

# Vizualizacija u projektiranju proizvodnih sustava

---

Jurič, Stipo

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:259882>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Stipo Jurič**

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:



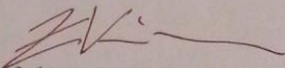
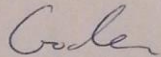
Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Stipo Jurič

Zagreb, 2025.

**ZADATAK**

	<p>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  <b>FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE</b>          Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite          Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:          proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo          materijala i mehatronika i robotika</p>							
	Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje							
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Datum</td> <td style="width: 40%;">Prilog</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ur.broj: 15 – 25 –</td> </tr> </table>	Datum	Prilog	Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1		Ur.broj: 15 – 25 –		
Datum	Prilog							
Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1								
Ur.broj: 15 – 25 –								
<b>ZAVRŠNI ZADATAK</b>								
Student:	<b>Stipo Jurič</b>	JMBAG: <b>0035224079</b>						
Naslov rada na hrvatskom jeziku:	<b>Vizualizacija u projektiranju proizvodnih sustava</b>							
Naslov rada na engleskom jeziku:	<b>Visualization in the design of production systems</b>							
Opis zadatka:	<p>Vizualizacija je u tehnici, uostalom kao i u drugim ljudskim djelatnostima, od vrlo velikog značaja, za stvaranje, prikaz i prijenos podatkovnih sadržaja.</p> <p>U radu je potrebno:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. objasniti pojam i značaj vizualizacije u ljudskim aktivnostima, napose tehničkim</li> <li>2. u sklopu metodologije projektiranja proizvodnih sustava, odabrati neke od projektnih sadržaja od interesa za vizualizaciju</li> <li>3. predložiti načine vizualizacije odabranih projektnih sadržaja iz točke 2.</li> </ol>							
Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:						
30. 11. 2024.	<b>1. rok:</b> 20. i 21. 2. 2025. <b>2. rok:</b> 10. i 11. 7. 2025. <b>3. rok:</b> 18. i 19. 9. 2025.	<b>1. rok:</b> 24. 2. – 28. 2. 2025. <b>2. rok:</b> 15. 7. – 18. 7. 2025. <b>3. rok:</b> 22. 9. – 26. 9. 2025.						
Zadatak zadao:		Predsjednik Povjerenstva:						
								
Prof. dr. sc. Zoran Kunica		Prof. dr. sc. Damir Godec						

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na pomoći pri odabiru teme, savjetima i prijedlozima.

U Zagrebu, 20. veljače 2025.

Stipo Jurič

## **SAŽETAK**

Vizualizacija je proces stvaranja vizualnih prikaza informacija, podataka ili sustava s ciljem lakšeg razumijevanja, analize i komunikacije. U ovom radu razmatrane su mogućnosti vizualizacije nekih sadržaja projektiranja proizvodnih sustava. Posebno, u primjeru projekta 3D vizualizirano je projektno rješenje prostornog rasporeda strojeva u proizvodnom pogonu, i to korištenjem softvera Blender i Solidworks.

Ključne riječi: proizvodni sustav, projektiranje, modeliranje, prostorni raspored, metoda trokuta

## **SUMMARY**

Visualization is the process of creating visual representations of information, data or systems with the aim of easier understanding, analysis and communication. In this work, the possibilities of visualizing some of the contents of designing production systems are considered. In particular, in the project example, a 3D project solution for the spatial arrangement of machines in the production facility was visualized, using Blender and Solidworks software.

Key words: production system, planning, modeling, layout, triangle method

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VII
POPIS SLIKA .....	IX
POPIS TABLICA.....	X
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. VIZUALIZACIJA U TEHNIČKIM PODRUČJIMA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. ALATI ZA VIZUALIZACIJU .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Tehnički crteži i skice .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Makete (modeli).....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. Blender .....</b>	<b>7</b>
<b>3.4. Autodesk 3ds Max.....</b>	<b>8</b>
<b>3.5. Solidworks Visualize .....</b>	<b>8</b>
<b>3.6. Planner 5D .....</b>	<b>9</b>
<b>3.7. SketchUp.....</b>	<b>10</b>
<b>4. PROŠIRENA STVARNOST .....</b>	<b>11</b>
<b>5. VIRTUALNA STVARNOST.....</b>	<b>13</b>
<b>6. PRIMJER PROJEKTA ZA VIZUALIZACIJU.....</b>	<b>15</b>
<b>7. PROJEKTNI KORACI I RJEŠENJA.....</b>	<b>17</b>
<b>7.1. Tok materijala .....</b>	<b>17</b>
<b>7.2. Kapacitivno dimenzioniranje.....</b>	<b>19</b>
<b>7.3. Prostorno dimenzioniranje.....</b>	<b>21</b>



---

7.4. Oblikovanje skladišta .....	23
7.5. Prostorni raspored elemenata .....	25
<b>8. VIZUALIZACIJA PROJEKTA .....</b>	<b>26</b>
8.1. Blenderov dodatak: Archimash .....	26
8.2. Modeliranje u Solidworksu .....	28
8.3. Bojenje i teksture u Blenderu .....	32
8.4. Vizualizacija skladišta .....	33
8.5. Vizualizacija proizvodnog dijela sustava .....	35
<b>9. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>38</b>
<b>10. LITERATURA.....</b>	<b>39</b>

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
2D		dvodimenzionalno
3D		trodimenzionalno
$A_N$	$m^2$	netoproizvodna površina
$A_O$	$m^2$	tlocrtna površina osnove elementa proizvodnog sustava (stroja, ručnog radnog mjesta)
$A_E$	$m^2$	površina elementa
$A_{SN}$	$m^2$	netoskladišna površina
API		eng. <i>Application Programming Interface</i> – programsko sučelje aplikacije
$b_{kj}$		intenzivnost toka materijala između k-tog i j-tog elementa sustava
CAD		eng. <i>Computer Aided Design</i> – računalom potpomognuto oblikovanje
CAE		eng. <i>Computer Aided Engineering</i> – računalom potpomognuto inženjerstvo
FSB		Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
$f_T$		faktor udjela transportne površine

---

$f_P$		faktor udjela pomoćne površine
$f_O$		faktor udjela površine za odlaganje
$n_E$		stvarno potreban broj strojeva
$n_S$		broj serija predmeta rada u planskome razdoblju
$n_{TE}$		teoretski potreban broj strojeva
$t_E$	h/a	vremensko opterećenje elementa proizvodnog sustava (stroja, ručnog radnog mjesta)
$Q_S$		veličina serije, broj komada u seriji
$Q_{PO}$		broj predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje
$Q_{TSi}$		broj sredstava za odlaganje i-toga predmeta rada koja se prevoze transportnim sredstvom u jednoj vožnji (kapacitet transportnog sredstva)

## POPIS SLIKA

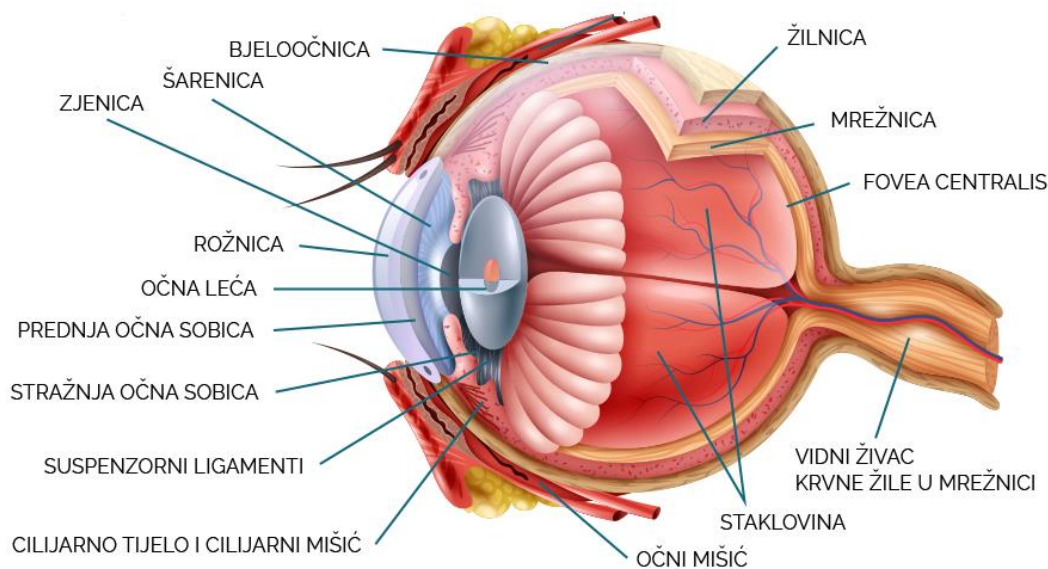
Slika 1. Građa ljudskog oka [1].....	1
Slika 2. Maketa grada Zagreba [5] .....	6
Slika 3. Testiranje modela zrakoplova YF-12 [6] .....	7
Slika 4. Model kuće u programu blender [8] .....	8
Slika 5. Vizualizacija proizvoda u programu Solidworks Visualize [13] .....	9
Slika 6. Korištenje proširene stvarnosti pri montaži [23].....	12
Slika 7. VR korištena u obuci operatora stroja [24].....	14
Slika 8. Rješenje tlocrta skladišta (kote izražene u metrima) .....	24
Slika 9 Raspored strojeva .....	25
Slika 10. Glavni izbornik dodatka Archimesh .....	27
Slika 11. Primjer mogućnosti dodatka Archimesh.....	28
Slika 12. Primjer skladišnog regala [19] .....	29
Slika 13. Model regala oblikovan u Solidworksu .....	29
Slika 14. Datoteke modela regala u formatu STL.....	30
Slika 15. Uvoz STL datoteke u Blenderu.....	31
Slika 16. Primjer bojenja teksture na modelu skladišnog regala.....	32
Slika 17. 3D vizualizacija skladišta.....	33
Slika 18. Vizualizacija skladišta: 1 – površina za odlaganje (12 m <sup>2</sup> ), 2 – pomoćna površina (15 m <sup>2</sup> ).....	34
Slika 19. Raspored elemenata u sustavu: gore, rješenje dobiveno modificiranim postupkom trokuta; dolje, konceptualni prostorni raspored.....	36
Slika 20. 3D prikaz proizvodnog dijela sustava .....	37

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Vrijednosti intenzivnosti toka materijala .....	18
Tablica 2. Kvantitativna neorijentirana matrica toka materijala između elemenata sustava ...	19
Tablica 3. Potreban broj elemenata .....	20
Tablica 4. Faktori površine (diskontinuirani koeficijenti) .....	21
Tablica 5. Proračun netoproizvodne površine ukinuti italic gdje treba u prvom retku? .....	22
Tablica 6. Vrste i količine materijala u ulazno-izlaznom skladištu .....	23

## 1. UVOD

Osjetilo vida jedno je od najvažnijih ljudskih osjetila, ključno za svakodnevnu interakciju s okolinom (Slika 1.). Preko vida čovjek prima oko 80 % informacija iz okruženja, što ga čini nezamjenjivim alatom za prepoznavanje objekata i orijentaciju u prostoru te donošenje odluka. Vid je proces u kojem se stvara slika okoline pomoću očiju, optičkih živaca i mozga. Svjetlost prolazi kroz rožnicu, a količina svjetla koje prolazi dalje kroz leću je kontrolirano pomoću zjenice. Leća fokusira svjetlost na stražnji dio oka gdje se nalazi mrežnica koja sadrži stanice osjetljive na svjetlost koje pretvaraju svjetlost u električne signale. Električni signali putuju kroz optički živac do mozga gdje se obrađuju i stvaraju sliku.



**Slika 1. Građa ljudskog oka [1]**

Vizualna percepcija je sposobnost tumačenja i osmišljavanja vizualnih informacija iz okoline kroz proces vida. Ovaj složeni proces uključuje nekoliko koraka, počevši od detekcije

svjetla očima i završavajući tumačenjem vizualnih podražaja od strane mozga. Vizualna percepcija omogućuje pojedincima razumijevanje i interakciju s okolinom prepoznavanjem, organiziranjem i tumačenjem oblika, boja, prostornih odnosa, kretanja i drugih vizualnih atributa. Dobre vizualne percepcijske vještine važne su za mnoge svakodnevne vještine kao što su čitanje, pisanje, rješavanje zagonetki, rješavanje matematičkih zadataka i mnoge druge vještine. Vizualna percepcija događa se u moždanoj kori mozga, elektrokemijski signali tamo stižu putujući kroz optički živac i talamus, proces koji može trajati samo 13 milisekundi. [17]

## 2. VIZUALIZACIJA U TEHNIČKIM PODRUČJIMA

Vizualizacija je proces stvaranja vizualnih prikaza informacija, podataka ili sustava s ciljem lakšeg razumijevanja, analize i komunikacije. Vizualizacija pomoću slika je učinkovit način komuniciranja kako apstraktnih tako i konkretnih ideja. Osim lakšeg razumijevanja, vizualizacija povećava i učinkovitost zbog bržeg procesiranja vizualnih podataka od tekstualnih ili numeričkih. U tehničkim područjima česti su susreti sa složenim sustavima kao što su strojevi i proizvodni pogoni, vizualni prikazi poput tehničkih crteža CAD modela i simulacija omogućavaju lakšu analizu sustava, bolju percepciju rasporeda i dimenzija elemenata u sustavu te lakše uočavanje grešaka ili potencijalne probleme koji bi se mogli pojaviti. [2]

Tehnička područja poput strojarstva, građevinarstva, arhitekture i urbanizma, redovito se susreću s velikom količinom kompleksnih podataka koji bez vizualizacije mogu biti nepregledni i teško razumljivi. Vizualizacijom podataka preko slika, crteža, grafova, tablica ili modela, informacije, uzorci i zaključci su uočljivi i lakše shvatljivi. Vizualizacija također olakšava komunikaciju između ljudi. Prenošnje vlastitih tehničkih koncepata i podataka drugim sudionicima, koji uz to mogu biti iz drugih, često netehničkih područja, može biti otežano, stoga transformacija podataka u vizualni oblik omogućava lakše prenošenje ideja i podataka. Slijedno tome, bolje razumijevanje podataka i ideja dovodi do donošenja boljih odluka.

Vizualizacija pomaže i kod pamćenja informacija, s obzirom da ljudi lakše pamte vizualne informacije od tekstualnih.



Vizualizacija objekata a potom i zbivanja, fizičkim modelima ili softverskim 3D modelima te simulacijom, olakšavaju postavljanje i opis problema i sistematsko pronalaženje rješenja.

Tradicionalni načini vizualizacije koji su upotrebljavani prije pojave suvremenih računalnih alata, kako bi se prikazali modeli i tehnički projekti, jesu: tehnički crteži i skice rukom, makete odnosno fizički modeli. Potonji su često izrađeni od kartona, papira, drva, plastike, stiropora ili gline, koji su omogućavali vizualizaciju prostora i volumena u stvarnom svijetu.

Moderni načini vizualizacije odnosno alati koji omogućuju prikazivanje projekata i proizvoda na vizualno vjerodostojan, privlačan, lako razumljiv te interaktivan način, uključuju računalne programe kao što su: Blender, Solidworks Visualize, Autodesk 3ds Max, Planner 5D i Sketch Up.

### 3. ALATI ZA VIZUALIZACIJU

Načini vizualizacije se obično dijele na tradicionalne odnosno fizičke i moderne digitalne. U tradicionalne načine vizualizacije spadaju: tehnički crteži i ručne skice, makete odnosno fizički modeli često izrađeni od kartona, papira, drva, plastike, stiropora ili gline. Nedostaci tradicionalnih načina vizualizacije poput tehničkih crteža i maketa jest nemogućnost prikazivanja mikrodetalja te nemogućnost trodimenzionalnog prikaza kod tehničkih crteža. Kod izrade fizičkih modela odnosno maketa javljaju se i visoki troškovi koji mogu doseći i do nekoliko desetaka tisuća eura u slučaju velikih i složenih projekata.

Nadalje, tradicionalni načini vizualizacije su nefleksibilni, odnosno jednom kad su izrađeni ne mogu se mijenjati.

Moderni softverski alati i oprema za vizualizaciju transformirali su pristup dizajnu, planiranju i analizi projekata. Oni omogućuju visoku preciznost, interaktivnost i fleksibilnost, čineći procese bržima i učinkovitijima. Korištenje ovih tehnologija ključno je za konkurentnost u suvremenom okruženju.

#### 3.1. Tehnički crteži i skice

Tehnički crtež je grafički prikaz nekoga strojnog dijela, proizvoda, građevine ili drugog objekta kojim se prikazuje njegov oblik te uporabna, funkcionalna i izvedbena svojstva. [3] Oni su ključni alati u strojarstvu, arhitekturi, građevinarstvu i proizvodnji, jer služe kao univerzalan jezik tehničkih stručnjaka. Tehnički crteži izrađuju se prema strogim pravilima i normama (standardima) kako bi se izbjegle pogreške u interpretaciji. Najupotrebljavanije norme su ISO, EN i ANSI. Prednosti tehničkih crteža su: prenošenje točnih i nedvosmislenih informacija zahvaljujući normizaciji, pružanje informacija potrebnih za izradu i montažu te 2D ili 3D prikazivanje objekata.

### 3.2. Makete (modeli)

Makete su fizički modeli koji predstavljaju smanjenu, uvećanu ili realnu verziju objekta, zgrade, proizvoda, vozila ili nekog drugog sustava (Slika 2.). Izrađuju se kako bi se vizualno i taktilno prikazali ključni aspekti dizajna, funkcionalnosti ili strukture objekta. Makete su dugogodišnji alat u arhitekturi, strojarstvu i razvoju proizvoda, jer omogućuju bolji uvid u detalje dizajna prije stvarne realizacije. Mogu se izrađivati od raznih materijala, poput kartona, plastike, drveta, gline, metala ili 3D tiskati. Makete omogućuju razumijevanje oblika, proporcija i prostorne organizacije objekta te klijentima, investitorima ili javnosti pružaju jasan i opipljiv prikaz projekta. Makete mogu biti i funkcionalne i korištene za provjeru funkcionalnosti dizajna (Slika 3.). Prednost maketa tj. fizičkih modela je u lakšem prenošenju ideja od tehničkih crteža ili skica i omogućavaju realističan prikaz pogotovo kod detaljnih maketa, gdje se može simulirati izgled stvarnog objekta i gdje se mogu simulirati karakteristike objekta poput aerodinamičkih karakteristika zrakoplova na njegovom umanjenom modelu. Makete imaju i mnoge nedostatke kao što su cijena koja zbog materijala i stručne izvedbe mogu dosežati i do nekoliko tisuća dolara zavisno o njihovoj složenosti. [4] Makete su također ograničene kad je riječ o fleksibilnosti jer je modele teško ili gotovo nemoguće mijenjati jednom kad su napravljeni.



Slika 2. Maketa grada Zagreba [5]

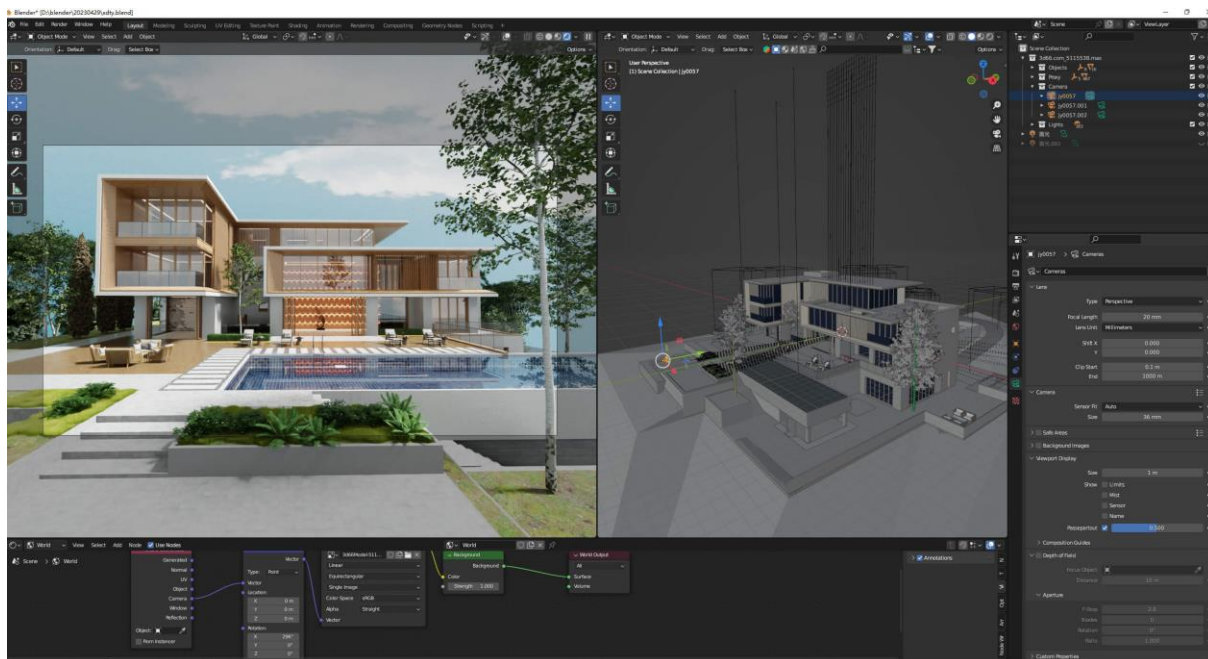


Slika 3. Ispitivanje modela zrakoplova YF-12 [6]

### 3.3. Blender

Blender je softverski alat otvorenog kôda koji se koristi za modeliranje, simulaciju, animaciju, renderiranje, praćenja pokreta i uređivanje videa. Napredni korisnici koriste Blenderov API (eng. *Application Programming Interface*) za Python skriptiranje kako bi prilagodili aplikaciju i razvili specijalizirane alate. [7] Prednosti korištenja Blendera su njegova pristupačnost s obzirom da je program potpuno besplatan. Kako je Blender otvorenog kôda, omogućava je prilagodbu programa specifičnim potrebama, te se modeli izrađeni u Blenderu mogu nakon izvoza prilagoditi za ispis na 3D printeru. Program Blender omogućava

modeliranje kako malih proizvoda poput kućanskih aparata sve do velikih urbanističkih modela. Na Slika 4. može se vidjeti model kuće generiran pomoću programa Blender.



Slika 4. Model kuće u programu Blender [8]

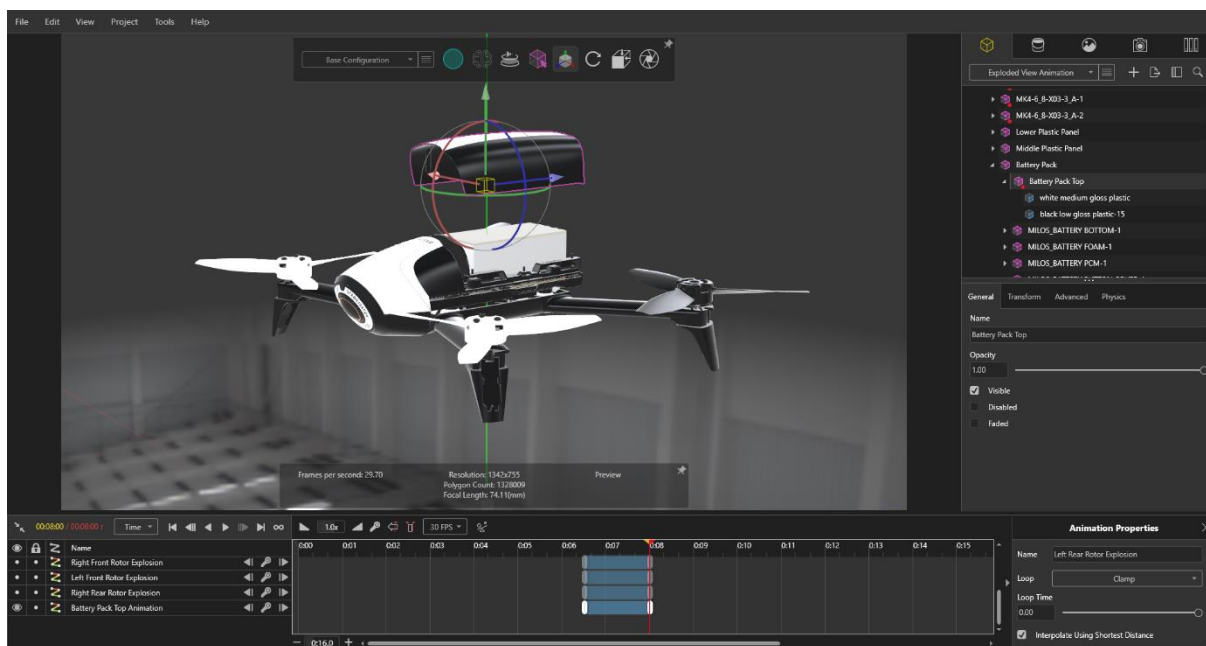
### 3.4. Autodesk 3ds Max

Autodesk 3ds Max je softver za 3D modeliranje, animaciju i renderiranje koji se široko koristi u industrijama poput igara, arhitekture, filma i dizajna proizvoda. Nudi snažan alatni set za stvaranje visokokvalitetnih 3D modela i vizualizacija. [9] Prednosti programa Autodesk 3ds Max je omogućavanje interoperabilnosti te integraciju s drugim Autodeskovim programima kao što su Maya, AutoCAD i Revit. Program također omogućava prilagodbu korisničkog sučelja uključujući prečace, izbornike, traku sa alatima i boje. [10] Autodesk 3ds Max također pruža korisnicima detaljna uputstva kako koristiti program u službenim videima.

### 3.5. Solidworks Visualize

Solidworks je program razvijen od strane francuske tvrtke Dassault Systèmes za CAD (eng. *Computer Aided Design* – računalom potpomognuto oblikovanje) i CAE (eng. *Computer Aided Engineering* – računalom potpomognuto inženjerstvo). Solidworks omogućava 3D oblikovanje pojedinačnih dijelova ili cijelih sklopova, poznat je po relativno

lakom korištenju i intuitivnom korisničkom sučelju. Osim mogućnosti 3D oblikovanja, program Solidworks omogućava i izradu tehničkih crteža za dijelove i sklopove te simulacije kao što su izvijanje, prijenos topline, optimizacije oblika, simulacije deformacije uzrokovane udarom i mnoge druge. [11] Primarna svrha programa Solidworks je pomoć u proizvodnji i projektiranju. Solidworks Visualize služi za vizualizaciju proizvoda (Slika 5.). Program omogućava prikazivanje interaktivnih animacija i fotorealističnih prikaza. Velika prednost programa Solidworks Visualize je mogućnost uvoza modela iz Solidworksa i drugih CAD softvera uključujući: Autodesk 3ds Max, Maya, CATIA V4 i V5, Siemens PLM i Simens NX. [12] Solidworks Visualize također nudi detaljna uputstva za korištenje programa u službenim videima na svojoj stranici, također pruža podršku korisnicima preko službenog Solidworks foruma u svrhu rješavanja problema vezanih uz korištenje programa. Jedan od nedostataka softvera je cijena i visoki tehnički zahtjevi za sustav.



Slika 5. Vizualizacija proizvoda u programu Solidworks Visualize [13]

### 3.6. Planner 5D

Planner 5D je digitalan alat koji se koristi u upravljanju projektima i planiranju izgradnje koja integrira trošak (peta dimenzija) s tradicionalnim 3D modeliranjem (geometrija) i vremenom (4D planiranje). Omogućuje zainteresiranim stranama da vizualiziraju i analiziraju kako se dizajn, raspored i proračun presijecaju i razvijaju kroz

životni ciklus projekta. Ovaj pristup planiranju široko se koristi u građevinskim, arhitektonskim i infrastrukturnim projektima kako bi se osiguralo učinkovito upravljanje resursima, kontrola troškova i učinkovito donošenje odluka. [14] Planner 5D omogućava izradu 2D planova i 3D vizualizacije prostorija, program također omogućava izvoz datoteka u formatima .dwg ili .dxf te se mogu koristiti u programima kao što su AutoCAD, Revit i drugi. [15]

### 3.7. SketchUp

SketchUp je aplikacija za 3D modeliranje koja se koristi u raznim područjima povezanim s dizajnom, uključujući arhitekturu, strojarstvo i dizajn videoigara. Pomoću ove aplikacije se mogu i stvarati modeli za 3D ispis. SketchUp je relativno jednostavan za učenje i korištenje i zahtjeva niske performanse računala za rad, što ga uz relativno nisku cijenu u odnosu na slične aplikacije čini vrlo privlačnim za početnike. [16]

### 3.8. VOPS

VOPS (Vizualizacija i oblikovanje proizvodnih sustava) je programski paket razvijen na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu softverom IDEAS (eng. *Integrated Design Engineering Analysis Software*) koji je razvila američka tvrtka SDRC (eng. *Structural Dynamics Research Corporation*). Program VOPS služi za vizualizaciju projektnih rješenja, implementiranje 3D modela elemenata sustava, skraćivanje vremena projektiranja te izradu većeg broja varijanti projektnog rješenja. [25]

Za dodjelu elemenata na proizvodnu površinu, VOPS koristi minimalni transportni učinak, a kako bi se on izračunao potrebno je intenzivnost toka materijala između elemenata u sustavu te transportnu udaljenost između tih sustava. Elementi se uzimaju iz CAD baze podataka te ih je moguće modificirati. Katalog se sastoji od elemenata poput: univerzalnih tokarilica, CNC tokarilica, vertikalnih glodalica, horizontalnih glodalica i ručnih radnih mjesta. Modelima se dodaju funkcionalne površine čije dimenzije određuje korisnik.

## 4. PROŠIRENA STVARNOST

Proširena stvarnost (AR iz eng. *Augmented Reality*), tehnologija je koja preklapa video ili slike na prikaz fizičkog svijeta, obično putem pametnog telefona. [26] Preklopljena slika stvara interakciju između korisnika, digitalnog i fizičkog svijeta. Za razliku od virtualne stvarnosti, proširena stvarnost ne zahtijeva specijalnu i skupu opremu kako bi se koristila.

Primarne funkcije AR-a uključuju vizualizaciju, upute i interakciju. Vizualizacijom mehaničkih sustava AR slojevi pokazuju kako se različiti dijelovi uklapaju, vodeći radnike kroz složene sklopove te omogućavaju inženjerima vidjeti unutarnje strukture bez rastavljanja strojeva. Pomoću proširene stvarnosti moguće je vizualizirati strojeve i slične proizvodne elemente unutar prostorije i time olakšati planiranje rasporeda strojeva i količinu prostora koji će biti dostupan za posluživanje stroja i transport između njih. Proširena stvarnost omogućava navođenje u stvarnom vremenu davanjem uputa korak po korak izravno na opremi ili radnom prostoru te uklanja potrebu za pauziranjem rada radi provjere priručnika, 2D dijagrama ili videozapisa kao što je prikazano na Slika 6.

Proširena stvarnost predstavlja revolucionarnu tehnologiju koja unosi digitalne elemente u fizički svijet, omogućujući interaktivnije i učinkovitije načine rada. Njena primjena u industriji olakšava vizualizaciju složenih sustava, optimizira procese planiranja i povećava produktivnost smanjenjem potrebe za fizičkim priručnicima i nacrtima. Zahvaljujući pristupačnosti i jednostavnosti korištenja, proširena stvarnost postaje sve prisutnija u različitim sektorima, pružajući korisnicima poboljšano iskustvo i povećanu preciznost u obavljanju zadataka.





Slika 6. Korištenje proširene stvarnosti pri montaži [23]

## 5. VIRTUALNA STVARNOST

Virtualna stvarnost (VR od eng. *Virtual Reality*), tehnologija je koja uranja korisnike u računalno generirano, trodimenzionalno okruženje, omogućujući im interakciju s digitalnim sadržajem. Srž virtualne stvarnosti leži u njenoj sposobnosti stvaranja okruženja pomoću specijaliziranog hardvera i softvera. Uređaji VR kao što su naočale, slušalice i kontroleri pokreta omogućuju korisnicima da vide, čuju, pa čak i dodiruju predmete u virtualnom svijetu. Tehnologija prati kretanje korisnika, prilagođavajući virtualno okruženje u stvarnom vremenu. Na temelju najvažnije značajke VR-a, uranjanja (imverzivnosti) korisnika u računalno generirano, trodimenzionalno okruženje, sustavi VR mogu se podijeliti na tri vrste: uranjajući (eng. *immersive*), poluuranjajući (eng. *semi-immersive*) i neuranjajući (eng. *non-immersive*) [20].

Jedna od ključnih prednosti virtualne stvarnosti u strojarstvu jest mogućnost vizualizacije proizvoda [21] te radnih i proizvodnih procesa i sustava na vrlo realističan i interaktivan način. Virtualna stvarnost eliminira potrebu za fizičkim prototipovima, značajno skraćujući vrijeme i troškove povezane s tradicionalnim metodama vizualizacije. Pomoću virtualnih prototipova u kontekstu stvarnog svijeta, konstruktori i tehnolozi mogu virtualno iskušavati različite konfiguracije, materijale i dimenzije te ostale oblikovno-projektne značajke od interesa, što omogućuje bolju procjenu te brže i točnije donošenje odluka u pogledu na primjer: funkcionalnosti i učinkovitosti, ergonomije i estetike, sigurnosti i ekonomičnosti.

Virtualna stvarnost također omogućava vizualizacije objekata, revolucionizirajući način na koji arhitekti i inženjeri dizajniraju, procjenjuju i komuniciraju s fizičkim prostorima. Stvaranjem 3D virtualnih modela objekata, virtualna stvarnost omogućuje korisnicima da dožive i istraže prostor prije nego što se izgradi ili renovira, poboljšavajući donošenje odluka, suradnju i učinkovitost. 3D modeliranje i renderiranje temeljni su procesi u stvaranju

virtualne stvarnosti. Ovi procesi uključuju dizajniranje i vizualizaciju detaljnih digitalnih sredstava koja naseljavaju virtualne svjetove. Alati poput Blendera, 3ds Maxa i SolidWorksa vodeće su softverske platforme u industriji koje dizajnerima omogućuju izradu vrlo detaljnih 3D modela.

Pomoću virtualne stvarnosti korisnici mogu komunicirati s 3D modelima u vidu manipulacije, odnosno mogu pomicati, rotirati ili montirati i demontirati sklopove pomoću VR kontrolera. Virtualna stvarnost se također može koristiti za simulacije interakcija u stvarnom svijetu kao što su gibanja stroja, pa se sukladno tome VR može koristiti za obuku radnika na složenim strojevima interakcijom s točnim 3D modelima (Slika 7.) i za uvježbavanje postupaka održavanja, kao što je rastavljanje komponenti, bez rizika u stvarnom svijetu.



**Slika 7. VR korištena u obuci operatora stroja [24]**

## 6. PRIMJER PROJEKTA ZA VIZUALIZACIJU

U radu će se u nastavku razmatrati vizualizacija na primjeru projektiranja proizvodnih sustava [22]. Predstavit će se vizualizacija pojedinih projektnih sadržaja, na načine kako je to uobičajeno u projektiranju, uz davanje prijedloga kako da se vizualizacija unaprijedi, pa tako i projektiranje.

Projekt odabran za vizualizaciju je projekt proizvodnog pogona napravljenog u sklopu kolegija „Projektiranje proizvodnih sustava“<sup>1</sup>. Projektom je u kolegiju za zadani proizvodni program od 10 dijelova, poznate tehnološke postupke i strojeve te dodatna projektna ograničenja u smislu mikrolokacije sustava, bilo potrebno: načiniti izbor reprezentativnih dijelova, odrediti sredstva za odlaganje i transportna sredstva, definirati matricu toka materijala, definirati strukturu proizvodnoga sustava, proračunati broj elemenata (strojeva i ručnih radnih mjesta) za sustav, proračunati proizvodne površine, načiniti plan izgradnje s određivanjem oblika zgrade i njenim parametrima, te definirati prostorni raspored elemenata. U sklopu ovog rada fokus će biti na vizualizaciji prostornog rasporeda elemenata u sustavu (eng. *layout*) i vizualizaciji proizvodne dvorane.

Proizvodni program obuhvatio je deset dijelova: korito ležaja, kućište brtvila, letva, osovina, osovinica, poluga, rotor pumpe, navojno vreteno 1000x11, navojno vreteno 250x5, tijelo kutomjera. Svi podaci o masi, dimenzijama, proizvodnoj količini u seriji i broju serija, kao i o vrstama strojeva na kojim se obrađuju i njihovom redosljedu preuzeti su sa stranice [18].

---

<sup>1</sup> Kolegij 7. semestra preddiplomskog studija strojarstva FSB-a.

Strojevi korišteni u proizvodnji su pod oznakama: T1, T3, TOK2, TOK3, G2, G3, G5, G6, BU, BURS3, PL, DUB, PIL, PRN, SVN, RM, B1, RB. Informacije o izgledu i dimenzijama strojeva preuzeti sa stranice [18].

U narednom će se poglavlju skraćeno prikazati tok projektiranja proizvodnog sustava s projektnim rješenjima od značaja za temu rada.

## 7. PROJEKTNI KORACI I RJEŠENJA

### 7.1. Tok materijala

Kako bi se mogao dobiti prostorni raspored elemenata u sustavu potrebno je znati tokove materijala između njih. Tok materijala se izražava kao količina materijala koja prolazi proizvodnim sustavom u određenom vremenskom razdoblju, a kvantificira se transportnom intenzivnošću. Tok materijala se može prikazati numerički ili grafički. Grafički prikazi mogu biti: kvalitativna matrica odnosa, Sankyjev dijagram ili kvantificirana funkcionalna shema.

Intenzivnost toka materijala izražava se brojem transporata u planskom razdoblju (jedna godina), a izračunava izrazom:

$$b_{kj_i} = n_{OI_i} \cdot n_{S_i} \quad (1)$$

gdje su:

$n_{OI_i}$  – broj transporata (prijevoza) jedne serije  $i$ -toga predmeta rada (materijala, dijela)

$n_{S_i}$  – broj serija  $i$ -toga predmeta rada u planskome razdoblju

$i$  – brojač predmeta rada koji se transportiraju između elemenata  $k$  i  $j$ .

Broj transporata (prijevoza) jedne serije  $i$ -toga predmeta rada, računa se izrazom:

$$n_{OI_i} = \frac{Q_{S_i}}{Q_{PO_i}} \cdot \frac{1}{Q_{TS_i}} \quad (2)$$

gdje su:

$Q_{S_i}$  – veličina serije  $i$ -tog predmeta rada

$Q_{PO_i}$  – broj predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje

$Q_{TS_i}$  – broj sredstava za odlaganje  $i$ -toga predmeta rada koja se prevoze transportnim sredstvom u jednoj vožnji (kapacitet transportnog sredstva).

Ukupna transportna intenzivnost u planskom razdoblju između dva elementa dobije se zbrajanjem intenziteta transporta za sve predmete rada koji se transportiraju između tih elemenata sustava, koji se prikazuje u matrici toka materijala. U Tablica 1. prikazane su intenzivnosti toka materijala za sve dijelove.

**Tablica 1. Vrijednosti intenzivnosti toka materijala**

Naziv dijela	Redosljed operacija	$n_S$	$n_{OI}$	$b_{kj}$
Korito ležaja	TOK3→TOK2→BU→BURS3	10	1	10
Kućište brtvila	TOK2→BU→BURS3	40	1	40
Letva	PL→G6→RM→G3→RM	20	1	20
Osovina	PL→T3→T1→G2→RM→B1	20	1	20
Osovinica	PL→T1	110	1	110
Poluga	PL→T3	100	1	100
Rotor pumpe	TOK3→RM→BURS3→G5→DUB →RM	20	6	120
Navojno vreteno 1000x11	PIL→TOK3→PRN→G5→TOK3	5	1	5
Navojno vreteno 250x5	TOK3→PRN→G5→SVN→TOK3	40	1	40
Tijelo kutomjera	G6→G5→RB→RM	20	1	20

Tablica 2. prikazuje neorijentiranu matricu toka materijala: ona sadrži numeričke vrijednosti koje predstavljaju količinu materijala razmijenjenog između elemenata (u jednoj godini).

Tablica 2. Kvantitativna neorijentirana matrica toka materijala između elemenata sustava

KA OD	T1	T3	TOK2	TOK3	G2	G3	G5	G6	BU	BURS3	PL	DUB	PIL	PRN	SVN	RM	B1	RB
T1		20			20						110							
T3											120							
TOK2				10					50									
TOK3							5						5	45	40		120	
G2																20		
G3																40		
G5								20		120		120		45	40			20
G6											20					20		
BU										50								
BURS3																120		
PL																		
DUB																	120	
PIL																		
PRN																		
SVN																		20
RM																	20	
B1																		
RB																		

## 7.2. Kapacitivno dimenzioniranje

Nakon definiranja toka materijala, provodi se kapacitivno dimenzioniranje. Kapacitivno dimenzioniranje proizvodnoga sustava zadaća je unutar djelatnosti projektiranja proizvodnih sustava, kojoj je svrha utvrđivanje potrebnoga broja odgovarajućih elemenata sustava (Tablica 3.).



Tablica 3. Potreban broj elemenata

Redni broj	ELEMENT	<i>tE</i>	<i>nTE</i>	<i>nE</i>	<i>nR</i>	Napomena
–	–	h/a	–	–	–	–
1	2	3	4	5	6	7
1	T1	596,67	0,314	1	1	Kupiti jedan stroj, neiskorišteni kapacitet iznajmiti
2	T3	3210	1,689	2	2	Kupiti dva stroja, višak kapaciteta iznajmiti
3	TOK2	1784,16	0,939	1	1	Kupiti jedan stroj
4	TOK3	8042,5	4,233	5	5	Kupiti pet strojeva, preostali kapacitet se iznajmljuje
5	G2	96,67	0,051	1	0	Kupiti jedan stroj na kojem će raditi radnik sa stroja G3, višak kapaciteta iznajmiti
6	G3	590	0,311	1	0	Kupiti jedan stroj, višak kapaciteta iznajmiti. Radnik će također raditi na stroju G2 I G6 te će imati oko 1190 sati rada godišnje
7	G5	1383,75	0,728	1	1	Kupiti jedan stroj
8	G6	503,33	0,265	1	1	Kupiti jedan stroj na kojem će raditi radnik sa stroja G3, višak kapaciteta iznajmiti
9	BU	243,66	0,128	1	1	Kupiti jedan stroj, preostali kapacitet iznajmiti
10	BURS3	3665,33	1,929	2	2	Kupiti dva stroja
11	PL	797,33	0,420	1	1	Kupiti jedan stroj, preostali kapacitet iznajmiti
12	DUB	378,33	0,199	1	1	Kupiti jedan stroj, ostatak kapaciteta iznajmiti
13	PIL	7,91	0,004	1	0	Kupiti jedan stroj na kojem će raditi radnik sa stroja PRN zbog jako niskog vremenskog ograničenja stroja. Višak kapaciteta se iznajmljuje
14	PRN	143,33	0,075	1	1	Kupiti jedan stroj, višak kapaciteta iznajmiti
15	SVN	213,33	0,112	1	0	Kupiti jedan stroj na kojem će raditi radnik sa stroja PRN zbog jako niskog vremenskog ograničenja stroja. Višak kapaciteta se iznajmljuje
16	RM	876	0,461	1	1	Kupiti jedan stroj, višak kapaciteta iznajmiti
17	B1	163,33	0,086	1	1	Kupiti jedan stroj, višak kapaciteta iznajmiti
18	RB	130	0,068	1	1	Stroj kupiti jer je jeftin, ostatak kapaciteta iznajmiti
Ukupno elemenata				24		

### 7.3. Prostorno dimenzioniranje

Važnost određivanja prostora potrebnog za nesmetani rad proizvodnog sustava proistječe iz visokih i stalno rastućih cijena građevinskog zemljišta i zgrada, ali i povećanih troškova proizvodnje nastalih zbog zastoja uslijed pomanjkanja prostora. Za dovoljno točno određivanje površine proizvodnog sustava nužno je poznavati sve činitelje kojima treba osigurati prostor i njihovu međusobnu povezanost.

Ukupna proizvodna površina  $A_{PR}$ , u metrima četvornim, zbroj je neto proizvodne površine  $A_N$ , transportne površine  $A_T$ , površine za odlaganje  $A_O$  i pomoćne površine  $A_P$ . Neto proizvodna površina je suma tlocrtne površine svih elemenata:

$$A_N = \sum_{i=1}^m A_{E_i} \quad (3)$$

dok se tlocrtna površina elementa računa izrazom:

$$A_E = A_O \cdot f_O \cdot n_E \quad (4)$$

gdje su:

$A_O$  – tlocrtna površina osnove elementa,  $m^2$

$f_O$  – diskontinuirani koeficijent ili faktor površine

$n_E$  – broj elemenata dotične vrste.

Diskontinuirani faktori površine su prikazani u Tablica 4.

**Tablica 4. Faktori površine (diskontinuirani koeficijenti)**

$A_O$	$f_O$
$m^2$	–
> 0,5 do 1	6
> 1 do 2	5
> 2 do 3	4,5
> 3 do 4	4
> 4 do 12	3
> 12 do 16	2,5
> 16	2

Tablica 5. Proračun netoproizvodne površine ukinuti italik gdje treba u prvom retku?

Redni broj	ELEMENT	$d_o$	Šo	$A_o$	$f_o$	$n_E$	$A_E$
–	–	m	m	m <sup>2</sup>	–	–	m <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
1	T1	3,32	0,94	3,1208	4	1	12,4832
2	T3	2,8	0,95	2,66	4,5	2	23,94
3	TOK2	3,3	1,87	6,171	3	1	18,513
4	TOK3	3,45	1,2	4,14	3	5	62,1
5	G2	1,62	1,8	2,916	4,5	1	13,122
6	G3	2,65	1,70	4,505	3	1	13,515
7	G5	2,64	2,22	5,8608	3	1	17,5824
8	G6	1,82	1,68	3,0576	4	1	12,2304
9	BU	2,32	2,12	4,9184	3	1	14,7552
10	BURS3	2,64	0,77	2,0328	4,5	2	18,2952
11	PL	1,95	1,56	3,042	4	1	12,168
12	DUB	1,30	0,65	0,845	6	1	5,07
13	PIL	2,40	1,20	2,88	4,5	1	12,96
14	PRN	1,53	1,35	2,0655	4,5	1	9,29475
15	SVN	1,61	1,26	2,0286	4,5	1	9,1287
16	RM	1,42	0,94	1,3348	5	1	6,674
17	B1	6,10	2,05	12,505	2,5	1	31,2625
18	RB	2,61	1,19	3,1059	4	1	12,4236
$A_N =$							<b>305,52</b>

Nakon što je izračunata neto proizvodna površina od 305,52 m<sup>2</sup> (Tablica 5.), pomoću nje se mogu izračunati i ostale površine pomoću faktora udjela.

Faktori udjela uzeti za izračun ostalih površina su maksimalni mogući iznosi:

$f_T$  – faktor udjela transportne površine,  $f_T = 0,4$

$f_P$  – faktor udjela pomoćne površine,  $f_P = 0,15$

$f_O$  – faktor udjela površine za odlaganje,  $f_O = 0,2$ .

Proizvodna površina iznosi:

$$A_{PR} = A_N + A_T + A_O + A_P = 305,52 + 122,21 + 61,1 + 45,83 = 534,66 \text{ m}^2.$$

#### 7.4. Oblikovanje skladišta

Svrha skladišta je osiguranje neprekinutosti proizvodnog procesa, u slučaju mogućih zastoja u isporuci materijala od strane dobavljača i sličnog. Ukupna površina skladišta sastoji se od: netoskladišne površine, transportne površine, površine za odlaganje te pomoćne površine. Netoskladišna površina se odnosi na tlocrtne površine regala unutar kojih je uskladišten materijal (sredstva za odlaganje), odnosno tlocrtne površine materijala koji se nalazi na podu. Načelo oblikovanja skladišta jest da se što je moguće više koristi visina. Stoga se materijal skladišti pomoću regala. Ipak, neki se materijali, na primjer uslijed velikih masa ili dimenzija, skladište na samome podu. Transportna površina obuhvaća površinu transportnih puteva u skladištu. Površina za odlaganje služi za privremeno odlaganje materijala. Pomoćna proizvodna površina služi za smještaj skladištara i njihov rad.

U Tablica 6. su prikazane vrste i količine materijala u ulazno izlaznom skladištu. Sva sredstva za odlaganje se nalaze na paletama dimenzija 1000x800x144 mm, stoga je potrebno 48 paletnih mjesta.

**Tablica 6. Vrste i količine materijala u ulazno-izlaznom skladištu**

Redni broj	DIO	VRSTA I TIP SZO	$n_{SZO} \cdot n_c$	$m_{SZO}$	Razdoblje zalihe	$n_{SZO SKL.}$	$m_{SZO SKL.}$
-			1/a	kg	s	-	kg
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Korito ležaja	Drvena paleta DP1	10	710	1 mjesec	1	60
2	Kučiste brtvila	Limeni sanduk LS1	40	11000	1 mjesec	4	917
3	Letva	Limena kutija TZ 70/III	20	700	1 mjesec	2	59
4	Osovina	Limena kutija TZ 70/III	40	3480	1 mjesec	4	290
5	Osovinica	Limena kutija TZ 70/III	110	66	1 mjesec	10	6
6	Poluga	Limena kutija TZ 70/III	100	2400	1 mjesec	9	200
7	Rotor pumpe	Limeni sanduk LS1	120	555000	1 mjesec	10	46250
8	Navojno vreteno 1000x11	Limena kutija TZ 70/I	5	560	1 mjesec	1	47
9	Navojno vreteno 250x5	Limena kutija TZ 70/III	40	1360	1 mjesec	4	114
10	Tijelo kutomjera	Limena kutija TZ 70/I	30	2610	1 mjesec	3	218
						Σ 48	

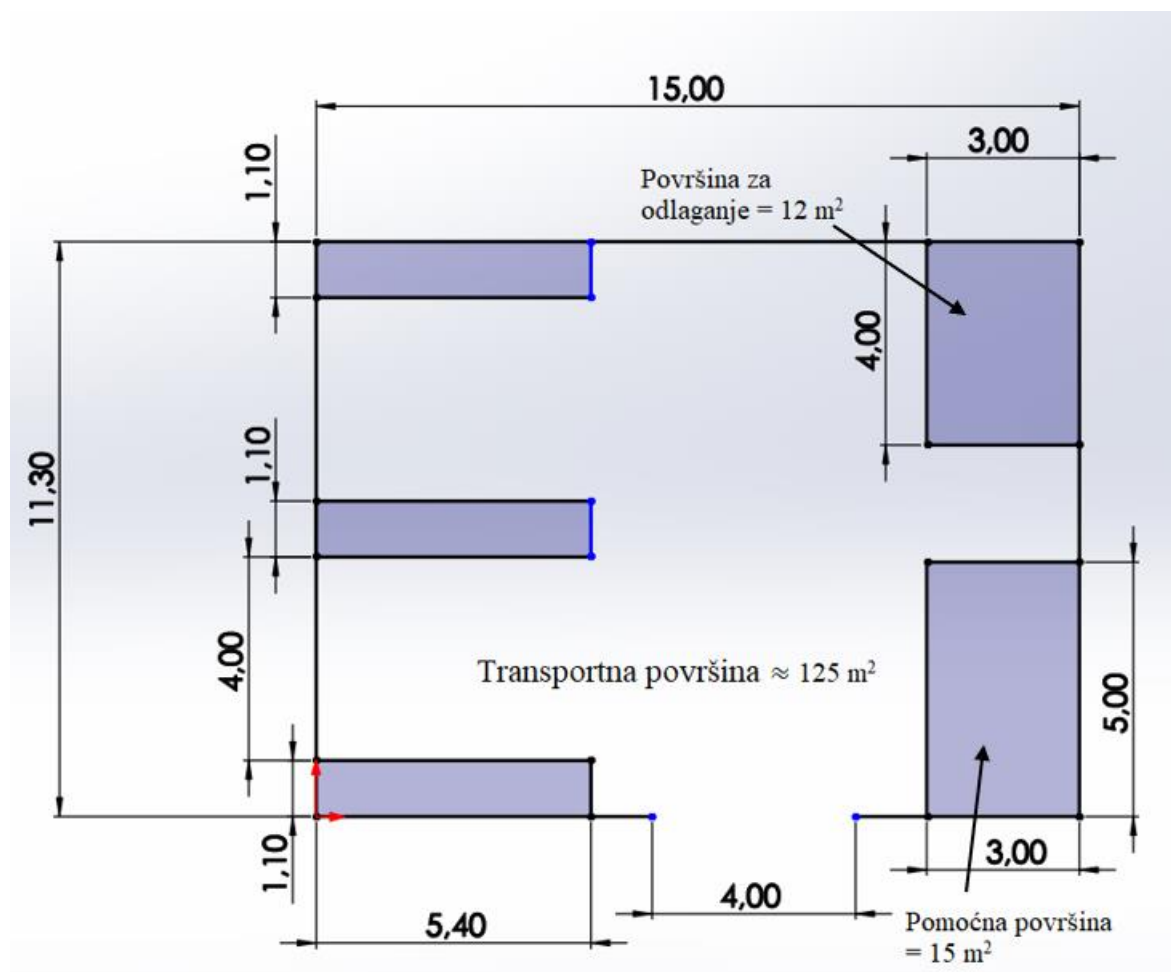
Budući da je odabran regal visine 3365 mm, duljine 2700 mm i širine 1100 mm, dva regala imaju duljinu od 5400 mm. S obzirom da je potrebno 48 paletnih mjesta, na jednu policu stanu tri palete što daje devet paleta po regalu (ako se palete budu stavljale na pod) odnosno potrebno je šest regala. Iz toga se dobiva netoskladišna površina:

$$A_{SN} = 2,7 \cdot 1,1 \cdot 6 = 17,82 \text{ m}^2.$$

Nakon što je izračunata netoskladišna površina, oblikovano je skladište (Slika 8.), uzimajući u obzir potrebne površine za transport, odlaganje i smještaj skladištara.

Potreban je jedan skladištar, pa odgovarajuća površina iznosi  $15 \text{ m}^2$ .

Površina skladišta  $A_{SK}$ , iznosi  $169,5 \text{ m}^2$ .

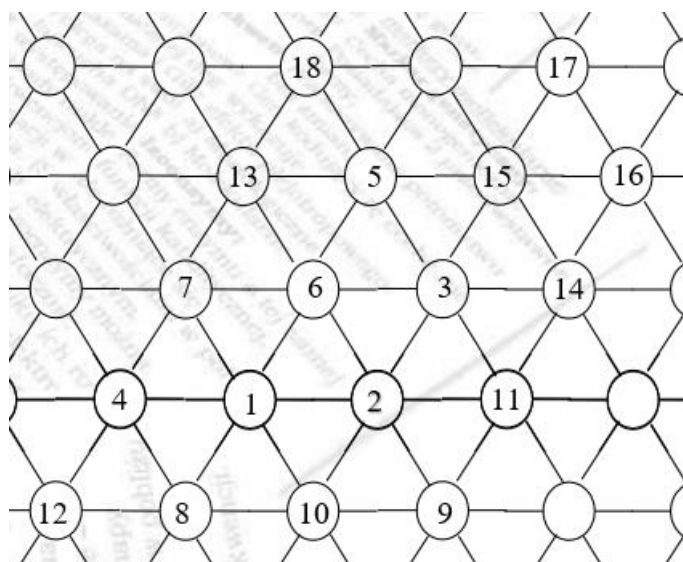


Slika 8. Rješenje tlocrta skladišta (kote izražene u metrima)

## 7.5. Prostorni raspored elemenata

Prostorni raspored elemenata u sustavu određuje se pomoću modificiranog postupka trokuta. Načelo je postupka, da ako treba rasporediti dva elementa proizvodnoga sustava, koja su međusobno povezana transportom, najbolji se raspored može postići ako se oba elementa postave na krajnje točke zamišljene linije koja ih povezuje. Ako treba razmjestiti tri elementa, koja su međusobno povezana tokom materijala, najkraći transportni putovi dobit će se ako se elementi razmjeste u vrhove istostraničnoga trokuta (Slika 9.). Za četvrti element sustava treba osigurati jednu od tri moguće lokacije na susjednim istostraničnim trokutima, koja uzrokuje najmanji trošak transporta.

Primjenom modificiranog postupka trokuta dobije se prostorni raspored elemenata s minimiranim troškom transporta odnosno transportnim udaljenostima. Rješenje prostornog rasporeda elemenata prikazano je slikom 9.



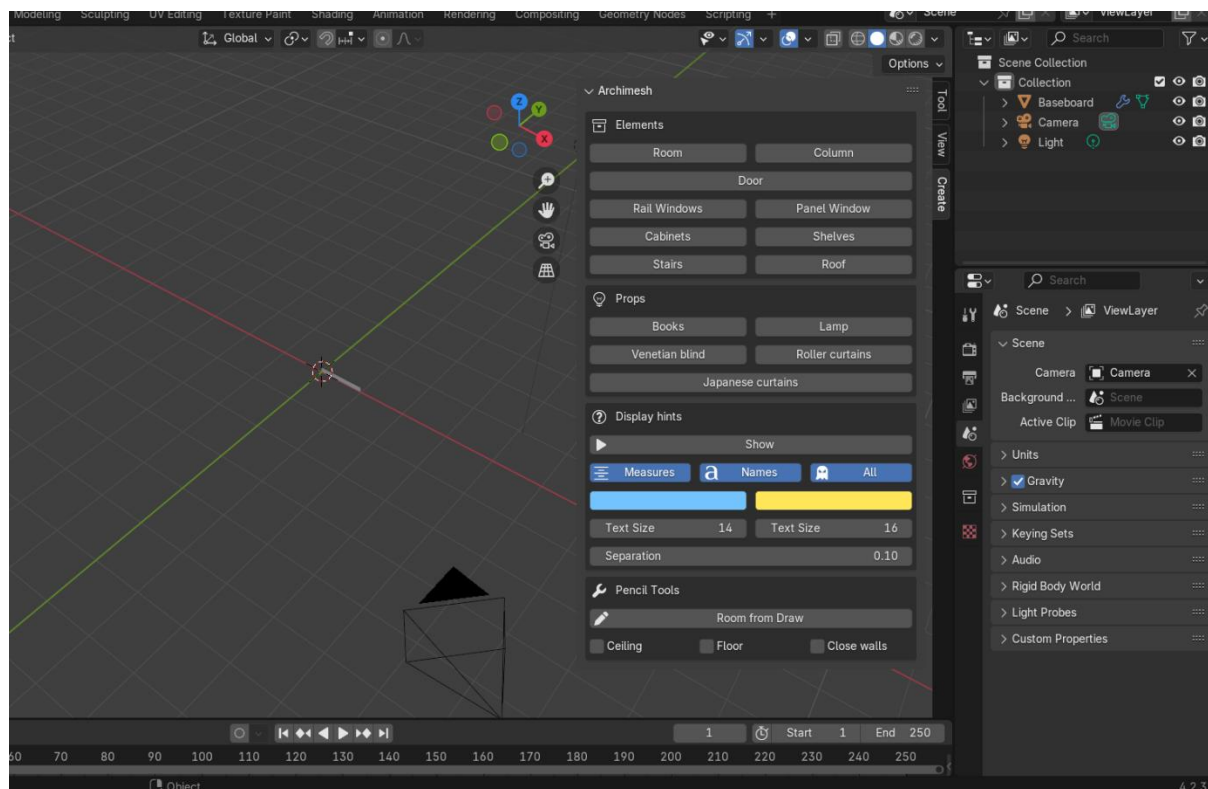
Slika 9 Raspored strojeva

## 8. VIZUALIZACIJA PROJEKTA

U ovom poglavlju prikazat će se mogućnosti programa Blender i Solidworks u svrhu vizualizacije proizvodnih i skladišnih prostora projekta razmotrenih u prethodnom poglavlju. Blender je program koji omogućuje 3D modeliranje, animacije, renderiranje, sastavljanje i praćenje pokreta, te uređivanje videa. Solidworks je CAD i CAE program. Solidworks omogućava 3D oblikovanje pojedinačnih dijelova ili cijelih sklopova.

### 8.1. Blenderov dodatak: Archimash

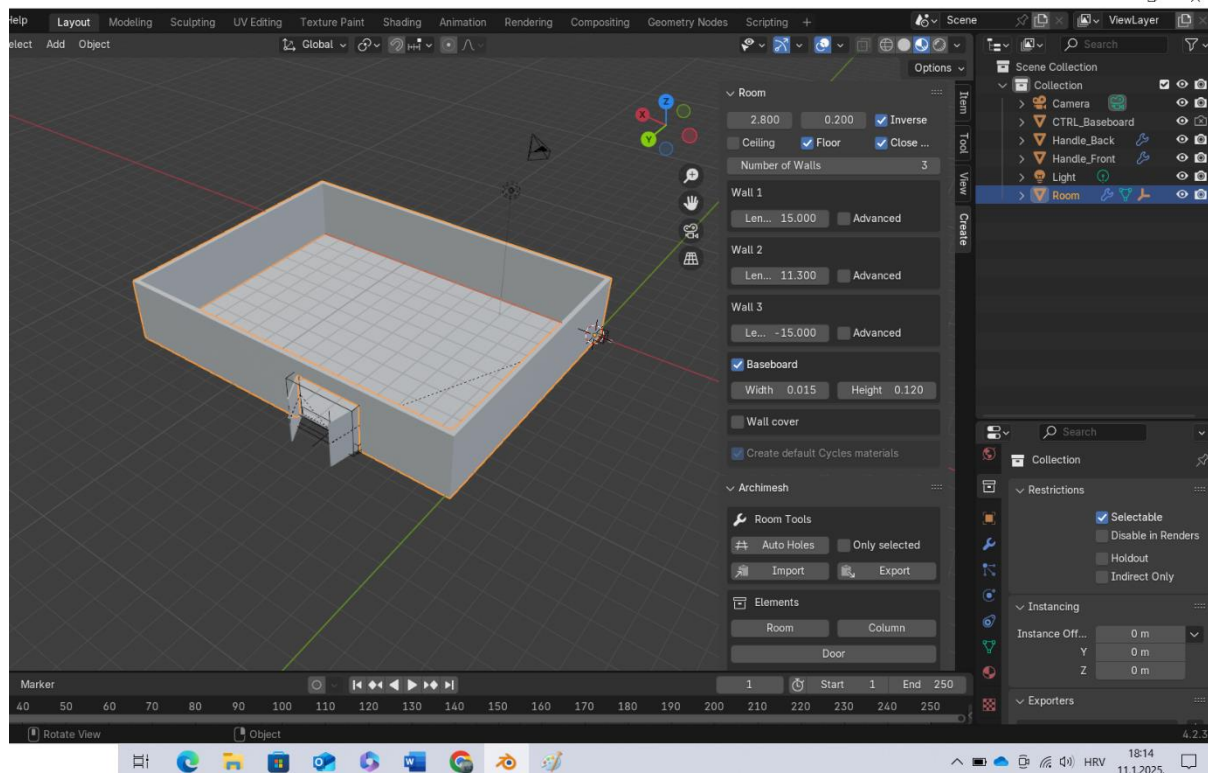
Program Blender (Slika 10.) omogućava preuzimanje i instaliranja dodataka (eng. *addons*) koji proširuju mogućnosti programa i olakšavaju njegovo korištenje. Dodaci koji su često napravljeni od strane korisnika, mogući su zahvaljujući otvorenom kôdu programa Blender. Jedan od dodataka koji je napravljen od strane korisnika, korišten je u ovom radu i naziva Archimash. To je dodatak specijalno napravljen za generiranje arhitektonskih elemenata poput: zidova, vrata, prozora, soba i stepenica. Dodatak je preuzet sa službene stranice Blendera [27]. Dodatak omogućava uređivanje parametara elemenata kao što su debljina i visina zidova, duljinu visinu i širinu vrata i prozora te omogućava automatsko zatvaranje prostorije povezujući početak prvog i kraj zadnjeg zida pravocrtnom linijom.



**Slika 10. Glavni izbornik dodatka Archimesh**

Slika 11. prikazuje primjer vizualizacije prostorijske napravljen uz pomoć dodatka Archimesh unutarnjih dimenzija 15 metara duljine i 11,3 metara širine s dvokrilnim vratima širine tri metra.





Slika 11. Primjer mogućnosti dodatka Archimesh

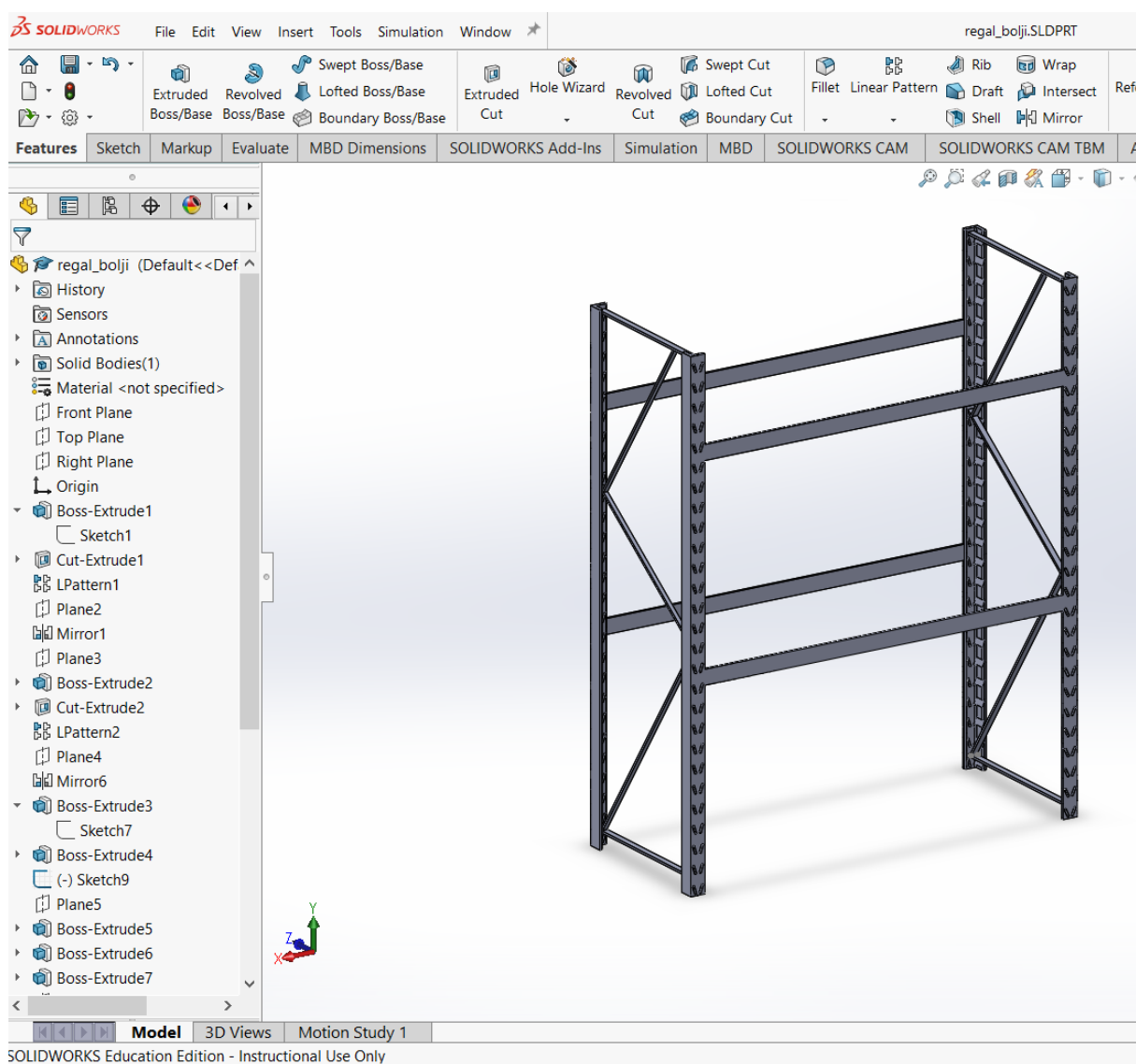
## 8.2. Modeliranje u Solidworksu

Elementi kao što su strojevi i skladišni regali, modelirani su u programima Solidworks i Blender. Modeli napravljeni pomoću programa Solidworks mogu se uvesti u program Blender ako ih se spremi kao datoteku u formatu STL. STL datoteka opisuje neobrađenu, nestrukturiranu trianguliranu površinu. Nedostatak STL datoteka je ograničenost u vidu boja i tekstura modela.

Slika 12. prikazuje odabran skladišni regal. Njegov model izrađen u programu Solidworks dan je slikom 13.

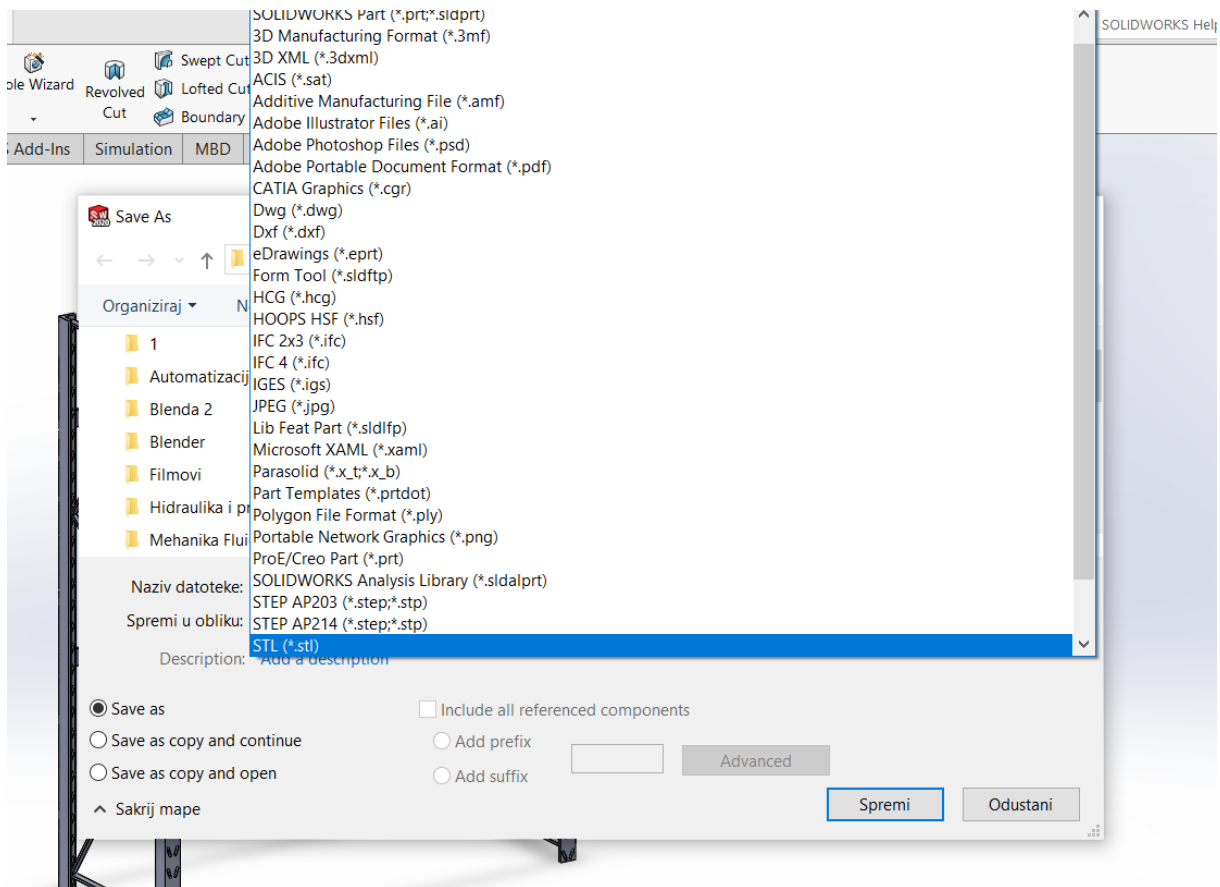


Slika 12. Primjer skladišnog regala [19]

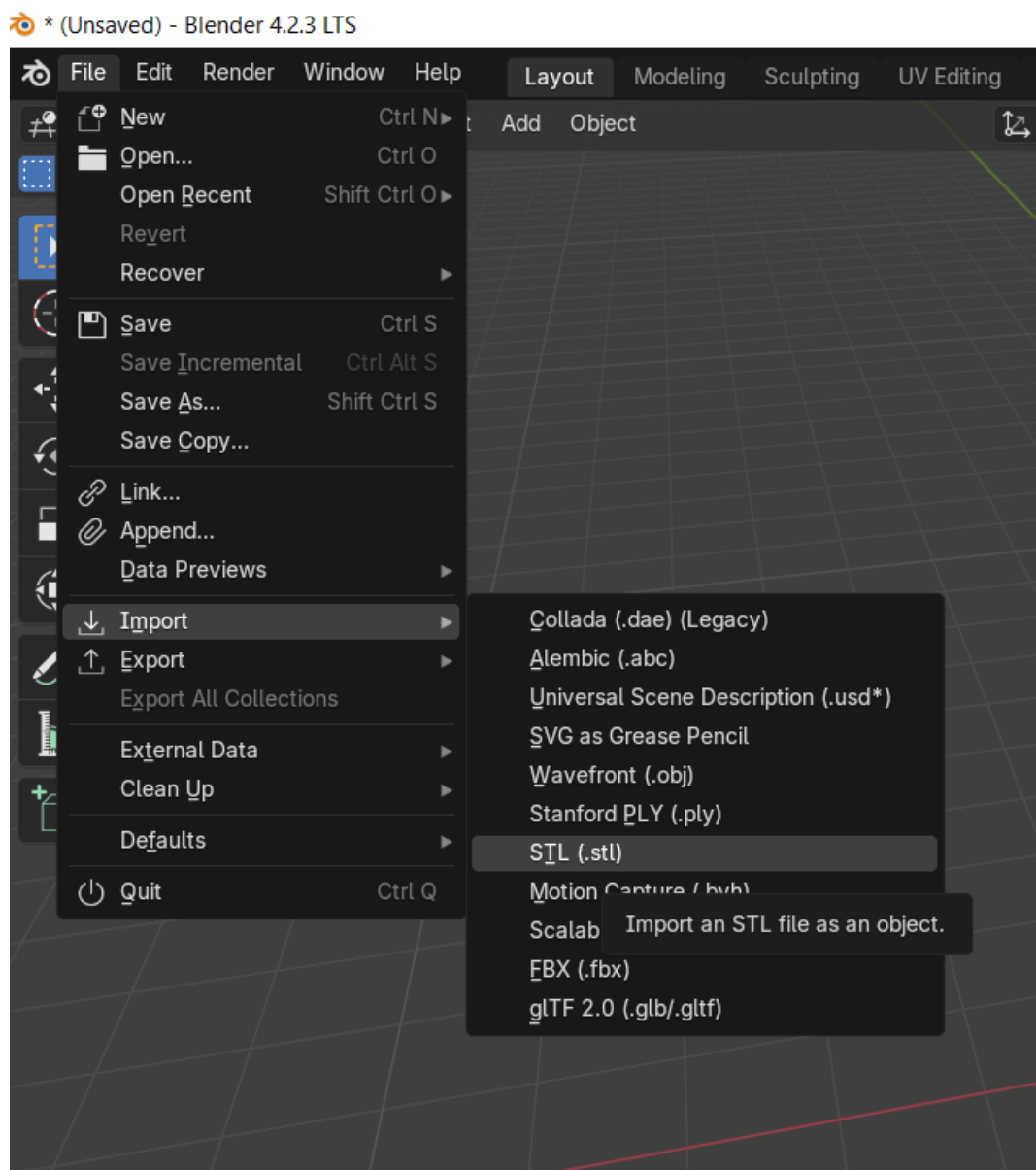


Slika 13. Model regala oblikovan u Solidworksu

Spremanjem datoteke modela (Slika 14.), u formatu STL, omogućava se korištenje modela u Blenderu (Slika 15.).



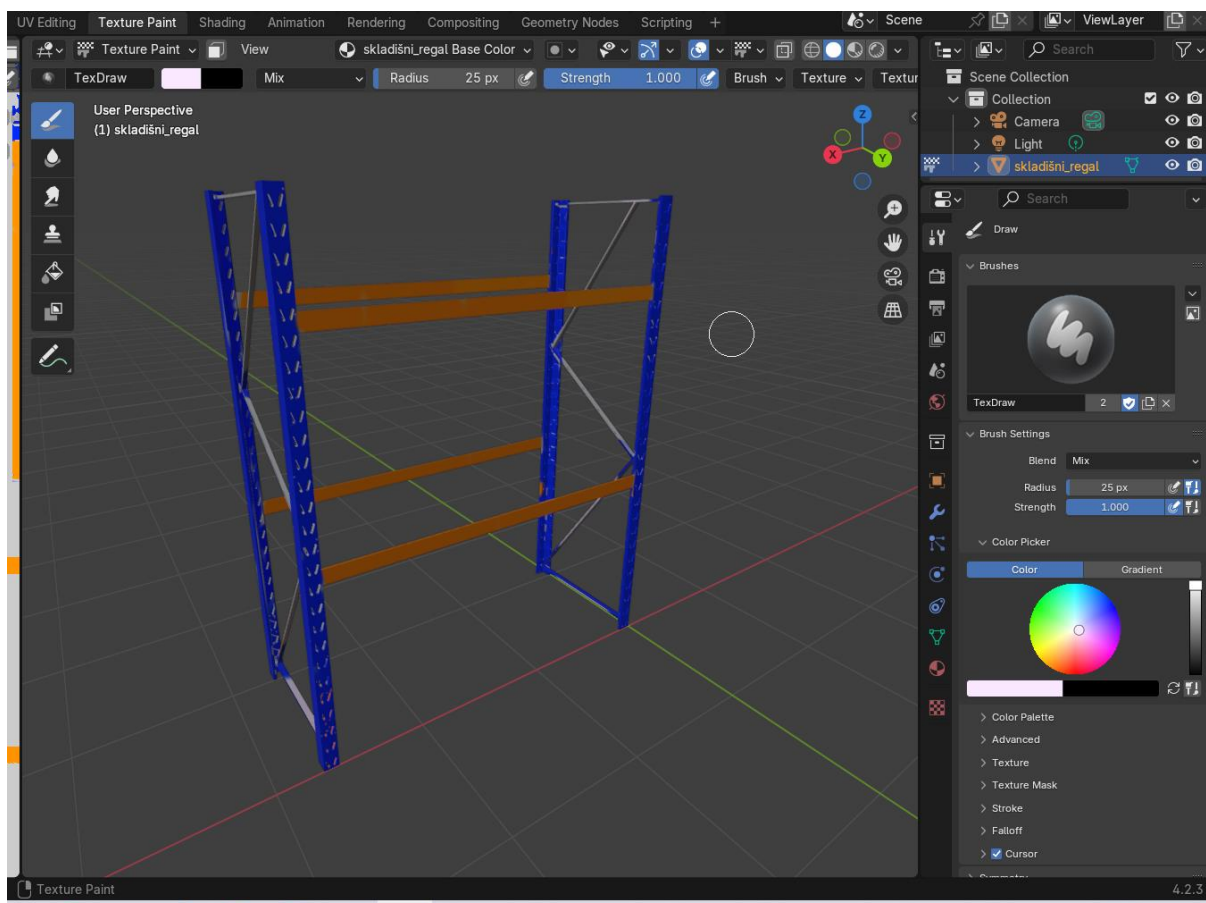
Slika 14. Datoteke modela regala u formatu STL



Slika 15. Uvoz STL datoteke u Blenderu

### 8.3. Bojenje i teksture u Blenderu

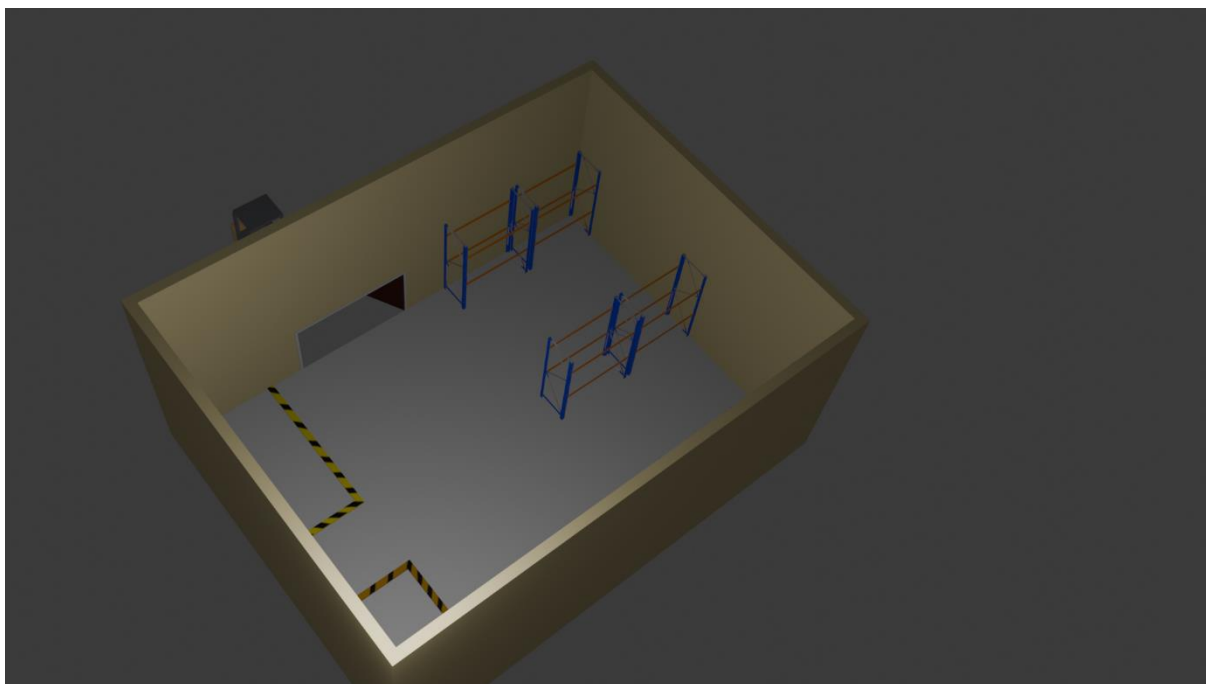
Bojenje teksture (eng. *texture painting*) je alat koji omogućava stvaranje detaljnih, prilagođenih tekstura izravno na 3D modelima. Slikanje teksture uključuje primjenu boja, uzoraka i drugih vizualnih detalja izravno na površinu 3D modela. Ovaj proces može značajno poboljšati realističnost i vizualnu privlačnost 3D sredstava modela. Blender također nudi širok raspon prilagodljivih kistova i alata, omogućujući umjetnicima stvaranje vrlo detaljnih i personaliziranih tekstura. Ipak, u Blenderu su ograničene mogućnosti za postizanje prikaza zahtjevnijih tekstura u odnosu na druge specijalizirane alate, uz to sučelje i alati mogu biti vrlo složeni za početnike zahtijevajući dulje vrijeme za usvajanje. Na Slika 16. je primjer korištenja bojenja teksture na modelu skladišnog regala.



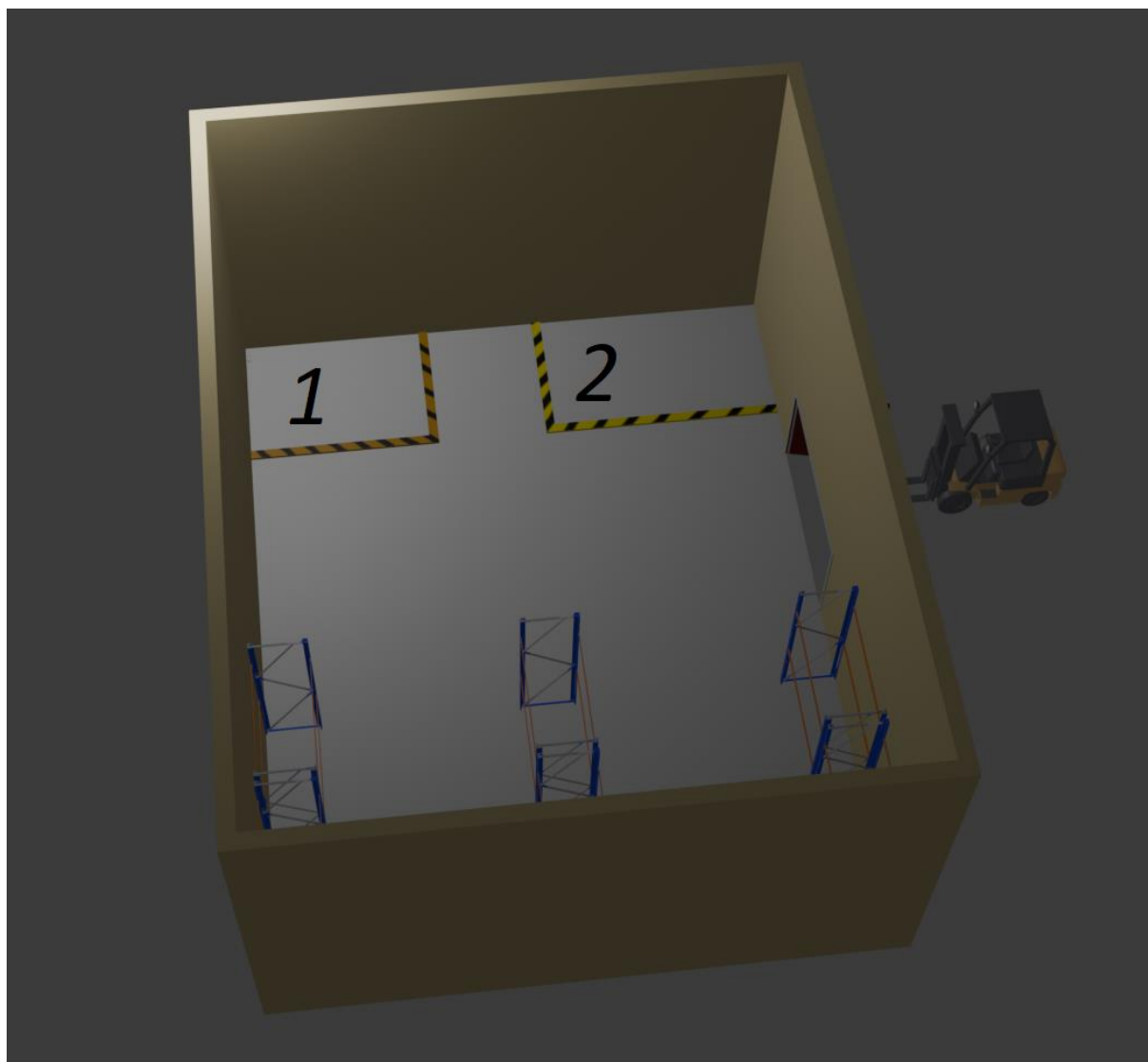
Slika 16. Primjer bojenja teksture na modelu skladišnog regala

## 8.4. Vizualizacija skladišta

Korištenjem dodatka Archimesh za program Blender i modela generiranih u programu Solidworks, stvorena je 3D vizualizacija skladišta potrebnog za proizvodni sustav. Skladište je unutarnjih dimenzija 15x11,3 metra s površinom za odlaganje 12 m<sup>2</sup> te s pomoćnom površinom veličine 15 m<sup>2</sup> (Slika 17., Slika 18.). U skladištu se nalazi šest regala za odlaganje dimenzija: visine 3365 mm, duljine 2700 mm i širine 1100 mm, razmak između regala je 4 m za neometano kretanje viličara.



Slika 17. 3D vizualizacija skladišta



**Slika 18. Vizualizacija skladišta: 1 – površina za odlaganje (12 m<sup>2</sup>), 2 – pomoćna površina (15 m<sup>2</sup>)**

## 8.5. Vizualizacija proizvodnog dijela sustava

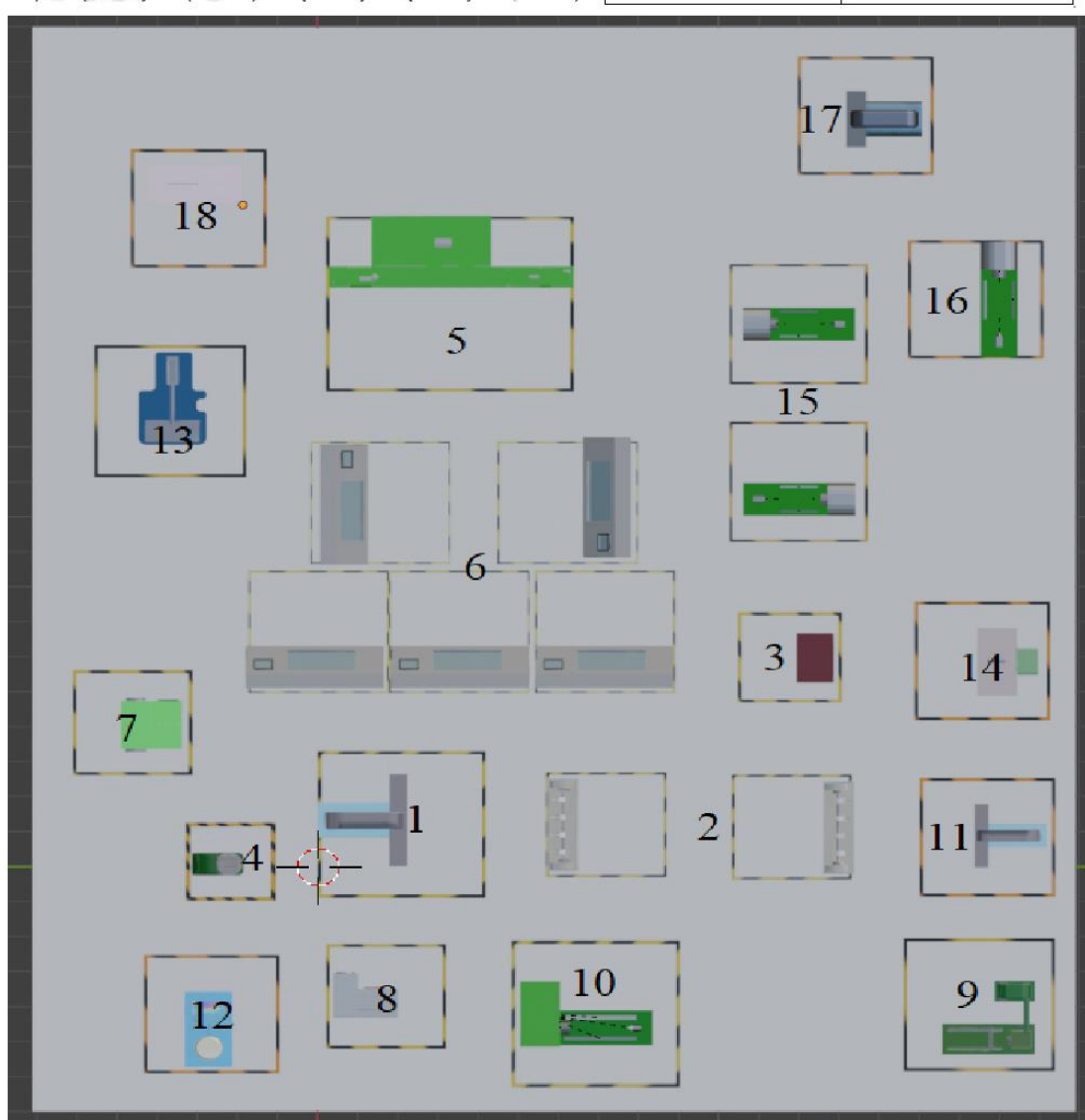
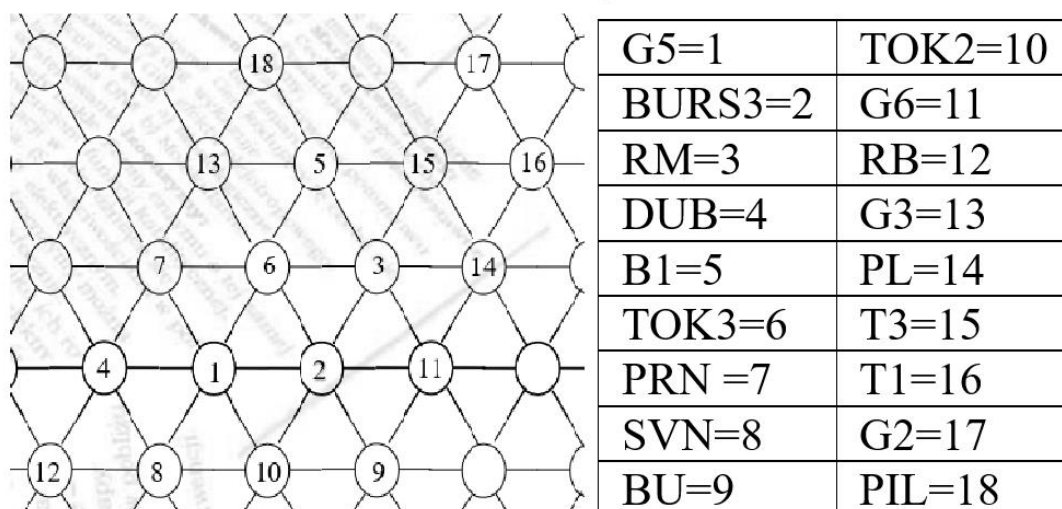
Korištenjem programa Blender i modela generiranih u programu Solidworks, kreirana je 3D vizualizacija proizvodnog dijela sustava. Svi elementi u sustavu su posebno kreirani za potrebe ovog rada, ali su se također mogli preuzeti iz online kataloga CAD modela kao što je GrabCAD [28].

Proizvodni dio se prema proračunu (točka 7.3.) treba prostirati na oko 534,66 m<sup>2</sup>, no prostorno raspoređivanje elemenata sustava zbiva se na većoj projektnoj površini, koja iznosi 746,76 m<sup>2</sup> (Slika 19.). Na taj se način ima projektna sloboda djelovanja. Naravno, u konačnici, stvarna bi proizvodna površina bila manja od ove trenutačno uzete.

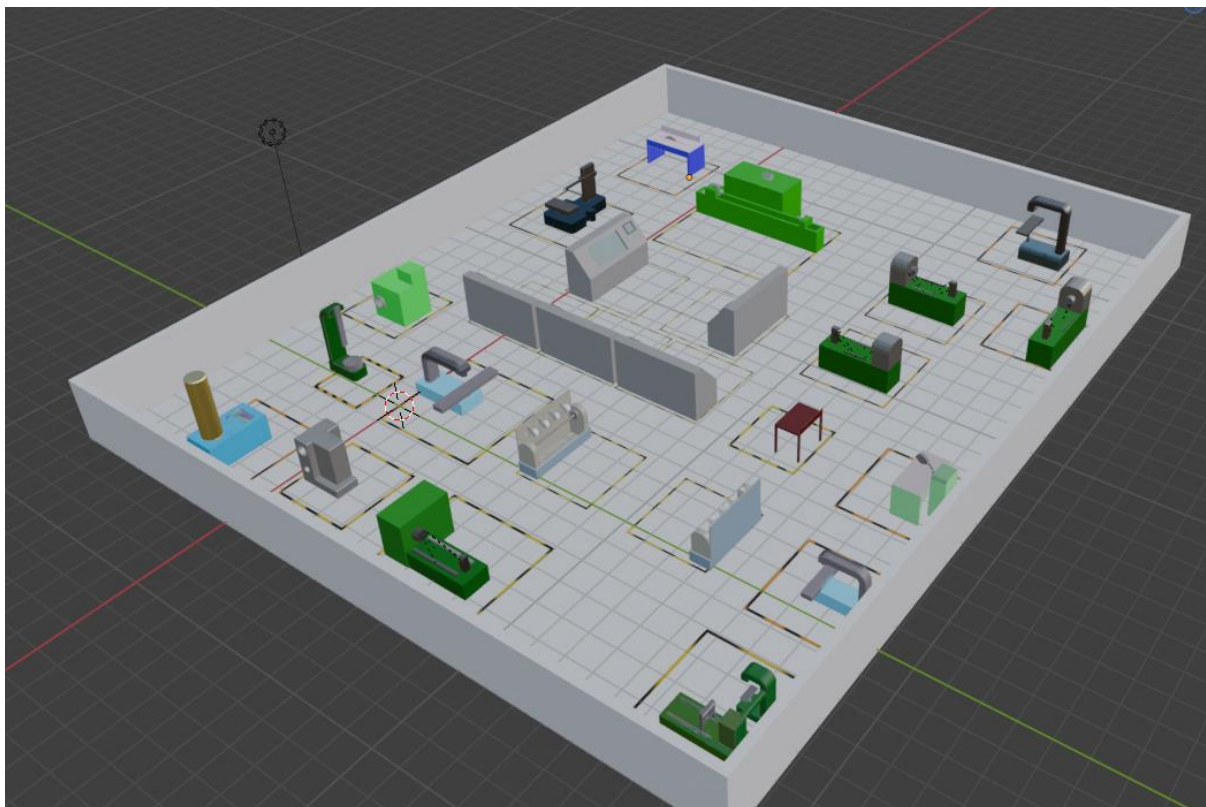
Na Slika 19. prikazana su usporedno rješenja prostornog rasporeda dobivena modificiranim postupkom trokuta i uznapredovalu fazu razmještanja strojeva u Blenderu. Razmještanje izvedeno u Blenderu zasniva se na uzimanju u obzir stvarnih oblika i dimenzija elemenata, a dodatno, i u izvjesnoj mjeri, transportnih putova te potrebnih međusobnih razmaka između elemenata. Za svaki su stroj njihovim osnovama pridijeljene funkcionalne površine približnih veličina, namijenjene za: posluživanje, odlaganje, održavanje, sigurnost te za popravak. Na slici 19. su naznačene žuto-crnim linijama.

3D vizualizacija proizvodnog pogona u programu Blender prikazana je na Slika 20.





Slika 19. Raspored elemenata u sustavu: gore, rješenje dobiveno modificiranim postupkom trokuta; dolje, konceptualni prostorni raspored



**Slika 20. 3D prikaz proizvodnog dijela sustava**

Prikazani prostorni raspored (Slika 20.) je međukorak između prostornog rasporeda dobivenog modificiranom metodom trokuta i naknadno detaljno oblikovanog prostornog rasporeda, u kojem će u potpunosti biti definirani transportni putevi i razmaci između elemenata sustava s obzirom na njihove veličine i položaje.

## 9. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatrane su mogućnosti vizualizacije pojedinih projektnih sadržaja u projektiranju proizvodnih sustava, kojima bi se omogućilo bolje razumijevanje i lakše oblikovanje projektnih rješenja. Općenito, vizualizacija objekata u prostoru ima ključnu ulogu u poboljšanju razumijevanja, komunikacije i donošenja odluka. Transformiranje podataka i ideja u 3D prikaze u naravnoj ili prirodnoj veličini, omogućava njihovo bolje razumijevanje i vrednovanje, lakše uočavanje grešaka i potencijalnih problema koji bi se mogli pojaviti prilikom njihove realizacije. Pružajući realističnu i interaktivnu reprezentaciju tehničkih rješenja, ove vizualizacije povećavaju jasnoću rješenja, olakšavaju donošenje odluka tokom projektiranja i pojednostavnjuju proces projektiranja. Softverski alati poput Blendera i Solidworksa pogodni su za 3D vizualizacije, nudeći niz značajki koje omogućuju stvaranje detaljnih, točnih i vizualno uvjerljivih modela.

U ovom radu prikazane su neke od mogućnosti programa Solidworks i Blender u vizualizaciji elemenata sustava tj. strojeva te s njima povezanim projektnim rješenjima. Korištenjem SolidWorksa, izrađeni su 3D modeli elemenata, dok je Blender omogućio dodatnu obradu, vizualnu prezentaciju i realistične prikaze prostornog rasporeda elemenata u proizvodnom pogonu. Primjena ovih alata značajno je poboljšala preglednost i razumijevanje prostorne organizacije proizvodnog sustava.

U daljnjem radu moguće je uključiti na primjer vizualizaciju uredskih i ostalih površina te napokon vizualizaciju cijelog proizvodnog sustava na njegovoj mikrolokaciji, u smislu izrade plana izgradnje. Od interesa je i daljnja integracija odnosno obrada u radu razmatranih projektnih sadržaja i drugim softverima, kao što su oni za simulaciju i optimiranje rada proizvodnih sustava.

## 10. LITERATURA

- [1] <https://www.mojeoko.hr/savjeti-za-zdrave-oci/njega-oka/gradja-oka>, pristupljeno: 2025-01-13
- [2] <https://www.tableau.com/visualization/what-is-data-visualization#definition>, pristupljeno: 2025-01-13
- [3] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/tehnicki-nacrt>, pristupljeno: 2025-01-13
- [4] <https://www.modelmakers-uk.co.uk/model-making-faq>, pristupljeno: 2025-01-13
- [5] <https://licegrada.hr/maketa-naziva-zagreb-pozdravlja-na-spoju-bakaceve-i-cesarceve/>, pristupljeno: 2025-01-13
- [6] <https://boomsupersonic.com/flyby/what-is-wind-tunnel-testing>, pristupljeno: 2025-01-13
- [7] <https://www.blender.org/about/>, pristupljeno: 2025-01-13
- [8] <https://www.renderhub.com/jiexi/modern-villa-2023-blender>, pristupljeno: 2025-01-13
- [9] <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=3DSMAX>, pristupljeno: 2025-01-13
- [10] <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2023/ENU/?guid=GUID-71DEAF46-80B6-47D8-8F58-F103CECEE1F5>, pristupljeno: 2025-01-13
- [11] [https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cosmosxpresshelp/c\\_general.htm](https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cosmosxpresshelp/c_general.htm), pristupljeno: 2025-01-13
- [12] [https://help.solidworks.com/2021/English/Visualize/r\\_visualize\\_other\\_file\\_formats.htm](https://help.solidworks.com/2021/English/Visualize/r_visualize_other_file_formats.htm), pristupljeno: 2025-01-13
- [13] <https://blogs.solidworks.com/tech/2019/07/how-to-create-exploded-view-animations-in-solidworks-visualize.html>, pristupljeno: 2025-01-13

- [14] <https://planner5d.com/pages/about>, pristupljeno: 2025-01-13
- [15] <https://support.planner5d.com/en/articles/9582739-export-projects-in-dwg-or-dxf-formats>, pristupljeno: 2025-01-13
- [16] <https://www.nobledesktop.com/learn/sketchup/what-is-sketchup>, pristupljeno: 2025-01-13
- [17] [https://www.interaction-design.org/literature/topics/visual-perception?srltid=AfmBOopn6UO4651DfHbLg7n9E5R6JV0p\\_zKuRsKP4nnzEJb72XoDvzSo](https://www.interaction-design.org/literature/topics/visual-perception?srltid=AfmBOopn6UO4651DfHbLg7n9E5R6JV0p_zKuRsKP4nnzEJb72XoDvzSo), pristupljeno: 2025-01-13
- [18] <https://titan.fsb.hr/~zkunica/pps.htm>, pristupljeno: 2025-01-13
- [19] <https://www.hoffmann-group.com/HR/hr/rotometal/p/991222-2500#lightboxPd>, pristupljeno: 2025-01-13
- [20] <https://codemaker2016.medium.com/introduction-to-virtual-reality-vr-2dc55f5f0f51#d13d>, pristupljeno: 2025-01-23
- [21] <https://www.geeksforgeeks.org/virtual-reality-introduction/>, pristupljeno: 2025-01-23
- [22] Kunica, Z.: Projektiranje proizvodnih sustava, nastavni materijali, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2023.
- [23] <https://www.lightguidesys.com/resource-center/video/lightguide-building-lightguide/>, pristupljeno: 2025-02-10
- [24] <https://www.dpvr.com/en/vr-headset-applications/vr-headsets-for-training/>, pristupljeno: 2025-02-18
- [25] Gogić, M.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2001.
- [26] <https://www.coursera.org/articles/augmented-reality-vs-virtual-reality>, pristupljeno: 2025-02-19
- [27] <https://extensions.blender.org/add-ons/archimesh/>, pristupljeno: 2025-02-20
- [28] <https://grabcad.com/library>, pristupljeno: 2025-02-20