

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni študij gradbeništva,  
Konstrukcijska smer

Kandidat:

**Miha Krečič**

# **ODPRAVLJANJE NESKLADIJ PROJEKTNE DOKUMENTACIJE Z UPORABO INFORMACIJSKIH MODELOV STAVB**

**Diplomska naloga št.: 3119**

**Mentor:**

doc. dr. Primož Banovec

**Somentor:**

viš. pred. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 2010

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **MIHA KREČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**»ODPRAVLJANJE NESKLADIJ PROJEKTNE DOKUMENTACIJE Z UPORABO  
INFORMACIJSKIH MODELOV STAVB«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem pravicam iz dela za potrebe fakultete FGG.

Ljubljana, 14.6.2010

Podpis:

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

## **BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>004.6:65.012.2:659.2:69(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Miha Krečič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Primož Banovec</b>
<b>Somentor:</b>	<b>Viš. pred. dr. Tomo Cerovšek</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Odpravljanje neskladij projektne dokumentacije z uporabo informacijskih modelov stavb</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>78 str., 15 pregl., 38 sl., 25en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>geometrija, neskladja, gradbeništvo, BIM, MEP modelirnik, avtomatsko zaznavanje neskladij, odpravljanje neskladij,</b>

### **Izveček**

Diplomsko delo obravnava problematiko odpravljanja neskladij v projektni dokumentaciji s pomočjo informacijskih modelov stavb. Digitalizacija projektne dokumentacije se že dalj časa uveljavlja, saj nudi učinkovitejšo inženirsko komunikacijo. Odločujočo novost pa predstavlja izmenjava projektne dokumentacije s pomočjo informacijskih modelov stavb. Bistvo diplome obravnava neskladja med arhitekturo, konstrukcijo ter drugimi sistemi stavb (na primer: strojne, elektro inštalacije) ter možnosti njihovega natančnega načrtovanja s pomočjo MEP- modelirnikov. Napreden pristop, ki omogoča odkrivanje neskladij, se imenuje zaznavanje kolizij (*angl. collision detection*). S tem orodjem in s pomočjo uporabe tehnologij konstruktivne geometrije (*angl. Constructive Solid Geometry* ali *CSG*) lahko avtomatsko določimo morebitna neskladja v projektni dokumentaciji, jih analiziramo, popravljamo ter tako bistveno zmanjšamo stroške projekta. Informacijski modeli stavb omogočajo analizo detajlov v 2D- in 3D- pogledih; tako so možnosti za nepredvidene oslabitve v konstrukcijskem sistemu zaradi neskladij v projektni dokumentaciji minimalne. V diplomskem delu so predstavljene prednosti in osnove za razumevanje celotne problematike neskladij, ki so prikazane tudi na praktičnem primeru.

## **BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDC:</b>	<b>004.6:65.012.2:659.2:69(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Miha Krečič</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Assist. prof. Primož Banovec</b>
<b>Co-Supervisor:</b>	<b>Sen. Lect. Tomo Cerovšek</b>
<b>Title:</b>	<b>Management of inconsistencies in project documentation supported by building information modeling</b>
<b>Notes:</b>	<b>78 p., 15 tab., 38 fig., 25 eq.</b>
<b>Key words:</b>	<b>geometry, collisions, civil engineering, BIM, MEP modeler, automatic collision detection, clash detection</b>

### **Abstract**

The thesis deals with the issue clash detection supported by building information modeling. Digitization of the project documentation has been exercised now for a long time, to provide effective communication with the engineers. An essential novelty of the exchange of project documents represent the use of building information models. The essence of this graduating thesis is the treatment of collisions between architecture, construction and other mechanical, electrical and plumbing systems and the possibilities for detailed design options through MEP modelers. Progressive approach, which allows the detection of inconsistencies is called collision detection. The tools and technologies use *Constructive Solid Geometry* (CSG) to automatically identify potential inconsistencies in the project documentation, so that the models can be analyzed, corrected, and the cost of the project substantially reduce. Building information models allow an analysis of details in 2D and 3D views, so the potential for unexpected mistakes and changes in the structural system design documentation are minimal. The thesis gives an overview of the advantages and provides the bases for understanding of the problem of collision detection in project documentation.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri izdelavi diplomskega dela se iskreno zahvaljujem somentorju viš. pred. Tomu Cerovšku in mentorju doc. dr. Primožu Banovcu.

Zahvaljujem se tudi družini, sorodnikom, puncu in prijateljem za vso podporo in razumevanje v času študija.



## KAZALO VSEBINE

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Opis problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Namen in cilj.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Metode dela.....</b>	<b>4</b>
<b>2. TEORETIČNE OSNOVE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Geometrija 2D .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Podajanje geometrije 2D .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Presečišča v 2D .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Geometrija 3D .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1 Podajanje 3D geometrije .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2 Presečišča v 3D .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Animacije .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1 Podajanje geometrije v odvisnosti od časa .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2. Presečišča geometrij v odvisnosti od časa .....</b>	<b>20</b>
<b>3. NESKLADJA V PROCESU GRADITVE.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Procesi v gradbeništvu.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Vzroki neskladij v projektni dokumentaciji.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Posledice neuskrajene projektne dokumentacije.....</b>	<b>34</b>
<b>4. ODPRAVLJANJE NESKLADIJ .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Zaznavanje kolizij v računalniških programih.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Odpravljanje neskladij z orodji BIM.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3 Ekonomičnost avtomatskega zaznavanja neskladij.....</b>	<b>44</b>
<b>5. PRIMER UPORABE.....</b>	<b>49</b>



<b>5.1 Predstavitev projekta.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1.1 Lokacija in opis objekta .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1.2 Pridobljena projektna dokumentacija .....</b>	<b>50</b>
<b>5.2 Izdelava informacijskega modela stavbe .....</b>	<b>54</b>
<b>5.2.1 Uporaba informacijskega MEP-modeliranika.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2.2 Odpravljanje neskladij med modeli .....</b>	<b>64</b>
<b>5.3 Analiza in diskusija odpravljanja neskladij študije primera .....</b>	<b>68</b>
<b>5.3.1 Tehnični ukrepi odpravljanja neskladij .....</b>	<b>68</b>
<b>5.3.2 Primer stroškovne analize odpravljanja neskladij .....</b>	<b>71</b>
<b>6. ZAKLJUČEK.....</b>	<b>73</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>75</b>
<b>PRILOGE .....</b>	<b>78</b>
<b>Priloga A : Prikaz lokacije objekta</b>	
<b>Priloga B: Načrt tlorisa temeljev objekta</b>	
<b>Priloga C: Prečni prerez objekta v osi C-C</b>	
<b>Priloga D: Vzdolžni prerezi objekta v osi D-D</b>	

## KAZALO SLIK

Slika 1: Različne predstavitve z ovojnico kocke .....	13
Slika 2: Primer podatkovne strukture .....	13
Slika 3: Dve kocki, temnejša leži popolnoma znotraj svetlejše.....	15
Slika 4: Prikaz določevanja ali točka leži v trikotniku .....	16
Slika 5: Prikaz algebraičnega določevanja presečišča med žarkom in ravnino.....	16
Slika 6: Prikaz algebraičnega določevanja ali točka leži v trikotniku .....	16
Slika 7: Presečni test krogle z kroglo.....	17
Slika 8: Struktura algoritma .....	22
Slika 9: Sferična aproksimacija .....	23
Slika 10: Glavni koraki strategije .....	24
Slika 11: Prikaz večkratnega interferenčnega testa .....	25
Slika 12: Prikaz gibnih volumnov.....	26
Slika 13: Ekstrudiranje.....	27
Slika 14: Vpliv sprememb v fazah na stroške proizvoda.....	31
Slika 15: Prikaz zaporednega ali serijskega pristopa.....	31
Slika 16: Prikaz skladnega ali sistematičnega pristopa.....	32
Slika 17: Macleamy – Tibbett-krivulja .....	33
Slika 18: Prikaz neskladij elementov inštalacij z arhitekturo in med seboj.....	37
Slika 19: Prikaz nekaterih arhitekturnih podlog .....	50
Slika 20: Obseg vodovodnega in komunalnega sistema v projektni dokumentaciji .....	51
Slika 21: Prikaz prebojev za MEP in ostale inštalacijske sisteme .....	52
Slika 22: Označevanje prebojev v projektni dokumentaciji .....	53
Slika 23: Prikaz BIM-modela arhitekture v različnih 3D-pogledih.....	55

Slika 24: Prikaz žičnega informacijskega modela zgradbe.....	55
Slika 25: Konceptualna zasnova osnovnih aplikacij MEP-modeliranja .....	56
Slika 26: Prikaz štirih glavnih MEP-kategorij v povezavi z MEP-inteligentnimi razvodi.....	57
Slika 27: Prikaz treh kategorij za redefiniranje geometrije MEP-elementov .....	58
Slika 28: Knjižnica elementov .....	59
Slika 29: Prikaz inštalacijskega sistema vodovodnih in komunalnih elementov .....	60
Slika 30: 3D prikaz HVAC-sistema.....	61
Slika 31: Prikaz elektroinštalacijskega sistema v 3D .....	62
Slika 32: Prikaz vseh MEP-sistemov v 2D- in 3D-pogledih .....	63
Slika 33: Prikaz uporabe aplikacije avtomatskega zaznavanja neskladij .....	64
Slika 34: Seznam neskladij (desno) in paleta orodij Mark-up Tools (levo) .....	65
Slika 35: Lokalizacija neskladij .....	66
Slika 36: Prikaz palete ukazov konstruktivne geometrije.....	67
Slika 37: Prikaz stroškov posamezne vrste del .....	71
Slika 38: Prikaz deleža stroškov posameznih elektroinštalacij.....	72

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Poglavitne projektne dokumentacije.....	2
Preglednica 2: Pregled načrtov, študij in elaboratov .....	2
Preglednica 3: Presečišča nekaterih geometrij v 2D.....	9
Preglednica 4: Platonska telesa.....	11
Preglednica 5: Topološki elementi s pripadajočimi geometrijskimi elementi.....	14
Preglednica 6: Prikaz nekaterih presečišč geometrij 3D med seboj in z geometrijami 2D .....	18
Preglednica 7: Razvrstitev algoritmov po značilnostih, zapisu in kategoriji.....	20
Preglednica 8: Seznam programov z avtomatskim zaznavanjem in odpravljanjem neskladij .....	43
Preglednica 9: Seznam programov za odkrivanje in vizualizacijo neskladij.....	44
Preglednica 10: Okvirni cenik za talno rezanje in stensko rezanje.....	46
Preglednica 11: Okvirni cenik za diamantno kronsko vrtnje .....	46
Preglednica 12: Stroškovna analiza neskladij pri projektu. ....	47
Preglednica 13: Notranje količine v plošči .....	70
Preglednica 14: Rekapitulacija stroškov za strojne inštalacije .....	71
Preglednica 15: Popis stroškov materiala in montaža elektroinštalacij.....	72

XIV Krečič, M. 2010. Odpravljanje neskladij projektne dokumentacije z uporabo informacijskih model stavb.  
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Konstrukcijska smer.

---

## **1. UVOD**

Gradbeništvo velja za eno starejših panog. Moderno gradbeništvo se po uporabljenih materialih, tehnologiji in organizaciji del precej razlikuje od tistega naših prednikov, tako naj bi bil tudi pristop k pripravi projektne dokumentacije za gradnjo času primeren. Zato so potrebni novi pristopi, ki omogočajo boljšo projektno dokumentacijo z manj neskladji, ki lahko povzročijo velike izgube časa in denarja.

Realizacija gradbenega projekta je pogosto kompleksen in nepredvidljiv proces, zato je bila v preteklosti izdelava popolne in usklajene projektne dokumentacije praktično nemogoča, saj tedanja tehnologija tega ni omogočala, poleg tega pa je bila kompleksnost gradbenih projektov na nižjem nivoju. Z razvojem naprednih, informacijsko podprtih, pristopov k problematiki neskladij projektne dokumentacije je mogoče številne pomanjkljivosti projektne dokumentacije sedaj prepoznati vnaprej in jih odpraviti. Razvoj na področju informacijske tehnologije je omogočil večjo konkurenčnost, kar szpodbuja nadaljnji razvoj in povpraševanje na trgu.

Komunikacija med vsemi udeleženi v gradbenem projektu ne bi smela biti prekinjena skozi celoten potek gradbenega projekta, saj lahko le s stalno komunikacijo vzpostavimo kakovostno delovanje in pretok informacij. Prav količina informacij in njihova kompleksnost sta privedla do razvoja informacijskih modelov stavb, ki omogoča boljše obvladovanje informacij o stavbi. Zato smo želeli na primeru prikazati problematiko in rezultat uporabe informacijskih modelov stavb za potrebe odpravljanja neskladij projektne dokumentacije.

### **1.1 Opis problema**

Glavni problem, ki ga obravnava diplomsko delo, je odpravljanje neskladij v projektne dokumentaciji. Ta obsega različne faze, ki vključujejo različno usposobljene udeležence, z različnimi mnenji, opravljajo različna opravila, imajo različne zadolžitve in interese v okviru projekta, kar pogosto vodi do nesoglasij ali neskladja med projektanti in tudi med deli dokumentacije, ki se uporabljajo za izvedbo. Zato je zelo pomembno, da se projektne dokumentacije med celotnim procesom izdeluje konsistentno, se preverja in dopolnjuje, saj so

lahko posamezni deli načrtov (po strokah) skladni s predpisi, vendar nezadostno usklajeni. Nadalje, gradbeni, strojni, elektro in ostali sistemi se lahko v okviru projektiranja precej spreminjajo tudi neodvisno drug od drugega.

Čas je zelo pomemben dejavnik pri končnem finančnem stanju projekta, saj so lahko zamude zaradi neskladij projektne dokumentacije zelo velike in stroški, povezani s tem, ogromni. Zato je pravočasno odkrivanje in reševanje napak ključnega pomena, da ne pride do večjih zapletov na delih projekta, ki bi lahko pomenili znatno podražitev izvedbe. Take napake gredo v finančno breme projekta, in jih je treba pokriti.

Usklajenost delovanja vseh udeležencev v projektu omogoča nadzorovan proces od idejne zasnove do zaključnih del in predaje objekta v uporabo, kar pa ni lahko doseči. Vsi skupaj, morajo na koncu zagotoviti vsem standardom, kar je dokumentirano v projektne dokumentaciji. Sestavni deli projektne dokumentacije so prikazani v preglednici 1. Prav tako sem spadajo tudi dobri načrti, študije in elaborati, ki jih podajamo v preglednici 2.

Preglednica 1: Poglavitne projektne dokumentacije

Idejna zasnova (IDZ)	Projekt za izvedbo (PZI)
Idejni projekt (IDP)	Projekt izvedenih del (PID)
Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD)	Projekt za vzdrževanje in obratovanje (POV)

Preglednica 2: Pregled načrtov, študij in elaboratov

arhitektura	tehnični elaborati
gradbene konstrukcije	opažni načrti
strojne inštalacije in strojna oprema	statični izračuni
električne instalacije in električna oprema	popolnost načrtov in usklajenost z veljavnimi predpisi,
geodetske načrte	pozicije, dispozicije in drugi karakteristični detajli,
gradbena fizika	armaturni načrti,
geološko geomehansko poročilo	načrti odrov,
popisi del	delavniški načrti konstrukcij,
varnostni načrt	konstruktivna obdelava detajlov in stikov,
študija požarne varnosti	kontrola projekta montaže.

Trg narekuje razvoj tehnologij, med katere sodijo tudi rešitve za avtomatsko odpravljanje neskladij v projektni dokumentaciji, kar kaže tudi odziv strokovnjakov s področja informacijske tehnologije. Sodelovanje med arhitektom, gradbenikom in investitorjem ter ostalimi prisotnimi v projektu zahteva precejšnjo urejenost, doslednost, organiziranost, premišljenost in inovativnost, kajti vsak gradbeni objekt se izvede na isti lokaciji samo enkrat. Zato je potreben čimbolj dinamičen pristop k celotnemu projektu, od začetka do konca.

Problematika zaznavanja kolizij ali neskladij med dvema ali več geometrijskimi elementi ima bistveno vlogo pri računalniških animacijah, računalniškem modeliranju realnih sistemov, pri molekularnem modeliranju, računalniških simulacijah, v virtualnih okoljih in pri načrtovanju gibanja. Potreben je geometrijski sistem, ki lahko zazna potencialne dotike in določi natančne točke kolizij med modeli v različnem okolju. Zaznavanje kolizij je tudi integriran del mnogih novih tehnoloških orodij, ki zahtevajo temeljito testiranje okolja tisočih geometrijskih delov, katerih gibanje temelji na principih fizike.

Zaznavanje kolizij je nujno potrebna komponenta teh okolij. Novejše področje, kjer se uporablja zaznavanje kolizij, je navidezna resničnost. Učinkovitost algoritma za zaznavanje kolizij je torej nepogrešljivi del interaktivnega, realistično navideznega okolja. Enostavne akcije, kot je na primer dotikanje, vsebuje izračune geometrijskih kontaktov. Prav geometrijska zapletenost opisa površine, volumna, roba ali točke presečišča geometrijskih oblik med seboj lahko predstavlja velik problem. Sposobnost računalniških programov je, da lahko v njih lokaliziramo morebitna neskladja, si jih natančno ogledamo v virtualnem okolju in prav tako tudi tam odpravimo težavo.

Odpravljanje neskladij v projektni dokumentaciji obsega študijo odkrivanja in usklajevanja načrtov. Zato uporaba informacijskih modelov stavb nudi ustrezno orodje za preverjanje skladnosti rešitev strok pri realnem gradbenem projektu. Večina neskladij v projektni dokumentaciji se v končni fazi pokaže v dodatnem delu, izgubi materiala in dodatnem času, ki je potreben, da se odpravi neskladje. Problem odpravljanja neskladij lahko z uporabo različnih sodobnih prijemov zmanjšamo do tolikšne mere, da se znanje, uporabljeno za ta namen, krepko izplača.



## **1.2 Namen in cilj**

Namen diplomskega dela je prikazati način zaznavanja in lociranja neskladij v projektni dokumentaciji s pomočjo računalniških programov. Spoznati njihovo delovanje, odzivnost, primernost za potrebe praktične uporabe, za dokumentiranje in beleženje neskladij. Preučiti želimo uporabo programskih paketov, ki so med seboj kompatibilni, in omogočajo digitalno analizo načrtov in neskladij.

Cilj odkrivanja neskladij je avtomatska identifikacija geometrijskega stika, ki se lahko pojavi v materialni obliki. Namen je vzpostaviti interdisciplinarnost in multidisciplinarnost na višjo raven, za izboljšavo življenjskega cikla izvedenega projekta. Cilj je tudi vizualno natančno določiti obseg in pozicijo posameznega neskladja ter primerno pristopiti k reševanju problema in zbrati čimveč podatkov o projektu na enem mestu, da se ohrani preglednost načrtov različnih strok in se smotrno uporabi programska opremo. Ovrednotiti smo želeli vplive neskladij na oslabitve prerezov konstrukcijskih elementov in potrebne ukrepe ter zmanjšati možnosti nastanka neskladij, kar je bistvenega pomena za uspešno realizacijo projekta. Ugotoviti smo želeli prednosti in slabosti računalniško podprtega pristopa k odpravljanju neskladij.

## **1.3 Metode dela**

Metode dela, ki sem jih uporabljal, so bile tako teoretične kot tudi praktične narave. Za teoretični del diplomskega dela sem preučil domače in tuje vire, ki so obsegali problematiko odpravljanja neskladij projektne dokumentacije z uporabo informacijskih modelov stavb. Za ustrezno študijo problema sem bil primoran veliko znanja iskati po spletu, saj do sedaj pri nas o tem ni bilo veliko napisanega.

Pri izdelavi diplomskega dela sem moral pridobiti znanja računalniških programov za doseganje večje učinkovitosti v gradbeništvo. Računalniške modele in aplikacije v virtualnem okolju računalniških programov sem izdelal s pomočjo učenja preko spleta. Programska opremo sem pridobil od ponudnika Graphisoft v študentski verziji, ki omogoča uporabo vseh potrebnih orodij in aplikacij za potrebo diplomskega dela. Prikazana je tudi analiza konkretnega primera in smernice za nadaljni razvoj reševanja obravnavane problematike.

## **2. TEORETIČNE OSNOVE**

Za natančno razumevanje problematike neskladij projektne dokumentacije in odpravljanje z uporabo informacijskih modelov stavb, moramo predstaviti nekaj teoretičnih osnov iz geometrije in računalništva.

Neskladja projektne dokumentacije se odražajo v različnih problematikah, med katere sodijo tudi geometrijska neskladja, podrobneje presečišča med elementi stavbe v ravnini in v prostoru ter tudi v odvisnosti od časa. Geometrija (kot znanstvena veja matematike) obravnava tudi relevantna področja predočanja likov in teles ter njihove medsebojne odnose.

### **2.1 Geometrija 2D**

#### **2.1.1 Podajanje geometrije 2D**

Osnovni element vsake geometrije je točka, ki nima dimenzije. Geometrijski elementi v ravnini se lahko sestavljajo iz točk naprej v sledeče glavne geometrijske oblike:

- črta (premica, daljica, krivulja, poltrak) in
- geometrijski liki (krogi, krožnice, trikotniki, mnogokotniki, itd.).

Črta je v splošnem zvezna množica točk. V geometriji imenujemo neskončno dolgo nanizano množico točk premica. Skupina dotikajočih se točk na premi črti med dvema točkama je daljica.

Definicija geometrijskega lika je poljubna strnjena (kompaktna) ravninska množica točk, ki je omejena s sklenjeno krivuljo ali lomljeno črto. Zato imajo vse daljice znotraj likov poleg razdalje, orientacije in naklona še dve zelo pomembni lastnosti, to sta obseg in ploščina.

2D-geometrijo lahko podamo na več načinov, in sicer implicitno in eksplicitno ali parametrično. Za ustrezno določevanje geometrij v 2D je treba definirati naslednje pojme:

**Koordinatni sistem** je matematično orodje, ki omogoča, da točke (in druge geometrijske objekte) zapišemo s števili, koordinatami. Poznamo več vrst koordinatnih sistemov, ki jih lahko uporabimo:

- kartezični ali pravokotni koordinatni sistem,
- polarni koordinatni sistem.

**Razdalja** je dolžina poti med dvema točkama. Je numerični opis, kako daleč v prostoru so telesa v poljubnem trenutku v času. Naj omenim, da se v relativistični fiziki razdalja med dvema dogodkoma v štirirazsežnem prostoru Minkowskega imenuje tudi razmik. Razdalja je eden osnovnih pojmov v geometriji.

V matematiki razdaljo med točkama  $A$  in  $B$  označimo  $|AB|$  ali  $d(A,B)$ . Če sta točki v ravnini podani s koordinatami:  $A(x_1, y_1)$   $B(x_2, y_2)$ , lahko razdaljo med njima izračunamo po formuli

$$|AB| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Za razdaljo veljajo naslednje osnovne lastnosti, ki jih imenujemo tudi aksiomi razdalje:

$|AB| \geq 0$  (razdalja je vedno pozitivna)

$|AB| = 0$ , če in samo če je  $A = B$

$|AB| = |BA|$  (simetričnost)

$|AB| \leq |AC| + |CB|$  (trikotniška neenakost –dolžina ene stranice v trikotniku je vedno manjša od vsote dolžin ostalih dveh stranic)

Ti aksiomi so v matematiki osnova za definicijo pojma metrike, ki pomeni posplošitev pojma razdalje in predstavlja eno izmed osnov evklidske geometrije. Elemente v ravnini lahko transformiramo in tako dobimo nove ravninske elemente, kar uporabljajo tudi računalniški programi.

**Premik ali translacija** je v matematiki preslikava, pri kateri se vse točke dane množice premaknejo za enako razdaljo v isti smeri. Pri tem nas zanima povezava med začetno in končno lego in celoten potek premikanja, zato lahko privzamemo, da ne gre vedno za premi

premik. Poseben primer translacije je premo gibanje, kjer so krivulje, po katerih se gibljejo deli telesa, premice.

Točka  $T(x,y)$  se preslika v točko  $T'$  s koordinatami

$$x' = x + a \text{ in}$$

$$y' = y + b.$$

Števili  $a$ ,  $b$  sta pri tem konstanti, ki skupaj sestavljata vektor premika  $(a,b)$ .

**Zasuk ali rotacija** je ena od osnovnih preslikav v geometriji in sodi med toge premike (preslikave, ki ohranjajo razdalje med točkami). V ravnini poznamo zasuk okoli točke, v prostoru pa zasuk okoli premice. V dvorazsežnem vektorskem prostoru (tj. v kartezični ravnini) lahko zasuk točke  $T(x,y)$  za kot  $\theta$  v pozitivni smeri okoli koordinatnega izhodišča zapišemo z matriko:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

To pomeni, da se točka  $T(x,y)$  preslika v točko  $T'$  s koordinatama:

$$x' = x\cos\theta - y\sin\theta$$

$$y' = x\sin\theta + y\cos\theta$$

S pomočjo osnovnih geometrijskih likov določimo kompleksnejše geometrijske oblike, ki jim lahko definiramo povsem novo geometrijo. V ravnini vsaka sklenjena krivulja, ki sama sebe ne seka, določa lik. Torej, če za poljubni točki lika velja, da je daljica, ki ju povezuje, podmnožica lika, je lik konveksen, sicer je konkaven (vbočen) oz. nekonveksen. Torej je večkotnik konkaven, če obstaja v njem ena daljica, ki ne leži vsa v večkotniku, čeprav vsebuje ta njeni krajišči.

Določevanje lastnosti presečišč poljubnih geometrijskih likov v eksplicitni in implicitni ali parametrični obliki lahko postane zapleteno in obsežno. Zato je kompleksnost problema določevanja presečišč 2D-geometrij predstavljena v naslednjem razdelku.

### 2.1.2 Presečišča v 2D

**Presečišče** (tudi sečišče) je v geometriji splošni izraz za skupno točko dveh geometrijskih množic; dveh premic, dveh krivulj, dveh ploskev, premice in ravnine, krivulje in ploskve ipd. Beseda *presečišče* je nadpomenka, ki zajema tudi naslednje posebne primere:

- dotikališče je presečišče, v okolici katerega se dani krivulji (ali ploskvi) dotikata;
- prebodišče je presečišče enorazsežne množice (premice, krivulje) in dvorazsežne množice (ravnine, ploskve);
- stičišče je presečišče, ki leži na skrajnem robu obeh danih množic. npr.: če imata dve daljici skupno krajišče, pravimo tej točki tudi stičišče daljic;

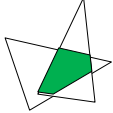
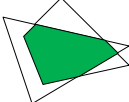
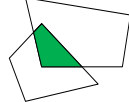
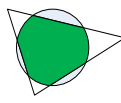
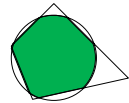
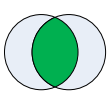
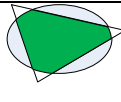
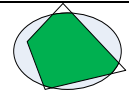
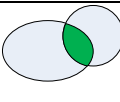
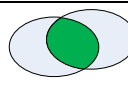

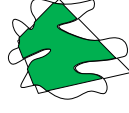
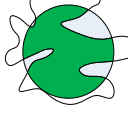
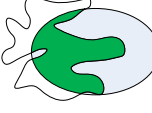

Pogosto se zgodi, da imata dve ploskvi (oz. ravnini) neskončno mnogo presečišč. Če ta presečišča sestavljajo krivuljo, jo imenujemo presečna krivulja, če sestavljajo premico, pa presečna premica ali presečnica. Presečišče v 0D je 0D osnovni geometrijski pojem, ki ga imenujemo točka. Lega točke v 2D je natančno določena z dvema kartezičnima koordinatama  $(x,y)$ ,  $(x,z)$  ali  $(y,z)$ . Rezultat presečišč geometrij v 1D je v večini primerov točka.

Pri določevanju presečišč krivulj z ostalimi geometrijami v 2D in med seboj, je lahko rezultat le točka ali črta.

Računanje presečišča grafov dveh funkcij  $y = f(x)$  in  $y = g(x)$  izračunamo tako, da izenačimo enačbi obeh funkcij:  $f(x) = g(x)$ . Rešitev dobljene enačbe je abscisa ( $x$ -koordinata) presečišča. Ordinato ( $y$  koordinato) presečišča dobimo tako, da izračunano absciso vstavimo v eno od enačb funkcij.

Za boljši pregled je v preglednici 3 navedeno nekaj od možnih presečišč geometrij v 2D.

Preglednica 3: Presečišča nekaterih geometrij v 2D

2D		I	II	III	IV	V	0D in 1D
Naziv		Točka	Daljica	Poltrak	Premica	Krivulja	
1	Trikotnik	 I, II 1,2	I	I	I	I	Točka
2	Mnogokotnik	 I, II 1,2	 I, II 1,2	I, II, III	I, IV	I, II,	Premica
3	Krog	 I, II, V 1,3,5	 I, II, V 2,3,5	 I, V 5	I, II, III	I, II, III	Daljica
4	Elipsa	 I, II 1,4,5	 I, II, V 2,4,5	 I, V 5	 I, V 5	I, II, III, IV	Poltrak
5	Poljuben lik	 I, II, V 1,2,3,4,5	 I, II, V 1,2,3,4,5	 I, II, V 1,2,3,4,5	 I, II, V 1,2,3,4,5	 I, II, V 1,2,3,4,5	Krivulja
		Trikotnik	Mnogokotnik	Krog	Elipsa	Poljuben lik	

## 2.2 Geometrija 3D

### 2.2.1 Podajanje 3D geometrije

**Prostor** je brezsnovna in neomejena entiteta, v kateri so telesa, kjer se lahko gibajo. V prostoru lahko podajamo vse geometrije 2D. Poleg tega imamo v prostoru še eno dimenzijo več na razpolago, kar nam omogoča kompleksnejše opredelitve geometrij v njihovem medsebojnem odnosu. Sedaj lahko pojme iz 2D-geometrije apliciramo na 3D-geometrijo.

**Geometrijsko telo** je v matematiki strnjen (kompakten) del trirazsežnega prostora, omejen s ploskvami. Telo definiramo kot omejeno, zaprto in povezano množico točk. Med pomembne lastnosti teles spadata zlasti površina in prostornina. Ploskve, ki omejujejo telo, imenujemo *mejne ploskve*. Unijo vseh mejnih ploskev imenujemo *površje* telesa. Stik dveh mejnih ploskev je krivulja (pogosto kar daljica), ki jo imenujemo *rob*. Stičišče robov se imenuje *oglišče*. Geometrijska telesa delimo v grobem na dve glavni skupini, in sicer na:

- **Oglata telesa ali poliedre**

Mejne ploskve poliedra so večkotniki. Pomembnejši poliedri so:


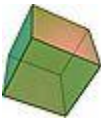



- prizme (kvader, kocka ),
- piramide,
- platonska telesa ( tetraeder, heksaeder, oktaeder, dodekaeder, ikozieder).

- **Okrogla telesa** (krogla, valj, stožec, elipsoid, rotacijsko telo ali vrtenina ).

Pri podajanju geometrije v 3D je zavzeto vso znanje, ki smo ga do sedaj obravnavali za podajanje geometrij v 2D. Poleg vseh zakonitosti, ki veljajo za 2D-geometrijo, je podajanje geometrije 3D še kompleksnejše in obsežnejše. Geometrijsko telo, katerega ploskve so pravilni večkotniki, in pri katerem se v vsakem oglišču stika enako število robov, se imenuje pravilni polieder.

**Platonsko telo** (ali **pravilno telo**) je konveksni polieder, katerega ploskve so med sabo skladni pravilni večkotniki z lastnostjo, da se v vsakem oglišču stika isto število ploskev. V preglednici 4 so padana Platonska telesa.

Preglednica 4: Platonska telesa

Ime in slika	Večkotnik ploskve	Ploskev	Robovi	Oglišča	Število ploskev, ki se stikajo v vsakem oglišču
Tetraeder 	Trikotnik	4	6	4	3
Kocka (heksaeder) 	Kvadrat	6	12	8	3
Oktaeder 	Trikotnik	8	12	6	4
Dodekaeder 	Petkotnik	12	30	20	3
Ikozaeder 	trikotnik	20	30	12	5

### Eulerjeva poliedrska formula

*Def.:* Naj bo  $O$  število oglišč,  $P$  število ploskev in  $R$  število robov poliedra. Za poljuben enostaven polieder velja:  $O + P - R = 2$ . Pri tem je enostaven polieder vsak tisti, ki bi ga bilo mogoče, če bi bil primerno prožen, z raztegovanjem preoblikovati oz. napihnuti v kroglo, ne da bi se pri tem na katerem koli mestu pretrgal. Potemtakem zagotovo niso enostavni tisti poliedri, ki imajo, denimo, kakšno »luknjo«, ali pa poliedri, ki so sestavljeni iz dveh ali več manjših poliedrov, ki se stikajo zgolj vzdolž enega samega roba. Eulerjeva poliedrska formula velja tudi za Platonska telesa, kar je seveda razumljivo, saj so ta zgolj podmnožica množice poliedrov. Za poliedre, ki niso pravilni, ta formula ne velja.



## Modeli predstavitve geometrije v 3D

V 3D-geometriji lahko posamezne lastnosti geometrij obravnavamo ločeno, in sicer po obsegu in zahtevnosti informacij, ki jih lahko definiramo. Modele geometrijskih teles lahko razvrstimo v naslednje kategorije:

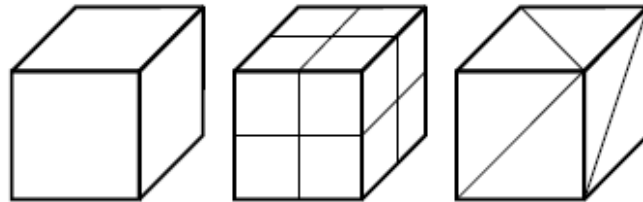
- Žični (*wireframe*) model:
  - 3D-daljice.
  
- Ploskovni (*surface*) model:
  - 3D-ploskve, ploskvice ali krive ploskve,
  - daljice se usmerijo tako, da skupaj obkrožijo ploskev.
  
- Volumski (*solid*) model:
  - mejni (zvari ploskve iz ploskovnega modela na skupnih robovih),
  - konstruktivni (zapletena telesa dobi z operacijami unija, presek, odštevanje),
  - *sweeping* (zapletena telesa dobi s pometanjem s preprostimi telesi),
  - model razdelitve prostora (razdeli prostor ter odstranjuje prazne dele, polne pa deli naprej do željene stopnje natančnosti).

Geometrijskemu modelu poleg geometrije (oblika in položaj) določimo še naslednje lastnosti:

- topologija (povezanost med objekti),
- dodatki (barva, material, teža),
- geometrija določa organizacijo podatkov v modelu.

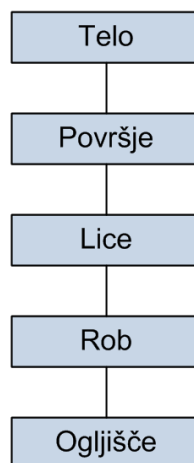
Za predstavitev telesa zadošča, da podamo njegovo površje. Pri predstavitvi z ovojnico (*boundary representation*, B rep) hranimo prav podatke o meji telesa oz. njegovem površju. Z unijo vseh lic telesa opišemo površje telesa. Lice je omejeno področje ploskve. Iz slike 1 vidimo, da je lice kocke omejeno področje ravne ploskve. Z ravnimi mejnimi robovi predstavimo ravno lice, medtem ko je predstavitev ukrivljenih lic zahtevnejše. Mejo objekta lahko razdelimo v lica, robove in oglišča na različne načine. Ker ne obstaja enolična

predstavitev z ovojnico, je predstavitev prepuščena razvijalcem. Slika 1 prikazuje različne predstavitve z ovojnico kocke.



Slika 1: Različne predstavitve z ovojnico kocke

Vsak izmed objektov je predstavljen s hierarhično podatkovno strukturo, ki je navadno organizirana po principu od vrha navzdol (*top-down*). Na najvišjem nivoju imamo najprej dostop do podatkovne strukture telesa, na dnu pa se nahajajo oglišča. Takšna struktura je predvsem logična in razumljiva.



Slika 2: Primer podatkovne strukture

Na sliki 2 vidimo hierarhično zgradbo podatkovne strukture. Vsako telo ima eno ali več površij, sestavljeno iz več lic, vsako lice je omejeno z več robovi, vsak rob z dvema ogliščema. Doslej smo pogledali topološke elemente predstavitve z ovojnico. Vsakemu topološkemu elementu pripada geometrijski element. Večina geometrijskih elementov je postavljena v tri dimenzionalen prostor. V preglednici 5 imamo opise topoloških elementov s pripadajočimi geometrijskimi elementi. Topološki elementi v tabeli se nanašajo na podatkovno strukturo iz slike 2.

Preglednica 5: Topološki elementi s pripadajočimi geometrijskimi elementi

Topološki elementi	Geometrijski element
površje	mnogokotnik
lice	trikotnik
rob	daljica
oglišče	točka

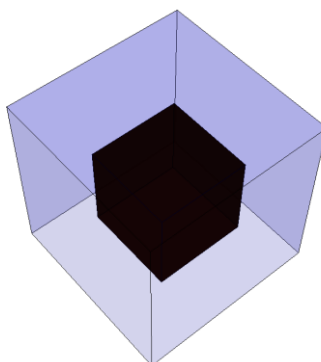
Omenili smo, da so relacije med posameznimi geometrijskimi elementi ena proti več. Torej je zaželeno, da je geometrijska podatkovna struktura predstavljena v obliki drevesa ali grafa.

### 2.2.2 Presečišča v 3D

Zanima nas, ali se dvoje teles medsebojno seka. Telo je opisano s seznamom primitivov, s katerimi opišemo površino telesa. Tovrstna predstavitev z ovojnico predstavlja problem, saj ne definira notranjosti objekta. Dvoje teles se seka samo, če se sekata površini teh dveh teles. Izhod algoritmov zaznavanja kolizij je seznam vseh teles, ki se medsebojno sekajo. Po navadi nas tudi zanima oblika novega telesa, ki ga tvorita dve telesi, vendar pa je izračun katera telesa se sekajo, odvisno od predstavitvene geometrije. Če uporabimo predstavitev z ovojnico lahko zapišemo naslednji izrek.

**Izrek:** Dvoje teles  $F_1$  in  $F_2$ , kjer je površina telesa  $F_1$  opisana s seznamom trikotnikov  $F_1 = (T_{1,1}, T_{2,1}, \dots, T_{n,1})$  in površina telesa  $F_2$  s seznamom  $F_2 = (T_{1,2}, T_{2,2}, \dots, T_{n,2})$ , se sekata, če se sekata vsaj dva trikotnika, ki pripadata dvema telesoma.

Pomanjkljivost izreka je naslednja: dvoje teles se seka samo, če se sekata površini obeh teles. Ta pomanjkljivost je posledica predstavitve z ovojnico. Kadar določeno telo leži popolnoma znotraj drugega telesa in površini teh dveh teles nimata skupnih točk se telesi ne sekata (Slika 3). Za rešitev problema moramo uvesti še dodaten kriterij, ki preverja, ali se telesi ne sekata in, ali ležijo vse točke enega telesa znotraj drugega.



Slika 3: Dve kocki, temnejša leži popolnoma znotraj svetlejše.

Ali telo leži znotraj drugega telesa je časovno kompleksen, predvsem če upoštevamo še, da so telesa lahko konkavna oziroma konveksna. Presečišča geometrijskih likov določajo nove geometrijske like, katerih kompleksnost je preprosto prepuščena slehernemu posamezniku.

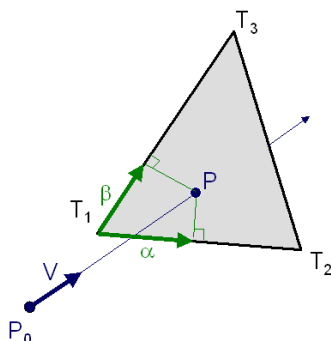
Za namene diplomskega dela navajamo še primere določitve presečišč med geometrijami v prostoru, in sicer:

### 1. Primer – Presečni test žarka in trikotnika

**Žarek** je v geometriji idealiziran snop svetlobe, ki označuje smer širjenja svetlobe. Presečišče žarka s kroglo je precej enostavno, saj ga lahko definiramo z eno implicitno enačbo. Presečišče žarka s trikotnikom je malo bolj kompleksno, ker trikotnik potrebuje kompleksnejšo definicijo. Trikotnik je podmnožica ravnine in je definiran s tremi stranicami, ki so omejene s tremi robovi. Obstajata dva koraka za določanje presečišča.

1. Presečišče žarka z ravnino trikotnika.
2. Preverimo, ali je kakšno presečišče znotraj trikotnika.

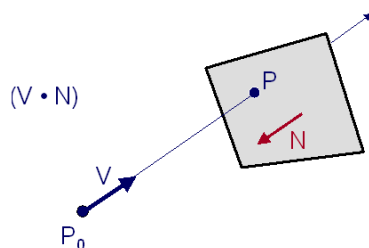
Ali točka leži znotraj trikotnika, lahko preverimo tudi s parametrično enačbo.  $P = \alpha \cdot (T_2 - T_1) + \beta \cdot (T_3 - T_1)$ . Da je točka znotraj trikotnika, morata biti  $0 \leq \alpha \leq 1$  in  $0 \leq \beta \leq 1$ . To je prikazano tudi na sliki 4.



Slika 4: Prikaz določevanja ali točka leži v trikotniku

Presečišče žarka in ravnini lahko podamo z algebraično metodo, ki določa enačbo žarka  $\mathbf{P} = \mathbf{P}_0 + t\mathbf{V}$  in seveda enačbo ravnine  $\mathbf{P} \cdot \mathbf{N} + d = 0$ . Če prvo enačbo vstavimo v drugo dobimo enačbo za presečišče in jo zapišemo v obliki  $(\mathbf{P}_0 + t\mathbf{V}) \cdot \mathbf{N} + d = 0$ . Rešitev za  $t$ :  $t = -\frac{\mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{N} + d}{\mathbf{V} \cdot \mathbf{N}}$ .

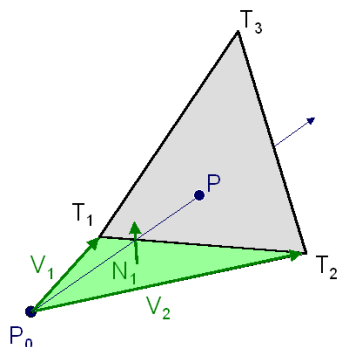
Za prikaz algebraičnega načina zapisa presečišča med žarkom in ravnino podajamo sliko 5.



Slika 5: Prikaz algebraičnega določevanja presečišča med žarkom in ravnino

Ali točka leži znotraj trikotnika lahko preverimo tudi na algebrski ali vektorski način.

Zapišemo vektorje  $\mathbf{V}_1 = \mathbf{T}_1 - \mathbf{P}$ ,  $\mathbf{V}_2 = \mathbf{T}_2 - \mathbf{P}$ ,  $d_1 = -\mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{N}_1$  in normalo  $\mathbf{N}_1 = \mathbf{V}_2 \times \mathbf{V}_1$ . Če je  $d_1 + \mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{N}_1 < 0$ , potem točka ne leži znotraj trikotnika. To pa je prikazano na sliki 6.



Slika 6: Prikaz algebraičnega določevanja ali točka leži v trikotniku

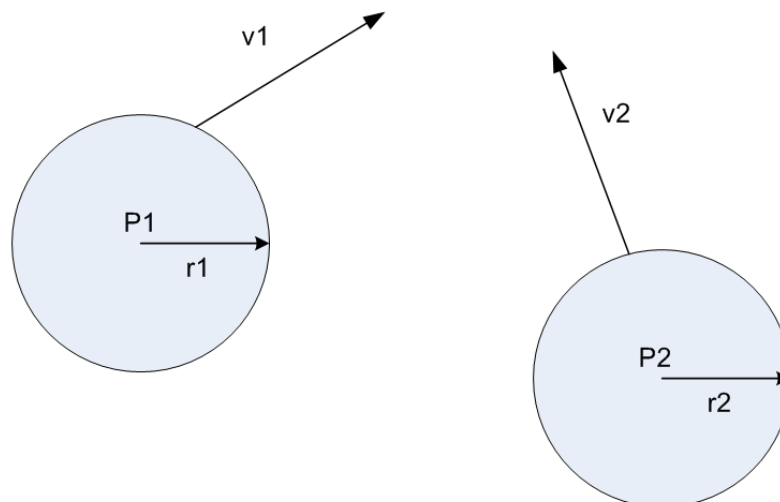
Zelo pomemben je predznak normale. Ko znamo poiskati presečišče točke z trikotnikom ravnine, moramo pregledati ali leži ta točka znotraj trikotnika ali ne. Zamislimo si trikotnik kot presečišče treh polprostorov. Vsak rob trikotnika definira črto in točko, ki je v trikotniku, če je na pravilni strani vseh treh črt.

Za dano točko  $P$  in vektor  $\mathbf{v}$ , ki definira smer premice, definiramo polovico ravnine na levo stran, če potujemo vzdolž premice v smeri vektorja, in jo imenujemo notranja stran. Tako lahko določimo točko  $x$ : ali leži znotraj ali zunaj, in preverimo, ali je vektor  $(x - p)$  v nasprotni smeri urinega kazalca ali v smeri urinega kazalca od vektorja  $\mathbf{v}$ .

## 2. Primer – Presečni test krogle s kroglo

Test presečišča krogle s kroglo kot prikazuje slika 7, je zelo enostavno določiti. Dve krogli z radijem  $r_1$  in  $r_2$ , s središčema v točki  $P_1$  in  $P_2$ . Presečišče se zgodi, če je:

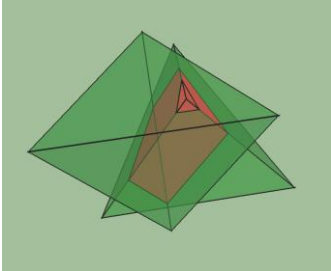
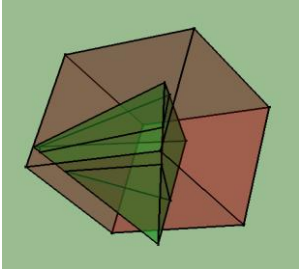
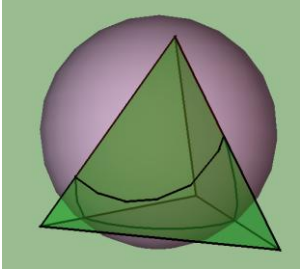
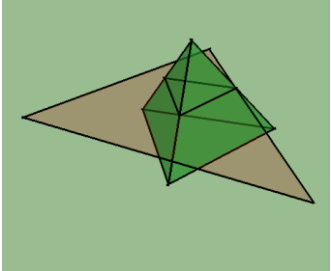
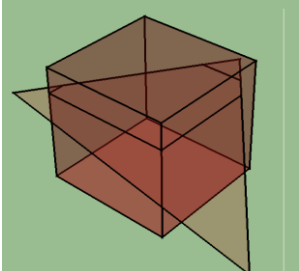
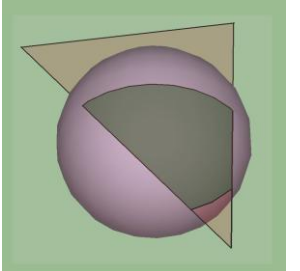
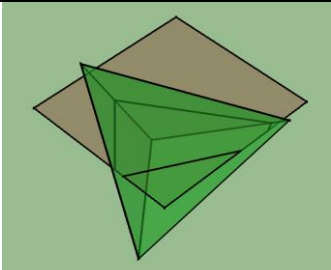
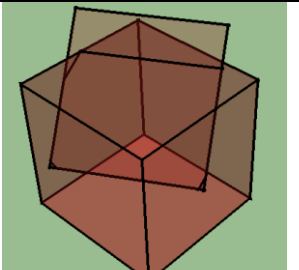
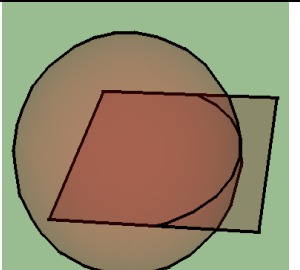
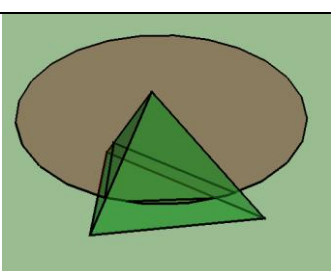
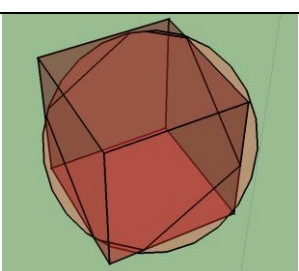
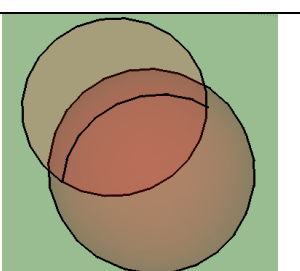
$$dist \leq \min Dist2, \text{ kjer je } dist = relPos2, relPos = P_1 - P_2 \text{ in } Dist = r_1 + r_2$$



Slika 7: Presečni test krogle z kroglo

Za boljše ponazarjanje presečišč geometrij v 3D podajamo preglednico 6, kjer je prikazano nekaj presečišč geometrijskih teles med seboj in z geometrijskimi liki.

Preglednica 6: Prikaz nekaterih presečišč geometrij 3D med seboj in z geometrijami 2D

3D	Tetraeder	Kocka	Krogla
Tetraeder			
Trikotnik			
Kvadrat			
Krog			

## 2.3 Animacije

### 2.3.1 Podajanje geometrije v odvisnosti od časa

Podajanje geometrije v odvisnosti od časa predstavlja najkompleksnejši način podajanja geometrije v prostoru. Zato moramo upoštevati vse tisto, kar smo obravnavali v razdelku 2.1 in 2.2, ter uvesti še nekaj dodatnih lastnosti geometrij v odvisnosti od časa. Geometrijo in njihove lastnosti v prostoru opišemo z različnimi algoritmi. Računalniška animacija je podzvrst računalniškega oblikovanja. Računalniško oblikovanje v glavnem preučuje ukvarjanje in upravljanje z vizualno in geometrijsko informacijo, pri čemer uporablja računalniške tehnike.

Kljub temu pa se ta izraz pogosto nanaša na 3D-računalniško oblikovanje, obdaja pa tudi 2D-računalniško oblikovanje in urejanje podobe. Računalniška animacija v bistvu ni nič drugega kot uporaba algoritmov računalniške grafike v praksi. Zajema različne tehnike, bistveno pri njej pa je, da se animacija ustvarja digitalno, v računalniku.

Modele predmetov lahko animiramo tako, da s časom spreminjamo njihov položaj, velikost, obliko, barvo, teksturo itd. Animiramo lahko tudi osvetlitev predmetov in položaj kamere (oziroma naš pogled) v sceni. Animacija temelji na postavitvi ključev (*key*  $\rightarrow$  *frames*). To pomeni, da v določenih sličicah (*frames*) pripravljene časovne animacije določimo parametre animiranega predmeta (njegov položaj, usmeritev, barvo itd).

Računalniško animacijo v grobem delimo na 3D (tridimenzionalne) in 2D (dvodimenzionalne) tehnike. Na ta način se med seboj razlikujejo tudi računalniška orodja, ki omogočajo izdelavo animacije. 2D-tehnike pa se delijo še na bitne in vektorske.

Računalniške animacije prinašajo številne metode za kontroliranje objektov v gibanju. Pozicijo in orientacijo kot funkcijo časa, ki jo lahko interpoliramo iz ključnih posnetkov ali specifičnih parametrov. Lahko jih interpoliramo iz izhodnih podatkov specialnih računalniških programov, napisanih od uporabnika. V vsaki od takih shem je glavno vprašanje pri animiranju enega objekta to, kako doseči realistično gibanje in kako to ekonomizirati s časom animatorja.



Ko vrsto objektov hkratno animiramo, pride do dodatnega problema zaznavanja in kontrole interakcij objekta.

**Algoritem** je navodilo, s katerim rešujemo določen problem. Navadno je zapisan kot seznam korakov, ki nas pripeljejo do rešitve problema. Kako podrobno razdelamo korake, je odvisno od tega, kdo izvaja algoritem (človek, računalnik). Če algoritem izvaja računalnik, potem govorimo o računalniškem programu.

Preglednica 7: Razvrstitev algoritmov po značilnostih, zapisu in kategoriji

Značilnosti algoritma	Zapis algoritma	Kategorije algoritmov
<ul style="list-style-type: none"><li>- (lahko) ima podatke</li><li>- (navadno) vrne rezultat</li><li>- je natančno določen</li><li>- je končen</li><li>- je izvedljiv</li></ul>	Algoritem lahko zapišemo na več načinov: <ul style="list-style-type: none"><li>- v naravnem jeziku,</li><li>- grafično, s pomočjo diagrama poteka,</li><li>- s pomočjo psevdokode,</li><li>- kot program v enem od programskih jezikov.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- deli in vladaj</li><li>- dinamično programiranje</li><li>- požrešna metoda</li><li>- linearno programiranje</li><li>- verjetnostni algoritmi</li><li>- Evklidov algoritem</li></ul>

Obstajajo različne kategorije algoritmov ali strategij, ki jih uporabljamo za reševanje problemov. Pri analizi algoritma nas navadno zanimata njegova prostorska in časovna zahtevnost.

### 2.3.2. Presečišča geometrij v odvisnosti od časa

V tem razdelku bomo obravnavali presečišča v odvisnosti od časa, kar pa pomeni, da statično odkrivanje interferenc, zaznavanje kolizij in generiranje konfiguracijskega prostora ovir lahko obravnavamo kot primere z istim problemom, kjer se predmeti testirajo na interference v določenem položaju, vzdolž trajektorij, in v celotnem delovnem prostoru, v takem zaporedju.

Pokazalo se je, kako hierarhična ponazoritev omogoča osredotočanje na relevantnih regijah, kjer je interferenca najbolj verjetna, pospešuje celoten interferenčni test. Nekateri interferenčni testi reducirajo odkrivanje presečišč med preprostimi zaključenimi oblikami,

kot so krogla, ali kocka s koordinatnimi osmi. Vendar v nekaterih primerih približen pristop ne zadostuje in je potreben osnovni natančni interferenčni test (za poliedrična okolja). Najširše uporabljen test tega tipa vključuje segment (rob) in 3D-prostor (lice ali stranica poliedra).

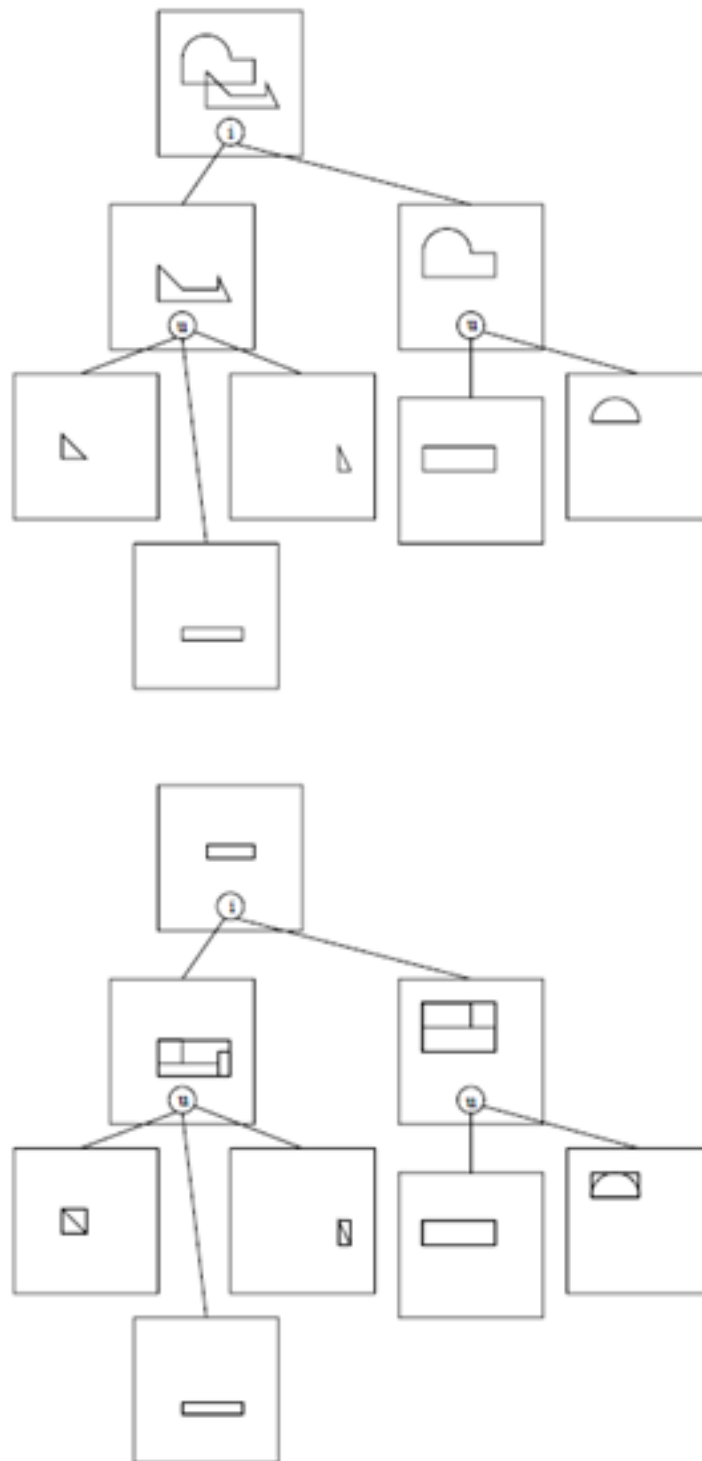
**Odkrivanje interferenc.** Predmeti, ki se jih preverja na interference, so po navadi oblikovani s sestavljanjem preprostejših oblik. Hierarhije krogel (ali drugih primitivnih enot) oz. aproksimiranih poliedrov so najpogosteje uporabljene. Uporabljajo primerjavo razdalje med njihovimi središči in vsoto njihovih polmerov. Hierarhija dovoljuje osredotočanje na regije, ki so dovezne ali relevantne za interference.

**Osredotočanje na relevantne regije.** Dva glavna pristopa, ki omejujeta iskanje interferenc na določenih objektih, sta odvisna od zastopanosti. Po eni strani pa so algoritmi, ki omejujejo obseg volumna in so primerni za predstavitev volumna, kot je *Constructive Solid Geometry* ali (CSG), *octrees*, oz. reprezentacija, na osnovi krogel. Na drugi strani pa obstajajo postopki, ki omejujejo mejne elemente predmetov, ki se lahko sekajo. Ti algoritmi se uporabljajo skupaj z mejno reprezentacijo.

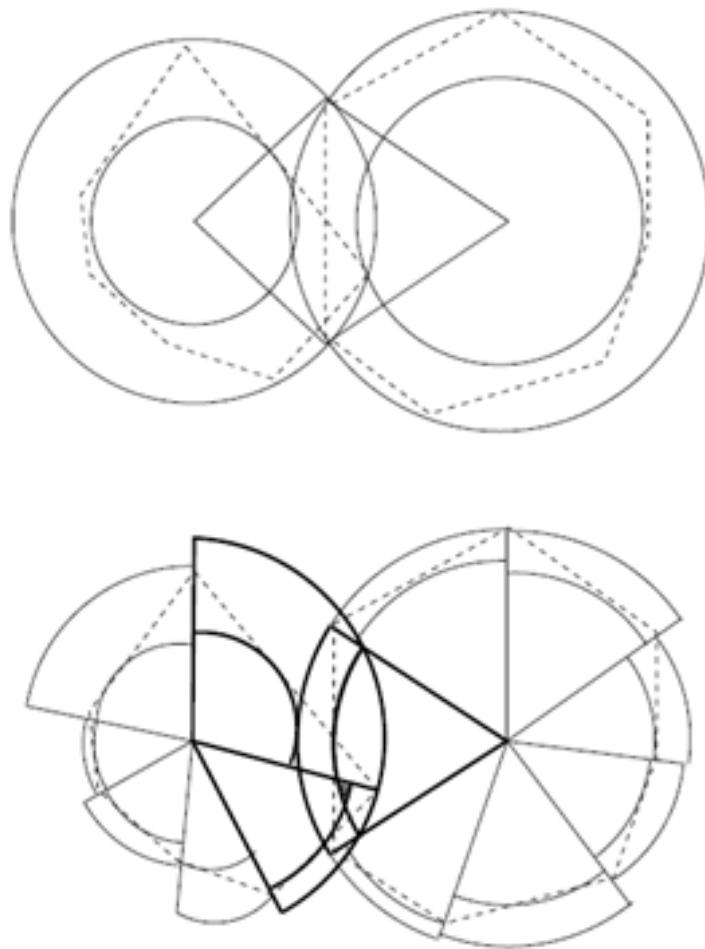
**Hierarhična volumska reprezentacija.** Poudariti moramo dve prednosti hierarhične reprezentacije. Ena je ta, da se v mnogih primerih lahko interferenčno ali neinterferenčno situacijo odkrije v prvem nivoju hierarhije, druga pa, da je redefinicija reprezentacije potrebna le v delih, kjer lahko pride do kolizij. Obstajata dva načina mejnih tehnik za hierarhično volumsko predstavitev. Tisti, ki temelji na hierarhični particiji predmetov, in tisti, kjer so upoštevane particije podregij prostora.

**Hierarhija delitve objektov.** Tako imenovane »S-meje« so bile razvite in uporabljene za prostorsko povezovanje delov CSG-drevesa, ki predstavlja presek med dvema objektoma. S-meje so preproste zaključene enote primitivov na listih CSG-drevesa. V skladu z zastavljenimi operacijami, priloženimi vsakemu vozlišču drevesa, S-meje ustrezajo veji presečišča CSG-drevesa. Algoritem, ki teče navzgor in navzdol po drevesni strukturi, opravlja vse te operacije (Slika 8). Zaporedna sferična aproksimacija omogoča osredotočanje na

območja možnih interferenc s preverjanjem preseka krogelnih sektorjev, na različnih ravneh v hierarhiji (Slika 9).



Slika 8: Struktura algoritma



Slika 9: Sferična aproksimacija

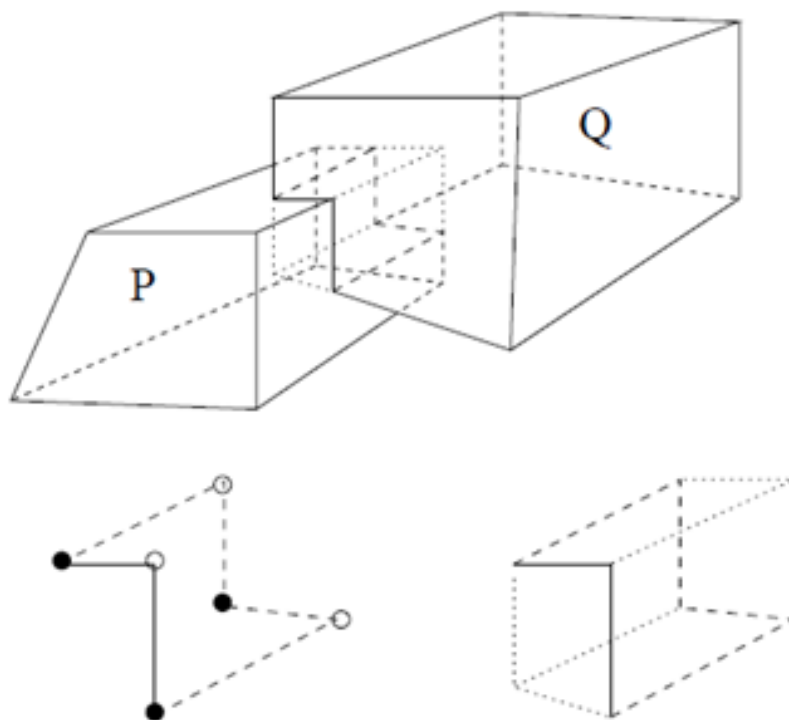
**Hierarhija delitve prostora.** Naravni primitiv je kocka, ampak obstajajo modeli, ki temeljijo na isti ideji, kjer se uporabljajo krogle kot primitivi. Avtorji jo opisujejo kot prehod med *octree* in mejno predstavitvijo.

**Mejna predstavitev hierarhije.** Hierarhična predstavitev, asocirana na mejne volumne, ki vsebujejo mejne funkcije, omeji napore pri določevanju, kateri mejni objekt se lahko seka z najobetavnejšim delom. Kjer imamo gosta, neurejena okolja, orientirane mejne kocke (OBB) opravijo bolje kot osno usmerjene kocke ali krogle, saj se bolje prilegajo objektom in tako imamo manj presečišč z mejnimi volumni. Hierarhična predstavitev OBB-drevesnih struktur se uporablja za reprezentacijo poliedra, katerega površina je bila triangulirana.

**Osnovni interferenčni testi.** Konveksnost igra zelo pomembno vlogo pri algoritmih odkrivanja interferenc in jo je treba uporabiti kot kvalifikacijsko merilo.

**Konveksni polieder.** Odkrivanje presečišč za dva konveksna poliedra lahko naredimo v najslabšem primeru v linearnem času. Ta algoritem izračuna razdaljo med dvema konveksnima poliedroma. Vsi algoritmi, razviti za računanje razdalje, se lahko prilagodijo odkrivanju interferenc. Trije parametri, ki določajo ravnino, se štejejo kot spremenljivke.

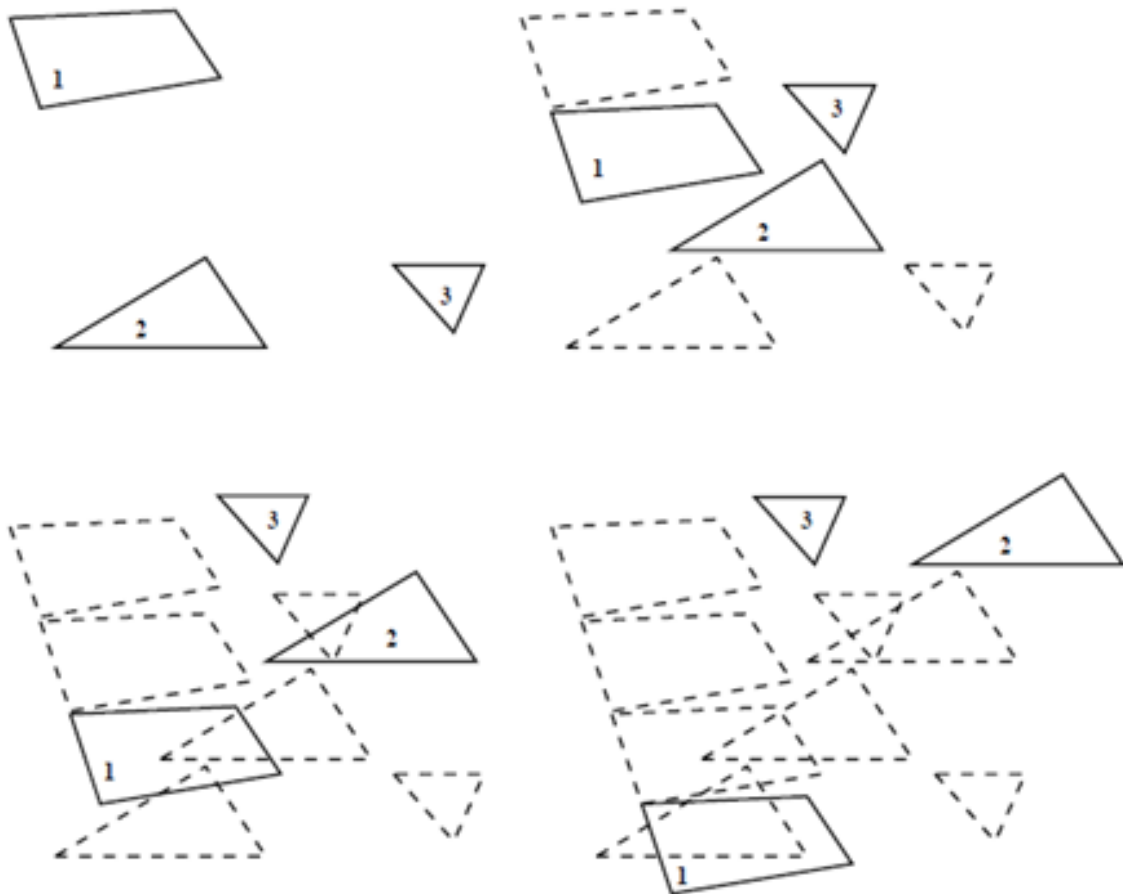
**En konveksen in en nekonveksen polieder.** Stranski proizvod računanja presečišč je tudi odkrivanje interferenc. Slika 10 prikazuje glavne korake te strategije.



Slika 10: Glavni koraki strategije

**Zaznavanje kolizij.** Algoritme odkrivanja kolizij lahko lahko razdelimo v štiri pristope: večkratno odkrivanje interferenc, interference gibnih volumnov, ekstrudiranje in trajektorjalno parametrizacijo. Kot bomo videli, so nekateri pristopi povezani s posebno objektno reprezentacijsko shemo (ekstrudiranje je še posebej primerno za CSG-reprezentacijo), grupe pa ne.

**Večkratno odkrivanje interferenc.** Najenostavnejši način reševanja zaznavanja kolizij sestoji iz vzorčenja sledi poti predmeta in večkratni uporabi statičnega interferenčnega testa. Način, kako ga izvedemo, je ključnega pomena za uspeh tega pristopa. Premajhno vzorčenje lahko privede do sprejema najvarnejše trajektorije, kadar ta vodi v kolizijo (Slika 11).

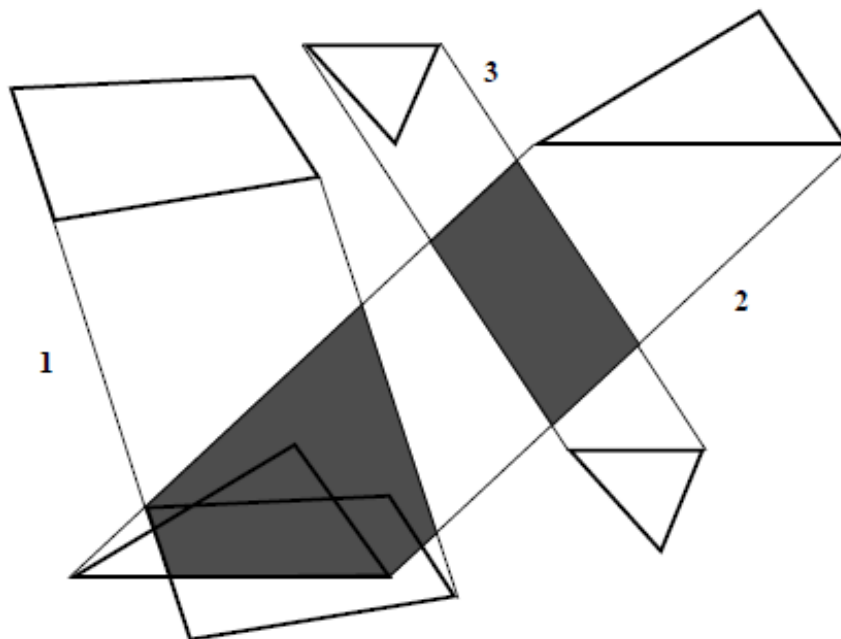


Slika 11: Prikaz večkratnega interferenčnega testa

Različne strategije vzorčenja se razlikujejo po načinu ocenjevanja najzgodnejšega časa možne kolizije. Najbolj surova ocena je povezava spodnje meje z razdaljo med predmeti in zgornjo mejo z njihovimi relativnimi hitrostmi. Bolj zapletene strategije upoštevajo še informacije smeri.

**Interference gibnih volumnov.** Glede na predmet in opis njegovega gibanja v časovnem obdobju, volumen vsebuje vse točke, ki jih zaseda objekt v nekem časovnem trenutku, kar

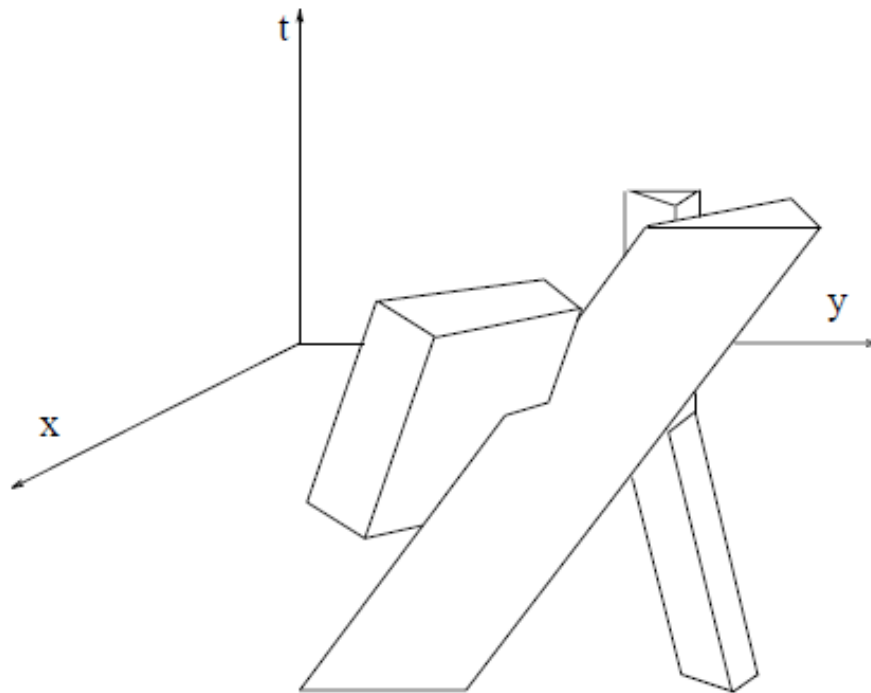
imenujemo gibni volumen. Če se vsi gibni volumni v sceni ne sekajo, potem ne bo presečišč v nekem določenem časovnem koraku. To je potreben, ni pa zadosten pogoj, saj se lahko zgodi, da se gibni volumni sekajo, vendar ne pride do kolizije (Slika 12).



Slika 12: Prikaz gibnih volumnov

**Ekstrudiranje v prostoru.** Ekstrudirani volumen je prostorsko in časovno določevanje točk, ki predstavljajo zasedenost prostora predmeta vzdolž njegove poti. Presek dveh ekstrudiranih volumnov je potreben in zadosten pogoj za pojav kolizije med ustreznimi predmeti, ko se premikajo vzdolž njihovih trajektorij (Slika 13).

Ta pristop apriori prepreči vse težave, ki izvirajo iz vzorčenja in relativnega gibanja med pari objektov. Operacija ekstrudiranja ali izstiskanja je distributivna z upoštevanjem unije, preseka in razlike operacij. To je bil povod za razvoj ekstrudiranja v okviru CSG. Objekt in njegov ekstrudirani volumen je zastopan z enakimi booleanovimi volumetričnimi gradniki in njegovimi ekstrudiranimi primitivi.



Slika 13: Ekstrudiranje

**Trajektorjalna prametrizacija.** Trenutek kolizije je mogoče določiti analitično, če so trajektorije izražene kot funkcije parametra (čas) in pogoji kolizij, je formuliran kot polalgebrائي niz, ki vključuje lokacije funkcij objekta (lice, rob in oglišče). To zahteva, da se opravi spremembe spremenljivk, da bi dobili algebrائي izraz za rotacijo namesto enačb v smislu transcendentnih funkcij. Pristop parametrizacije trajektorij se uporablja, kjer je interferenčni test poliedra opisan kot kombinacija parametriziranih osnovnih funkcij kontaktov. Te funkcije odražajo prostorska razmerja med gradniki za B-rep poliedra. Ničle te funkcije razmejijo nekatere časovne intervale, katerih kombinacija (glede na interferenčni test) priskrbi želen nabor intervalov, preko katerih bi se predmet sekal, če bi se držali predoločene trajektorije (vir: Jimenez s sod., 2001).





### **3. NESKLADJA V PROCESU GRADITVE**

Pomen in vloga stavbarja sta se z leti spremenila in nastale so nove bolj specializirane stroke, ki s tehnološkim napredkom povečujejo storilnost in kakovost gradbenih proizvodov. Neskladja v procesu graditve, se lahko pojavijo v večjem ali manjšem obsegu, a vsekakor je vsako neskladje potrebno odpraviti tako v fazi načrtovanja kot tudi v fazi izvedbe. Predpisi, ki bi preprečevali ali vsaj omilili problematiko neskladij projektne dokumentacije v gradbeništvu so skromni, zato je vsakemu posamezniku prepuščena odločitev o resnosti problematike.

Možna je izvedba kontrole usklajenosti projektne dokumentacije, kot jih zahtevajo predpisi ter relevantni tehnični normativi in standardi. Kontrola obsega preverjanje, ali ima projektna dokumentacija vse predpisane sestavne dele (celovitost), pregled tehničnega opisa, stroškovnika in izračunov ter drugih delov projektne dokumentacije z vidika uporabe tehničnih normativov in standardov (IZS, 1999, str 224).

Neskladna gradnja pomeni, da je za gradnjo oziroma dela, za katera je predpisano gradbeno dovoljenje izdano, vendar se takšna gradnja izvaja v nasprotju s pogoji, določenimi z gradbenim dovoljenjem, kakor tudi to, da se objekt, za katerega je bilo sicer izdano gradbeno dovoljenje, uporablja v nasprotju s pogoji, določeni z njimi. (Zbirka predpisov, 2003)

Pomen neskladij v gradbeništvu in njihovo odpravljanje se je v zadnjih desetletjih zelo povečalo, saj so potrebe po zmanjšanju stroškov in ohranjanju kvalitete pripeljale do razvoja raznih pristopov k problematiki. Neskladja so tako postala aktualna tema z veliko možnostjo razvoja novih orodij in sistemov, kako se z njimi spopadati. Za razumevanje problematike neskladij v gradbeništvu so v nadaljnjem besedilu obdelane vse ključne tematike.

#### **3.1 Procesi v gradbeništvu**

Graditev objekta vključuje več faz, ki potekajo zaporedno in vzporedno. Zapletenost procesa graditve je zelo odvisna od velikosti projekta, kompleksnosti tal, arhitekture, uporabljenih materialov in tehnologij ter sposobnosti vsakega posameznika.

Potek faz pred gradnjo je zelo pomemben, kajti njihovo urejeno sosledje lahko zagotavlja nemoten potek projektnega procesa. Faze pri graditvi objekta potekajo v naslednjem vrstnem redu: (vir: Urejanje prostora in graditev objektov, zbirka predpisov, 2003);

1. Projektiranje
2. Pridobitev gradbenega dovoljenja
3. Gradnja
4. Pridobitev uporabnega dovoljenja
5. Hramba projektne in tehnične dokumentacije

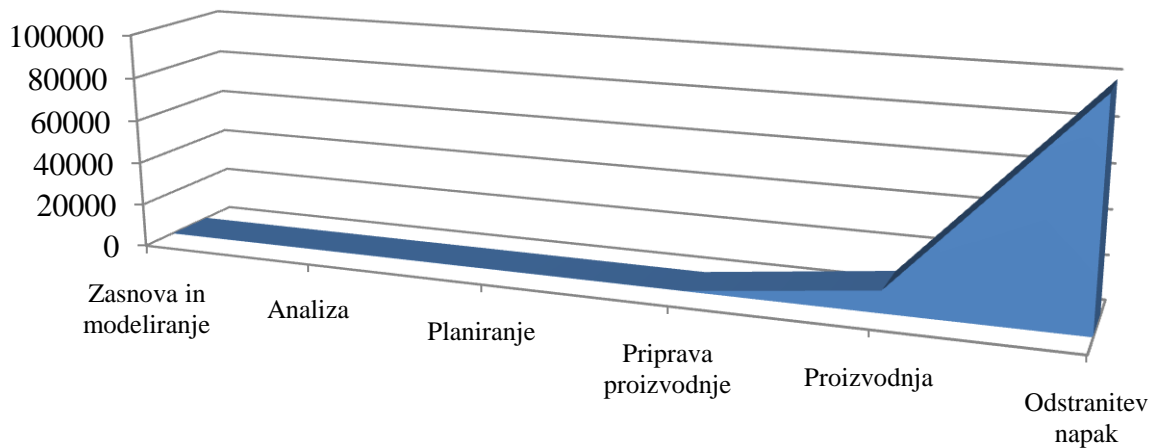
Zaradi kompleksnosti procesa gradnje se proces razdeli na enostavnejše podprocese, ki jih lahko nato podrobneje obravnavamo. Gradnja vključuje materialne procese, pri katerih se uporablja materiale, izdelke, in surovine ter na informacijske procese, ki kontrolirajo in usmerjajo materialne procese.

Gradnja objekta je faza graditve, ki obsega vse aktivnosti na gradbišču pred uporabo objekta. Gradnja naj bi potekala po skrbno načrtovani, torej usklajeni projektni dokumentaciji. Slabo načrtovanje predstavlja vzrok za številne težave v procesu gradnje objekta. Z dobro projektno dokumentacijo lahko vplivamo na uspešnost poteka izvedbe projekta in obratno.

Zato je za izboljšanje stanja v praksi treba posegati po vedno večjem znanju, ki bi proces graditve skrajšal in pocenil, pri tem pa bi ohranili ali celo povečali kvaliteto. Proces graditve obsega na stotine dejavnosti, ki jih je treba izvesti, in na desetine strok, ki pri tem sodelujejo. Usklajenost projektne dokumentacije posameznih strok je postala merilo uspešnosti projekta.

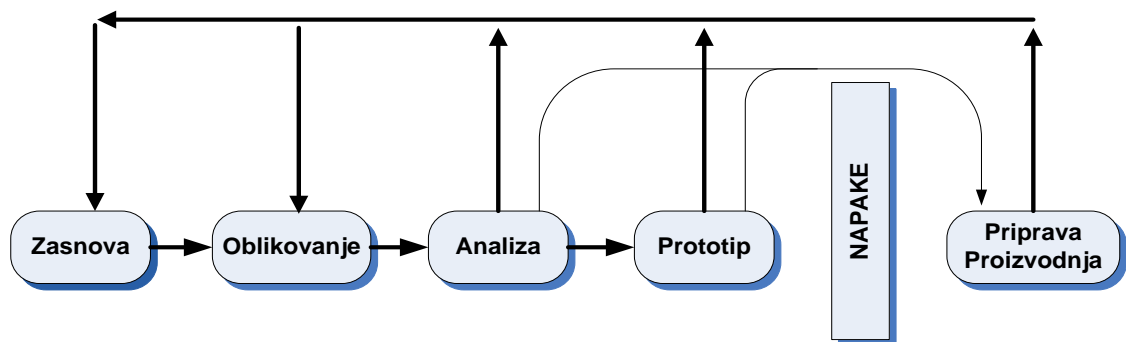
Razvoj orodij za modeliranje in računanje konstrukcij imata sedaj velik vpliv na procese v gradbeništvu. V tradicionalnem procesu nastanka novega proizvoda sta slabo povezana z ostalimi fazami dela. Napake se odkrije pozno, zato imajo spremembe po odkritju napak v proizvodnji velik vpliv na stroške proizvoda. Vpliv odkritih napak v proizvodnji je prikazan na sliki 14. Vpliv napak na ceno proizvoda je največji v fazi proizvodnje, zato je nujno, da to tveganje zmanjšamo na najmanjšo možno mero. Značilnost procesa je velik potreben čas za nastanek novega proizvoda in slab odziv na impulze trga. Slabosti tradicionalnega procesa nastanka proizvoda so skušali odpraviti z zaporednim ali serijskim pristopom (Slika 15)

(Duhovnik, 2001). Pri njem je boljše upoštevana povezanost faz dela pri nastanku novega proizvoda in dejstvo, da je celoten proces izrazito iteracijski.



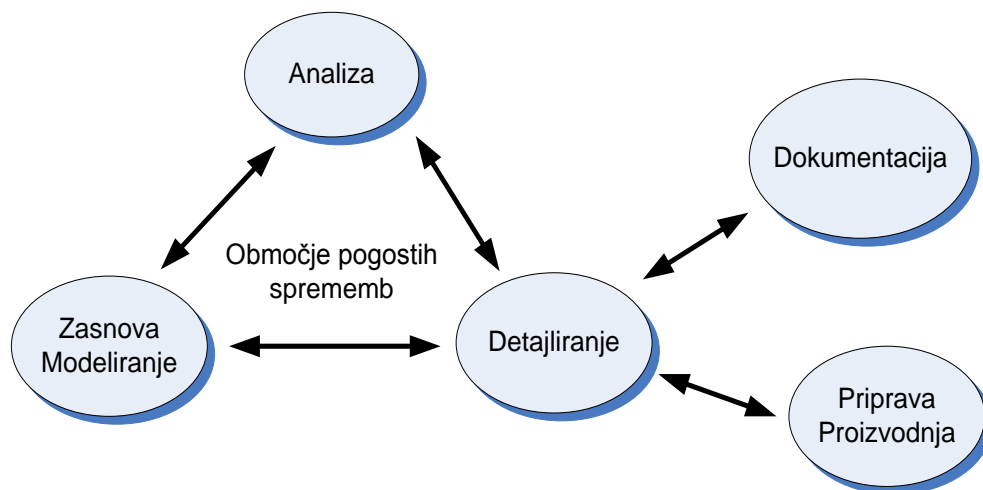
Slika 14: Vpliv sprememb v fazah na stroške proizvoda

Pri serijski proizvodnji lahko prototip prevzame vlogo *katalizatorja* vpliva napak na ceno proizvoda, kar je v strojni industriji možno in celo treba storiti, v gradbeništvu pa je to precej težje, če izvzamemo montažne elemente in podobno. Značilnost procesa je, da so faze dela, kot so zasnova, oblikovanje in analiza sicer povezane, vendar zaporedno in ne povratno oziroma obojestransko. Tudi v tem primeru je čas nastanka novega proizvoda velik, odziv proizvajalcev pa še vedno slab in počasen.



Slika 15: Prikaz zaporednega ali serijskega pristopa

Zaradi razvoja in zahtev trga, ki terjajo od proizvajalcev prilagodljivost in hiter odziv, so omenjena pristopa nadomestili s skladnim ali sistematičnim pristopom (Slika 16). Gradbena informatika kot pojem uporabe informacijske in komunikacijske tehnologije v gradbeništvu je torej »nuja in ne zlo«, če želimo udejanjiti pojem »preživetja na trgu«.



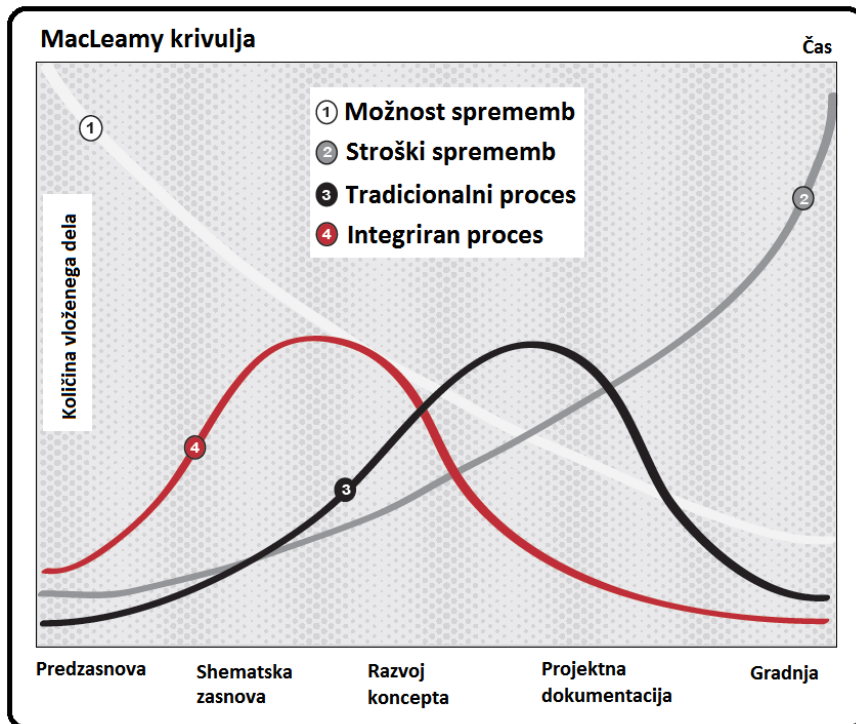
Slika 16: Prikaz skladnega ali sistematičnega pristopa

Iz navedenega je možno sklepati, da je treba prilagoditi in posodobiti proces izobraževanja na vseh nivojih, da so za to potrebna sredstva, da je razpoložljivi čas za to kratek. Razmere v praksi kažejo, da se stvari izboljšujejo zaradi neizprosniht zahtev trga (Duhovnik, Gradbena informatika, 2001).

Za doseganje želenega cilja je treba vpeljati v veljavo nove pristope k razumevanju problematike, ki bodo bistveno vplivali na celotno sliko v primerjavi z do sedaj uveljavljenimi metodami dela. Eden od ključnih pojmov je tudi *interoperabilnost*, ki predstavlja ključ do povezave vseh strok v procesu graditve, od začetka pa do konca projekta. Razumevanje problematike postane jasno šele takrat, ko se natančno zavedamo, koliko neskladij lahko nastopi v projektni dokumentaciji v procesu graditve zaradi pomanjkljive projektne dokumentacije.

Eden od novejših pristopov je integrirani pristop, kjer je ključni cilj zadostitev zahtev po visoki učinkovitosti objektov z vidika ekoloških in socialnih ciljev, sočasno pa ostati znotraj predvidenega proračuna in postavljenega terminskega plana za izgradnjo objekta (Ožbolt,

2008). Za primerjavo med tradicionalnim in integriranim procesom lahko podamo krivuljo *Macleamy/Tibbett*, ki prikazuje odnos štirih različnih faktorjev v odvisnosti od količine vložene dela in od faze projekta (Slika 17).



Slika 17: Macleamy – Tibbett-krivulja

### 3.2 Vzroki neskladij v projektni dokumentaciji

Spopadanje z neskladji med projektnimi dokumentacijami je lahko zelo dolgotrajno in predstavlja velik problem v praksi. Če zabeležimo veliko neskladij v obsežnem projektu, se lahko investicija precej podraži, če jih pred tem ne odpravimo s pravilnim pristopom.

Neskladja lahko pričakujemo tam, kjer zaradi vizualnega pregleda načrtovalci pogosto nimajo vpogleda v načrt s prostorskega vidika in je zato načrtovanje pomanjkljivo. To pa posledično predstavlja popravke v projektne dokumentaciji, za katere je treba opraviti ponovno načrtovanje in izvedbo, kar pomeni zaplete in zastoje v delovnem procesu. Zaradi prevelikih napak in neskladij se lahko načrti toliko spremenijo, da je ogrožena ekonomičnost investicije, kar pa za investitorja ali družbo predstavlja veliko breme.

Nestrokovnost, nemotiviranost in neodgovornost posameznikov v delovnem procesu predstavlja večji vzrok za nastanek neskladij v projektne dokumentaciji, saj se delovna praksa velikokrat precej razlikuje od strokovnih priporočil in navodil. Večina projektantov naredi projektne dokumentacije v tolikšni meri, kolikor ima podatkov na voljo, in nato čaka druge projektantske stroke. Tako poteka iterativno naprej proces izboljšave projektne dokumentacije in prenos informacij. Ker je tak proces prenosa podatkov precej nedinamičen, je za enak učinek treba vložiti bistveno več časa in napora.

Neosveženost projektantov z novitetami, ki jih prinaša trg znižuje konkurenčnost panogi in povzroča nenehne zaplete v projektih, kjer jih sicer ne bi bilo. Prelaganje odgovornosti drug na drugega za posamezne napake v projektne dokumentaciji, namesto skupno reševanje le-teh, predstavlja omejen način pristopa k problematiki.

### **3.3 Posledice neuskrajene projektne dokumentacije**

Neuskrajena projektne dokumentacije ima lahko zelo različne posledice, glede na to, kakšne vrste neskladij obravnavamo. Najpomembnejša neskladja, ki se pojavljajo kot posledica neuskrajene projektne dokumentacije, predstavljajo naslednje kategorije.

#### **Neskladja z arhitekturo**

Neskladja z arhitekturo v projektne dokumentaciji lahko nastopijo tam, kjer zaradi slabe preglednosti projektne dokumentacije same in nesposobnosti načrtovalcev pride do nepredvidenih napak. Te so lahko različne in tudi različno vplivajo na celoten projekt. Več kot je neskladij in dlje ko smo v fazi gradnje, bolj je problem lahko resen. To pa pomeni, da se v zgrajenem objektu nepredvidena neskladja rešuje ali poskuša rešiti naknadno, kar zmanjša nivo uspešnosti projekta.

Material, opremo in ostale potrebne stvari, ki jih dobavljamo in vgrajujemo na gradbišču, morajo načrtovalci projektne dokumentacije natančno preučiti, da lahko predvidijo morebitne zaplete. Če pride do neskladij v fazi gradnje, ko bi morali vgraditi specifičen element v objekt, pa se zgodi, da je pot za dostavo elementa na določeno mesto ovirana zaradi

geometrije elementa, pridemo do neskladja z arhitekturo objekta. Tako ne moremo doseči zelenega mesta, kar je lahko zelo problematično.

Problem lahko nastopi tudi tam, kjer zaradi prebojev inštalacij skozi konstrukcijski element oslabimo njegov del, in tako spremenimo njegove mehanske lastnosti. Prečni ter vzdolžni prerez je zato oslabiljen, kar pomeni povečanje notranjih količin pod enakimi zunanjimi vplivi. Nadaljnje povečanje obtežbe na oslabiljenem delu konstrukcijskega elementa lahko sproži različne posledice. Če je povečanje veliko, se lahko pojavijo preveliki pomiki elementa, kar lahko povzroči neugodje pri uporabi objekta. Oslabitev armature je treba ponovno preveriti, saj ta v nepredvideni oslabitvi prereza konstrukcijskega elementa ni več zvezna, kar lahko predstavlja problem pri dimenzioniranju ali sanaciji ter za končno izvedbo projekta v predvidenih rokih.

### **Neskladja z elektroinštalacijami – MEP**

Vodenje elektroinštalacijske opreme mora biti skrbno načrtovano, saj morajo sistemi potekati nad vodovodnim sistemom, ki lahko v življenjski dobi objekta prepušča in povzroči stik ter prevod električnega toka po drugih delih objekta. Če se zgodi, da s prebojem poškodujemo ali celo prekinemo električno inštalacijo, je treba ponovno vzpostaviti kvaliteto začetnega stanja. Neskladja elektroinštalacijskih sistemov med seboj predstavljajo resen problem, a ga je v primerjavi z ostalimi inštalacijskimi sistemi lažje odpraviti, ker so elementi bolj prilagodljivi geometriji v prostoru.

Spremembe projektne dokumentacije elektroinštalacijskih sistemov v fazi gradnje imajo za posledico ponovno pregledovanje in ustrezno načrtovanje posameznega neskladja, čemur se lahko izognemo že v fazi načrtovanja, če je to mogoče. V slučaju, da temu ni tako, pa predstavlja problem, ki ga je treba naknadno reševati in prav tako predstavlja dodaten strošek.

### **Neskladja z vodovodnimi in kanalizacijskimi inštalacijami – MEP**

Pri vodovodnih in kanalizacijskih inštalacijah, za katere se izvede komunikacija s prebojem na že izdelanem konstrukcijskem elementu, lahko pride do neskladij z ostalimi vodovodnimi



in kanalizacijskimi inštalacijami, za katere je treba opraviti ponovno načrtovanje in izvedbo. Kanalizacijski vodi potekajo po konstrukciji vertikalno, predvsem pa pod določenim naklonom, ki ne sme biti manjši od 1.5 %, da se zagotovi primerno odvajanje do javnega priključka. Zato je načrtovanje zadnjih zelo zapleteno, saj ob tem potekajo še vodovodne inštalacije, ki pa v objekt dovajajo pitno vodo. Pomembno je, da se kanalizacijski vodi nahajajo pod nivojem vodovodnega sistema, da ne pride do kontaminacije ob morebitni poškodbi ali deterioraciji materiala.

V projektni dokumentaciji naj bi bil predviden celoten potek sistema vodovodov po objektu in okolici tako, da bi bila točno dokumentirana pozicija v prostoru z geometrijskimi, materialnimi in ostalimi lastnostmi. Če se morebitnih neskladij v projektni dokumentaciji ne odkrije, lahko pri izvedbi objekta pričakujemo precej zapletov, kajti projektna dokumentacija, izdelana v pomanjkljivi 2D-obliki s težavo sledi načrtovanju v 3D-okolju.

Brez uporabe naprednejših orodij ne moremo zagotoviti usklajenosti vodovodnih in kanalizacijskih ter ostalih projektnih dokumentacij, ker nimamo na voljo dovolj podatkov. Možnost dopolnjevanja in realizacija dokumentacije je možna le s sodelovanjem v fazi izdelave dokumentacije z ostalimi vpletenimi pri reševanju problematike. V nasprotnem primeru čaka projektante in druge sodelavce dodatno delo, usklajevanje vsega potrebnega, da ne bi prišlo do zastojev pri projektu. To pa seveda predstavlja nepredvidene dejavnosti, ki bremenijo uspešnost projekta. Vodovodne in kanalizacijske inštalacije prav tako vodimo skozi konstruktivne elemente, za katere moramo zagotoviti zadostno nosilnost v skladu s predpisi, ki to določajo.

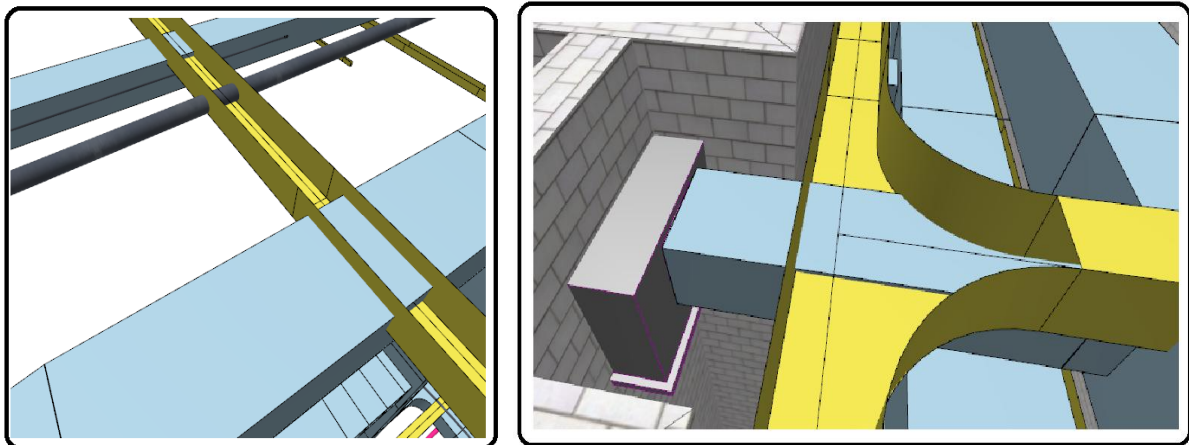
### **Neskladja z ogrevalnimi, ventilacijskimi in ohlajevalnimi sistemi – HVAC**

Objekti imajo po večini zelo razdelane ventilacijske poti, zato je treba opraviti zelo pazljivo in natančno analizo načrtovanja in izvedbe. Elementi, ki se jih uporablja za pretok zraka, so velikih dimenzij in predstavljajo največje oslavitve konstrukcijskega elementa, skozi katere vodimo komunikacijo. Ko se posamezna projektna dokumentacija postavi na drugo, postane slika jasna: za vodenje inštalacij je treba imeti precej prostora in z nepremišljenim ter nepopolnim načrtovanjem lahko pride do znatnih težav pri izvedbi projekta

Prav tako je načrtovanje komunikacij za napeljavo toplotnih inštalacij podvrženo problemu neskladij, saj se izvedeni preboji za ta namen izvajajo skozi konstrukcijske elemente objekta. Ker to predstavlja oslabitev prerezov, je tudi tukaj potrebna precejšnja usklajenost. Komunikacije ne smejo sekati ostalih inštalacij, kar pa je pri obsežnih projektih lahko zelo zapleteno. HVAC- inštalacije morajo potekati v skladu s predpisi in tako zagotavljati namembnost uporabe pod optimalnimi pogoji.

Vse inštalacije so vodene in vgrajene na konstruktivne elemente ali skoznje, kar pomeni, da se lahko med seboj stikajo ali sekajo. Če pa HVAC-inštalacije ne moremo voditi skozi konstrukcijske elemente, jih je treba speljati na drugi način, kar pa ni vedno mogoče. Problem je lahko zelo obsežen in lahko predstavlja ponovno arhitekturno ter statično načrtovanje. To pa predstavlja veliko dodatnega dela projektantom in veliko potrošnjo časa ter nenazadnje tudi veliko denarja.

Na sliki 18 so prikazana neskladja inštalacij z arhitekturo in med seboj z uporabo informacijskega modela stavbe in MEP-modelirnikom, kar nam računalniški programi tudi omogočijo odkriti.



Slika 18: Prikaz neskladij elementov inštalacij z arhitekturo in med seboj

Seveda moramo poudariti tudi, da se kakovost bivanja v stavbah, kjer je zaradi neskladij prišlo do nepopravljivih napak, zelo poslabša.

Posledice neskladij lahko strnemo v naslednje kategorije:

- Organizacijsko-tehnološke
- Časovne zamude
- Finančne
- Kakovost bivanja

## 4. ODPRAVLJANJE NESKLADIJ

Pri avtomatskem zaznavanju neskladij se uporablja analitične, matematične izraze. Identifikacija neskladij je lahko zelo kompleksna in obsega probleme v ravnini ali prostoru. Če hočemo problem neskladij čim bolj približati realnemu stanju, lahko dodamo še enačbe za deformabilna telesa ter časovno komponento za animacije, kar nam poveča obseg in zahtevnost dela.

Seveda pa ne smemo pomešati pojmov *collision detection* in *clash detection*. Razlika med njima je v tem, da *collision detection* kot funkcija zaznavanja kolizij definira kolizijo volumna v sprehajalnem, »walkthrough« okolju, kjer lahko poljubno potujemo in interagiramo z modelom, ki upošteva nekatera fizikalna pravila, ki nas omejujejo znotraj samega modela. To pomeni, da imamo maso, ki ne more skozi druge predmete, točke ali črte na zaslonu. Lahko pa se zato pomikamo čez ali pa preplezamo predmete, ki so visoki vsaj za polovico višine presečnega volumna, kar omogoča hojo po stopnicah navzgor, ne omogoča pa prehoda skozi steno.

*Clash detection* je orodje, ki omogoča učinkovito prepoznavanje, pregled in poročanje neskladij v BIM-modelu med različnimi 3D-predmeti. S tem orodjem lahko zmanjšamo tveganje vpliva človeškega faktorja pri pregledovanju modela. *Clash detection* se torej lahko uporablja kot eno od razumskih kontrol končnega projektne dela: za zaznavanje neskladij med geometrijami v 2D- in 3D-pogledu. Primer je lahko vrtenje žerjava nad streho objekta, ali pa dostava tovornjaka v neskladju z delovno skupino, ki je potrebna za opravljanje določenega dela.

### 4.1 Zaznavanje kolizij v računalniških programih

Podlago vsem parametrom predstavljajo geometrijski, matematični, fizikalni, materialni in reološki modeli algoritmov, ki ponazarjajo najbolj podobno sliko realnemu stanju. Zaznavanje neskladij je programsko orodje, ki je bistvenega pomena za doseganje uspeha v mnogih panogah grafičnih aplikacij, kot so planiranje gibanja, izogibanje oviram, računalniške

animacije, fizikalno modeliranje, dinamične simulacije; vse aplikacije v splošnem uporabljajo simulacijo gibanja trdnih teles, ki ne prebadajo drugo drugega. Pri takih aplikacijah predstavlja *collision detection* model ali proceduro, katera deli informacije z ostalimi deli sistema ukazov, kinematičnega in dinamičnega obnašanja.

Mnogi so mnenja, da je zaznavanje kolizij glavni akter pri takšnih aplikacijah. V resnici zaznavanje statičnih interferenc, trkov in generiranje konfiguracijskega prostora ovir predstavlja isti problem. Telesa so testirana na interference pri posameznih pozicijah, vzdolž trajektorij in skozi celoten delovni prostor.

Danes se pri večini iger uporablja konveksne poligone za zaznavanje kolizij. Navadno so shranjeni v drevesni strukturi, da bi bilo mogoče hitro zavrniti veliko število poligonov pri opravljanju presečnih testov. Eden od pogosto uporabljenih presečnih testov je tisti z gibno kroglo (krogla se premika vzdolž linije) ali gibnim elipsoidom (elipsoid se premika vzdolž črte, vendar se ne vrti) ter s statičnim mnogokotnikom.

Če poznamo pozicijo in orientacijo objektov vnaprej, lahko rešimo zaznavanje kolizij kot funkcijo časa. Zaznavanje kolizij in povezani problemi z ugotavljanjem minimalne razdalje imajo dolgo zgodovino. Enega prvih člankov na temo zaznavanja kolizij je objavil *Cameron*. Omenja tri različne pristope dinamičnega zaznavanja kolizij. Eden od njih je, da opravimo statično zaznavanje kolizij v vsakem diskretnem časovnem koraku. Članek daje poudarek na možnosti nezaznavanja kolizij, kadar je časovni korak prevelik. V primeru premajhnega časovnega koraka bi čas izračuna bil prevelik. Druga metoda uporablja prostorsko-časovni pristop. Ta zahteva delo v štiridimenzionalnem prostoru. Izračun zaznavanja kolizij se izvede med vsemi geometrijskimi strukturami. *Moore* in *Wilhelms* omenjata metodo, ki testira, ali oglišče leži znotraj telesa. Najprej je treba testirati vsa oglišča telesa *A* s telesom *B*, in nato vsa oglišča telesa *B* s telesom *A*. Metoda je enostavna, vendar je čas, potreben za izračun vsebnosti, velikokrat predolg. Problem zaznavanja kolizij med ukrivljenimi objekti je precej zapleten.

Avtorji opisujejo splošen algoritem, ki temelji na časovno odvisnih parametričnih površinah in deluje po principu delitve prostora. Podobno metodo z uporabo intervalne aritmetike in

delitve prostora je predstavil *Duff*, ki je prav tako razširil svoj algoritem za delovanje v dinamičnem okolju.

Računanje minimalnih razdalj med dvema konveksnima objektoma so nekateri avtorji že obravnavali. Izračun se izvrši v skoraj linearni časovni zahtevnosti. Poznavanje minimalnih razdalj med objekti je pomembno predvsem pri načrtovanju poti in je nepogrešljivi del algoritmov zaznavanja kolizij. Slabost algoritma je predvsem, da deluje na konveksnih objektih.

Nekatere simulacije ocenijo čas kolizije z linearno interpolacijo in jih izračunajo z bolj abstraktnimi metodami za ohranjanje zakonov. Nekateri iteracijsko ponovijo linearno interpolacijo (Newtova metoda) za izračun časa kolizije z veliko večjo natančnostjo kot ostale simulacije. Simulatorji navadno delujejo na enega od dveh načinov, če se ugotovi kolizija posteriori (po trčenju) ali apriori (pred trčenjem). Poleg posteriori in apriori so skoraj vsi sodobni algoritmi za zaznavanje kolizij ali neskladij razdeljeni hierarhično, kot smo to prikazali že pri teoretičnih osnovah.

Primer aplikacije:

- simulacija vozil,
- virtualna resničnost,
- inženirske analize,
- načrtovanje gibanja robota,
- artikulacija animiranih slik.

## 4.2 Odpravljanje neskladij z orodji BIM

Poglavje obravnava metode odpravljanja neskladij v projektni dokumentaciji s pomočjo uporabe računalniških programov, v katerih je mogoče natančno določiti geometrijska neskladja med sistemi, jih vizualizirati in na podlagi tega tudi ustrezno ukrepati.

Osnova za odpravljanje neskladij so informacijski modeli zgradb (ang. *building information modeling*) ali na kratko BIM, ki vsebujejo vse podatke o izvedbi objekta. *Associated General Contractors* in pogodbeni podjetja so razvili različne delovne definicije za BIM, ki ga opisujejo v splošnem kot »predmetno usmerjeno orodje razvoja gradnje«, ki uporablja 5D-modeliranje konceptov, informacijsko tehnologijo in interoperativnost programske opreme, za projektiranje, gradnjo in upravljanje gradbenega projekta, kot tudi za detajle.

BIM je proces pridobivanja in upravljanja podatkov stavbe v njegovem življenjskem ciklusu. Programska oprema uporablja 3D-modele v realnem času, dinamične modele stavb, za povečanje produktivnosti pri oblikovanju zasnove in konstrukcije. Postopek izdelave informacijskih modelov zajema geometrijo stavbe, prostorske odnose, geografske informacije in količine ter lastnosti gradbenih elementov (za primer detajli proizvajalcev). Lahko se uporablja za dokazovanje celotnega življenjskega cikla stavbe, vključno s postopki za gradnjo in z obratovanjem objekta. Količine ter skupne lastnosti materialov se lahko ekstrahirajo. To zahteva spremembe opredelitve tradicionalnih arhitekturnih faz in večjo izmenjavo podatkov od večine arhitektov in inženirjev.

Zahteve po interoperabilnosti vključujejo interoperabilnost modelov, podatkov javnih naročil, okoljske razmere, procese predložitve in druge specifikacije za kakovostno gradnjo. Predvideva se, da se lahko BIM uporablja za preprečitev izgub informacij, povezanih s projektom od vzpostavitve gradbene skupine do lastnika ali upravljavca zgradbe. Vsaki skupini omogoča dodajanje ter sklicevanje na vse informacije, ki jih pridobijo v obdobju njihovega prispevka k modelu BIM. Na primer, lastnik stavbe lahko najde dokaze o puščanju v njegovi zgradbi. Namesto raziskovanja fizičnega objekta, se lahko obrnemo na BIM, in vidimo, da se vodni ventili nahajajo na sumljivem mestu. V modelu lahko imamo posebne velikosti ventila, ime proizvajalca, številke dela in vse druge informacije.

S pomočjo MEP (ang. *mechanical, electrical, plumbing*) modelirnika, ki je orodje za izdelavo inštalacijskih sistemov v 3D-modelu lahko na enostaven in hiter način vgradimo posamezne elemente v 3D-model s pomočjo 2D-tlorisnega pogleda na delovni ravnini ali pa vse skupaj naredimo v 3D-pogledu, kjer lahko prosto izbiramo in spreminjamo želene elemente ter njihove lastnosti.

Informacijske modele stavb lahko modeliramo s pomočjo različnih programskih orodij, katerih virtualno okolje predstavlja osnovo za izdelavo posameznih načrtov v prostoru. Projektna dokumentacija, narejena v virtualnem okolju, predstavlja geometrijsko skladnost dimenzijam realnega okolja. Programi, ki omogočajo izdelavo BIM-modelov, v katerih imamo možnost uporabe dodatnih orodij in aplikacij za avtomatsko zaznavanje in odpravljanje neskladij, je podano v preglednici 8.

Preglednica 8: Seznam programov z avtomatskim zaznavanjem in odpravljanjem neskladij

<b>Proizvajalec</b>	<b>Program</b>
Asuni CAD	Dinamic Display za Rhino
Autodesk	Revit mep, AutoCAD Mechanical
Bentley	Building mechanical systems
BiMserver	IFC automatic clash detection
Graphisoft	Archicad MEP 13
IDEA Architectural	FINE MEP
Nemetschek (Scia)	Scia Engineer Modeller
Tekla Corporation	Clash check Manager
VICO Software	Vico Office Constructability Manager

S pomočjo izvoza ali zapisa v drugačnem formatu, lahko podatkovni model uvozimo v druge programe, ki so specifično prirejani za analizo avtomatskega zaznavanja neskladij med posameznimi elementi. Programi, s katerimi lahko samo odkrivamo morebitna neskladja, ne moremo pa jih z njimi tudi odpraviti, kajti niso sposobni modeliranja predmetov, so prikazani v preglednici 9.



Preglednica 9: Seznam programov za odkrivanje in vizualizacijo neskladij

<b>Proizvajalec</b>	<b>Program</b>
Autodesk	Navisworks
Coade Intergraph Corporation	CADWorx Plant Professional
Pinnacle	Clash coordination
Pointcloud Kubit	Clash detection
Solibri	Solibri Model checker

Zagovorniki trdijo, da BIM ponuja:

- Izboljšano vizualizacijo
- Povečano koordinacijo gradbenih dokumentov
- Povečano produktivnost zaradi preprostega dostopa do informacij
- Vključevanje in povezovanje pomembnih podatkov, kot so ponudniki specifičnih materialov, podrobnosti o lokaciji in količinah
- Povečano hitrost dostave
- Zmanjšanje stroškov

Ustreznost postopka je še predmet razprave in treba bo počakati, ali je še kakšna druga možnost za primernejšo uporabo.

#### **4.3 Ekonomičnost avtomatskega zaganjanja neskladij**

Pri ekonomiki odpravljanja neskladij je treba obravnavati avtomatsko odpravljanje neskladij v projektni dokumentaciji s pomočjo informacijskih modelov stavb na eni strani in odpravljanje neskladij z uporabo posegov v fizično konstrukcijo na drugi strani.

Seveda se ekonomičnost uporabe avtomatskega zaganjanja neskladij v projektni dokumentaciji povečuje v začetnih fazah gradbenega procesa, ko se lahko še izognemo fizičnemu posegu v stavbo. Popolna 3D-vizualizacija objekta pripomore k boljši vizualni predstavi določenega neskladja posameznih načrtov v enem delovnem okolju, kar zmanjša

verjetnost, da bi se neskladje pojavilo v fazi gradnje, ko ne bi mogli rešiti problema brez potrošnje časa in denarja. Taka metoda dela prinaša veliko prednosti vsem vključenim v gradbeni proces.

V avgustu 2004 je ameriški nacionalni inštitut za standarde in tehnologijo (NIST) podal celotno poročilo o stroških zaradi nepravilne interoperativnosti v ZDA. Zaključek, do katerega so prišli, je 15.8 milijard \$ izgube kapitala gradbene industrije letno. Vrednost BIM-a se povečuje vsakokrat, ko se odkrije neskladje, in se ga odpravi, preden projektna dokumentacija pride v uporabo. Merila v industriji povprečno kažejo 40- do 50-odstotno spreminjanje naročil, večine prihranjenega pa se ne da kvantitativno določiti.

Pomembno je poudariti, da je vrednost BIM-a in avtomatskega zaznavanja neskladij v tem, da delovni proces poteka nemoteno, v nasprotnem primeru je uporaba tehnologije neuporabna. Ker za analizo zaznavanja neskladij potrebujemo čas, se pri kompleksnih primerih začetno poročilo zdi precej zastrašujoče, kajti število neskladij lahko hitro naraste na tisoč in več. Za določitev, kaj je s čim v neskladju in kje se neskladje nahaja, potrebujemo precej časa.

V povprečju se potreben čas za odkrivanje in koordinacijo neskladij z avtomatskim zaznavanjem neskladij poveča za 20 do 30 odstotkov, glede na tradicionalni način pregledovanja projektne dokumentacije.

Z drugimi besedami, to je proces sprememb, ki se razlikuje od starejšega načina pregledovanja in usklajevanja projektne dokumentacije. Količina potrebnega časa variira glede na kompleksnost projekta in kvalificiranosti osebe, ki je odgovorna za avtomatsko zaznavanje neskladij.

### **Pregled trga**

Kot primer smo pregledali cene storitev za obdelavo različnih materialov, ki so potrebne za odpravljanje morebitnih neskladij z arhitekturo in konstrukcijo. Prikazane so v preglednici 10 in 11.

Preglednica 10: Okvirni cenik za talno rezanje in stensko rezanje

GLOBALNA REZA	MERSKA ENOTA	ASFALT	ARMIRANI BETON	BETON
DO 6 cm	Tekoči meter	2,50 €	6,00 €	4,00 €
DO 8 cm	Tekoči meter	3,30 €	9,00 €	4,50 €
DO 10 cm	Tekoči meter	4,00 €	12,00 €	6,50 €
DO 12 cm	Tekoči meter	4,50 €	14,00 €	7,00 €
DO 14 cm	Tekoci meter	5,00 €	16,00 €	8,00 €
DO 16 cm	Tekoči meter	6,00 €	19,00 €	11,00 €
DO 20 cm	Tekoči meter		21,00 €	15,00 €
DO 25 cm	Tekoči meter		25,00 €	17,00 €
Rezanje s stensko dia. žago		m <sup>2</sup> (reza)	250,00 €	225,00 €
10 cm / tm	15cm/tm	20 cm/tm	25 cm/tm	30 cm/tm
25,00 €	37,00 €	50,00 €	62,50 €	75,00 €

Dodatno zaračunavamo	Oznaka	Cena
Uporaba sesalca	se	15 %
Armatura nad 12 mm	ž	15 %
Armatura nad 18 mm	ž	25 %
Armatura po dolžini	cm	1€
Uporaba el agregata, vodne črpalke,	ag, vč, vak	15 %

Preglednica 11: Okvirni cenik za diamantno kronsko vrtanje

VRTINA Ø	CENA V €/cm	VRTINA Ø	CENA V €/cm
> 32 mm	0,70 €	> 250 mm	2,50 €
> 52 mm	0,75 €	> 280 mm	2,90 €
> 72 mm	0,85 €	> 300 mm	3,60 €
> 102 mm	1,00 €	> 320 mm	4,00 €
> 132 mm	1,20 €	> 350 mm	4,50 €
> 162 mm	1,40 €	> 400 mm	5,20 €
> 182 mm	1,70 €	> 450 mm	6,40 €
> 200 mm	2,00 €	> 500 mm	7,60 €
> 225 mm	2,30 €	> 550 mm	10,00 €

Koliko se dejansko izplača uporaba orodja za avtomatsko zaznavanje neskladij projektne dokumentacije v fazi načrtovanja, lahko razberemo iz preglednice rezultatov izvedenega projekta na tottenhamški železniški postaji, kjer so uporabili programski paket proizvajalca *Autodesk*. Kot je razvidno iz preglednice 12, so bila neskladja prisotna v arhitekturi in med inštalacijskimi sistemi z arhitekturo.

Preglednica 12: Stroškovna analiza neskladij pri projektu.

<b>Rezultati – Prihranki odpravljanja neskladij</b>		
<b>Neskladje</b>	<b>OPIS</b>	<b>Stroški</b>
1	Dimenzije osi v modularni mreži so bile napačne	\$ 10.000,00
2	Skrajšanje kratke konzole vzdolž stranske stene	\$ 2,000.00
3	<b>Možnost, da lahko vidimo prerez dela kanala in križanje sten</b>	<b>Neprecenljivo</b>
4	Priključki peskolov pod ploščo	\$ 5,000.00
5	Stene je bilo treba povečati zaradi neskladja z okensko fasado	\$ 10.000,00
6	Napačna postavitve stebrov	\$ 5,000.00
7	Odprtine so bile premajhne za inštalacijske sisteme	\$ 5,000.00
8	Jeklenim profilom smo lahko določili velikosti odprtin in tako zmanjšali napake v procesu	\$ 5,000.00
9	Priključki in stebri so bili določeni nepravilno in so bili napačnih dimenzij	\$ 25.000,00
10	Modeliranje vodovoda in prezračevanja	\$150,000.00
	<b>Skupaj</b>	<b>\$217,000.00</b>



## **5. PRIMER UPORABE**

### **5.1 Predstavitev projekta**

Za obravnavo problematike odpravljanja neskladij v projektni dokumentaciji z uporabo informacijskih modelov stavb je podrobno analiziran še nedokončani objekt osnovne šole.

Primer uporabe zajema :

- Izdelavo arhitekturnega informacijskega modela
- Izdelavo MEP-informacijskih modelov inštalacijskih sistemov
- Uporabo aplikacije zaznavanja kolizij in operacije konstruktivne geometrije
- Ekonomičnost uporabe programskega orodja

#### **5.1.1 Lokacija in opis objekta**

Objekt se nahaja v Sv. Antonu pri Kopru. Za boljšo predstavo o lokaciji objekta je podana Priloga A.

Objekt je sestavljen iz dveh delov. Na eni strani je telovadnica s pritličjem in nadstropjem, dimenzij 26.9 m x 18.4 m, na drugi strani pa klet z medetažo, pritličjem in nadstropjem, dimenzij 21.3 m x 13.8 m. Vmes je dilatacija 20 cm.

Etažne višine v objektu so 3.9 m, razen višina stropa telovadnice, ki je 8.6 m od kote temeljne plošče. Višina objekta od temeljne plošče, vključno z nadzidkom, meri 17.56 m.

Temelji so pasovnega tipa širine 120 cm in višine 60 cm.

Uporabljen je bil mešani armiranobetonski sistem. Za vertikalne nosilne konstrukcijske elemente so bile uporabljene stene in stebri. Za horizontalne nosilne konstrukcijske elemente plošče večjih razpetin in grede.

Za boljši opis objekta so priložene Priloge B, C, D.

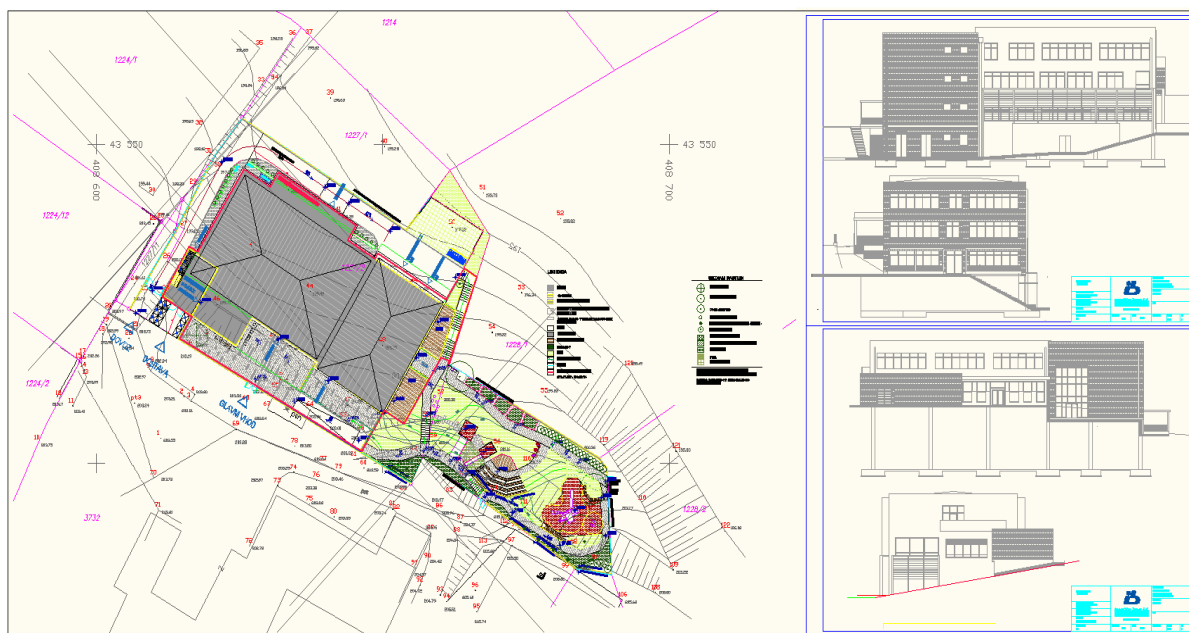
### 5.1.2 Pridobljena projektna dokumentacija

Za namene diplomskega dela je bil pridobljen le del projektne dokumentacije, saj niso bili vsi pripravljene sodelovati. Ker pa objekt še ni dokončan, je bila tudi projektna dokumentacija precej nepopolna. Zato je bilo tolmačenje pomena posameznih simbolov in elementov za ustrezno implementacijo informacije kot nedvoumno interpretacijo podatka v informacijski model zgradbe precej problematično.

Pridobljena projektna dokumentacija in ostali viri, ki jih je bilo moč pridobiti, so predstavljeni po kategorijah:

#### Arhitektura

Arhitekturne podloge sem dobil v DWG-formatu, ki je zelo razširjena oblika zapisa podatkov. Njegova pretvorba v druge oblike zapisov je precej enostavna in dostopna uporabnikom. Sem podloge iz DWG-oblike pretvoril v PDF-obliko zapisa podatkov, in nato uvozil načrte v ustreznem merilu v delovno okolje informacijskega modela zgradbe. Slika 19 prikazuje nekatere arhitekturne podloge.

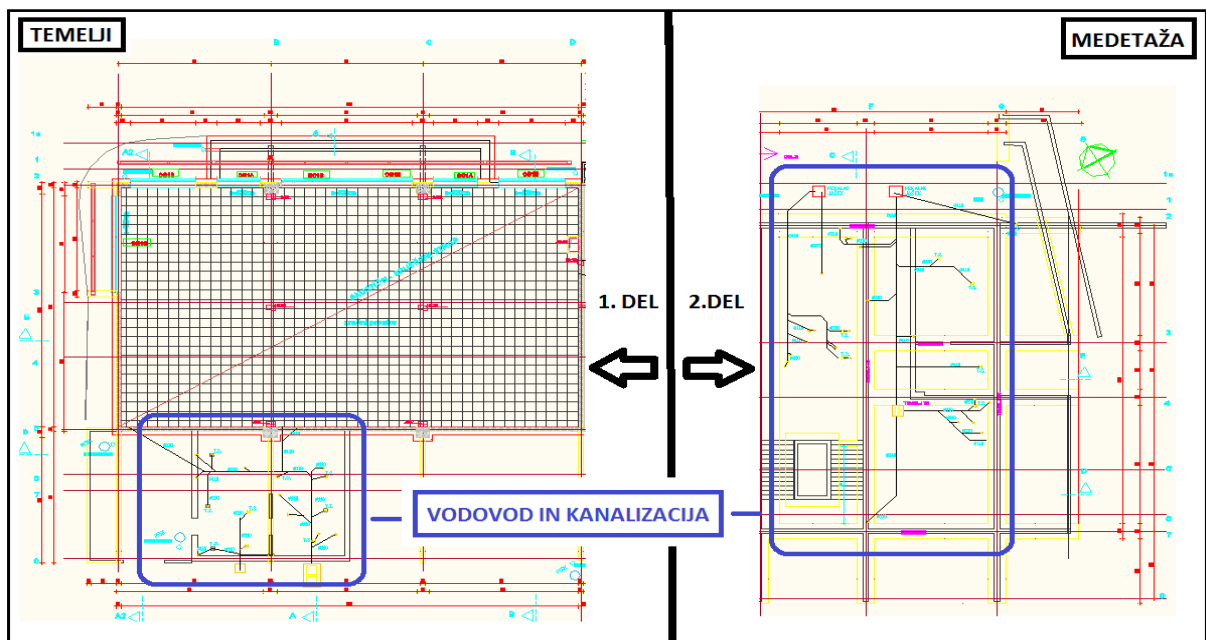


Slika 19: Prikaz nekaterih arhitekturnih podlog

## Inštalacije

Načrte (PZI) strojnih, elektro- ter ostalih inštalacijskih sistemov sem dobil v natisnjeni, vezani obliki in jih zato nisem mogel neposredno vnesti v sam informacijski model stavbe, saj nisem imel na voljo računalniške oblike zapisa podatkov. Inštalacije so bile vnesene do takšne mere, ki so jo dopuščali načrti. Za nadaljnje dopolnjevanje in bogatenje modela z informacijami bi potreboval natančno poročilo o dejanskem stanju zadnje verzije projektne dokumentacije v računalniški ali pa tudi v vezani obliki. Lahko bi uporabil optični čitalec, a ga za format velikosti A3 in več nisem imel na voljo.

Inštalacije sem modeliral natančno, kajti iz podlog je bilo možno v digitalno obliko prenesti in uporabiti le nekaj elementov vodovodnega in kanalizacijskega sistema. Vse ostalo je bilo treba modelirati z MEP-modelirnikom, brez digitalne oblike zapisa. Obseg uporabe pridobljene projektne dokumentacije je prikazan na sliki 20. Z nje je razvidno, da so bile arhitekturne podloge v računalniški obliki opremljene s strojnimi inštalacijami le na nivoju temeljev in medetaže.



Slika 20: Obseg vodovodnega in komunalnega sistema v projektni dokumentaciji



## Fotografije

Fotografije objekta so bile izvedene za lažjo predstavbo objekta in posameznih detajlov, ki niso bili podani v projektni dokumentaciji. Na sliki 21 so predstavljeni preboji za MEP-sisteme in pozicije za ostale inštalacije. Na podlagi fotografij sem ugotovil, da se projektna dokumentacija v nekaterih segmentih bistveno razlikuje od tistega, kar je bilo dejansko zgrajeno. Tako je bilo ugotovljeno, da so bile v telovadnici predvidene le tri grede, dejansko pa jih je 5.



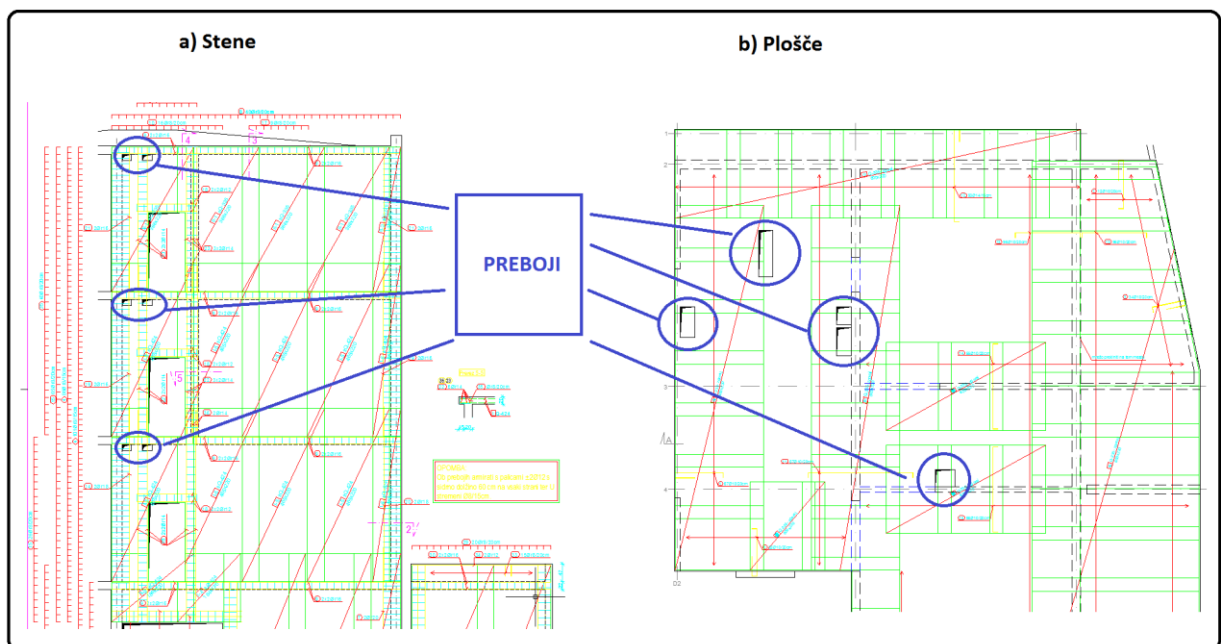
Slika 21: Prikaz prebojev za MEP in ostale inštalacijske sisteme

Fotografije, ki jih lahko digitalno prenesemo v računalnik, lahko služijo kot vir informacij, ki jih je možno s pomočjo računalniških programov uporabiti kot podloge za izdelavo informacijskega modela zgradb.

## Armaturni načrti

Armaturne načrte sem naknadno pridobil od projektantskega biroja, in so bili v digitalnem DWG-formatu. Vse armaturne načrte sem prav tako s pomočjo plotanja lahko shranil v PDF-formatu. Tako dobljeno obliko zapisa sem uporabil v programu za 3D-modeliranje informacijskega modela stavb, kajti iz te dokumentacije je bilo razvidno, kako je projektant konstrukter vrisal pozicije in velikosti potrebnih prebojev MEP-sistemov.

Iz slike 22 je razvidno, da se armatura v okolici predvidenih prebojev ne spremeni. Narisana je tako, kot da oslabitve zaradi prebojev MEP-sistemov ne vplivajo na statično in dinamično nosilnost elementa ali konstrukcijskega sklopa. Možno je le sklepati, da oslabitve manjših geometrijskih razsežnosti ne povzročijo zadostne spremembe nosilnosti, da bi ta presegla projektne vrednosti po veljavnih standardih, kar pa je treba preveriti. Armatura je bila vgrajena po obstoječi projektni dokumentaciji in naknadno so bili izvedeni preboji v nosilni konstrukcijski element, kar dokazuje neusklajenost projektne dokumentacije.



Slika 22: Označevanje prebojev v projektni dokumentaciji

## 5.2 Izdelava informacijskega modela stavbe

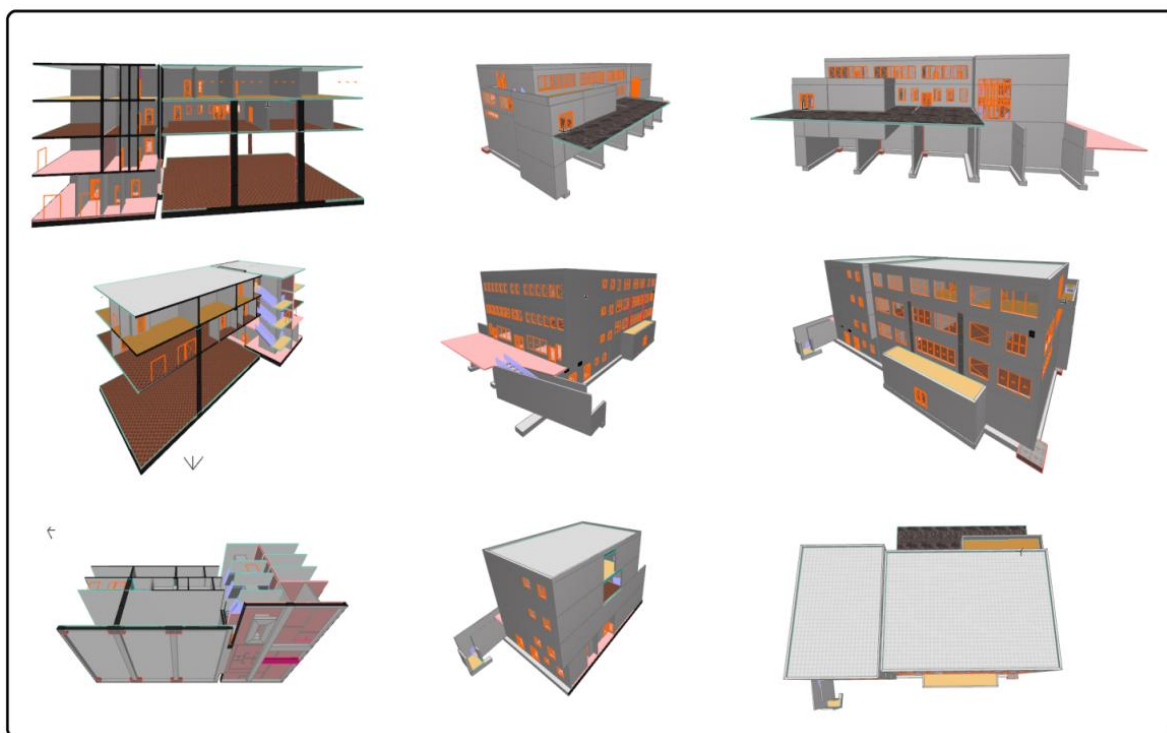
Informacijski model stavbe smo izdelali s pomočjo programskega paketa ArchiCAD 13 podjetja *Graphisoft*. Narejen je posebej za projektiranje na področju arhitekture. Velja za prvo CAD orodje na osebem računalniku, ki je lahko izdelalo tako 2D- kot 3D-risbe. Uporabniku omogoča delo s parametričnimi objekti, med uporabniki večkrat imenovanimi kar »pametnimi« objekti. ArchiCAD omogoča oblikovanje »Virtualne zgradbe« z virtualnimi objekti, kot so zidovi, plošče, okna in vrata ter notranja oprema. Skupaj s programom uporabnik dobi veliko knjižnico parametričnih objektov.

Uporabniki lahko zgradbo na zaslonu oblikujejo tako v 2D- kot v 3D- prikazu. Dvorazsežne risbe lahko kadar koli izvozimo iz programa, ne glede na to, da se model zgradbe vedno shranjuje v treh dimenzijah. Tlorisi, prerezi in fasade so le delni prikaz trirazsežnega modela in se neprestano, sproti osvežujejo. Detajlne risbe imajo za osnovo povečan izsek modela z dodanimi 2D-elementi.

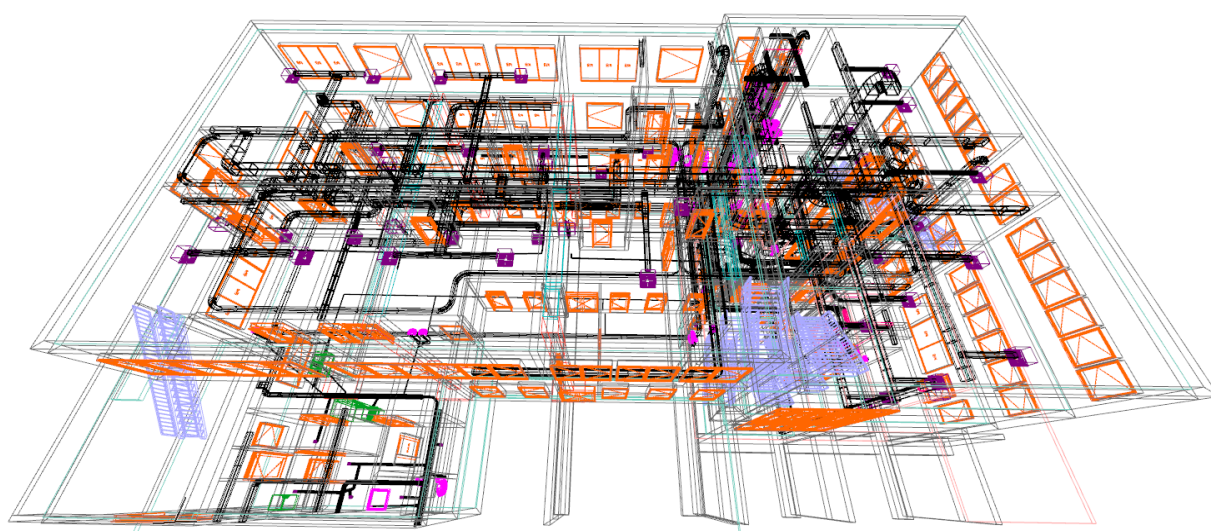
Izvoz datotek je omogočen v IFC, DWG, DXF in SketchUp ter druge formate.

Za uporabo MEP-modelirnika moramo izbrati ustrezno podlogo ali delovno okolje, da bi imeli že vnaprej ponastavljene operacije in knjižnice s posameznimi MEP-elementi, kar omogoča lažje načrtovanje. V nasprotnem primeru je treba vključiti MEP-orodje v programu ArchiCAD. Seveda pa izdelava MEP-sistemov ni tako enostavna, kajti brez natančne informacije je enostavno nemogoče izdelati natančen informacijski model zgradbe. Zato bi bilo treba sproti usklajevati in dopolnjevati projektno dokumentacijo preko informacijskega modela stavb na daljavo ali v živo; tako bi lahko natančno določili potek MEP-sistemov.

Izdelava samega informacijskega modela stavbe s pomočjo programa ArchiCAD 13 in MEP modelirnika ni predstavljal velike ovire, saj so vsi elementi precej enostavno prikazani in aplikacije skladno urejene. Končna verzija izdelave informacijskega modela v programu je prikazana na sliki 23, iz različnih zornih kotov. Na sliki 24 je podan še žični prikaz informacijskega modela zgradbe, ki omogoča pregled elementov v notranjosti modela.



Slika 23: Prikaz BIM-modela arhitekture v različnih 3D-pogledih

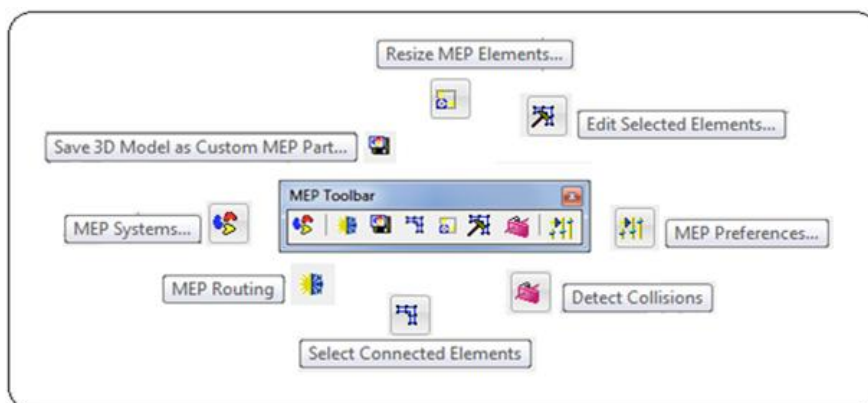


Slika 24: Prikaz žičnega informacijskega modela zgradbe

### 5.2.1 Uporaba informacijskega MEP-modeliranja

Pri izdelavi informacijskega modela zgradb smo uporabili orodja MEP-modelirnika, s katerimi imamo na voljo vse aplikacije, ki jih potrebujemo za izdelavo potrebne projektne dokumentacije in preverjanje njene skladnosti s predpisi ter z zastavljenim ekonomskim ciljem.

V programu imamo vgrajeno orodje za odkrivanje kolizij med MEP in ostalimi arhitekturnimi objekti, ki nam prikaže vsa mesta, kjer prihaja do težav oziroma nepravilnosti. Vsako posebej si lahko ogledamo v 2D ali 3D in tako lahko ukrepamo preden pridejo načrti na gradbišče. Omenjeno orodje smo uporabili tudi pri analizi konkretnega primera, saj nudi hitro in natančno odkrivanje neskladij projektne dokumentacije v informacijskem modelu zgradbe. Osnovne koncepte aplikacije modeliranja prikazuje slika 25.



Slika 25: Konceptualna zasnova osnovnih aplikacij MEP-modeliranja

MEP-modelirnik se lahko uporablja v naslednjih procesih:

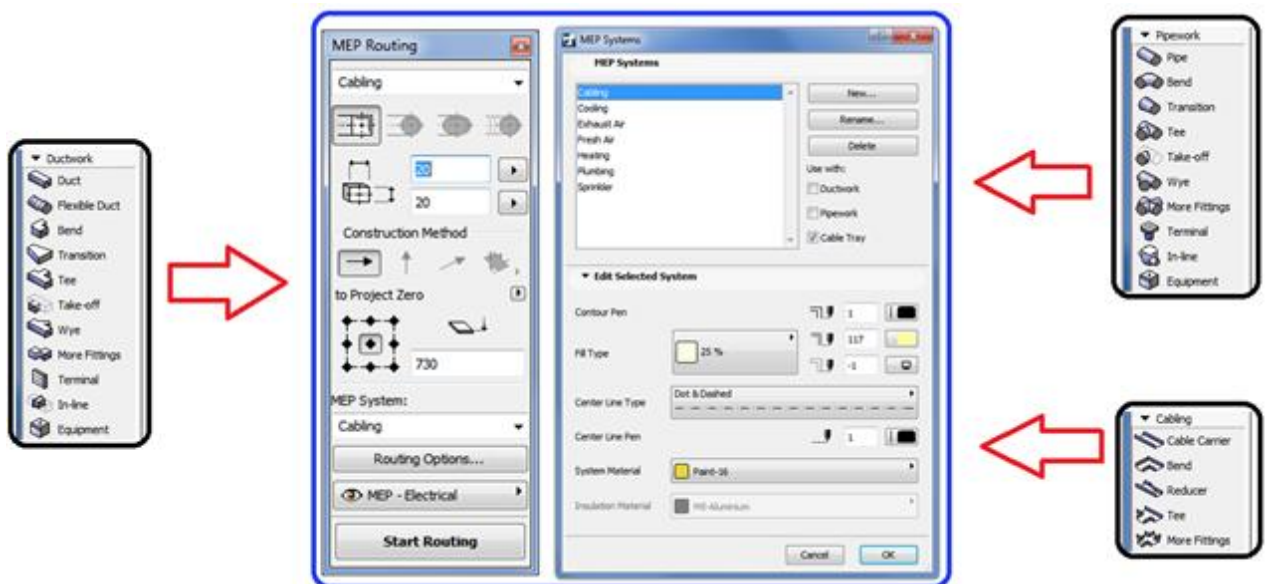
- **3D BIM** – Ko ima projektant na voljo 3D-model vseh inštalacij, zapisan v IFC-formatu, lahko arhitekt preveri potencialne probleme. Graphisoft MEP-modelirnik omogoča povezavo s programom Autocad MEP preko vtičnika ArchiCAD Connection.
- **2D proces** – Na osnovi 2D-načrtov inštalacij lahko projektant ali pa arhitekt s pomočjo izredno zmogljivih MEP-orodij sam oblikuje oz. popravi razvod strojnih in elektroinštalacij znotraj programa ArchiCAD.



MEP-orodjarna ponuja specializirana orodja za oblikovanje komponent za različne sisteme. Sem spadajo ravni segmenti za kanale, cevi in kabelske police, prehodi, spoji in vrstni elementi za povezavo med komponentami ter oprema in vhodne ter izhodne komponente s samodejno povezavo na kanale ali cevi. Komponente so parametrične za enostavno prilagajanje na poljubne dimenzije.

MEP-razvode pa lahko oblikujemo tudi s pomočjo inteligentnih razvodov (angl *routing*). Posamezne MEP-komponente se postavijo samodejno vzdolž definirane poti po vnaprej določenih pravilih. Tak način je omogočen tako v tlorisu kot v 3D-oknu. ArchiCADOV pametni kurzor in pomožne črte nudijo hitro postavitev razvoda z nekaj kliki z miško. Spreminjanje dimenzij, oblike in smeri v vseh treh dimenzijah je na voljo v vsakem trenutku.

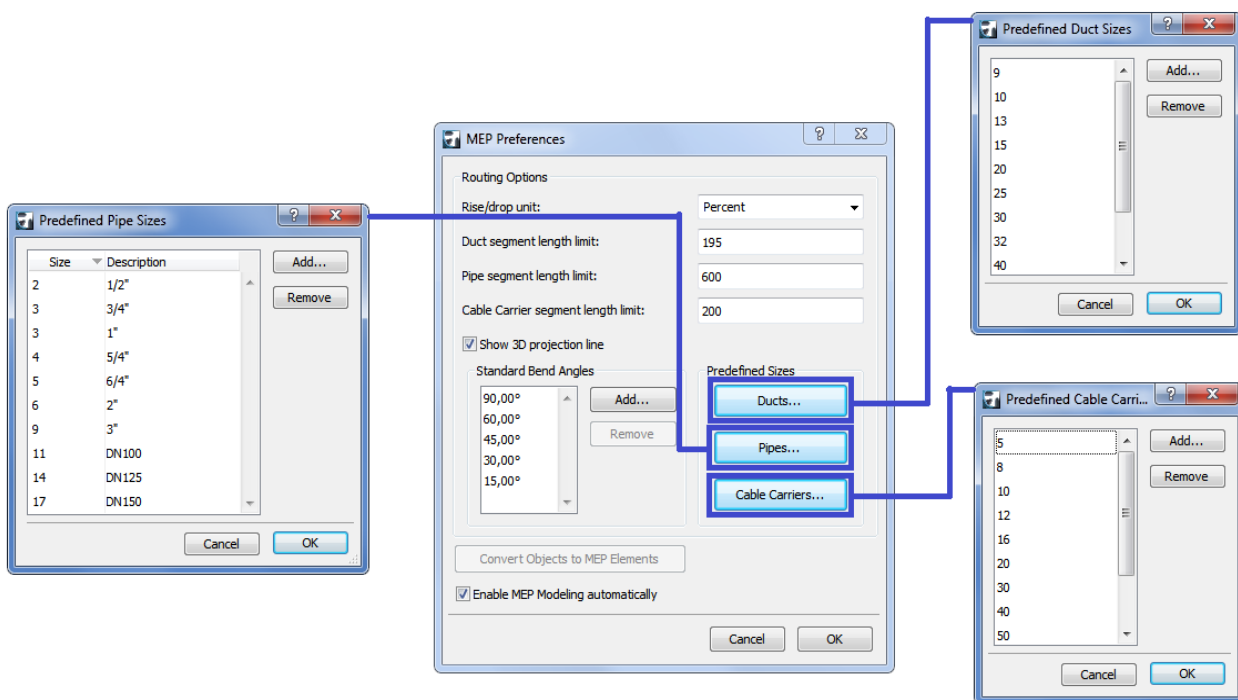
Zavihki treh glavnih kategorij elementov MEP-modelirnika v programu ArchiCAD so postavljeni tako, da lahko hitro dostopamo do želene aplikacije ali spreminjamo lastnosti želenim elementom. Z namenom prikaza posameznih inteligentnih orodij in elementov v MEP modelirniku podajamo sliko 26.



Slika 26: Prikaz štirih glavnih MEP-kategorij v povezavi z MEP-inteligentnimi razvodi

Z določitvijo MEP-sistema prikazujemo skupino MEP-elementov, ki se jih obravnava, skupaj, in s tem omogočimo enostavnejše oblikovanje ter popraviljanje komponent. MEP-sistemu (npr. prezračevanje, ogrevanje, topla voda, kanalizacija ...) določimo svoje parametre, kot so barve, peresa, materiali, kar omogoči boljši pregled nad celotnim MEP-projektom. Če obstoječemu sistemu dodamo nove elemente, samodejno prevzamejo prej nastavljene parametre, kot so oblika in dimenzije.

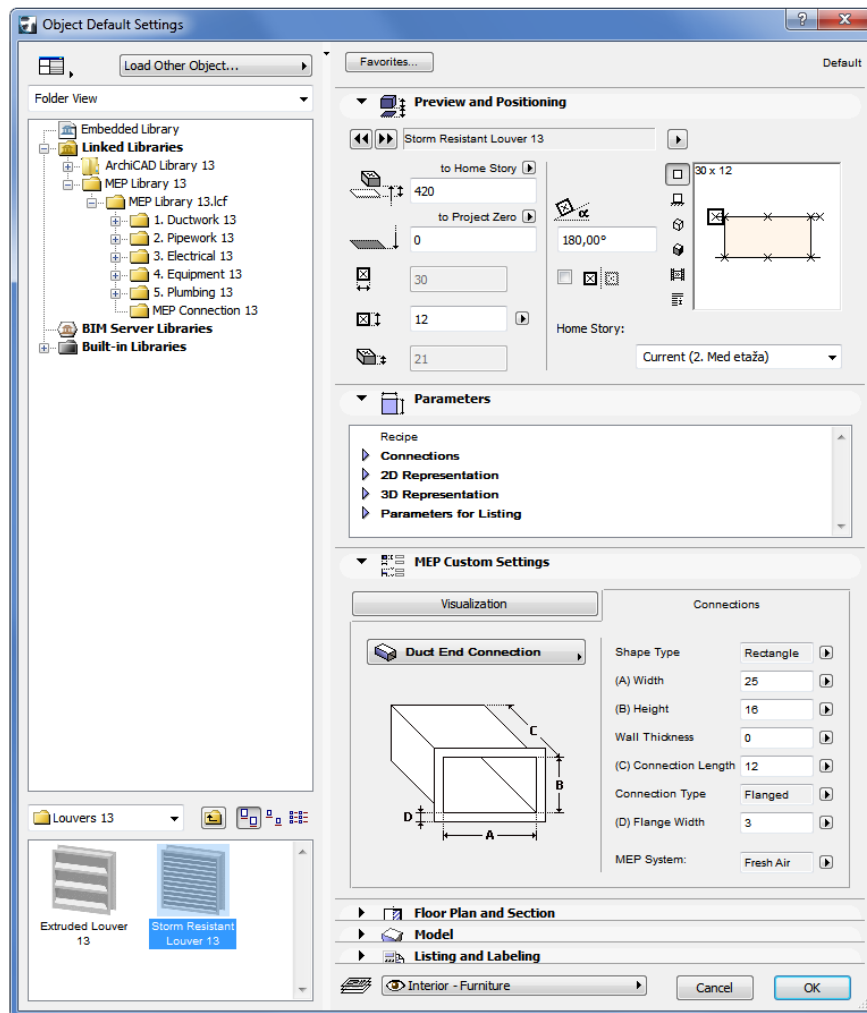
Posameznim MEP-elementom lahko pred začetkom izdelovanja informacijskega sistema inštalacij redefiniramo prerez, naklon in dolžino, kar precej pospeši izdelovanje projektne dokumentacije. Na sliki 27 so prikazane tri kategorije elementov MEP-modelirnika, ki jim lahko redefiniramo omenjene lastnosti.



Slika 27: Prikaz treh kategorij za redefiniranje geometrije MEP-elementov

Sestavni del Graphisoft MEP-modelirja je tudi bogata knjižnica objektov. Ta vsebuje posebej pripravljene MEP-elemente, ki vključujejo inteligentne priključne točke za samodejno povezovanje objektov pri kreiranju razvoda.

Pri namestitvi programa se ustrezne standardne objekte ArchiCAD-knjižnice (umivalniki, kadi ...) zamenja z novimi, ki imajo ravno tako redefinirane priključne točke. Na sliki 28 je prikazana knjižnica, ki jo dobimo v programskem paketu, in jo lahko tudi sami dopolnjujemo.



Slika 28: Knjižnica elementov

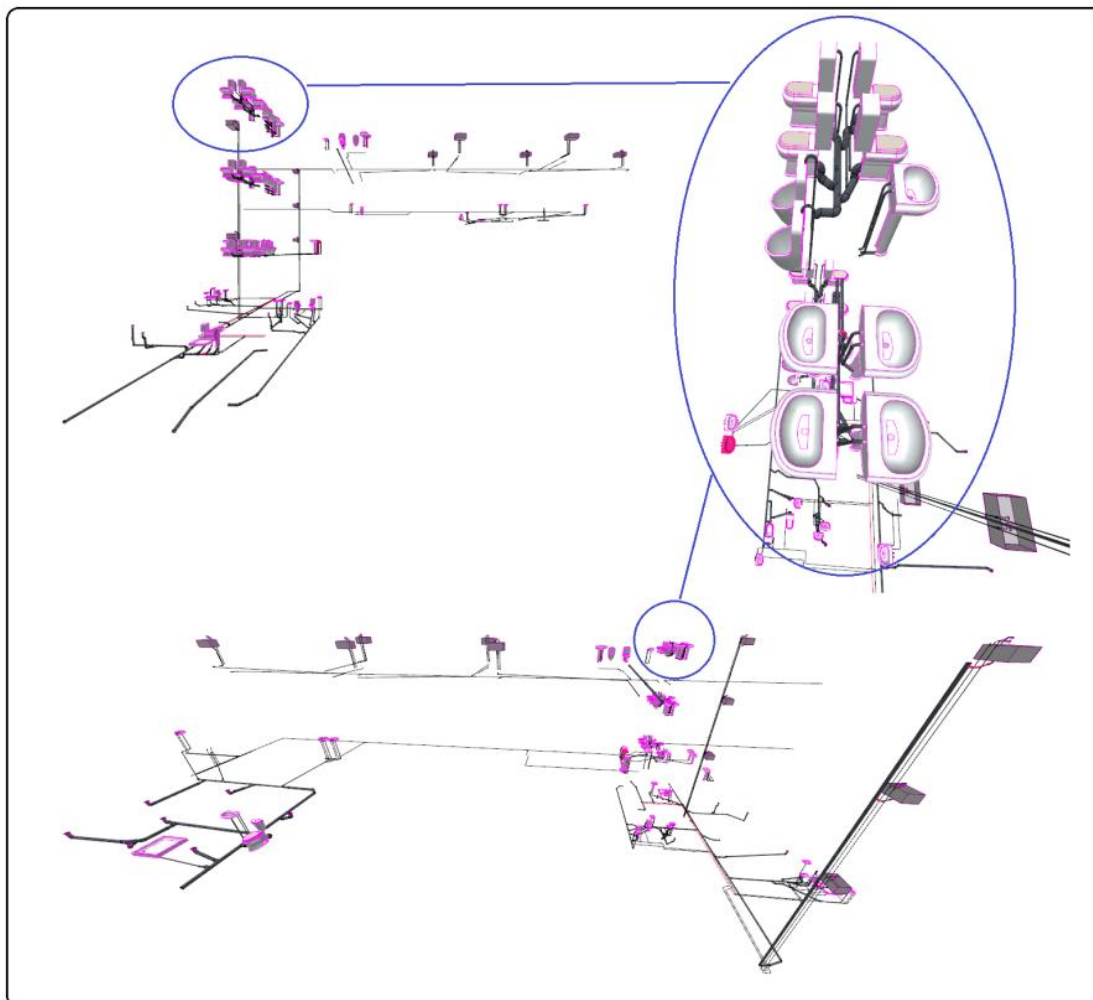
Najenostavnejša metoda oblikovanja inštalacij je postavljanje posameznih cevi, kanalov ali polic drugo za drugo. S to metodo se povezave med elementi izdelajo druga za drugo in tudi položaj vsakega elementa določamo ob njegovi postavitvi. To je zelo prilagodljiv način izdelave razvoda, ki spominja na sestavljanje LEGO kock. Med postavljanjem imamo vedno na voljo vse parametre za element, ki ga obdelujemo.



MEP-modeliranje inštalacijskih sistemov razvrstimo v naslednje kategorije:

### Vodovodne in komunalne inštalacije

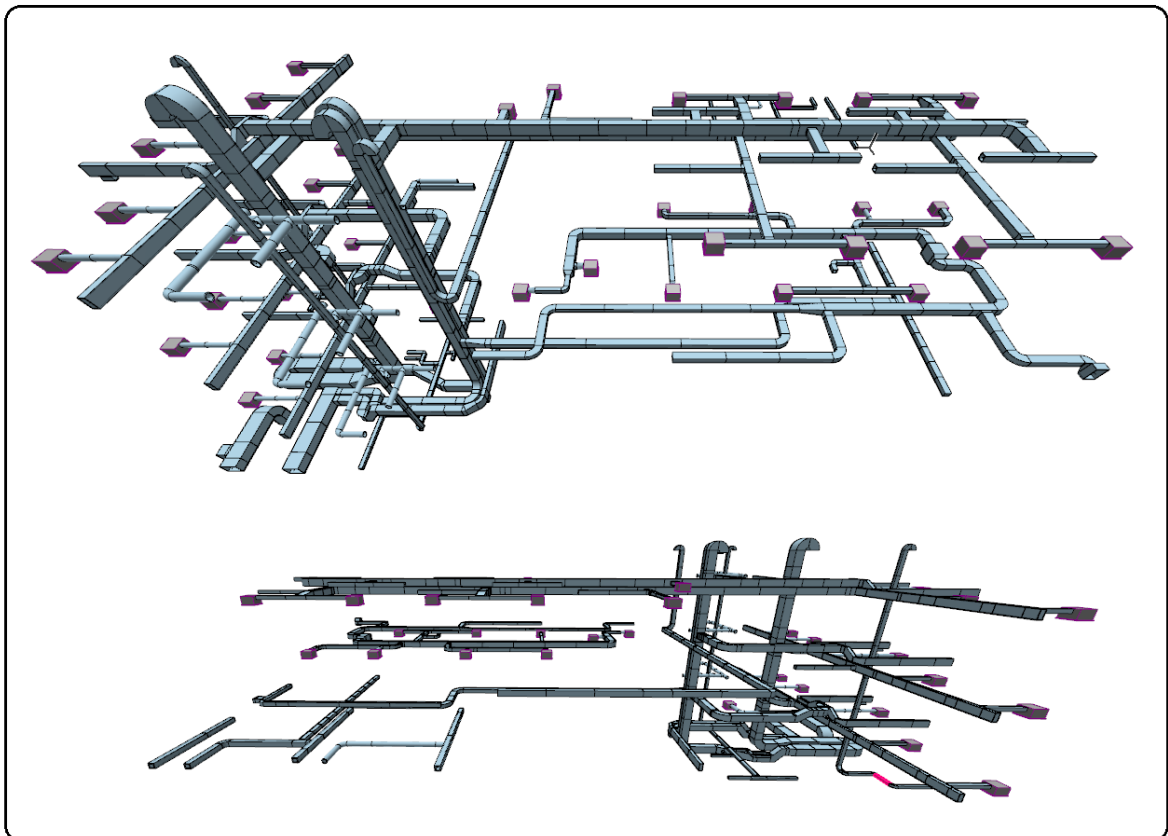
Strojne vodovodne in komunalne inštalacije lahko enostavno modeliramo s redefiniranimi objekti in aplikacijami MEP-modelirnika. Sistem poteka tako vertikalno kot horizontalno, z izjemo od ostalih inštalacijskih sistemov pa še pod naklonom  $1-1.5^\circ$  ali  $1,3-2\%$ . To predstavlja velik problem, saj se je izkazalo, da višinska razlika zaradi naklona poteka komunalnih vodov po določeni razdalji presega višino konstrukcijskega elementa, skozi katerega poteka. Na sliki 29 so prikazani načrti vodovodnih in komunalnih elementov sistema inštalacij v 3D.



Slika 29: Prikaz inštalacijskega sistema vodovodnih in komunalnih elementov

## Ogrevanje, prezračevanje, hlajenje ali HVAC

HVAC-sisteme sem prav tako modeliral s pomočjo MEP-modelirnika, kjer je princip uporabe podoben kot pri ostalih inštalacijskih sistemih. Sistem HVAC je v primerjavi z ostalimi, ki sem jih vgradil v BIM-model, največji po obsegu. Oblikovanje je bilo manj zapleteno in ni bilo časovno potratno, saj je bila pridobljena projektna dokumentacija (PZI) zelo kvalitetno izvedena. Vseeno pa ni bilo vnesenih višinskih kot HVAC-elementov v posamezni etaži, kar je predstavljalo problem pri izdelavi modela sistema. Potreben prostor za vodenje sistema v arhitekturi in konstrukciji je po navadi zelo omejen, zato je treba natančno določiti celoten potek inštalacij. Na sliki 30 je prikaz 3D-modela HVAC-inštalacijskega sistema.

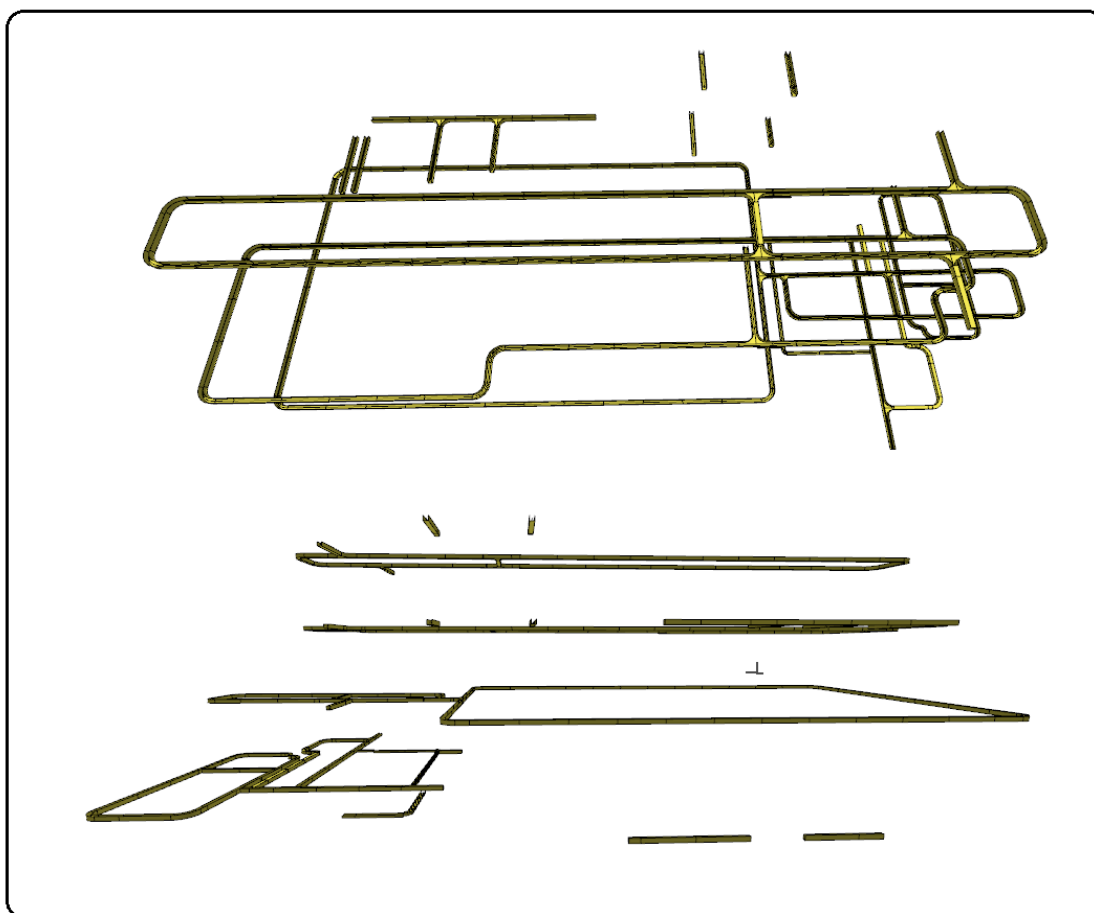


Slika 30: 3D prikaz HVAC-sistema

Seveda je treba poudariti, da bi strokovnjaki na tem področju bili zmožni narediti natančnejše in ustreznejše 3D-načrte HVAC-inštalacij, saj gradbenik konstruktor nima zadostnega znanja za opravljanje tovrstnih nalog.

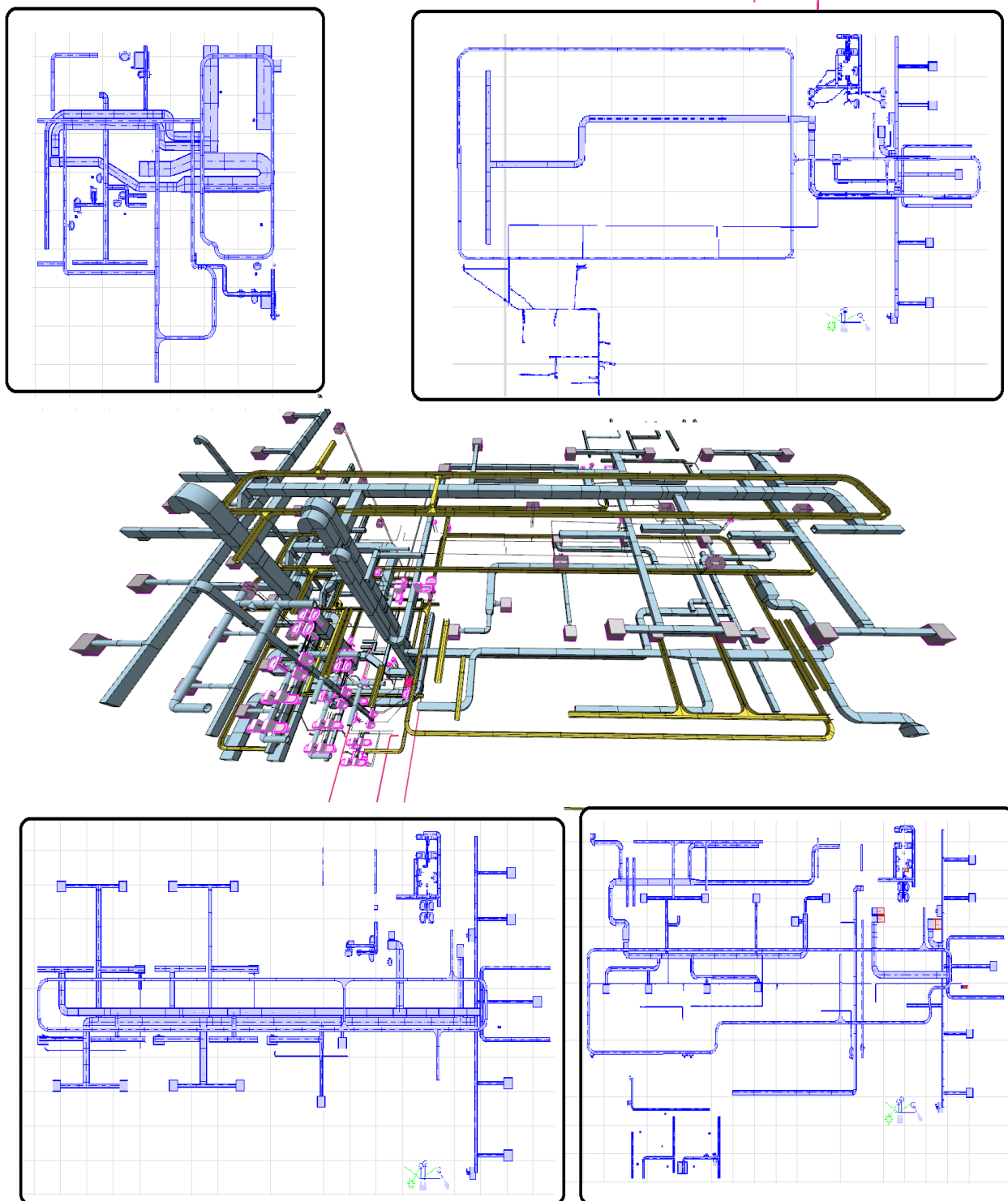
## Elektroinštalacije

Elektroinštalacije se vgradi v model na podlagi načrtov in podlog, ki so na voljo za dani objekt. V mojem primeru so bile vnesene ročno. Segmenti in objekti, ki so na razpolago za modeliranje, zadostujejo potrebi po natančnosti modeliranja, saj lahko natančno določimo lastnosti inštalacijskega sistema samo s sodelovanjem z elektroinženirjem. Virtualna podoba elektroinštalacijskih elementov je predstavljena na sliki 31.



Slika 31: Prikaz elektroinštalacijskega sistema v 3D

Za vstavljanje vseh ostalih komponent elektroinštalacij žal ni bilo na voljo boljše projektne dokumentacije, iz katere bi lahko razbrali več informacij. Projektno dokumentacijo bi bilo treba dodatno dopolnjevati. Za boljšo predstavbo vseh MEP-sistemov v informacijskem modelu zgradbe, tako v 2D- kot tudi v 3D-obliki, je podana slika 32.



Slika 32: Prikaz vseh MEP-sistemov v 2D- in 3D-pogledih

## 5.2.2 Odpravljanje neskladij med modeli

Za pravilno odpravljanje nastalih neskladij med modeli je treba neskladja ustrezno kategorizirati glede na vrsto komponente, ki se v neskladju nahaja. To pa lahko storimo tako, da odkritemu neskladju dodamo komentar ali tehnični napotek za rešitev, oz. samo za boljšo komunikacijo z ostalimi strokovnimi sodelavci v času izdelave projektne dokumentacije.

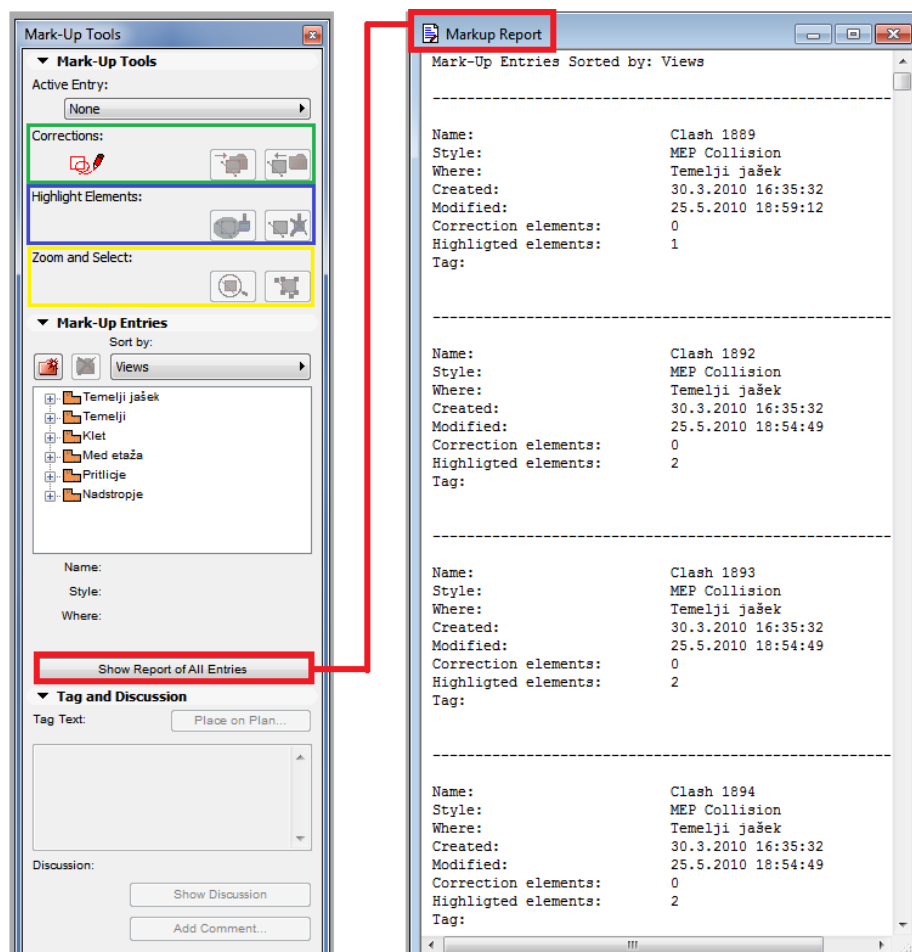
### Uporaba aplikacije *Collision detection*

S pomočjo aplikacije *Collision detection* lahko odkrijemo vsa neskladja informacijskih MEP-sistemov med seboj in ostalimi deli arhitekture ter konstrukcije. Če ne označimo nobenega MEP-sistema, bo aplikacija izvedla pregled morebitnih neskladij vseh elementov MEP-sistemov, razen tistih, pri katerih so »layerji« skriti. Če pa označimo samo določen MEP-element ali sistem, bomo dobili rezultate neskladij z arhitekturo in drugimi konstrukcijskimi elementi samo za označene dele. Tako lahko bolj organizirano pristopimo k odpravljanju neskladij. Pregled zagona aplikacije za avtomatsko zaznavanje neskladij v informacijskem modelu zgradb je prikazan na sliki 33. Z nje je razvidno, da je bila aplikacija izvedena v zelo kratkem času in da je število javljenih neskladij na stotine. To pa seveda pomeni, da bo potrebnega veliko časa za odpravljanje neskladij.



Slika 33: Prikaz uporabe aplikacije avtomatskega zaznavanja neskladij

Neskladja odpravljamo selektivno, in sicer po etažah. Po izvršeni aplikaciji dobimo kot rezultat seznam neskladij v tekstovni obliki, ki ga imenujemo *Report*, ter dodatno paleta aplikacij, ki ji pravimo *Mark-up Tools*, s katerimi lahko lokaliziramo, ogledujemo in po potrebi ustrezno komentiramo neskladja. Kako izgleda seznam neskladij ter aplikacija za lokalizacijo in vizualizacijo neskladij po analizi zaznavanja neskladij, je prikazano na sliki 34.



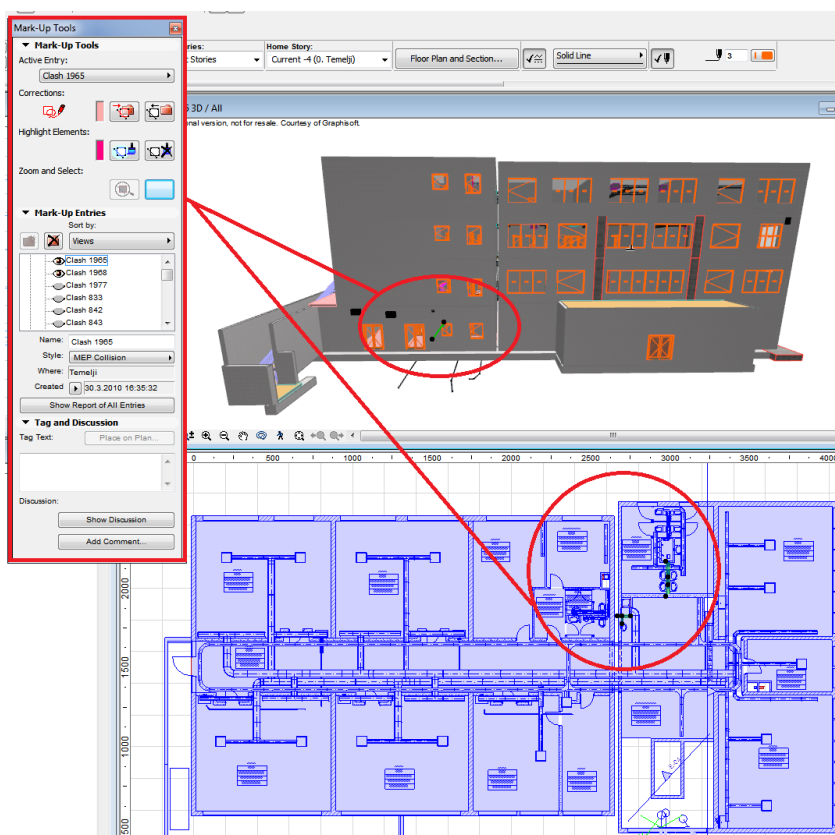
Slika 34: Seznam neskladij (desno) in paleta orodij Mark-up Tools (levo)

## Obseg neskladij

Pregled obsega neskladij med modeli zahteva veliko časa in potrpežljivosti. Obseg odkritih neskladij je precej odvisen od natančnosti izvedbe in koordinacije projektne dokumentacije. V našem primeru je bilo zaznanih 1993 neskladij, kar pomeni, da je projektna dokumentacija precej neuskklajena. Ker je pridobljena projektna dokumentacija precej nepopolna, je obseg števila neskladij omejen glede na trenutno stanje projekta v procesu graditve objekta. Ker so nekatere odprtine za instalacije že predvidene in upoštevane v projektni dokumentaciji ter izgradnji, smo te izključili iz analize. Tako smo na koncu dobili le tista neskladja, ki so nepredvidena. Če bi spremljali nadaljnje faze gradnje z izdelano informacijsko-projektno dokumentacijo modela zgradbe, bi lahko predvideli še marsikatera neskladja.

## Lokalizacija, vizualizacija in popravki neskladij

Odkrivanje neskladij v objektu z uporabo aplikacije *find* je zelo enostavno, saj omogoča natančno vizualizacijo neskladja v 2D- in 3D-pogledu, za vse etaže in prerezne ravnine, ki jih imamo določene. Tako lahko natančno odkrijemo izvor neskladja in primerno ukrepamo. Neskladja se seveda lahko prekrivajo, kar pa bi lahko bilo problematično, saj ne bi videli objekta pod drugim objektom, če ne bi imeli možnosti, da se element osvetli in izriše v ospredju (Slika 35).



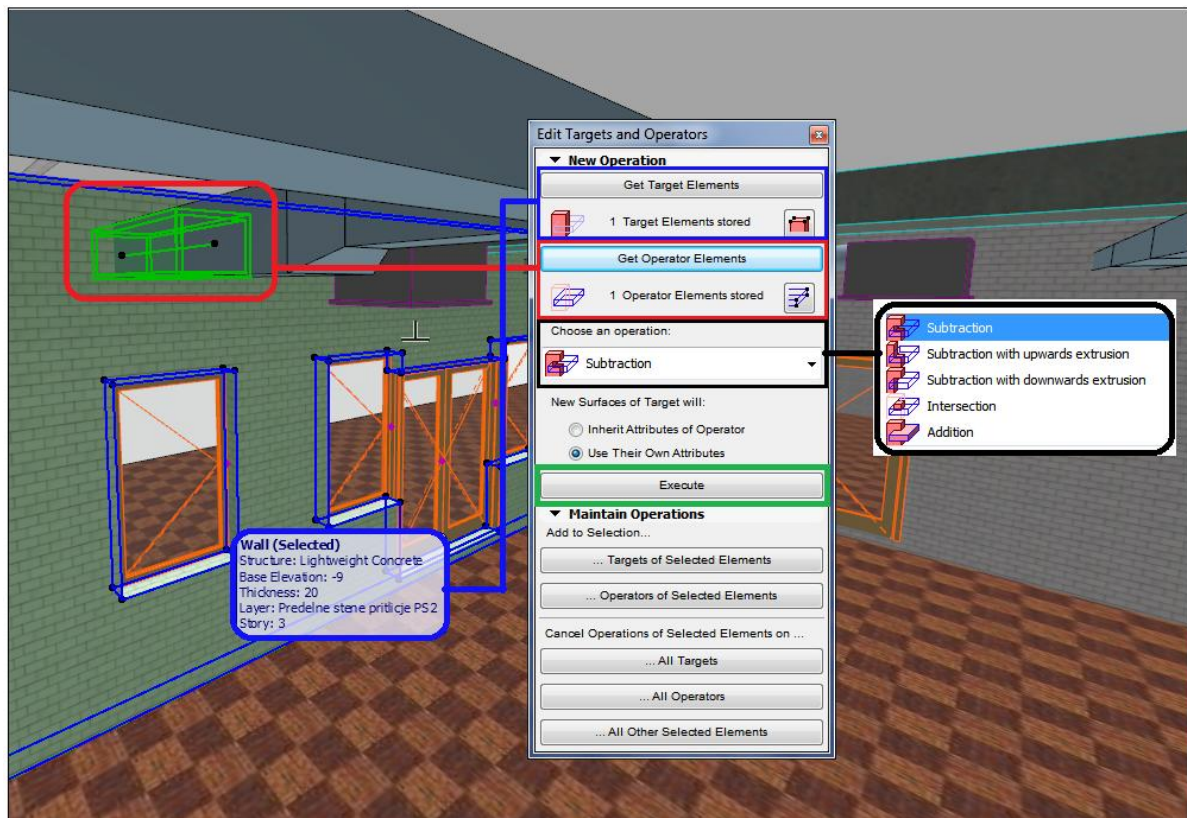
Slika 35: Lokalizacija neskladij

Lokalizacija objektov v 3D-pogledih deluje po istem principu kot v 2D-pogledu; uporabimo isto orodje za vizualizacijo morebitnih neskladij. Razlika je v tem, da si lahko presečišče objekta ogledamo iz poljubnih zornih kotov navideznega prostora, in tako natančno proučimo problem. Posamezni elementi informacijskega modela se obarvajo drugače glede na kategorijo elementa, ki se seka med seboj. Tako lahko lažje in hitreje določimo vrsto in izvor težave.



## Uporaba aplikacije *Solid elements Operations*

S pomočjo uporabe te aplikacije lahko neskladja MEP-sistemov z arhitekturo in konstrukcijo, dobljena iz rezultatov analize avtomatskega zaznavanja neskladij, izključimo. Če želimo, da skozi konstrukcijski element poteka MEP-element, ga moramo označiti in pritisniti *Get Target Elements*, ter nato izbrati in označiti drugi element ali celoten sistem, ki bo tvoril presečišče z želeno geometrijo. Nato pritisnemo ukaz *execute*, in aplikacija se bo izvedla instantno. Orodje omogoča še ostale načine določanja presečišč med modeli, ki so nazorno prikazani na sliki 36, kjer v 3D-pogledu lahko enostavno odpravljamo neskladja.



Slika 36: Prikaz palete ukazov konstruktivne geometrije

Seveda lahko omenjeno orodje prav tako uporabimo v 2D-pogledih in odpravimo neskladje v geometriji informacijskega modela. Orodje je zelo uporabno, ker je čas, potreben za izvedbo aplikacije, skoraj instanten, tako da lahko mnogo neskladij odpravimo v enem koraku.



## **5.3 Analiza in diskusija odpravljanja neskladij študije primera**

### **5.3.1 Tehnični ukrepi odpravljanja neskladij**

Neskladja lahko odpravljamo na naslednji način: tista, ki se zgodijo med posameznimi sistemi inštalacij, moramo popraviti tako, da se elementi med seboj ne bodo sekali ali dotikali, zato je treba imeti znanje ustrezne stroke, ki je za to odgovorna. Neskladja, ki se zgodijo zaradi sekanja sistema inštalacijskih elementov z arhitekturnim modelom, pa je treba popraviti tako, da elementi ne potekajo, kjer ni predvideno, in kjer neskladja pomenijo potek inštalacij skozi arhitekturne elemente.

Neskladja, ki niso bila odpravljena v fazi načrtovanja in se nato pojavijo v času izvedbe objekta, lahko predstavljajo nepredvideno oslabitev prerezov nosilnih konstrukcijskih elementov. Veljavni standard SIST EN 1992-1-1 obravnava preboje v konstruktivnih elementih in preboje v bližini odprtine (oslabitve). Ne obravnava pa vplivov odprtin na konstrukcijske elemente.

Obravnavamo jih kot elemente z luknjami, ki jih je potrebno ustrežno dimenzionirati, glede na povečano obremenitev v vplivnem območju oslabitve. Zaradi robnih konic napetosti v okolici oslabitve, je potrebno notranje količine reducirati da dobimo ustrezne vrednosti za dimenzioniranje. Upoštevati je potrebno zahteve za detajle.

Če se luknje v konstrukcijskih elementih predhodno predvidi, jih je potrebno skladno s standardom v območju oslabitev dodatno armirati tako z ortogonalno kot tudi strižno armaturo. Dodatna armatura zagotavlja prerazporeditev notranjih količin in s tem ustrezno obnašanje konstrukcijskega elementa. Če pa izvedeno preboj ali oslabitev v že zgrajenem, armiranem konstrukcijskem elementu, pa je stvar povsem drugačna. Tukaj se pojavi nezveznost armature in oslabljeni del povzroči povečanje notranjih količin v območju oslabitve. Ker oslabitev ni bila upoštevana v izračunih, je potrebno podrobno preučiti, posledice takega ravnanja, saj je obnašanje konstrukcijskega elementa povsem drugačna.

Kot primer oslabitev v konstrukcijskih elementih podajamo primere oslabitev plošče in stene za prikaz povedanega.

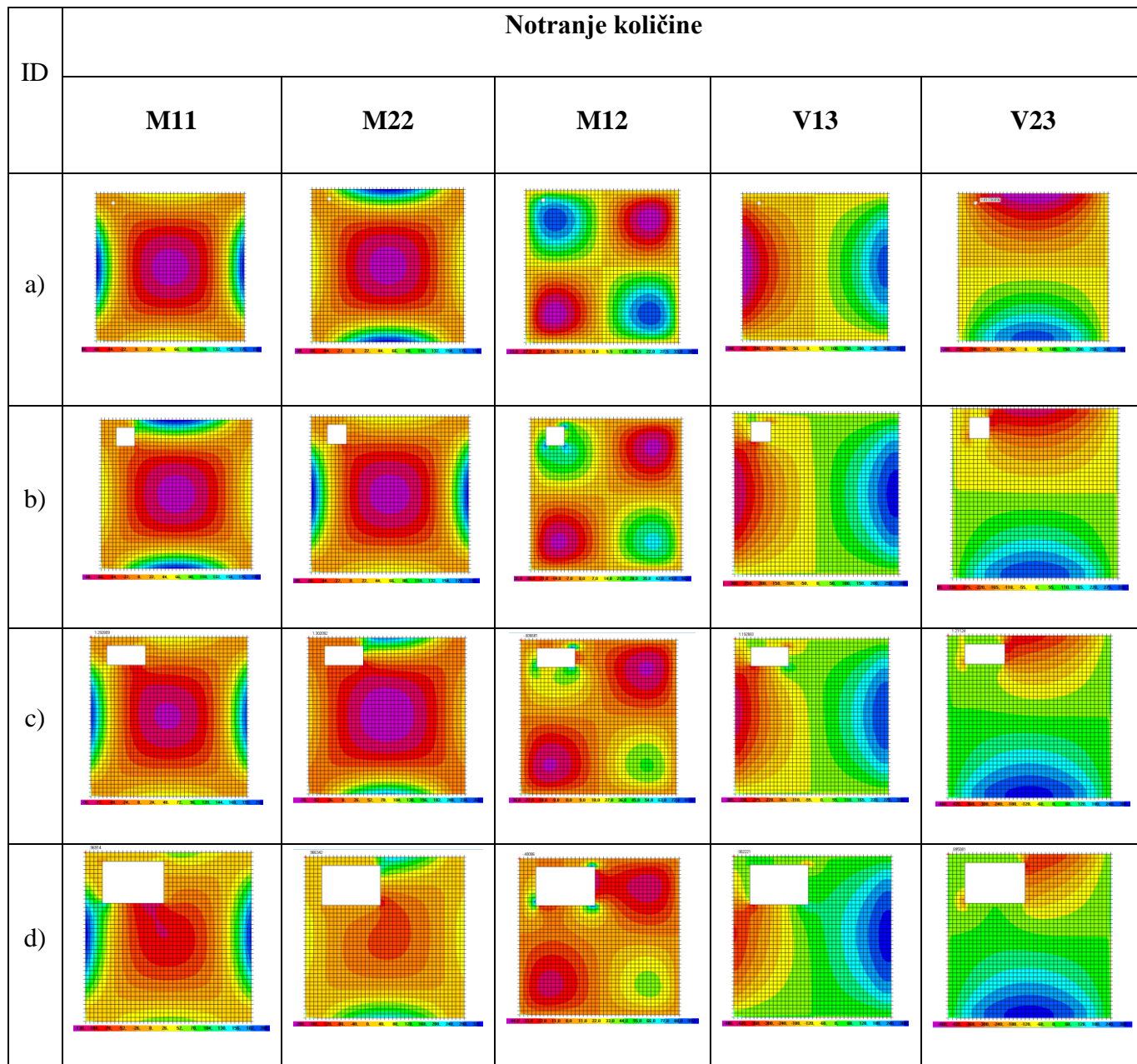
### **Oslabitev plošče**

Armiranobetonske plošče obravnavamo kot ploskovne elemente, saj imajo vertikalno dimenzijo bistveno manjšo kot ostali dve horizontalni. Model za predstavitev geometrijskih lastnosti plošče predstavlja ploskovni model, razdeljen na končne elemente pravokotne oblike velikosti 0,1m\*0,1m, in ustrezno podprte na robovih. Ker se plošča pri dinamični obtežbi obnaša kot toga diafragma, sem za analizo in diskusijo oslabitev upošteval statične pogoje obremenitve.

Notranje količine, ki jih dobimo kot rezultat analize vplivov na konstrukcijski element s pomočjo računalniškega programa SAP, so prikazane v preglednici 13.

- **Materiali:**
  - beton C30
  - armatura RA S500
  
- **Dimenzije plošče:**
  - $D = \check{S} = 4 \text{ m}$ ,  $h = 0,22 \text{ m}$
  
- **Dimenzija oslabitve:**
  - a) dolžina = širina = 0.1 m
  - b) dolžina = 0.5 m, širina = 0.1m
  - c) dolžina = 1 m, širina = 0.1m
  - d) dolžina = 1.5 m, širina = 0.1m
  
- **Obtežba**(porazdeljena obtežba):
  - $q = 15 \text{ kN/m}^2$

Preglednica 13: Notranje količine v plošči



### Oslabitev stene.

Steno analiziramo v dveh prečnih prerezih, in sicer v tlorisnem ter stranskem prečnem prerezu na osno in upogibno odpornost elementa. Problem oslabitve stene je zelo odvisna od števila etaž in višine stavbe.

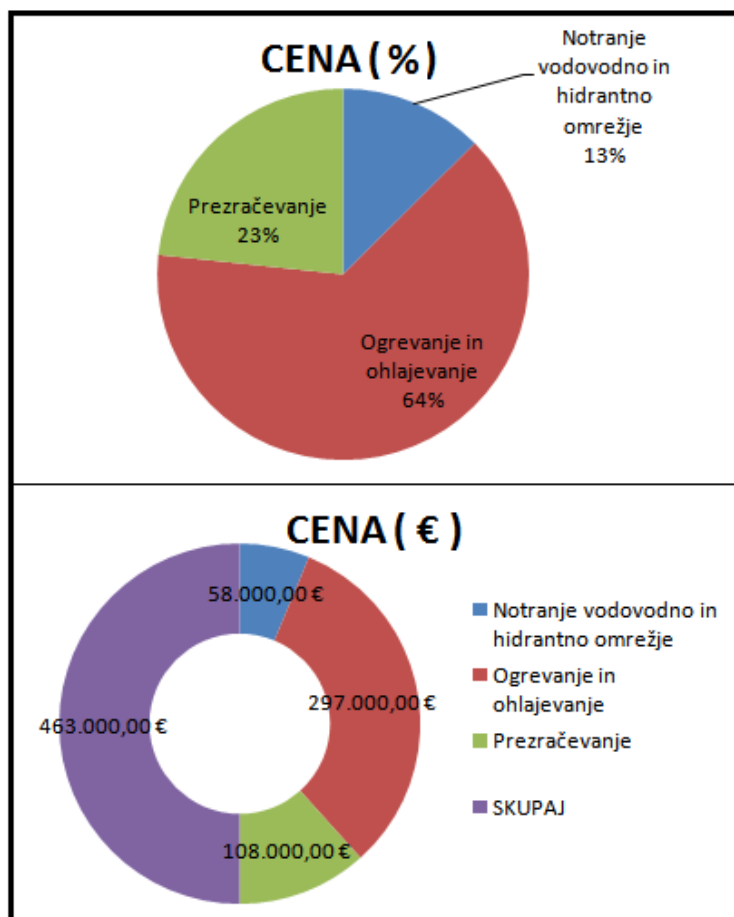
### 5.3.2 Primer stroškovne analize odpravljanja neskladij

Na izgradnjo MEP-sistemov odpade velik del proračuna celotnega projekta. Za boljši pregled je prikazan popis del in materiala za elektro- in strojne inštalacijske sisteme.

- Načrt elektroinštalacij in električne opreme

Preglednica 14: Rekapitulacija stroškov za strojne inštalacije

VRSTA	CENA
Notranje vodovodno in hidrantno omrežje	58.000,00 €
Ogrevanje in ohlajevanje	297.000,00 €
Prezračevanje	108.000,00 €
<b>SKUPAJ</b>	<b>463.000,00 €</b>

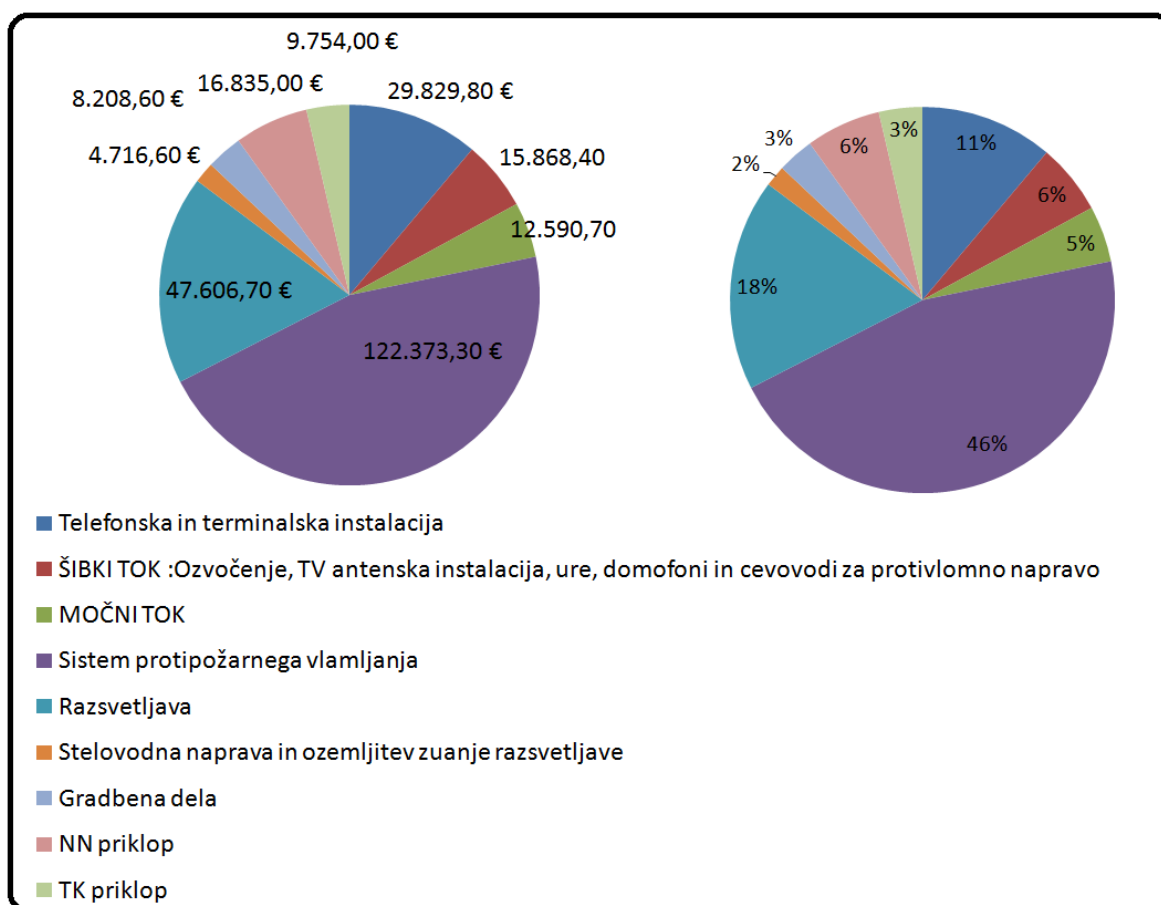


Slika 37: Prikaz stroškov posamezne vrste del

• **Načrt strojnih inštalacij in strojne opreme**

Preglednica 15: Popis stroškov materiala in montaža elektroinštalacij

VRSTA	CENA
Telefonska in terminalna instalacija	29.829,80 €
ŠIBKI TOK: ozvočenje, TV-antenska instalacija, ure, domofoni in cevovodi za protivlomno napravo	15.868,40 €
MOČNI TOK	12.590,70 €
Sistem protipožarnega vlamljanja	122.373,30€
Razsvetljava	47.606,70 €
Strelovodna naprava in ozemljitev zunanje razsvetljave	4.716,60 €
Gradbena dela	8.208,60€
NN-priklop	16.835,00 €
TK-priklop	9.754,00 €
<b>SKUPAJ</b>	<b>267.783,10 €</b>



Slika 38: Prikaz deleža stroškov posameznih elektroinštalacij

## 6. ZAKLJUČEK

Ideje o odpravljanju neskladij projektne dokumentacije z uporabo informacijskih modelov stavb v tujini preučujejo že dalj časa v uporabi, pri nas pa se do danes pristopu ni posvečalo dovolj pozornosti.

Nikoli ni bilo na trgu tako velike konkurenčnosti in ostalih neizprosni tržnih situacij kot sedaj. Da bi preprečili nekonkurenčnost gradbeništva kot ene najpomembnejših gospodarskih panog na svetu, se je treba zavedati, da je nujno uvajanje novih načinov in prijemov na podlagi gradbene informatike. Zato je pomembnost obravnavane problematike toliko bolj na mestu.

Zadnjo pa je težko izboljšati brez upoštevanja teoretičnih osnov, iz katerih je bilo že po uvodnem študiju literature razvidno, da problem zaznavanja neskladij obsega mnogo razvojnih področij in različnih strokovnih znanj. Podajanje geometrije in presečišč med geometrijami predstavlja velik problem predvsem takrat, ko imamo opravka s poljubnimi geometrijami v ravnini in prostoru ter v odvisnosti od časa.

Ob zavedanju, da je gradbeni objekt razmeroma trajen in vse dražji poseg v prostor, je ustrezno razmisliti o kakovosti izvedbe projektne dokumentacije s pomočjo informacijskih modelov stavb, in s tem izboljšati procese v gradbeništvu. Ti so še vedno precej konzervativni in uporaba novih pristopov še ni prepričala vse stroke. Izkazalo se je, da je uveljavitev novitet v gradbeništvu zelo počasen proces.

Programsko orodje za zaznavanje in odpravljanje neskladij v informacijskem modelu stavbe je še precej nedodelan koncept. Po izvedeni analizi avtomatskega zaznavanja neskladij se elementi označijo skladno z vrsto neskladja, kar zahteva mnogo dela. Če želimo odpraviti vsa neskladja med elementi informacijskega modela, je to praktično nemogoče. Uporaba avtomatskega zaznavanja neskladij projektne dokumentacije v informacijskem modelu stavb je zelo uporabna, saj omogoča instatno poročilo neskladij in njihovo lokalizacijo. Seveda pa je uporaba omenjenega orodja najbolj zaželena v zelo obsežnih projektih, v fazi zasnove. Takrat je precej lažje odpraviti možne sprememb kot v fazi gradnje. Velika kompleksnost

projekta predstavlja idealno priložnost za uporabo takega orodja, saj je možnost napak znatno večja, stroški povezani s tem, pa so enormni. Prav odpravljanje neskladij v projektne dokumentaciji je novost informacijskih orodij in je še v povojih. Da bo uporaba prijaznejša in učinkovitejša za uporabnike, bo nujen nadaljnji razvoj orodij in aplikacij, kar predstavlja nove izzive v prihodnosti. Vsekakor pa je uporaba zelo koristna za vse udeležence projekta, saj znatno povečuje interoperabilnost posameznih strok. Vseh prednosti avtomatskega zaznavanja neskladij projektne dokumentacije se ne da kvantitativno ovrednotiti, saj je njegov vpliv lahko posreden. Tako je uporaba še bolj upravičena, kajti v določenih primerih predstavlja edini možen način za odkrivanje neskladij.

Študija primera je pokazala, da je treba neskladja primerno upoštevati in tolmačiti s tehničnimi ukrepi, ki so nam na voljo, saj je izračun vplivov z upoštevanjem idealnih prereзов zgolj približek realnega stanja. To pa pomeni, da je treba vestno upoštevati standarde in ostale predpise, ki zajemajo problematiko oslabitev konstrukcijskih elementov. Treba je poudariti, da je odpravljanje neskladij možnih oslabitev konstrukcijskih elementov lahko bistvenega pomena za zagotavljanje ustrezne končne kakovosti in stroškovne upravičenosti stavbe. Zadnja je ključnega pomena za konkurenčnost gradbene panoge, in študija primera je pokazala, da se stroški bistveno povečajo z velikostjo obsega neskladij. Strošek usposobljenega gradbenega informacijskega tehnologa za vodenje projektne dokumentacije z uporabo informacijskih modelov stavb je pri večjih objektih zanemarljiva v primerjavi s stroški, ki nastanejo v povezavi z omenjeno problematiko.

Kot ključne vzroke za neskladja v projektne dokumentaciji naj navedem nestrokovnost posameznih strokovnih sodelavcev, ki sodelujejo v projektu, in nemotiviranost za spremembe v ustaljeni praksi.

## **VIRI**

ArchiCAD 13 Help

Cerovšek, T., Turk, Ž., Duhovnik, J. 2002. Informacijski modeli zgradb. V: Saje, F. in Lopatič, J. (ur.). Zbornik 24. zborovanja gradbenih konstruktorjev, Bled, Festivalna dvorana, 14.–15. november 2002. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev: str. 311–318.

Duhovnik, J. 1993. Uporaba računalnika v gradbeništvu. Zbornik posvetovanja na 7. Mednarodnem sejmu gradbeništva in gradbenih materialov v Gornji Radgoni. April 1993. str. 15–18.

Duhovnik, J. 1998. Računalnik v gradbenem inženirstvu. Zbornik 4. seminarja. April 1998. str. 138.

Duhovnik, J., Turk, Ž., Cerovšek, T. Gradbena informatika 2001. Zbornik seminarja. Ljubljana, december 2001. 231str.

Guild, N. 2001. Računalniška grafika: str. 29–223.

Pazlar, T. 2008. Preslikave med arhitekturnimi in računskimi aspekti v informacijskih modelih zgradb. Doktorska disertacija. Ljubljana 2008. str. 10–22.

Ožbolt, M. 2008. Celostna zasnova objektov kot integrirano projektno delo. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 39–43.

Urejanje prostora in graditev objektov – Ljubljana: Uradni list Republike Slovenije, 2003: str. 131–141.

Turk, Ž. 2001. Phenomenological foundations of conceptual product modelling in architecture, engineering and construction, AIENG Journal 15. str. 83–92.



Turk, Ž. 1996. Internet in graditeljstvo. Informacijski sistemi in računalniška izmenjava podatkov v graditeljstvu. Gradbeni inštitut ZRMK. Ljubljana: Gradbeni inštitut ZRMK, 1996. str. 1–18.

Spletni viri:

C. Lin, M. Efficient Collision Detection for Animation and Robotics.

<https://wwwx.cs.unc.edu/~geom/papers/documents/dissertations/lin93.pdf> (22.7.2009)

Cerovšek, T., Turk, Ž., Duhovnik, J. Informacijski modeli zgradb.

<http://www.zturk.com/data/works/att/9c4d.fullText.02874.pdf> (12.3.2010)

Faubery, K. 2003. Improved Collision detection and Response.

<http://www.peroxide.dk/papers/collision/collision.pdf> (22.7.2009)

Jimenez, P., Thomas, F., Torras. 2001. Collision detection algorithms for motion planing.

<http://ftp.laas.fr/pub/ria/promotion/chap6.pdf> (12.7.2009)

Jimenez, J., J., J. Segura, R., R. Feito, F. 2004. Efficient Collision Detection between 2D Polygons.

[http://wscg.zcu.cz/wscg2004/Papers\\_2004\\_Full/B83.pdf](http://wscg.zcu.cz/wscg2004/Papers_2004_Full/B83.pdf) (22.9.2009)

Loffler, M., Van Kreveld. 2007. Largest Bouding Box, Smallest Diameter, and Related Problems on Imprecise Points.

[http://www.google.si/search?hl=sl&q=Largest+Bouding+Box%2C+Smallest+Diameter%2C+and+Related+Problems+on+Imprecise+Points+Maarten+L%2%A8offler+Marc+van+Kreveld&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.si/search?hl=sl&q=Largest+Bouding+Box%2C+Smallest+Diameter%2C+and+Related+Problems+on+Imprecise+Points+Maarten+L%2%A8offler+Marc+van+Kreveld&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai) (22.7.2009)

Kuanchen, L., Schihchung, K. Collision Detection for Virtual Construction Scenarios. Department of Civil Engineering, Taiwan University, Taiwan, China.

[http://myweb.caece.net/sckang\\_www/Publications/ConferencePaper/2008ICCCBEI.pdf](http://myweb.caece.net/sckang_www/Publications/ConferencePaper/2008ICCCBEI.pdf)  
(11.11.2009)

Graphisoft: My archiCAD.

<https://www.myarchicad.com/> (12.11.2009)

Marscher, S. 2003. Simple ray-triangle intersection. Cornell University.

<http://www.cs.cornell.edu/Courses/cs465/2003fa/homeworks/raytri.pdf> (22.7.2009)

Pilon AEC.

<http://www.pilon.si/> (28.1.2010)

P. Gallaher, M., C. O'Connor, A., L. Dettbarn, J., T. Gilday, L. 2004. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry.

<http://www.bfrl.nist.gov/oae/publications/gcrs/04867.pdf> (13.4.2010)

R. Kamat, V., C. Martinez, J. Dynamic 3D Visualization of Articulated Construction Equipment.

<http://pathfinder.engin.umich.edu/documents/Kamat&Martinez.JCCE.2005.Equipment.pdf>

(15.11.2009)

Šijur, S. 2002. Dinamično zaznavanje trkov geometrijskih objektov v 3D prostoru.

[http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/izdel\\_tehno/Diplome/Diploma\\_S\\_Sinjur.pdf](http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/izdel_tehno/Diplome/Diploma_S_Sinjur.pdf)

(8.9.2009)

Turk, Ž. Opisna Geometrija.

<http://kgi.fgg.uni-lj.si/pouk/opisna/folije/> (22.12.2009)

Zakrajšek, C. 2008. Kompleksna ravnina in dvodimenzionalne geometrije.

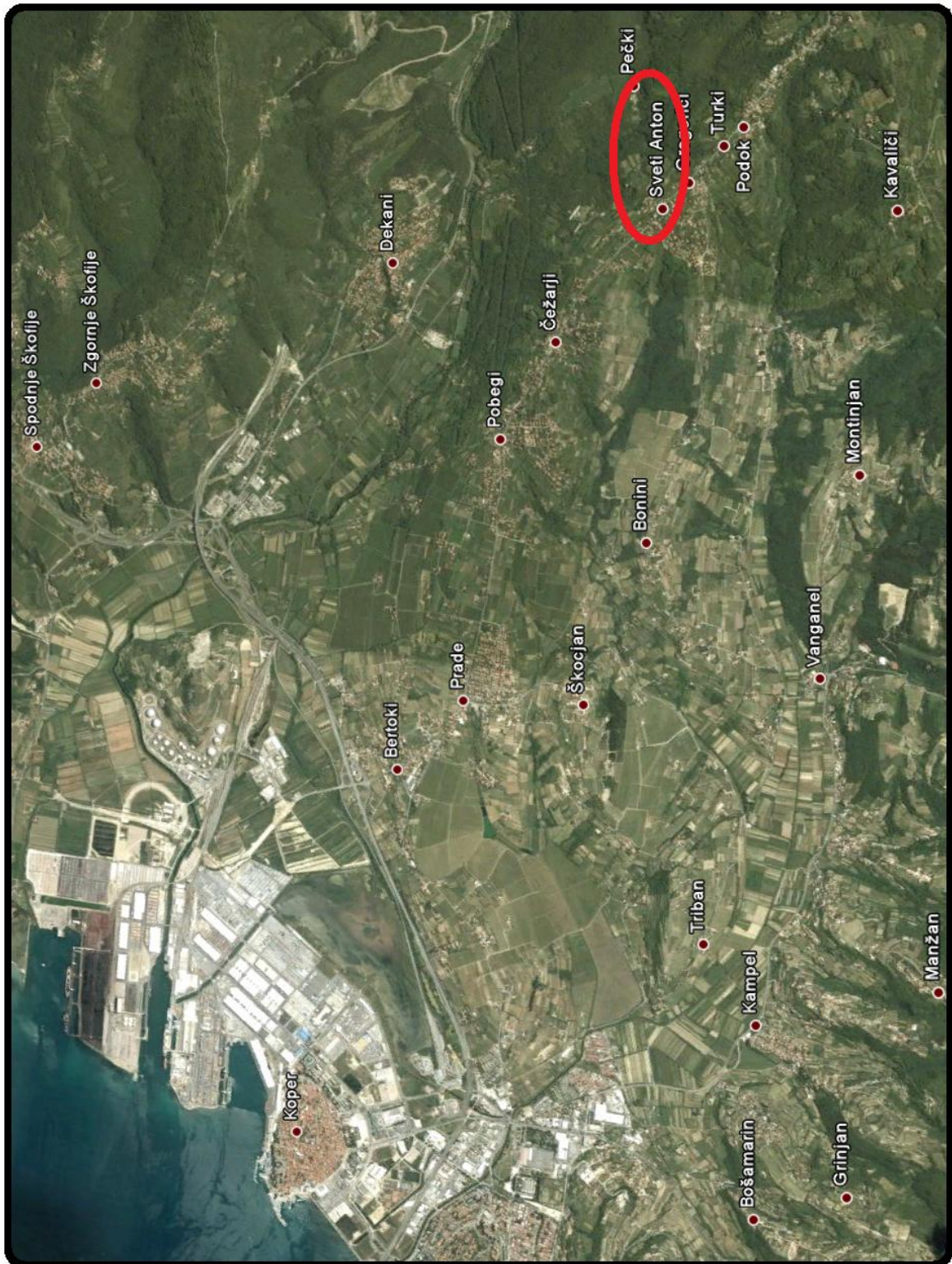
[http://eprints.fri.uni-lj.si/279/1/Zakraj%C5%A1ek\\_C\\_UN.pdf](http://eprints.fri.uni-lj.si/279/1/Zakraj%C5%A1ek_C_UN.pdf) (29.3.2010)

Wikipedia: The Free Enciclopedia.

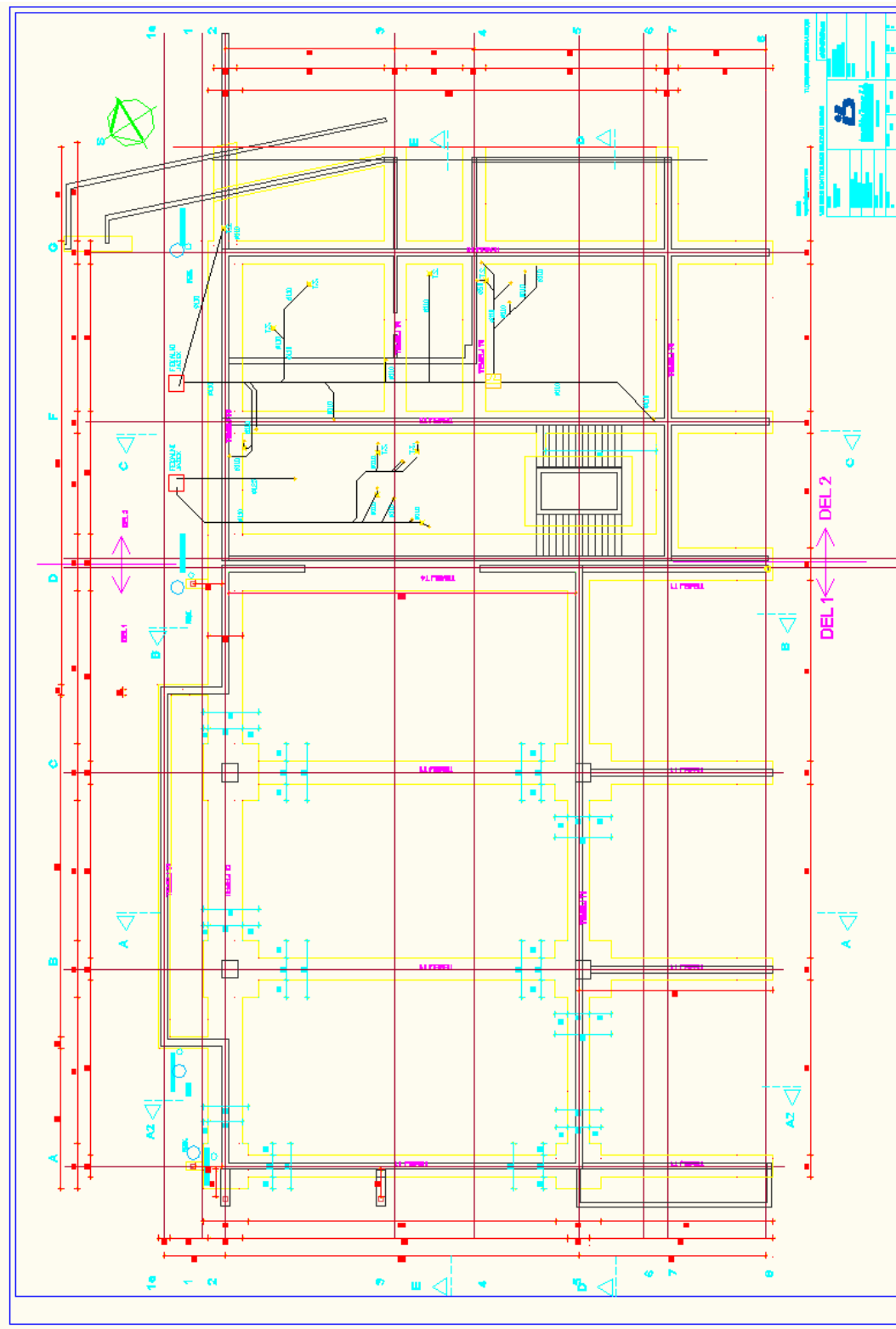
<http://en.wikipedia.org/> (15.5.2010)

## **PRILOGE**

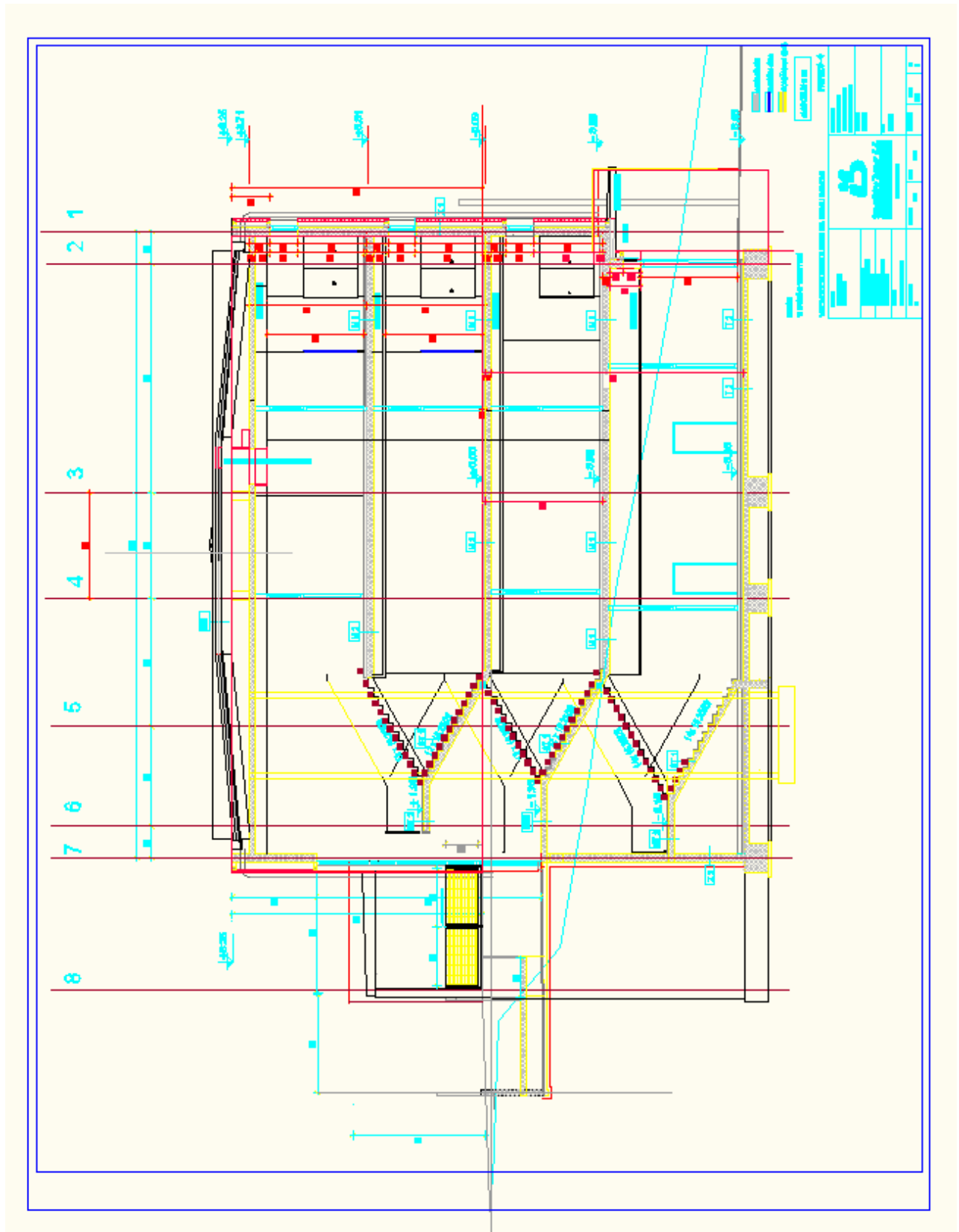
## Priloga A : Prikaz lokacije objekta



## Priloga B: Načrt florisa temeljev objekta



## Priloga C: Prečni prerez objekta v osi C-C





## Priloga D: Vzdolžni prerez objekta v osi D-D

