškai bando orientuoti savo galvą, kad išsiaiškintų, kaip logiškai pasukti modelį.
- Programinės įrangos sąsaja. Pavyzdžiui, „Tinkercad“ naudotojo sąsaja yra pritaikyta vaikams, tačiau mokiniams ji dažnai yra per daug sudėtinga: sunku suprasti, kaip grupuoti figūras, kaip sukurti sudėtingas formas, nežino, kaip padidinti objektų aukštį, sunku keisti objektų dydį.

Taigi naudojant erdvinio modeliavimo užduotis mokymo procese, labai svarbu, kad pedagogas suprastų programinę įrangą, kuria naudojasi, gebėtų padėti ir paaiškinti mokiniams kaip tinkamai ja naudotis, kad mokiniai būtų susidomėję ir nuosekliai mokytųsi kurti erdvinius modelius. Tai padės kompleksiskai įgyti ne tik modeliavimo įgūdžių, bet ugdyt erdvinį mąstymą, padės suprasti geometriją, taip pat prisidės prie tarpdisciplininio lavinimo ir gebėjimo spręsti problemas bei jas vizualizuoti.

Naudodami skaitmeninius 3D modelius mokiniai gali sąveikauti su mokymo turiniu taip, kaip anksčiau to nebuvo galima padaryti – tai padeda pagerinti mokinių supratimą apie mokslines struktūras ir procesus [43]. Be to, turinys, paremtas erdviniais objektų modeliais, kuris ugdo erdvinius gebėjimus, yra perspektyvus būdas motyvuoti mokinius studijuoti STEAM dalykus [43]. Visgi 3D modelių naudojimas ne visuomet gali pagerinti mokinių įsitraukimą į ugdymo procesą ir faktinių bei erdvinį žinių įgijimą, todėl kai kurie tyrėjai daro išvadą, jog 3D technologijų naudojimas mokymo procese padeda patobulinti tik asmeninį mokymąsi [53]. Yra pastebėta ir kitų nuogaštavimų dėl 3D modeliavimo įrankių naudojimo. Kuriant erdvinius objektų modelius gali išsivystyti priklausomybė, kurioje gali kurti atskirą idealų gyvenimą, todėl svarbu riboti laiką naudojant 3D modeliavimo technologijas ir tuo atveju, kai erdvinį objektų modeliavimas yra dažniau naudojamas nei piešimas ranka, gali suprastėti kūrybinio mąstymo gebėjimai [54]. Tačiau išanalizavus literatūrą galima teigti, jog dažniau yra kalbama apie erdvinį objektų naudojimo privalumus nei trūkumus.

Siekiant nustatyti, ar Lietuvoje yra naudojami erdviniai objektų modeliai ugdymo procese, buvo atliekama mokslinių publikacijų analizė. Lietuvoje nėra atlikta daug tyrimų apie erdvinį objektų panaudojimą ugdymo procese, dažniausiai apie erdvinius modelius ir jų modeliavimą rašoma straipsniuose apie virtualią realybę, papildytos realybės technologijas ir pan. Papildytos realybės technologija – tai technologija, sujungianti virtualią informaciją su realiu

pasauliu, naudojant technines priemones, tokias kaip 3D modeliavimą ir kitas, kad po modeliavimo proceso realiame pasaulyje būtų atvaizduojami kompiuteriu sukurta virtuali informacija, kuri pagerina realaus pasaulio vaizdą [55]. Virtuali realybė – tai įtraukianti ir interaktyvi 3D aplinka sukurta kompiuteriu, kurioje naudotojas gali naršyti ir sąveikauti, kad realiuoju laiku būtų imituojama dalis arba visi naudotojo pojūčiai [56]. Taigi šios sąvokos yra skirtingos reikšmės, tačiau tiek papildytos realybės technologijoje, tiek virtualioje realybėje yra būtini erdviniai objektų modeliai. Lietuvoje buvo analizuotos virtualaus turizmo technologijos, prie kurių priskiriamos ir 3D animacijos: pasitelkiant virtualios realybės technologijas, galima stebėti 3D aplinką, susijusią su turizmu ar turistinėmis vietomis, besimokantys asmenys, praktikuodami su 3D modeliais, kurie sukurti remiantis virtualios realybės technologija ir įrenginiais, gali susipažinti su virtualia aplinka [57].

Tyrinėtas ir papildytosios realybės technologijos taikymas švietimo procese. 2021 m. Indrės Stundžiaitės ir Vidos Davidavičienės atliktame tyrime [1] nustatyta, jog tik 3,7 proc. Lietuvos bendrojo ugdymo mokyklų aktyviai taiko papildytosios realybės technologiją pamokų metu, 16 proc. mokyklų yra taikiusios keletą kartų tam tikrų pamokų metu, o 80,3 proc. Lietuvos mokyklų nėra niekada taikiusios šios technologijos – visgi nemaža dalis mokyklų taiko kitas inovacijas pamokų metu, todėl tikimasi, jog bėgant laikui papildytos realybės technologijos bus taikomos platesniu mastu. Tame pačiame tyrime nustatyta, jog papildytos realybės technologijų taikymas pamokų metu labiausiai skatina sutelkti mokinių dėmesį bei padidina įsitraukimą į mokomojo dalyko medžiagą, didinama motyvacija ir lavinama vaizduotė bei atmintis, taip pat pastebėti ir geresni mokinių rezultatai [1]. Nustatytas ir svarbus aspektas apie pedagogams trūkstančių erdvinų objektų modeliavimo žinių. Pedagogai susiduria su problema ugdyme naudoti objektais su papildytos realybės funkcija, nes jiems stinga technologinių žinių ir gebėjimų, reikalingų 3D objektų ar aplikacijų kūrimui, trūksta didaktinių gebėjimų, padedančių technologijų naudojimą įtraukti į kasdienes mokinių veiklas, nes nėra iki galo suprantama, kokie gebėjimai yra plėtojami [2]. Lietuvoje yra naudojamos ir knygos su papildytos realybės technologija: „Lietuvos etnografinių regionų lopšinė“ ir „Pasaulio pasakos“ knygose vaikai, įsijungę programėle, skirtą išmaniesiems įrenginiams, gali stebėti knygos personažus 3D formatu ir tokių knygų naudojimas ikimokyklinio amžiaus vaikams gali skatinti jų domėjimąsi knyga bei skaitymu, ugdyti savarankiškumą [2]. Taigi erdvinų objektų naudojimas Lietuvoje yra nežymus, bet technologijų plėtra ir noras sudominti mokinius mokymosi medžiaga skatina technologijų paiešką, kūrimo ir pritaikymo galimybes.

Visgi neabejotinai svarbu svarstant naudoti erdvinų objektų modeliavimo programinę įrangą, įsivertinti ugdymo įstaigos galimybes skirti pakankamai finansų ir įvertinti

mokymosi trukmę ir kokybę. Siūloma atsižvelgti į kelis aspektus, kuomet pedagogai siekia įterpti 3D modeliavimą ar 3D spausdinimą ugdymo procese [58]:

- Programinė įranga ir techninė įranga: svarbu įvertinti poreikius ir biudžetą, kurį galima skirti – nors yra atvirojo kodo nemokamų modeliavimo įrankių, svarbu atkreipti dėmesį, jog bus reikalinga papildoma mokomoji medžiaga mokiniams, o tam gali būti reikalingos lėšos, taip pat svarbu atsižvelgti į mokinių informacinių technologijų žinias ir prirėikus investuoti finansinius ir žmogiškuosius išteklius į jų tobulinimą.
- Klasės dydis ir struktūra: rekomenduojama šia veikla užsiimti su kaip įmanoma mažesne mokinių grupe ir skirti kuo daugiau laiko erdvinių objektų modeliavimui, nes tai dinamiška aplinka, skatinanti kūrybiškumą, susikaupimą ir pokalbius su kitais mokiniais – mokymasis iš bendraamžių yra geras būdas sumažinti pedagogams našta pamokų metu ir tuo pačiu skatina mokinius tyrinėti ir padėti vieni kitiems.
- Projektai ir užduotys: svarbu naudoti diferencijuotas užduotis, kad vieni atliktų papildomas užduotis ir tobulintų objektų modeliavimo įgūdžius, o kiti – turėtų laiko atlikti paprastesnes užduotis ir mokyti modeliavimo.

3D modelių ir virtualios realybės įrankių naudojimas didina mokinių susidomėjimą ir motyvaciją – tai vienas pagrindinių veiksnių, skatinančių mokymosi procesą, todėl trimačių modelių naudojimas, pavyzdžiui, zoologijos mokyme, gali sustiprinti mokinių motyvaciją ir tai gali padėti sukurti dinamiškesnius ir interaktyvesnius mokymosi užsiėmimus bei padidinti mokinių susidomėjimą, pasitenkinimą ir įsitraukimą [4]. Taip pat biologijos mokyme yra aktyviai naudojama papildytos realybės technologija. Biologijos mokslas yra sudėtingas, nes yra daug teorijų, koncepcijų ir abstrakčių procesų, dažniausiai dėstoma naudojant tradicines mokymo priemones (lentą, kreidą ir pan.), kurios nėra veiksmingos, vadovėliai perkrauti tekstais ir trūksta vizualizacijų, norint įsiminti faktus, reikia geros atminties ir disciplinos, todėl papildytos realybės technologijos yra svarbios mokymosi procese, o jų pagalba biologijos mokymasis paverčiamas gyvybinga mokymosi patirtimi [59].

Pedagogai, bandydami pritaikyti erdvinio modeliavimo programas ugdyme, kurios susijusios su STEAM dalykais, pabrėžia, jog erdvinio objektų modeliavimui reikalingos bent jau pagrindinės matematikos žinios, pavyzdžiui, geometrijos, kurios turi įtakos mokinių gebėjimui manipuliuoti plokštuma, ir algebros, kurios daro įtaką mokinių gebėjimui suprasti santykinis objektų dydžius [60]. Mokėjimas dirbti su trupmenomis padeda mokiniams suprasti, iš kokių ir kiek dalių reikia padaryti modelį [60]. Dėl šių ir kitų priežasčių literatūroje yra nagrinėjami ir efektyvūs erdvinio modelių panaudojimo būdai. Keturi efektyvaus 3D turinio principai išsiaiškinti, atlikus biologijos mokytojų apklausą: dinamiškas – 3D modelis turėtų pagerinti mokymą, todėl jis

turėtų būti animuotas; erdvinis – sustiprina numanomą 3D turinio prigimtį, tai yra objektus galima interaktyviai tyrinėti trimatėje erdvėje; informatyvus – prie 3D modelių turėtų būti pridedama informacinė tekstinė medžiaga; autentiškas – turinys turėtų būti prieinamas realistiškesnėje ir įtraukiančioje situacijoje [43]. Dažniausiai biologijoje žinios pirmiausiai perduodamos vizualiai, t. y. dvimačiu vaizdu, tačiau abstrakčios informacijos atveju 3D modeliai leidžia lavinti vizualinius erdvinius gebėjimus ir pagerinti supratimą [61]. Tai reiškia, jog akimi nematomus objektus ar procesus geriausiai pavaizduoti erdviniais objektais. Todėl mokiniai labai teigiamai vertina 3D modeliavimą ir 3D spausdinimą – jų nuomone, mokymosi būdas, kai, pavyzdžiui, apie ląstelės sandarą yra mokomasi kuriant erdvinius modelius ir jie yra atspausdinami, padėjo įgyti daugiau praktinių žinių, ugdė erdvinius gebėjimus ir vizualizacijos įgūdžius, padidino tarpusavio bendravimą ir bendradarbiavimą bei sukūrė lygiaverčio dalyvavimo atmosferą mokymosi procese [62]. Kitame tyrime mokiniai pabrėžė kitas erdvinių modelių kūrimo ir naudojimo ugdyme privalumus: naudojama programinė įranga turi būti įdomi ir paprasta naudoti, leidžianti sukurti bet koki norimą dizainą pagal individualius mokinių poreikius [63]. Siekiant supaprastinti erdvinių modelių kūrimo procesą su programine įranga, galima mokiniams pasiūlyti pirmiausia nusipiešti eskizą. Eskizais pagrįstas modeliavimas supaprastina modeliavimo procesą, todėl mokiniai gali lengviau kurti erdvinius objektų modelius ir taip įdomiau ir praktiškiau išnaudojama 3D modeliavimo programinė įranga [64].

Atkreiptinas dėmesys, jog gamtamokslinio ugdymo programoje yra nurodyta, jog mokantis gamtos mokslų galima integruoti ir kitas ugdymo turinio sritis, tarp kurių yra ir informacinės technologijos – integruoto mokymosi metu mokoma naudoti informacinių komunikacinių technologijų teikiamas galimybes ieškant, apibendrinant ir pateikiant gamtamokslinę informaciją, apdorojant tyrimų, bandymų ir stebėjimų duomenis, tiriant ar modeliuojant gamtinius reiškinius, taip pat viena iš kompetencijų, kuri yra ugdoma mokantis apie gamtą yra skaitmeninė kompetencija, kuri reiškia, jog pamokų metu turi būti pasitelkiamo modeliavimo priemonės interaktyvioms simuliacijoms ir kitos priemonės [65]. Taip pat informatikos ugdymo bendrojoje programoje yra ugdoma skaitmeninė kompetencija, kuri yra susijusi su mokinių naudojamomis skaitmeninėmis priemonėmis, siekiant veiksmingo ir konstruktyvaus mokymo, ir kūrybiškumo kompetencija, kuomet skatinama integruoti informatiką į gamtos mokslus ir ugdyti mokinių poreikį kurti produktus ir kūrybiškumą pritaikyti visam veiklos procesui [3]. Todėl į gamtos pažinimo mokymo turinį įtraukus trimačių objektų modelių kūrimo procesą, būtų ugdomos programoje numatytos kompetencijos ir efektyviau siekiamas tikslas integruoti kitų dalykų ugdymo turinį.

### 3. 3D MODELIAVIMO PROGRAMINĖS ĮRANGOS PALYGINIMAS

Šiame skyriuje pristatomas atliktas 3D modeliavimo programinės įrangos palyginimo tyrimas, kuriame pagal išskirtus kriterijus atliktas „Tinkercad“, „Sketchup“ ir „Blender“ programų palyginimas kuriant tipinės ląstelės sandaros erdvinį modelį.

#### 3.1. Tyrimo metodologija

**Tyrimo tikslas** – sukurti tipinės ląstelės sandaros erdvinį modelį ir palyginti tris skirtingas 3D modeliavimo programas.

**Tyrimo uždaviniai:**

1. Išskirti funkcionalumo ir panaudojamumo kriterijus, skirtus 3D modeliavimo programinės įrangos palyginimui atlikti.
2. Sukurti erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį trijose 3D modeliavimo programose.
3. Palyginti 3D modeliavimo programinę įrangą pagal išskirtus funkcionalumo ir panaudojamumo kriterijus.

**Tyrimo objektas** – erdvinės tipinės ląstelės sandaros modelių kūrimas 3D modeliavimo programomis: „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“.

Šiame darbe lyginamas erdvinio modelio kūrimas trimis skirtingais įrankiais:

- 1) „Tinkercad“ 3D modeliavimo programa, nes įgyvendinant projektą „Švietimui ir gerovei skirtų šeimos skaitmeninių veiklų centrų sukūrimas Rytų Aukštaitijoje ir Pietų Latgaloje“ buvo sukurta metodinė priemonė „3D projektavimas ir programavimas. Teorija ir praktika“. Leidinyje aprašoma kaip dirbti su programa ir pateikiama projektų kūrimo pavyzdžių [28];
- 2) „SketchUp“ programa, nes 2022 m. informatikos bendrosios programos įgyvendinimo rekomendacijose IV gimnazijos klasės mokiniams siūloma naudotis šia 3D modeliavimo sistema [66];
- 3) „Blender“, nes tai populiarus ir modernus 3D modeliavimo įrankis, kurį renkasi daugelis naudotojų [67].

Programinėje įrangoje kuriamas tipinės ląstelės sandaros, kurią sudaro ląstelės membrana, branduolys ir mitochondrija, modelis, nes šias tris dalis galima rasti tiek protistų, tiek eukariotų,

tai yra grybų, augalų ir gyvūnų ląstelėse [68]. Taip pat gamtos moksle mokiniai nuosekliai kiekvienais metais yra mokomi apie ląsteles, tik mokymo medžiagoje būna įtraukiama vis daugiau ląstelės struktūros elementų, todėl sukūrus tipinės ląstelės sandaros modelį, jį galima papildyti ar panaudoti kuriant kitas panašios struktūros ląsteles ir dėl šios priežasties modeliavimo procesas užtruktų trumpiau nei pradėdant kurti ląstelę nuo pat pradžių. Tai padėtų sutaupyti laiką, kuris mokymo procese yra ribotas.

**Tyrimo metodai** – daugiakampių modeliavimas, lyginamoji analizė.

Pasirinktas daugiakampių modeliavimas, nes tai yra veiksmingas trimačio objekto atvaizdavimo būdas, plačiai naudojamas kompiuterinėje grafikoje [69]. Taip pat tai yra viena pagrindinių 3D grafikos technologijų, kurio metu yra sukuriamas erdvinis objektas panaudojant daugiakampio tinklelio ir dviejų dimensijų tekstūros derinį [69].

Atliekama lyginamoji analizė, kad būtų galima įvertinti 3D modeliavimo programinės įrangos erdvinį modelių kūrimo galimybes ir panaudojamumą. Lyginamojoje analizėje yra lyginami pasirinkti atributai, kokybiniame palyginime naudojama matavimo skalė, tokia kaip daugiau, mažiau, geriau, blogiau ir pan., tuomet lyginamam objektui galima priskirti kokybinę charakteristiką, o kiekybiniame palyginime lyginami kiekybiniai rodikliai tarp skirtingų objektų [70].

Siekiant išskirti 3D modeliavimo programinės įrangos lyginamosios analizės kriterijus, išanalizuoti anksčiau mokslininkų atlikti panašūs tyrimai. 2019 metais atliktas „Blender“ ir „3D Studio Max“ tyrimas, kuriame buvo išskirti kriterijai atsižvelgiant į 4 pagrindinius modeliavimo metodus: primityvių figūrų modeliavimas, skulptūravimas, tinklelio simuliacijos, daugiakampių modeliavimas [71]. Tyrime buvo nustatyti įrankių privalumai bei trūkumai ir šie rezultatai gali būti panaudoti rengiant instrukcijas studentams kaip pasirinkti modeliavimo programą, atsižvelgiant į jų modelio kūrimo tikslus ir pasirinktą metodą, taip pat gali būti parengtos instrukcijos, kaip pašalinti programų trūkumus [71]. Tie patys erdvinio modeliavimo įrankiai buvo palyginti ir kitame tyrime, tik buvo tiriamos kokybės metrikos, kurias vertino tiriamųjų grupė, siekdami nustatyti „Blender“ ir „3D Studio Max“ kokybę [72]. Atlikus tyrimą nustatyta, jog abiejų programų kokybės vertės yra vidutinės, tačiau „Blender“ naudojimas yra paprastesnis, palyginus su „3D Studio Max“ programine įranga [72]. Taip pat analizuoti ir „Blender“ bei „SketchUp“ programų panašumai bei skirtumai, nagrinėjant grafinę naudotojo sąsają, primityvias piešimo figūras ir nustatyta, jog „Blender“ turi pranašumą, kuomet yra reikalingi apšvietimo efektai ir 3D animacija, o „SketchUp“ geriau naudoti, jei yra kuriami inžineriniai ir architektūriniai projektai [24].

Straipsnyje apie panaudojamumo principus ir geriausias praktikas sudaryta 3D modeliavimo programinės įrangos įvertinimo forma, kurioje išsamiai aprašomi meniu struktūros, peržiūros ir naršymo, pagalbos skilties, modeliavimo, parinkties, įrankių juostos ir piešimo vertinimo kriterijai, pateikti klausimų forma [73]. Taip pat 3D modeliavimo programinėje įrangoje svarbu, kad ji būtų intuityviai valdoma, t. y. naudotojo sąsaja turi būti paprasta ir nereikalaujanti jokių techninių žinių, programinė įranga turi nereikalauti ypatingo kruopštumo atliekant piešimo ir braižymo funkcijas, taip pat svarbu, kad objekto modeliavimo trukmė nebūtų ilga [74].

1 lentelėje pateikiami 3D modeliavimo programinės įrangos palyginimo kriterijai, kurie išskirti iš anksčiau mokslininkų atliktų tyrimų ([24], [71], [72], [73], [74]).

**1 lentelė.** 3D modeliavimo programinės įrangos vertinimo kriterijai (sudaryta autoriaus)

Nr.	Programinės įrangos vertinimo kriterijai	
	Funkcionalumas	Panaudojamumas
1.	Informacijos apie daugiakampius peržiūra	Kiek veiksmų reikia atlikti, norint: a) priartinti figūrą; b) pasukti figūrą; c) pažymėti modelio zonas?
2.	Galimybė peržiūrėti modelį iš skirtingų pusių	Kokia yra bendra meniu išdėstymo struktūra?
3.	Primityvių objektų kiekis	Kuo skiriasi objekto kūrimo ir objekto modifikavimo meniu struktūra?
4.	Primityvių objektų kūrimo savybės	Ar yra skirtingi meniu režimai, kurie suteikia skirtingą meniu išdėstymą? Jei taip, kokie jie?
5.	Objekto ir jo dalių dydžių keitimas	Ar programinė įranga turi numatytuosius peržiūros režimus? Jei taip, kokie jie?
6.	Objekto detalių vietos keitimas	Ar galima pridėti asmeninį peržiūros režimą? Kaip?
7.	Simetrinių objektų kūrimas	Ar programinėje įrangoje yra spartieji klavišai?
8.	Objekto viršūnių žymėjimas	Kaip peržiūros režime galima peržiūrėti modelio sluoksnius?
9.	Galimybė pasukti objektų detales	Kokia yra bendra pagalbos skilties išdėstymo ir formos struktūra?

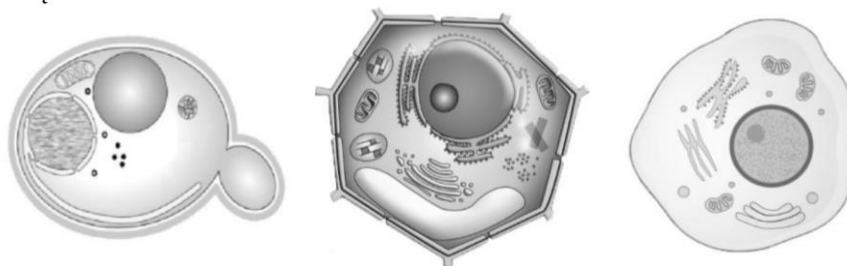
10.	Galimybė naudoti modifikatorius	Ar pagalbos skiltis yra išskirstyta į specifines dalis?
11.	Sferinių paviršių kūrimas	Ar įmanoma koreguoti įkeltą modelį? Kuo skiriasi koregavimas nuo programinėje įrangoje kuriamo modelio?
12.	Galimybė pakeisti sukurtus daugiakampius	Ką daro programinė įranga, kai pažymimi keli modelio elementai?
13.	Galimybė nugludinti objektus	Ar programinė įranga suteikia įrankių juostos koregavimo galimybę? Kaip?
14.	Galimybė animuoti modelį	Ar yra skirtingų režimų įrankių juostos peržiūrai? Kokie yra skirtumai?
15.	Programos modeliavimo ir funkcijų veikimo sparta	Ar programinė įranga palaiko automatinį piešinių kūrimą? Kaip jie yra sukuriami?
16.	Galimybė užrašyti tekstą prie modelio	Ar yra keičiamas modelio mastelis, jo matmenys? Koku būdu?
17.	Skirtingų modelio failų tipų eksportavimas	Ar yra kuriami ir koreguojami šablonai? Kaip?
18.	Operacinės sistemos, kuriose veikia programinė įranga	Ar programinė įranga suteikia grįžtamąjį ryšį apie naudotojo padarytas klaidas? Kaip?

Pagal išskirtus kriterijus analizuojamos 3D modeliavimo programos, siekiant nustatyti, kurią programinę įrangą yra patogiau naudoti (ang. ease of use) kuriant tipinės ląstelės sandaros modelį. Naudojimo patogumas 3D programinėje įrangoje gali būti nustatomas lyginant kaip lengva pamatyti modelį ir valdyti peržiūros sritis, ar lengva padidinti, pasukti ir perkelti modelį, ar naudojami valdikliai yra intuityvūs [21]. Kaip minėta 2.2 skyriuje, ugdyme svarbu naudoti erdvinį objektų modeliavimą, nes vaizdai pagerina supratimą ir didina motyvaciją mokytis [51], bet svarbu, kad mokiniai gebėtų jomis naudotis [52]. Vienas iš svarbių aspektų be erdvinio suvokimo tampa paprastumas ir lengvumas, t. y. kaip paprasta ir lengva mokiniams naudotis programinės įrangos naudotojo sąsaja [50]. Todėl kuriant erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį ir analizuojant 3D modeliavimo programinę įrangą atkreipiamas dėmesys į tai, kaip patogų ją naudoti ir sukurti galutinį modelį.



## 3.2. Tyrimo rezultatai

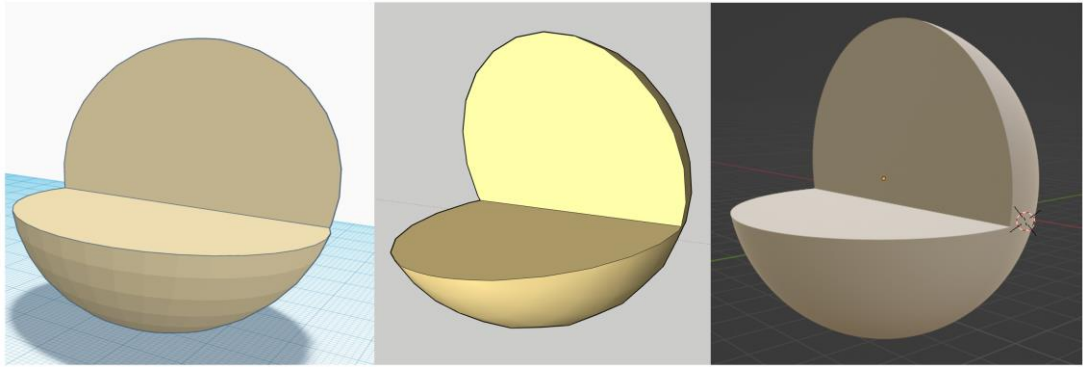
3D modeliavimo programinės įrangos vertinimas atliktas modeliuojant erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį. Prieš modeliavimą atlikta ląstelės sandaros analizė. Apžvelgus ląstelės sandarą vaizduojančius paveikslėlius internete ir laisvai prieinamoje mokomojoje medžiagoje, tipinės ląstelės sandaros modelis kuriamas remiantis paveikslėliais iš 2021 metų biologijos valstybinio egzamino užduoties [75]:



**1 pav.** Ląstelės sandara [75]

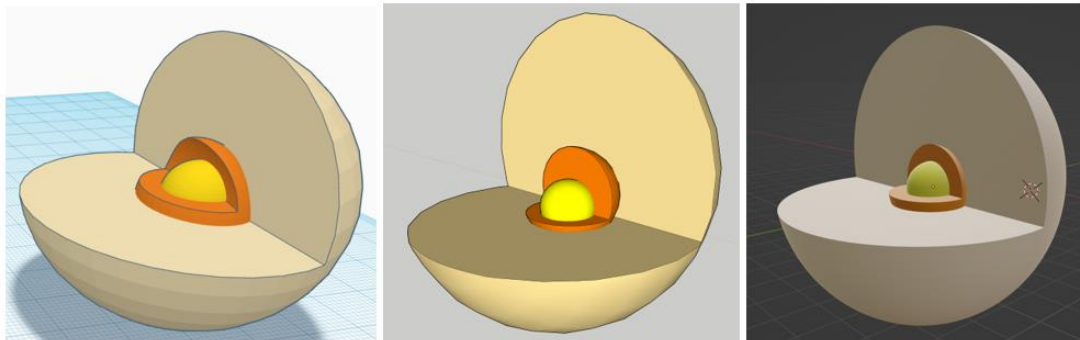
Nors ląstelių forma priklauso nuo jos funkcijos, pasirinkta dažniausiai vaizduojama rutulinė forma. Kaip matoma 1 paveikslėlyje, branduolys taip pat vaizduojamas apvalus, o mitochondrijos – pailgos su vidinėje struktūroje išsidėsčiusia spirale. Branduolys ląstelėje užima apie 10 proc. visos ląstelės tūrio [76], o mitochondrijų kiekis ląstelėje vyrauja nuo 1 000 iki 2 500 vienetų ir gali sudaryti iki 25 proc. ląstelės tūrio [77], todėl modelyje jos atvaizduojamos mažesnio dydžio už branduolį.

Tipinės ląstelės sandaros modelis buvo kuriamas šiose 3D modeliavimo programose: „Tinkercad“, „SketchUp“ 1.3 versijoje ir „Blender“ 3.5.1 versijoje. Pirmiausia programose buvo nupieštos sferos, kuriuose buvo išpjautas sferos segmentas (2 pav.). Kuriant ląstelės formą „Tinkercad“ ir „Blender“ programose buvo panaudotas primityvus objektas – sfera, o „SketchUp“ norint nupiešti sferą reikėjo panaudoti dvi apskiravimo figūras ir funkciją „Follow me“. Sferos segmento išpjovimo būdas skirtingas visose programose. „Tinkercad“ programinėje įrangoje buvo panaudotas tuščiaviduris kvadratas, kurį suliejus su sfera buvo išpjauta reikiama forma, „SketchUp“ programinėje įrangoje nupiešus kvadratą buvo panaudota funkcija „Intersect Faces with model“, o „Blender“ – nupiešus kvadratą panaudotas modifikatorius „Boolean“.



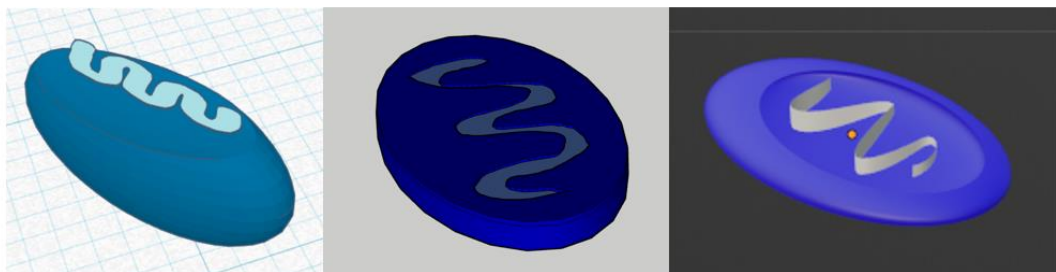
**2 pav.** Ląstelės forma „Tinkercad“ (kairėje), „SketchUp“ (viduryje) ir „Blender“ (dešinėje) programose (sudaryta autoriaus)

Panaudojant tas pačias funkcijas programose buvo nupiešti ir ląstelės branduoliai (3 pav.) ir jie buvo įterpti į ląstelės formą.



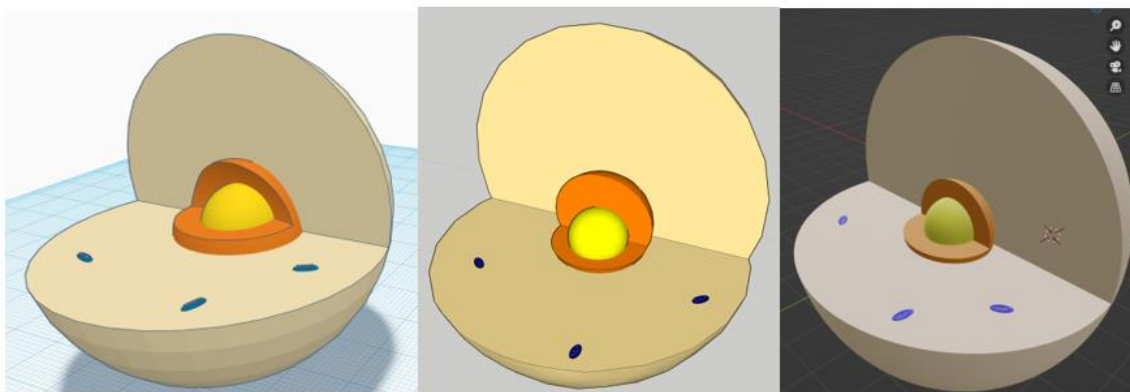
**3 pav.** Ląstelės branduolys „Tinkercad“ (kairėje), „SketchUp“ (viduryje) ir „Blender“ (dešinėje) programose (sudaryta autoriaus)

Mitochondrijos struktūra buvo kuriama pakeitus sferos formą į pailgą, taip pat buvo išpjautas segmentas bei įterpta spiralė, vaizduojanti mitochondrijos sandarą (4 pav). Spiralė buvo piešiama visose programose panaudojant rankinį piešimą.



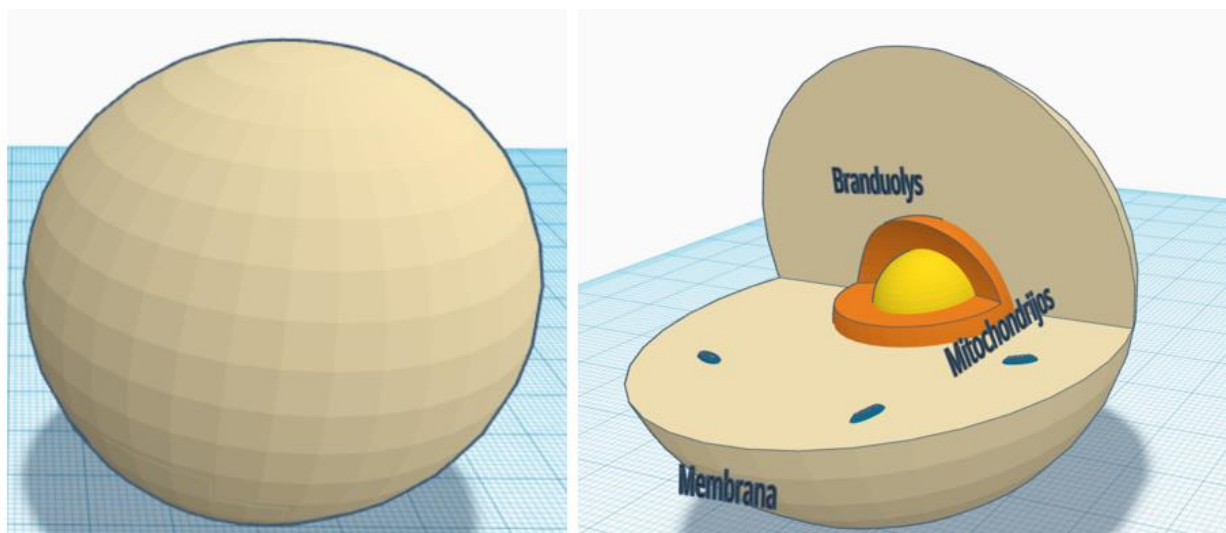
**4 pav.** Mitochondrija „Tinkercad“ (kairėje), „SketchUp“ (viduryje) ir „Blender“ (dešinėje) programose (sudaryta autoriaus)

Kadangi mitochondrijų ląstelėje gali būti tūkstantis ir daugiau, nuspręsta pavaizduoti tik po tris (5 pav.), kad norint tobulinti ir papildyti modelį liktų vietos kitoms ląstelės struktūroms atvaizduoti.

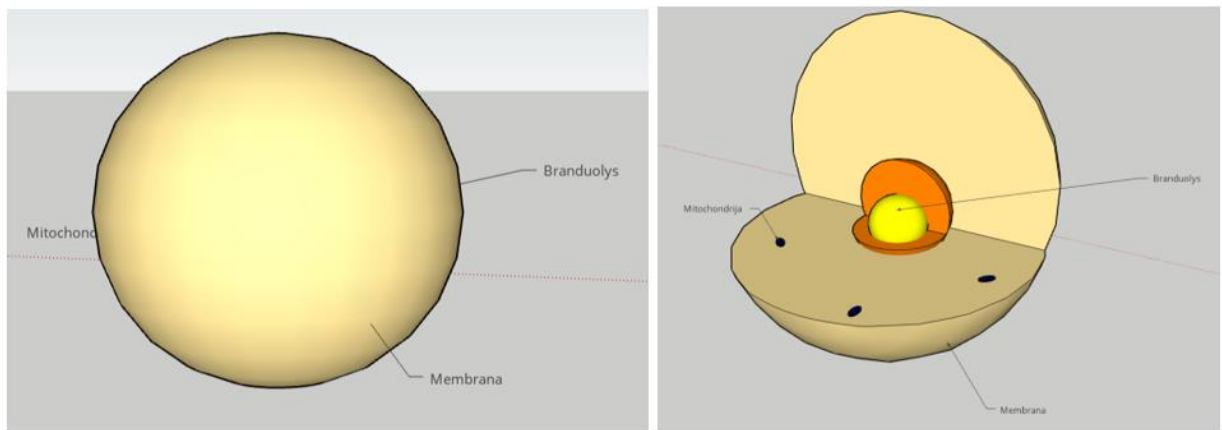


**5 pav.** Ląstelės modelis „Tinkercad“ (kairėje), „SketchUp“ (viduryje) ir „Blender“ (dešinėje) programose (sudaryta autoriaus)

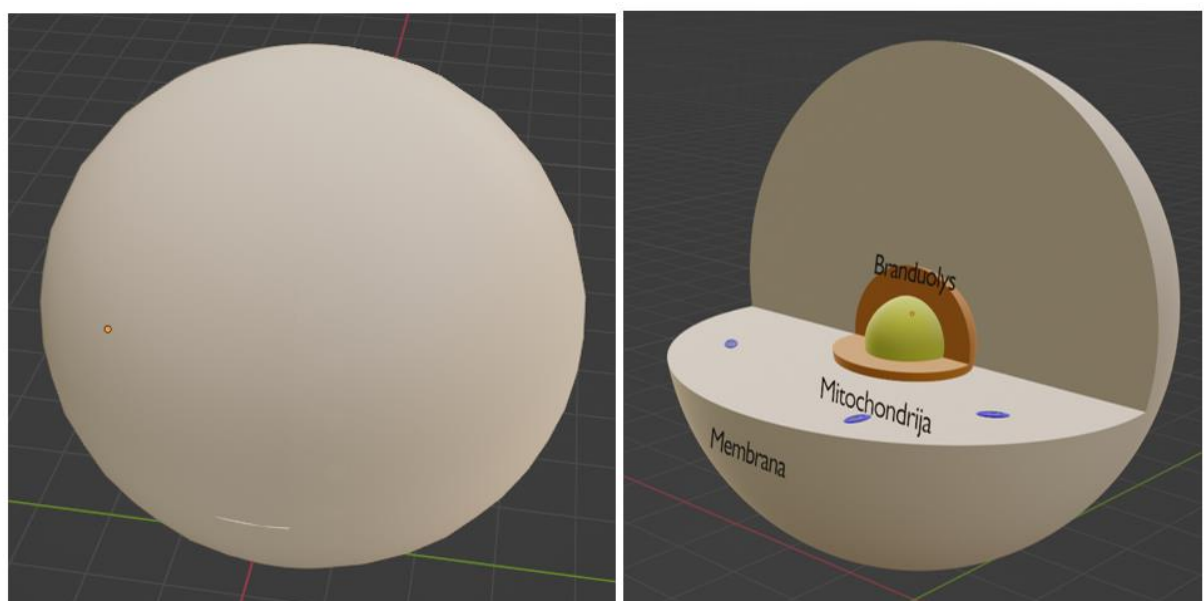
Sukūrus ląstelės modelį uždedami struktūrų pavadinimai – membrana, branduolys ir mitochondrija. „SketchUp“ programinėje įrangoje galima lengvai įterpti teksto lauką, automatiškai atsiranda rodyklė, kurią galima nutempti į reikiamą vietą. „Tinkercad“ ir „Blender“ programose galima įterpti 3D tekstą, kurį, jei norima padaryti lengvai perskaitomu ir informatyviu, reikia koreguoti, mažinti, pasitelkus funkcijas nutempti į reikiamą vietą. Taigi uždėjus ląstelę sudarančių komponentų pavadinimus gaunamas užbaigtas tipinės ląstelės sandaros erdvinis modelis „Tinkercad“ (6 pav.), „SketchUp“ (7 pav.) ir „Blender“ (8 pav.) programose.



**6 pav.** Galutinis tipinės ląstelės sandaros modelis „Tinkercad“ programoje



**7 pav.** Galutinis tipinės ląstelės sandaros modelis „SketchUp“ programoje



**8 pav.** Galutinis tipinės ląstelės sandaros modelis „Blender“ programoje.

Kiekvienoje programinėje įrangoje reikia panaudoti funkciją, skirtą paslėpti objekto elementus arba sluoksnius, kad būtų galima pamatyti tipinės ląstelės sandaros vidų.

Modelio kūrimo metu ir po modeliavimo buvo analizuojamos programos pagal palyginimo kriterijus. „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ programų analizė pateikta 2 lentelėje. Joje pateikiami vertinimo rezultatai pagal 36 kriterijus – 18 programinės įrangos funkcionalumo vertinimo kriterijų ir 18 – panaudojamumo vertinimo kriterijų.

**2 lentelė.** 3D modeliavimo programų „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ vertinimo rezultatai (sudaryta autoriaus)

Nr.	Programinės įrangos vertinimo kriterijai	3D modeliavimo programinė įranga		
		„Tinkercad“	„SketchUp“	„Blender“
<b>Funkcionalumo kriterijai</b>				
1.	Informacijos apie daugiakampius peržiūra	Paspaudus ant objekto yra pateikiama informacija apie objekto spalvą ir nugludinimą	Paspaudus ant objekto reikia pasirinkti mygtuką „Peržiūrėti informaciją“	Paspaudus ant objekto reikia pasirinkti mygtuką „Objekto parametrai“, „Medžiagos parametrai“, „Tekstūros parametrai“ ir kt.
2.	Galimybė peržiūrėti modelį iš skirtingų pusių	Yra, peržiūrima sukant kubą, kuris turi pažymėtas modelio puses: viršus, apačia, kairė, dešinė, modelio priekis, modelio galas	Yra, galima pasirinkti standartinius peržiūros režimus: iš viršaus, iš priekio, iš dešinės, iš galo, iš kairės, iš apačios ir „iso“, taip pat judinant pelytę	Yra, galima pasirinkti peržiūrėti x, y ir z ašis teigiama ar neigiama kryptimi
3.	Primityvių objektų kiekis	20 objektų, 1 funkcija, skirta nupiešti reikiamą objektą rankiniu būdu, dvi tuščiavidurių figūrų funkcijos	7 objektai, 1 funkcija, skirta nupiešti reikiamą objektą rankiniu būdu	25 objektai
4.	Primityvių objektų kūrimo savybės	Pasirinkus objektą ir jį padėjus ant plokštumos galima reguliuoti jo dydį, aukštį, pasukti objektą, nustatyti spalvą, pakeisti jo savybę į	Pasirinkus objektą, jį reikia nusipiešti ant plokštumos, tuomet su atitinkamomis funkcijomis galima	Pasirinkus objektą, jis atvaizduojamas erdvėje, tuomet su atitinkamomis funkcijomis galima

		tuščiavidurį, nustatyti nuožulnumą ir jį nugludinti	reguluoti jo dydį, aukštį, storį, plotį ir kt.	reguluoti jo dydį, aukštį, storį, plotį ir kt.
5.	Objekto ir jo dalių dydžių keitimas	Yra, paspaudus ant objekto galima reguliuoti dydį	Yra, paspaudus ant objekto ir pasirinkus funkciją „mastelis“	Yra, paspaudus ant objekto ir pasirinkus funkciją „mastelis“
6.	Objekto detalių vietos keitimas	Yra, pažymėjus ir judinant pelyte galima perkelti į kitą vietą	Yra, pažymėjus objektą ir pasirinkus funkciją „perkelti“, pelytės pagalba perkeliama į kitą vietą	Yra, pažymėjus objektą ir pasirinkus funkciją „judinti“ reikia paspausti ant objekto pavaizduotos ašies ir judinti tik atitinkamos ašies kryptimi
7.	Simetrinių objektų kūrimas	Galima nukopijuoti objektą ir įklijuoti	Galima nukopijuoti objektą ir įklijuoti	Galima nukopijuoti objektą ir įklijuoti
8.	Objekto viršūnių žymėjimas	Nėra	Nėra	Galimas
9.	Galimybė pasukti objektų detales	Yra, prie pažymėtos figūros galima paspausti rodyklę ir sukti figūrą	Yra, pažymėjus objektą ir pasirinkus funkciją „pasukti“, pelytės pagalba galima sukti figūrą	Yra, pažymėjus objektą ir pasirinkus funkciją „pasukti“ reikia paspausti ant objekto pavaizduotos ašies ir sukti tik atitinkamos ašies kryptimi
10.	Galimybė naudoti modifikatorius	Yra, priklausomai nuo objekto suteikiami skirtingi modifikatoriai	Yra	Yra
11.	Sferinių paviršių kūrimas	Negalimas	Galimas, pasirenkant tuščiavidures figūras ir joms pritaikant funkcijas	Galimas naudojant modifikatorius
12.	Galimybė pakeisti sukurtus daugiakampius	Yra	Yra	Yra

13.	Galimybė nugludinti objektus	Yra, tačiau funkcija pritaikoma tik apvalios formos objektams	Yra	Yra
14.	Galimybė animuoti modelį	Nėra	Yra	Yra
15.	Programos modeliavimo ir funkcijų veikimo sparta	Greita, programa nepasižymi spartos sumažėjimu kuriant modelį	Greita, programa nepasižymi spartos sumažėjimu kuriant modelį	Greita, programa nepasižymi spartos sumažėjimu kuriant modelį
16.	Galimybė užrašyti tekstą prie modelio	Yra, galima uždėti 3D tekstą arba komentarą	Yra, galima uždėti 3D tekstą	Yra, galima uždėti teksto lauką
17.	Skirtingų modelio failų tipų eksportavimas	Galima eksportuoti .stl, .obj ir .svg formatais	Galima eksportuoti 3DS, Collada, DWG (2D ir 3D), DXF (2D ir 3D), FBX, KMZ, OBJ, VRML, XSI formatais	Galima eksportuoti .dae, .abc, .usd, SVG, PDF, .obj, .bvh, .ply, .stl, .fbx, .glb / .gltf, .obj (senojo tipo), .x3d formatais
18.	Operacinės sistemos, kuriose veikia programinė įranga	„Microsoft Windows“ 10, „macOS“ 10.10 ar vėlesnės versijos ir „Google Chrome OS“	„Windows“ 10, 11, „macOS“ 11+ (Big Sur)	„Windows“ 8.1, 10 ir 11, „macOS“ 10.15+ su „Intel“ mikroprocesoriumi, „macOS“ 11.0+ su „Apple“ mikroprocesoriumi, „Linux“ versijos, kurios naudoja 2.28 ir naujesnes globalias „Linux“ kodo bibliotekas

**Panaudojamumo kriterijai**

1.	Kiek veiksmų reikia atlikti, norint: a) priartinti figūrą; b) pasukti figūrą; c) pažymėti modelio zonas?	a) vieno veiksmo; b) dviejų veiksmų; c) mažiausiai trijų veiksmų, priklausomai nuo sukurto objekto	a) vieno veiksmo; b) trijų veiksmų; c) mažiausiai trijų veiksmų, priklausomai nuo sukurto objekto	a) vieno veiksmo; b) mažiausiai trijų veiksmų; c) mažiausiai trijų veiksmų
2.	Kokia yra bendra meniu išdėstymo struktūra?	Funkcijos išdėstytos viršuje, modelio peržiūros funkcijos išdėstytos kairėje pusėje, dešinėje pusėje galima išskleisti figūrų biblioteką	Kairėje pusėje išdėstytos modelio kūrimo ir peržiūros funkcijos, dešinėje pusėje – informacijos apie modelį peržiūra, galimybė pasirinkti spalvas, paviršiaus tekstūrą ir kt.	Viršutinėje juostoje išdėstytos modelio peržiūros ir objektų pasirinkimo skiltys. Taip pat yra modeliavimo, skulptūravimo, tekstūros, šešėliavimo, animacijų kūrimo ir kt. darbo aplinkos. Kairėje išdėstytos modelio kūrimo ir redagavimo funkcijos, o dešinėje – visų panaudotų modelio elementų sąrašas, modifikatoriai, paviršiaus, tekstūros, dalelių ir kt. savybių parametrų keitimo funkcijos
3.	Kuo skiriasi objekto kūrimo ir objekto modifikavimo meniu struktūra?	Meniu struktūra išlieka ta pati, bet priklausomai nuo objekto atsiranda papildomų funkcijų	Nesiskiria	Meniu struktūra išlieka ta pati, bet priklausomai nuo objekto atsiranda papildomų funkcijų



4.	Ar yra skirtingi meniu režimai, kurie suteikia skirtingą meniu išdėstymą? Jei taip, kokie jie?	Nėra	Nėra	Yra, priklausomai nuo pasirinktos modelio darbo aplinkos
5.	Ar programinė įranga turi numatytuosius peržiūros režimus? Jei taip, kokie jie?	Taip, yra ortografinė ir perspektyvos peržiūra	Taip, yra perspektyvos, paralelinės projekcijos ir dviejų taškų perspektyvos peržiūra	Taip, yra ortografinė ir perspektyvos peržiūra
6.	Ar galima pridėti asmeninį peržiūros režimą? Kaip?	Ne	Taip, reikia pasirinkti funkciją „padėti kamerą“ ir pasirinkti atskaitos tašką, nuo kurio žiūrima į modelį	Taip, peržiūros lange galima reguliuoti atstumą nuo objekto ir poziciją, kurioje yra kamera
7.	Ar programinėje įrangoje yra spartieji klavišai?	Taip	Taip	Taip
8.	Kaip peržiūros režime galima peržiūrėti modelio sluoksnius?	Negalima peržiūrėti	Negalima peržiūrėti	Reikia pasirinkti „Peržiūros srities šešėliavimo“ funkciją „Wireframe“
9.	Kokia yra bendra pagalbos skilties išdėstymo ir formos struktūra?	Nėra pagalbos skilties	Yra trys skiltys, kurias paspaudus nukreipia į naują langą, kuriame yra paieškos laukelis	Yra 9 skiltys, kurias paspaudus nukreipia į naują langą, kuriame yra paieškos laukelis
10.	Ar pagalbos skiltis yra išskirstyta į specifines dalis?	Nėra pagalbos skilties	Taip, galima pasirinkti paiešką pagalbos centre, paiešką forumuose ir paiešką „SketchUp“ programinėje įrangoje	Taip, pirmoji dalis yra programos naudojimo pagalba, antroji – naudotojų ir programuotojų bendruomenių aplinkos, trečioji –

				atvirojo kodo koregavimo pagalba, o ketvirtoji – pranešimas apie sutrikimą
11.	Ar įmanoma koreguoti įkeltą modelį? Kuo skiriasi koregavimas nuo programinėje įrangoje kuriamo modelio?	Iš dalies, nes modelis tampa vientisas, sujungtas, nors eksportuojant modelį jis nebuvo sujungtas į vieną visumą, todėl negalima keisti modelio dalių	Taip, tik modelio komponentus reikia išskaidyti į individualius komponentus	Taip, niekuo nesiskiria nuo kuriamo modelio programoje
12.	Ką daro programinė įranga, kai pažymimi keli modelio elementai?	Suteikia galimybę atlikti standartines vieno pažymėto objekto funkcijas: padidinti, pasukti, pakeisti spalvą ir pan.	Suteikia galimybę atlikti standartines vieno pažymėto objekto funkcijas: padidinti, pasukti, pakeisti spalvą ir pan.	Suteikia galimybę atlikti standartines vieno pažymėto objekto funkcijas: padidinti, pasukti, pakeisti spalvą ir pan.
13.	Ar programinė įranga suteikia įrankių juostos koregavimo galimybę? Kaip?	Ne	Taip, galima pakeisti dažniausiai naudojamų funkcijų eilės tvarką	Taip, galima užslėpti įrankių juostas, išskaidyti į kelis skirtingus peržiūros langus
14.	Ar yra skirtingų režimų įrankių juostos peržiūrai? Kokie yra skirtumai?	Ne	Ne	Ne
15.	Ar programinė įranga palaiko automatinį piešinių kūrimą? Kaip jie yra sukuriami?	Ne	Taip, bet veikia tik su „Apple Pencil“ „iPad“ planšetėje	Ne

16.	Ar yra keičiamas modelio mastelis, jo matmenys? Kokiu būdu?	Taip, pažymėjus ant objekto ir judinant aktyvius taškus	Taip, pasirinkus funkciją „mastelis“	Taip, pasirinkus funkciją „mastelis“
17.	Ar yra kuriami ir koreguojami šablonai? Kaip?	Taip, galima sukurti šabloninius blokus ir juos naudoti modelio kūrime	Taip, reikia sukurti naują failą su numatytu šablonu, padaryti modifikacijas, kurias norima turėti asmeniniame šablone ir išsaugoti failą	Taip, pagal savo nuožiūrą sutvarkius naudotojo sąsają reikia išsaugoti „Blender“ failo tipu ir failą reikia įterpti į sisteminius failus bei jį naudoti kaip standartinį šabloną
18.	Ar programinė įranga suteikia grįžtamąjį ryšį apie naudotojo padarytas klaidas? Kaip?	Nesuteikia	Taip, kai atliekamos negalimos funkcijos yra paaiškinama, kaip jas reikia atlikti	Taip, kai yra pasirenkami negalimi naudoti modifikatoriai

Detalesnė „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ programų vertinimo rezultatų analizė pateikiama 3.3 skyriuje.

### 3.3. Tyrimo rezultatų aptarimas

Įvertinus „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ 3D modeliavimo programas pagal kriterijus, atliekama tyrimo rezultatų analizė. Visose programose yra pateikiama informacija apie daugiakampius, tačiau skiriasi pateikiamos informacijos kiekis. Pavyzdžiui, „Tinkercad“ programoje pateikiama informacija tik apie objekto spalvą, „SketchUp“ – apie objekto spalvą, paviršiaus struktūrą ir užimamą plotą erdvėje, o „Blender“ – objekto koordinates erdvėje, spalvą, tekstūrą ir kitus parametrus. Todėl „Blender“ programa, pateikdama daugiausiai informacijos apie objektą, turi daugiau pranašumų, nes suteikia galimybę tiksliau ir lengviau koreguoti pasirinkto objekto savybes.

Galimybė peržiūrėti modelį iš skirtingų pusių yra galima visose analizuotose programose, tik skiriasi peržiūros būdas. „Tinkercad“ galima peržiūrėti sukant kubą, kuriame pažymėtos modelio pusės, „SketchUp“ – pasirenkant standartinius peržiūros režimus“, o „Blender“ – paspaudus ant programos lange esančių ašių. Analizuotos programos neturi esminio skirtumo tai pačiai funkcijai atlikti.

3D modeliavimo programose skiriasi primityvių objektų kiekis – daugiausiai primityvių objektų yra „Blender“ programoje (25 primityvūs objektai), „Tinkercad“ programoje yra 20 primityvių objektų, o mažiausiai – „SketchUp“ programoje (7 primityvūs objektai). Didesnis primityvių objektų kiekis leidžia lengviau sukurti norimus modelius daugiakampių modeliavimo būdu, nes naudojant primityvius geometrinius objektus, galima efektyviau atvaizduoti realaus pasaulio objektus [69].

Primityvūs objektai analizuotose programose yra kuriami panašiu būdu – pasirinkus primityvų objektą, galima keisti jo dydį, aukštį ir kitus parametrus, tik skiriasi funkcijų kiekis – „Tinkercad“ funkcijų, skirtų kurti objektą, skaičius yra mažesnis nei „SketchUp“ ar „Blender“ programinėje įrangoje, nes „Tinkercad“ programoje priklausomai nuo pasirinktos figūros leidžiami tam tikri pakeitimai objekte. Galima daryti prielaidą, kad tose programose, kuriose yra tam tikros funkcijos, leidžiančios atlikti tam tikrus veiksmus, kaip šiuo atveju yra „SketchUp“ ir „Blender“ programose, yra lengviau kurti ir redaguoti objektus, nes funkcijos suteikia aiškumą ką reikia daryti norint sukurti ar pakeisti objektą.

Visose trijose programose vienodai yra keičiami objektų ar jų dalių dydžiai, tik „SketchUp“ ir „Blender“ programose reikia pasirinkti funkciją „mastelis“, o „Tinkercad“ keisti dydžius galima tik nuspaudus pasirinktą objektą. Tokiu pačiu principu atliekamas ir objekto detalių vietos keitimas – „Tinkercad“ reikia tik pažymėti objektą ir jį nustumti į reikiamą vietą, o „SketchUp“ ir „Blender“ – panaudoti funkciją, skirtą tai atlikti. Simetrinius objektus visose tirtose programose galima

sukurti vienodai elementariausiu būdu – nukopijuojant ir įklijuojant pasirinktą objektą. Taigi esminių skirtumų tarp analizuojamų programų nėra.

Objektų viršūnes galima pažymėti tik vienoje programinėje įrangoje, tai yra „Blender“. Objekto viršūnių žymėjimas leidžia interaktyviai keisti objektą ir lengviau kurti 3D modelius, nes viršūnių žymėjimas palengvina išlenktų paviršių kūrimą ir detalesnių objektų modeliavimą [78].

Objektus ir jų detales galima pasukti visose programose, tik „Tinkercad“ užtenka pažymėti norimą objektą ir paspausti rodyklę bei sukuti objektą, o kitose programose reikia panaudoti atitinkamą funkciją. Vėlgi, atskira funkcija, skirta pasukti objektą ar jo dalis yra aiškesnė, nei prie pažymėto objekto pateikiamos visos galimos objekto koregavimo funkcijos.

Modifikatoriai yra visose programose, tačiau skiriasi jų kiekis. „Tinkercad“ programoje modifikatorius galima naudoti tik su tam tikrais primityviais objektais, o „SketchUp“ ir „Blender“ – modifikatorių yra daugiau ir jie pritaikomi prie visų objektų. Modifikatoriai, esantys 3D modeliavimo programose suteikia daugiau galimybių kurti, koreguoti ir valdyti modelius, leidžia daugiau išreikšti kūrybą [79]. Taigi kuo daugiau modifikatorių programinėje įrangoje, tuo lengviau sukurti norimus objektus, o ypač, sudėtingų struktūrų objektus, kurie reikalauja daugybės korekcijų, norint jų sukurti.

Sferinius paviršius galima kurti tik „SketchUp“ ir „Blender“ programose, o „Tinkercad“ – negalima. Pakeisti ir pasukti sukurtus objektus galima visose programose, tačiau „Tinkercad“ programoje nugaludinti galima tik tam tikrus objektus. Taigi „Tinkercad“ turi mažiau galimybių modifikuoti objektus ir tai gali apsunkinti norimo sukurti modelio kūrimą.

Animuoti modelių negalima „Tinkercad“ programinėje įrangoje, o kitose tirtose programose galima. Trimačių objektų animacijos turi įtakos mokymuisi ir supratimui, nes jie yra išsamesni nei dvimačiai objektai, leidžia suprasti trimačio objekto trajektorijas, padeda fiksuoti perspektyvą ir požiūrio kampas animacijos metu, sudomina besimokančius ir paverčia mokymosi turinį patrauklesniu, padeda ugdyti erdvinį mąstymą [80]. Taigi „SketchUp“ ir „Blender“ programose yra geresnis pasirinkimas, norint kurti ir pritaikyti erdvinius modelius mokymosi procese.

Visos programos nepasižymėjo spartos sumažėjimu kuriant tipinės ląstelės sandaros modelį. Taip pat visose programose galima užrašyti tekstą prie modelio, tačiau yra skirtumų – „Tinkercad“ programoje galima pasirinkti tik 3D tekstą, todėl jį ganėtina sunku tinkamai panaudoti modelyje, siekiant suteikti modeliui aiškumo. Panašiai yra ir „Blender“ programoje – teksto laukas būna didelis ir jį reikia mažinti, su funkcijomis pritaikyti prie modelio. Tačiau „SketchUp“ programoje teksto laukas atsiranda su rodykle – tai leidžia pažymėti reikiamą modelio vietą ir ją paaiškinti,

tekstas nedidelis, todėl galima patogiai pateikti daugiau informacijos, siekiant padaryti modelį kuo išsamesnį.

Daugiausiai skirtingų modelio failų tipų galima eksportuoti „Blender“ programinėje įrangoje (14 failų tipų), „SketchUp“ programoje galima eksportuoti 9 failo tipus, o „Tinkercad“ mažiausiai – tik 3 failo tipus. Tai reiškia, jog „Blender“ programinėje įrangoje sukurtą modelį galima pritaikyti ir panaudoti didesnėje kompiuterinės įrangos, papildytos realybės technologijų imtyje. Dažniausiai 3D spausdinime naudojami failų tipai yra [81]:

- STL failo formatas – šį failo tipą palaiko daugelis programinės įrangos paketų, tokie failai aprašo tik trimačio objekto paviršiaus geometriją be spalvos, tekstūros ar kitų atributų, tai yra 3D spausdinimo standartinis failo tipas. Kadangi STL failo formatas turi keletą problemų, tai yra didelis failo dydis, ribotas failo saugumas ir negalima patikrinti ar ištaisyti klaidų, šį populiarų 3D spausdinimo formato tipą turėtų pakeisti nauji formatai. STL failo formatus galima eksportuoti dviejose tirtose programose – „Tinkercad“ ir „Blender“.
- OBJ failo formatas – šis failo tipas tinkamas daugiaspalviam 3D spausdinimui, jis yra atvirojo kodo. Į OBJ formatą yra panašūs ir kiti formatai – Collada ir FBX, bet OBJ failus importuoti yra lengviau, nei kitus du paminėtus, nes Collada yra sudėtingos specifikacijos failo tipas, o FBX – patentuotas formatas. OBJ failai užkoduoja 3D objekto geometriją ir informaciją apie spalvas, medžiagas ir tekstūras. OBJ failo tipas turi plėtinį MTL, kuris gali pateikti daugiaspalvį tekstūruotą modelį, nes MTL failai gali apibrėžti medžiagos savybes, pavyzdžiui, aplinkos spalvą, išsklaidytą ar atspindinčią spalvą, skaidrumą ir pan. Visgi OBJ failai yra sudėtingesni nei STL, todėl juos gali būti sunku sutaisyti, jei failas būtų sugadintas. OBJ failo formatą galima eksportuoti visose tirtose programose, o Collada ir FBX failo tipai palaikomi tik „SketchUp“ programinėje įrangoje.

Tiek „Tinkercad“, tiek „Blender“ modelį galima eksportuoti SVG failo tipu. SVG failo tipas yra vektorinės grafikos formatas, kuris apibrėžia elementus, tokius kaip linijas, lankus ir spalvas XML tekstu, tai tinkamas lazerinio pjovimo formatas [82].

„Blender“ programinę įrangą palaiko daugiau operacinių sistemų nei „Tinkercad“ ar „SketchUp“ ir tai vienintelė programinė įranga iš analizuotų, kuri veikia „Linux“ operacinėje sistemoje. Tai suteikia lengvesnį naudojimą naudotojams, nes didesnis pritaikymo spektras įgalina daugiau kompiuterių naudotis programine įranga. Svarbu paminėti, jog šiame tyrime „Blender“ buvo vienintelė programinė įranga, kurią reikėjo įsidiegti į kompiuterį, todėl dirbant su programa nebūtinai interneto ryšys. Tuo tarpu „Tinkercad“ ir „SketchUp“ veikia tik interneto naršyklėse.

Apibendrinant programų funkcionalumo vertinimo rezultatus, su visomis tyrimo metu analizuotomis programomis galima kurti įtraukius erdvinis modelius, galima jiems suteikti spalvas, koreguoti struktūrą, tačiau skiriasi funkcionalumo galimybės. Kadangi švietimo požiūriu 3D modeliavimas yra kaip papildomas įrankis, kuris įtraukia mokinius į mokymosi procesą bei ugdo jų sąmoningumą [83], todėl ugdymo procese galima naudoti net paprasčiausią programinę įrangą, šiuo atveju „Tinkercad“, kad būtų ugdomas erdvinis mąstymas. Visgi norint tobulinti erdvinio modeliavimo žinias, pravartu mokytis tiek mokiniams, tiek visiems žmonėms, besidomintiems 3D modeliavimu naudoti 3D modeliavimo programas, turinčias daugiau galimybių, tokiais kaip „SketchUp“. „Blender“ programinė įranga yra pati sudėtingiausia ir labai imli mokymuisi, nes reikia skirti daug laiko, norint išmokti naudotis šia programa, todėl norint ją naudoti mokymo procese reikėtų skirti kone atskirą mokymosi kursą. Ne veltui „Blender“ yra laikomas vienas geriausių ir yra vienas populiariausių 3D modelių kūrimo įrankių tarp profesionalų.

Toliau analizuojami panaudojamumo vertinimo kriterijai. Veiksmų skaičius, norint priartinti figūrą nesiskiria visose analizuotose programose, taip pat ir norint pažymėti modelio zonas – norint tai atlikti reikia mažiausiai trijų veiksmų. Tačiau skiriasi veiksmų skaičius norint pasukti figūrą – „Tinkercad“ programoje reikia dviejų veiksmų, o „SketchUp“ ir „Blender“ reikia trijų. Mažesnis veiksmų skaičius, skirtas atlikti veiksmą, reiškia, jog programinė įranga yra paprastesnė naudojimui, tai pagal šį kriterijų „Tinkercad“ programinė įranga yra paprasčiausia.

Meniu struktūros skirtumai tarp tiriamos programinės įrangos koreliuoja su programinės įrangos funkcionalumu ir galimybėmis. Daugiausiai turinti meniu skilčių programinė įranga yra „Blender“, nes tai yra viena dažniausiai naudojama 3D modeliavimo platforma profesionalių 3D modeliuotojų, kurioje yra vienas didžiausių funkcionalumų. Nuo meniu esančių funkcijų kiekio priklauso tai, kiek veiksmų galima atlikti modeliuojant objektą. Pavyzdžiui, „Tinkercad“ programoje meniu struktūra yra labai paprasta – yra 6 funkcijos objekto peržiūrai ir 7 funkcijos objektų kūrimui. „SketchUp“ programinėje įrangoje meniu sudėtingesnis, nes yra dvi pagrindinės meniu skiltys, kuriose yra daugiau funkcijų nei „Tinkercad“, pavyzdžiui, objekto kūrimui yra skirtos 37 funkcijos, o peržiūrai – 6 funkcijos. Tuo tarpu „Blender“ programinėje įrangoje yra atskiros darbo aplinkos skirtos modelio kūrimui atlikti ir kiekvienoje jų yra skirtingos meniu funkcijos, todėl ši programa yra sudėtingiausia iš visų analizuojamų programų.

Visose analizuotose programose meniu struktūra nesikeičia objekto kūrimo ir modifikavimo metu – „Tinkercad“ ir „Blender“ programose meniu struktūroje tik atsiranda papildomų funkcijų, o „SketchUp“ – išlieka identiška kūrimo ir modifikavimo metu. Todėl norint modifikuoti objektą

yra patogiu, kai programinė įranga suteikia papildomas funkcijas, nes yra aišku kokias funkcijas panaudojus galima modifikuoti pasirinktą objektą.

Skirtingi meniu režimai atsiranda tik „Blender“ programinėje įrangoje, kurie priklauso nuo pasirinktos modelio darbo aplinkos, t. y. modeliavimo, skulptūravimo, tekstūros piešimo, šešėliavimo, animacijos ir kitų. „Tinkercad“ ir „SketchUp“ programose nėra kitų darbo aplinkų, todėl nėra skirtingų meniu režimų. Tai leidžia suprasti, jog „Blender“ programinėje įrangoje galima sukurti objektą pasitelkus daugiau funkcijų.

„Tinkercad“ ir „Blender“ programose yra vienodi numatytieji peržiūros režimai – tai yra ortografinė ir perspektyvos peržiūra. „SketchUp“ programinėje įrangoje taip pat yra perspektyvos peržiūra, bet yra ir kitų – paralelinės projekcijos ir dviejų taškų perspektyvos peržiūros. Perspektyvos peržiūroje modelis atvaizduojamas naudojant projekcijos centrą, todėl objektai tolumojje atrodo mažesni nei šalia esantys objektai ir tai suteikia gylio suvokimą bei prisideda prie tikroviškumo ir santykinių 3D pozicijų suvokimo [84]. Tuo tarpu ortografinėje peržiūroje yra naudojamos projekcijos linijos, kurios yra statmenos projekcijos plokštumai, todėl požiūrio taške nėra gylio efekto ir tai leidžia lengviau sulygiuoti 3D objektus [84]. Taigi svarbu, kad kuriamą erdvinį modelį būtų galima analizuoti naudojant skirtingus peržiūros režimus, siekiant tinkamai kurti, analizuoti bei suprasti modelį.

Asmeninius peržiūros režimus galima pridėti tik „SketchUp“ ir „Blender“ programose – „SketchUp“ galima padėti kamerą ir pasirinkti atskaitos tašką, o „Blender“ – galima reguliuoti atstumą nuo objekto ir poziciją, kurioje yra kamera.

Visose programose yra spartieji klavišai. Jie suteikia galimybę greičiau ir paprasčiau kurti ir koreguoti modelį. Kadangi „Blender“ programinė įranga turi daugiausiai funkcijų, todėl sparčiųjų klavišų kiekis yra ženkliai didesnis.

Kuriamo modelio sluoksnius galima peržiūrėti tik „Blender“ programinėje įrangoje, pasirinkus atitinkamą peržiūros funkciją. Tai leidžia detaliau pažiūrėti į kuriamą objektą, kuomet galima paslėpti nereikalingus objekto sluoksnius, ir jį tinkamai pakoreguoti.

Pagalbos skilties nėra „Tinkercad“ programinėje įrangoje, o kitose tirtose – yra. Programose egzistuojančios pagalbos skiltys leidžia suprasti, jog programinė įranga yra prižiūrima ir galima lengvai rasti atsakymus į kylančius klausimus modeliuojant objektą bei yra galimybė prisijungti prie bendruomenės ir padėti vieni kitiems sprendžiant kylančias problemas.

Didžiausios įkelto modelio koregavimo galimybės yra „Blender“ programinėje įrangoje – modelis įkeliamas toks, koks buvo sukurtas ir eksportuotas. „SketchUp“ programinėje įrangoje taip pat



galima koreguoti visą įkeltą modelį, tik jį reikia suskaidyti į individualius komponentus, kad būtų galima koreguoti atskiras modelio dalis. Tuo tarpu „Tinkercad“ programinėje įrangoje koregavimas galimas tik iš dalies, nes modelis tampa vientisas ir negalima koreguoti atskirų modelio dalių. Kadangi visiškai įkeltą modelio koregavimas galimas „Blender“ ir „SketchUp“ programose, tai suteikia didelį pranašumą prieš „Tinkercad“ programą, nes įkeltus modelius galima lengvai koreguoti ir pritaikyti prie asmeniui reikiamo modelio kūrimo.

Visose analizuotose programose žymint kelis modelio elementus programinė įranga elgiasi vienodai – suteikia galimybę atlikti standartines vieno pažymėto objekto funkcijas.

Įrankių juostas galima koreguoti tik „SketchUp“ ir „Blender“ programose – „SketchUp“ galima pakeisti dažniausiai naudojamų funkcijų eilės tvarką, todėl į patogias dalis galima susidėlioti įrankius, o „Blender“ galima užslėpti įrankių juostas ar išskaidyti peržiūrą į skirtingus peržiūros langus. Didesnė koregavimo laisvė suteikia galimybę naudotojui pasiruošti programą pagal savo norus, o tai gali padėti efektyviau dirbti su programine įranga ir sukurti erdvinį modelį.

Skirtingų režimų įrankių juostos peržiūrai nėra nei vienoje analizuotoje 3D modeliavimo programinėje įrangoje.

Automatinis piešimas nėra palaikomas „Tinkercad“ ir „Blender“ programose, tačiau „SketchUp“ jis yra palaikomas. Automatinis piešimas leidžia piešti įprastas formas ir geometrines figūras ranka „SketchUp“ darbo aplinkoje, o jas nupiešus programa atpažįsta formą ir pagal ją parenka primityvų objektą bei pritaiko modelyje [85]. Tai palengvina modeliavimo procesą, nes padeda intuityviau įsitraukti į modeliavimo procesą ir leidžia lengviau suprasti mokyklinio amžiaus vaikams erdvių modelio kūrimo procesą.

Modelio mastelis ir jo matmenys yra keičiamas visose tirtose programose, tik skiriasi jų būdai – „Tinkercad“ galima judinti aktyvius taškus, o „SketchUp“ ir „Blender“ programose reikia pasirinkti mastelio koregavimo funkciją. Kaip minėta anksčiau, daugiau aiškumo suteikia atskiros funkcijos, skirtos atlikti mastelio keitimą, nei prie pažymėto modelio atsirandantys kelių funkcijų taškai.

Šablonus kurti ir koreguoti galima visose programose. „Tinkercad“ programinėje įrangoje galima kurti šablonų blokus – jie yra naudojami apibrėžti daug kartų naudojamas formas, kurias galima bet kiek kartų įtraukti į modelį ir tai pašalina poreikį kaskart prireikus atitinkamos formos ją kurti [86]. „SketchUp“ programinėje įrangoje galima kurti šiuos šablonus: visų nustatymų, esančių modelio informaciniame lange, sukurtų geometrinių figūrų, stilių ir šešėlių šablonus [87]. „Blender“ programinės įrangos šablone galima įterpti pradinio paleidimo papildomą failą, temų, įskiepių, kombinacijų ir apšvietimo nustatymus, pradinio lango išvaizdą ir „Phyton“ kodą [88].

Šablonų tikslas – per parametrų, taisyklių, formulių ir automatizavimo metodus užfiksuoti ir pakartotinai naudoti technikas, kurios leidžia greičiau ir lengviau modeliuoti objektą bei išvengti perteklinio objekto projektavimo ir modeliavimo [89].

Grįžtamąjį ryšį apie naudotojo padarytas klaidas suteikia „SketchUp“ ir „Blender“ programos. Programinė įranga iš dalies gali nukreipti naudotoją teisinga kryptimi, paaiškinant, kodėl jo padarytas veiksmas buvo negalimas arba kaip tą veiksmą reikia atlikti.

Apibendrinant išanalizuotus „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ programų panaudojamumo kriterijus, galima teigti, jog nors „Tinkercad“ turi paprasčiausią naudotojo sąsają, tačiau ji nėra visiškai patogi dėl kelių priežasčių: negalima pridėti asmeninio peržiūros režimo, nėra pagalbos skilties, programinė įranga nesuteikia grįžtamojo ryšio apie naudotojo padarytas klaidas, pažymėjus modelį ar jo dalį, atsiranda keli aktyvieji taškai, leidžiantys atlikti skirtingas funkcijas, tačiau jie nėra aprašyti. Tai apsunkina programos naudojimo supratimą ir modelio kūrimo procesą, nes nesuprantant iki galo funkcijų gali kilti sunkumų modeliuojant. „Blender“ programinė įranga turi labai daug funkcionalumo ir įvairių meniu skilčių, kurių struktūra skirtinga, todėl norint suprasti kaip kurti modelį, reikia išsiaiškinti visas programos galimybes, todėl tai gali būti sudėtinga pirmą kartą su erdvinio modeliavimu susidūrusiems žmonėms. Taip pat svarbu paminėti, kad „Blender“ programinėje įrangoje daug veiksmų reikia atlikti naudojant sparčiųjų klavišų kombinacijas, todėl jas taip pat svarbu išmokti ir jomis naudotis, kas gali apsunkinti modelio kūrimo procesą ir prailginti modeliavimo laiką 3D modeliavimo pradedantiesiems ar mėgėjams. Be to, „Blender“ vienintelė programinė įranga, turinti galimybę peržiūrėti modelio sluoksnius, o tai padeda lengviau suprasti erdvinio modelio struktūrą ir turi galimybę lengvai koreguoti įkeltą erdvinį modelį. Tačiau „SketchUp“ programinė įranga atrodo optimaliausia programa, skirta 3D modeliavimo mokymuisi, nes yra labai aiški meniu struktūra, aiškios funkcijos ir programa turi automatinio piešimo galimybę. Tai ypač palengvintų modeliavimą mokiniam, kurių ugdymo įstaigose yra „iPad“ planšetės, nes būtų galima interaktyviau modeliuoti objektus. Taip pat svarbu, kad galima koreguoti bet kokį įkeltą modelį ir pritaikyti jį pagal asmeninius poreikius.

### **3.4. Tyrimo išvados ir rekomendacijos**

1. Mokslinėje literatūroje nedažnai yra lyginama 3D modeliavimo programinė įranga, tačiau tai ganėtina svarbu, esant didelei įvairovei erdvinio modeliavimo įrankių. Palyginimas leidžia nustatyti programų išskirtinumą, funkcionalumo galimybes, kaip lengvai galima ja naudotis, o tai padeda pasirinkti tinkamą 3D modeliavimo aplinką erdvinio modelio

kūrimui ne tik pagal funkcines galimybes, bet ir pagal naudotojo patirtį. Svarbiais palyginimo kriterijais tampa funkcionalumas ir panaudojamumas. Funkcionalumo kriterijai leidžia nustatyti programinės įrangos modelio kūrimo galimybes, o panaudojamumo kriterijai padeda nustatyti programinės įrangos naudojimo patogumą. Taigi išskyrus šiuos kriterijus ir atliekant skirtingos 3D modeliavimo programinės įrangos palyginimą, galima nustatyti, kurią programinę įrangą yra patogiausia naudoti, kuriant tam tikrą erdvinį objekto modelį.

2. Erdvinis tipinės ląstelės sandaros modelis pasirinktas pagal tai, kaip ląstelė yra atvaizduojama mokomojoje medžiagoje. Taip pat atvaizduojamos tik 3 ląstelės sandaros dalys, tai yra membrana, branduolys ir mitochondrija, nes šias dalis turi protistų ir eukariotų ląstelės, todėl sukurtą tipinės ląstelės modelį galima panaudoti kuriant konkrečią ląstelę ir išvengti pakartotino tų pačių ląstelės dalių modeliavimo. Kuriant erdvinį modelį skirtingose 3D modeliavimo programose pastebėti pagrindiniai modeliavimo skirtumai – funkcijų kiekis, funkcijų galimybės, teksto įterpimas erdviniam modelyje ir kt. Tai leidžia suprasti, jog su „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“ programinėmis įrangomis galima sukurti skirtingo sudėtingumo erdvinius modelius.
3. Pagal išskirtus 36 trimačio modeliavimo programinės įrangos palyginimo kriterijus – 18 funkcionalumo ir 18 panaudojamumo – palygintos trys programos: „Tinkercad“, „SketchUp“ ir „Blender“. Nustatyta, jog daugiausiai funkcionalumo kuriant modelį yra „Blender“ programinėje įrangoje, tačiau ją yra labai sudėtinga naudoti, todėl turint omenyje tai, kad ugdyme svarbiausia įtraukti mokinius ir juos sudominti įvairiais įrankiais, papildančiais mokymosi turinį, o 3D modeliavimas turi lavinti jų erdvinį suvokimą, tam tikslui pasiekti kuriant erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį pakanka naudotis „Tinkercad“ ar „SketchUp“ programine įranga.

Kadangi šiame tyrime buvo analizuotos tik trys 3D modeliavimo programos, atrinktos pagal tai, jog dvi iš jų yra minimos lietuviškoje literatūroje, skirtoje pedagogams, o viena pasirinkta kaip dažniausiai naudojama modeliuotojų, todėl norint sužinoti tinkamiausią programinę įrangą, su kuria galima patogiai kurti erdvinį tipinės ląstelės sandaros modelį, reikėtų išplėsti programinės įrangos pasirinkimo aspektus. Taip pat atliekant lyginamąją programinės įrangos analizę, siekiant nustatyti su kuria programine įranga yra patogiausia kurti erdvinį modelį, galima įtraukti ir kitus kokybės metrikas, kurios padėtų įvertinti ne tik panaudojamumą ar programinės įrangos funkcionalumą, bet ir visą programinės įrangos kokybę. Svarbu tyrinėti ir kitas 3D modeliavimo programines įrangas, kad būtų galima pagrįstai rekomenduoti tinkamiausią

modeliavimo įrangą mokyklinio amžiaus vaikams, nes kurdami trimačius modelius mokiniai geriau įsisavina dėstomą medžiagą, lavinamas jų erdvinis mąstymas, kuris lemia geresnę mokymosi turinio supratimą ir geresnius akademinis rezultatus.

## IŠVADOS

1. Ištyrus teorinę medžiagą nustatyta, kad erdviniai modeliai padeda vizualizuoti objektų dizainą, atvaizduoti struktūrą, suprasti objektus, ypač tuos, kurių negalima pamatyti. Dėl didelės 3D modeliavimo metodų ir programų gausos, svarbu pasirinkti tokį modeliavimo būdą, su kuriuo galima efektyviausiai kurti erdvinį modelį.
2. Atlikus mokslinių publikacijų analizę nustatyta, jog taikant erdvinį modelių kūrimą gamtos pažinimo procese yra lavinamas erdvinis mąstymas, sudominama mokymo turiniu ir lavinami informacinių technologinių įrankių naudojimo įgūdžiai. Svarbu skirti dėmesį pedagogų ir mokinių žinių ugdymui, kad būtų galima efektyviai papildyti mokymo turinį erdvinį modelių kūrimo procesu.
3. Išanalizavus funkcionalumo kriterijus nustatyta, kad visose programose galima atlikti įprastas modelio kūrimo funkcijas, bet skiriasi primityvių objektų ir modifikatorių kiekis, animacijų kūrimo galimybė ir kt. Panaudojamumo kriterijų lyginimo metu nustatyta, jog ne visose programose yra pagalbos skiltis, modelių sluoksnių peržiūra, automatinio piešimo kūrimas ir kt.
4. Atlikus 3D modeliavimo programų vertinimo rezultatų analizę galima teigti, kad patogiausia yra naudoti „SketchUp“ programą, nes joje yra visos reikiamos modeliavimui funkcijos, yra aiškiausia meniu struktūra bei yra automatinio piešimo galimybė, kuri palengvina modeliavimą mokyklinio amžiaus vaikams.

## BIBLIOGRAFINIŲ NUORODŲ SĄRAŠAS

- [1] I. Stundžiaitė ir V. Davidavičienė, „Modeling the Application of Augmented Reality Technology in the Education Process“, *Mokslas - Lietuvos ateitis*, t. 14, nr. 0, p. 1–7, kovo 2022, doi: 10.3846/mla.2022.16097.
- [2] M. Kelpšienė, „The Usage of Books Containing Augmented Reality Technology in Preschool Education“, *Pedagogika*, t. 138, nr. 2, p. 150–174, 2020, doi: 10.15823/p.2020.138.9.
- [3] Švietimo portalas, „Informatika“. Žiūrėta: 2023 m. gruodžio 15 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.emokykla.lt/bendrosios-programos/pradinis-ugdymas/3?st=1>
- [4] K. M. da S. A. Castro, T. F. Amado, C. J. Bidau, ir P. A. Martinez, „Studying Natural History far from the Museum: The Impact of 3D Models on Teaching, Learning, and Motivation“, *J Biol Educ*, t. 56, nr. 5, p. 598–608, 2022, doi: 10.1080/00219266.2021.1877774.
- [5] D. Bobylev, „Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology Comparison of 3D Modeling Software“, 2017. Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 18 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://core.ac.uk/download/pdf/84800303.pdf>
- [6] C. Kirpes, G. Hu, ir D. Sly, „The 3D Product Model Research Evolution and Future Trends: A Systematic Literature Review“, *Applied System Innovation*, t. 5, nr. 2. MDPI, 2022 m. balandžio 1 d. doi: 10.3390/asi5020029.
- [7] A. Lamba ir R. Bhalla, „A Review of various 3-D Modelling Techniques and an Introduction to Point Clouds“, European Alliance for Innovation n.o., birž. 2022. doi: 10.4108/eai.16-4-2022.2318159.
- [8] A. Kuncevičius, R. Laužikas, R. Šmigelskas, ir R. Augustinavičius, „Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje“, *Archaeologia Lituana*, t. 13, p. 7–29, saus. 2012, doi: 10.15388/archlit.2012.0.1188.
- [9] Y. Li, Y. Yang, Z. Yao, ir G. Xu, „Virtual 3D Environment for Exploring the Spatial Ability of Students“, *Virtual Reality and Intelligent Hardware*, t. 2, nr. 6, p. 556–568, gruodž. 2020, doi: 10.1016/j.vrih.2020.08.001.
- [10] Z. Kuansheng ir Q. Zhang, „Research Progresses and Trends of Content Based 3D Model Retrieval“, *IEEE 2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, p. 3346–3351,

- 2018, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 22 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8407702>
- [11] X.-D. Luan, Y.-X. Xie, L. Ying, ir L.-D. Wu, „Research and Development of 3D Modeling“, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, t. 8, nr. 1, 2008, [Interaktyvus]. Adresas: [www.intelcitiesproject.com](http://www.intelcitiesproject.com)
- [12] L. N. Hoon ir S. S. Shaharuddin, „Learning Effectiveness of 3D Hologram Animation on Primary School Learners“, *Journal of Visual Art and Design*, t. 11, nr. 2, p. 93–104, gruodž. 2019, doi: 10.5614/j.vad.2019.11.2.2.
- [13] C. R. Ramachandiran, M. M. Chong, ir P. Subramanian, „3D Hologram in Futuristic Classroom: A Review“, t. 7, nr. 2, p. 580–586, 2019, [Interaktyvus]. Adresas: <http://pen.ius.edu.ba>
- [14] B. Ruzgienė, L. Kuklienė, I. Kuklys, D. Jankauskienė, M. Valiente, ir W. Matys, „Paveldo skaitmeninimas ir 3D modeliavimas“, *Politechnika Bialostocka*, p. 93–133, 2022, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 21 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://pb.edu.pl/oficyna-wydawnicza/wp-content/uploads/sites/4/2022/08/Future-of-the-city-2.pdf>
- [15] F. Remondino ir S. El-hakim, „Image-based 3D Modelling: A Review“, *Photogrammetric Record*, t. 21, nr. 115, p. 269–291, 2006 m. rugsėjo. doi: 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.
- [16] S. Wu, R. Li, T. Jakab, C. Rupprecht, ir A. Vedaldi, „MagicPony: Learning Articulated 3D Animals in the Wild Training Single-Image Inference“, 2022, [Interaktyvus]. Adresas: <https://3dmagicpony.github.io/>.
- [17] K. Fu, J. Peng, Q. He, ir H. Zhang, „Single Image 3D Object Reconstruction Based on Deep Learning: A Review“, *Multimed Tools Appl*, t. 80, nr. 1, p. 463–498, saus. 2021, doi: 10.1007/s11042-020-09722-8.
- [18] E. Entem, L. Barthe, M. P. Cani, F. Cordier, ir M. Van De Panne, „Modeling 3D Animals from a Side-View Sketch“, *Computers and Graphics (Pergamon)*, t. 46, p. 221–230, 2015, doi: 10.1016/j.cag.2014.09.037.
- [19] S. Zuffi, A. Kanazawa, D. Jacobs, ir M. J. Black, „3D Menagerie: Modeling the 3D Shape and Pose of Animals“, *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, p. 1–9. Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 21 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://people.eecs.berkeley.edu/~kanazawa/papers/cvpr17\\_menagerie\\_camready.pdf](https://people.eecs.berkeley.edu/~kanazawa/papers/cvpr17_menagerie_camready.pdf)

- [20] C. F. Moreno, A. S. Aguirre, R. I. Gallardo, ir F. Jenó, „3D Prototypes: Benefits for Primary Education and Criteria for its Implementation“, *Espacios*, t. 41, nr. 46, p. 261–273, gruodž. 2020, doi: 10.48082/espacios-a20v41n46p22.
- [21] H. Durand, A. Engberg, ir S. T. Pope, „A Comparison of 3D Modeling Programs“, *ATON Project / CREATE*, 2011, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 24 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8ade78abbf04086faf8ab0727dd03450069e2b6c>
- [22] D. P. Rohe ir E. M. C. Jones, „Generation of Synthetic Digital Image Correlation Images Using the Open-Source Blender Software“, *Exp Tech*, t. 46, nr. 4, p. 615–631, rugpj. 2022, doi: 10.1007/s40799-021-00491-z.
- [23] J. Sanchez-Riera, A. Civit, M. Altarriba, ir F. Moreno-Noguer, „Avatar: Blender Add-On for Fast Creation of 3D Human Models“, kovo 2021, [Interaktyvus]. Adresas: <http://arxiv.org/abs/2103.14507>
- [24] B. Rosener, „3D Modeling Programs: Comparison of SketchUp and Blender“, *The 12th International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications: EISTA 2014*, 2014, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 20 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://billrosener.com/teaching/publications/3D-modeling.pdf>
- [25] D. Wu, Z. Zhang, ir Z. Wang, „Application Research of Solidworks in Modeling of Straw Carbonization Preparation Plant“, *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, rugs. 2019, p. 1–6. doi: 10.1088/1742-6596/1303/1/012048.
- [26] Autodesk, „What is Autodesk AutoCAD?“ Žiūrėta: 2023 m. gruodžio 27 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [27] Y. Rahmawati, H. Dianhar, ir F. Arifin, „Analysing Students’ Spatial Abilities in Chemistry Learning using 3D Virtual Representation“, *Educ Sci (Basel)*, t. 11, nr. 4, bal. 2021, doi: 10.3390/educsci11040185.
- [28] Nacionalinė švietimo agentūra, *Metodinis leidinys, skirtas tikslųjų mokslų ir informacinių technologijų mokytojų dalykinėms kompetencijoms tobulinti*. Vilnius, 2022. Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 24 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://sodas.ugdome.lt/metodiniai-dokumentai/atsisiusti/19501/21bee5f7-2849-4eb1-9f05-3544c487a2a6>
- [29] O. V. Bitkina, H. K. Kim, ir J. Park, „Usability and User Experience of Medical Devices: An Overview of the Current State, Analysis Methodologies, and Future Challenges“,



- International Journal of Industrial Ergonomics*, t. 76. Elsevier B.V., 2020 m. kovo 1 d. doi: 10.1016/j.ergon.2020.102932.
- [30] F. A. Muqtadiroh, H. M. Astuti, E. W. T. Darmaningrat, ir F. R. Aprilian, „Usability Evaluation to Enhance Software Quality of Cultural Conservation System Based on Nielsen Model (WikiBudaya)“, *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2017, p. 513–521. doi: 10.1016/j.procs.2017.12.184.
- [31] A. Axelsson, „Designing for Usability of 3D Configuration in E-commerce“, 2017. Žiūrėta: 2023 m. spalio 23 d. [Interaktyvus]. Adresas: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1119655/FULLTEXT01.pdf>
- [32] Y. Li ir L. Zhu, „Optimization of User Experience in Mobile Application Design by using a Fuzzy Analytic-Network-Process-based Taguchi Method“, *Applied Soft Computing Journal*, t. 79, p. 268–282, birž. 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.03.048.
- [33] H. Arslan, A. G. Yüksek, M. L. Elyakan, ir Ö. Canay, „Usability and Quality Test in Software Products to Oriented of User Experience“, *The Online Journal of Quality in Higher Education*, t. 5, nr. 3, p. 79–83, 2018, Žiūrėta: 2023 m. gruodžio 6 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.tojdel.net/journals/tojqih/articles/v05i03/v05i03-11.pdf>
- [34] P. Vlachogianni ir N. Tselios, „Perceived Usability Evaluation of Educational Technology using the System Usability Scale (SUS): A Systematic Review“, *Journal of Research on Technology in Education*, t. 54, nr. 3, p. 392–409, 2022, doi: 10.1080/15391523.2020.1867938.
- [35] S. Glick, D. Porter, ir C. Smith, „Student Visualization: Using 3-D Models in Undergraduate Construction Management Education“, *Int J Constr Educ Res*, t. 8, nr. 1, p. 26–46, saus. 2012, doi: 10.1080/15578771.2011.619247.
- [36] M. J. Thali, M. Braun, ir R. Dirnhofer, „Optical 3D Surface Digitizing in Forensic Medicine: 3D Documentation of Skin and Bone Injuries“, *Forensic Sci Int*, t. 137, nr. 2–3, p. 203–208, lapkr. 2003, doi: 10.1016/j.forsciint.2003.07.009.
- [37] A. Christensen ir F. J. Rybicki, „Maintaining Safety and Efficacy for 3D Printing in Medicine“, *3D Print Med*, t. 3, nr. 1, kovo 2017, doi: 10.1186/s41205-016-0009-5.
- [38] Y. Su, „The application of 3D technology in video games“, *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, spal. 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1087/6/062024.

- [39] R. Kuang, „Design and Implementation of 3D Film and Television Scene Production Algorithm Based on the Internet of Things“, *Wirel Commun Mob Comput*, t. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/1219849.
- [40] M. Sadiku, S. Alam, ir S. Musa, „3D Visualization Technology“, *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, t. 5, nr. 5, p. 93–95, vas. 2018, doi: 10.29121/ijetmr.v5.i5.2018.230.
- [41] H. Wang, „Research on Three Dimensional Visualization Technologies“, *4th International Conference on Advanced Materials and Information Technology Processing (AMITP 2016)*, p. 261–265, 2016, doi: 10.2991/amtpp-16.2016.52.
- [42] T. C. Huang ir C. Y. Lin, „From 3D Modeling to 3D Printing: Development of a Differentiated Spatial Ability Teaching Model“, *Telematics and Informatics*, t. 34, nr. 2, p. 604–613, geg. 2017, doi: 10.1016/j.tele.2016.10.005.
- [43] L. Siiman, M. Maeots, ir M. Pedaste, „Learning Biology With Interactive Digital 3D Content: Teacher Attitudes“, *Proceedings of the 13th European Conference on E-Learning - ECEL-2014*, p. 478–484, 2014, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 23 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://www.researchgate.net/profile/Ruxandra-Buluc/publication/289596837\\_Models\\_of\\_communication\\_and\\_e-Learning\\_pedagogies\\_to\\_boost\\_educational\\_effectiveness/links/57e3ad4208ae84740168344f/Models-of-communication-and-e-Learning-pedagogies-to-boost-educational-effectiveness.pdf#page=500](https://www.researchgate.net/profile/Ruxandra-Buluc/publication/289596837_Models_of_communication_and_e-Learning_pedagogies_to_boost_educational_effectiveness/links/57e3ad4208ae84740168344f/Models-of-communication-and-e-Learning-pedagogies-to-boost-educational-effectiveness.pdf#page=500)
- [44] T. Huk, „Who Benefits from Learning with 3D Models? The Case of Spatial Ability“, *Journal of Computer Assisted Learning*, t. 2, nr. 6, p. 392–404, 2006, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 23 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x>
- [45] C. E. Bond ir A. J. Cawood, „A Role for Virtual Outcrop Models in Blended Learning - Improved 3D Thinking and Positive Perceptions of Learning“, *Geoscience Communication*, t. 4, nr. 2, p. 233–244, 2021, doi: 10.5194/gc-4-233-2021.
- [46] B. Autukevičienė ir G. Stonkuvienė, „STEAM Education in a Preschool Institution Using LEGO Education Methodology and Tools“, *Pedagogika*, t. 148, nr. 4, p. 106–128, gruodž. 2022, doi: 10.15823/p.2022.148.6.
- [47] J. Vaitekaitis, „STEM ugdymas Lietuvoje: posthumanizmo perspektyva“, Vilnius University, Lithuania, 2023. doi: 10.15388/vu.thesis.475.

- [48] M. Heo ir N. Toomey, „Learning with Multimedia: The Effects of Gender, Type of Multimedia Learning Resources, and Spatial Ability“, *Comput Educ*, t. 146, kovo 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103747.
- [49] F. J. A. Alvarez, E. B. B. Parra, ir F. Montes Tubio, „Improving Graphic Expression Training with 3D Models“, *J Vis (Tokyo)*, t. 20, nr. 4, p. 889–904, lapkr. 2017, doi: 10.1007/s12650-017-0424-8.
- [50] S. Bhaduri, Q. L. Bidy, J. Bush, A. Suresh, ir T. Sumner, „3DnST: A Framework towards Understanding Children’s Interaction with Tinkercad and Enhancing Spatial Thinking Skills“, *Proceedings of Interaction Design and Children, IDC 2021*, Association for Computing Machinery, Inc, birž. 2021, p. 257–267. doi: 10.1145/3459990.3460717.
- [51] Sensavis Education, *The Future of 3D Education: What Every Educator should Know about using 3D in the Classroom*. 2013. Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 22 d. [Interaktyvus]. Adresas: <http://mb.cision.com/Public/8227/9478258/b567878833acc4ce.pdf>
- [52] I. Rastauskaitė ir I. Tandzegolskienė, „Pedagogų per pamoką naudojami paauglių (15–17 m.) mokymosi motyvacijos stiprinimo būdai“, *Holistinis mokymasis*, t. 3, p. 41–52, 2017, doi: 10.7220/2351-7409.3.4.
- [53] S. M. Ward, K. L. Balolia, ir L. A. B. Wilson, „A Preliminary Analysis of the Effectiveness of Online Practical Laboratory Delivery using 3D Models for Higher Education Courses in Biological Anthropology“, *Evolution: Education and Outreach*, t. 16, nr. 1, liep. 2023, doi: 10.1186/s12052-023-00190-w.
- [54] C. Meng, „Introduce 3D Modelling and Virtual Technology to High School Art Education“, *2021 International Conference on Education, Language and Art (ICELA 2021)*, t. 637, p. 767–770, 2022, doi: 10.2991/assehr.k.220131.139.
- [55] Y. Chen, Q. Wang, H. Chen, X. Song, H. Tang, ir M. Tian, „An Overview of Augmented Reality Technology“, *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, liep. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1237/2/022082.
- [56] M. A. Rojas-Sánchez, P. R. Palos-Sánchez, ir J. A. Folgado-Fernández, „Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis on Virtual Reality and Education“, *Educ Inf Technol (Dordr)*, t. 28, nr. 1, p. 155–192, saus. 2023, doi: 10.1007/s10639-022-11167-5.
- [57] A. Čuladytė ir L. Budraitytė-Ausiejienė, „Virtualaus turizmo produktų taikymas bendrojo ugdymo procese“, *Verslas, technologijos, biomedicina: inovacijų išvalgos 2022 : straipsnių*

- rinkinys*, t. 1, nr. 3, p. 80–92, 2022, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 25 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://vb.kvk.lt/object/elaba:134795306/>
- [58] W. Easley, E. Buehler, ir M. G. Salib, „Fabricating Engagement: Benefits and Challenges of Using 3D Printing to Engage Underrepresented Students in STEM Learning“, *American Society for Engineering Education*, 2017, Žiūrėta: 2023 m. rugsėjo 28 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://peer.asee.org/fabricating-engagement-benefits-and-challenges-of-using-3d-printing-to-engage-underrepresented-students-in-stem-learning>
- [59] M. H. A. Kalana, S. N. Junaini, ir A. H. Fauzi, „MOBILE AUGMENTED REALITY FOR BIOLOGY LEARNING: REVIEW AND DESIGN RECOMMENDATIONS“, *Journal of critical reviews*, t. 7, nr. 12, birž. 2020, doi: 10.31838/jcr.07.12.104.
- [60] A. K. Hansen, T. R. Langdon, L. W. Mendrin, K. Peters, J. Ramos, ir D. D. Lent, „Exploring the Potential of 3D-Printing in Biological Education: A Review of the Literature“, *Integr Comp Biol*, t. 60, nr. 4, p. 896–905, spal. 2020, doi: 10.1093/icb/icaa100.
- [61] P. K. Suprpto, R. Ardiansyah, D. M. Chaidir, B. Baiq, ir V. Meylani, „Deep Learning in Biology: 3D Representation of Online and Reality“, *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, t. 3, nr. 4, bal. 2022, doi: 10.11594/ijmaber.03.04.09.
- [62] B. Anđić, Z. Lavicza, E. Ulbrich, S. Cvjetičanin, F. Petrović, ir M. Maričić, „Contribution of 3D Modelling and Printing to Learning in Primary Schools: A Case Study with Visually Impaired Students from an Inclusive Biology Classroom“, *J Biol Educ*, 2022, doi: 10.1080/00219266.2022.2118352.
- [63] G. Yildirim, „Opinions of Secondary School Students on 3D Modelling Programs and 3D Printers According To Using Experiences“, *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, t. 17, nr. 4, 2018, [Interaktyvus]. Adresas: <https://i.materialise.com/en/3d-printing-technologies>
- [64] Y. Su, „The Application of 3D Technology in Video Games“, *J Phys Conf Ser*, t. 1087, nr. 6, p. 1–5, vas. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1087/6/062024.
- [65] Švietimo portalas, „Gamtos mokslai“. Žiūrėta: 2023 m. spalio 1 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.emokykla.lt/bendrosios-programos/visos-bendrosios-programos/38?st=2>
- [66] A. Balvočius, V. Dagienė, P. Leonavičius, B. Skūpas, ir A. Žandaris, „Vidurinio ugdymo informatikos bendrosios programos įgyvendinimo rekomendacijos“, 2022. Žiūrėta: 2023 m. spalio 7 d. [Interaktyvus]. Adresas:

<https://www.emokykla.lt/upload/EMOKYKLA/BP/2022-06-10/VU-Informatikos-BP-IR-2022-06-10.pdf>

- [67] T. Dovramadjiev, „Modern Accessible Application of the System Blender in 3D Design Practice“, *Science & Technologies*, t. V, nr. 4, 2015, Žiūrėta: 2023 m. spalio 23 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://www.researchgate.net/publication/312033613\\_Modern\\_accessible\\_application\\_of\\_the\\_system\\_Blender\\_in\\_3D\\_design\\_practice](https://www.researchgate.net/publication/312033613_Modern_accessible_application_of_the_system_Blender_in_3D_design_practice)
- [68] L. Huxley, M. Walter, ir R. Flexman, „Biology for QLD and Australian Perspective Units 1&2“, 2018. Žiūrėta: 2023 m. spalio 22 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://www.oup.com.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0024/135078/Biology-for-QLD\\_An-Aust-Perp\\_3E\\_Units1-2\\_9780190310219\\_sample-chapter-3\\_low-res\\_secure.pdf](https://www.oup.com.au/_data/assets/pdf_file/0024/135078/Biology-for-QLD_An-Aust-Perp_3E_Units1-2_9780190310219_sample-chapter-3_low-res_secure.pdf)
- [69] C. Nash, Y. Ganin, S. M. A. Eslami, ir P. W. Battaglia, „PolyGen: An Autoregressive Generative Model of 3D Meshes“, *Proceedings of the 37 th International Conference on Machine Learning*, 2020, Žiūrėta: 2023 m. spalio 22 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://proceedings.mlr.press/v119/nash20a/nash20a.pdf>
- [70] R. G. Bolbakov, A. V. Sinitsyn, ir V. Y. Tsvetkov, „Methods of Comparative Analysis“, *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, lapkr. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1679/5/052047.
- [71] E. R. Garaeva ir E. E. Bikmullina, „Comparative Analysis of 3D Blender and 3ds Max Modeling Methods“, 2019. Žiūrėta: 2023 m. spalio 14 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://ceur-ws.org/Vol-2525/ITTCS-19\\_paper\\_14.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-2525/ITTCS-19_paper_14.pdf)
- [72] Y. Hendriyani ir V. A. Amrizal, „The Comparison between 3D Studio Max and Blender Based on Software Qualities“, *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, gruodž. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1387/1/012030.
- [73] G. Lee, C. M. Eastman, T. Taunk, ir C. H. Ho, „Usability Principles and Best Practices for the User Interface Design of Complex 3D Architectural Design and Engineering Tools“, *International Journal of Human Computer Studies*, t. 68, nr. 1–2, p. 90–104, saus. 2010, doi: 10.1016/j.ijhcs.2009.10.001.
- [74] S. Lee, D. Lischinski, Y. Yu, M. Habbecke, ir L. Kobbelt, „An Intuitive Interface for Interactive High Quality Image-Based Modeling“, 2009. Žiūrėta: 2023 m. spalio 16 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://www.graphics.rwth-aachen.de/media/papers/habbecke\\_09\\_PG\\_011.pdf](https://www.graphics.rwth-aachen.de/media/papers/habbecke_09_PG_011.pdf)

- [75] Nacionalinė švietimo agentūra, „Biologija“, Valsybinio brandos egzamino užduotis. Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 26 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.nsa.smm.lt/egzaminai-ir-pasiekimu-patikrinimai/brandos-egzaminai/egzaminu-uzduotys/>
- [76] MBINFO, „What is the Nucleus?“ Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 26 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.mechanobio.info/what-is-the-nucleus/#:~:text=The%20nucleus%20is%20an%20organelle,of%20the%20total%20cell%20volume.>
- [77] J. Pizzorno, „Mitochondria - Fundamental to Life and Health“, Integr Med (Encinitas). Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 26 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4684129/#:~:text=A%20large%20amount%20of%20adenosine,from%201000%20to%202500%20mitochondria.>
- [78] S. Wang *ir kt.*, „Interactive PDE Patch-Based Surface Modeling from Vertex-Frames“, *Eng Comput*, t. 38, p. 4367–4385, 2022, Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 12 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://bradscholars.brad.ac.uk/bitstream/handle/10454/18840/wang\\_et\\_al\\_2022.pdf?sequence=3](https://bradscholars.brad.ac.uk/bitstream/handle/10454/18840/wang_et_al_2022.pdf?sequence=3)
- [79] M. S. Hosen, S. Ahmmed, ir S. Dekkati, „Mastering 3D Modeling in Blender: From Novice to Pro“, *ABC Research Alert*, t. 7, nr. 3, p. 169–180, gruodž. 2019, doi: 10.18034/ra.v7i3.654.
- [80] S. Schwan ir F. Papenmeier, „Learning from Animations: From 2D to 3D?“, *Learning from Dynamic Visualization: Innovations in Research and Application*, Springer International Publishing, 2017, p. 31–49. doi: 10.1007/978-3-319-56204-9\_2.
- [81] C. Iancu, „About 3D Printing File Formats“, *Engineering Series*, t. 2, p. 135–138, 2018, Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 12 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://www.utgjiu.ro/rev\\_ing/pdf/2018-2/23\\_C.IANCU%20-%20ABOUT%203D%20PRINTING%20FILE%20FORMATS.pdf](https://www.utgjiu.ro/rev_ing/pdf/2018-2/23_C.IANCU%20-%20ABOUT%203D%20PRINTING%20FILE%20FORMATS.pdf)
- [82] N. Yildirim, M. Franklin, D. Zeng, J. Zimmerman, ir J. Mccann, „metaSVG: A Portable Exchange Format for Adaptable Laser Cutting Plans“, *Graphics Interface 2022 Conference*, 2022, Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 12 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://openreview.net/pdf?id=rffplK46z9>
- [83] M. Klement ir K. Bartek, „3D Modelling and its Use in Education“, *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, t. 13, nr. 1, p. 30–34, birž. 2023, doi: 10.33543/1301.

- [84] M. Ortega ir M. Ortega, „3D Object Position using Automatic Viewpoint Transitions“, *CHI 2013 - International Conference on Human-computer Interaction*, p. 193–196, 2013, doi: 10.1145/2470654.2470681i.
- [85] SketchUp, „Autoshape Tool“. Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 14 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://help.sketchup.com/en/sketchup-ipad/autoshape-tool?fbclid=IwAR2aBaykE1K3Paa532K0c-2J7EsiDKHdBT1z0ozP77516kG2uJD9atIXHRc>
- [86] Team Tinkercad, „Tinkercad Codeblocks: New Block to Build Efficiently with Lo“. Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 15 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.tinkercad.com/blog/codeblocks-logic>
- [87] SketchUp, „Setting Up Templates“. Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 15 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://help.sketchup.com/en/sketchup/setting-templates>
- [88] Blender, „Application Templates“. Žiūrėta: 2023 m. lapkričio 15 d. [Interaktyvus]. Adresas: [https://docs.blender.org/manual/en/latest/advanced/app\\_templates.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/advanced/app_templates.html)
- [89] V. Tiwari, P. K. Jain, ir P. Tandon, „Design Decision Automation Support through Knowledge Template CAD Model“, *Comput Aided Des Appl*, t. 12, nr. 1, p. 96–103, saus. 2015, doi: 10.1080/16864360.2014.949580.