

# Programska podrška projektiranju proizvodnih sustava

---

**Tomičić, Nina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:235:770388>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-13**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Nina Tomičić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Nina Tomičić

Zagreb, 2023.

**ZADATAK****SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

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



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: <b>602 – 04 / 23 – 6 / 1</b>	
Ur.broj: <b>15 - 1703 - 23 -</b>	

**ZAVRŠNI ZADATAK**Student: **Nina Tomičić** JMBAG: **0035222305**Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Programska podrška projektiranju proizvodnih sustava**Naslov rada na engleskom jeziku: **Software support for the design of production systems**

## Opis zadatka:

Kao i kod svake druge djelatnosti, tako se i kod projektiranja proizvodnih sustava podrazumijeva korištenje softverske podrške. No, u slučaju projektiranja proizvodnih sustava, riječ je o opsežnim i složenim sadržajima koji uobičajeno zahtijevaju korištenje više softverskih alata i njihovo povezivanje.

## U radu je potrebno:

1. objasniti značaj korištenja softverskih alata u projektiranju proizvodnih sustava
2. istražiti i dati pregled korištenih i potencijalnih softvera
3. predložiti moguća korištenja softvera i njihovu integraciju, prema pojedinim koracima metodologije projektiranja proizvodnih sustava.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na pomoći pri odabiru teme, komentarima, savjetima i prijedlozima. Također, zahvaljujem asistentima Denisu Mliviću i Janu Topolnjaku na pomoći i savjetima.

Posebno zahvaljujem obitelji i prijateljima na podršci tijekom preddiplomskog studija.

U Zagrebu, 22. veljače 2023.

---

Nina Tomičić

## SAŽETAK

Projektiranje proizvodnih sustava je ključna djelatnost za povećanje učinkovitosti proizvodnje, smanjenje troškova, poboljšanje kvalitete proizvoda i ostvarenje zadovoljstva kupaca. U toj djelatnosti, programska podrška ima neizostavnu ulogu u omogućavanju projektantima da brzo i precizno modeliraju, analiziraju i upravljaju projektnim rješenjima proizvodnih procesa. Istraženi su dostupni softveri (AutoCAD, SolidWorks, CATIA, Siemens NX, Creo, Siemens Teamcenter, Windchill, Enovia i Odoo), a posebno su s odabranim skupom projektnih podataka razmotrena dva od izravne koristi za projektiranje proizvodnje. Softver PAST služi za klasteriranje, što pomaže najprije u podjeli dijelova u skupine, a zatim za uspostavu odgovarajućih proizvodnih struktura. Softver visTABLE omogućuje projektiranje s 2D i 3D modelima, analizu i vizualizaciju toka materijala te vrednovanje i pronalazak najpovoljnijeg rješenja rasporeda elemenata za proizvodnju. Pruža i informacije o zauzetoj površini prostora za proizvodnju, skladištenje i otvoreni prostor, ukupnu duljinu prijeđenu tijekom transporta i opterećenju pojedinih elemenata sustava. U radu je na primjeru odabranih projektnih podataka prikazano kako navedeni softveri mogu pridonijeti efikasnijem projektiranju proizvodnih sustava: skraćanjem vremena projektiranja, većom točnošću i kvalitetom projektnih rješenja.

Ključne riječi: proizvodnja, proizvodni sustav, projektiranje, oblikovanje, softver, PAST, klasteriranje, prostorni raspored, visTABLE

## SUMMARY

Production system planning is a crucial activity for increasing production efficiency, reducing costs, improving product quality and achieving customer satisfaction. In this activity, software support plays an essential role in enabling designers to quickly and accurately model, analyze, and manage project solutions of production processes. The available software (AutoCAD, SolidWorks, CATIA, Siemens NX, Creo, Siemens Teamcenter, Windchill, Enovia and Odoo) were explored, and two of the direct benefits for production design were specifically considered with a selected set of design data. The PAST software is used for clustering, which helps first in the division of parts into groups, and then in the establishment of appropriate production structures. The visTABLE software enables design with 2D and 3D models, analysis and visualization of material flow, and evaluation and finding of the most favorable solution for the arrangement of elements for production. It also provides information on the occupied surface area for production, storage, and open space, the total distance travelled during transport, and the load on individual system elements. The paper shows, on the example of selected design data, how the mentioned software can contribute to a more efficient design of production systems: by shortening the design time, increasing the accuracy and quality of the design solutions.

Key words: production, production system, planning, design, software, PAST, clustering, layout, visTABLE

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VII
POPIS SLIKA .....	X
POPIS TABLICA.....	XII
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROJEKTIRANJE PROIZVODNIH SUSTAVA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Osnovni ciljevi i načela projektiranja proizvodnih sustava.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Važnost i značajke projektiranja proizvodnih sustava .....</b>	<b>5</b>
<b>3. SOFTVERSKI ALATI U PROJEKTIRANJU PROIZVODNIH SUSTAVA .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. CAD – Računalnom potpomognuto konstruiranje (oblikovanje).....</b>	<b>7</b>
3.1.1. AutoCAD .....	7
3.1.2. SolidWorks.....	8
3.1.3. CATIA.....	9
3.1.4. Siemens NX.....	9
3.1.5. Creo .....	11
<b>3.2. PLM – upravljanje životnim ciklusom proizvoda .....</b>	<b>13</b>
3.2.1. Siemens Teamcenter .....	14
3.2.2. Windchill.....	14
3.2.3. Enovia.....	15
<b>3.3. MRP – planiranje zahtjeva za materijalima .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4. Industrija 4.0 .....</b>	<b>17</b>



---

<b>4. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA SOFTVERA PREMA KORACIMA METODOLOGIJE PROJEKTIRANJA PROIZVODNIH SUSTAVA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Izbor reprezentativnih proizvoda .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Tehnološki planovi izrade i montaže .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Tok materijala (matrica toka materijala).....</b>	<b>20</b>
<b>4.4. Cluster analiza pomoću softvera PAST .....</b>	<b>23</b>
<b>4.5. Kapacitivno i prostorno dimenzioniranje proizvodnog sustava.....</b>	<b>26</b>
<b>4.6. Softver VisTABLE .....</b>	<b>29</b>
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>43</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>45</b>

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
$A_E$	$m^2$	ukupna površina elemenata iste vrste
AI		eng. <i>Artificial Intelligence</i> – umjetna inteligencija
$A_o$	$m^2$	površina elementa
$b_{kj}$		intenzivnost toka materijala
BOM		eng. <i>Bill of Material</i> – sastavnica materijala
CAD		eng. <i>Computer Aided Design</i> – računalom potpomognuto oblikovanje
CAE		eng. <i>Computer Aided Engineering</i> – računalom potpomognuto inženjerstvo
CAM		eng. <i>Computer Aided Manufacturing</i> – proizvodnja podržana računalom
CAPP		eng. <i>Computer Aided Process Planning</i> – računalom potpomognuto planiranje procesa
CE		eng. <i>Concurrent engineering</i> – istodobno inženjerstvo

---

CIM		eng. <i>Computer Integrated manufacturing</i> – proizvodnja integrirana računalnom
CNC		eng. <i>Computerized Numerical Control</i> – računalno numeričko upravljanje
$d_o$	m	duljina elementa
2D		dvodimenzionalno
eng.		engleski
ERP		eng. <i>Enterprise Resource Planning</i> – planiranje resursa poduzeća
$f_o$		diskontinuirani koeficijent ili faktor površine
GDX		eng. <i>Generative Design Extension</i> – proširenje generativnog dizajna
GTO		eng. <i>Generative Topology optimization</i> – optimiranje generativne topologije
IoT		eng. <i>Internet of Things</i> – Internet stvari
MRP		eng. <i>Material Requirements Planning</i> – planiranje zahtjeva za materijalima
$n_E$		broj elemenata iste vrste
$n_{S_i}$		broj serija $i$ -tog predmeta rada
$n_{OI_i}$		broj transporata $i$ -tog predmeta rada

---

PLM		eng. <i>Product Lifecycle Management</i> – upravljanje životnim ciklusom proizvoda
$Q_{S_i}$		veličina serije $i$ -tog predmeta rada
$Q_{TS_i}$		broj sredstava za odlaganje $i$ -tog predmeta rada koja se prevoze transportnim sredstvom
$\dot{\sigma}_o$	m	širina elementa
3D		trodimenzionalno

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Proces proizvodnje [1].....	1
Slika 2.	Značajke projektiranja proizvodnih sustava [2] .....	5
Slika 3.	<i>Online</i> mape [5].....	7
Slika 4.	Analiza površine [5] .....	8
Slika 5.	Simulacija pogona u Siemens Tecnomatix [13].....	11
Slika 6.	Sučelje softvera Creo za generativni dizajn [14].....	12
Slika 7.	Analiza opterećenja u zglobovima pomoću „Creo Ansys Simulation“ [14].....	13
Slika 8.	Primjer Ganttovog dijagrama [23] .....	16
Slika 9.	Prikaz plana i zahtjeva pri izradi proizvoda [26] .....	19
Slika 10.	Sučelje softvera PAST.....	23
Slika 11.	Izlazni podaci <i>Cluster</i> analize (dendrogram) .....	24
Slika 12.	Dvosmjerni dendrogram.....	25
Slika 13.	Izlazni podaci <i>k-means</i> metode .....	26
Slika 14.	Nova binarna matrica dijelovi-strojevi.....	28
Slika 15.	Novi dvosmjerni dendrogram.....	29
Slika 16.	Sučelje „ <i>Model library</i> “ .....	30
Slika 17.	Opcija „ <i>Properties</i> “ .....	31
Slika 18.	visTABLE izbornik .....	32
Slika 19.	2D prikaz (tlocrt) pogona i skladišta .....	33
Slika 20.	3D prikaz pogona i skladišta .....	34
Slika 21.	Tok materijala u „ <i>visTABLE logix</i> “ .....	35
Slika 22.	2D prikaz toka materijala u pogonu i skladištu.....	36

---

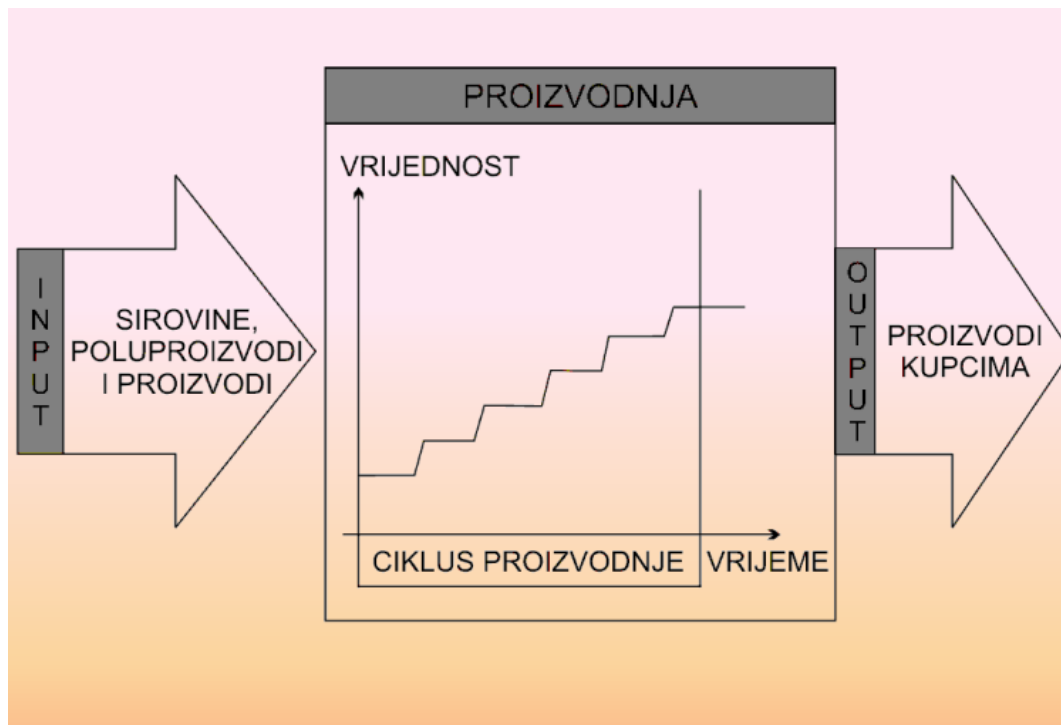
Slika 23.	3D prikaz toka materijala u pogonu i skladištu .....	37
Slika 24.	Transportni sustav .....	38
Slika 25.	Rezultati „ <i>Network load</i> “ opcije.....	39
Slika 26.	Ukupna prijeđena duljina tijekom transporta .....	40
Slika 27.	Ukupni prostor.....	41

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Popis dijelova (proizvodni program) sa slijedom tehnoloških operacija .....	20
Tablica 2. Vrijednosti intenzivnosti toka materijala .....	21
Tablica 3. Orijentirana matrica toka materijala.....	22
Tablica 4. Neorijentirana matrica toka materijala .....	22
Tablica 5. Binarna matrica dijelovi-strojevi.....	24
Tablica 6. Proizvodne površine sustava .....	27
Tablica 7. Revidirana orijentirana matrica toka materijala .....	27
Tablica 8. Revidirana neorijentirana matrica toka materijala .....	27

## 1. UVOD

Proizvodni sustav je složena socijalna i materijalna tvorevina usredotočena na proces stvaranja vrijednosti, materijalnih i inih. Kako bi se proizvodnja ostvarila neophodno je osigurati određene uvjete, to su elementi sustava (proizvodne snage) te komunikacija između okruženja i sustava. Osnovne elemente svakog proizvodnog sustava čine ljudi koji imaju iskustva u proizvodnji i potrebna proizvodna sredstva. Ispunjenjem pojedinih, prikladnih, uvjeta (energija, informacija, prostora) ostvaruje se zajedničko djelovanje osnovnih elemenata u radnoj okolini. Takav sustav, prikazan na slici 1. [1], transformira ulazne komponente (*Input*) u izlazne veličine (*Output*). Ulazne komponente čine: sirovine, poluproizvodi i proizvodi, a izlazne komponente gotovi proizvodi koji su namijenjeni kupcima.



Slika 1. Proces proizvodnje [1]



Proizvodni proces je rad proizvodnog sustava koji objedinjuje sva zbivanja tijekom procesa izrade proizvoda (sukladno normi ASME 101). Podjela rada je glavna karakteristika svakog proizvodnog procesa, dijelovi pojedinog procesa odvijaju se na različitim mjestima u sustavu, rezultat toga su proizvodni tokovi koji omogućuju interakciju elemenata sustava. Razlikuju se četiri kategorije proizvodnih tokova: tok informacija, materijala, energije i ljudi. Elementima sustava smatraju se: radna mjesta, pogoni, proizvodnja, odjel itd.

Proizvodni sustav je konkretan s potpuno definiranim vezama između elemenata sustava. Stvoren je ljudskim radom za ispunjavanje ljudskih potreba te se zbog toga smatra umjetnim. Mijenja se tijekom vremena te se opisuje kao dinamičan sustav. Najčešće se sastoji od mnogo povezanih elemenata u proizvodnim tokovima (svaki pojedinačno predstavlja zaseban podsustav) i time se postiže složenost sustava. Također je otvoren jer posjeduje mnogo veza s okruženjem (neizoliran je od utjecaja vanjskih sustava). Ponašanje proizvodnog sustava može se predvidjeti samo s određenom vjerojatnošću i to ga čini stohastičkim. Sustav je sociotehnički jer su temeljni činitelji ljudi i tehnička sredstva. Gledajući sve kao cjelinu projektiranje proizvodnih sustava je multidisciplinarna i interdisciplinarna djelatnost kojoj je osnovna zadaća ostvarenje ekonomičnog, funkcionalnog, fleksibilnog, humanog i ekološkog sustava racionalnim korištenjem ljudskih i materijalnih potencijala. [1]

## 2. PROJEKTIRANJE PROIZVODNIH SUSTAVA

Ostvarenje proizvodnog sustava predstavlja dovođenje u sklad mnogih, kompleksno povezanih činilaca. Proizvodni je sustav sastavljen od više podsustava u stalnoj međusobnoj interakciji te mora biti cjelovit (integriran). Sukladno projektnim ciljevima i ograničenjima teži se realizaciji proizvodnog sustava kao optimalne cjeline. Postavljeni projektni zadatak rješava se primjenom stručnih znanja (analize i proračuni), iskustva, intuicije projektanata i lucidnosti. Primjenjuje se deduktivni pristup djelatnosti projektiranja te se tako izbjegavaju pogreške u koncepciji ili prije realizacije. Također olakšava se stvaranje i proučavanje varijanti (izbor najpovoljnijih) te osigurava podjelu rada i mogućnost preklapanja pojedinih poslova tijekom projektiranja, to se naziva CE (eng. *Concurrent Engineering* – istodobno inženjerstvo)

Projekt je rješenje projektnog zadatka i njime su definirane postavke realizacije zadatka. Projektnim zadatkom u projektiranju proizvodnih sustava smatraju se: proizvodi (predmeti rada), količine proizvoda, rokovi gotovosti proizvoda, raspoloživa investicijska sredstva za realizaciju proizvodnog sustava te ostali zahtjevi u pogledu funkcionalnosti, fleksibilnosti, ekonomičnosti, humanosti i ekolozičnosti projektnog sustava.

Razlikuje se pet osnovnih vrsta projektnog zadatka: projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava, rekonstrukcija sustava uz njegovo širenje i bez njegovog širenja, uvođenje manjih racionalizacija u postojećem proizvodnom sustavu i dekonstrukcija proizvodnog sustava. Vrstu projektnog zadatka određuje međusobno pojavljivanje i odnos tri čimbenika (potreba za novim proizvodom, promjena proizvodnih količina već postojećeg proizvoda i uvođenje novih postupaka izradbe i montaže – nove tehnologije). Zadatak projektiranja potpuno novog proizvodnog sustava obavlja se u slučaju kad su sva tri čimbenika prisutna. Rekonstrukcija proizvodnog sustava je preoblikovanje strukture i proizvodnih tokova sustava, a do toga dolazi zbog dinamičnosti proizvodnog sustava. Najčešće se pri povećanju proizvodnih količina pojavljuju potrebe za rekonstrukcijom. Uvođenje manjih racionalizacija u postojećem

proizvodnom sustavu je svakodnevni projektni zadatak. Teži se prilagodbi sustava manjoj promjeni proizvodnih količina i postupaka izradbe i montaže, a da se pritom zadrži koncepcija projektnog sustava. Dekonstrukcija proizvodnog sustava je zadatak uklanjanja proizvodnog sustava jer je izgubio svrhu postojanja (zastarjeli proizvodni program, proizvodni postupci i nemogućnost uporabe građevinskih objekata ili promjenom/napuštanjem osnovne djelatnosti). [1]

## 2.1. Osnovni ciljevi i načela projektiranja proizvodnih sustava

Prostorno određivanje sustava u potpunosti definira prostor potreban za odvijanje proizvodne djelatnosti, smještaj opreme i ljudi, rukovanje i transport materijala, skladišta i sve podupiruće djelatnosti. Osnovni cilj je postići prostorno određenje sustava koje omogućuje profitabilnu proizvodnju uz konkurentnu cijenu proizvoda.

Prema novijim metodologijama definiraju se sljedeća načela projektiranja:

- Načelo cjelovitosti kojim se nastoji objediniti niz raznovrsnih rješenja pojedinih zadataka u jedinstvenom rješenju (konceptu)
- Načelo postupnosti i iterativnosti koje se koristi kada do rješenja nije moguće doći u jednom koraku, vrijednost nekog parcijalnog rješenja ne dolazi u prvom koraku te se postupak ponavlja iterativno
- Načelo varijantnosti definira više rješenja koja se vrednuju obzirom na specifične uvjete (projektna ograničenja)
- Načelo orijentiranosti na funkciju proizvodnog sustava čini proizvodni program
- Načelo idealnog projektiranja proizlazi od rješenja koja trebaju predstavljati vrhunac trenutnog tehnološkog razvoja bez ograničenja uzrokovanih mikrolokacijom zatim se usvojeno rješenje uspoređuje s idealnim
- Načelo ekonomičnog projektiranja kojim se nastoji izbjeći preprojektiranje (pojedina će rješenja biti visoke kakvoće no oduzimati će previše vremena, a na kraju neće pridonijeti kakvoći čitavog projekta) ili potprojektiranje (neće biti osigurana zadovoljavajuća kvaliteta projektnih rješenja ili će nastupiti neočekivane poteškoće)
- Načelo interdisciplinarnosti, tvoreći interdisciplinarne projektne timove stručnjaci rješavaju problem oblikovanja kompleksnih sustava poput proizvodnog. [1]

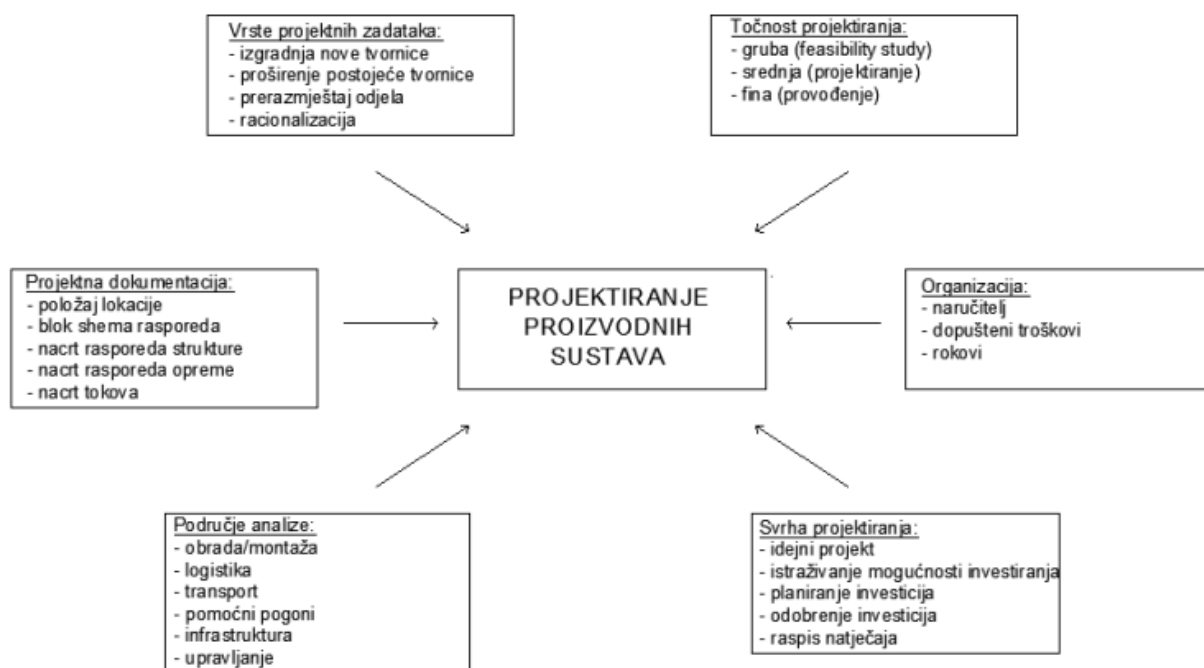
## 2.2. Važnost i značajke projektiranja proizvodnih sustava

Postoji pet temeljnih faktora koji utječu na projektiranje proizvodnih sustava, a to su:

- proizvodni program
- proizvodne tehnologije
- osoblje
- ekološki zahtjevi
- zakonski propisi. [2]

Projektiranje proizvodnih sustava je važno zbog osiguranja visoke ekonomičnosti proizvodnog sustava, a ona se osigurava: minimalnim ciklusom proizvodnje i zalihama, kvalitetom proizvoda, isporukama unutar dogovorenog roka, optimalnim korištenjem opreme, prostora i zaposlenika. Također, potrebno je osigurati visoku prilagodljivost proizvodnog sustava. U slučaju da oprema, prostorne strukture i tokovi osiguravaju sposobnost prilagodbe na izmjene na tržištu, tada se proizvodni sustavi smatraju prilagodljivima. Potrebno je osigurati visoku atraktivnost proizvodnog sustava, a ona se određuje kroz: uvjete rada koji su motivirajući i etički, socijalne odnose, ispunjavanje ekoloških kriterija (cilj je minimalno zagađenje okoline) i osuvremenjivanje tvorničkih zgrada. [2]

Slika 2. prikazuje značajke projektiranja proizvodnih sustava.



Slika 2. Značajke projektiranja proizvodnih sustava [2]

### 3. SOFTVERSKI ALATI U PROJEKTIRANJU PROIZVODNIH SUSTAVA

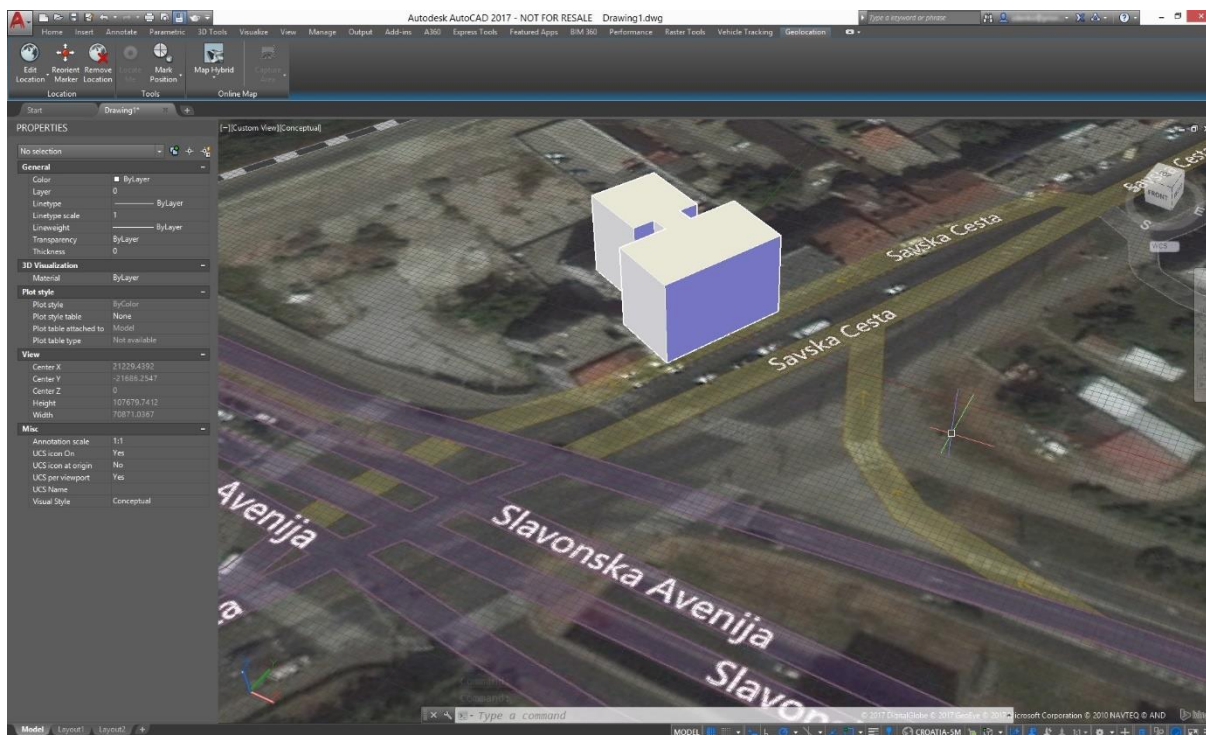
Postoji mnogo različitih softverskih alata i rješenja za projektiranje proizvodnih sustava. Softverski alati nam služe kao pomoć pri planiranju, gradnji i izvedbi proizvodnje. Razlikuje se više vrsta računalnih programa koji se koriste u proizvodnji.

CAD (eng. *Computer Aided Design* – računalom potpomognuto oblikovanje) se odnosi na sve aktivnosti u fazi projektiranja i konstrukcije podržane računalom, a to najčešće podrazumijeva modeliranje, analizu, testiranje i izradu dokumentacije. Koristi se u različitim sektorima industrije (projektiranje svih vrsta vozila, konstrukcija, sklopova, mehaničkih dijelova i drugo). U kompaniji General Motors razvio se projekt naziva ITEK. Sustav zasnovan na ITEK-u počeo se komercijalizirati 1965. godine i to je bio prvi komercijalni CAD sustav. Nekoliko godina kasnije brojne automobilske i zrakoplovne tvrtke počele su koristiti prve CAD sustave za projektiranje vlastitih proizvoda. Cijena softvera bila je visoka i tek dolaskom AutoCAD-a (Autodesk), 1982. godine, nudi se cjenovno pristupačniji softver koji se koristi dan danas. [4] CAM (eng. *Computer Aided Manufacturing* – proizvodnja podržana računalom) je primjena računala za upravljanje (ponajviše CNC (eng. *Computerized Numerical Control* – računalno numeričko upravljanje) strojevima i uređajima u proizvodnji, a može se koristiti i šire kao primjena računala u proizvodnim pogonima. CAPP (eng. *Computer Aided Process Planning* – računalom potpomognuto planiranje procesa) je softver koji obuhvaća planiranje procesa podržano računalom te CIM (eng. *Computer Integrated Manufacturing* – računalom integrirana proizvodnja) koji uključuje računalnu integraciju svih proizvodnih aktivnosti gore navedenih vrsta softvera. [3]

## 3.1. CAD – Računalnom potpomognuto konstruiranje (oblikovanje)

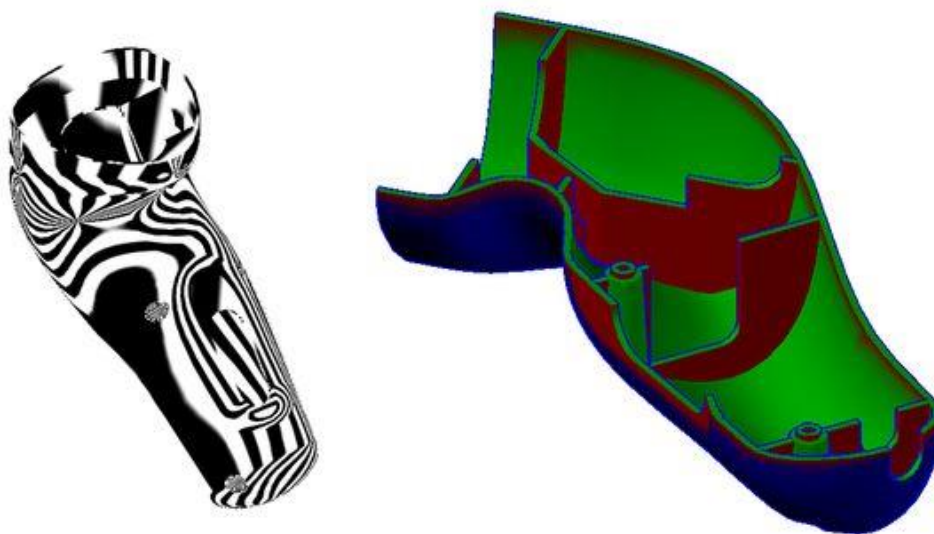
### 3.1.1. AutoCAD

AutoCAD je softver za 2D i 3D projektiranje opće namjene i primjenjiv je u svim tehničkim strukama zbog velikog spektra mogućnosti. Softver je vrlo jednostavan za korištenje, a to nam omogućuju različiti alati. Primjerice, opcija pametne simetrale omogućava da nacrtane simetrale prate promjene na obliku i položaju proizvoda te se direktno ucrtavaju u unaprijed odabrani sloj. Opcija pametnog kotiranja omogućuje izradu svih vrsti dimenzija u samo jednom alatu, bez potrebe za korištenjem više različitih naredbi. U tvrtkama također postoji komentiranje (ispravljanje) tehničke dokumentacije (revizije) što je u AutoCAD-u pojednostavnjeno opcijom zvanom „Revizijski oblaci“. Zahvaljujući korištenju hardverskih mogućnosti, prikaz objekata i geometrije iznimno je kvalitetan pa je rad na projektima jednostavniji. Kod 3D modeliranja koristi se opcija „3D skenirani podaci“ koja omogućuje da se modeli precizno orijentiraju u već postojeći projekt. Također, postoji „Online mapa“ koja omogućuje geografske podloge te se postojeći projekt može smjestiti na stvarnu lokaciju (Slika 3.)



Slika 3. Online mape [5]

AutoCAD nudi mogućnost analiziranja prijelaznih površina, zakrivljenosti, lom svjetla ili nagiba, kako je prikazano na slici 4.



**Slika 4. Analiza površine [5]**

AutoCAD ima opciju unaprijedenog koordinacijskog modela koji omogućuje učitavanje Nevisworks ili BIM 360 Glue modela, koji se koriste kao podloge za razvoj projekta. Model se može vrlo jednostavno pripremiti za ispis uz korištenje aplikacije „Print Studio“. Postoji i „Sučelje za programiranje“ gdje se može programirati u programskim jezicima poput AutoLISP-a, *Visual Basica*, C++ i drugih. [5]

Prednosti AutoCAD-a jesu:

- jednostavan prelazak iz 2D u 3D i obrnuto
- dobra povezanost s CAM paketima (naprimjer stvaranjem postavki programa alatnih strojeva za operacije bušenja, glodanja, okretanja i brušenja)
- virtualizacija, koja pomaže pri projektiranju velikih konstrukcija poput zgrada ili mostova, omogućavajući pregled projekta u 3D simulaciji. [6]

### 3.1.2. SolidWorks

Francuska tvrtka Dassault Systèmes razvila je SolidWorks, koji je CAD i CAE (eng. *Computer Aided Engineering* – računalom potpomognuto inženjerstvo) softver. SolidCAM je softver za programiranje CNC alatnih strojeva i direktno je implementiran u SolidWorks CAD

sučelje. SolidCAM podržava programiranje CNC obradnih centara (simultano petosno glodanje, tokarenje na stroju s više nosača alata i kontravretenom) SolidWorks omogućuje potpuno integrirane i jednostavne alate za korištenje pri projektiranju. [7]

Jednostavnost upotrebe i veliki broj povezanih, integriranih, rješenja koju SolidWorks pruža je samo jedan od razloga zašto mnogo velikih kompanija izabire njega kao softver za 3D modeliranje. Osim toga pomaže pri uštedi vremena i smanjenju troškova, povećava preciznost i kvalitetu proizvoda te organizaciju efikasnijeg i isplativijeg stvaranja novih (inovativnih) proizvoda. [8]

### 3.1.3. CATIA

CATIA je multiplatformni CAD/CAM/CAE paket koji je napisan u programskom jeziku C++. Program se počeo razvijati krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Prvenstveno se upotrebljavao u zrakoplovno-svemirskom inženjerstvu, industriji automobila i brodogradnji. Postoje dvije verzije programa koje su nazvane V5 i V5-V6. Novija verzija donosi određene prednosti, jedna od važnijih je upravljanje podacima. [9]

CATIA ima razne softverske mogućnosti za oblikovanje modela složenih ploha i znatan broj modula koji predstavljaju rješenje cijelog proizvodnog procesa. CATIA nudi jednostavnu integraciju u kompaktnu cjelinu i omogućuje pregled rasporeda elemenata sustava iz drugih softverskih programa. Također, nudi više od 100 raznovrsnih modula, a pomaže pri rješavanju većine proizvodnih procesa koje kompanije zahtijevaju. [10]

### 3.1.4. Siemens NX

Siemens NX je napredan CAD/CAM/CAE softver koji se ranije zvao *Unigraphics*. Naime, nakon 2000. godine, kupnjom tvrtke SDRC i njenog softvera I-IDEAS, tvrtka Unigraphics počinje integriranje svog i kupljenog softvera u jedan, nazvan *Unigraphics NX*. [11]

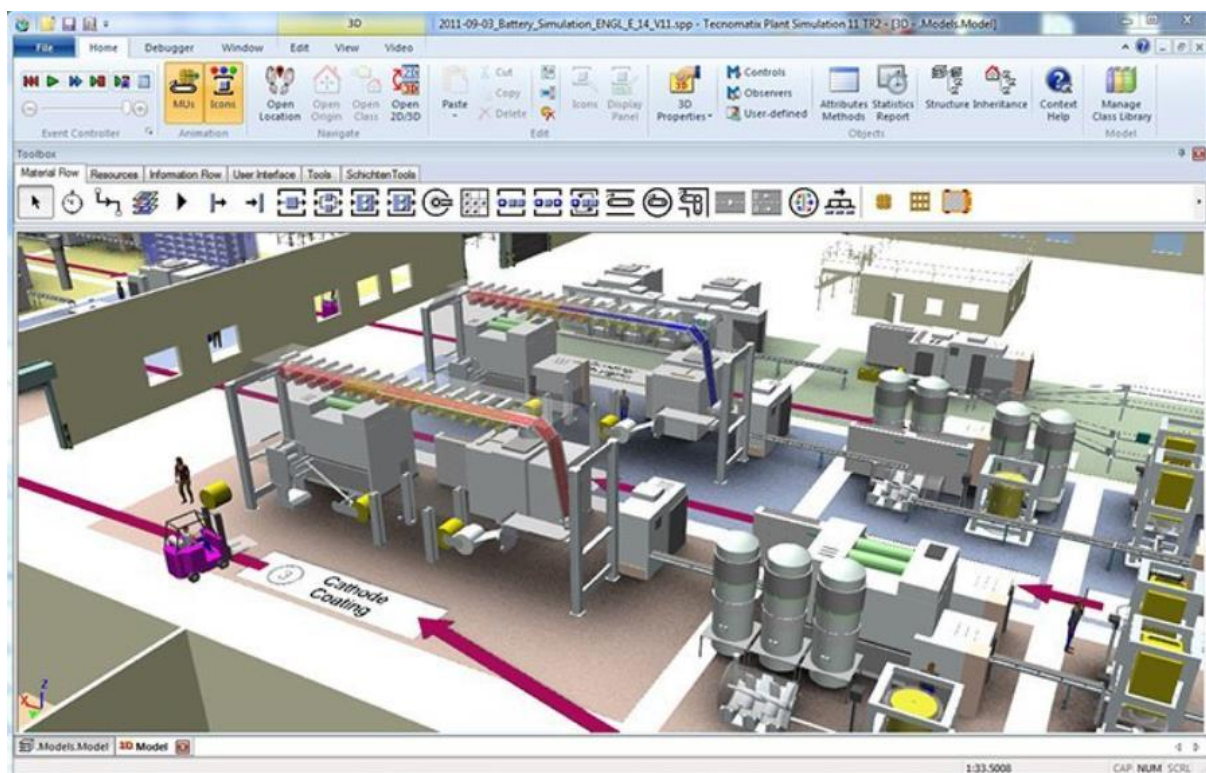
Siemens NX softver pomaže brže i učinkovitije isporučiti bolje proizvode. Donosi nova rješenja u području projektiranja, simulacija i proizvodnje. NX CAD je fleksibilno i inovativno rješenje za razvoj proizvoda u industriji. Ima mogućnost automatski generirati inženjerske crteže iz 3D modela te alate za mehatronički koncept projektiranja, modeliranje proizvoda i



električno projektiranje. NX CAM nudi virtualno proizvodno okruženje u kojem se može projektirati, pripremiti i potvrditi proizvodnu opremu i alate za proizvodnju i kontrolu kvalitete. Omogućuje automatizaciju NC programiranja i rezanje velikom brzinom, što smanjuje vrijeme proizvodnje i automatizira obradu te sadrži alate za automatizaciju robota i učvršćivanje alata. NX CAE donosi rješenje za simulacije koje su važne u projektiranju proizvoda i omogućuje procjenu različitih mogućnosti modela. Također, nudi integrirani model analize sa simulacijom za toplinu, protok, strukturu, kretanje, multifiziku i optimizaciju u jednom okruženju. [12]

U usporedbi s CATIA-jom Siemens NX je jeftiniji. CATIA podržava Windows i Unix operativni sustav dok NX podržava još i Mac. Korištenjem softvera NX dobiva se bolja integracija CAD-a i CAM-a no kod kvalitete površinskog modeliranja je CATIA mnogo bolja od NX-a. Usporedbom sučelja za korištenje je NX softver jednostavniji i moderniji te ga je lakše naučiti. [12]

Za projektiranje proizvodnih sustava se koristi *Siemens Tecnomatix Plant Simulation* koji pruža mogućnosti modeliranja, simulacije, optimiranja te analizu proizvodnih procesa. Njime se poboljšava tok materijala, upotreba resursa i infrastruktura planiranja postrojenja. Analiza globalnih postrojenja, tvornica ili strojeva jednostavno se vrši pomoću simulacijskog alata. Stvaranjem digitalnih modela logističkih sustava se olakšava tvrtkama istraživanje karakteristika sustava i poboljšanje istog. Korisnicima se, digitalnim modelom, omogućuje izvođenje eksperimenata bez ikakvog ometanja postojećeg proizvodnog sustava, također se koristi i pri planiranju sustava. Plant Simulation nudi otkrivanje problema koji bi zahtijevali skupe i dugotrajne korektivne mjere, minimiziranje investicijskih troškova proizvodnih linija te optimiranje performansi i potrošnju energije već postojećih proizvodnih sustava. Na slici 5. prikazan je pogon koji je napravljen pomoću softvera Tecnomatix. [13]



**Slika 5. Simulacija pogona u Siemens Tecnomatix [13]**

Pri simulaciji i analizi sustava Tecnomatix nudi mogućnost statističke analize koja prikazuje dijagrame i grafove iskorištenosti međuspremnik, osoblja i strojeva. Također, opsežnim statističkim podacima i dijagrama može se generirati radno opterećenje linije, kvarovi, popravak i vrijeme mirovanja. Korištenjem specifičnih podataka CAD-a koje zadaje korisnik, model je moguće prikazati u 3D virtualnom okruženju prema ISO standardu u formatu JT. Značajka softvera je i implementacija neuronskih mreža koje se koriste za upravljanje eksperimentima i vrše automatizaciju sustava putem genetskih algoritama. [13]

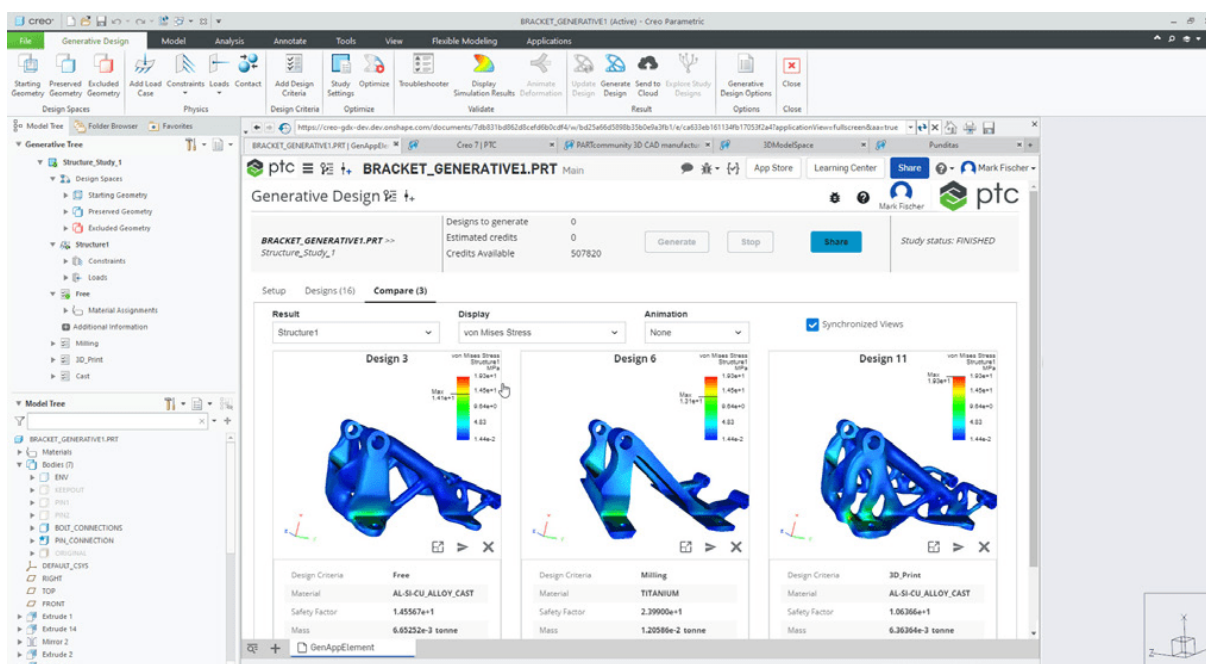
Prednosti Siemensovog softvera Tecnomatix su: unaprijeđena produktivnost već postojećeg postrojenja, smanjeni troškovi pri planiranju novih postrojenja, vrijeme protoka materijala i zaliha je manje, proizvodni resursi su maksimalno iskorišteni i kvalitete projekta može se uočiti ranije (smanjen rizik ulaganja). [13]

### 3.1.5. Creo

Creo, razvijen od strane PTC-a, je CAD/CAM/CAE programski paket koji pomaže ubrzati inovaciju proizvoda. Postoji alat „Creo Parametric“ koji služi za 3D te „Creo Direct“ za

direktno CAD modeliranje i pripremu proizvodnje. „Creo Simulate“ je CAE alat koji se koristi pri analizama čvrstoće i izradu shema. [14]

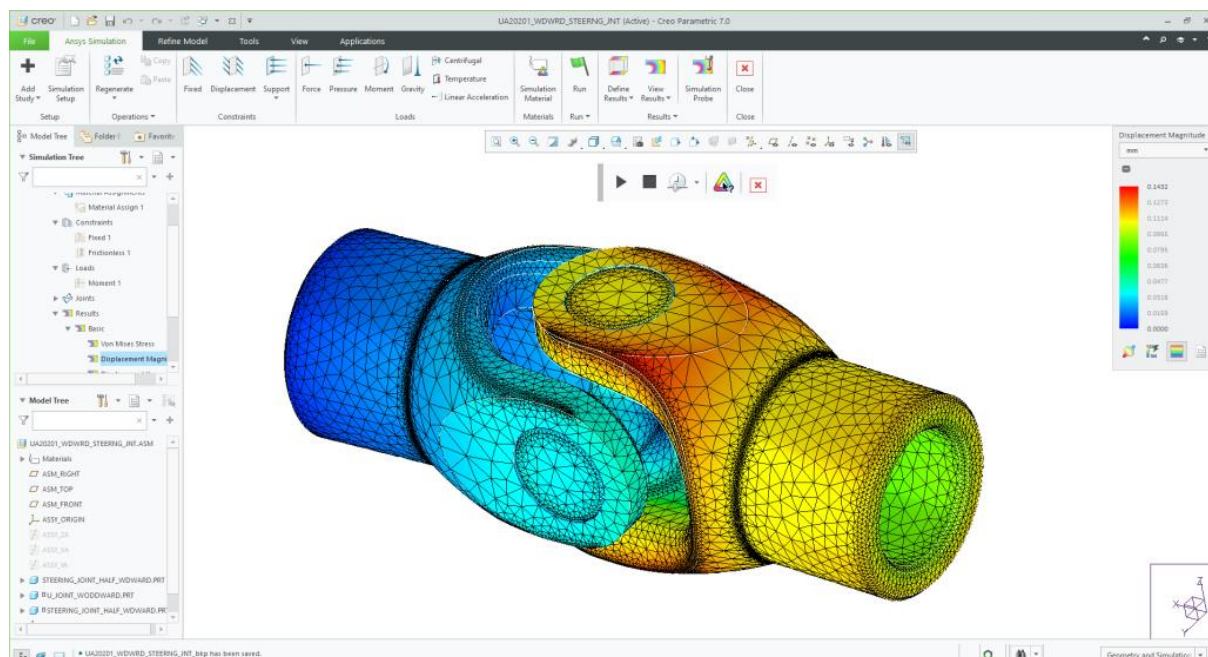
Generativni dizajn (Slika 6.) koristi programski kôd, algoritam s određenim parametrima, unutar projektnog procesa. Projektant ne radi izravno na završnom proizvodu nego na sustavu koji dovodi do toga. [15] Nova proširenja softvera Creo su upravo u području generativnog dizajna, GTO (eng. *Generative Topology Optimization* – optimiranje generativne topologije) i GDx (eng. *Generative Design Extension* – proširenje generativnog oblikovanja), omogućuju razvoj kvalitetnijih projekata, cjenovno prihvatljivih, koji imaju bolju izvedbu u stvarnom svijetu. GTO pomaže optimirati konstrukciju za određeni materijal i proces proizvodnje u skladu sa zahtjevima i ograničenjima korisnika. GDx omogućuje istovremeni razvoj brojnih projekata s različitim materijalima i procesima. Na slici 6. prikazano je sučelje softvera Creo za generativno konstruiranje. [14]



**Slika 6. Sučelje softvera Creo za generativni dizajn [14]**

PTC u suradnji s Ansysom razvija prvi dizajn vođen simulacijom. Creo Ansys Simulation integrira snagu Ansysa, jednog od najboljih inženjerskih softvera za simulaciju, izravno u Creo. Već u ranoj fazi projektiranja omogućena je simulacija koja prikazuje strukturnu i toplinsku analizu te analizu protoka tekućine u stvarnom vremenu. Pomaže pri ranom otkrivanju problema pri projektiranju te kvalitetnijoj izradi proizvoda. Korisnici mogu dijeliti opterećenja i ograničenja pomoću opcije „Creo Simulation Live“ tijekom faze projektiranja. Takav razvijen softver nudi: analizu konačnih elemenata za dijelove i sklopove, automatsko umrežavanje,

statičku analizu konstrukcija, modalnu analizu, termičku analizu u stacionarnom stanju, linearnu analizu kontakta i analizu opterećenja u zglobovima (Slika 7.). [14]



**Slika 7. Analiza opterećenja u zglobovima pomoću „Creo Ansys Simulation“ [14]**

Aditivna proizvodnja je segment proizvodnog strojarstva koja se bavi izradom predmeta nanošenjem čestica u tankim slojevima. Pomoću Creove aditivne proizvodnje s lakoćom se razvijaju inovativni projekti, a zatim se optimiziraju i ispisuju na različitim 3D pisačima. Model može biti od polimera ili metala, a kada je spreman pošalje se izravno na željeni 3D pisač. Creo svakodnevno radi na poboljšanjima softvera pa tako i CAM-a koji uključuje petosnu putanju alata, tokarenje, razvoj kalupa i prilagodbu brzine glodanja. [14]

### 3.2. PLM – upravljanje životnim ciklusom proizvoda

PLM (eng. *Product Lifecycle Management*) softver započeo je kao način prijenosa velikih CAD datoteka i upravljanje dokumentima, ali se razvio toliko da ga kompanije danas moraju imati. Koristi se za upravljanje cijelim životnim ciklusom proizvoda, od ideje do kraja životnog ciklusa. Upravljanje podrazumijeva podatke o stavkama, dijelovima proizvoda, dokumentima, zahtjevima, inženjerske izmjene i kvalitetan radni proces. [16]

### 3.2.1. Siemens Teamcenter

Siemens Teamcenter je sustav koji upravlja životnim ciklusom proizvoda (PLM). Povezivanjem ljudi i procesa pomaže tvrtkama u razvoju uspješnih proizvoda, od planiranja i razvoja preko proizvodnje i podrške. Dizajniran je na način da pruža podršku pri projektiranju i razvoju proizvoda koji će se naknadno proizvoditi. Teamcenter uključuje razne značajke i funkcionalnosti za upravljanje životnim ciklusom proizvoda, a to su: upravljanje popisom materijala tj. sastavnicom (BOM – eng. *Bill of Materials*), upravljanje promjenama tijekom rada i upravljanje dokumentima. Također mu je primjena specifična za industriju koja uključuje projektiranje električnih sustava, mehaničko projektiranje, softversko projektiranje i upravljanje imovinom. Postoje mogućnosti, usmjerene na proizvod, koje pomažu pri konfiguraciji proizvoda i upravljanju troškova. [17]

Prednosti korištenja Teamcenter PLM-a jesu: identifikacija potencijalnih problema ranije u životnom ciklusu proizvoda, brži dolazak na tržište zbog smanjenja vremena ciklusa projektiranja i promjena, povećanje prihoda isporukom inovativnih proizvoda na tržištu i poboljšanje cjelokupne funkcionalnosti u tvrtki. Također, nastoji automatizirati funkcije koje olakšavaju životni ciklus proizvoda, u svrhu povećanja produktivnost. [17]

### 3.2.2. Windchill

Tvrtka PTC kupuje Windchill Technology te 1998. godine je promoviran kao prvi softver koji na tržište donosi upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM). [18]

Jedna od prednosti Windchilla je ugrađena integracija sa svim većim softverima za razvoj proizvoda uključujući sve PTC-ove proizvode. Također, jednostavno se povezuje s drugim sustavima poduzeća i podržava distribuirani razvoj proizvoda. [19]

Windchill ima rješenja za skladištenje podataka o proizvodu i dugoročnu pohranu znatno veću od prosječnih PLM sustava dostupnih na tržištu. Ima više značajki upravljanja stavkama i klasifikacije obzirom na ostale softvere, a uključuje značajke za upravljanje sirovinama, potrošnim materijalom za pakiranje i ostalim materijalima povezanim s upravljanjem proizvodnjom proizvoda. Pruža mnogo funkcija usmjeravanja, odobravanja i upravljanja životnim ciklusom proizvoda. Windchill je znatno bolje integriran s drugim sustavima za računalno potpomognuto projektiranje (CAD) od standardnih PLM softverskih rješenja.

Također, sadrži integraciju planiranja resursa poduzeća ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*)) i alate za procjenu troškova proizvoda. [20]

### 3.2.3. Enovia

Softver je projektiran od strane tvrtke Dassault Systèmes, omogućuje uspješno upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM) od automobilske i zrakoplovne do maloprodajne industrije. Enovia pomaže tvrtkama da planiraju vlastite dugoročne ciljeve jer pruža simulaciju proizvodnje u stvarnom vremenu, a to je korisno za bilo koju vrstu tijeka rada. [21]

Digitalnim povezivanjem svih zaposlenika, kupaca, korisnika i poslovnih partnera, Enovia omogućuje suradnju dok se proizvod razvija, u stvarnom vremenu. Također, svi korisnici dobivaju pristup novim, ažuriranim, podacima o proizvodu već u ranoj fazi razvoja. Enovia ima četiri vrste aplikacija (društvene i suradničke, informatičke inteligencije, simulacije i aplikacije za 3D modeliranje), a podržava SolidWorks, Simulia, Netvibes i druge softvere. Osim nabrojanih softvera, ima jednostavan pristup CATIA-i, što omogućuje dijeljenje modela bez pretvaranja datoteka te DELMIA-i, 3D softveru koji pruža simulaciju tvornice i toka proizvodnje. Enovia je sastavni dio 3DEXPERIENCE-a koji obuhvaća različite vrste softvera te tako olakšava programerima, projektantima, inženjerima i menadžerima zaduženim za odnose s korisnicima. [21]

### 3.3. MRP – planiranje zahtjeva za materijalima

Planiranje zahtjeva za materijalima – MRP (eng. *Material Requirements Planning*) je sustav za izračunavanje materijala i komponenti potrebnih za proizvodnju proizvoda. Poboljšava učinkovitost, fleksibilnost i profitabilnost proizvodnih operacija, što radnicima pomaže da budu produktivniji, smanje troškove materijala i rada te da poboljšaju kvalitetu proizvoda. Softver MRP radi prikupljanjem informacija iz popisa materijala (BOM), podataka o zalihama i glavnom planu proizvodnje, a za izračun potrebnih količina materijala i kada će biti potrebni tijekom procesa proizvodnje. [22]

Odoo je MRP softver koji ujedinjuje proizvodnju, kvalitetu, održavanje, životni ciklus proizvoda, zalihe, nabavu i računovodstvo te time omogućuje jednostavnu komunikaciju između odjela u tvrtkama.

Planiranje proizvodnje vrši se automatski, izradom glavnog plana proizvodnje, provjerom zaliha te statusa izrada po narudžbi. Nakon kreiranja narudžbe posao je moguće raspodijeliti, izradom Ganttovog dijagrama i izvještaja o prilagodbi kapaciteta. Zatim glavni plan proizvodnje automatski oblikuje tijekom proizvodnje prema procjeni potražnje, trenutnih zaliha i indirektno potražnje. U Odoo Enterprise moguće je izraditi Ganttov dijagram, prikazan na slici 8. [23]



**Slika 8. Primjer Ganttovog dijagrama [23]**

Prilikom proizvodnje radnici koriste tablete kako bi prikupili informacije o proizvodnji, pratili vrijeme i za kontrolu kvalitete. Brojanjem vremena rada softver sprema podatke i kasnije ih upotrebljava za preciznije planiranje idućih narudžbi. Dođe li do zastoja u proizvodnji, loma alata ili nedostatka materijala, radnik zaustavlja narudžbu i šalje obavijest timu za kontrolu kvalitete. Rezultat takve organiziranosti proizvodnje je praćenje trendova u proizvodnji i analiza uzroka zbog kojeg je došlo do zaustavljanja narudžbe. Korištenjem softverskog paketa Odoo uključeni su brojni odjeli u tvrtki (konstrukcije, proizvodno inženjerstvo, nabava, nadzor proizvodnje, skladište, kvaliteta, održavanje i operateri u proizvodnji) što omogućuje povezivanje svih zaposlenika pomoću jednog softvera. [23]

### 3.4. Industrija 4.0

Industrija 4.0 unaprjeđuje način na koji tvrtke proizvode, poboljšavaju i distribuiraju svoje proizvode.

Proizvođači integriraju nove tehnologije, poput IoT (eng. *Internet of Things* – internet stvari), AI (eng. *Artificial Intelligence* – umjetna inteligencija) i strojnog učenja unutar vlastitih proizvodnih pogona. Tvornice tih proizvođača nazivaju se i *pametnim* tvornicama, a opremljene su naprednim sensorima, ugrađenim softverima i robotima koji prikupljaju i analiziraju podatke te omogućuju bolje donošenje odluka. Takvim tehnologijama povećava se stupanj automatizacije, optimiranja, poboljšanja procesa, *nove* učinkovitosti i postiže kvalitetniji odaziv prema kupcima. Razvoj pametnih tvornica pruža odličnu priliku za proizvodnu industriju da uđe u četvrtu industrijsku revoluciju. Vrše se analize velikih količina podataka, koje prikupljaju senzori u tvornici, time se osigurava vidljivost proizvodnog procesa u stvarnom vremenu . Korištenjem IoT uređaja u tvornicama dovodi do veće produktivnosti i poboljšane kvalitete. Zamjenom ljudi-kontrolora s umjetnom inteligencijom (AI) smanjuju se pogreške u proizvodnji i donosi ušteda resursa, vremena i novaca. Ovakav koncept i tehnologija Industrije 4.0 može se primijeniti na sva industrijska poduzeća. [25]



## **4. MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA SOFTVERA PREMA KORACIMA METODOLOGIJE PROJEKTIRANJA PROIZVODNIH SUSTAVA**

U ovom poglavlju razmotrit će se mogućnosti korištenja softvera u pojedinim koracima metodologije projektiranja proizvodnih sustava. U tu svrhu definirat će se skup projektnih (ulaznih) podataka.

Proizvodni program sačinjen je od deset dijelova, a za svaki od njih poznati su podaci o obliku, dimenzijama, masi, veličini serije i godišnjoj količini te slijedu tehnoloških operacija, strojevima i potrebnom vremenu. Dijelovi su preuzeti s [25].

Riječ je o dijelovima: Brtvena Čahura KP4, Kućište brtvila vratila, Poklopac ležaja (sa strane motora) KP5, Prirubnica unutarnja KP1, Rotor pumpe, Navojno vreteno 630x8, Matica pumpe, Letva KP1, Pločica KP1, Montaža 630x8.

### **4.1. Izbor reprezentativnih proizvoda**

Prvi korak u projektiranju je utvrditi osnovne podatke o proizvodnom programu i tehnološkom procesu. Izborom reprezentativnih (predstavljajućih) proizvoda i dijelova nastoji se smanjiti broj ulaznih podataka i skratiti vrijeme projektiranja jer je to uobičajeno složen posao koji oduzima mnogo vremena. Proizvodni proces se dijeli u skupine proizvoda prema masi, dimenzijama ili namjeni. Za svaku skupinu proizvoda odabire se jedan ili više reprezentanata prema određenim kriterijima (procijenjene dobiti, proizvodne količine, broj dijelova koji pokazuju tehnološku složenost proizvoda i ciklus proizvodnje). Izborom reprezentanata utječe se na točnost projektiranja pa treba nastojati izbjeći previd neke od obrada jer na taj način u stvorenom proizvodnom procesu potreban stroj neće postojati. Za manji broj

dijelova, ne treba se provoditi izbor reprezentanata. [26] S ovim izabranim dijelovima ne provodi se izbor reprezentanata jer ih ima samo deset. Softver PAST ima mogućnost razvrstavanja dijelova u skupine (klaster), a izbor reprezentanta skupine vrši projektant.

## 4.2. Tehnološki planovi izrade i montaže

Idući korak u projektiranju proizvodnih sustava su tehnološki planovi izrade i montaže, a to je ključno za provedbu ciljeva proizvodnog sustava. Važno je ispitati različite opcije, ponajviše kod odabira stupnja automatizacije i integracije. Planovi koje treba odrediti su: pripremak (sirovac), poredak operacija, alate, naprave, mjerna sredstva, režim obrade, izračun vremenskog perioda i podatke za NC strojeve. Slika 9. prikazuje važne informacije koje su potrebne pri projektiranju proizvodnih sustava, a nalaze se u sastavnici konstruiranog proizvoda. [26]

PLAN IZRADBE		DATUM:	TEHNOLOG:	LIST:	LISTOVA:	
ŠIFRA IZRADKA:		10.11.1998.	Bašić D.	1	1	
607346		NAZIV:	CRTEŽ BR.:	PLAN IZRADBE ZA:	PREDVIĐENA UKUPNA KOLIČINA:	
Osovinica		607346	50 kom.	1000 kom.		
Određivanje sirovog materijala	ŠIFRA MATERIJALA:	NAZIV I DIMENZIJE:	KVALITET:	JED. MJERE:	SIROVA TEŽ.:	TEŽINA OBRABENOG IZRADKA:
	904678	Šipka $\phi 60 \times 3000 \text{mm}$	Č4230	kg	7,5	6,5
RED. BR. OPERACIJE	OPIS OPERACIJE	ŠIFRA RADNOG MJESTA	KVALIFIKACIJA	ALAT NAPRAVA	PRIPREMNO ZAVRSNO VRIJEME	KOMADNO VRIJEME
010	Rezati na dužini $l=250 \text{mm}$	420322	2	-	0,20	0,15
020	Tokarenje – NC	670111	5	NT1033	0,15	0,30
030	Glodanje utora	820100	5	Glodalo 121013	0,20	0,40

Izrada nosača podataka za NC stroj

Određivanje operacija i njihovog redoslijeda

Izbor radnog mjesta i potrebne kvalifikacije radnika

Dodjeljivanje potrebnih alata i naprava

Određivanje vremena izvršenja operacije

Slika 9. Prikaz plana i zahtjeva pri izradi proizvoda [26]

Unutar tablice 1. je prikazano odabranih deset dijelova sa slijedom njihovih tehnoloških operacija za projektiranje proizvodnog sustava.

**Tablica 1. Popis dijelova (proizvodni program) sa slijedom tehnoloških operacija**

Naziv dijela	Oznaka	Slijed tehnoloških operacija
Brtvena čahura KP4	4	TOK2 – TOK3 – DUB – RM kontrola
Kućište brtvila vratila KP3	18	TOK1 630 – BU63, BUS40 – BUR
Letva KP1	33	PL – G6 – R1 – G3 – R1
Matica pumpe KP1	35	TOK363 – GLO2 – RM kontrola
Pločica KP1	44	PL – T2
Poklopac ležaja (sa strane motora) KP5	50	TOK3 – BURS3 – NAV16 – RM kontrola
Prirubnica unutarnja KP1	59	PL – T3 – B1 – B1
Rotor pumpe KP5	67	TOKK – RM – BUR – GLO2 – DUN – RM kontrola
Montaža 630x8	85	RM Montaža
Navojno vreteno 630x8	86	PIL – TOK – PRN – GLO1 – TOK - TOK

### 4.3. Tok materijala (matrica toka materijala)

Slijedi računanje toka materijala (matrice toka materijala). Materijalima se smatraju: sirovine, sklopovi, poluproizvodi, vlastiti i kupljeni dijelovi, gotovi proizvodi, trgovačka roba, alati, naprave i modeli. Tok materijala je organizacijsko, vremensko i prostorno povezivanje tehnoloških, kontrolnih, skladišnih, transportnih i drugih zbivanja vezanih uz materijal koji prolazi proizvodnim sustavom tijekom ciklusa proizvodnje. Svrha toka materijala je određivanje položaja proizvodnog sustava u okviru neke regije, rasporeda elemenata unutar sustava, određivanje vrste i broja transportnih sredstava i sredstava za odlaganje. Pri oblikovanju proizvodnog sustava u obzir se uzima što kraći put odvijanja, izbjegavanje povratnih putova, križanje putova i izbjegavanje promjene visine. [26] Za svaki odabrani dio proračunava se potreban broj sredstava za odlaganje u godini, izrazom:

$$n_{oi} = \frac{Q_P}{Q_{PO}} \quad (1)$$

gdje su:

$Q_P$  – broj komada predmeta rada

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

Tok materijala izražava se kao količina materijala koja prolazi proizvodnim sustavom u određenom vremenskom periodu, a kvantificira se transportnom intenzivnošću. Broj transporata (prijevoz jedne serije, i-tog predmeta rada) računa se izrazom:

$$n_{OIi} = \frac{Q_{Si}}{Q_{POi}} \frac{1}{Q_{TSi}} \quad (2)$$

gdje su:

$Q_{Si}$  – veličina serije (broj komada u seriji) i-tog predmeta rada

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

Vrijednosti veličina koje se računaju pomoću izraza (1) i (2) su cjelobrojne vrijednosti.

U matricu toka materijala unosi se podatak o intenzivnosti toka materijala ( $b_{kj}$ ), izraženoj preko broja transporata u planskom razdoblju (jedna godina) između k-tog i j-tog elementa sustava, i računanoj izrazom:

$$b_{kji} = n_{OIi} \cdot n_{Si} \quad (3)$$

gdje je:

$n_{Si}$  – broj serija i-tog predmeta rada u planskom razdoblju (godišnja količina/veličina serije).

Vrijednosti potrebne za definiranje matrice toka materijala prikazane su u tablici 2.

**Tablica 2. Vrijednosti intenzivnosti toka materijala**

Naziv dijela	$n_{OIi}$	$n_{Si}$	$b_{kji}$
Brtvena čahura KP4	2	20	40
Kućište brtvila vratila KP3	1	20	20
Letva KP1	1	20	20
Matica pumpe KP1	1	50	50
Pločica KP1	1	20	20
Poklopac ležaja (sa strane motora) KP5	1	50	50
Prirubnica unutarnja KP1	1	2	2
Rotor pumpe KP5	1	20	20
Montaža 630x8	1	50	50
Navojno vreteno 630x8	1	25	25

Za definiranje tablice toka materijala (tablice 3. i 4.) uvedene su promjene pri označavanju:

- BU i BUS su različite obrade, ali na istoj lokaciji pa su u matrici toka označene s BU
- Za oznaku TOKK, u matrici toka smatra se TOK3, jer za obje radnje piše tokariti kompletno
- TOK je u matrici toka nazvano kao TOK1 jer u elementima nema stroja pod nazivom TOK, a TOK2 i TOK3 već postoje pa da ne dođe do podudaranja
- Montaža je označena oznakom RM.

**Tablica 3. Orijentirana matrica toka materijala**

OD/KA	US	TOK2	TOK3	DUB	RM kd	BU	BUR	PL	G6	R1	G3	GLO2	BURS3	T3	B1	RM	PIL	TOK1	PRN	GLO1	T2	NA16	IS
US		40	140					42								50	25						
TOK2			40																				
TOK3				40		20						50	50			20							
DUB					60																		
RM kontrola																							160
BU							20																
BUR												20											20
PL									20						2						20		
G6										20													
R1											20												20
G3												20											
GLO2				20	50																		
BURS3																							50
T3																2							
B1																							2
RM								20															50
PIL																			25				
TOK1																				25	25		25
PRN																						25	
GLO1																				25			
T2																							20
NAV16					50																		
IS																							

**Tablica 4. Neorijentirana matrica toka materijala**

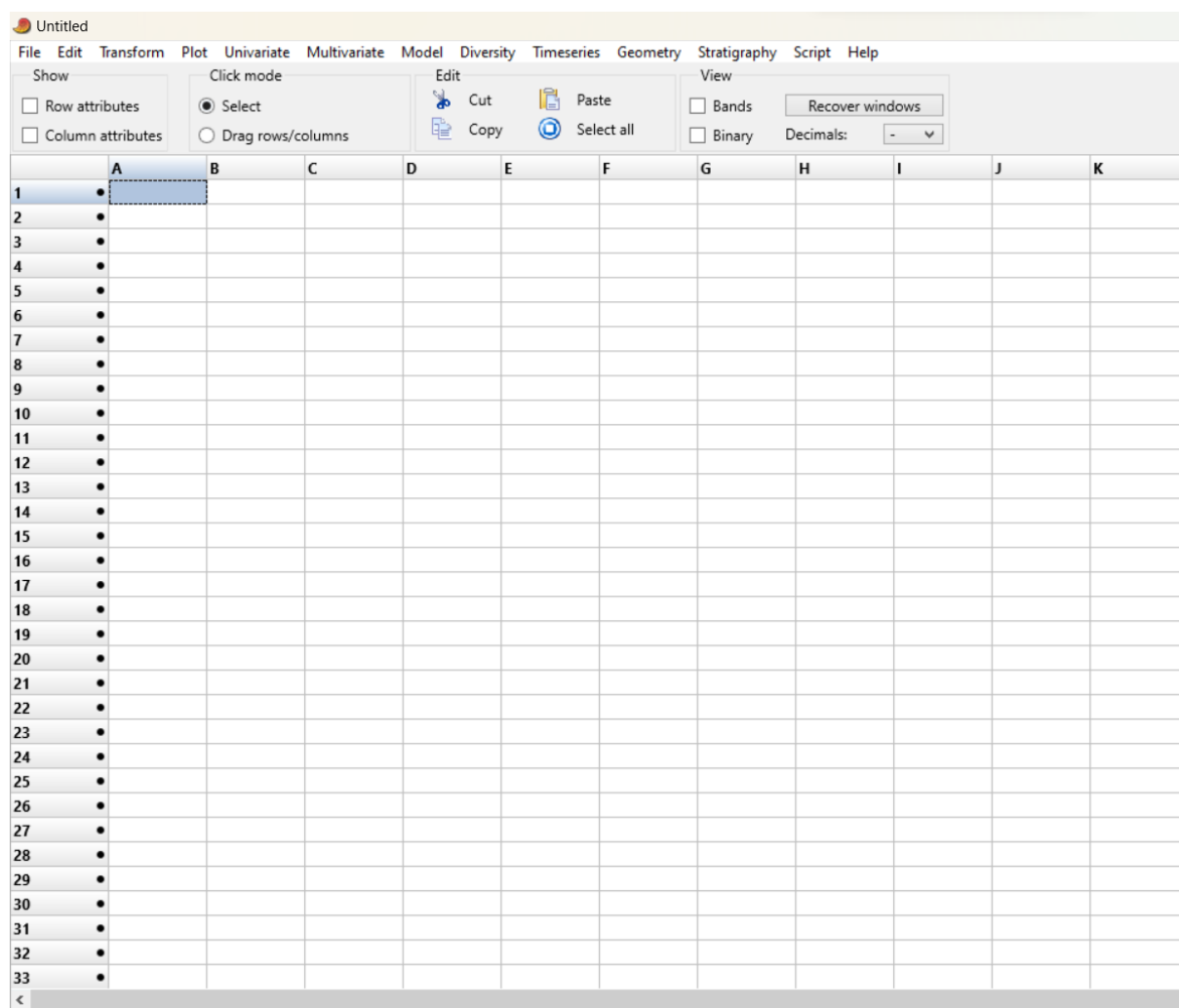
OD/KA	US	TOK2	TOK3	DUB	RM kd	BU	BUR	PL	G6	R1	G3	GLO2	BURS3	T3	B1	RM	PIL	TOK1	PRN	GLO1	T2	NA16	IS
US		40	140					42								50	25						
TOK2			40																				
TOK3				40		20						50	50			20							
DUB					60							20											
RM kontrola												50										50	160
BU							20																
BUR												20				20							20
PL									20						2						20		
G6										20													
R1											40												20
G3																							
GLO2																							
BURS3																							50
T3																2							
B1																							2
RM																							50
PIL																				25			
TOK1																					25	25	25
PRN																						25	
GLO1																							
T2																							20
NAV16																							
IS																							

#### 4.4. Cluster analiza pomoću softvera PAST

Nakon izrađene matrice toka materijala slijedi strukturiranje proizvodnog sustava. To se naziva *Cluster* analiza i ona predstavlja niz matematičko-heurističkih postupaka. Svrha provođenja takve analize u projektiranju proizvodnih sustava je grupiranje tehnološki sličnih dijelova i njima odgovarajućih skupina sustava (strojeva). Ona se može provesti ručno uz brojne formule, ali postoje i softveri koji ju provode.

Za provedbu Cluster analize biti će korišten softver PAST, to je besplatan softver za analizu podataka, ima funkcije za manipulaciju podacima, univarijantnu i multivarijantnu statistiku, crtanje, prostornu analizu i drugo. [27]

Podaci za analizu jednostavno se učitavaju iz Excela ili tekstualne datoteke, a moguće je kopiranje podataka i iz drugih softvera. Slika 10. prikazuje sučelje softvera PAST.



Slika 10. Sučelje softvera PAST

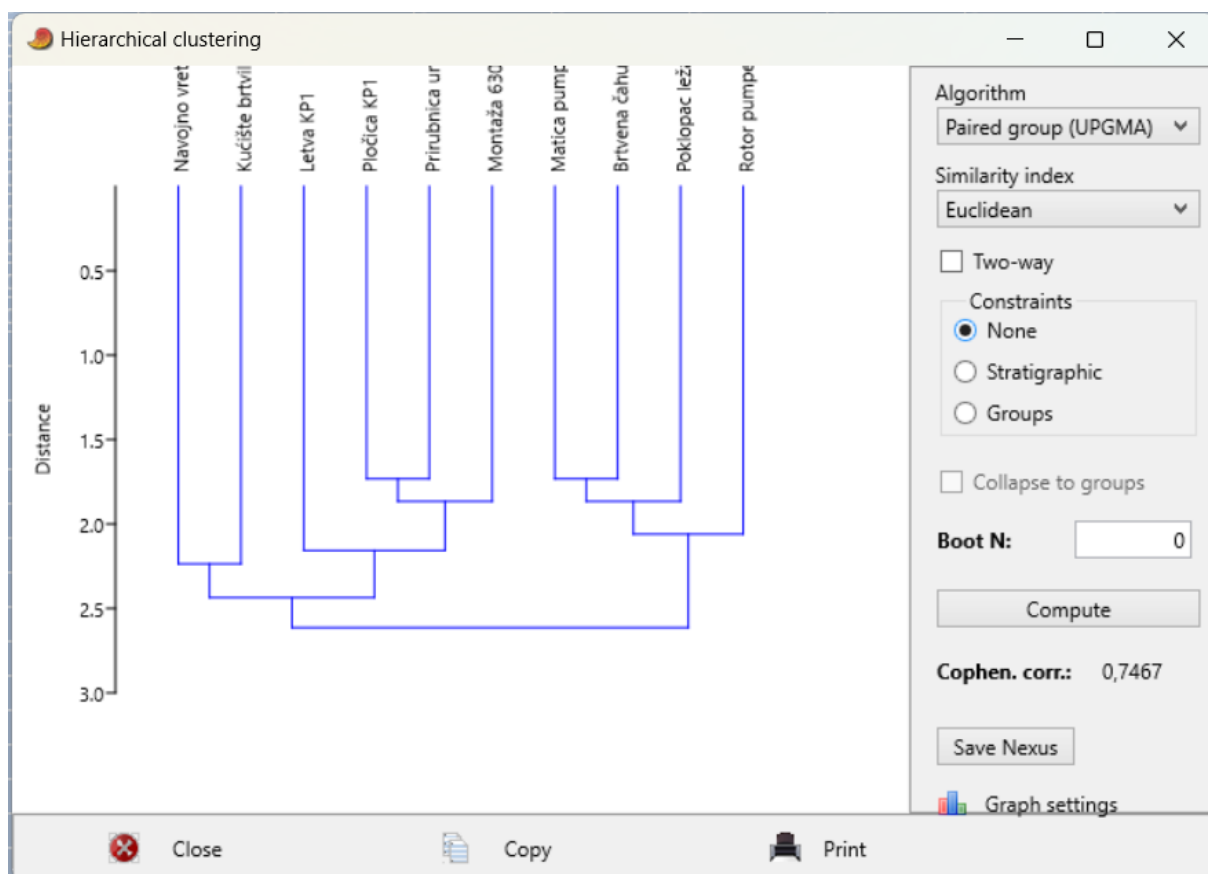
Binarna matrica se popunjavana na način da se upisuju svi strojevi potrebni za obrade odabranih dijelova i dijelovi (označeni brojem iz [25]), označavanjem 0 (stroj se ne koristi za taj dio) ili 1 (stroj se koristi). Tablica 5. prikazuje popunjenu binarnu matricu u Excelu.

**Tablica 5. Binarna matrica dijelovi-strojevi**

Dijelovi	TOK2	TOK3	DUB	RM ko	BU	BUR	PL	G6	R1	G3	GLO2	BURS3	T3	B1	RM	PIL	TOK1	PRN	GLO1	T2	NA16
4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
50	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
59	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
67	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0

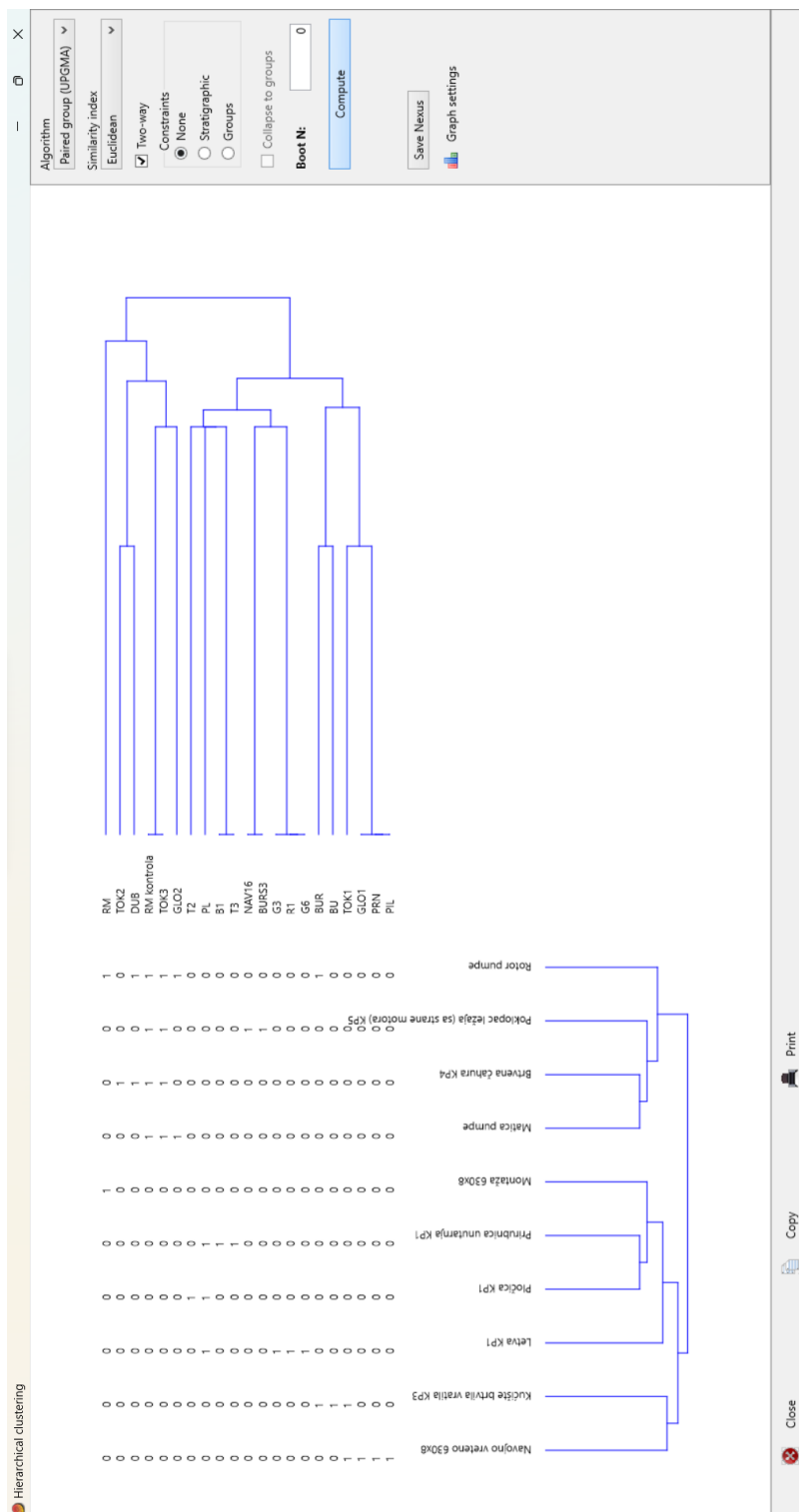
Pokretanje Cluster analize (hijerarhijska metoda) vrši se označavanjem cijele tablice → Multivariate → Clustering → Classical. Izlazni rezultati prikazani su u obliku dendrograma – Slika 11.

Dendrogram je dijagram koji prikazuje hijerarhijski odnos između objekata, a glavna upotreba je određivanje najboljeg načina za dodjelu objekata clusterima. [28]



**Slika 11. Izlazni podaci Cluster analize (dendrogram)**

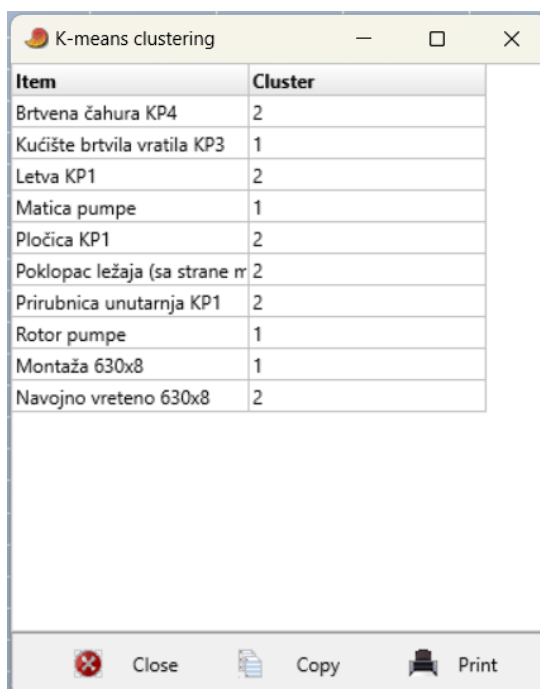
Pomoću PAST softvera može se prikazati i dvosmjerni dendrogram koji grupira i dijelove i strojeve. Analiza se vrši na isti način kao i prethodna, ali nakon što program izbaci dendrogram prikazan na slici 11., odabire se opcija „Two-way“ i na taj način se dobivaju izlazni podaci prikazani na slici 12.



Slika 12. Dvosmjerni dendrogram



Još jedna od mogućnosti softvera PAST je provedba ne hijerarhijske metode koja se naziva „*k-means*“. Primjenom *k-means* metode dijelovi se raspoređuju u klaster. Za primjer od deset dijelova, formiraju se dva klastera, ali za sustave gdje ima više stotina dijelova korisnik softvera sam odabire koliko klastera želi i to ovu opciju čini korisnom i vrlo brzom u usporedbi s ručnim razvrstavanjem u grupe po određenim kriterijima. Na slici 13. prikazani su dijelovi i podjela u dvije skupine.



Item	Cluster
Brtvena čahura KP4	2
Kučiče brtvila vratila KP3	1
Letva KP1	2
Matica pumpe	1
Pločica KP1	2
Poklopac ležaja (sa strane n	2
Prirubnica unutarnja KP1	2
Rotor pumpe	1
Montaža 630x8	1
Navojno vreteno 630x8	2

Slika 13. Izlazni podaci *k-means* metode

#### 4.5. Kapacitivno i prostorno dimenzioniranje proizvodnog sustava

Uza svaki dio naznačeno je koliko je vremenski opterećen svaki element sustava te se preko toga može smanjiti broj elemenata i određene operacije premjestiti na druge elemente koji služe za jednaku obradu. Time se broj elemenata s 21 smanjio na samo sedam čime se uštedilo vrijeme transporta između elemenata kao i trošak ulaganja.

U tablici 6. prikazane su proizvodne površine sustava za preostale elemente. Dimenzije pojedinog elementa očitane su iz [25] „Datoteka elemenata“. Parametar  $f_o$  je diskontinuirani koeficijent ili faktor površine, a parametar  $n_E$  je broj elemenata iste vrste.

Tablica 6. Proizvodne površine sustava

Redni broj	ELEMENT	$d_o, m$	$\check{S}_o, m$	$A_o, m^2$	$f_o, -$	$n_E, -$	$A_E, m^2$
1	TOK2	3,15	1,55	4,88	3	2	29,30
2	TOK3	4,80	1,15	5,52	3	7	115,92
3	RM k.	1,00	1,50	1,50	5	1	7,50
4	PL	1,50	2,00	3,00	4,5	1	13,50
5	GLO2	2,00	1,25	2,50	4,5	3	22,50
6	BURS3	2,70	1,05	2,84	4,5	1	12,76
7	RM	1,00	1,50	1,50	5	1	7,50

Sa smanjenim brojem elemenata u sustavu radi se nova matrica toka materijala, prikazane su tablicama 7. i 8.

Tablica 7. Revidirana orijentirana matrica toka materijala

OD/KA	US	TOK2	TOK3	RM k.	PL	GLO2	BURS3	RM	IS
US		40	140		67			50	
TOK2			40			25			45
TOK3				50		90	72	20	
RM k.									160
PL		45	2			20			
GLO2		25		110				40	
BURS3			50			20			22
RM						20	20		70
IS									

Tablica 8. Revidirana neorijentirana matrica toka materijala

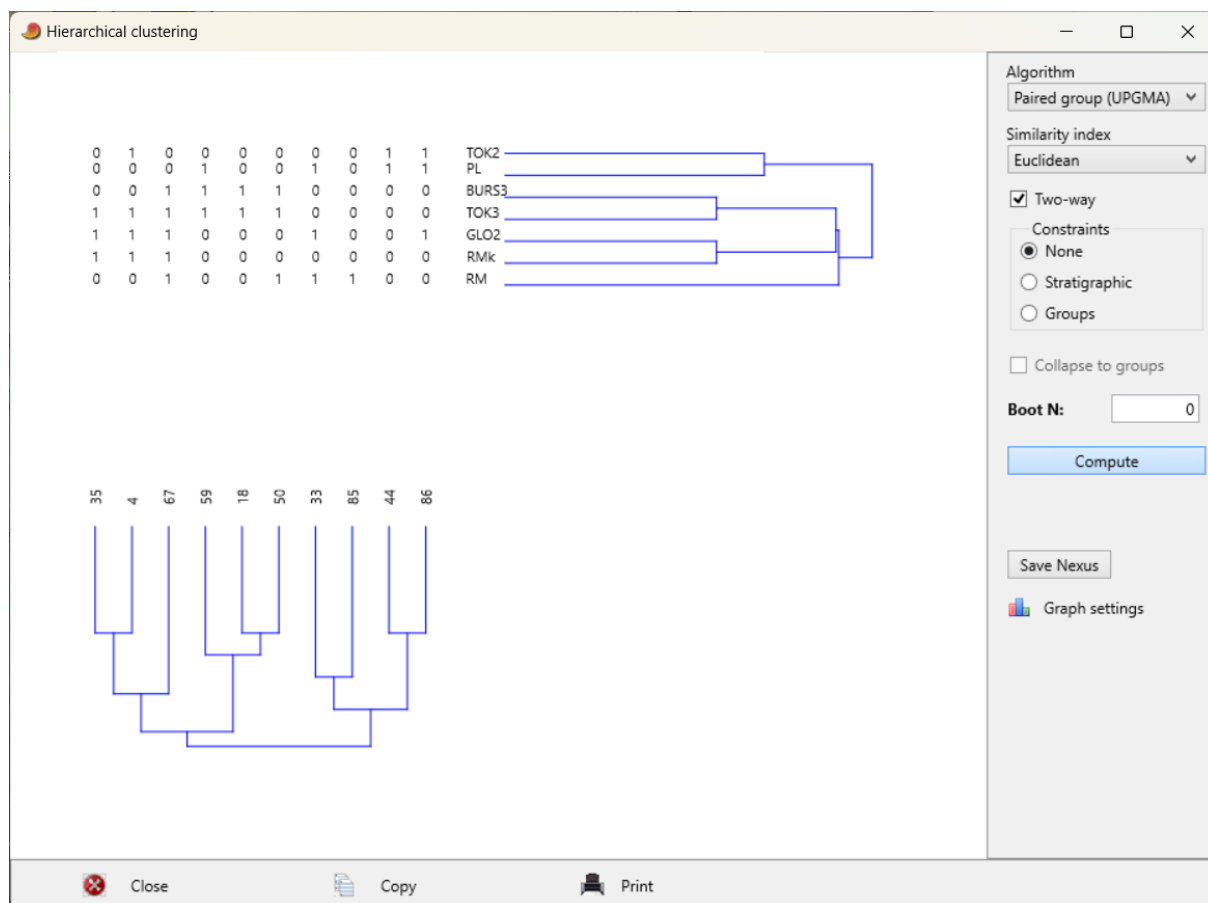
OD/KA	US	TOK2	TOK3	RM k.	PL	GLO2	BURS3	RM	IS
US		40	140		67			50	
TOK2			40		45	50			45
TOK3				50	2	90	122	20	
RM k.						110			160
PL						20			
GLO2							20	60	
BURS3								20	22
RM									70
IS									

Sa smanjenim brojem elementa, pomoću softvera PAST, provodi se *Cluster* analiza. Slika 14. prikazuje novu binarnu matricu dijelovi-strojevi.

	TOK3	RMk	PL	GLO2	BURS3	RM	H
4	• 1	1	0	1	0	0	
18	• 1	0	0	0	1	0	
33	• 0	0	1	1	0	1	
35	• 1	1	0	1	0	0	
44	• 0	0	1	0	0	0	
50	• 1	0	0	0	1	1	
59	• 1	0	1	0	1	0	
67	• 1	1	0	1	1	1	
85	• 0	0	0	0	0	1	
86	• 0	0	1	1	0	0	
11	•						

**Slika 14. Nova binarna matrica dijelovi-strojevi**

Opcija „Two-way“ (Slika 15.) daje rezultate rasporeda elemenata i udaljenosti te se pomoću toga u softveru visTABLE tvori raspored strojeva u proizvodnom pogonu.

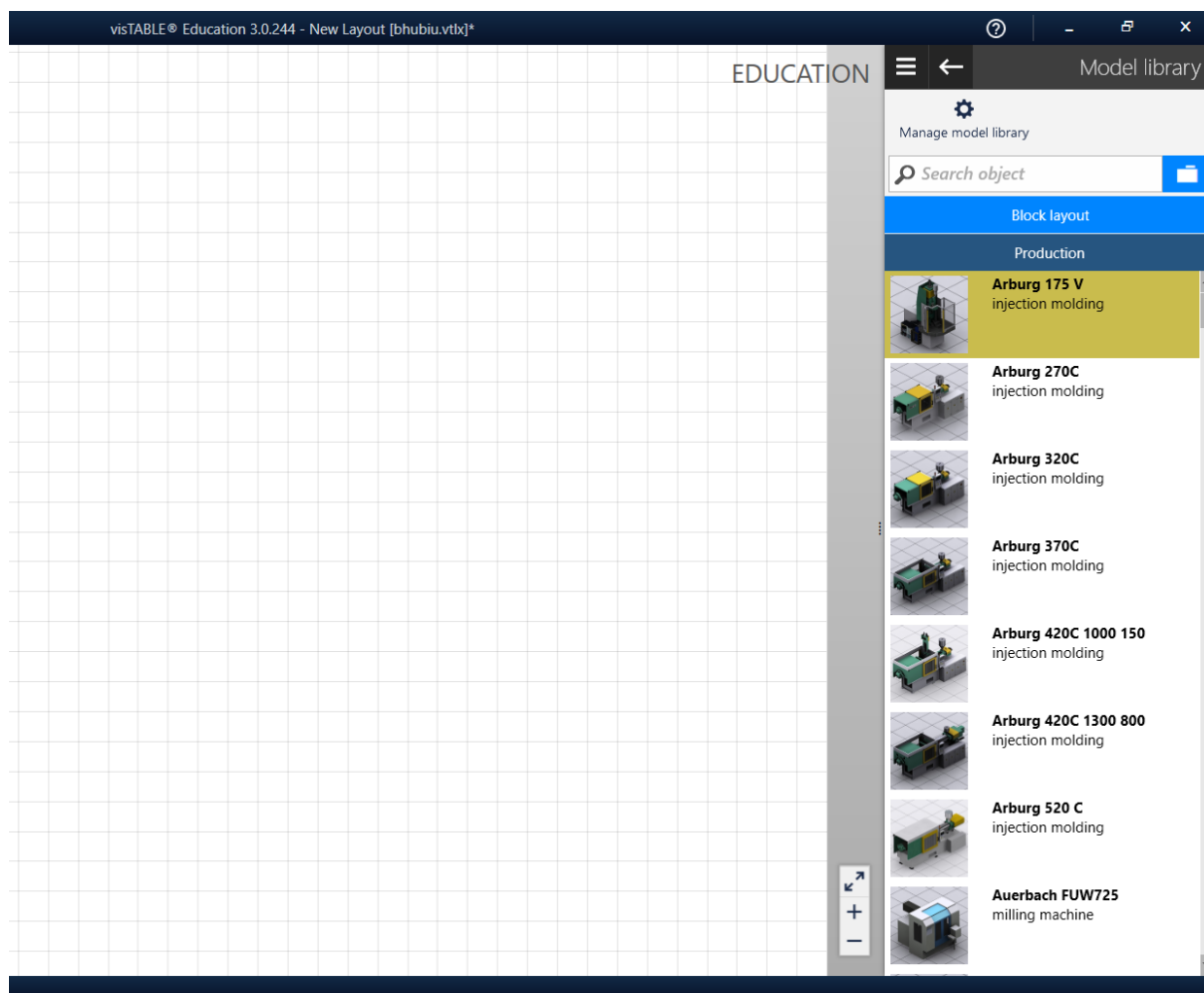


Slika 15. Novi dvosmjerni dendrogram

#### 4.6. Softver VisTABLE

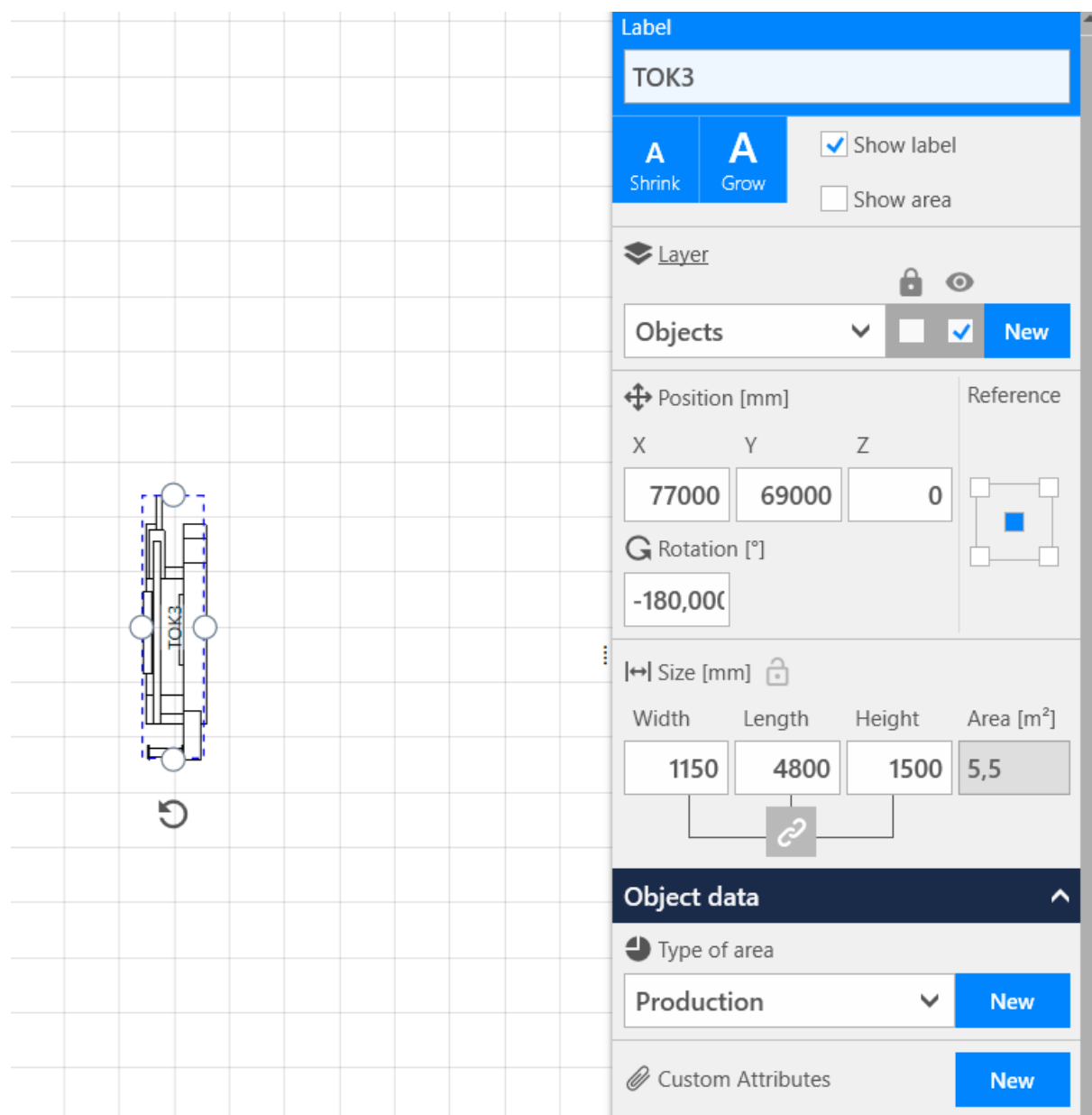
Softver visTABLE nudi projektiranje postrojenja u obliku 2D i 3D modela te analizu toka materijala. Također, pomaže pri pronalasku optimalnog rješenja za proizvodnju [30], a sve mogućnosti prikazane su na primjeru deset odabranih dijelova.

Opcija „*Model library*“ pruža različite elemente koje je moguće postaviti u područje rasporeda jednostavnim povlačenjem i ispuštanjem u prostor, 3D prikaz omogućen je putem „*visTABLE 3D View*“. Osim dostupnih elemenata u katalogu, moguće je stvoriti vlastitu korisničku datoteku, implementiranjem 3D modela preuzetih s interneta ili konstruiranih od strane korisnika. [30] Slika 16. prikazuje korisničko sučelje opcije „*Model library*“.



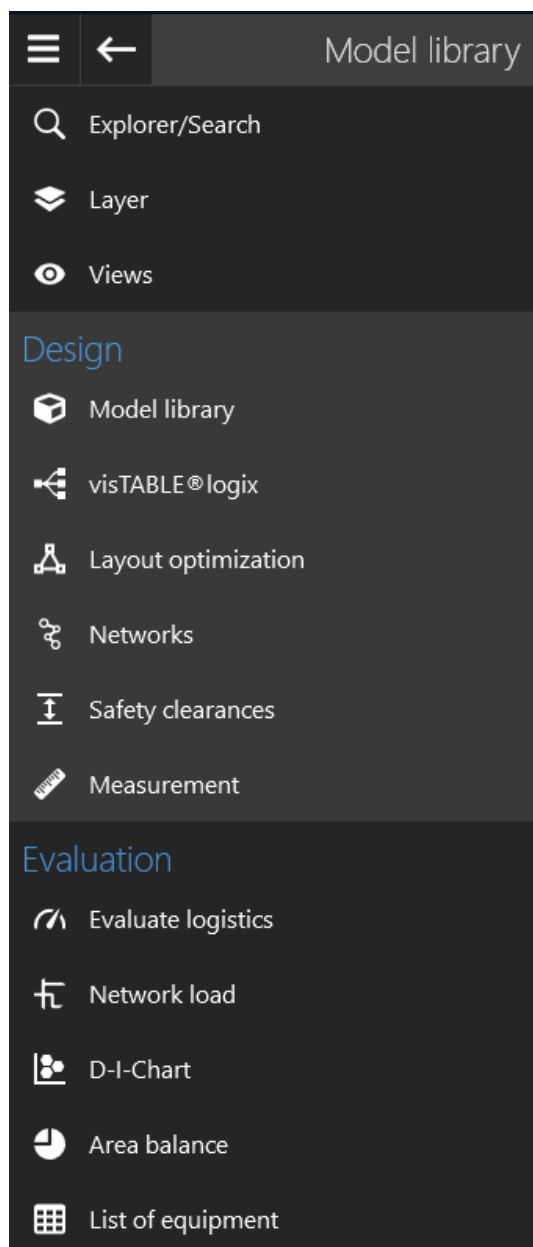
Slika 16. Sučelje „Model library“

Pomoću opcije „Properties“ moguće je unijeti dimenzije elementa te označiti kojem području proizvodnje pripada („Type of area“) – Slika 17. prikazuje tu opciju.



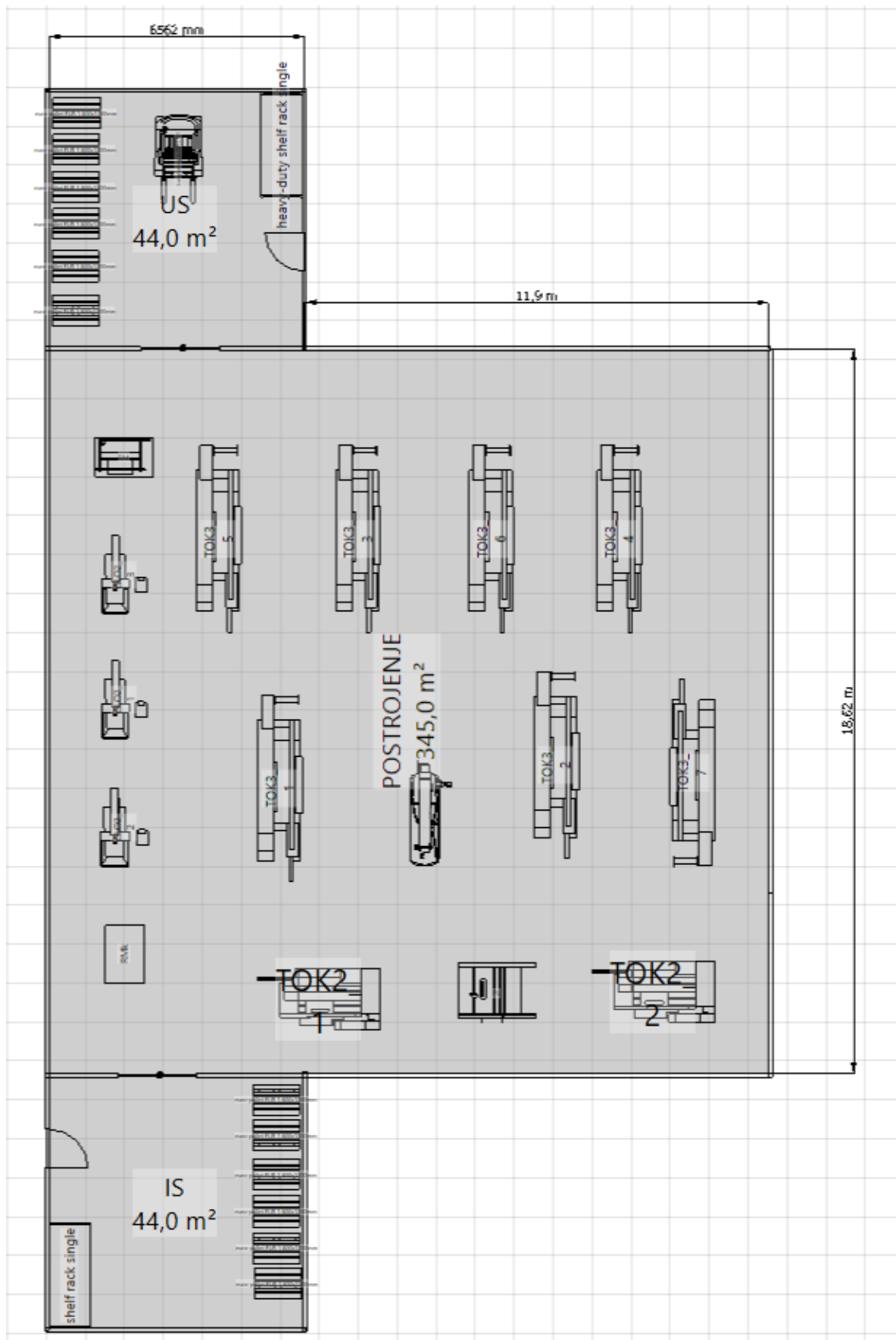
Slika 17. Opcija „Properties“

Slika 18. prikazuje izbornik sa svim mogućnostima softvera visTABLE.



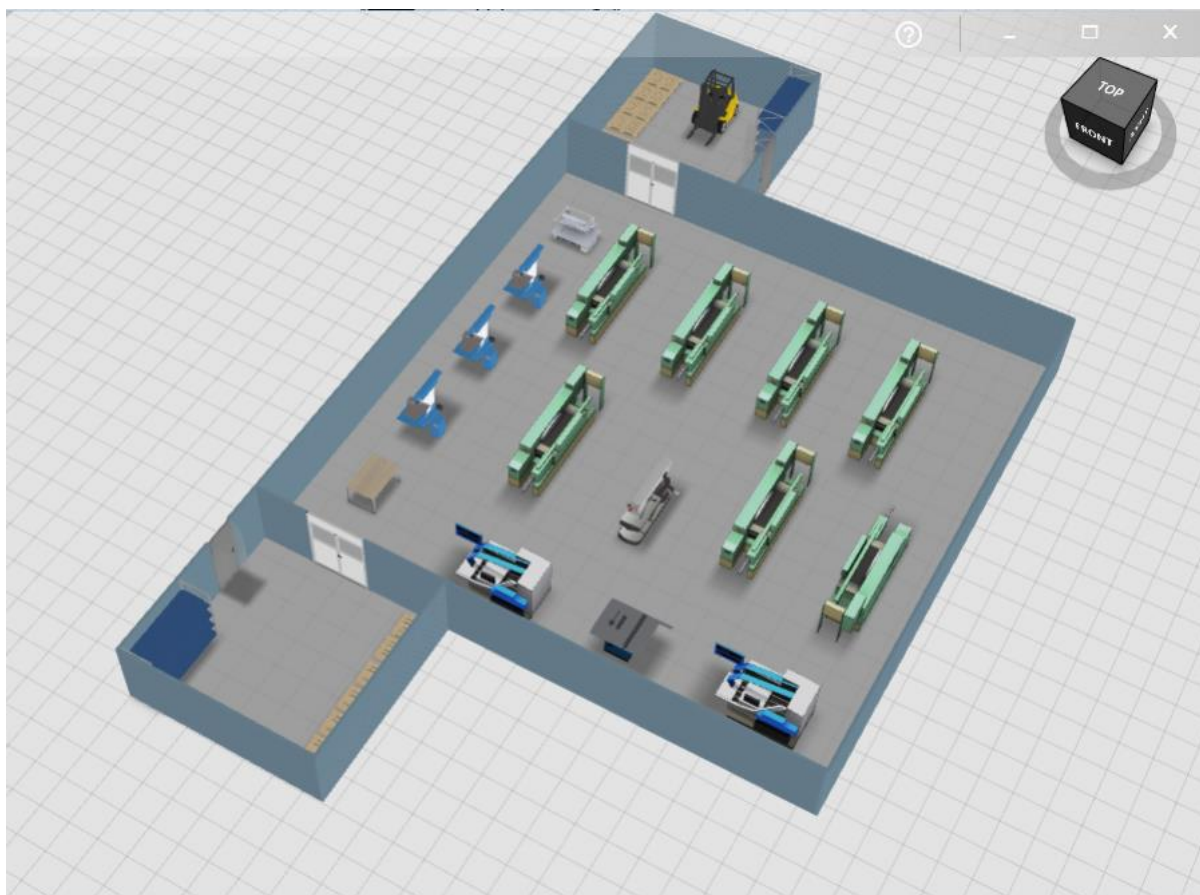
**Slika 18. visTABLE izbornik**

Dodavanje svih elemenata u sustav i projektiranja ulaznog i izlaznog skladišta prikazano je na slici 19. u 2D projekciji te na slici 20. u 3D projekciji.



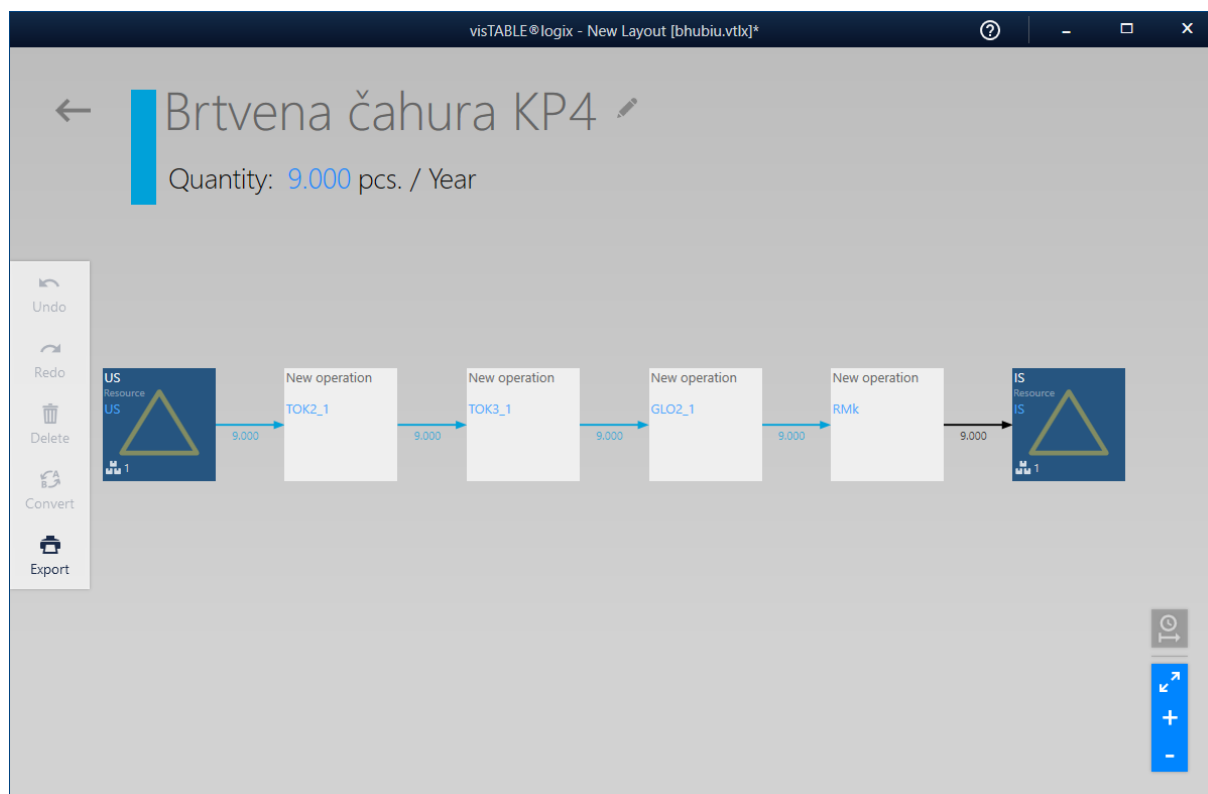
Slika 19. 2D prikaz (tlocrt) pogona i skladišta





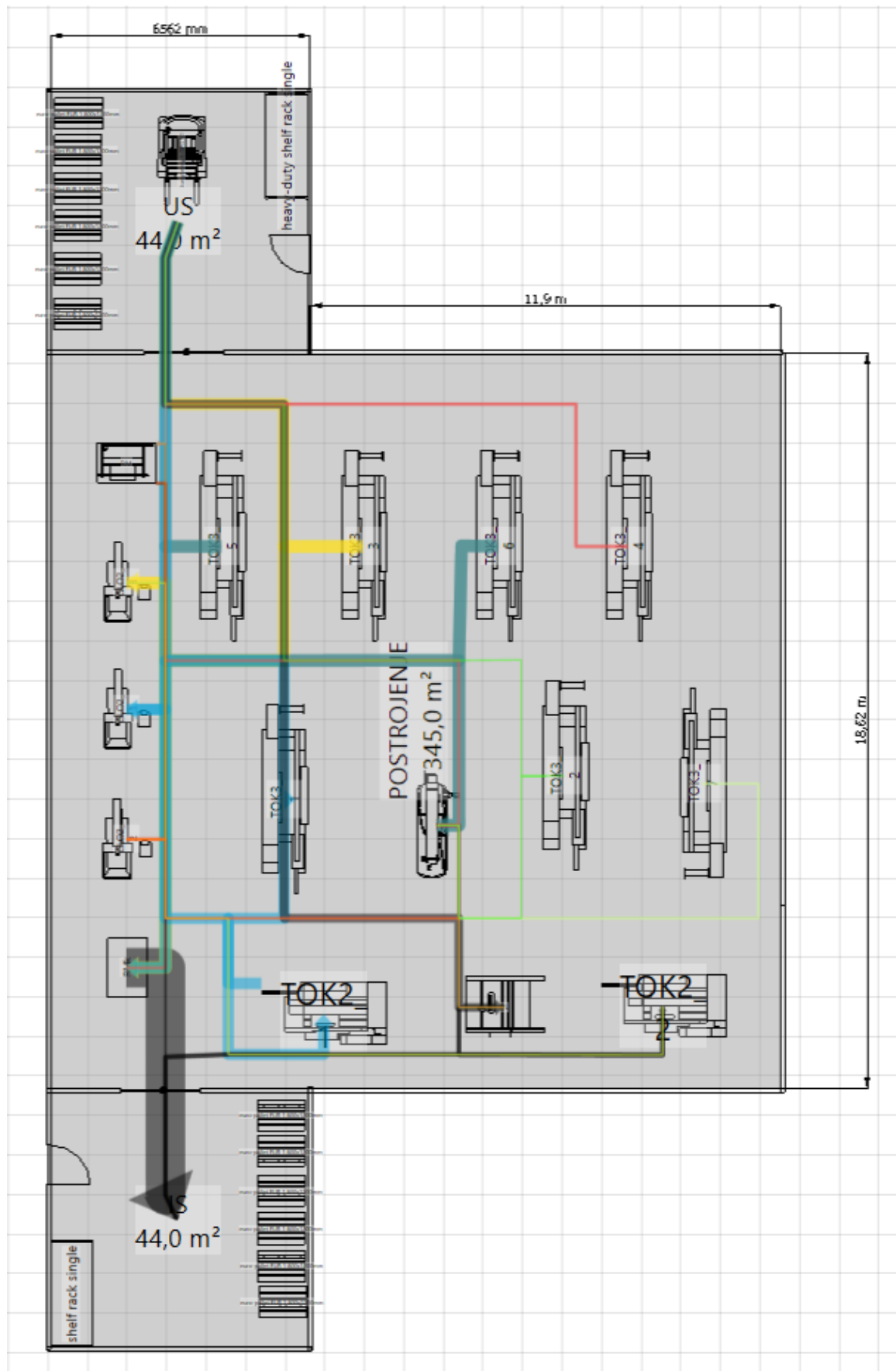
**Slika 20. 3D prikaz pogona i skladišta**

Iduća mogućnost softvera je dodavanje dijelova u sustav, pomoću opcije „*visTABLE logix*“ te prikaz njihovog toka između već raspoređenih strojeva. Za svaki dio moguće je unijeti godišnji broj komada, na slici 21. prikazan je tok materijala za brtvenu čahuru KP4.

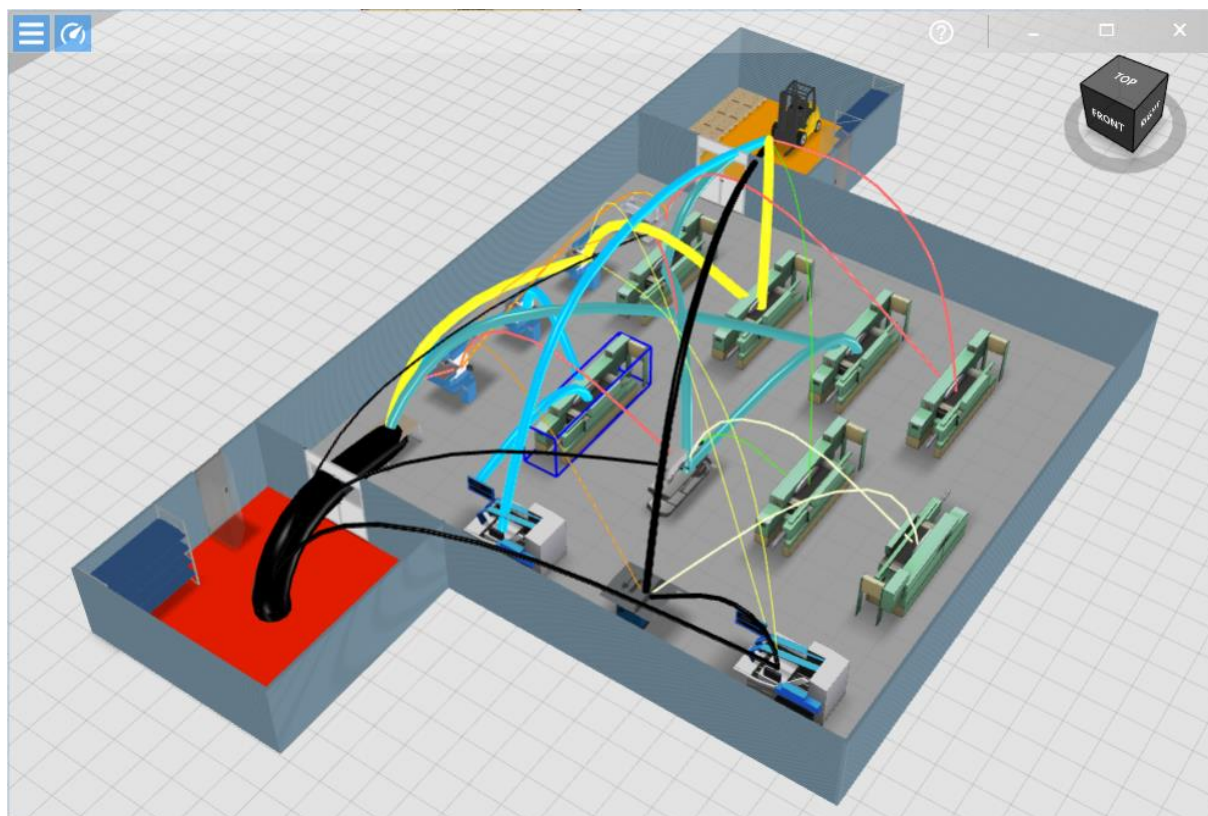


**Slika 21.** Tok materijala u „visTABLE logix“

Slika 22. prikazuje sve tokove materijala za deset odabranih dijelova u 2D, a slika 23. u 3D projekciji.

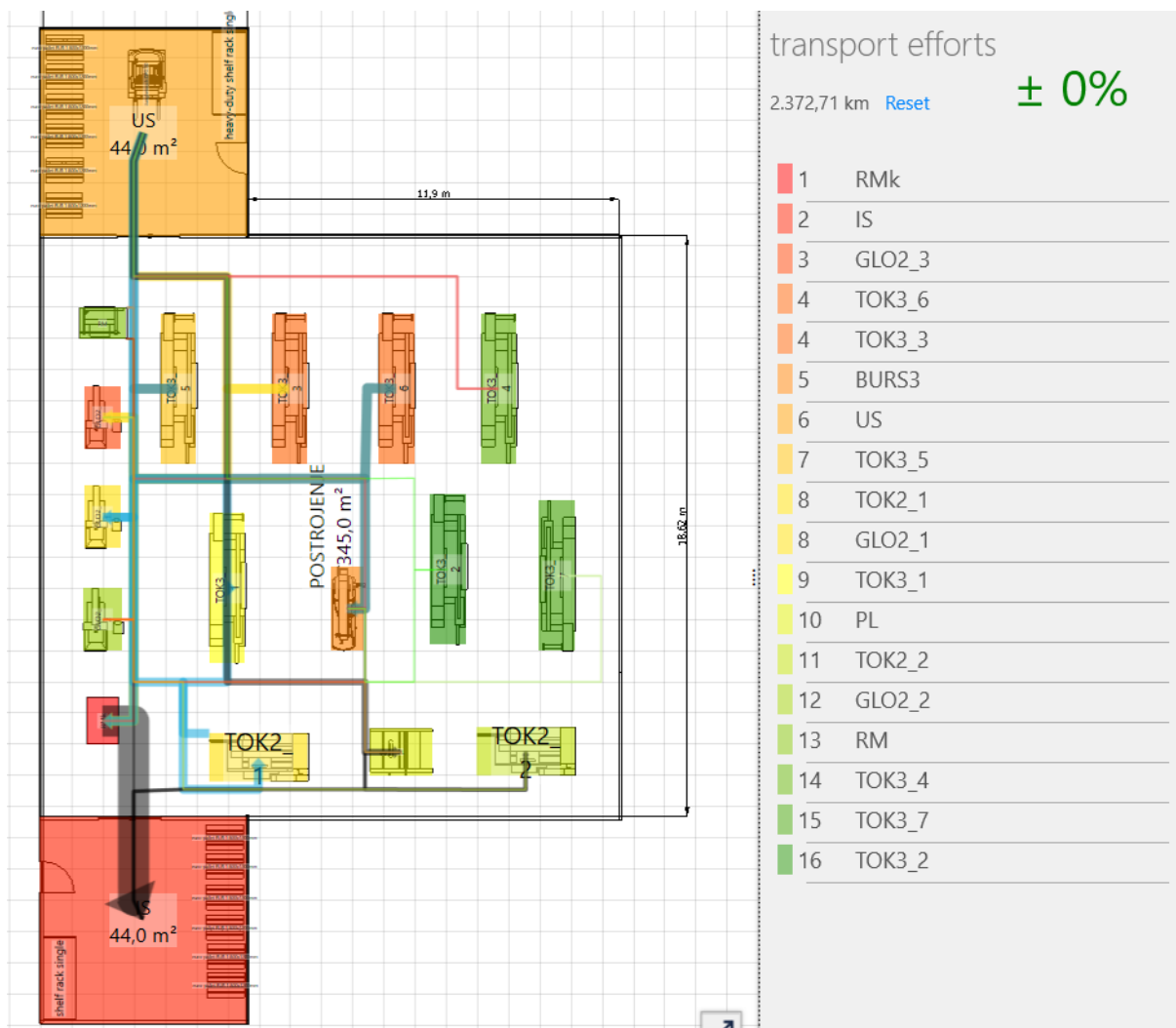


Slika 22. 2D prikaz toka materijala u pogonu i skladištu



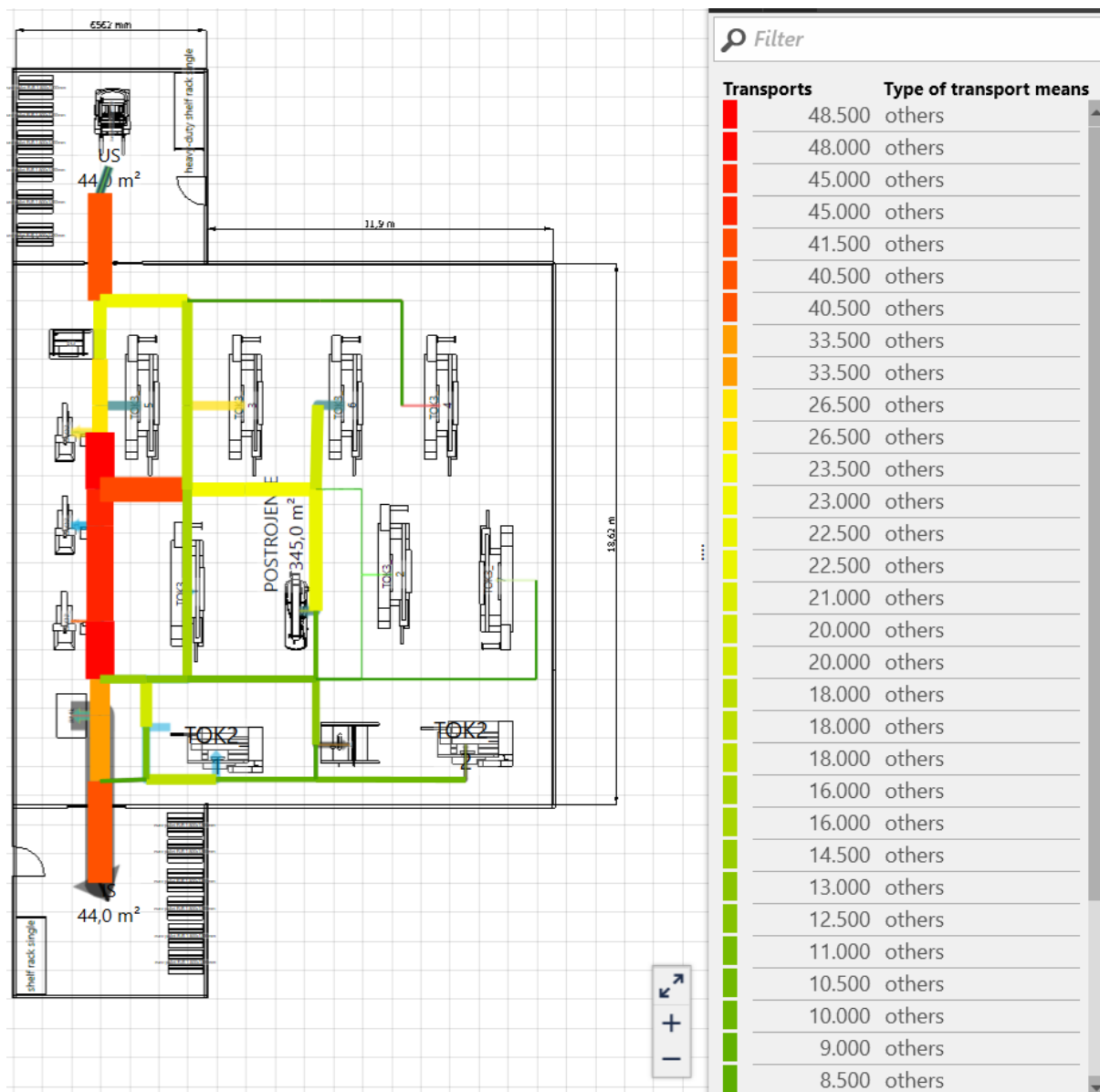
**Slika 23. 3D prikaz toka materijala u pogonu i skladištu**

U izborniku prikazanom na slici 18., odabirom „*Layout optimization*“, dobiva se prikaz transportnog sustava i opterećenje na pojedinom dijelu sustava. Rezultat od  $\pm 0$  % za „*transport efforts*“ znači da je sustav optimalan (Slika 24.).



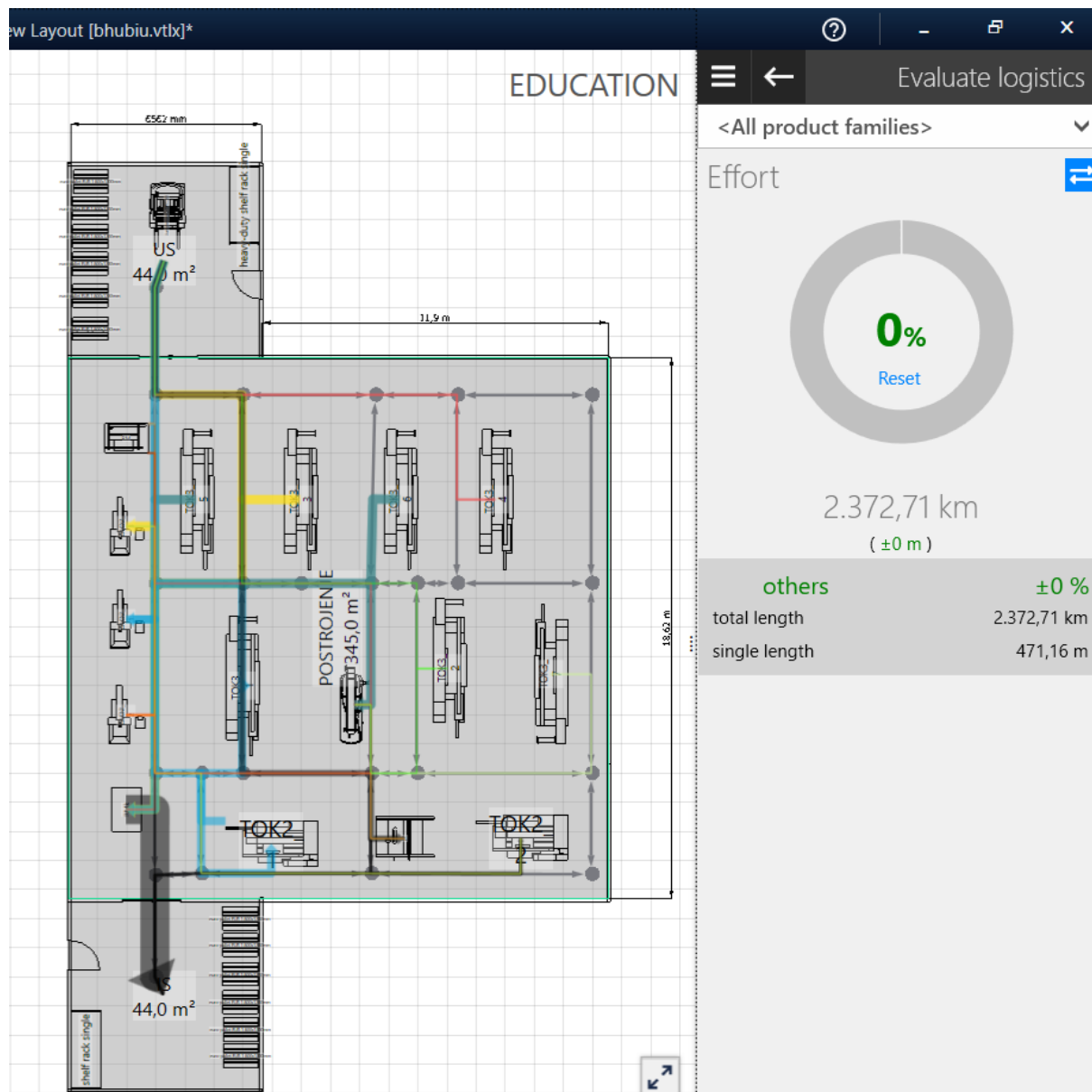
Slika 24. Transportni sustav

Odabirom „Network load“ opcije, vidljivo je koliko transporta ima na određenom elementu te je prikazano koji je najopterećeniji (Slika 25.), u daljnjem projektiranju proizvodnje, dobra opcija bi bila dodati još elemenata (montaže i glodalica) kako bi se smanjila opterećenost tog radnog mjesta.



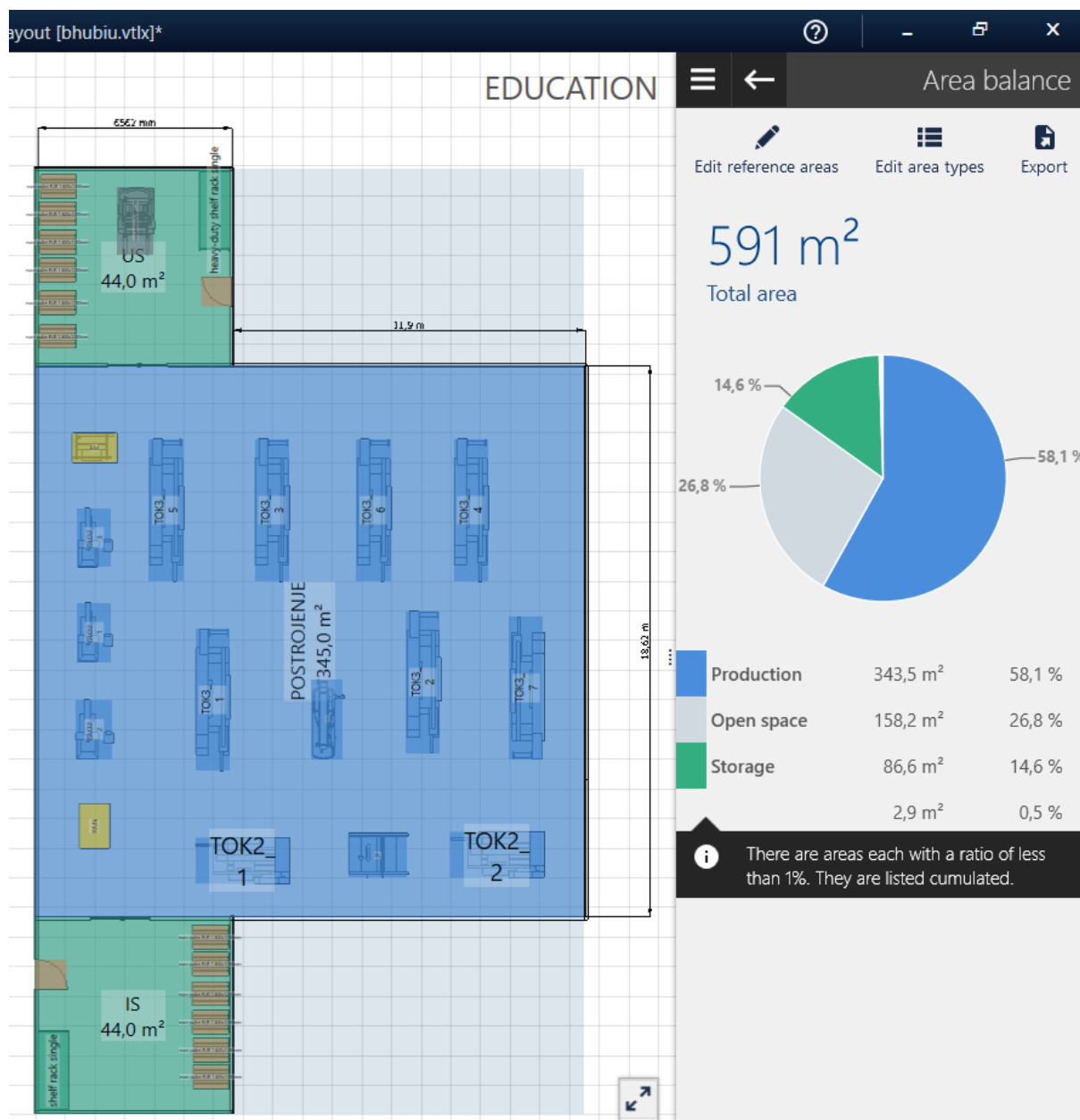
Slika 25. Rezultati „Network load“ opcije

U glavnom izborniku pritiskom na opciju „Evaluate logistics“ prikazano je koliko je ukupna prijeđena duljina (put) tijekom transporta (Slika 26.), a ona iznosi 2372,71 km.



Slika 26. Ukupna prijeđena duljina tijekom transporta

„Area balance“ je opcija koja pokazuje koliko površine je iskorišteno i u koju svrhu. Na slici 27. vidljivo je da proizvodnja zauzima 58,1 %, a skladište 14,6 % ukupnog prostora. Otvoreni prostor zauzima 26,8 % te ga se može iskoristiti za parking, restoran i garderobu za radnike, trafostanicu, portirnicu i odlagalište otpada.



Slika 27. Ukupni prostor

Zaključno se može ustvrditi, da je softver visTABLE odličan softver za planiranje i projektiranje proizvodnje zbog mnogo opcija koje pruža, jednostavnosti za korištenje i jednostavnog prelazak iz 2D u 3D prikaz. Ima veliku biblioteku elemenata sustava koji su potrebni u proizvodnji. Vizualno prikazuje tok materijala između sustava te olakšava razmještaj elemenata unutar postrojenja.

Nedostatak softvera je što se postojeća Excel matrica toka materijala ne može učitati u program, nego korisnik tok materijala unosi ručno za svaki dio, što je kod proizvodnog programa s mnogo dijelova velik gubitak vremena. Daljnji nedostatak jest što u programu nije implementirana nikakva metoda za određivanje rasporeda elemenata sustava, nego program



---

samo vrednuje raspored načinjen od strane projektanta. VisTABLE je moguće implementirati s AutoCAD-om, učitavanjem datoteka *dwg*.

## 5. ZAKLJUČAK

Projektiranje proizvodnih sustava je iznimno važna djelatnost jer uvelike utječe i pomaže na povećanju učinkovitosti proizvodnje, smanjenju troškova, poboljšanju kvalitete proizvoda i zadovoljstvu kupaca.

Programska podrška u projektiranju proizvodnih sustava je neizostavan dio te djelatnosti. Programski alati omogućuju korisnicima brzo i precizno modeliranje, analizu te upravljanje projektnim sadržajima. Programska podrška ima mnoge prednosti, brzo i jednostavno stvaranje modela proizvodnih sustava, a time se povećava učinkovitost i smanjuje vrijeme potrebno za oblikovanje sustava. Programski alati omogućuju integraciju različitih dijelova proizvodnog sustava te se time postiže veća kontrola i izvjesnost postizanja optimiranih proizvodnih procesa. Sposobnost praćenja i nadzor nad proizvodnim procesima u stvarnom vremenu, još je jedna od prednosti programskih alata, time se donose brže i preciznije odluke, smanjuje rizik od greške i poboljšava se kvaliteta proizvoda.

Programski alati, navedeni i opisani u ovom radu, neizostavni su dio suvremenog projektiranja i upravljanja proizvodnim sustavima. Nabrojani su najzastupljeniji softveri za CAD (AutoCAD, CATIA, SolidWorks, Siemens NX i Creo) koji se koriste za konstruiranje dijelova proizvodnog sustava. Siemens Teamcenter, Windchill i Enovia su softveri opisani unutar skupine PLM softvera koji se koriste za upravljanje životnim ciklusom proizvoda. Softver Odoo koristi se za izračunavanje materijala i komponenti potrebnih za proizvodnju proizvoda (MRP). Također, u radu su navedene prednosti Industrije 4.0 te njezin napredak i poboljšanje proizvodnog procesa.

Posebno je razmatran softver PAST koji služi za softversko klasteriranje te uvelike može pomoći pri podjeli više stotina dijelova u potreban broj skupina (klastera). Rezultat *Cluster* analize pomoću softvera PAST je dendrogram koji daje grafički prikaz rezultata koji se koriste

za vizualizaciju strukture klastera i sličnosti među njima, što je onda osnova za stvaranje odgovarajućih proizvodnih struktura.

U radu je korišten i softver visTABLE koji omogućava projektiranje proizvodnih sustava u obliku 2D i 3D modelu te provedbu analize toka materijala. Softver pomaže pri pronalasku optimalnih rješenja za proizvodnju korištenjem opcija poput „*Model library*“, „*visTABLE logix*“ i „*Layout optimization*“. Softver pruža informacije o površini prostora koji je zauzet za proizvodnju, skladište i otvoreni prostor, kolika je ukupna duljina prijeđena tijekom transporta, kao i opterećenje pojedinih elemenata u sustavu.

U daljnjem radu je moguće softverski obuhvatiti još koraka tj. sadržaja metodologije projektiranja proizvodnih sustava. To se odnosi na odabir sredstava za odlaganje i transportnih sredstava. I za tradicionalan problem projektiranja proizvodnih sustava – određivanje rasporeda elemenata sustava, postoje mogućnosti još naprednijeg rješavanja. Također, važno je provesti postupak izbora i dimenzioniranja zgrada (plan izgradnje) te integraciju s drugim projektnim djelatnostima i bazama podataka, naprimjer urbanističkim i geodetskim.

## 6. LITERATURA

- [1] Kunica, Z.: Projektiranje proizvodnih sustava, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2020./2021.
- [2] Veža, I.: Projektiranje proizvodnih sustava – digitalni udžbenik, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu 2001.
- [3] Proizvodnja podržana računalom CAM, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2018./2019.
- [4] <https://www.hwlibre.com/hr/cad-software/>, Pristupljeno: 2022-11-19
- [5] <https://www.prior.hr/programi/autocad/>, Pristupljeno: 2022-12-20
- [6] <https://hrv.digiist.com/office/what-are-the-benefits-of-autocad-103289.html>, Pristupljeno: 2022-12-20
- [7] <https://www.strojotehnika.hr/software/cadcam/solidworks/>, Pristupljeno: 2022-12-20
- [8] <https://pit.ba/top-pet-razloga-zasto-odabrati-upravo-solidworks-kada-je-u-pitanju-razvoj-vaseg-proizvoda/>, Pristupljeno: 2022-12-20
- [9] <https://www.alfa-teh.hr/zasto-catia-v5-v6-kao-nas-programski-paket/>, Pristupljeno: 2023-01-04
- [10] [https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v5/portfolio/domain/Product\\_Synthesis/product/DMN/](https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v5/portfolio/domain/Product_Synthesis/product/DMN/), Pristupljeno: 2023-01-04
- [11] [https://wikipedia.net/bs/Siemens\\_NX](https://wikipedia.net/bs/Siemens_NX), Pristupljeno: 2023-01-04
- [12] <https://www.scan2cad.com/blog/cad/catia-vs-nx/>, Pristupljeno: 2023-01-07
- [13] <https://www.indx.com/en/product/siemens-tecnomatix-plant-simulation>, Pristupljeno: 2023-02-01
- [14] <https://www.ptc.com/en/products/creo>, Pristupljeno: 2023-02-03
- [15] <http://arhiva.dizajnsvakidan.com/uvod-u-generativni-dizajn/>, Pristupljeno: 2023-02-03

- [16] <https://www.oracle.com/scm/product-lifecycle-management/what-is-plm/>, Pristupljeno: 2023-02-04
- [17] <https://www3.technologyevaluation.com/solutions/16678/teamcenter>, Pristupljeno: 2023-02-05
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Windchill\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Windchill_(software)), Pristupljeno: 2023-02-05
- [19] <https://3hti.com/products-2/windchill-software/>, Pristupljeno: 2023-02-05
- [20] <https://www3.technologyevaluation.com/selection-tools/features-list/31889/ptc-windchill>, Pristupljeno: 2023-02-06
- [21] <https://seacadtech.com/blog/all-you-need-to-know-about-enovia-plm-software/>, Pristupljeno: 2023-02-06
- [22] <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/material-requirements-planning-MRP>, Pristupljeno: 2023-02-06
- [23] Hegedić, M.: MRP sustav – Odoo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2021./2022.
- [24] <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>, Pristupljeno: 2023-02-06
- [25] <http://titan.fsb.hr/~zkunica/pps.htm>, Pristupljeno: 2023-02-07
- [26] Kunica, Z., Projektiranje proizvodnih sustava nastavni materijal, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2016.
- [27] <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>, Pristupljeno: 2023-02-08
- [28] <https://www.displayr.com/what-is-dendrogram/>, Pristupljeno: 2023-02-08
- [29] <https://www.vistable.com/software/factory-layout-design-software/>, Pristupljeno: 2023-02-16
- [30] [https://doc.vistable.com/help/vtt3/en/vtt\\_library.html](https://doc.vistable.com/help/vtt3/en/vtt_library.html), Pristupljeno: 2023-02-16