

# Integracija djelatnosti u tvrtki za projektiranje energetskih i procesnih postrojenja

---

**Babić, Helena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:419939>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Helena Babić**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:





Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.inž.

Student:

Helena Babić

Zagreb, 2024.

## ZADATAK

	<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b> <b>FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE</b> Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove: Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment, mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija											
<table><tr><td colspan="2">Sveučilište u Zagrebu</td></tr><tr><td colspan="2">Fakultet strojarstva i brodogradnje</td></tr><tr><td>Datum</td><td>Prilog</td></tr><tr><td colspan="2">Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1</td></tr><tr><td colspan="2">Ur.broj: 15 - 24 -</td></tr></table>			Sveučilište u Zagrebu		Fakultet strojarstva i brodogradnje		Datum	Prilog	Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1		Ur.broj: 15 - 24 -	
Sveučilište u Zagrebu												
Fakultet strojarstva i brodogradnje												
Datum	Prilog											
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1												
Ur.broj: 15 - 24 -												
<b>DIPLOMSKI ZADATAK</b>												
Student:	<b>Helena Babić</b>	JMBAG: 0035223269										
Naslov rada na hrvatskom jeziku:	<b>Integracija djelatnosti u tvrtki za projektiranje energetske i procesne postrojenja</b>											
Naslov rada na engleskom jeziku:	<b>Integration of activities in a company for the design of power and process plants</b>											
Opis zadatka:	<p>Projektiranje energetske i procesne postrojenja podvrgnuti su za čije je ostvarenje potrebno rješavanje niza tehničkih zadataka, primjenom različitih inženjerskih znanja i postupanja, a u okviru prikladne podjele rada. Vrsta, veličina i planirani rokovi izgradnje projektiranog postrojenja određivat će potreban broj sudionika u projektiranju, a u svakom slučaju, generiranje digitalnih projektnih sadržaja i njihovo dijeljenje između sudionika redovito će omogućavati povećanje učinkovitosti rada projektiranja, koje uz ostalo, podrazumijeva skraćivanje vremena projektiranja i postizanje projektnih rješenja više kvalitete i veće pouzdanosti.</p> <p>U radu je potrebno:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. naznačiti važnost djelatnosti projektiranja energetske i procesne postrojenja</li><li>2. istražiti i opisati suvremeno stanje u djelatnosti projektiranja energetske i procesne postrojenja</li><li>3. opisati promatrane projektantske tvrtke i njihovu djelatnost projektiranja, naprimjer: vrstu, raspon i opseg poslova; mjesto na tržištu; organizaciju, korištena sredstva rada i opremu te ostalo od značaja</li><li>4. naznačiti izazove i mogućnosti unapređenja projektantske djelatnosti promatrane tvrtke te</li><li>5. za odabrani izazov – mogućnost unapređenja, predložiti rješenje.</li></ol>											
Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:										
7. ožujka 2024.	9. svibnja 2024.	13. – 17. svibnja 2024.										
Zadatak zadao:	Predsjednik Povjerenstva:											
 Prof. dr. sc. Zoran Kunica	 Prof. dr. sc. Ivica Garašić											

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru, prof. dr.sc. Zoranu Kunici, na pristupačnosti i pruženoj pomoći tijekom izrade rada. Također zahvaljujem stručnom timu iz tvrtke Innoveva na savjetima i smjernicama.

Zahvaljujem kolegama i prijateljima za podršku, pomoć i zajedničko učenje tijekom cijelog studija.

Najveće hvala mojoj obitelji i dečku koji su me uvijek poticali i pružali mi podršku prilikom zahtjevnih trenutaka studija.

U Zagrebu, 16. svibnja 2024.

Helena Babić

## SAŽETAK

U današnjem industrijskom okruženju naglašena je potreba za brzim i efikasnim obavljanjem poslova, što je potaknuto suvremenim tehnološkim napretkom. Četvrta industrijska revolucija donosi automatizaciju povezanu s autonomnim sustavima i strojnim učenjem, mijenjajući ne samo fizičke proizvodne procese, već i način oblikovanja tih procesa. Projektiranje energetske i procesne postrojenja zahtijeva opsežnu ekspertizu i planiranje, pri čemu su ključne digitalne tehnologije i softverska podrška. Kroz suradnju s projektantskom tvrtkom, razvijen je katalog u softveru Universal Plant Viewer koji omogućuje lakše prikazivanje i modificiranje projektnih rješenja. Razmatrana je i montaža postrojenja, naglašavajući važnost vremenskog upravljanja i fleksibilnosti u provedbi aktivnosti. Kroz ovaj rad ističe se potencijal softvera za ubrzavanje procesa projektiranja postrojenja i olakšavanje komunikacije s klijentima.

Ključne riječi: procesno postrojenje, projektiranje, konceptualni dizajn, digitalan blizanac, Industrija 4.0

## **SUMMARY**

In today's industrial environment, there is a strong need for fast and efficient task completion, driven by modern technological advancements. The fourth industrial revolution brings automation associated with autonomous systems and machine learning, altering not only physical production processes but also the way these processes are designed. Designing energy and process plants requires extensive expertise and planning, with digital technologies and software support being crucial. Through collaboration with a design company, a catalog has been developed in the Universal Plant Viewer software, enabling easier visualization and modification of project solutions. The assembly of plants is also considered, emphasizing the importance of time management and flexibility in activity implementation. This work highlights the potential of software to accelerate the plant design process and facilitate communication with clients.

Key words: process plant, planning, conceptual design, digital twin, Industry 4.0

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	1
IZJAVA.....	2
SAŽETAK.....	3
SUMMARY .....	4
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	7
POPIS SLIKA .....	8
POPIS TABLICA.....	11
<b>1. UVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>2. PROJEKTIRANJE ENERGETSKIH I PROCESNIH POSTROJENJA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Projektni sadržaji.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Ugovaranje poslova.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Projektiranje energetskih i procesnih postrojenja u Republici Hrvatskoj .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Suvremena oprema i alati u projektiranju .....</b>	<b>18</b>
2.4.1. Digitalan blizanac.....	18
2.4.2. Kibernetičko-fizički sustavi .....	19
2.4.3. Lasersko mjerenje .....	20
2.4.4. Softverska podrška .....	20
<b>3. CJEVOVODNI SUSTAVI.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Norme (standardi) ASME .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Norme ISO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Europske norme (EN).....</b>	<b>26</b>
<b>3.4. Proračun cijevi .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5. Podjela poslova pri projektiranju cjevovoda .....</b>	<b>28</b>



<b>4. TVRTKA INNOVEVA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Djelatnost .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Lokacija.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3. Organizacija .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4. Softveri .....</b>	<b>33</b>
4.4.1. AVEVA E3D.....	33
4.4.2. Universal Plant Viewer .....	34
<b>4.5. Mogućnosti unapređenja .....</b>	<b>36</b>
<b>5. PRIMJER UNAPRIJEĐENOG PROJEKTIRANJA PROCESNOG POSTROJENJA .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1. Izrada digitalnog kataloga.....</b>	<b>37</b>
5.1.1. Konceptualni dizajn.....	37
5.1.2. Izrada kataloga .....	38
5.1.3. Korištenje kataloga.....	42
<b>5.2. Oblikovanje zgrade .....</b>	<b>45</b>
<b>5.3. Konceptualni dizajn procesnog postrojenja .....</b>	<b>52</b>
5.3.1. Dijagram toka procesa (PFD).....	53
5.3.2. Smještanje opreme u zgradu .....	54
5.3.3. Smještanje cijevi .....	56
<b>5.4. Montaža reaktora u zgradu .....</b>	<b>60</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>71</b>
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>73</b>
<b>PRILOG .....</b>	<b>75</b>

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
	€	euro, novčana jedinica
2D		dvodimenzionalan
3D		trodimenzionalan
CAD		eng. <i>Computer Aided Design</i> – računalom potpomognuto oblikovanje
eng.		engleski
$F$	N	sila
$l$	mm	duljina
PFD		eng. <i>Process Flow Diagram</i> – Dijagram toka procesa
$t$	s	vrijeme
UPV		softver Universal Plant Viewer

## POPIS SLIKA

Slika 1. Industrija 4.0 [2].....	13
Slika 2. Proizvodni sustav [3] .....	14
Slika 3. Digitalni blizanac [27] .....	18
Slika 4. Primjeri CPS-a [17].....	19
Slika 5. Primjer laserskog mjerača [20] .....	20
Slika 6. Logo softvera CATIA [12] .....	20
Slika 7. Analiza zavora u softveru CATIA [13].....	21
Slika 8. Logo softvera Siemens NX .....	21
Slika 9. Analiza u softveru Siemens NX.....	22
Slika 10. Logo tvrtke AVEVA.....	22
Slika 11. Logo softvera Revit.....	22
Slika 12. Logo softvera Blender.....	23
Slika 13. Cjevovodi u procesnom postrojenju [14].....	24
Slika 14. Logo organizacije ASME [15] .....	25
Slika 15. Podjela rada u projektantskoj tvrtki [14].....	28
Slika 16. Logo tvrtke Innoveva .....	29
Slika 17. Zgrada sjedišta tvrtke Innoveva u Zagrebu.....	30
Slika 18. Timski rad [9].....	32
Slika 19. Usporedba uzastopnog i istodobnog inženjerstva [22] .....	32
Slika 20. Moduli softvera AVEVA E3D.....	34
Slika 21. Logo tvrtke CAXperts.....	34

Slika 22. Model stvoren softverom UPV s integriranim laserskim skenom .....	35
Slika 23. Konceptualni dizajn [7].....	37
Slika 24. Primjer opreme (spremnik) odabrane za eksport .....	39
Slika 25. Alat za eksportiranje .....	39
Slika 26. Postavke eksportiranja elementa.....	40
Slika 27. Prikaz .obj datoteke u 3D čitaču .....	40
Slika 28. Učitavanje kataloga na mjesto dijeljenja podataka (Sharepoint) .....	41
Slika 29. Katalog .....	41
Slika 30. Preuzimanje željenog elementa.....	42
Slika 31. Kreiranje <i>Sketcha</i> u programu UPV .....	42
Slika 32. Učitavanje datoteke .obj.....	43
Slika 33. Odabir željenog elementa.....	43
Slika 34. Smještanje elementa.....	44
Slika 35. Prikaz elementa u modelu .....	44
Slika 36. Katalog u UPV-u.....	45
Slika 37. Postojeća zgrada.....	46
Slika 38. Osnovna čelična konstrukcija .....	47
Slika 39. Rešetkasti pod platforme.....	47
Slika 40. Prikaz poda i platformi.....	48
Slika 41. Stepenice i ograde za prvi kat .....	48
Slika 42. Ljestve za drugi kat .....	49
Slika 43. Izlaz u slučaju nužde s ljestvama .....	49
Slika 44. Vanjski zidovi zgrade.....	50
Slika 45. Vrata u prizemlju .....	50
Slika 46. Vrata za prvi kat.....	51

Slika 47. Prozori na vanjskim zidovima.....	51
Slika 48. Prikaz zgrade u UPV-u .....	52
Slika 49. Primjer dijagrama toka procesa (PFD-a) [21].....	53
Slika 50. Prikaz kataloga 2D simbola u UPV-u .....	53
Slika 51. Raspored opreme.....	54
Slika 52. PFD s rasporedom opreme .....	55
Slika 53. Kataloške komponente.....	56
Slika 54. Cijev za upumpavanje sirovine (crveno) .....	56
Slika 55. Cijev za prijenos sirovine do reaktora (crveno) .....	57
Slika 56. Spojne cijevi reaktora i filtera.....	58
Slika 57. Cijevi za prijenos gotovog proizvoda iz filtera i iz pumpe .....	58
Slika 58. Završni PFD .....	59
Slika 59. Stropne dizalice.....	61
Slika 60. Kamionska dizalica .....	61
Slika 61. Uklonjiva platforma .....	62
Slika 62. Pričvršćivanje reaktora na kamionsku dizalicu.....	64
Slika 63. Skidanje reaktora s kamionske dizalice .....	65
Slika 64. Povratak kamionske dizalice u početni položaj .....	66
Slika 65. Pričvršćivanje reaktora na stropnu dizalicu .....	67
Slika 66. Spuštanje reaktora .....	68
Slika 67. Skidanje reaktora sa stropne dizalice .....	69
Slika 68. Povratak desne stropne dizalice u početni položaj.....	70

## **POPIS TABLICA**

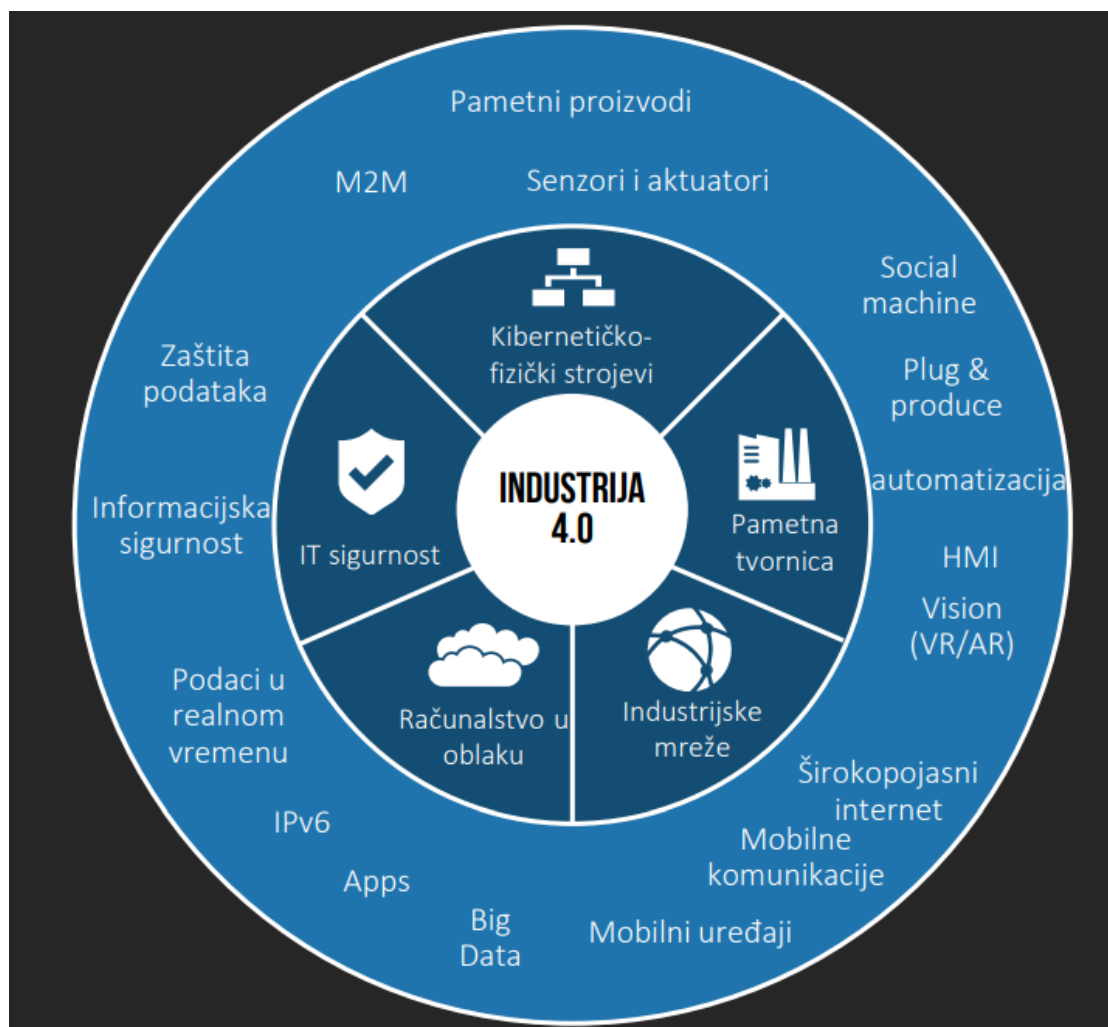
Tablica 1. Specifikacije reaktora .....	60
Tablica 2. Aktivnosti i trajanje montaže reaktora .....	63

## 1. UVOD

Od mehanizacije vodom i parom u prvoj industrijskoj revoluciji preko masovne proizvodnje, poboljšanja telekomunikacija te upotrebe električne energije u drugoj, četvrta industrijska revolucija prihvatit će automatizaciju i računala iz treće te ih unaprijediti autonomnim sustavima koje pokreće strojno učenje. [1]

U svakodnevnom govoru ulaze mnogi novi pojmovi poput: Industrija 4.0 (Slika 1.), Internet stvari (IoT), umjetna inteligencija (AI), autonomni sustavi i digitalan blizanac. Kombinacija opreme i uređaja poznatih pod tim nazivima, sa strojevima u nekom radnom pogonu ili postrojenju, rezultira još većom efikasnošću. Strojevi, kako su im podaci dostupniji, postaju *pametniji*, a same tvornice uz minimirane troškove i gubitke, produktivnije te se ideja *pametne tvornice* čini ostvarivijom nego ikada prije. Povezivanje i međusobna komunikacija između računala stvara uvjete za odlučivanje bez ljudskog utjecaja.

Tako se i prilikom planiranja i projektiranja energetske i procesne postrojenja sve više pažnje pridaje automatizaciji, i to ne samo tradicionalno na razini fizičkih procesa proizvodnje, već i na razini ljudskog rada projektiranja: stručna znanja i rad projektanata bivaju sve obuhvaćeniji i sve više podržani softverima, čime projektna rješenja postaju kvalitetnija. Energetska i procesna postrojenja imaju velik utjecaj na kvalitetu života – bez njih čovjek ne može proizvoditi gotovo ništa. Čovjek još uvijek ima veliku ulogu u pokretanju i održavanju takvih postrojenja te ona moraju biti projektirana poštujući propisane norme. Kada se govori o njihovoj vrijednosti, radi se od milijunskim iznosima. Treba imati u vidu da su takva postrojenja skupa za izgraditi, ali je jednako tako skupo zaustaviti njihov rad. Imajući to u vidu, projektant mora sve brže dolaziti do pogodnih rješenja koja može kvalitetno izvesti i prezentirati kako bi ih klijent mogao razumjeti, a također po zahtjevu klijenta i mijenjati.



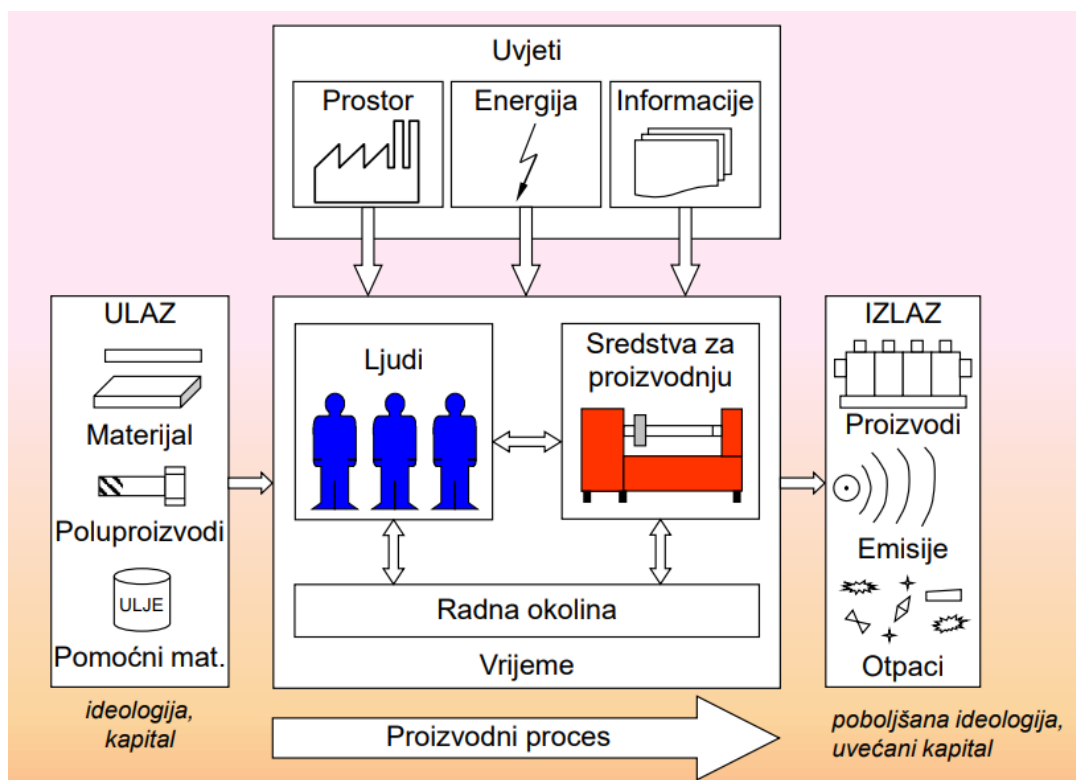
Slika 1. Industrija 4.0 [2]



## 2. PROJEKTIRANJE ENERGETSKIH I PROCESNIH POSTROJENJA

Energetska i procesna postrojenja oblik su proizvodnog sustava (Slika 2.), gdje se predmet rada pojavljuje u kontinuiranom obliku. Proizvodni je sustav općenito pak složena socijalna i materijalna formacija u kojoj se odvija proces stvaranja materijalnih, a i drugih vrijednosti. [3]

Projektiranje proizvodnog sustava u skladu s Industrijom 4.0 odnosi se na stvaranje inovativnih, visokotehnoloških i povezanih proizvodnih okruženja koja iskorištavaju napredne digitalne tehnologije i inteligentne sustave kako bi se postigla veća učinkovitost i fleksibilnost.



Slika 2. Proizvodni sustav [3]

Važni elementi suvremenog projektiranja proizvodnih sustava jesu:

1. Digitalan blizanac: Stvaranja virtualnih kopija fizičkih sustava, proizvoda ili procesa koje omogućuje simulaciju, analizu i praćenje u stvarnom vremenu.
2. Internet stvari: Integracija senzora, uređaja i opreme koji prikupljaju podatke i komuniciraju putem interneta.
3. Obrada podataka i umjetna inteligencija: Napredni načini prikupljanja i analize golemih količina podataka u kratkom vremenu (eng. *Big Data*) uz korištenje algoritama umjetne inteligencije.
4. Automatizacija i robotika: Upotreba autonomnih sustava, robotike i pametnih strojeva za obavljanje zadataka bez potrebe za stalnim nadzorom ljudi.
5. Integracija tvornice: Postizanje visoke razine povezanosti između različitih dijelova proizvodnog procesa.
6. Fleksibilnost i otpornost: Projektiranje sustava koji su prilagodljivi i otporni na brze tržišne promjene.
7. Novi materijali i proizvodne tehnologije: Uvođenje naprednih materijala i tehnologija poput kompozita i 3D ispisa.

Dakle, cilj projektiranja proizvodnog sustava u okviru Industrije 4.0 jest stvoriti efikasna i profitabilna tehnička i proizvodna rješenja i okruženja koja su uz to sposobna prilagoditi se brzim promjenama i različitim uvjetima na tržištu, korištenjem naprednih i umreženih digitalnih tehnologija. Jednako vrijedi i za projektiranje energetske i procesne postrojenja.

## 2.1. Projektni sadržaji

Procesna i energetska postrojenja sastoje se od kompleksnih sustava strojeva, opreme, spremnika, cijevi, regulatora i drugih komponenti. Neki od primjera procesnih postrojenja jesu rafinerije nafte, kemijska postrojenja i farmaceutske tvornice, dok su primjeri energetske postrojenja termoelektrane, nuklearne elektrane i toplane.

Projektni sadržaji obuhvaćaju niz poslovno-inženjerskih i tehničkih aktivnosti sukladno tijeku životnog ciklusa postrojenja: od ustanovljavanja društvene potrebe za postrojenjem i ispitivanja tržišta, ugovaranja i planiranja, oblikovanja, proračunavanja, analize i optimiranja

do izgradnje postrojenja i njegovog rada s kontinuiranim nadzorom, održavanjem i rekonstrukcijom, te napokon dekonstrukcije.

Pri izvođenju pojedinih aktivnosti projektiranja, uobičajeno se pojavljuju opći zahtjevi za postizanjem odgovarajuće kvalitete u zadanim rokovima i uz što nižu cijenu, zatim zadovoljenje zahtjeva kao što su: maksimalno iskorištenje raspoloživog prostora, postizanje najkraćih mogućih transportnih udaljenosti, postizanje što veće učinkovitosti.

Neki od najčešćih projektnih sadržaja u procesu projektiranja energetske i procesne postrojenja jesu:

1. Analiza zahtjeva – Razumijevanje zahtjeva i ciljeva klijenta.
2. Konceptualni dizajn (oblikovanje) – Razvoj osnovnih koncepata i strategija projektiranja postrojenja.
3. Detaljni dizajn (detaljno konstruiranje) – Razvoj detaljnih tehničkih rješenja i izrada projektne dokumentacije, planova i specifikacija.
4. Procjena rizika i sigurnosti – Razvoj strategije za minimiranje rizika.
5. Ekološka analiza – Procjena utjecaja na okoliš.
6. Izgradnja – Nadzor izvođača radova.
7. Testiranje i puštanje u pogon.

## 2.2. Ugovaranje poslova

Tržišta projektiranja u ovoj industriji je veliko te nije rijetkost da investitori angažiraju tvrtke iz drugih država kako bi se dobila što povoljnija ponuda.

Poslovi se obično ugovaraju na nekoliko načina:

1. Izravno ugovaranje – Klijent direktno angažira tvrtku za projektiranje.
2. Natječaji – Tvrtka se prijavljuje na natječaj, a natječaj dobiva tvrtka s najpovoljnijim ponudama prema prethodno definiranim kriterijima.
3. Okvirni ugovori – Definira se vremenski period u kojem će tvrtka obavljati sve poslove za klijenta.

4. Partnerstva – Suradivanje s drugim tvrtkama kako bi se ponudila kompleksnija rješenja ili se natjecali za veće projekte.

Cijena projekta najčešće se definira cijenom satnice rada projektiranja. Cijena sata rada koju projektantska tvrtka naplaćuje varira ovisno o uvjetima. Uzme li se primjer da je cijena sata koju tvrtka naplaćuje 60 € za projekt čije će izvođenje trajati šest mjeseci (120 radnih dana). S tim podacima se lako izračuna da jedan inženjer uprihodi 57 600 € (iznos je potrebno umanjiti za plaću inženjera). Vidljivo je da se radi o značajnijim iznosima, a cijena varira ovisno o trajanju projekta, obujmu posla te broju izvođača.

## **2.3. Projektiranje energetskih i procesnih postrojenja u Republici Hrvatskoj**

U Republici Hrvatskoj postoji određen broj inženjerskih i konzultantskih tvrtki koje se specijaliziraju za projektiranje energetskih i procesnih postrojenja. Specijalizirane su za određene sektore kao što su kemijska, petrokemijska, farmaceutska, prehrambena ili energetska industrija. Uz to, postoji i određen broj međunarodnih tvrtki koje djeluju na području cijele regije. Projektiranje energetskih i procesnih postrojenja značajan je, zahtjevan i odgovoran posao te je iznimno važno poštivanje zakonskih regulativa kako bi se minimirale greške i rizici. U Republici Hrvatskoj trebalo bi se više ulagati u razvoj industrije i poboljšanje gospodarstva i izvoza, s obzirom da postoji velik broj vrhunskih stručnjaka koji su, zbog nedostatka posla ili loših uvjeta, primorani raditi za strane kompanije ili u inozemstvu.

Tržište je veliko i koncentrirano je na već poznate tvrtke i stručnjake, tako da je stvaranje baze klijenata zahtjevan zadatak koji već u startu obeshrabruje mlade poduzetnike. Povećanje broja tvrtki je moguće i poželjno, ali bez prethodno stečenog iskustva teže izvedivo. Republika Hrvatska uvozi razne energetske resurse, a istovremeno ima velik potencijal za smještanje takvih postrojenja na svoj teritorij. Također i velike, svjetski poznate tvrtke, naprimjer PLIVA Hrvatska i Rimac Automobili, imaju proizvodne pogone u inozemstvu, što zbog isplativosti, što zbog hrvatske birokracije. Reformama koje se odnose na male poduzetnike i sufinanciranjem razvojnih projekata dao bi se vjetar u leđa mladim inženjerima i poduzetnicima da umjesto odlaska u inozemstvo, odluče otvoriti vlastite urede i tvrtke.

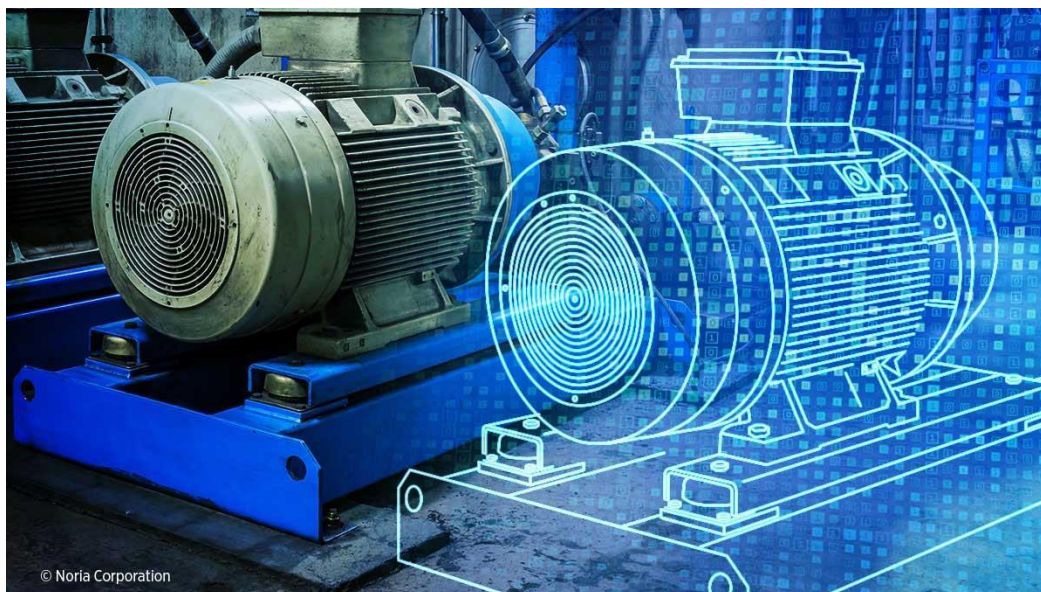
## 2.4. Suvremena oprema i alati u projektiranju

Digitalizacija je proces koji danas obuhvaća sve sfere života. Odnosi se na korištenje digitalnih tehnologija da bi se transformirala analogna informacija. To omogućuje preciznije izračune, precizniju kontrolu procesa, povećanje efikasnosti i brzine te minimira troškove.

Digitalizacija u inženjerstvu možda se najviše vidi u proizvodnoj industriji. Prije digitalizacije, čovjek je obavljao sav fizički posao. Uvođenjem pokretne trake, senzora i robota, proces je digitaliziran, poboljšana je ponovljivost, a povećana brzina i efikasnost. [18]

### 2.4.1. Digitalan blizanac

Digitalan blizanac (eng. *digital twin*) je virtualna ili digitalna reprezentacija stvarnog objekta, sustava ili procesa. To je koncept koji se sve više koristi u području industrije, inženjeringa, proizvodnje i sličnih sektora kako bi se omogućila analiza, simulacija i praćenje u stvarnom vremenu.



Slika 3. Digitalni blizanac [27]

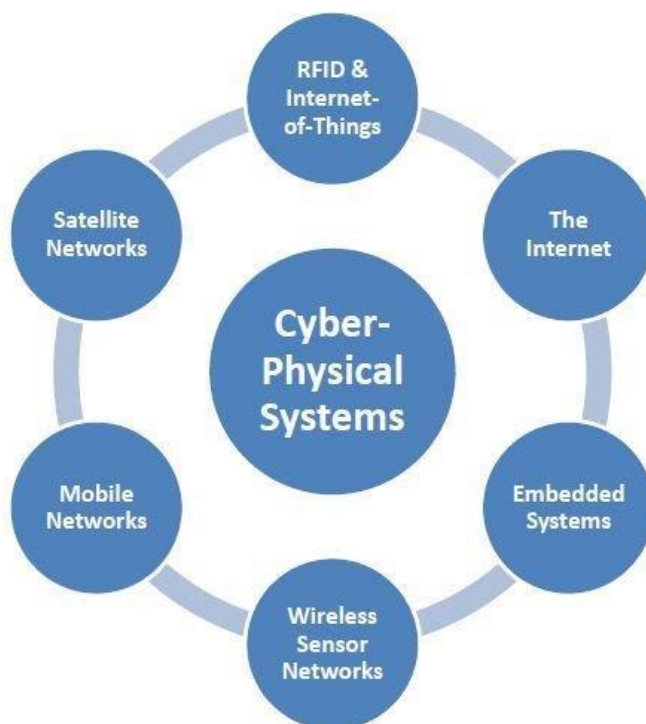
Digitalan blizanac zasnovan je na virtualnom modelu stvarnog objekta ili sustava održavajući njegove ključne karakteristike, geometriju, ponašanje i funkcionalnosti. Povezan je s odgovarajućim stvarnim objektom putem senzora, interneta stvari i drugih tehnologija koje omogućavaju prikupljanje stvarnih podataka o stanju objekata. Omogućuje simulaciju ponašanja stvarnog objekta ili sustava pod utjecajem različitih uvjeta što je korisno za

predviđanje performansi, identifikaciju problema i optimiranje rada. Kroz praćenje stvarnih podataka digitalni blizanac pruža informacije o stanju objekta te može predviđati potrebu za održavanjem. Digitalni blizanac je prilagodljiv i ima mogućnost ažuriranja kako bi se pratile promjene koje se odvijaju u stvarnosti. Primjena digitalnih blizanaca uključuje razne sektore kao što su industrija, građevinarstvo, zdravstvo i transport.

Korištenje digitalnih blizanaca omogućava bolje praćenje i upravljanje stvarnim objektima i sustava te doprinosi njihovu poboljšanju.

#### 2.4.2. Kibernetičko-fizički sustavi

Kibernetičko-fizički (eng. *cyber-physical*) sustavi (CPS) su višedimenzionalni sustavi koji integriraju kibernetički i fizički svijet. Integrirani su računalstvo, komunikacija i kontrola, a time CPS pruža povratne informacije i dinamičku kontrolu u stvarnom vremenu. Fizički i računalni procesi su međuovisni te se otvara mogućnost nadzora i kontrole fizičkih segmenata na pouzdan i siguran način. [16] Temeljnog razlikom u odnosu na digitalnog blizanca smatra se da je CPS-om ostvarena konstantna veza između kibernetičkog i fizičkog, naprimjer senzori koji prikupljaju podatke o temperaturi, dok je digitalan blizanac digitalna kopija stvarnog postrojenja (kako je navedeno u točki 2.4.1.).



Slika 4. Primjeri CPS-a [17]

### 2.4.3. Lasersko mjerenje

Prije pojave laserskom mjerenja, za precizna mjerenja koristila se razapeta žica koja se postavljala na određene točku duž mjerene duljine. Lasersko mjerenje je proces mjerenja korištenjem lasera tj. laserskog mjerača (Slika 5.). Pruža brzu i iznimno preciznu metodu mjerenja za industrijske primjene. Omogućuje mjerenje položaja, udaljenosti i vibracija na velikim udaljenostima. [19]



Slika 5. Primjer laserskog mjerača [20]

### 2.4.4. Softverska podrška

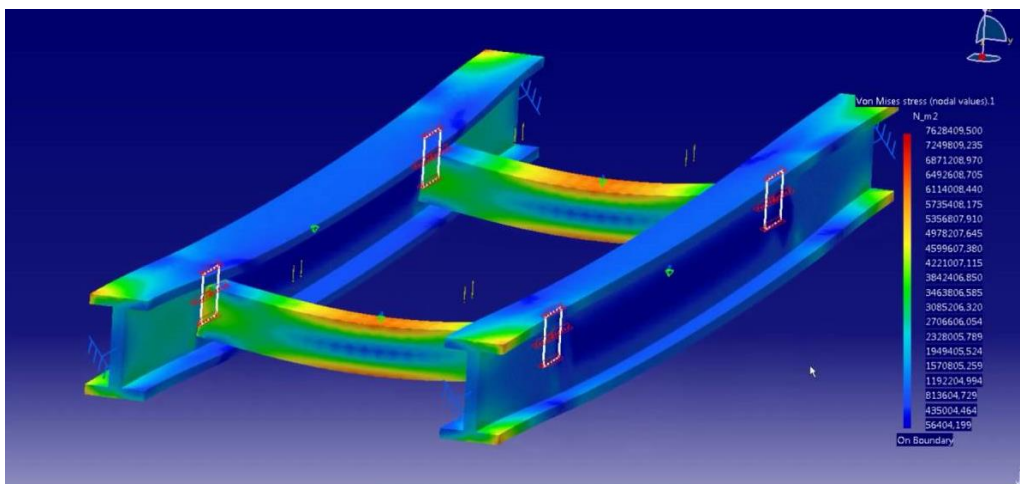
Softver CATIA tvrtke Dassault Systèmes nastao je 1981. godine. To je jedan od prvih softvera za 3D modeliranje. Tijekom godina, tvrtka je držala do kvalitete i razvijala softver te je CATIA i danas, u mnogo većoj konkurenciji, među najnaprednijim i najcjenjenijim softverima u svijetu inženjerstva. Softver nudi mogućnosti 3D modeliranja, parametarsko modeliranje, sklapanje i montažu, različite analize i simulacije kao što su analiza čvrstoće, simulacija obrade, protok fluida, analiza konstrukcije i otpornosti na umor. [11]



Slika 6. Logo softvera CATIA [12]



Softver je prvi omogućio stvaranje digitalnog blizanca. Nakon što je željeni proizvod izmodeliran, moguće ga je podvrgnuti različitim uvjetima i opterećenjima kako bi se provjerilo njegovo ponašanje u stvarnosti. To omogućava pravovremenu optimizaciju i upravljanje životnim ciklusom proizvoda. Tako je CATIA sveobuhvatan alat za stvaranje virtualne replike te simuliranje stvarnosti.



**Slika 7. Analiza zavara u softveru CATIA [13]**

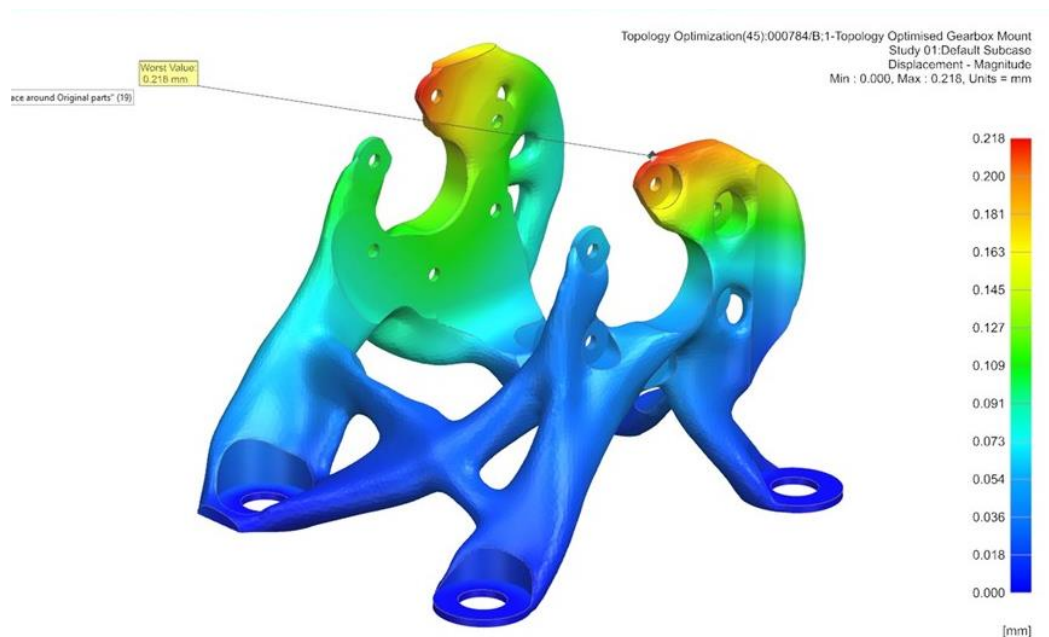
Softver Siemens NX od 2007. godine u vlasništvu je tvrtke Siemens Digital Industries Software. Softver je nastao pod imenom UNIAPT 1972. godine, osmislila ga je tvrtka United Computing i to je jedan od prvih CAM softvera u svijetu. [23]



**Slika 8. Logo softvera Siemens NX**

Siemens NX i CATIA oduvijek su suparnici. Iako se oba softvera koriste za razvoj i dizajn proizvoda, ipak postoje neke razlike. Softveri imaju različita korisnička sučelja i na različite se načine koriste alati. Siemens NX poznat je po snažnoj integraciji s CAM (eng. *Computer-Aided Manufacturing*) i CAE (eng. *Computer-Aided Engineering*) alatima, dok CATIA ima snažne mogućnosti površinskog modeliranja. Oba softvera imaju različite pakete kojima se razlikuje i cijena, ali uglavnom je Siemens NX cjenovno pristupačniji softver.





Slika 9. Analiza u softveru Siemens NX

U planiranju procesnih postrojenja jedan od najzastupljenijih softvera jest softver AVEVA E3D. Softver je nastao 1967. godine pod imenom CADCentre, a službeno je preimenovan u AVEVA 2001. godine. AVEVA je pionir u korištenju CAD (eng. *Computer-Aided Design*) alata. Godine 1976. postaje prvi softver specijaliziran za planiranje procesnih postrojenja. [24]



Slika 10. Logo tvrtke AVEVA

Revit je softver američke kompanije Autodesk nastao 1997. godine. Najzastupljeniji je u građevinarstvu, a njegove glavne značajke jesu:

- izrada modela građevina
- modeliranje konstrukcije i statički proračun
- modeliranje instalacija, vodovoda i kanalizacije, električnih instalacija te strojarskih instalacija
- izrada inženjerske dokumentacije. [28]



Slika 11. Logo softvera Revit

Blender je softver za 3D modeliranje cjevovoda, animaciju i simulaciju nastao 1994. godine. Softver je moguće personalizirati korištenjem API za Python koji omogućava prilagodbu aplikacije i stvaranje specijaliziranih alata. Softver je besplatan i otvoren je za preinake – korisniku su dozvoljene promjene u kodu koje dovode do poboljšanja značajki softvera. [29]



**Slika 12. Logo softvera Blender**

### 3. CJEVOVODNI SUSTAVI

Planiranje cjevovoda je iznimno važna disciplina strojarstva unutar kreiranja energetske i procesne opreme (Slika 13.). Naime, cjevovodni je sustav jedan od ključnih dijelova opreme koji služi za transport fluida (tekućina, plinova ili čvrstih tvari) između različitih dijelova opreme, povezujući ih.

Cjevarstvo obuhvaća sklapanje različitih cijevnih elemenata poput ventila, spojnica, komada cijevi, mjernih instrumenta te brtvi. Pravila koja se prate prilikom planiranja opreme definirana su pravilima ASME.



Slika 13. Cjevovodi u procesnom postrojenju [14]

### 3.1. Norme (standardi) ASME

Procesna postrojenja moraju biti učinkovita i sigurna za rad. Prilikom projektiranja teži se optimizaciji samog procesa i optimizaciji rasporeda opreme unutar postrojenja. [14] Inženjeri su odgovorni za određivanje prostornog rasporeda postrojenja i opreme te za primjenu visokih standarda koji osiguravaju sigurno izvođenje procesa. ASME je vodeća tvrtka za razvoj normi u područjima umjetnosti, znanosti i strojarstvu. Tvrtka postoji od 1884. godine te je od tada postala međunarodno priznata i standardi koje postavlja svakodnevno se usvajaju. [15]



**Slika 14. Logo organizacije ASME [15]**

U planiranju energetske i procesne opreme koristi se kod ASME B31.3.

ASME B31.3 pruža opsežno usmjerenje i skup pravila o sljedećim područjima oblikovanja cijevovoda:

1. Navedeni su relevantni materijalni specifikacije i standardi komponenata, uključujući dimenzijske zahtjeve i ocjene tlaka i temperature.
2. Postavljeni su zahtjevi za dizajn komponenata i sklopova, uključujući potporne strukture za cijevi.
3. Priloženi su zahtjevi i podaci za procjenu i ograničavanje naprezanja, reakcija povezanih s tlakom, promjenama temperature i drugim silama.
4. Daju se smjernice i ograničenja za odabir i primjenu materijala, komponenata i metoda spajanja.
5. Definirani su zahtjevi za izradu, montažu i postavljanje cijevovoda.
6. Propisani su zahtjevi za pregled, inspekciju i ispitivanje cijevovoda.

### 3.2. Norme ISO

ISO, the International Organization for Standardization, je nevladina, međunarodna organizacija koja djeluje od 1947. godine. Norme obuhvaćaju razna područja kao što su: prijevoz, IT i srodna, zdravstvo, menadžment i održivi okoliš. [25]

Prilikom planiranja rasporeda postrojenja koriste se sljedeće norme ISO [26]:

- ISO 14040 Life Cycle Assessment: Principles and Framework
- ISO 14122 Permanent Machinery—Permanent Means of Access to Machinery
- ISO 14122-1 Part 1: Choice of fixed means of access between two levels
- ISO 14122-2 Part 2: Working platforms and walkways
- ISO 14122-3 Part 3: Stairs, stepladders, and guard-rails
- ISO 14122-4 Part 4: Fixed ladders.

### 3.3. Europske norme (EN)

Nacionalni članovi organizacija CEN (Europski odbor za standardizaciju) i CENELEC (Europski odbor za elektrotehničku standardizaciju) surađuju kako bi zajedno radili na razvoju europskih normi u različitim sektorima. Njihov cilj je podržati izgradnju europskog unutarnjeg tržišta roba i usluga uklanjanjem prepreka trgovini te jačanjem pozicije Europe u globalnom gospodarstvu. U organizacije CEN i CENELEC, koje obuhvaćaju preko 600 milijuna ljudi, uključeno je više od 200 000 stručnjaka iz industrije, udruženja, javnih uprava, akademske zajednice i društvenih organizacija. [31]

Prilikom planiranja rasporeda postrojenja koriste se sljedeće EN [26]:

- EN 60079 series Hazardous Area Classification Various
- EN 60079-14 Explosive atmospheres. Electrical installations design, selection, and erection 2
- EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions, and rules for buildings
- EN 1990 Eurocode: Basis of structural design
- EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures

- EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures
- EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures
- EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures
- EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures
- EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures
- EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design
- EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake.

### 3.4. Proračun cijevi

Proračun cijevi prati normu EN 13480-3. Svaki cjevovod tijekom životnog vijeka opterećen je različitim vrstama opterećenja kao što su [30]:

- unutarnji/vanjski tlak
- temperatura
- težina
- dinamičko opterećenje
- vibracije i
- potresi.

Za svaku vrstu opterećenja postoji poseban proračun, a važno je istaknuti da se različite vrste opterećenja mogu odvijati istovremeno te se svaki proračun mora uzeti u obzir.

Normalni radni uvjeti su uvjeti ispunjeni u radnom stanju pri konstantnoj snazi i uvjeti ispunjeni u prijelaznom stanju kada oni odgovaraju na uobičajene procese (naprimjer zaustavljanje protoka). Za proračun u normalnim radnim uvjetima u obzir se uzimaju sljedeći elementi [30]:

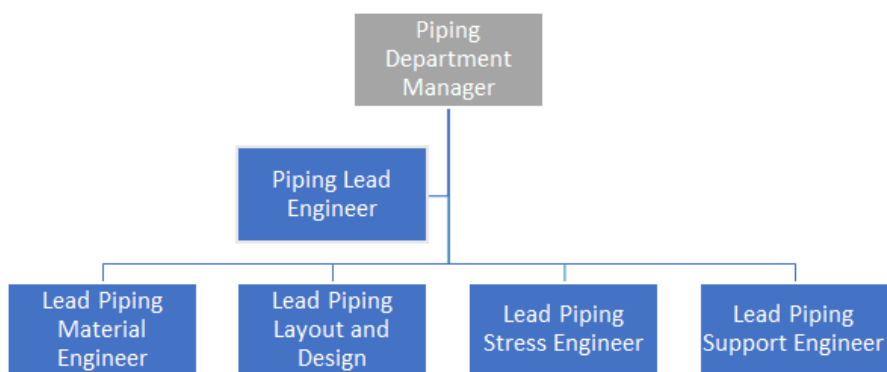
- unutarnji/vanjski tlak
- težina cjevovoda
- težina izolacije
- težina tekućine
- toplinsko širenje
- reakcije oslonaca

- pomaci i rotacije i
- utonuće zgrade.

Posljedice lošeg proračuna ne moraju biti odmah vidljive, ali tijekom vremena može doći do zamora materijala čime se ugrožava sigurnost postrojenja.

### 3.5. Podjela poslova pri projektiranju cjevovoda

Poslovi se uobičajeno dijele na upravljanje materijalima i specifikacijama te na planiranje i modeliranje cjevovoda. U podjeli rada (Slika 15.), na vrhu hijerarhije nalazi se projektni menadžer koji je zadužen za nadgledanje cijelog projekta, komunikaciju s klijentima, razmjenu informacija i dokumentacije. Vodeći inženjer zadužen je za raspored i planiranje postrojenja te se njegove ideje implementiraju u modelu. Nakon njega postoje još četiri inženjera: inženjer materijala, dizajna, proračuna opterećenja i podrške. Navedeno mogu biti i odjeli koji se mogu sastojati od još specijaliziranih poslova.



Slika 15. Podjela rada u projektantskoj tvrtki [14]

## 4. TVRTKA INNOVEVA

Diplomski rad izrađen je u suradnji s tvrtkom Innoveva d.o.o. Tvrtka primjenjuje načela integriranog (istodobnog) inženjerstva koristeći napredne tehnologije, te tako uspješno konkuriра na svjetskom tržištu.



Slika 16. Logo tvrtke Innoveva

### 4.1. Djelatnost

Innoveva je inženjerska tvrtka specijalizirana za upravljanje projektima (tzv. projekt menadžment), nadzor projekata te projektiranje i konstruiranje postrojenja. Nude usluge upravljanja projektima koje obuhvaćaju sve faze za uspješnu provedbu projekata, od konceptualnog dizajna do planiranja montaže. Tvrtka koristi digitalne blizance postrojenja što im omogućava brz i jednostavan pregled s mogućnošću trenutnog poboljšanja, povezivanje 2D nacrti i dokumenata s 3D modelom, pregled stvarnog okruženja pomoću laserskog skeniranja (ako se radi o postojećem postrojenju) te nadgledanje i educiranje osoblja klijenta. [4]

Tvrtka Innoveva najprije je bila samo jedan odjel veće konzultantske tvrtke. Odjel se bavio projektantskim i menadžerskim poslovima. Kasnije, kako se tvrtka odvojila, zadržala je svoje stare klijente i do danas. Tvrtka ne sudjeluje samostalno na natjecanjima, nego se do novih projekata dolazi preko poznanstava i preporuka, temeljem dosadašnjeg solidnog rada i odnosa prema klijentima.



Projektiranje, kao glavni fokus tvrtke, obuhvaća obnavljanja postojećih postrojenja (tzv. *Brown field*) i potpuno novih postrojenja (tzv. *Green field*). U oba slučaja se s ugovarateljem posla definiraju poslovi i ograničenja te se korištenjem različitih softvera i alata ispunjavaju zahtjevi u dogovorenom roku. Najzastupljenije industrije kojima se tvrtka bavi jesu farmaceutska i petrokemijska industrija. Projekti se baziraju na planiranju i konstruiranju cjevovoda kojima se transportiraju određeni mediji. Tvrtka je tijekom godina stvorila veliku bazu klijenata te stekla visoke kvalifikacije u planiranju procesnih postrojenja, a godišnje ugovara dvadesetak novih projekata različitih tipova i veličina.

## 4.2. Lokacija

Tvrtka se nalazi u Republici Hrvatskoj u Zagrebu (Slika 17.), a postoje još dvije njene podružnice: u Švicarskoj (Laufenburg) i u Njemačkoj (Maulburg).



Slika 17. Zgrada sjedišta tvrtke Innoveva u Zagrebu

### 4.3. Organizacija

Tvrtka Innoveva je društvo s ograničenom odgovornošću. Postoje tri odjeljenja zadužena za proizvodne procese te sedam zaduženih za podršku proizvodnim procesima. Ukupno je 30 zaposlenih među kojima je 20-ak inženjera i nekoliko stalnih studenata. Tvrtka prakticira angažiranje vanjskih suradnika i usluge (eng. *outsourcing*) umjesto da ih obavlja sama.

Odjeljenja za proizvodne procese jesu:

- Vođenje projekata (uključuje koordiniranje timovima, predlaganje rješenja kupcu, upravljanje dokumentima)
- Inženjerski dizajn
- Tehnički proračuni.

Odjeljenja za podršku proizvodnim procesima:

- Osiguranje kvalitete
- Prodaja
- Razvoj
- Održavanje infrastrukture
- IT sektor
- Pravni i kadrovski poslovi
- Financije.

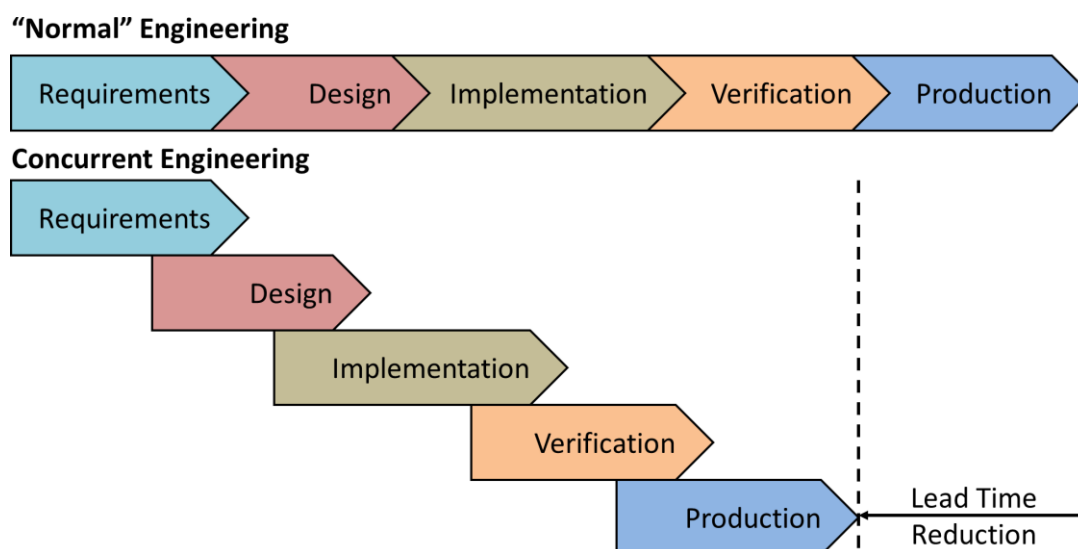
Na svakom projektu inženjeri rade u skupinama, često istodobno na različitim područjima, a i projektima, pa je iznimno važna sposobnost rada u timovima. Timski rad vidljiv je na svim razinama tvrtke te je potrebna svakodnevna, na daljinu (eng. *online*) ili uživo, komunikacija, kako bi sve funkcioniralo.



**Slika 18. Timski rad [9]**

Komunikacija se odvija pomoću alata Skype i Microsoft Teams gdje se organiziraju sastanci *online*. Računala se umrežuju pomoću VPN-a (eng. *Virtual Private Network*) što omogućuje rad na daljinu, a tvrtka ima vlastite baze kojima mogu pristupiti sva umrežena računala. Informacije i dokumenti prenose se e-poštom ili koristeći usluge u oblaku. Svi alati i softveri koje tvrtka koristi omogućuju istodobno inženjerstvo.

Istodobno inženjerstvo je metodologija projektiranja i razvoja proizvoda u kojoj se različite faze rada odvijaju istovremeno, a ne uzastopno. [10]



**Slika 19. Usporedba uzastopnog i istodobnog inženjerstva [22]**

## 4.4. Softveri

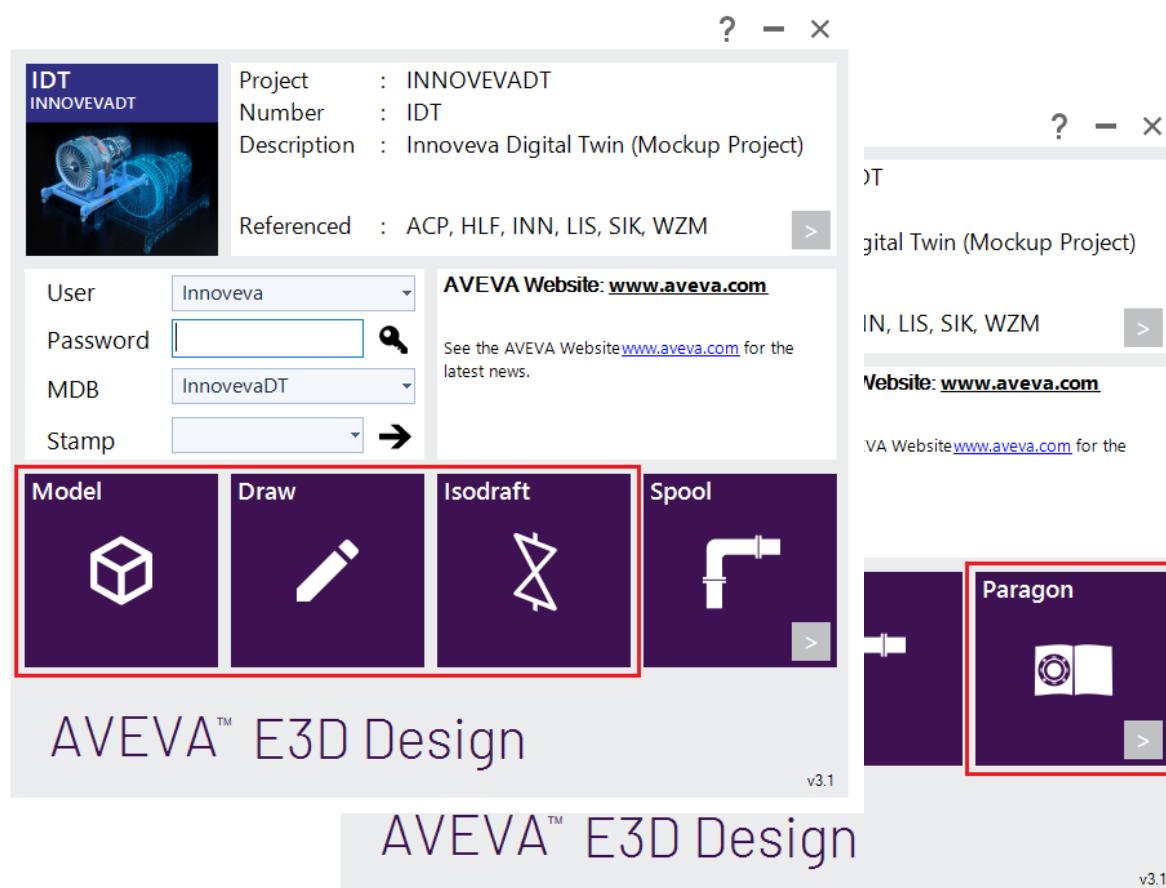
Softver koji se koristi za planiranje cjevovoda je Aveva E3D [5], dok se za izradu digitalnog blizanca koristi Universal Plant Viewer tvrtke CAXperts [6].

### 4.4.1. AVEVA E3D

AVEVA E3D je softver za 3D oblikovanje procesnih postrojenja, brodogradilišta i elektrana. Multidisciplinarni je te omogućava istovremen rad neograničenog broja korisnika. Program integrira 3D model, lasersko skeniranje te nacрте i različite izvještaje koji se mogu generirati iz modela. [5]

AVEVA E3D sastoji se od nekoliko modula (Slika 20.), a četiri najvažnija jesu:

1. Model
  - a) Konstruiranje 3D modela cjevovoda
  - b) Detaljan dizajn cjevovoda (ventili, instrumenti, mjerenja)
  - c) Predodžba prostora u odnosu na ostale elemente postrojenja (kabelske police, zidovi, grede)
2. Draw
  - a) Automatsko generiranje 2D nacрта iz 3D modela
  - b) Detaljiranje tehničkih nacрта u svrhu izrade i montaže cjevovoda
3. Isodraft
  - a) Automatsko generiranje izometrijskih nacрта cijevi u trodimenzionalnom prikazu
  - b) Nacrti su detaljni, jasni s naglaskom na montažu
4. Paragon
  - a) Kreiranje specifikacija potrebnih za modeliranje
  - b) Kontrola i upravljanje materijalom.



Slika 20. Moduli softvera AVEVA E3D

Integriranim korištenjem modula softvera AVEVA E3D brzo se i lako dolazi do profesionalno i detaljno izrađenog postrojenja s dokumentacijom bitnom za narudžbe, proizvodnju i montažu cjevovoda.

#### 4.4.2. Universal Plant Viewer

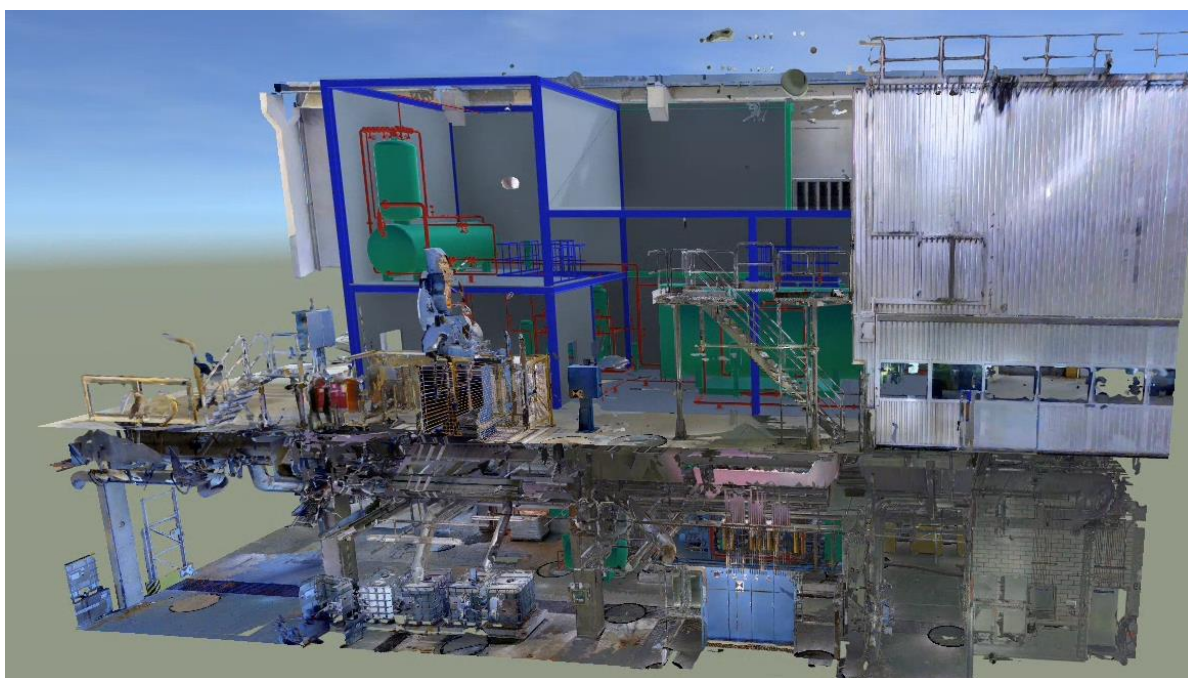
Softver Universal Plant Viewer (u daljnjem tekstu UPV) tvrtke CAXperts (Slika 21.) osmišljen je kako bi se mogao objediniti čitav ciklus života jednog postrojenja. To je kompletan digitalan model s međusobno povezanim 3D modelom, laserskim skenom, nacrtima te svim važnim dokumentima i podacima. [6]



Slika 21. Logo tvrtke CAXperts

Korištenjem lasera i panoramskih slika postrojenja, moguće je napraviti točke (motrišta) koje omogućavaju kretanje kroz postrojenje te pregled odnosa modeliranih elemenata i stvarnosti.

Jedinstvenim i slijednim imenovanjem moguće je povezivanje 3D elemenata sa 2D nacrtima na način da se odabirom 3D elementa pokažu svi dokumenti u kojima se njegovo ime spominje i obratno. Slika 22. prikazuje zgradu koja je skenirana laserom te je laserski sken ubačen u softver kako bi se moglo vidjeti stvarno stanje.



**Slika 22. Model stvoren softverom UPV s integriranim laserskim skenom**

Predstavljanjem obavljenog posla na ovaj način, gdje ugovaratelj ima mogućnost vidjeti i doživjeti buduće postrojenje prije nego što je proces proizvodnje i montaže započeo, na vrijeme se mogu napraviti sve izmjene i eventualni ispravci, a tvrtka na klijenta ostavlja snažan i ozbiljan dojam.

## 4.5. Mogućnosti unapređenja

Automatizaciju i unapređenja moguće je provesti u mnogim aspektima obavljanja posla projektiranja u tvrtki.

Iako je tvrtka Innoveva specijalizirana za poslove vezane uz projektiranje cjevovoda, potrebna je suradnja s drugim tvrtkama u određenim područjima. Primjerice, tvrtka Innoveva aktivno surađuje s tvrtkom specijaliziranom isključivo za konstruiranje oslonaca cijevi (eng. *pipe supports*). Tvrtka bi potencijalno taj dio posla mogla obaviti sama i time uštediti resurse te napraviti veću količinu posla. Također, tvrtka se ne bavi montažom, a uvođenjem te discipline u spektar poslovanja klijentu bi se ponudila kompletna usluga, tvrtka bi samostalno izvela čitav projekt.

Važno je predstaviti klijentu tvrtku i sebe u što boljem svjetlu, a na to utječu kvaliteta prezentacije te brzina i snalaženje u dinamičnom poslovnom okruženju. Tako se javila **potreba za digitalnim katalogom koji omogućava trenutne preinake u svrhu poboljšanja rješenja i daje predodžbu o tome što je potrebno napraviti kako bi se došlo do njih**. Izradom općenitog kataloga otvara se mogućnost formiranja specijaliziranih kataloga ovisno o vrsti postrojenja. Katalogi se mogu nadopunjavati ovisno o potrebama projekta na kojem se koriste. Korištenjem takvog kataloga značajno bi se skratilo vrijeme izrade konceptualnog dizajna – dovoljno brzim snalaženjem u softveru, moguće je definirati izgled postrojenja već u pregovoru s klijentom.

U narednom će se poglavlju dati primjer unaprijeđenog projektiranja procesnog postrojenja, upravo korištenjem digitalnog kataloga.

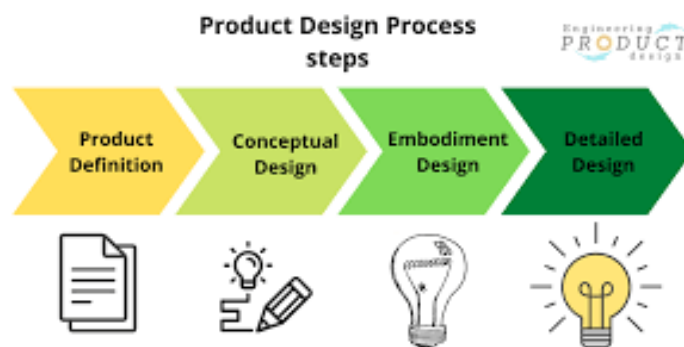
## 5. PRIMJER UNAPRIJEĐENOG PROJEKTIRANJA PROCESNOG POSTROJENJA

### 5.1. Izrada digitalnog kataloga

Prilikom inicijalnih dogovora i definiranja projekta, kao i kod iznošenja različitih prijedloga u komunikaciji s klijentom, javlja se potreba za brzom i jednostavnom mogućnošću prikaza projektnih rješenja u stvarnoj okolini. **Za tu svrhu osmislit će se i izraditi digitalni katalog koji će u budućnosti biti primjenjiv prilikom izrade konceptualnog dizajna. Digitalni katalog sadržavat će bazne elemente postrojenja elemenata kojima se može pristupiti u svakom trenutku i ubaciti ih u softver UPV radi prikaza u stvarnom okruženju.**

#### 5.1.1. Konceptualni dizajn

Konceptualni dizajn javlja se u ranoj fazi projekta, nakon definicije problema i postavljanja granica rada (eng. *project scope*).



Slika 23. Konceptualni dizajn [7]



Konceptualni dizajn predstavlja razvoj ekonomski održivog koncepta za buduće postrojenje, nakon konzultacije s klijentom. U toj fazi se postavlja osnova projekta i svaki daljnji korak gradi se na konceptualnom dizajnu. On također predstavlja temelj za procjene troškova, planiranje rasporeda projekta te vremenske procjene. [8]

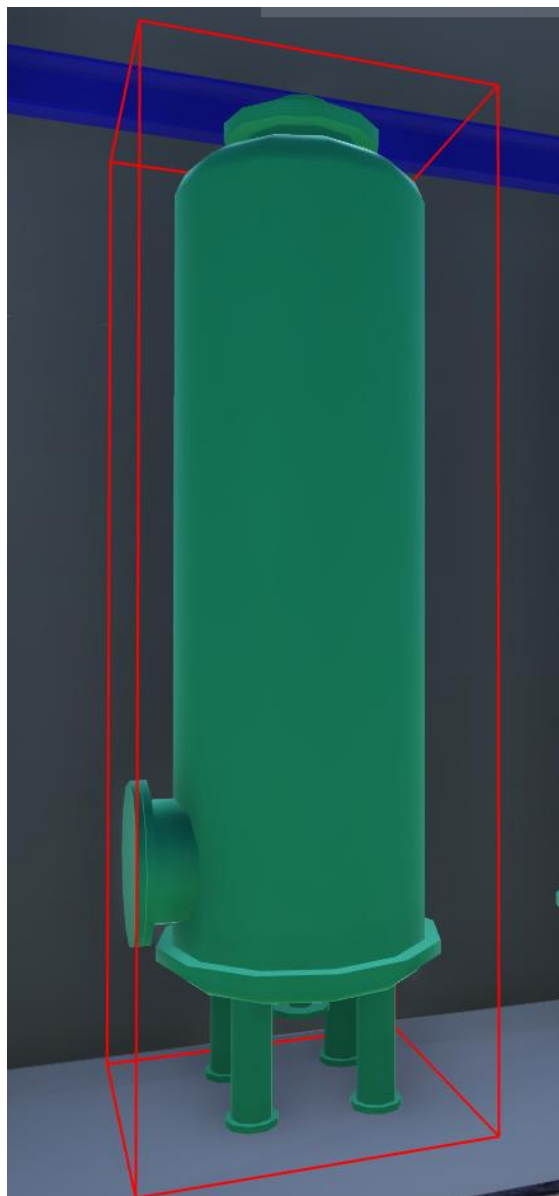
Dokumenti koji se definiraju u fazi konceptualnog dizajna jesu:

- dijagram toka procesa (eng. *Process Flow Diagram*, PFD) za definiciju kapaciteta i granica projekta
- osnovni 2D *layout* (raspored unutar) projektnog postrojenja s optimiranim rasporedom opreme i platformi za kretanje po postrojenju s ciljem lake dostupnosti i održavanja
- sastavnice s materijalima i vrstama ventila
- lista opreme s maksimalnim težinama
- redoslijed koraka za kompletiranje projekta.

### 5.1.2. Izrada kataloga

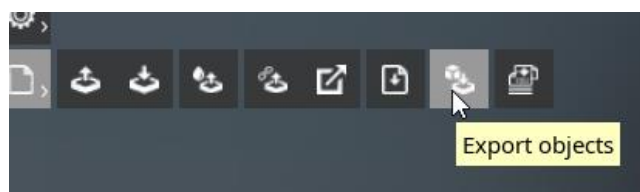
Katalog će se izraditi za dogovorene vrste oprema i elemente koji se kupuje ili proizvode kao cjeline (tzv. *hook-up* elementi).

Pri izradi kataloga potrebno je izvući odabrani element u formatima .obj i .dgn iz napravljenog UPV modela postrojenja. Najprije se odabire željeni element kako je prikazano slikom 24.



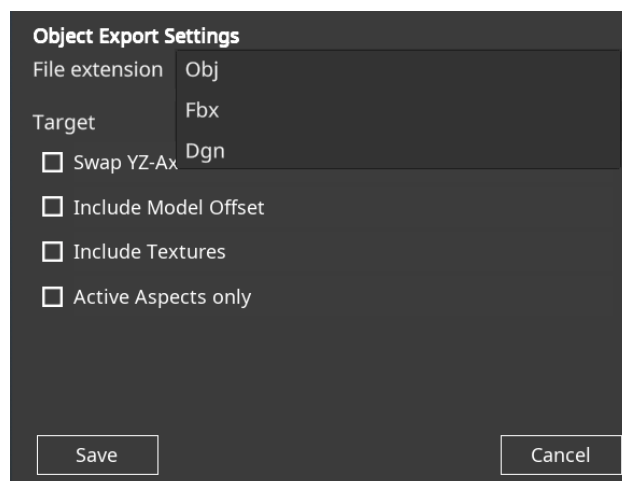
**Slika 24. Primjer opreme (spremnik) odabrane za eksport**

Program UPV nudi jednostavnu opciju eksportiranja elemenata postrojenja u formatima .obj i .dgn (Slika 25.).



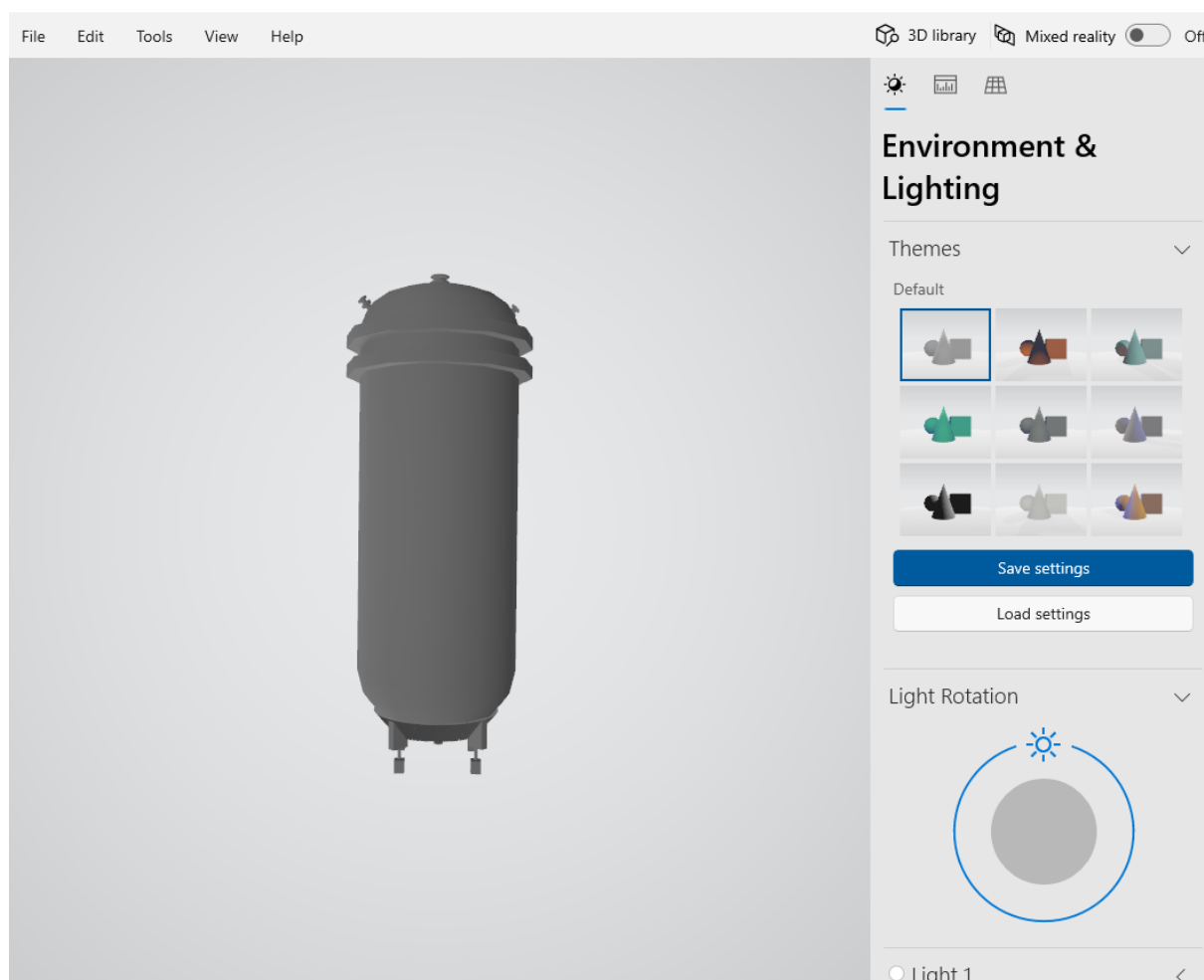
**Slika 25. Alat za eksportiranje**

Nakon odabira alata za eksportiranje, može se odabrati oblik željenog elementa što se čini zasebno za .obj i .dgn oblik (Slika 26.).



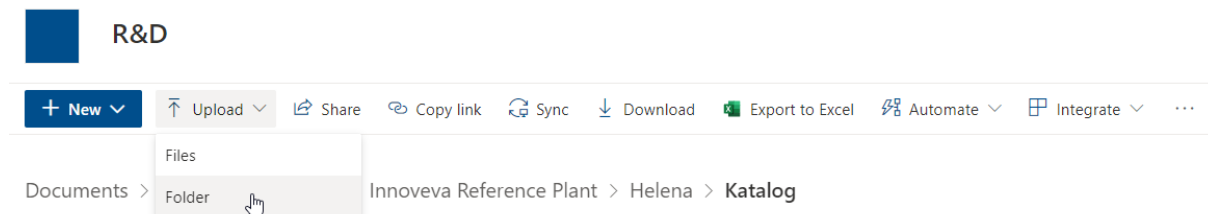
**Slika 26. Postavke eksportiranja elementa**

Potom se odabire lokacija spremanja dokumenta i proces je završen. Postupak se ponavlja za svaki željeni element potreban u projektu. Slika 27. prikazuje kako datoteka .obj izgleda kad se otvori u Windowsovom integriranom čitaču datoteka .obj.






**Slika 27. Prikaz .obj datoteke u 3D čitaču**












Tvrtka uspješno implementira novi radni model temeljen na pohrani podataka u oblaku i to se primjenjuje i na ovaj katalog. Nakon što su eksportirani svi željeni elementi, potrebno ih je učitati na tvrtkino mjesto dijeljenja podataka (eng. *Sharepoint*) (Slika 28.).



**Slika 28. Učitavanje kataloga na mjesto dijeljenja podataka (Sharepoint)**

Katalog (Slika 29.) raspodijeljen je u dvije skupine: Equipment i HookUp.

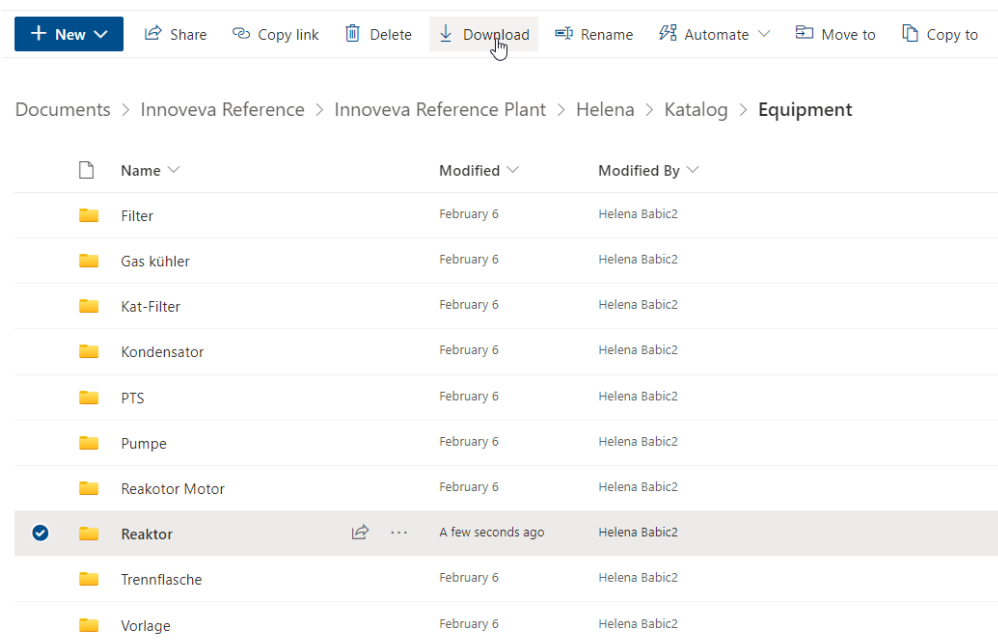
 Name ▾	Modified ▾	Modified By ▾
 Equipment	February 6	Helena Babic2
 HookUp	February 6	Helena Babic2

 Name ▾	Modified ▾	Modified By ▾
 Filter	February 6	Helena Babic2
 Gas kühler	February 6	Helena Babic2
 Kat-Filter	February 6	Helena Babic2
 Kondensator	February 6	Helena Babic2
 PTS	February 6	Helena Babic2
 Pumpe	February 6	Helena Babic2
 Reaktor	February 6	Helena Babic2
 Reaktor Motor	February 6	Helena Babic2
 Trennflasche	February 6	Helena Babic2
 Vorlage	February 6	Helena Babic2

**Slika 29. Katalog**

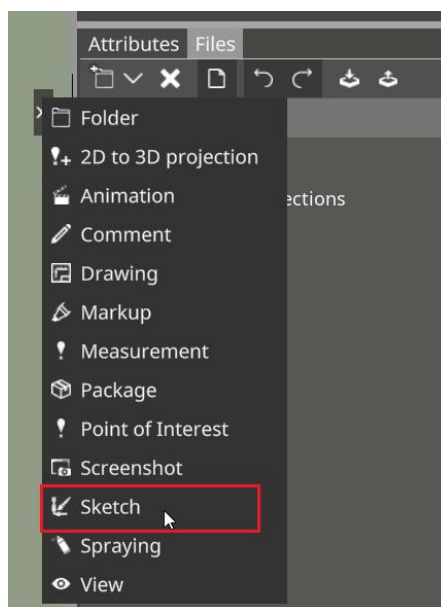
### 5.1.3. Korištenje kataloga

Kako bi se elementi koristili, potrebno je preuzeti željeni element iz kataloga ili cijeli katalog. Na Sharepointu se označava mapa s datotekama vezanim uz željeni element i preuzima (odabiranjem opcije *Download*) (Slika 30.).



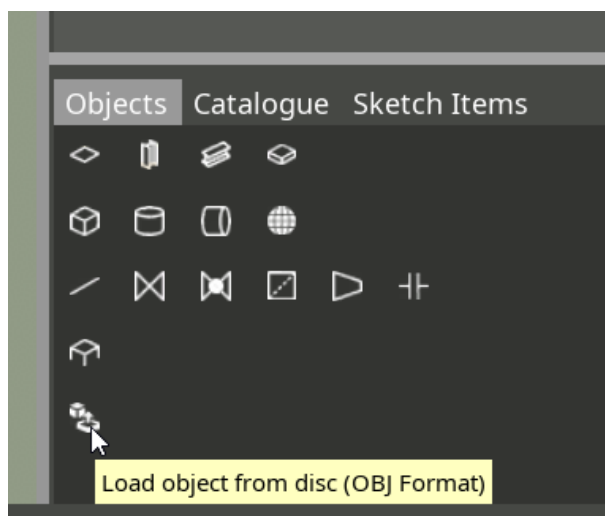
Slika 30. Preuzimanje željenog elementa

Nakon toga u programu UPV učitava se datoteka .obj. Kako bi to bilo moguće, najprije je potrebno napraviti novu skicu (eng. *Sketch*) – Slika 31.



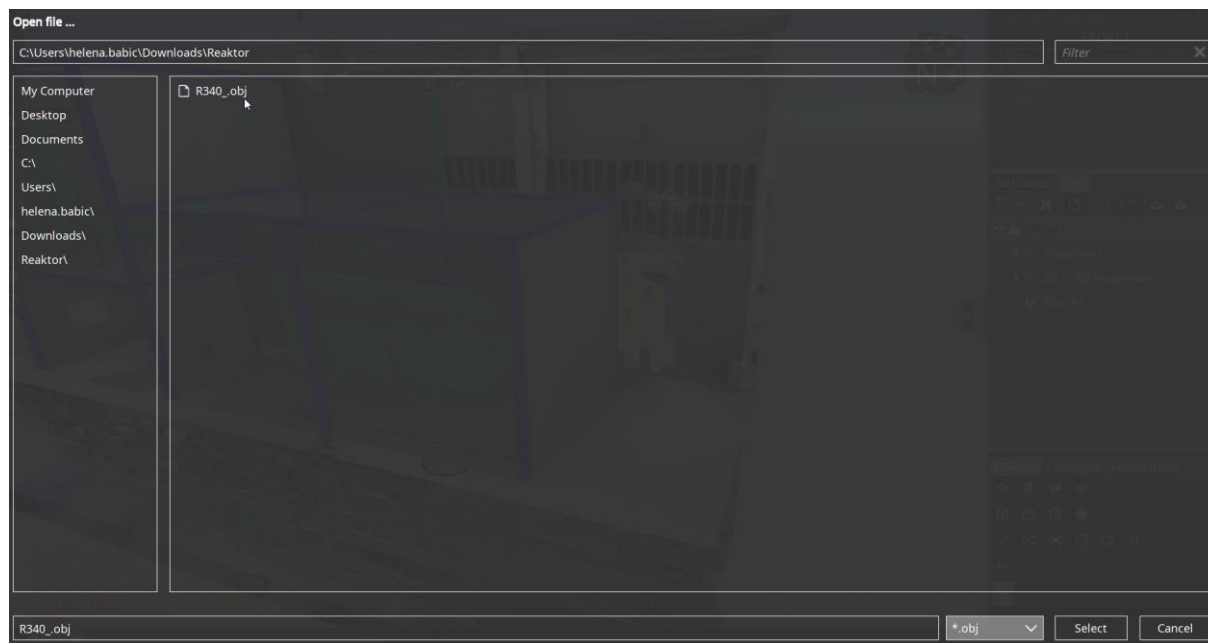
Slika 31. Kreiranje *Sketcha* u programu UPV

Kreiranjem novog *Sketcha* nudi se opcija *Load object from disc* što je ujedno učitavanje datoteke u formatu .obj (Slika 32.).



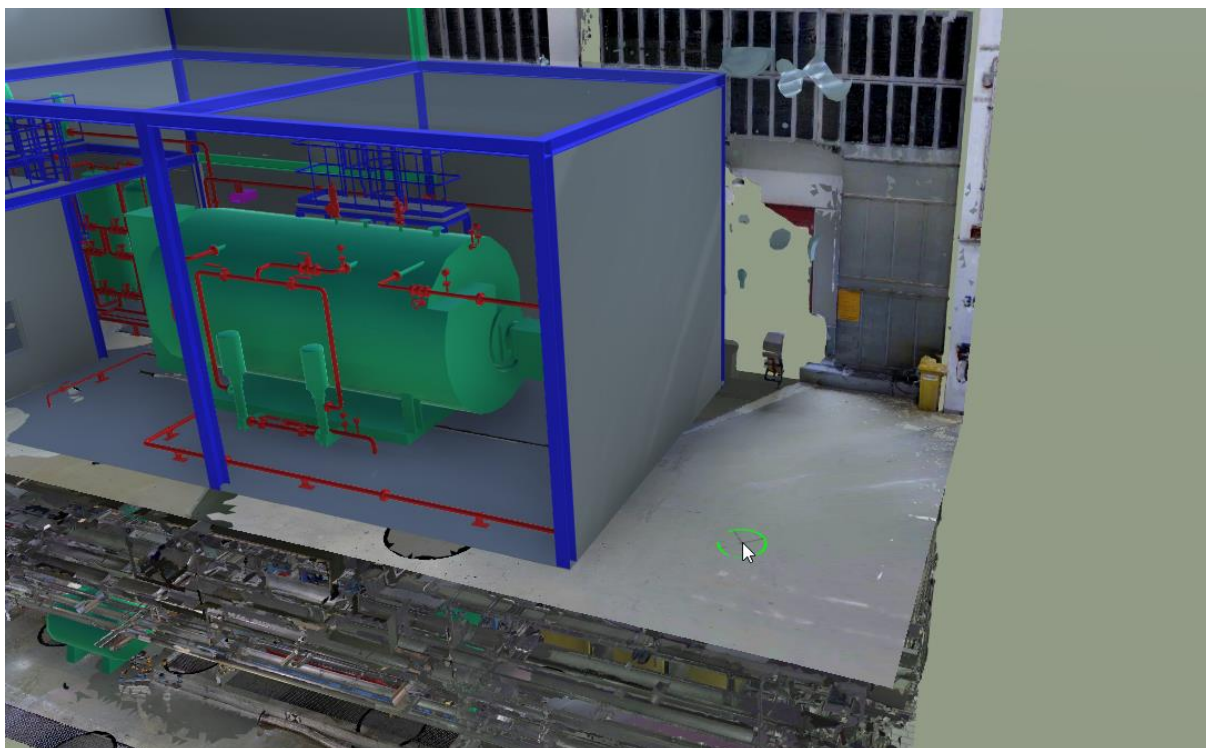
**Slika 32. Učitavanje datoteke .obj**

Odabirom te naredbe, učitava se prethodno preuzeti element s lokacije na računalu (Slika 33.).



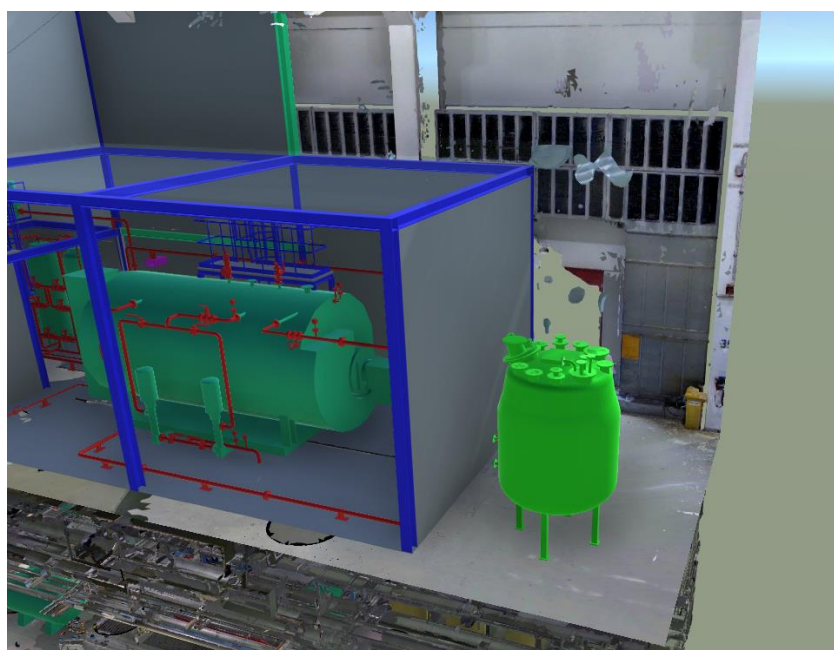
**Slika 33. Odabir željenog elementa**

Program nudi da se pokazivačem miša odabere mjesto gdje će se element smjestiti (Slika 34.).



**Slika 34. Smještanje elementa**

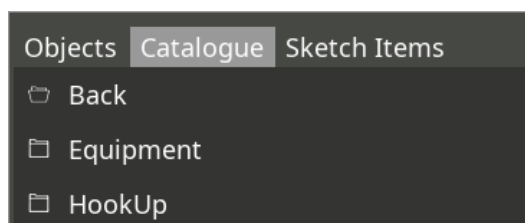
Nakon što je lokacija odabrana klikom miša, element se sada nalazi u modelu te je njime moguće manipulirati kao sa svim ostalim elementima (pomicanje, skaliranje) – Slika 35.



**Slika 35. Prikaz elementa u modelu**

Korisnik kataloga može na vlastitom računalu uvijek imati preuzetu najnoviju verziju kataloga i po potrebi tijekom prezentacije i razgovora s klijentima ubacivati željene elemente u model.

Također, u UPV-u postoji izbornik predviđen za katalog te je istražena mogućnost ubacivanja kataloga u UPV kako bi on uvijek bio dostupan korisniku bez potrebe preuzimanja i pohrane na *Sharepointu*. Istraživanjem sadržaja internetske stranice i servisa podrške tvrtke CAXperts, katalog je uspješno implementiran i dostupan korisniku pri pokretanju UPV-a (Slika 36.).

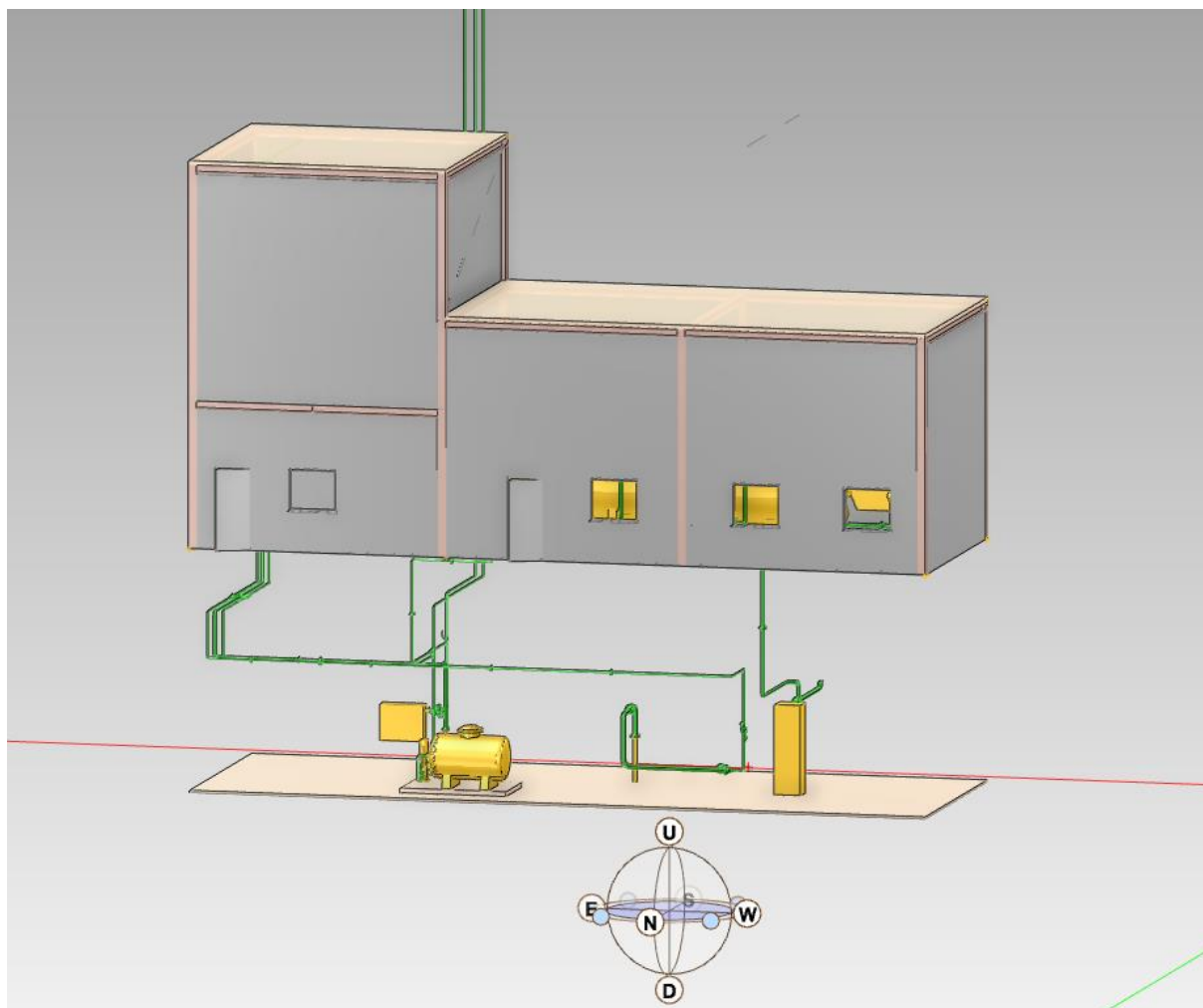


**Slika 36. Katalog u UPV-u**

## 5.2. Oblikovanje zgrade

U konkretnom projektnom zadatku koji se uzima kao primjer u ovome radu, pri rekonstrukciji postrojenja potrebno je proširenje postojeće zgrade, tj. pridodati joj novi dio. To će biti napravljeno u programu AVEVA E3D. Postojeća zgrada prikazana je slikom 37. Zgrada je pomaknuta uvis prema ravnini na kojoj se nalazi oprema: naime, u prizemlju zgrade neće biti potrebno raditi nikakve izmjene te iz tog razloga ono nije niti modelirano.

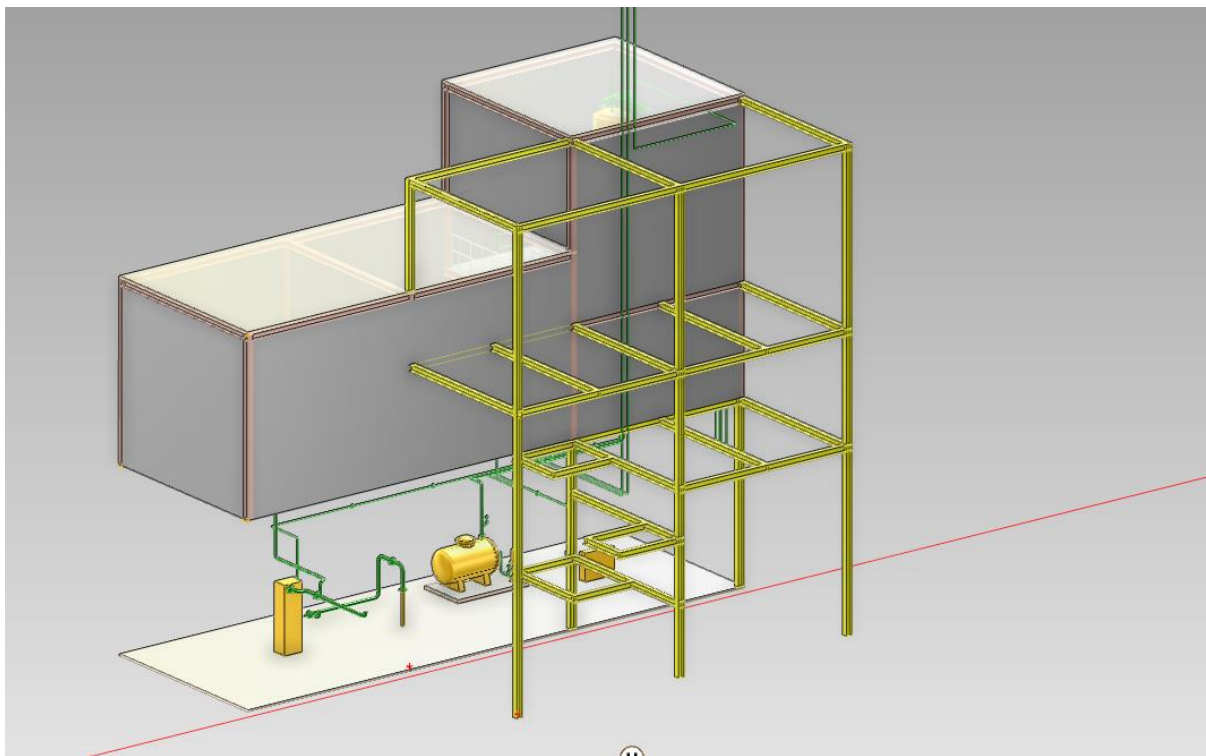




**Slika 37. Postojeća zgrada**

Nova zgrada će se sastojati od prizemlja i dva kata. U prizemlje će se ulaziti s bočne strane kroz dvokrilna vrata, do prvog kata planirane su stepenice s vanjske strane zgrade, a posljednjem katu pristupat će se čvrstim ljestvama s prvog kata u unutrašnjosti zgrade te će sa strane zgrade postojati stepenice kao izlaz u slučaju nužde. Zgrada će se tako sastojati od čeličnih elemenata, zidova, platformi i vrata.

Najprije su modelirani čelični stupovi na koje će doći ostali elementi zgrade (Slika 38.). Nakon stupova modelirane su poprečne grede za oslanjanje platformi.

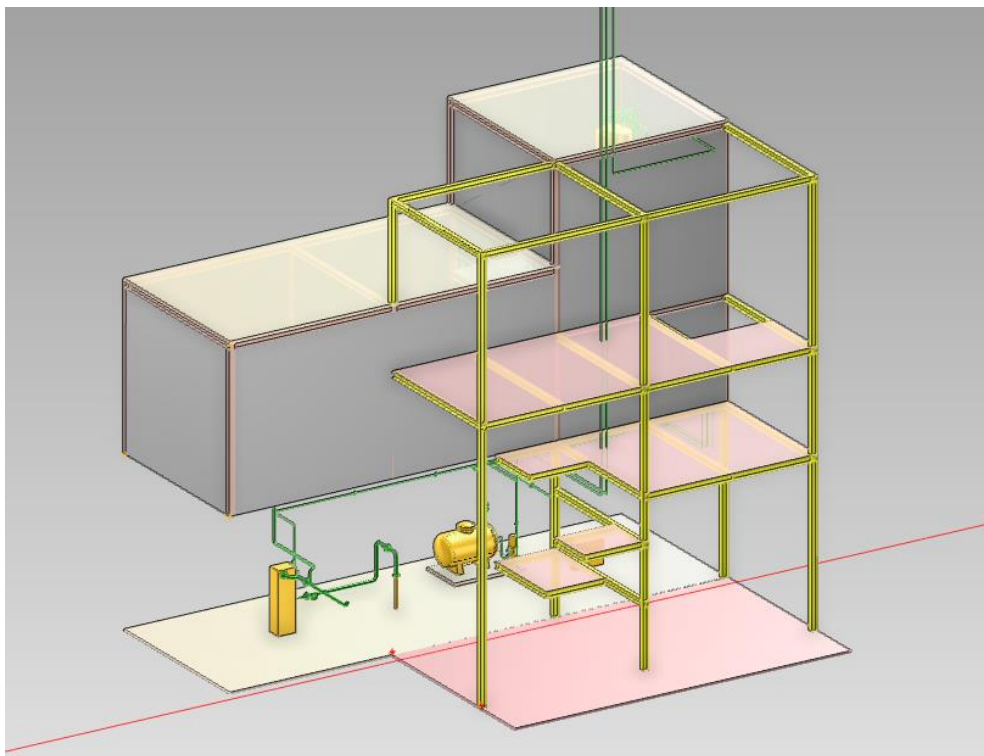


**Slika 38. Osnovna čelična konstrukcija**

Sljedeći korak jest modeliranje poda i platformi na gotovoj čeličnoj konstrukciji. Platformom su za ovaj projekt smatrane sve podne konstrukcije koje su više od razine tla te se one izrađuju kao mrežasta, čelična rešetka (Slika 39.).

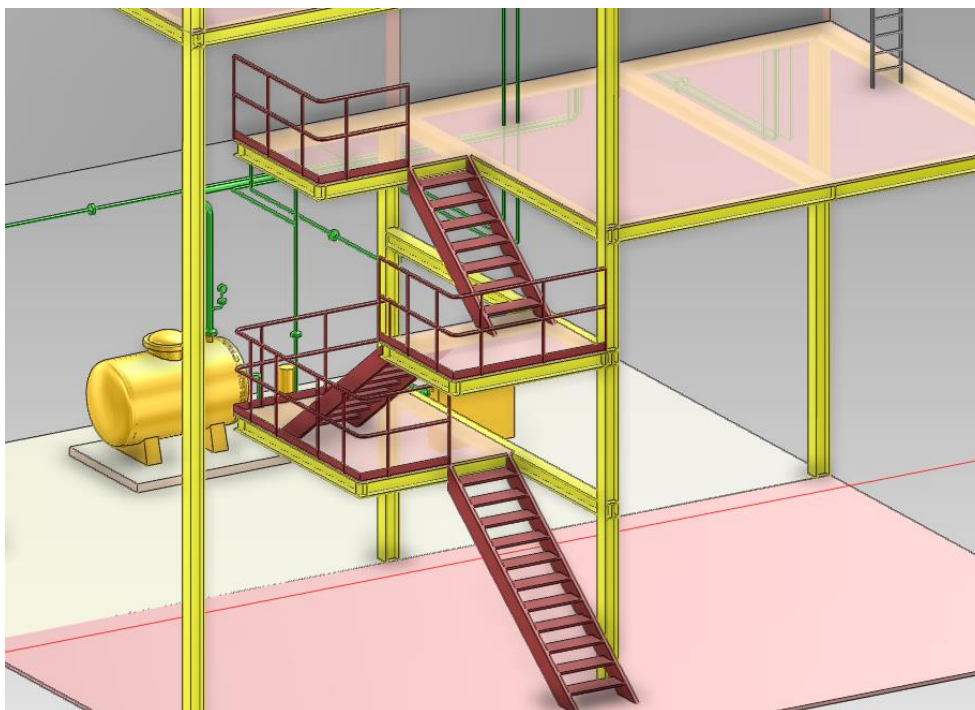


**Slika 39. Rešetkasti pod platforme**

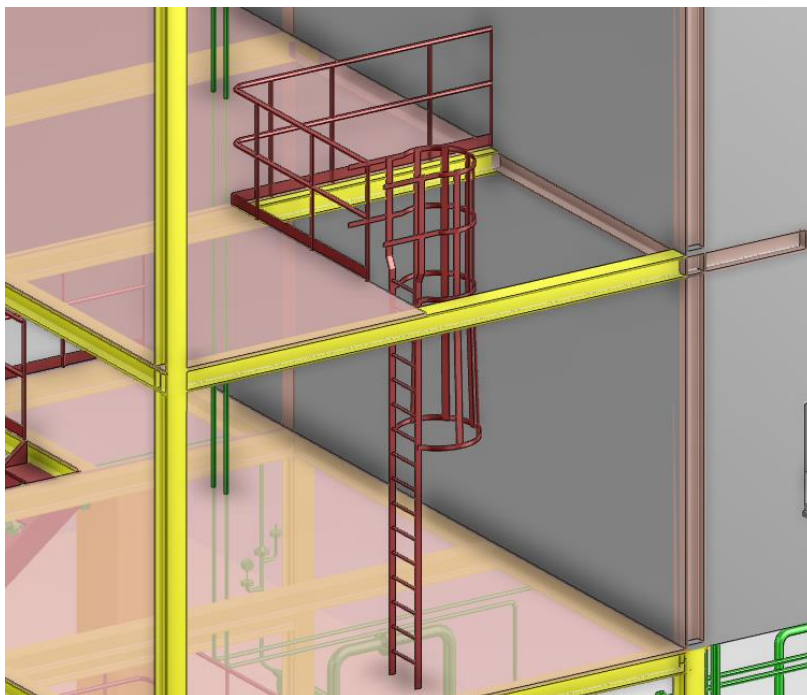


**Slika 40. Prikaz poda i platformi**

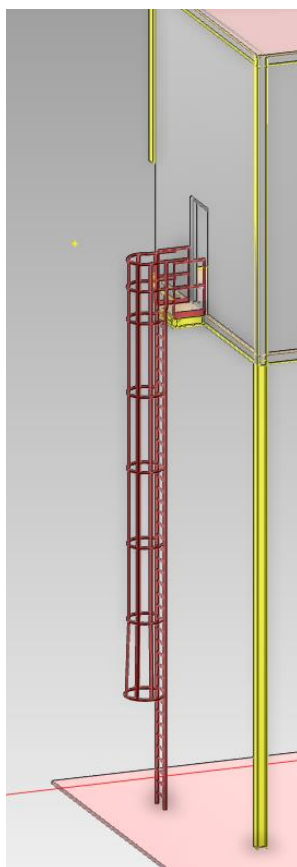
Sada se može modelirati zaštitna ograda i stepenice koje vode na prvi kat (Slika 41.), zaštitna ograda i ljestve za drugi kat (Slika 42.) te ljestve za izlaz u slučaju nužde izvan zgrade (Slika 43.).



**Slika 41. Stepenice i ograde za prvi kat**

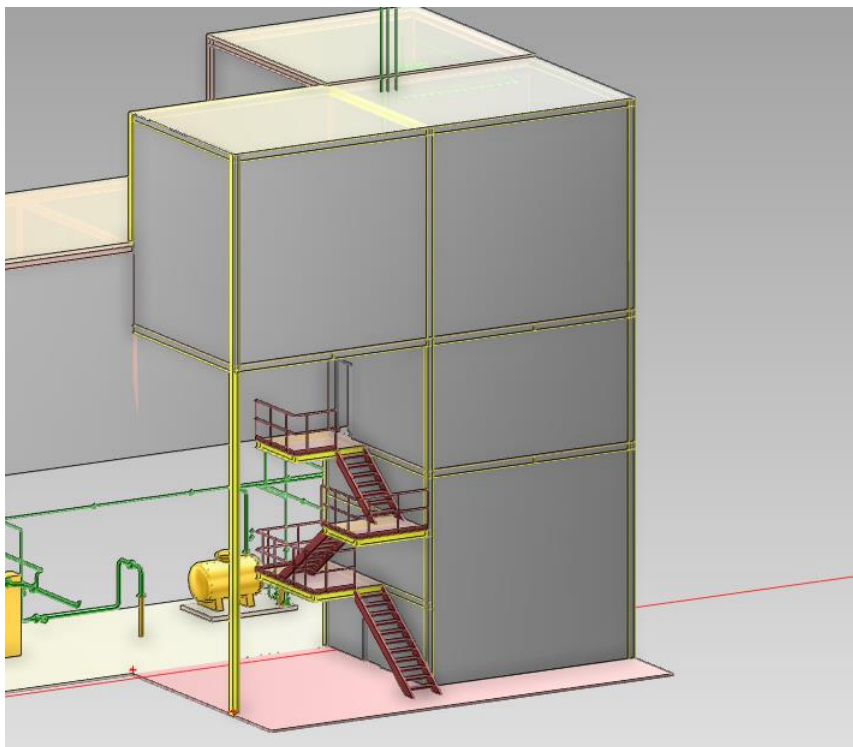


**Slika 42. Ljestve za drugi kat**



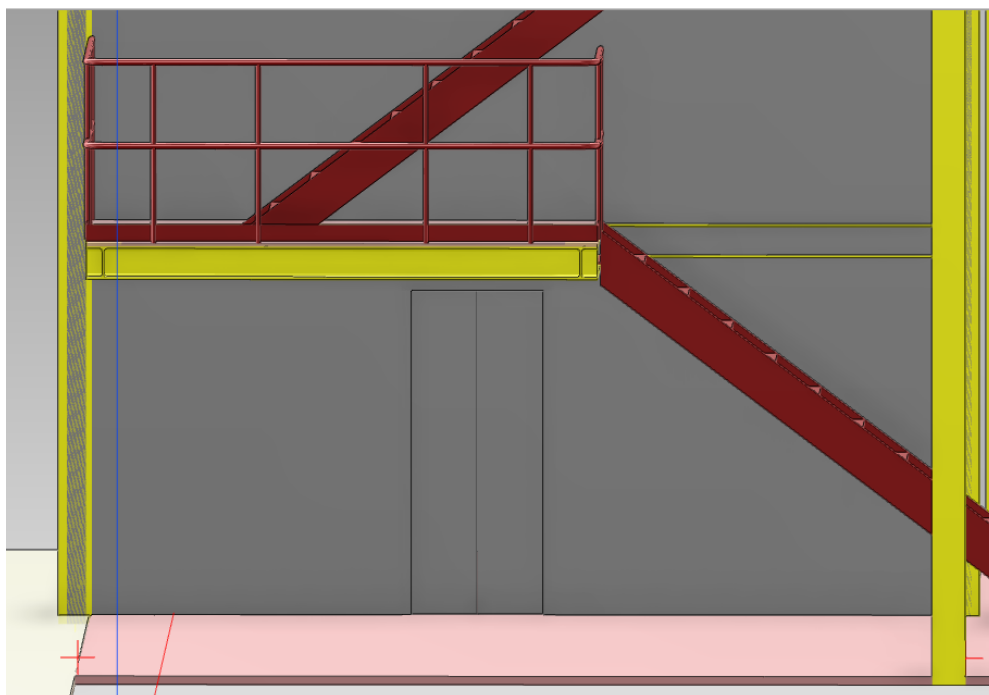
**Slika 43. Izlaz u slučaju nužde s ljestvama**

Posljednji korak projektiranja zgrade jest modeliranje vanjskih zidova – Slika 44.

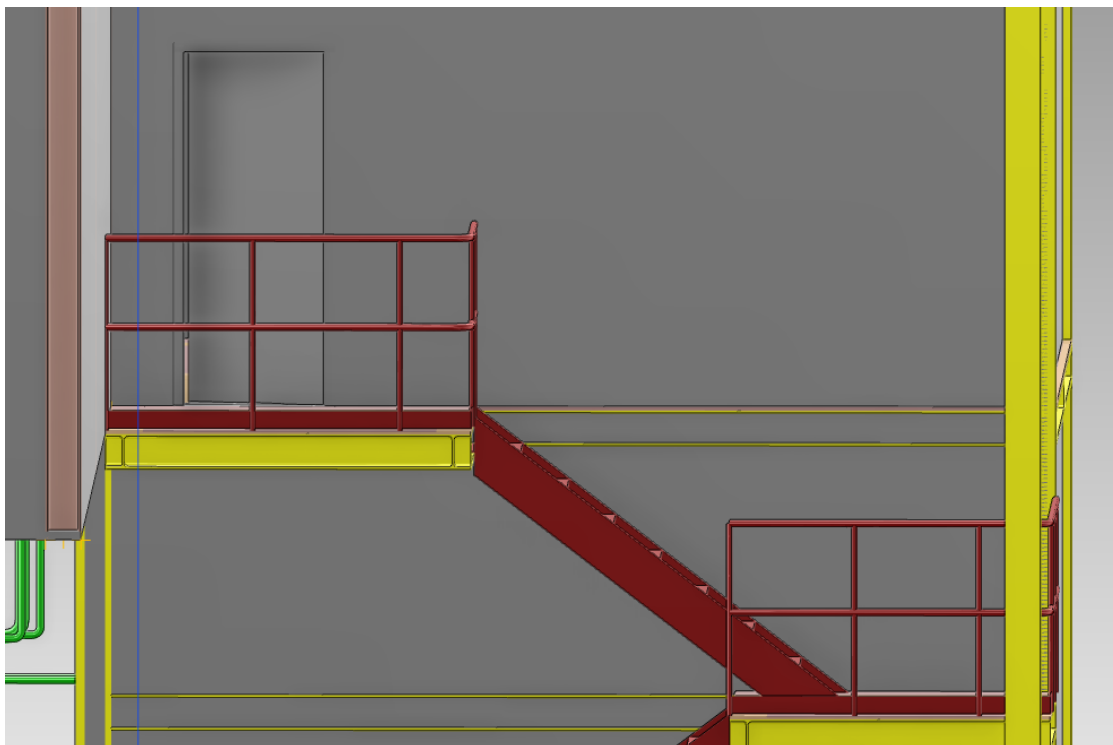


**Slika 44. Vanjski zidovi zgrade**

Na zidovima se modeliraju dvojna vrata: jedna u prizemlju (Slika 45.) i jedna na ulasku u prvi kat (Slika 46.).

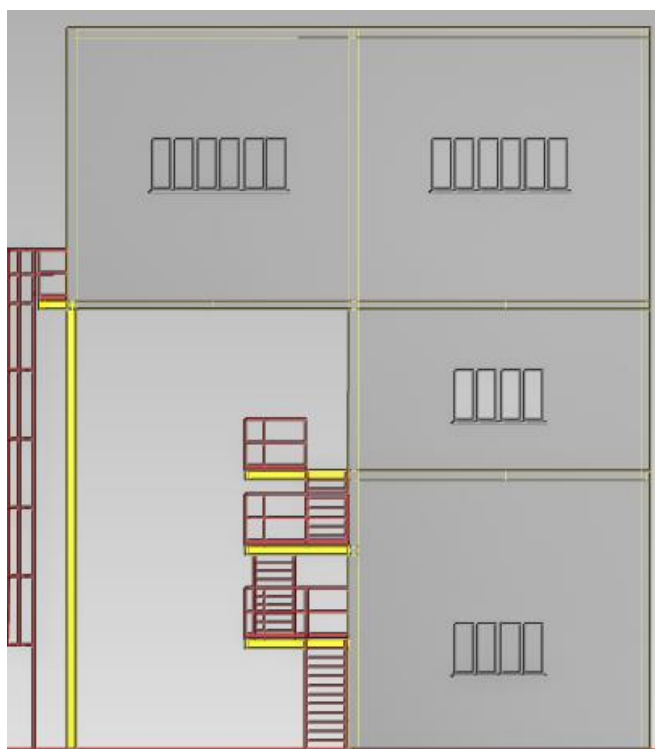


**Slika 45. Vrata u prizemlju**



**Slika 46. Vrata za prvi kat**

Kako bi u zgradi bilo dovoljno prirodnog svjetla, na svakom katu modelirani su dvokrilni prozori (Slika 47.).

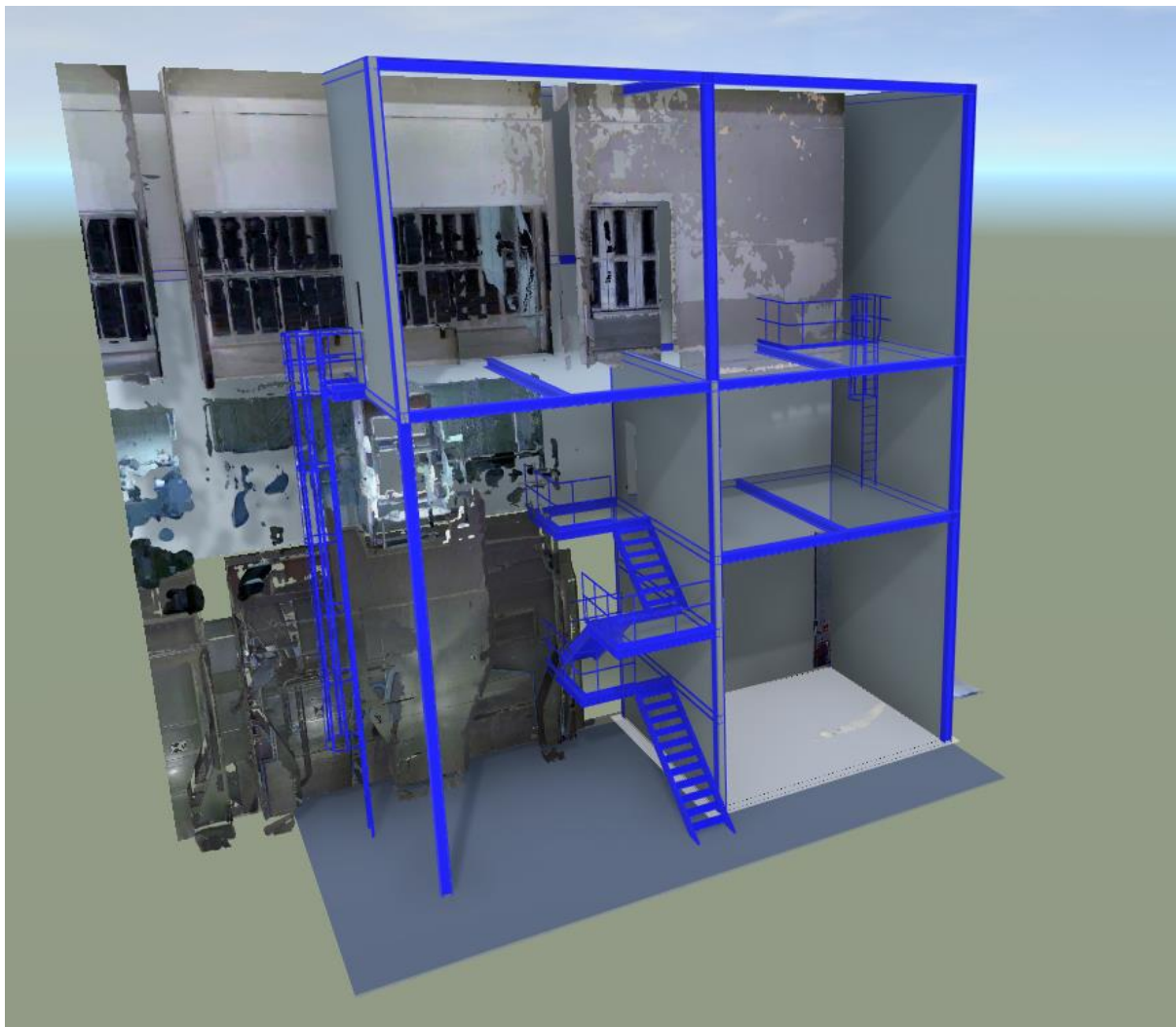


**Slika 47. Prozori na vanjskim zidovima**



### 5.3. Konceptualni dizajn procesnog postrojenja

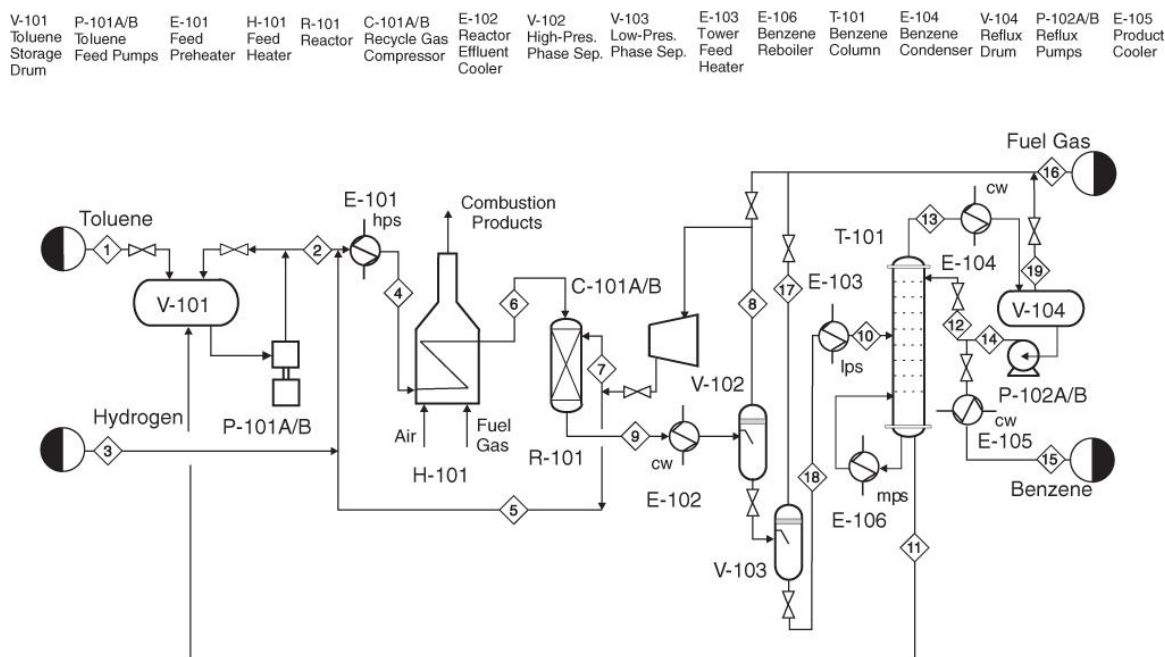
U ranijem tekstu (točka 5.1.1.) objašnjen je pojam konceptualnog dizajna te njegova važnost u planiranju postrojenja. Nakon što je zgrada modelirana u softveru AVEVA E3D, potrebno ju je prebaciti u UPV. Kako je za ovaj zadatak nova zgrada nadograđena na postojeću, model u UPV-u je napravljen sa obje zgrade i laserskim skenom postojeće.



Slika 48. Prikaz zgrade u UPV-u

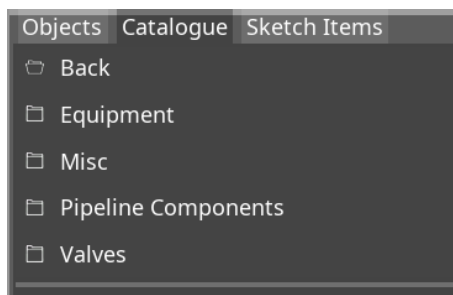
### 5.3.1. Dijagram toka procesa (PFD)

Dijagram toka procesa (eng. *Process Flow Diagram*, PFD) vrsta je dijagrama toka koji prikazuje odnose između najbitnijih komponenti procesa: prikazuje samo osnovnu opremu procesa i cijevi koje ju povezuju kako bi se dobila osnovna ideja o čitavom postrojenju. Postoji niz dogovorenih simbola koji se koriste pri crtanju dijagrama, ručno ili u softveru. [20] Primjer PFD-a prikazan je slikom 49.



**Slika 49. Primjer dijagrama toka procesa (PFD-a) [21]**

Korištenjem principa istodobnog inženjerstva, izrada dijagrama toka procesa i konceptualno smještanje opreme odvijat će se u isto vrijeme. Odabir vrste opreme i odluka o njenoj poziciji uvjetovat će simbol i izgled PFD-a i obratno. U međuvremenu je, po uzoru na katalog 3D objekata, napravljen katalog 2D simbola koji će se koristiti za crtanje PFD-a, također u programu UPV.

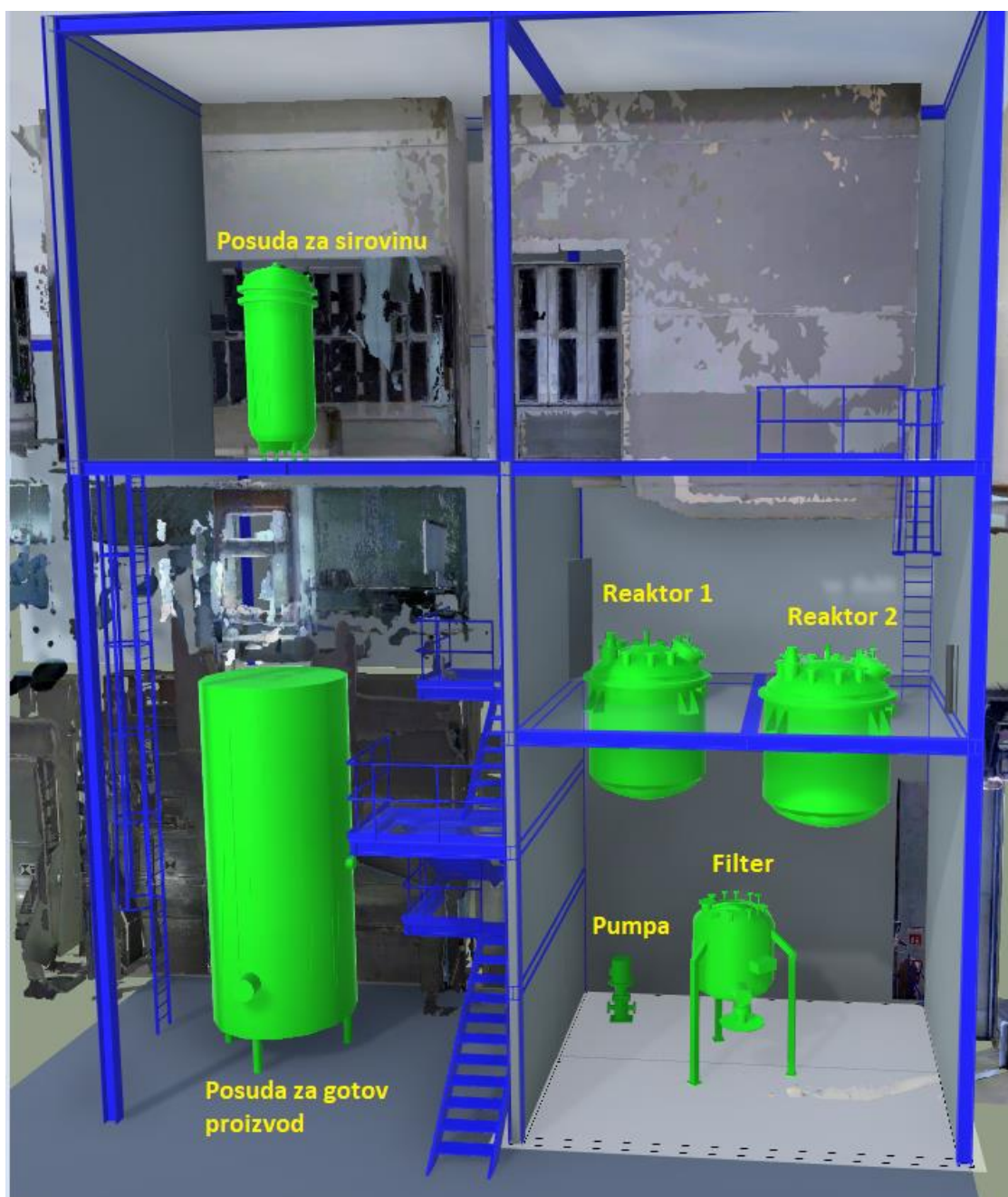


**Slika 50. Prikaz kataloga 2D simbola u UPV-u**



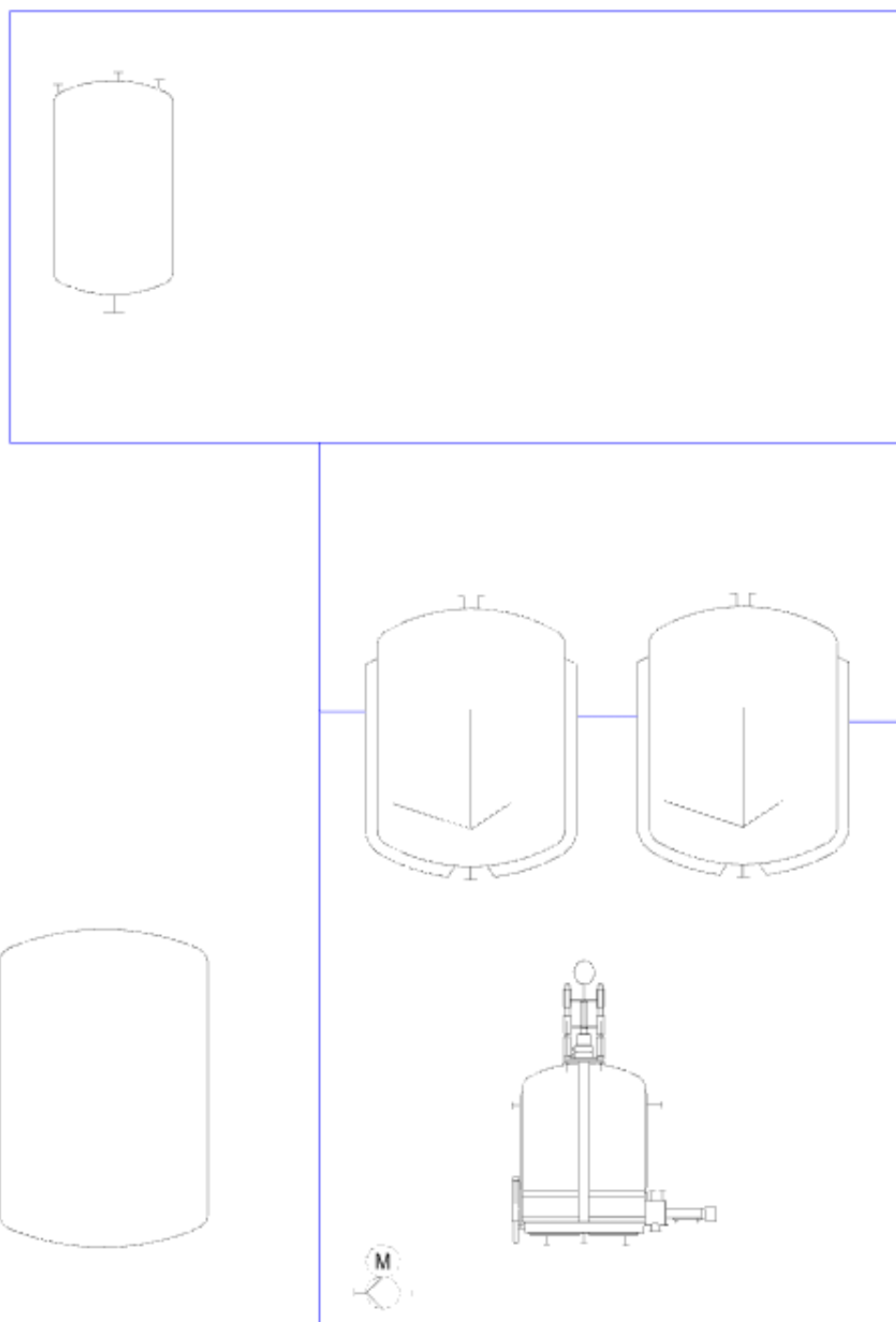
### 5.3.2. Smještanje opreme u zgradu

U praznu zgradu najprije treba odlučiti o smještanju opreme. Proces će započeti upumpavanjem sirovine iz kamiona u posudu na najvišem katu iz koje će se sirovina spuštati u dva reaktora gdje će se odvijati kemijski procesi. Iz njih će tvar ići u filter u prizemlju na filtraciju. Zatim će se pomoću pumpe gotov proizvod pretakati u veliku posudu van zgrade na koju će se u bilo kojem trenutku moći spojiti crijevo s kamiona za transport gotovog proizvoda. Smještaj oprema prikazan je slikom 51.



Slika 51. Raspored opreme

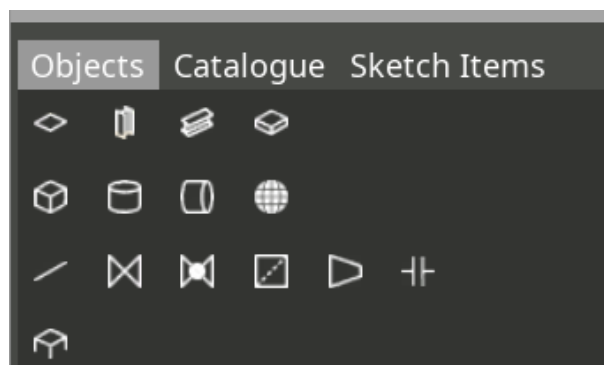
Kako je već objašnjeno u točki 5.3.1, ovaj raspored uvjetuje izgled PFD-a koji se crta na praznom papiru u programu UPV. Simboli se uzimaju iz napravljenog kataloga. Slika 52. (Prilog 1.) prikazuje PFD s rasporedom opreme. Plava boja simbolizira zgradu tj. naznačuje zidove zgrade.



**Slika 52. PFD s rasporedom opreme**

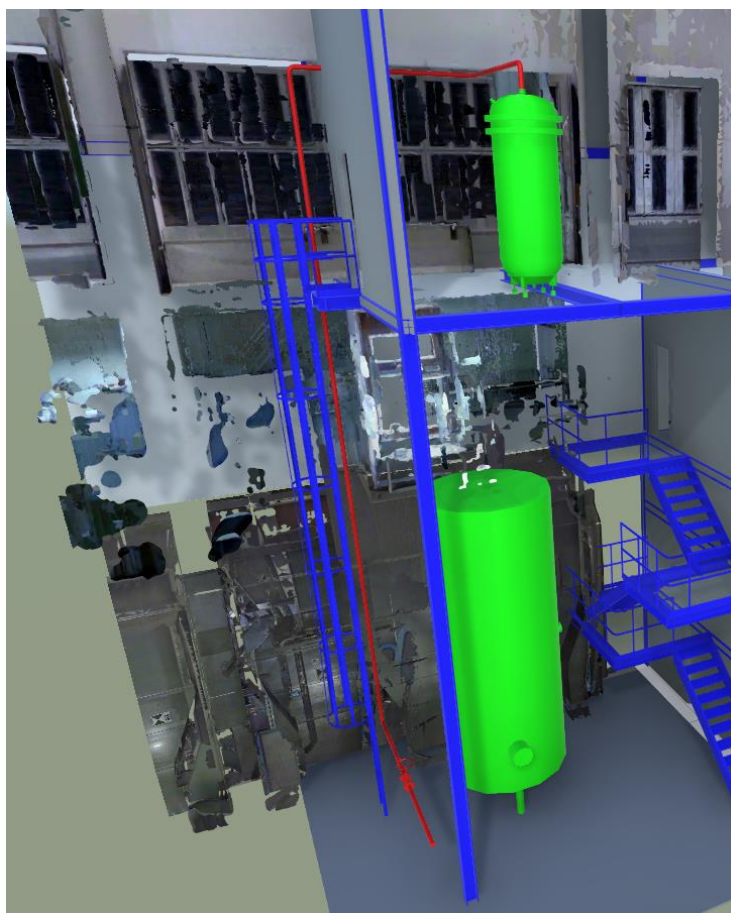
### 5.3.3. Smještanje cijevi

Softver UPV ima u sebi već integrirane pojednostavnjene oblike poput: panela, greda, cijevi, ventila i valjaka, a koji simboliziraju opremu ili njene elemente. Sve komponente oblikovane su parametarski te se može manipulirati njihovom veličinom.



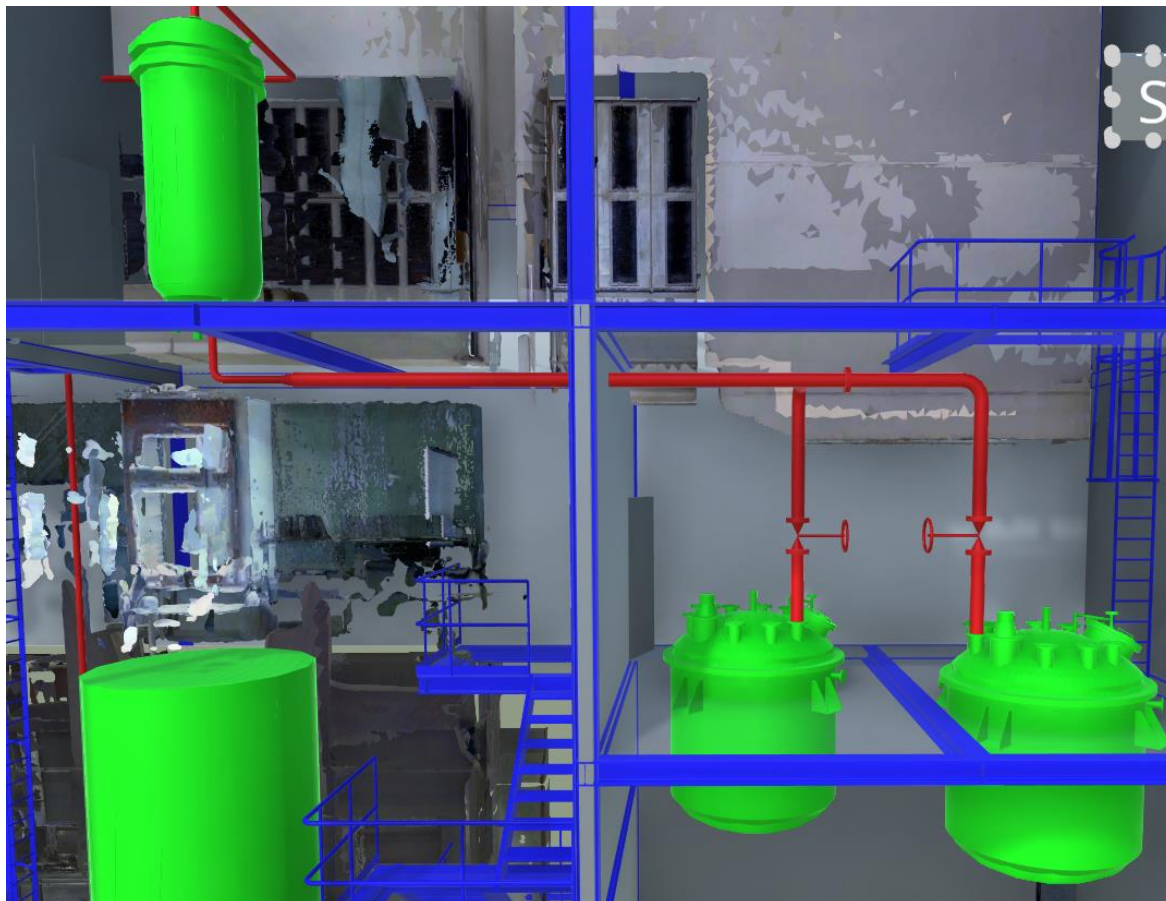
**Slika 53. Kataloške komponente**

Najprije je modelirana cijev (Slika 54.) kroz koju će se upumpavati sirovina u posudu na najvišem katu te je na nju stavljen ventil kojim će se omogućavati protok.



**Slika 54. Cijev za upumpavanje sirovine (crveno)**

Sljedeća modelirana cijev (Slika 55.) je ona kojom se sirovina iz posude prenosi do reaktora. To se odvija kroz jednu cijev koja se zatim grana prema oba reaktora. Također su stavljeni ventili kako bi se postupak mogao ručno omogućiti.

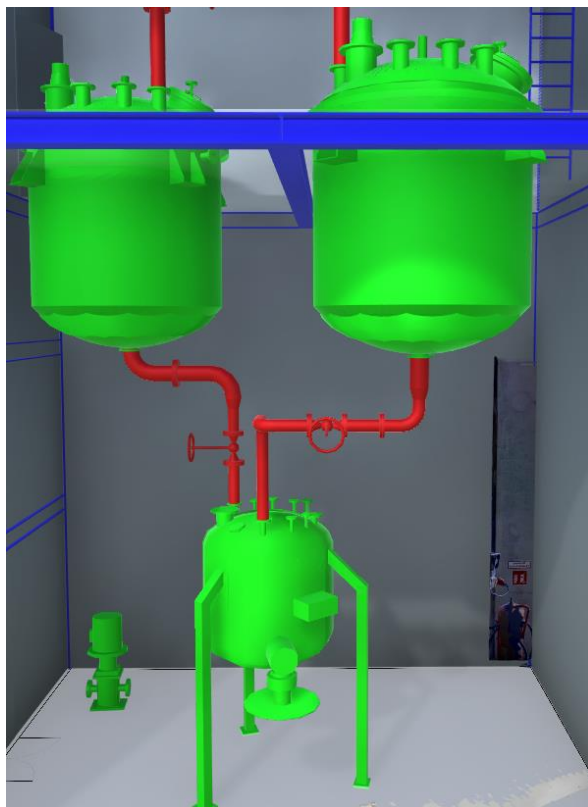


**Slika 55. Cijev za prijenos sirovine do reaktora (crveno)**

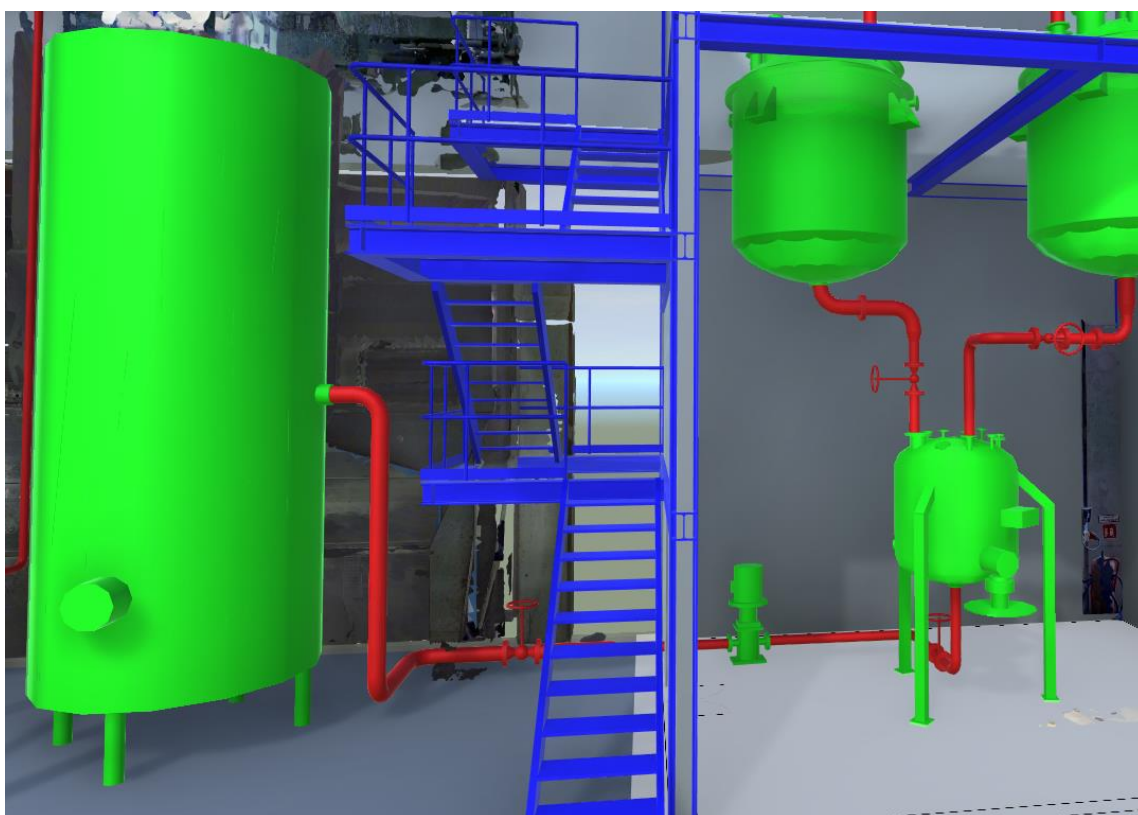
Zatim je proizvod potrebno transferirati u filter gdje će se pročišćavati. Iz svakog reaktora modelirana je zasebna spojna cijev (Slika 56.) koja ide u filter, a proces se može omogućiti lako pristupnim ventilima.

Na kraju je još potrebno omogućiti transfer gotovog proizvoda kroz pumpu u posudu za pohranu s pripadnim cijevima s ventilima (Slika 57.).





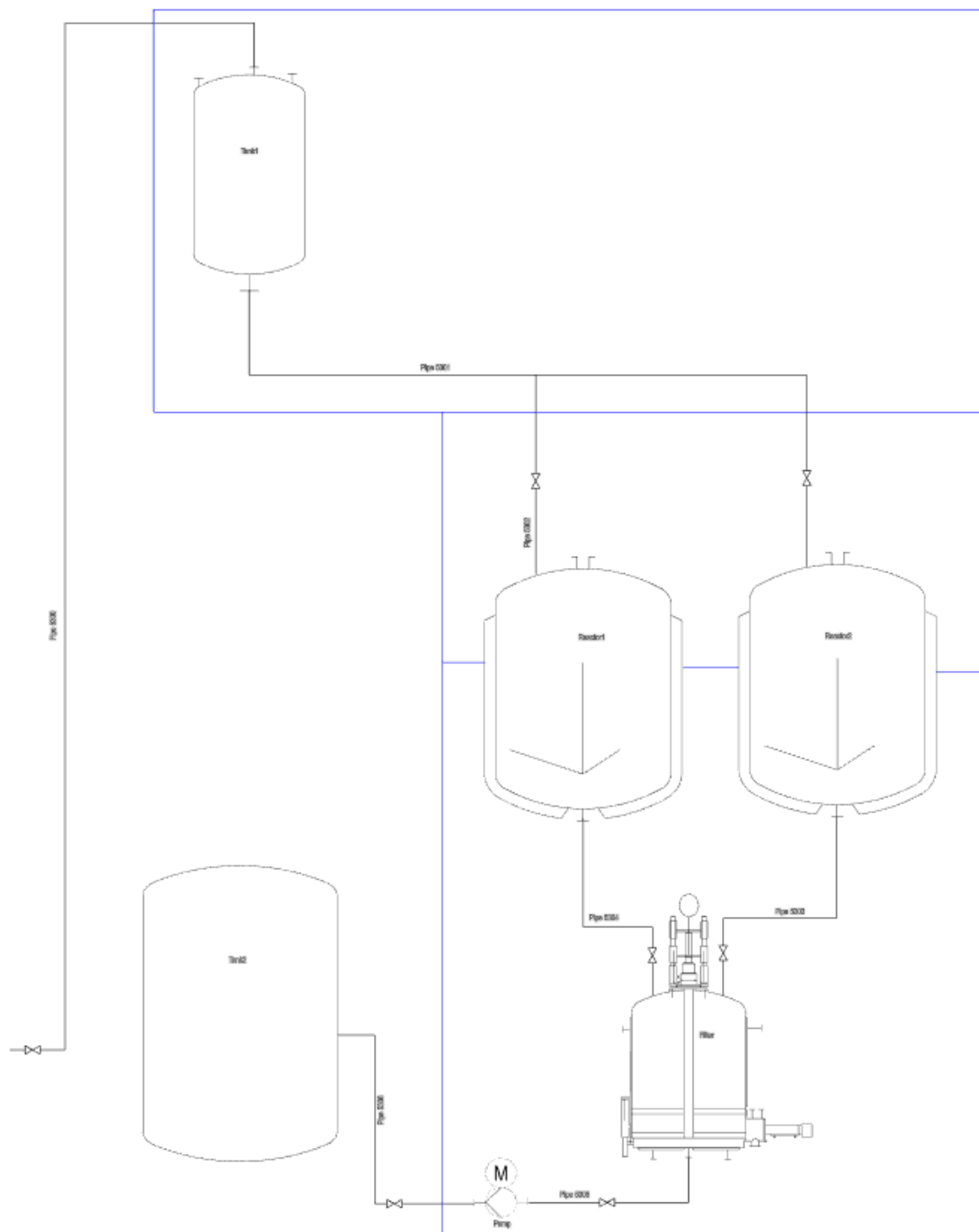
**Slika 56. Spojne cijevi reaktora i filtera**



**Slika 57. Cijevi za prijenos gotovog proizvoda iz filtera i iz pumpe**

Proces završava kod vanjske posude na koju se transportni kamion može priključiti prema potrebi i gotov proizvod potom prevesti na željenu lokaciju.

Slika 58. prikazuje gotov PFD koji korisniku omogućava uvid u proces i osnovnu ideju izgleda postrojenja.



**Slika 58. Završni PFD**

## 5.4. Montaža reaktora u zgradu

U ovoj točki prikazat će se primjer projektnog sadržaja u vezi instaliranja projektom obuhvaćene opreme: montaža reaktora.

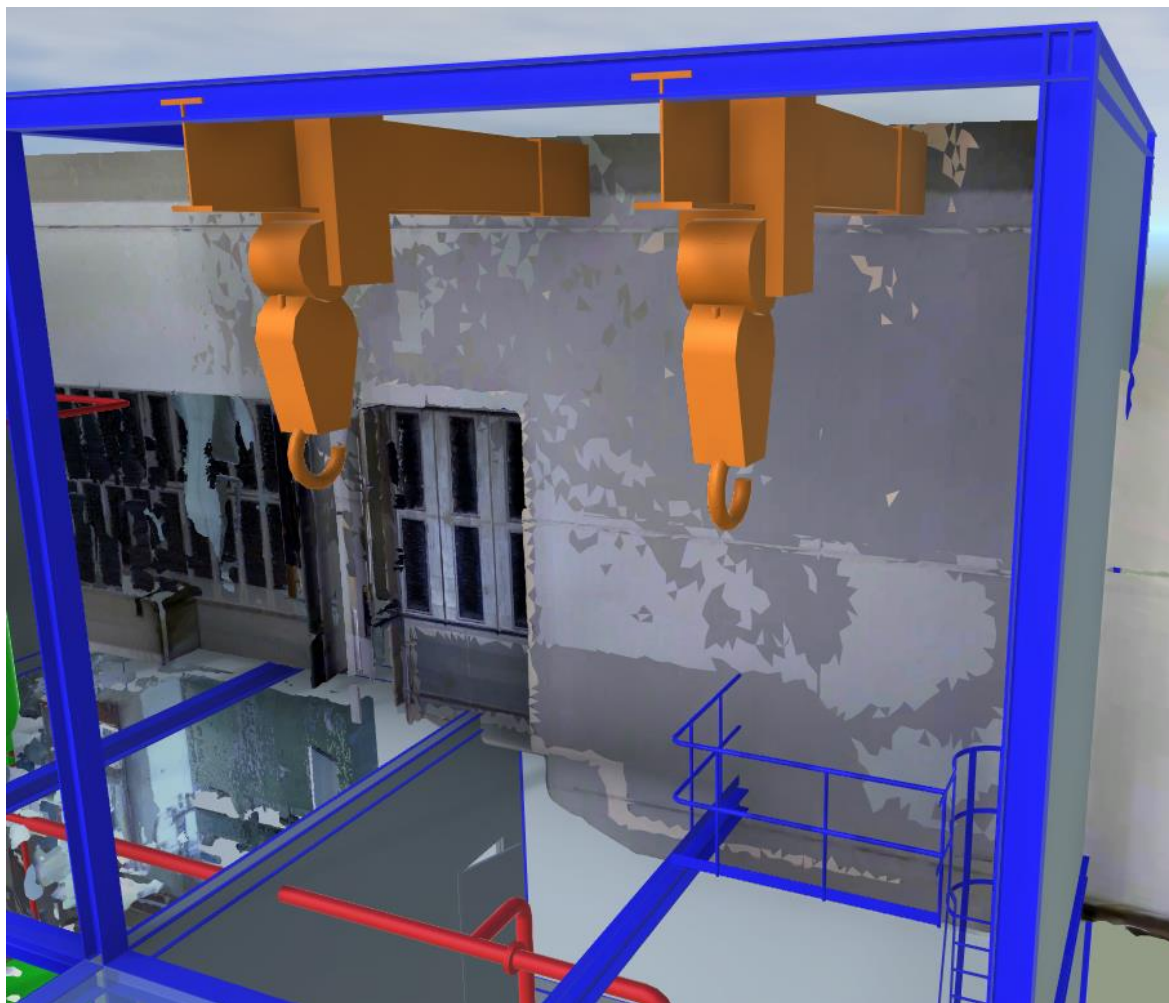
Uobičajeno, oprema koja se montira u zgradu naručuje se i kupuje direktno od dobavljača, a dizalica se unajmljuje po satu. Tablica 1. prikazuje osnovne specifikacije reaktora koji će se montirati.

**Tablica 1. Specifikacije reaktora**

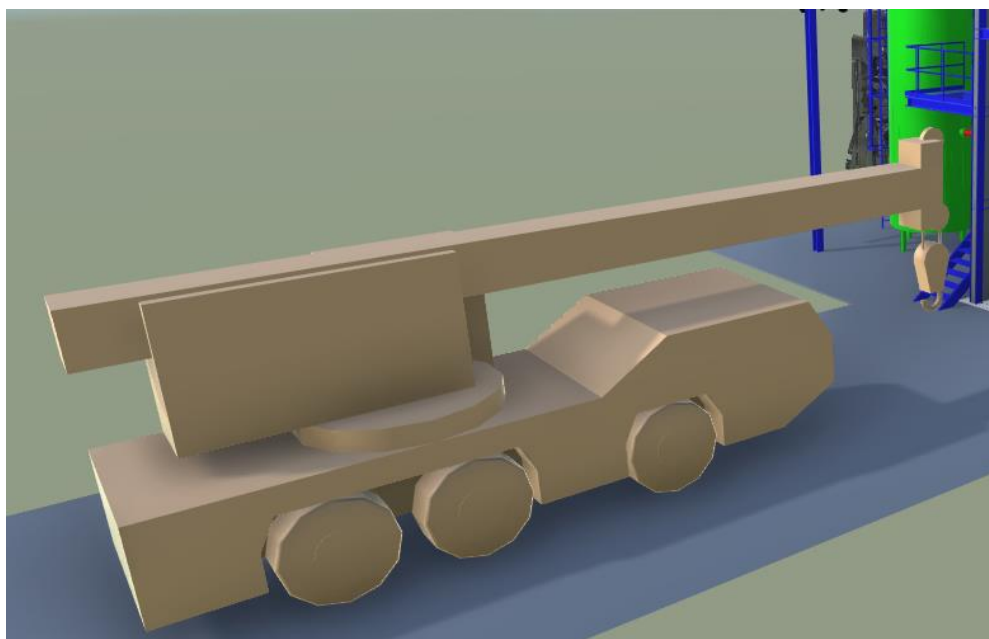
Specifikacija	Vrijednost-iznos/Značajka
<b>Volumen, l</b>	9500
<b>Visina, mm</b>	3200
<b>Masa, t</b>	8,5
<b>Materijal</b>	Emajlirano staklo
<b>Cijena, €</b>	30 000

Reaktor je potrebno montirati na prvom katu. Prednji zid i pod najvišeg kata napravljeni su s mogućnošću demontaže kako bi se reaktori i posuda mogle unijeti gore, a reaktori još spustiti i kat niže. Također su projektirane i stropne, pomične dizalice (Slika 59.) na najvišem katu za spuštanje reaktora.

Reaktori se podižu kamionskom dizalicom (Slika 60.) koja prilazi zgradi. Dizalica je dio kataloga te se njome može manipulirati.



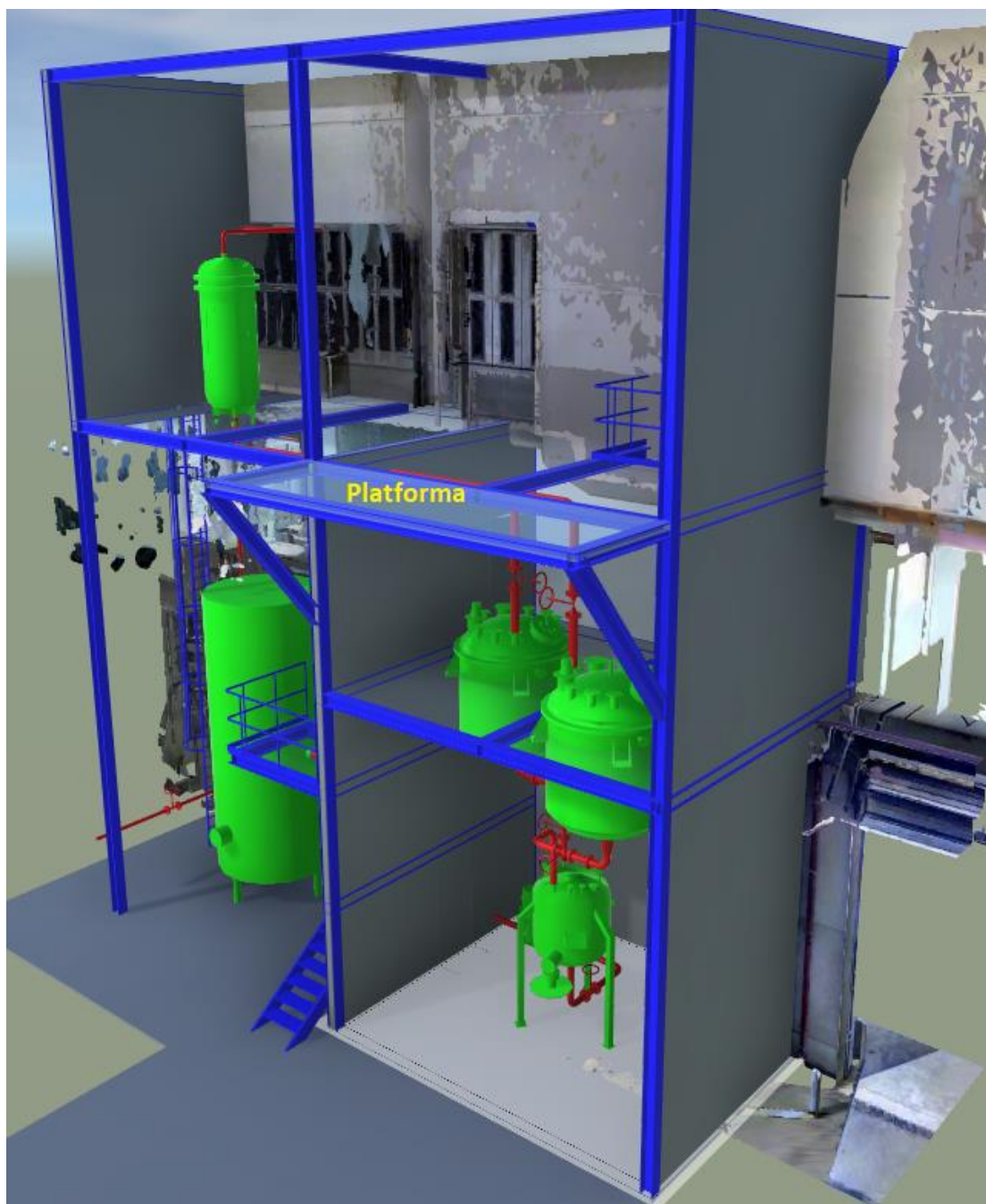
**Slika 59. Stropne dizalice**



**Slika 60. Kamionska dizalica**



Kako je s takvom kamionskom dizalicom nespretno ući u zgradu, javlja se potreba za platformom za odlaganje na zadnjem katu. Takva platforma (Slika 61.) nije potrebna čitavo vrijeme, nego samo prilikom montaže i demontaže te se ona stavlja po potrebi, a nakon obavljenog posla se uklanja.



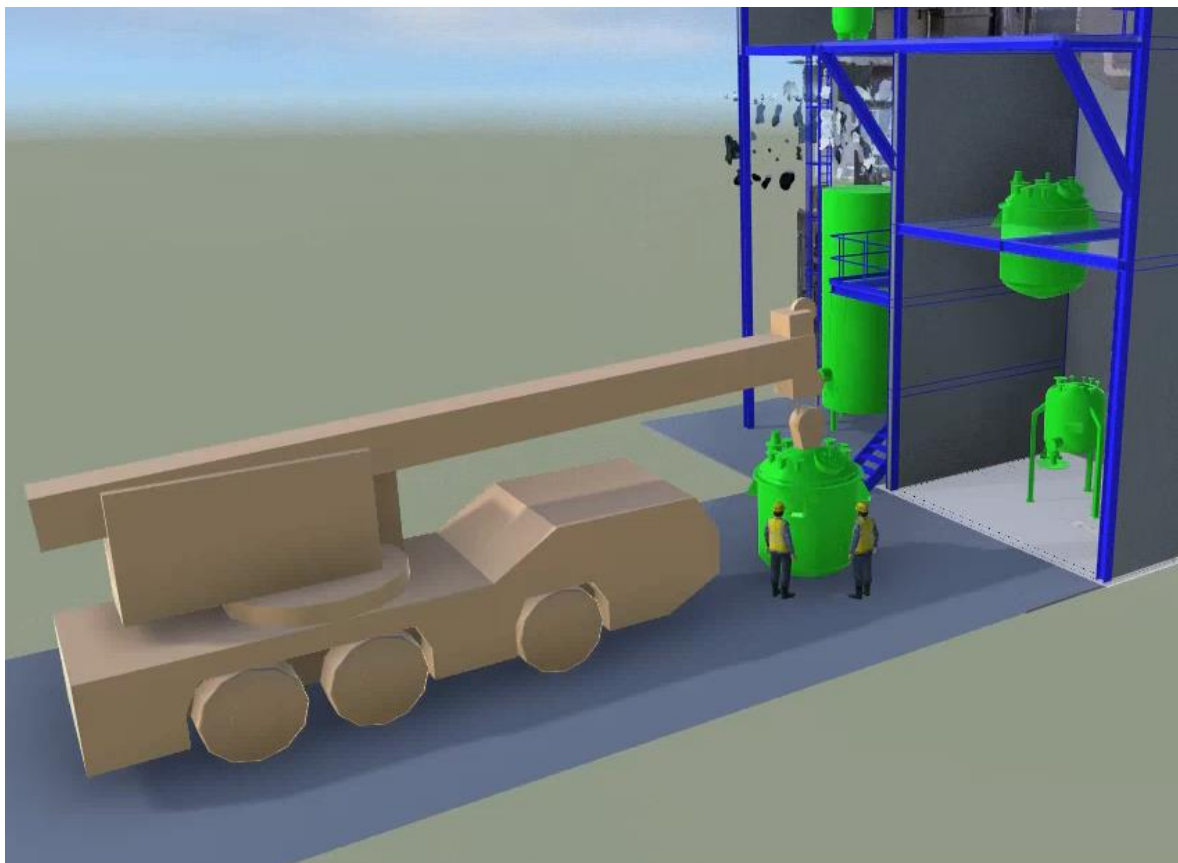
Slika 61. Uklonjiva platforma

Najam dizalice i radnika plaća se po satu te je potrebno definirati vrijeme za svaku aktivnost potrebnu za montažu reaktora u zgradu (Tablica 2.). Cilj je da čitava montaža, uključujući i montažu cijevi koje se spajaju na reaktor, traje jednu smjenu.

**Tablica 2. Aktivnosti i trajanje montaže reaktora**

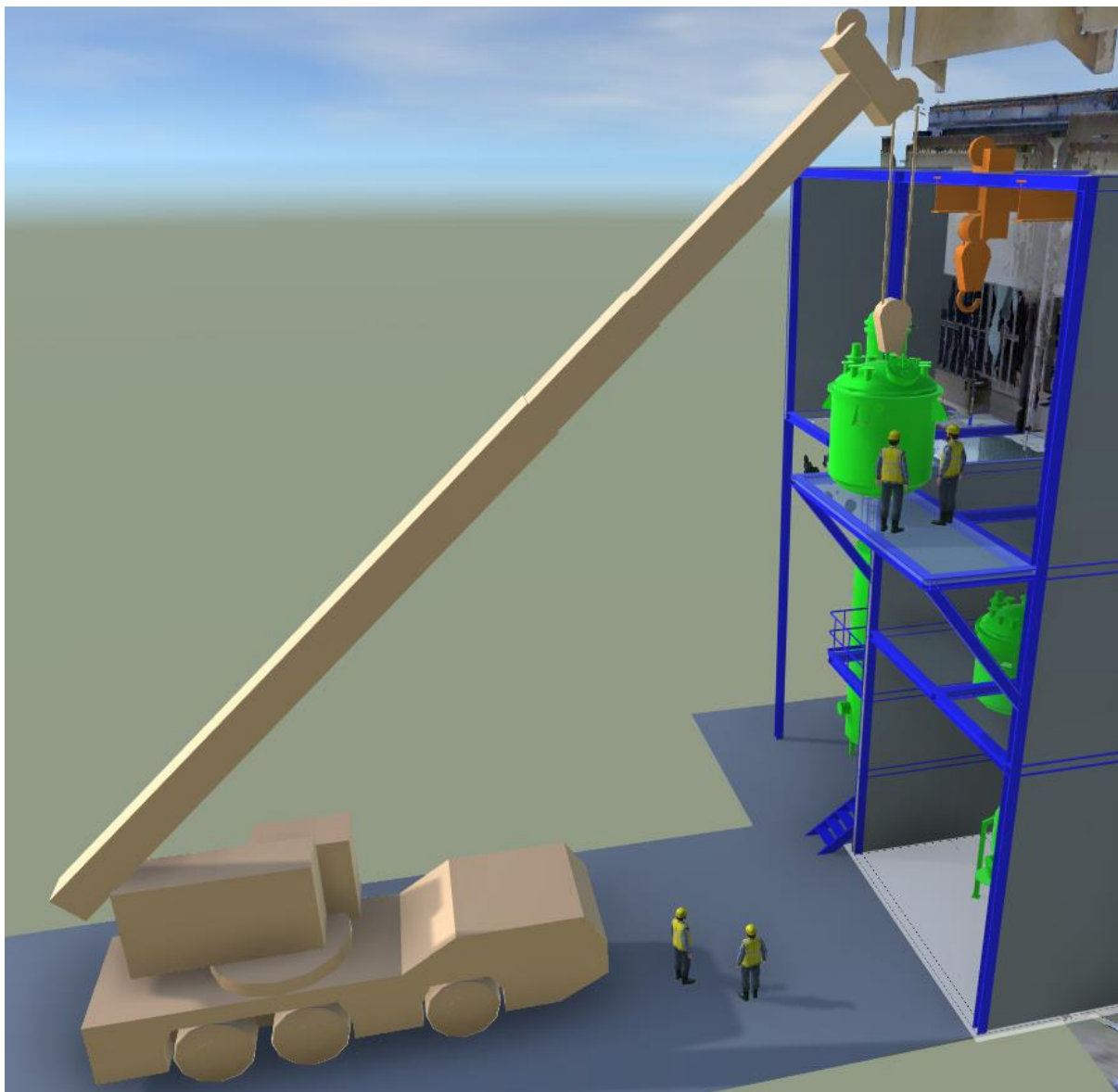
<b>Aktivnost</b>	<b>Dozvoljeno trajanje, minuta</b>
<b>Pričvršćivanje reaktora na kamionsku dizalicu</b>	20
<b>Podizanje reaktora na platformu kamionskom dizalicom</b>	20
<b>Skidanje reaktora s kamionske dizalice</b>	10
<b>Pričvršćivanje reaktora na stropnu dizalicu</b>	10
<b>Spuštanje reaktora na mjesto za montažu</b>	15
<b>Ukupno trajanje</b>	75

Proces započinje dolaskom dizalice i pričvršćivanjem reaktora na dizalicu. Ubačeni su avatari kako bi se dobili odnosi veličina čovjeka, reaktora i dizalice. Slika 62. prikazuje pričvršćivanje reaktora.



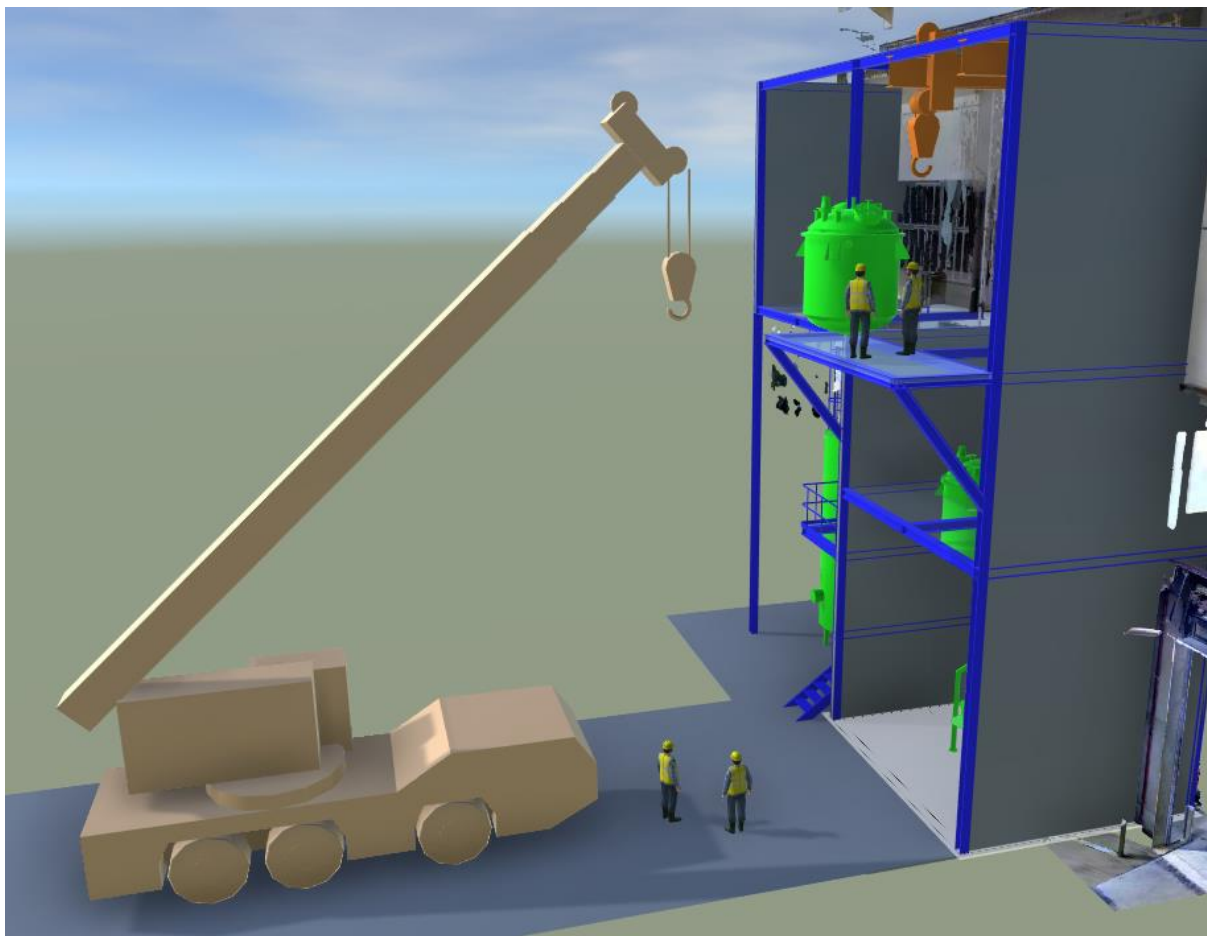
**Slika 62. Pričvršćivanje reaktora na kamionsku dizalicu**

Zatim se reaktora dizalicom podiže na platformu za odlaganje gdje ga radnici skidaju s dizalice. Slika 63. prikazuje odlaganje i skidanje reaktora s dizalice.



**Slika 63. Skidanje reaktora s kamionske dizalice**

Kako je simulacija rađena u sklopu konceptualnog dizajna, nije pridavana pažnja detaljima poput podloge za odlaganje reaktora pa se čini kao da on lebdi u zraku – u stvarnosti bi se njega osiguralo od pada. Dizalica se zatim vraća u početni položaj i njen je posao završen. Zadatak je uspješno obavljen unutar jednog sata najma kamionske dizalice. Slika 64. prikazuje povratak dizalice u početni položaj, a slijedi premještanje reaktora na mjesto za prihvata dizalice koja se nalazi u zgradi.



**Slika 64. Povratak kamionske dizalice u početni položaj**

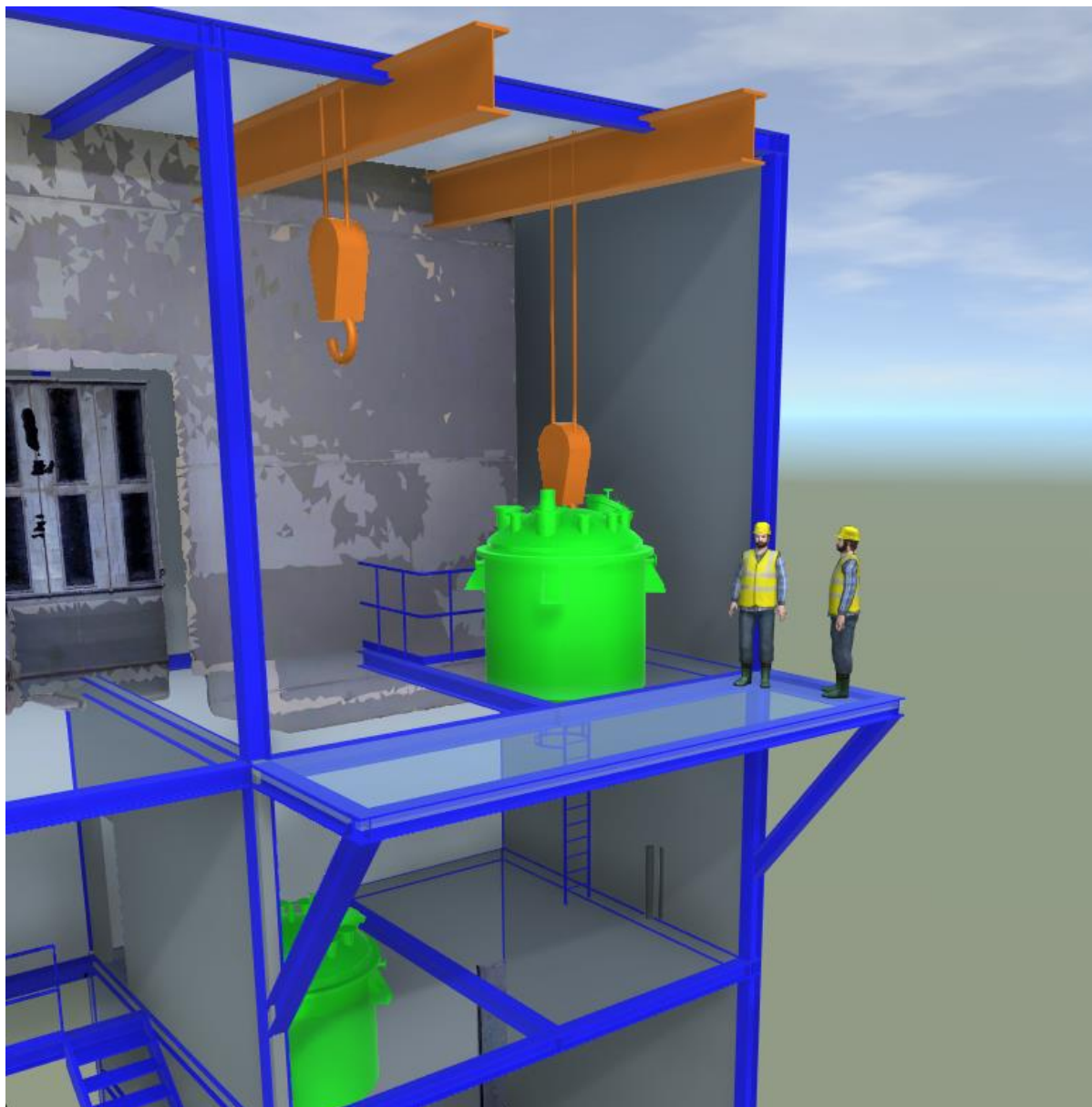
Sljedeći korak jest pričvršćivanje reaktora na dizalicu u zgradi. Radnici pričvršćuju dizalicu i ona odvozi reaktor unutar zgrade (Slika 65.).





**Slika 65. Pričvršćivanje reaktora na stropnu dizalicu**

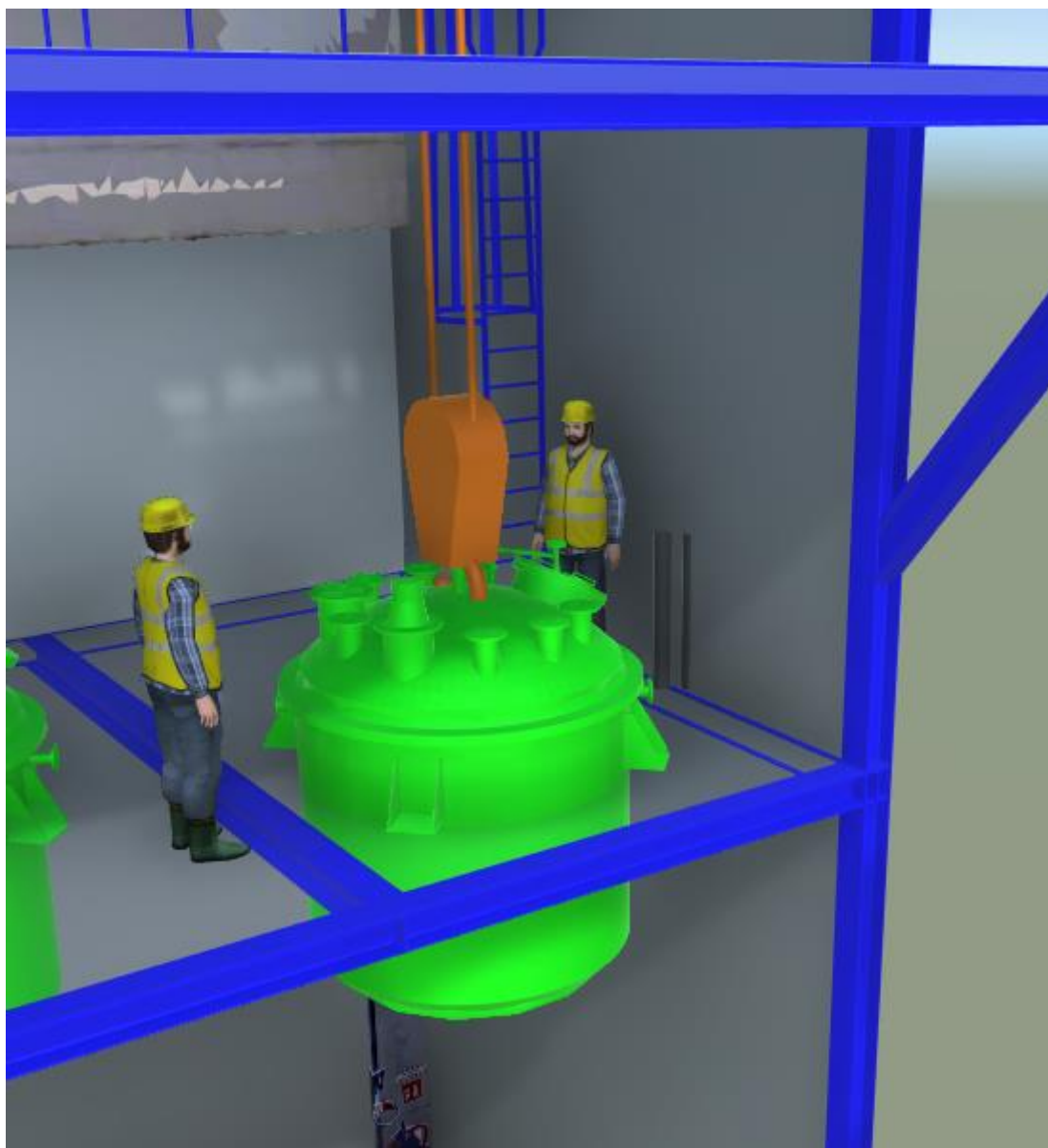
Dizalica zatim odvozi reaktor unutar zgrade i spušta ga na predviđeno mjesto za montažu. Slika 66. prikazuje spuštanje reaktora kroz zgradu na prvi kat.



**Slika 66. Spuštanje reaktora**

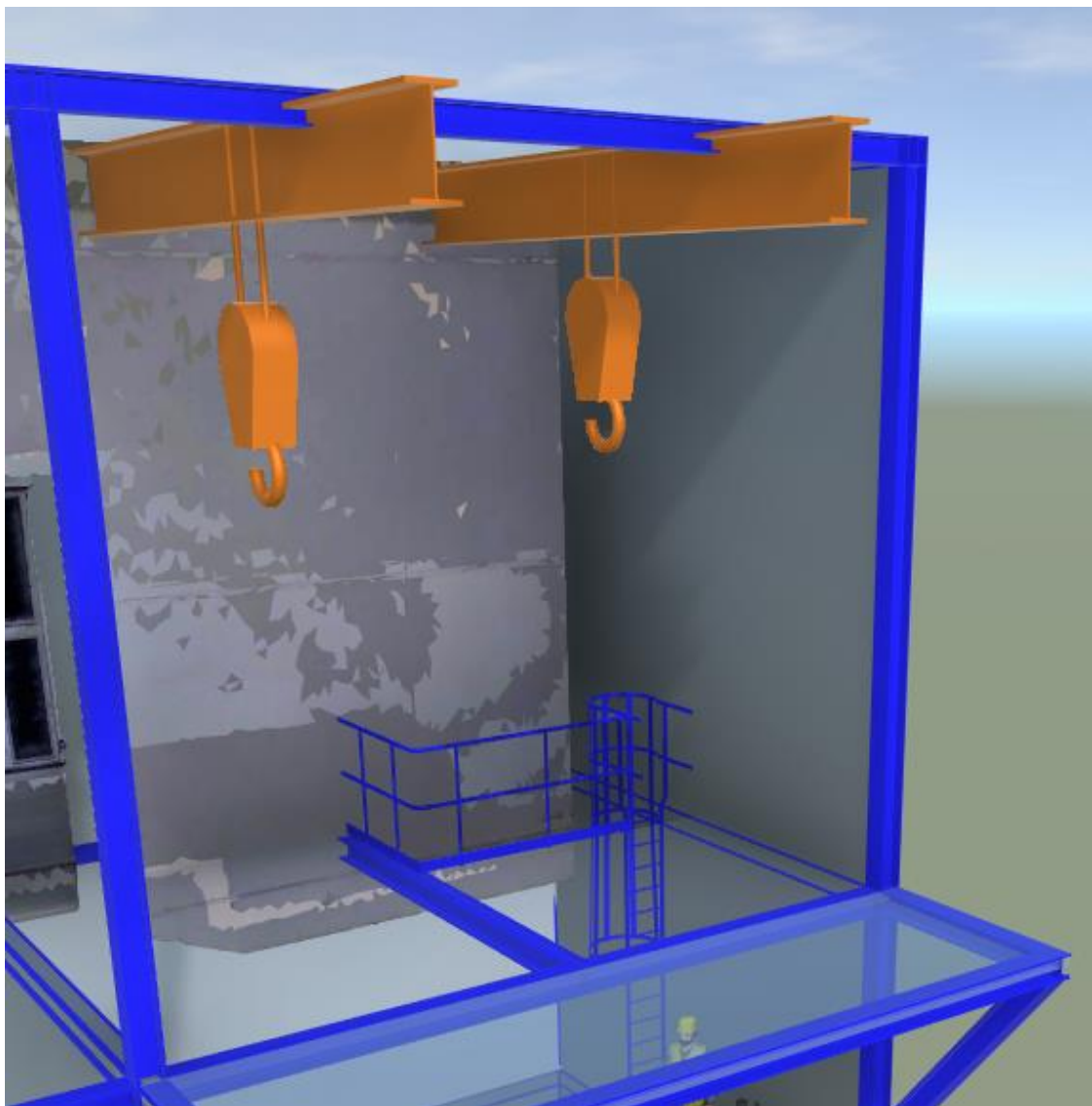
Slika 67. prikazuje završni korak procesa montaže, a to je skidanje reaktora sa stropne dizalice.

Dizalica se zatim vraća u početni položaj (Slika 68.).



**Slika 67. Skidanje reaktora sa stropne dizalice**





**Slika 68. Povratak desne stropne dizalice u početni položaj**

## 6. ZAKLJUČAK

Današnje vrijeme karakterizirano je vrlo izraženom težnjom i potrebom za brzim i efikasnim načinom obavljanja poslova. Sagledavajući i prošlost, na to su oduvijek presudan utjecaj imale industrijske revolucije, pa tako suvremena četvrta industrijska revolucija donosi automatizaciju povezanu s autonomnim sustavima i strojnim učenjem, s posljedicama ne samo na razini fizičkih proizvodnih procesa već i na razini intelektualnog rada njihovog osmišljavanja – projektiranja.

U projektiranju svih industrijskih postrojenja, a tako i energetskih i procesnih, pojavljuju se, pored ostalih, još izraženije potrebe i stroži zahtjevi za optimiranjem dostupnog prostora i brzim obavljanjem posla u svrhu ostvarenja profita i efikasne proizvodnje.

Projektiranje energetskih i procesnih postrojenja zahtjevan je inženjerski posao koji iziskuje mnogo znanja, iskustva, strpljenja, planiranja i optimiranja. Suvremene digitalne tehnologije i softverska podrška projektiranju u sklopu pristupa i metodologija projektiranja, kao što je integrirano (istodobno) inženjerstvo, omogućuju sve detaljniji i efikasniji inženjerski rad projektiranja, u kojem se rezultati projektnog rada mogu sagledavati i po potrebi mijenjati mnogo prije bilo kakve fizičke materijalizacije postrojenja i njegove opreme.

Ovaj je rad proistekao iz suradnje s projektantskom tvrtkom, tijekom koje se od posebne važnosti pokazalo razmotriti i unaprijediti početnu fazu projektiranja postrojenja – konceptualno oblikovanje (dizajn) postrojenja. Za efikasniju provedbu konceptualnog dizajna, osmišljen je katalog u softveru Universal Plant Viewer (UPV). Katalog sadrži i omogućuje stvaranje i predstavljanje projektnog rješenja postrojenja kao modela u obliku digitalnog blizanca. Katalog, tako dostupan u softveru, služi projektantima pri njihovom radu, a također je važan jer može poslužiti ne samo tijekom prezentacije klijentu, nego i za olakšane preinake na licu mjesta sukladno njegovim zahtjevima. Također, prilikom projektiranja postrojenja treba

imati u vidu montažu, ali i kasnije demontaže radi održavanja i zamjene dijelova postrojenja. U radu je razrađen problem montaže reaktora na prvi kat zgrade. Prilikom montaže potrebno je demontirati zid i montirati platformu za odlaganje. Za svaku aktivnost predviđeno je vremensko trajanje. Reaktor se najprije kamionskom dizalicom podiže na platformu, a zatim se stropnom dizalicom unosi u zgradu i spušta na mjesto na kojem će se montirati. Kamionska dizalica je unajmljena na jedan sat te je njen posao obavljen u zadanom vremenskom okviru od 50 minuta. Ostale aktivnosti mogle su imati fleksibilnije vremenske okvire. Posao sa stropnom dizalicom završen je za 25 minuta. Nakon toga preostaje još učvrstiti reaktor i montirati cijevi koje se spajaju na njega. Na kraju je napravljen video koji prikazuje čitav proces montiranja reaktora.

Dakle, novim katalogom omogućeno je njegovom korisniku – projektantu, da lako prikaže konceptualni dizajn prilikom sastanka s klijentom. U budućnosti bi se to moglo razvijati u smjeru eksportiranja konceptualnog dizajna iz softvera UPV kao datoteke koju podržava softver AVEVA E3D. Tako bi se osnovne ideje napravljene u UPV-u prilikom sastanka mogle jednostavno ubaciti u softver AVEVA i s njima bi se odmah moglo raditi, odnosno ne bi se gubilo vrijeme na *precrtavanje* nečije ideje iz jednog softvera u drugi. Time bi se značajno uštedilo vrijeme potrebno za prijenos informacija. Ljudima se sviđaju i prijemčivi su za vizualizacije i nova tehnološka rješenja, a izrada konceptualnog dizajna u softveru Universal Plant Viewer je upravo to – klijentu se nudi prikaz budućeg postrojenja u laserski skeniranom stvarnom okruženju. Na taj su način vidljivi zahtjevi budućeg postrojenja i moguće je uočiti potencijalne probleme još u ranoj fazi projektiranja. Također, tvrtka time nudi inovaciju na tržištu, a napravljeni katalog ima potencijal implementacije u osnovnu inačicu softvera.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://upkeep.com/learning/four-industrial-revolutions/#fourth-industrial-revolution:-internet-and-renewable-energy-in-2000>; pristupljeno 2024-01-13
- [2] <https://tim4-industrija40.blogspot.com/2019/04/nova-industrijska-revolucija.html>; pristupljeno 2024-01-13
- [3] Z. Kunica, *Projektiranje proizvodnih sustava*, predavanja e-učenje, ak.god. 2023./2024., FSB Zagreb; pristupljeno 2024-01-13
- [4] <https://innoveva.com/>; pristupljeno 2024-01-20
- [5] <https://www.aveva.com/>; pristupljeno 2024-01-20
- [6] <https://www.caxperts.com/>; pristupljeno 2024-01-20
- [7] <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/conceptual-design/>; pristupljeno 2024-02-17
- [8] <https://bioengineering.ch/engineering-design/conceptual-desgin>; pristupljeno 2024-02-17
- [9] <https://medium.com/@hafizahmedshoaib/teamwork-and-its-importance-8153ff1d3c1e>; pristupljeno 2024-02-17
- [10] <https://www.concurrent-engineering.co.uk/what-is-concurrent-engineering>; pristupljeno 2024-02-18
- [11] <https://discover.3ds.com/catia-virtual-twin-electrical-systems-design-process-continuity>; pristupljeno 2024-02-18
- [12] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DS-CATIA-Logo.png>; pristupljeno 2024-02-18
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=bdtW9Pvz3k>; pristupljeno 2024-03-09
- [14] <https://www.piping-world.com/what-is-piping-engineering-and-design>; pristupljeno 2024-03-09

- [15] <https://www.asme.org/codes-standards/about-standards>; pristupljeno 2024-03-10
- [16] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209580991830612X>;  
pristupljeno 2024-03-10
- [17] [https://www.researchgate.net/figure/Large-Scale-Cyber-Physical-Systems-Components\\_fig1\\_300125823](https://www.researchgate.net/figure/Large-Scale-Cyber-Physical-Systems-Components_fig1_300125823); pristupljeno 2024-03-22
- [18] <https://www.alfraconsulting.eu/digitalization-in-manufacturing-processes/>;  
pristupljeno 2024-03-22
- [19] <https://www.on-trak.com/24.laser>; pristupljeno 2024-04-06
- [20] <https://www.lucidchart.com/pages/process-flow-diagrams>; pristupljeno 2024-04-06
- [21] <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1915161&seqNum=2>;  
pristupljeno 2024-04-06
- [22] <https://cadvizor.com/optimizing-design-process-through-concurrent-engineering/>;  
pristupljeno 2024-04-06
- [23] [https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens\\_NX](https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens_NX); pristupljeno 2024-04-06
- [24] <https://www.aveva.com/en/about/about-aveva/>; pristupljeno 2024-04-06
- [25] <https://www.iso.org/about-us.html> ; pristupljeno 2024-04-22
- [26] Seán Moran, *Process Plant Layout*; pristupljeno 2024-04-22
- [27] <https://www.reliableplant.com/Read/31897/digital-twins-ai> ; pristupljeno 2024-01-13
- [28] [Što je to Revit®? - engipedia](#), pristupljeno 2024-04-22
- [29] <https://www.blender.org/about/>
- [30] BSI Standards Publication, Metal industrial piping; pristupljeno 2024-04-25
- [31] <https://www.cencenelec.eu/european-standardization/european-standards/> ;  
pristupljeno 2024-04-29

## **PRILOG**

### **Prilog 1. Dijagram toka procesa (PFD) modeliranog procesnog postrojenja**

