

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 program Gradbeništvo,  
Konstrukcijska smer

Kandidat:

**Tine Logonder**

# **Uporabnost informacijskega modela zgradbe za potresno analizo**

**Diplomska naloga št.: 3096**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

**Somentor:**

viš. pred. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 24. 12. 2009

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani, **TINE LOGONDER**, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»UPORABNOST INFORMACIJSKEGA MODELA ZGRADBE ZA POTRESNO  
ANALIZO«.**

---

(podpis)

Ljubljana, december 2009

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

**UDK :** 004.6:624.042.7:659.2(043.2)  
**Avtor :** Tine Logonder  
**Mentor :** doc. dr. Matjaž Dolšek  
**Somentor:** viš. pred. dr. Tomo Cerovšek  
**Naslov :** Uporabnost informacijskega modela zgradbe za potresno analizo  
**Obseg in oprema :** 110 str., 37 pregl., 51 sl., 18 en.  
**Ključne besede :** medopravilnost, BIM, IFC, objektno podprto modeliranje, projektiranje potresno odpornih konstrukcij, modalna analiza, potresna analiza, armirano-betonska konstrukcija

### **Izvleček :**

Dvig zahtevnosti projektov in vse večja delitev dela pri izvajanju gradbenih projektov sta dejstvi, ki vodita k potrebi po vse večji interoperabilnosti med programskimi orodji, uporabljenimi v procesu. Kot eden izmed načinov zagotavljanja interoperabilnosti je standard IFC (IFC – Industry foundation classes; temeljni industrijski razredi), katerega namen je standardizacija predstavitve podatkov o zgradbah. Po začetnem opisu načinov zagotavljanja interoperabilnosti, se v diplomski nalogi ukvarjamo z raziskovanjem uporabnosti informacijskih modelov zgradb, zasnovanih v orodjih za objektno podprto parametrično modeliranje in potresno analizo konstrukcij. Na podlagi informacijskega modela armirano-betonskega industrijskega objekta, izdelanega v orodju za arhitekturno modeliranje (Allplan), smo preučevali možnosti uvoza informacijskih modelov v programska orodja za statično in dinamično analizo konstrukcij in ugotavljali ustreznost tako pridobljenih računskih modelov za izvedbo modalne analize. Za ovrednotenje primernosti smo modalno analizo naredili še na »ročno« izdelanem računskem modelu v istem programu ter na dveh »ročno« zasnovanih računskih modelih v programskem orodju ETABS. Uporabnost je bila vsaj iz vidika izdelave računskega modela potrjena, vendar pa tega ne moremo trditi za primernost izvedene modalne analize, kjer se je pokazala predvsem neustreznost programskega orodja SCIA Engineer za izvajanje potresne analize.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC :** 004.6:624.042.7:659.2(043.2)  
**Author :** Tine Logonder  
**Supervisor :** Assist. Prof. Matjaž Dolšek  
**Co-Supervisor:** Sen. Lect. Tomo Cerovšek  
**Title :** Applicability of the building information model for seismic analysis  
**Notes :** 110 p., 37 tab., 51 fig., 18 eq.  
**Key Words :** interoperability, BIM, IFC, object-based modeling, design of earthquake resistant structures, modal analysis, seismic analysis, reinforced-concrete structure

### **Abstract:**

Complexity of structural projects increases and consequently more and more experts are involved in the design and construction process. These facts lead to the need to enhance the interoperability between software tools used in the design and construction process of structure. For that reason the standard IFC (IFC - Industry Foundation Classes, a basic industrial classes) has been developed, which aims to standardize the presentation of buildings data. In the thesis the methods for ensuring the interoperability are firstly described. In the next part the applicability of information models of buildings, designed in tools for object-based parametric modelling and for seismic analysis of structures, are investigated. Based on the information model of reinforced-concrete industrial building, created in architectural modeling tool (Allplan), the possibility of imports of information models in software tools for static and dynamic analysis of structures, was studied. In addition, the adequacy of obtained analysis model (SCIA Engineer) for the purpose of modal analysis was estimated. The result of modal analysis based on the building information model and that based on “hand made” analysis model were compared and also validated by the two “hand made” analysis models in the program ETABS. It can be concluded that the building information model, which was created in Allplan, is sufficient. On the other hand the seismic analysis performed by using the Scia Engineer software is not appropriate.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Opis problema.....	1
1.2	Metoda dela .....	3
1.3	Pregled vsebine .....	4
<b>2</b>	<b>PROJEKTIRANJE .....</b>	<b>6</b>
2.1	Potresno odporno projektiranje.....	6
2.2	Problematika snovanja potresno odpornih objektov .....	8
2.3	Ustaljen način projektiranja in njegove pomanjkljivosti .....	9
<b>3</b>	<b>INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB .....</b>	<b>12</b>
3.1	Sodelovanje in interoperabilnost.....	12
3.1.1	<i>Sodelovanje gradbenega konstrukterja.....</i>	<i>13</i>
3.1.2	<i>Informacijski model zgradbe .....</i>	<i>14</i>
3.2	Modeliranje informacij .....	16
3.2.1	<i>Shema in zaips IFC .....</i>	<i>20</i>
3.2.2	<i>Preslikave med arhitekturnimi in računskimi modeli.....</i>	<i>23</i>
3.2.3	<i>Razširitve ST4 in ST7 modela zgradbe IFC .....</i>	<i>24</i>
3.3	Programska oprema .....	27
3.3.1	<i>Programska orodja s certificirano podporo IFC.....</i>	<i>28</i>
3.3.2	<i>Allplan .....</i>	<i>29</i>
3.3.3	<i>ETABS .....</i>	<i>31</i>
3.3.4	<i>SCIA Engineer.....</i>	<i>32</i>
<b>4</b>	<b>IZDELAVA PREIZKUSNEGA INFORMACIJSKEGA MODELA ZGRADBE .....</b>	<b>34</b>
4.1	Primer večjega industrijskega objekta .....	34
4.1.1	<i>Zasnova .....</i>	<i>34</i>
4.1.2	<i>Obtežba.....</i>	<i>35</i>

4.2	Izdelava geometrijskega modela zgradbe .....	38
4.2.1	<i>Kontrolna osnova</i> .....	42
4.3	Izvoz geometrijskega modela .....	45
4.3.1	<i>Izvoz IFC datoteke s programom Allplan</i> .....	45
4.3.2	<i>Kontrola izvoza testnega modela</i> .....	48
4.4	Uvoz geometrijskega modela v CAE programska orodja .....	57
4.4.1	<i>Uvoz IFC modela v SCIA Engineer</i> .....	57
4.4.2	<i>Uvoz IFC modela v ETABS</i> .....	63
4.4.3	<i>Uvoz preko integrirane povezave (Allplan – SCIA Engineer)</i> .....	63
4.5	Dodelava računskega modela v SCIA Engineer .....	69
5	<b>RAČUN KONSTRUKCIJE</b> .....	<b>73</b>
5.1	Vplivi na konstrukcijo .....	73
5.1.1	<i>Statični</i> .....	73
5.1.2	<i>Dinamični</i> .....	77
5.2	Matematični model .....	88
5.2.1	<i>SCIA Engineer</i> .....	88
5.2.2	<i>ETABS</i> .....	92
5.3	Modalna analiza konstrukcije .....	93
5.3.1	<i>Rezultati</i> .....	93
5.3.2	<i>Primerjava rezultatov</i> .....	101
6	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>105</b>
	<b>VIRI</b> .....	<b>108</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1: Seznam programov s certificirano podporo IFC .....</b>	<b>28</b>
<b>Preglednica 2: Programsko orodje za izdelavo informacijskega modela.....</b>	<b>38</b>
<b>Preglednica 3: Seznam področij in modulov v programu Allplan.....</b>	<b>39</b>
<b>Preglednica 4: Podatki o kontrolnih elementih (stebri) .....</b>	<b>42</b>
<b>Preglednica 5: Podatki o kontrolnih elementih (grede) .....</b>	<b>43</b>
<b>Preglednica 6: Podatki o kontrolnih elementih (plošče) .....</b>	<b>43</b>
<b>Preglednica 7: Podatki o kontrolnih elementih (stene) .....</b>	<b>44</b>
<b>Preglednica 8: Tabela glavnih strukturnih nivojev v programu Allplan in pripadajoče entitete, ki jih opisujejo v specifikaciji IFC2x.....</b>	<b>46</b>
<b>Preglednica 9: Kontrola pravilnosti glave datoteke IFC .....</b>	<b>48</b>
<b>Preglednica 10: Podatki o programu za kontrolo sintakse datoteke IFC .....</b>	<b>49</b>
<b>Preglednica 11: Kontrola geometrije in pripisanih atributov izvožene datoteke IFC .....</b>	<b>50</b>
<b>Preglednica 12: Kontrola geometrije in pripisanih atributov po uvozu datoteke IFC .....</b>	<b>61</b>
<b>Preglednica 13: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ100 .....</b>	<b>74</b>
<b>Preglednica 14: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ200 - jedro.....</b>	<b>74</b>
<b>Preglednica 15: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ300 - jedro.....</b>	<b>75</b>
<b>Preglednica 16: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ200 in 300.....</b>	<b>75</b>
<b>Preglednica 17: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ400 - streha.....</b>	<b>75</b>
<b>Preglednica 18: Porazdelitev koristne obtežbe po etažah in pripadajoče rezultante.....</b>	<b>76</b>
<b>Preglednica 19: Koncentracija mase konstrukcije na POZ100 .....</b>	<b>77</b>
<b>Preglednica 20: Koncentracija mase konstrukcije na POZ200 .....</b>	<b>78</b>
<b>Preglednica 21: Koncentracija mase konstrukcije na POZ300 .....</b>	<b>79</b>
<b>Preglednica 22: Koncentracija mase konstrukcije na POZ400 .....</b>	<b>80</b>
<b>Preglednica 23: Koeficienti <math>\Psi_{E,i}</math> za kombinacijo za spremenljiv vpliv po pozicijah .....</b>	<b>81</b>
<b>Preglednica 24: Obtežbe po pozicijah glede na tloris.....</b>	<b>81</b>
<b>Preglednica 25: Vrednosti parametrov, ki opisujejo el. spekter odziva za tip tal A po Nacionalnem dodatku EC8.....</b>	<b>84</b>
<b>Preglednica 26: Nihajni časi in sodelujoče mase za model S-1.....</b>	<b>94</b>
<b>Preglednica 27: Nihajni časi in sodelujoče mase za model S-2.....</b>	<b>95</b>

<b>Preglednica 28: Nihajni časi in sodelujoče mase za model E-1.....</b>	<b>96</b>
<b>Preglednica 29: Nihajni časi in sodelujoče mase za model E-2.....</b>	<b>96</b>
<b>Preglednica 30: Nihajni časi in sodelujoče mase za model E-3.....</b>	<b>97</b>
<b>Preglednica 31: Etažne prečne sile za model E-1 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva .....</b>	<b>98</b>
<b>Preglednica 32: Etažne prečne sile za model E-2 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva .....</b>	<b>98</b>
<b>Preglednica 33: Etažne prečne sile za model E-3 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva .....</b>	<b>98</b>
<b>Preglednica 34: Etažne prečne sile za model S-1 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva .....</b>	<b>99</b>
<b>Preglednica 35: Etažne prečne sile za model S-2 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva .....</b>	<b>99</b>
<b>Preglednica 36: Delež celotne potresne sile glede na celotno maso konstrukcije.....</b>	<b>102</b>
<b>Preglednica 37: Primerjava nihajnih časov in sodelujočih mas za glavne oblike v vseh smereh .....</b>	<b>102</b>



## SEZNAM SLIK

<b>Slika 1: Oris problematike in faktorjev pri določanju potresnega odziva konstrukcij (Vir: Bertero, Uang, 2005) .....</b>	<b>8</b>
<b>Slika 2: Produktivnost delovne sile na področju ZDA za gradbeni sektor v primerjavi z vsemi «Non-farm» področji industrije skupaj od leta 1964 do leta 2003 (Vir: www.aecbytes.com, 2004).....</b>	<b>11</b>
<b>Slika 3: Geometrijski model / Informacijski model (Vir: Pazlar, 2008).....</b>	<b>16</b>
<b>Slika 4: Shema specifikacije IFC2x4 alpha (Vir: IAI, 2009) .....</b>	<b>19</b>
<b>Slika 5: Shema entitet v IFC2x3 TC1 (Vir: IAI, 2009).....</b>	<b>21</b>
<b>Slika 6: Elementi zgradb : Elementi računskega modela (Vir: Pazlar, 2008) .....</b>	<b>25</b>
<b>Slika 7: Prikaz procesa integracije med modelom končnih elementov in arhitekturnim/računskim modelom (Vir: Hassanien – Serror, 2006) .....</b>	<b>27</b>
<b>Slika 8: Prečni prerez obravnavanega industrijskega objekta .....</b>	<b>35</b>
<b>Slika 9: Tipska vzdolžna prereza obravnavanega industrijskega objekta.....</b>	<b>36</b>
<b>Slika 10: Tloris pritličja .....</b>	<b>37</b>
<b>Slika 11: Nabor ukazov v programu Allplan .....</b>	<b>40</b>
<b>Slika 12: Za izdelavo modela največkrat uporabljen nabor ukazov .....</b>	<b>40</b>
<b>Slika 13: Pogovorno okno za določitev lastnosti elementa nosilca 1.nadstropja v osi 1 ..</b>	<b>41</b>
<b>Slika 14: Render geometrijskega modela izdelanega s programom Allplan .....</b>	<b>41</b>
<b>Slika 15: Pogovorno okno programa Allplan za določanje strukture projekta .....</b>	<b>45</b>
<b>Slika 16: Prostorska struktura projekta v specifikaciji IFC 2x (Vir: buildingSMART, 2009).....</b>	<b>46</b>
<b>Slika 17: Določitev risb, ki bodo vključene pri izdelavi IFC-ja .....</b>	<b>47</b>
<b>Slika 18: Pogovorno okno za nastavitev pravil za izdelavo IFC .....</b>	<b>47</b>
<b>Slika 19: Kontrola sintakse IFC datoteke .....</b>	<b>49</b>
<b>Slika 20: Prikaz geometrije elementa stebra in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV .....</b>	<b>52</b>
<b>Slika 21: Informacije o elementu stebra v programu Solibri MV .....</b>	<b>52</b>
<b>Slika 22: Prikaz geometrije elementa grede in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV .....</b>	<b>53</b>

<b>Slika 23: Informacije o elementu grede v programu Solibri MV .....</b>	<b>53</b>
<b>Slika 24: Prikaz geometrije elementa stene in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV .....</b>	<b>54</b>
<b>Slika 25: Informacije o elementu stene v programu Solibri MV .....</b>	<b>54</b>
<b>Slika 26: Prikaz geometrije elementa plošče in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV .....</b>	<b>55</b>
<b>Slika 27: Informacije o elementu plošče v programu Solibri MV .....</b>	<b>55</b>
<b>Slika 28: Prikaz geometrije telesa (BREP) in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV .....</b>	<b>56</b>
<b>Slika 29: Informacije o BREP reprezentaciji telesa v programu Solibri MV .....</b>	<b>56</b>
<b>Slika 30: Rezultat uvoza originalnega IFC modela (prikaz s sistemskimi osmi in ravninami).....</b>	<b>59</b>
<b>Slika 31: (Ne)stikovanje osi linijskih in ploskovnih elementov .....</b>	<b>59</b>
<b>Slika 32: Rezultat uvoza preko IFC datoteke prikazan z vidnimi površinami in prečnimi prerezi .....</b>	<b>60</b>
<b>Slika 33: Žični prikaz modela uvoženega preko IFC datoteke.....</b>	<b>60</b>
<b>Slika 34: Grafičen prikaz kontrole geometrije in pripisanih informacij na elementu stebra na poziciji A-8 .....</b>	<b>62</b>
<b>Slika 35: Shematičen prikaz principa Round-Trip Engineering-a (Vir: Nemetschek SCIA).....</b>	<b>64</b>
<b>Slika 36: Prikaz konstrukcije v Allplan-u, ki je predmet izmenjave preko roundtrip vmesnika .....</b>	<b>65</b>
<b>Slika 37: Pogovorno okno za Roundtrip nastavitve in pot do njega .....</b>	<b>66</b>
<b>Slika 38: Pot do »Roundtrip« ukazov .....</b>	<b>66</b>
<b>Slika 39: Rezultat uvoza preko »Roundtrip« modula prikazan z vidnimi površinami in prečnimi prerezi .....</b>	<b>67</b>
<b>Slika 40: Žičnat prikaz modela uvoženega preko »Roundtrip« modula z renderiranimi površinami .....</b>	<b>67</b>
<b>Slika 41: Vmesnik za »Connect members/nodes« .....</b>	<b>69</b>
<b>Slika 42: Primerjava stikovanja elementov PRED in PO obdelavi.....</b>	<b>70</b>
<b>Slika 43: Vmesnik za izdelavo rebraste plošče .....</b>	<b>71</b>
<b>Slika 44: Žičnat prikaz računskega modela .....</b>	<b>71</b>

<b>Slika 45: Render računskega modela (obarvan glede na vrsto konstrukcijskega elementa).....</b>	<b>72</b>
<b>Slika 46: Elastični spekter pospeškov za tip tal A .....</b>	<b>84</b>
<b>Slika 47: Projektni spekter odziva za faktor obnašanja <math>q=1,5</math>.....</b>	<b>86</b>
<b>Slika 48: Model S-1 v programu SCIA Engineer .....</b>	<b>90</b>
<b>Slika 49: Postavitev mas po etažah in njihova definicija .....</b>	<b>90</b>
<b>Slika 50: Model S-2 v programu SCIA Engineer .....</b>	<b>91</b>
<b>Slika 51: Matematični model (E-1, E-2 in E-3) so zasnovani s ploskovnimi in linijskimi elementi.....</b>	<b>92</b>



# 1 UVOD

Gradbena industrija je kompleksno področje, ki na enem samem projektu združuje veliko strokovnjakov z različnih področij z medsebojnimi nalogami in obveznostmi, potrebnimi za uspešno izdelavo produkta – gradbenega projekta. Način obvladovanja le-teh se je čez čas spreminjal in se še vedno spreminja. V zgodovini je bilo mogoče, da se je v vlogi graditelja z vsemi naštetimi fazami spopadel en sam človek. Njegove naloge so bile komunikacija z naročnikom – investitorjem in na drugi strani vodenje projekta na gradbišču (dajanje navodil, demonstriranje in vodenje gradbenih procesov iz vseh vidikov – tudi administrativnega). Dvig nivoja zahtevnosti in obsežnosti projektov je sčasoma privedel do potrebe po sodelovanju in delitvi dela. Posledica tega je bil umik graditelja iz gradbišča in hkrati opredelitev novega subjekta, zadolženega za izvršbo dela iz dneva v dan. Do takrat tradicionalno razmerje lastnik – graditelj tako zamenja razmerje lastnik – arhitekt – gradbeni izvajalec. Projektantsko delo se iz gradbišča umakne v pisarne, pri čemer se pojavi potreba po učinkovitem sodelovanju z gradbiščem. Tu se za najboljši način izkaže izmenjava preko risb, ki predstavljajo dvodimenzionalno predstavo zgradbe/objekta. V nadaljevanju se je začel arhitekt vse bolj osredotočati na oblikovanje in funkcionalno snovanje, kar je povzročilo vzporeden razvoj ostalih specializiranih področij, med njimi tudi gradbenega inženirstva. Z delitvijo del in večanjem zahtevnosti in obsega projektov, je posledično neprestano rasla tudi potreba po učinkovitejšem sodelovanju. Pomemben korak na tej poti je bil razvoj računalnikov in programske opreme. Razvoj slednje je na primer omogočal nadomestitev ročnega tehničnega risanja s programi za 2D načrtovanje, ki še dandanes v večini predstavljajo ustaljen način za izmenjavo projektne dokumentacije.

## *1.1 Opis problema*

Razvoj računalnikov in programske opreme je dodobra vplival tudi na delo gradbenega inženirja. Kmalu so se namreč pojavili enostavni programi za izračun notranjih sil po teoriji končnih elementov, kar je kljub dejstvu, da je bil vnos podatkov težaven (preko tekstovnih vmesnikov), predstavljalo velik korak naprej v primerjavi z dotedanjim načinom dela. Vendar

pa je bil to le začetek dolge zgodbe. Vzporedno s strmim razvojem računalništva so se razvijala tudi tovrstna orodja. Postajala so vse zmogljivejša in uporabniku prijaznejša, kar je omogočalo večjo učinkovitost. Z razvojem grafičnih in uporabniških vmesnikov se je pojavila tudi možnost za vzpostavitev interoperabilnosti, ki je bila iz stališča analize konstrukcij najbolj potrebna pri podajanju geometrije konstrukcijskega sistema z uvozom iz datoteke katerega izmed programov za 2D risanje in kasneje 3D modeliranje. Na začetku so bile te možnosti pri obeh načinih zelo omejene, pogosto pa je prihajalo tudi do neskladij in je bilo zato delo lažje opraviti »ročno«. Toda tudi na tej stopnji lahko rečemo, da je bil to zgolj začetek. Uporabnost izmenjave podatkov se je izdatno povečala z naraščanjem števila programskih orodij, ki omogočajo 3D objektno modeliranje in analizo konstrukcij. Pri tem načinu so lahko poleg osnovnih geometrijskih lastnosti elementov le-tem pripisane tudi druge informacije, s katerimi izdelan model objekta predstavlja t.i. informacijski model zgradbe (*angl.* BIM – Building Information Model). Možnosti je zares veliko, vendar vsaj iz pogleda računske analize konstrukcij, ni vse tako enostavno. Računski model, ki služi kot osnova nadaljnji analizi ima namreč glede na arhitekturni model, ki je običajno osnova informacijskega modela zgradbe, nekaj specifičnih lastnosti, ki so pogojene predvsem z drugačnostjo pogleda na objekt oz. iz gradbeniškega vidika, na konstrukcijo. Za analizo konstrukcije so pomembne in potrebne specifične informacije (npr. o materialih, prečnih prerezih, načinu stikovanja elementov, sistemskih oseh/ravninah elementov, načinu podpiranja, obtežbah idr.), ki v samem arhitekturnem modelu niso vsebovane. Razvoj CAE (*angl.* Computer Aided Engineering) programskih orodij gre zato tudi v smeri iskanja ustrezne rešitve, kako informacije, pridobljene iz arhitekturnega modela, obdelati na način, da je izdelava računskega modela čim enostavnejša ali še boljše, avtomatizirana. Nekatere rešitve že obstajajo in jih bomo v tej nalogi tudi predstavili.

Prisotnost takih rešitev je vsekakor mikavna, vendar se ob dejstvu, da je na območju Slovenije predpisano potresno odporno projektiranje konstrukcij, postavi vprašanje o uporabnosti tako pridobljenih računskih modelov. Pogosto je za tak način projektiranja osnova modalna analiza konstrukcije, ki je v primerjavi s statično analizo zahtevnejša in ne toliko enolična. Posebnost modalne analize je namreč v tem, da za pridobitev smiselnih rezultatov potrebujemo računski model, ki kar najbolje opiše odziv konstrukcije na potresne vplive, ki predstavljajo dinamično obtežbo. Zaradi same kompleksnosti izračuna so pogosto najbolj primerni t.i. matematični

modeli, ki so pogosto geometrijsko zelo poenostavljeni. V sled ugotavljanja uporabnosti smo v nalogi preverili ustreznost računskega modela, pridobljenega z uporabo informacij iz arhitekturnega modela, za izvedbo modalne analize. Predmet obravnave je v našem primeru večji industrijski objekt tlorisnih dimenzij 75,6m x 27,2m ter višine 17,0m s tremi glavnimi etažami in medetažo na sredini pritličja. Zasnova predstavlja mešano armiranobetonsko konstrukcijo iz okvira in sten, ki so na nivoju etaže povezani s ploščami.

## ***1.2 Metoda dela***

Za namen študije uporabnosti informacijskega modela za potresno analizo smo izmed množice ponudnikov programske opreme, ki ponuja t.i. BIM programske pakete (na primer Autodesk, Bentley Systems, Vico Software, Graphisoft, Tekla, Nemetschek, idr.), uporabili programski orodji Allplan in SCIA Engineer, podjetja Nemetschek. Kot večina od njih poleg že kar standardiziranega prenosa informacij z uporabo specifikacije IFC omogoča tudi integrirane povezave s programskimi orodji za statično/dinamično analizo konstrukcij. Slednja je v izbranih programih razvita pod tržnim imenom »Roundtrip«.

Cilj naloge je prikazati trenutno dejansko uporabnost izbranih CAE programskih orodij za potresno analizo s centrom pozornosti na interoperabilnih povezavah, ki so omogočene med CAD in CAE orodji.

Objekt je modeliran v programu Allplan in služi kot osnova informacijskemu modelu zgradb. Preko zgoraj omenjenih povezav smo informacijski model prenesli v SCIA Engineer. Opisali smo načine prenosov, njihove lastnosti in cel postopek do konca izdelave računskega modela. Izkazalo se je, da ima SCIA Engineer dober in, kar je potrebno posebno poudariti, delujoč vmesnik za izmenjavo informacij. Na tako izdelanem računskem modelu je bila nato izvedena modalna analiza. Podobno smo poiskovali tudi s programom ETABS, vendar smo se zaradi težav z uvozom modela odločili za »ročno« izdelavo modela obravnavanega objekta. Zadnji del je predstavljal ugotavljanje ustreznosti računskega modela, izdelanega na podlagi informacijskega modela zgradbe v orodju SCIA Engineer, za potresno analizo. To smo preverili z izvedbo modalne analize na tem in na štirih preostalih »ročno« izdelanih modelih, Med slednjimi je bil eden narejen v SCIA Engineer, trije pa v programu ETABS. Kot kontrole

so služili rezultati dobljeni preko modalnih analiz v ETABS-u. SCIA Engineer se namreč ni izkazal za ravno najboljšo izbira za izvedbo potresne oz. modalne analize.

### ***1.3 Pregled vsebine***

Na začetku bo najprej orisan proces projektiranja, ki je, kot že povedano, večplasten proces. Z vidika gradbenega dela projektiranja je zelo pomembno potresno odporno projektiranje konstrukcij, za katero je opredeljena problematika, podan pa je tudi kratek oris ustaljenega načina tovrstnega projektiranja.

V tretjem poglavju se najprej spoznamo s pojmom informacijskega modela zgradb, ki predstavlja neko nadgradnjo ustaljene prakse projektiranja. Podane so smernice, ki se v svetu vzpostavljajo v zvezi z informacijskim modeliranjem ter obstoječe rešitve, ki ga že zagotavljajo. Kot eden izmed glavnih načinov zagotavljanja informacijskega modela zgradbe, je podrobneje opisana specifikacija IFC (*angl.* Industry Foundation Classes) ter organizacija buildingSMART International (v preteklosti znana pod imenom IAI – International Alliance for Interoperability), ki skrbi za razvoj in podporo le-tega. V nadaljevanju je pomemben del glede razširjenega pogleda v shemi IFC, ki je zanimiv za računsko analizo konstrukcij. Sledi kratek opis programov, prisotnih na tržišču, in opis uporabljenih programov (Allplan, SCIA Engineer in ETABS).

Četrto poglavje predstavlja opredelitev preizkusnega primera, ki je osnova, na kateri ugotavljamo ustreznost uporabe informacijskih modelov zgradb za potresno analizo. Predstavljen je tehnični opis obravnavanega objekta s pripadajočimi tlorisi in prerezi. V nadaljevanju se pozornost preusmeri na program Allplan, v katerem je sprva izdelan geometrijski model zgradbe, opremljen z nekaterimi dodatnimi informacijami. Z vidika analize konstrukcij je na tem mestu še posebej pomemben del, kjer ugotavljamo ustreznost in načine uvoza podatkov v programa SCIA Engineer in ETABS ter določimo količino dodatnega dela, ki ga potrebujemo za vzpostavitev uporabnega računskega modela konstrukcije. Izkaže se, da uvoz informacijskega modela preko datoteke IFC v program ETABS zaradi zaenkrat še zelo raznolikih IFC vmesnikov ni možen.



V peten poglavju je predstavljena uporaba tako pridobljenega modela za potresno analizo. Najprej so določeni vplivi na konstrukcijo, ki jih je potrebno zajeti v potresni kombinaciji. V nadaljevanju jih uporabimo za izvedbo modalne analize, ki je glede na dimenzijske karakteristike obravnavanega objekta nujna. Analizo izvedemo v programih SCIA Engineer in ETABS. Pri prvem analizo pripravimo na v poglavju štiri izdelanem računskem modelu, ki ga za ta namen ustrezno priredimo (stremimo k čim manj spremembam) ter na drugem »ročno« izdelanem – geometrijsko poenostavljenem modelu. Drugače je v programu ETABS, v katerem zaradi neuspešnega poizkusa uvoza informacijskega modela matematične modele ustvarimo na konvencionalen način – »ročno«. Dobljene rezultate obeh programov na koncu ovrednotimo in primerjamo med sabo.

V sklepnem delu so, na osnovi uporabe omenjenih programov, podane ugotovitve in komentarji k uporabi informacijskih modelov zgradb za namen potresne analize in možnosti za nadaljnji razvoj.

## 2 PROJEKTIRANJE

Projektiranje je kombinacija kreativnega dela in logičnega razmišljanja s skupnim ciljem definirati potrebe projekta in ugotoviti kako jim na najbolj primeren način zadostiti ter na koncu to tudi realizirati.

V procesu projektiranja se srečujejo strokovnjaki različnih profilov z različnimi specializiranimi znanji, ki jih je potrebno med seboj povezati. Za dobro sodelovanje med njimi je potrebna dobra medsebojna komunikacija oz. izmenjava informacij. En del sodelovanja predstavlja sama koordinacija, drugega pa izmenjava informacij o projektu. Slednje se po ustaljeni praksi prenaša s pomočjo risb v dvodimenzionalni obliki, ki gredo praviloma skozi nekaj iteracij, katerih razlog gre iskati predvsem v različnih načinih obravnave projekta (arhitekta na primer zanimajo oblikovne in funkcionalne lastnosti, gradbenika pa bolj mehanske lastnosti).

Celostna inženirska obravnava zgradbe sestoji iz več specifičnih vidikov (statični, dinamični, gradbeno-fizikalni, geometrijski, vizualni itd.). Vsak od njih zahteva specifične informacije o zgradbi oz. objektu, ki ima ustrezne lastnosti za analizo in ovrednotenje. Tak primer je naveza gradbeni inženir-arhitekt, kjer prvi, z vidika potreb računске analize konstrukcije, pride do izziva pridobiti potrebne informacije o zgradbi oz. objektu iz arhitekturnih načrtov. Zahtevane informacije so ponavadi specifične (mehanske lastnosti, način podpiranja, obtežba itd.), imajo pa tudi eno skupno lastnost – geometrijo. Toda to velja zgolj za grobo formulacijo, tudi podajanje geometrije se namreč mnogokrat glede na vrsto analize močno razlikuje. Tipičen primer je prav računski model zgradbe.

### *2.1 Potresno odporno projektiranje*

V Sloveniji je kot gradbeni material pogosto uporabljen armiran beton. Ob dejstvu, da je večina Slovenije potresno ogrožene, je potrebno graditi potresno odporne konstrukcije, ki jih projektiramo v skladu z veljavnim standardom Evrokod 8. Potresno odpornost konstrukcij

zagotavljamo z ustrezno kombinacijo nosilnosti in sposobnosti neelastičnega deformiranja brez porušitve (duktilnosti). Ob dejstvu, da je beton zelo krhek material, AB konstrukcijam ustrezno duktilnost zagotovimo z ustrezno konstruirano armaturo.

Izkušnje kažejo, da je neustrezno projektiranje armiranobetonskih (AB) objektov glavni razlog za slabo obnašanje le-teh pri potresni obtežbi (Fischinger, 1999). Pomanjkljivosti izvirajo predvsem iz:

- nezadostne duktilnosti konstrukcijskih elementov in
- nerazumevanja povezave med velikostjo računskih sil in duktilnostjo konstrukcije.

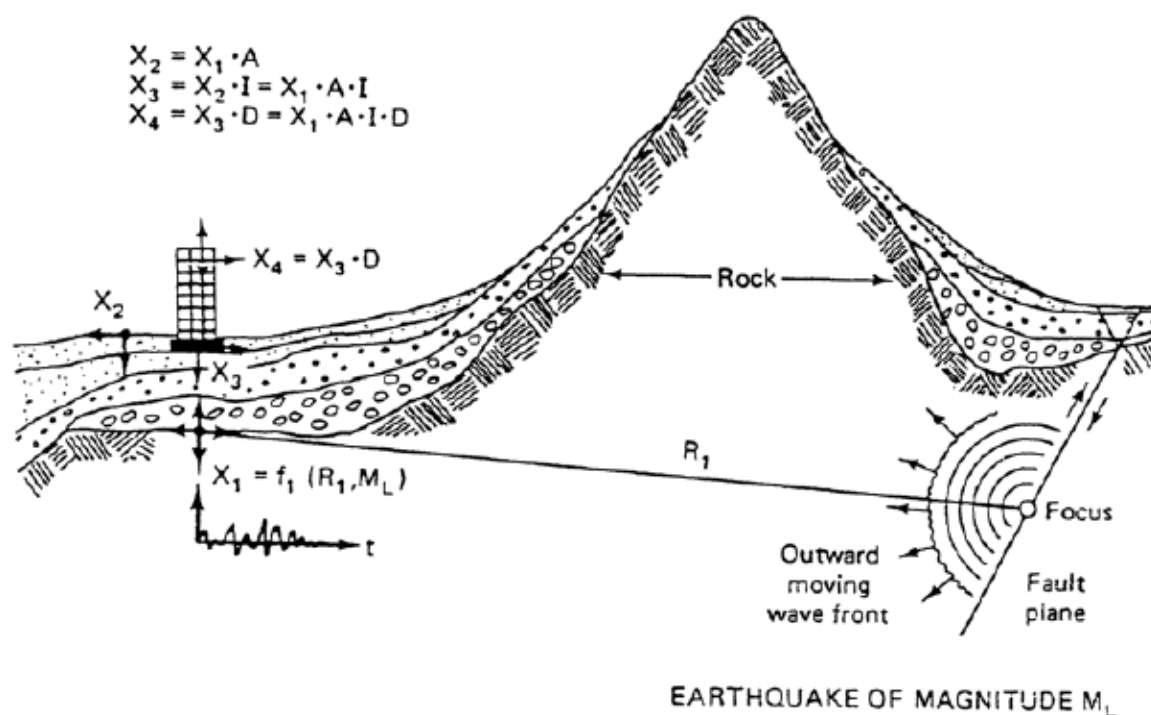
Šele z ustreznim projektiranjem in konstruiranjem armature konstrukcijam zagotovimo potrebno duktilnost in sposobnost sipanja energije, ki je odvisna od več dejavnikov (material, pomembnost objekta, vrsta konstrukcijskega sistema, način projektiranja itd.). Potresno odporno projektiranje konstrukcij je zaradi svoje kompleksnosti pogosto zelo težaven postopek.

Ena izmed pomembnih nalog v procesu je določitev sprejemljive škode ob pogoju, da se konstrukcija ne poruši pri projektnem potresu. Pri običajnih stavbah je namreč, zaradi vidika ekonomičnosti, smiselno dopustiti določen nivo poškodb medtem, ko za nekatere objekte večje pomembnosti (jedrske elektrarne, odlagališča jedrskih odpadkov, objekti kemične industrije...), to ni dopustno. V svetu je ta proces poznan pod imenom PBSE (PBSE – Project-Based Seismic Engineering) in zajema vse faze izvedbe projekta od same ocene potresne ogroženosti, določitve projektnih ciljev (določitev investitorjevih potreb) ter ustreznosti gradbene parcele do zasnove, projektiranja, izvajanja in opazovanja konstrukcije tekom obratovanja vseh ključnih elementov sistema zgradbe (temeljenja, zgradbe same, nekonstruktivnih elementov, opreme in servisnih vodov) (Bertero, 2001).

Za vsakdanjo prakso je od januarja 2009 področje potresno odpornega projektiranja urejeno z evropski standardom (EC8), ki temelji na skupnih evropskih principih in omogoča lažjo integracijo gradbenih podjetij v evropski prostor in s tem večjo konkurenčnost.

## 2.2 Problematika snovanja potresno odpornih objektov

Izkušnje iz pomembnih potresov v preteklosti kažejo, da se potresna ogroženost urbanih področij iz leta v leto zvišuje. Eden najprimernejših načinov za spremembo tega trenda je razvoj zanesljivejših standardov in določil ter njihova striktna uporaba pri gradnji novih in rekonstrukciji oz. oceni potresne varnosti starih (ne-varnih) objektov.



Slika 1: Oris problematike in faktorjev pri določanju potresnega odziva konstrukcij (Vir: Bertero, Uang, 2005)

Za ustrezno in hkrati učinkovito zasnovano potresno odpornega objekta je potrebno predvideti zanesljivo dinamično obnašanje objekta kot celote (temeljna tla, temelji, nosilna konstrukcija in nenosilni elementi). Glavni problemi določanja odziva objekta na potres je v določitvi spremenljivk, ki jih prikazuje slika 1. Omenjene spremenljivke predstavljajo:

- $X_1$ ... širjenje gibanja nosilnih tal
- $X_2$ ... dinamične lastnosti slojev zemljine pri širjenju gibanja nosilnih tal proti površju
- $X_3$ ... gibanje tal na mestu temeljenja zgradbe

- $X_4$ ... deformacije zgradbe v odvisnosti premikanja temeljev
- A, I... korelacijska faktorja

Prvi problem je, kako natančno določiti gibanje tal na mestu temeljenja zgradbe. Ocena  $X_3$  mora zajeti vpliv vseh slojev tal pod temelji in okoli njih. Pri tem lahko vplive razdelimo na dva dela: eden je povezan z dinamičnimi lastnostmi slojev zemljine pri širjenju gibanja nosilnih tal ( $X_1$ ) proti površju ( $X_2$ ), medtem ko je drugi povezan z interakcijo temeljev in zgradbe same. Kljub dejstvu, da je širjenje gibanja tal ( $X_1$ ) možno zanesljivo določiti, se glavni problem pojavi pri zanesljivosti določanja korelacijskih faktorjev (A in I). Naslednji problem se pojavi pri določevanju deformacij zgradbe ( $X_4$ ), ki so posledica premikanja temeljev tekom potresa. Dodatno neljubo dejstvo se pojavi pri zakonu superpozicije, ki za nelinearno področje ne velja več.

Zaradi opisane kompleksnosti se zatekamo k poenostavljenim rešitvam, ki sicer ne opišejo dejanskega obnašanja, so pa približek na varni strani in hkrati predstavljajo maksimalen možen odziv konstrukcije. Z drugimi besedami, opis linearnega odziva je veliko enostavnejši kot opis nelinearnega odziva. Prav to je glavni razlog, da se projektanti nelinearni analizi izogibajo in se raje omejijo na lažjo (poenostavljeno) linearno analizo potresnega odziva konstrukcij.

### ***2.3 Ustaljen način projektiranja in njegove pomanjkljivosti***

Že v začetku poglavja smo omenili navezo gradbeni inženir – arhitekt, ki je pri ustaljenem načinu dela značilna. Gradbeni inženir in arhitekt opravljata svoje delo na podlagi informacij, ki jih posredujeta drug drugemu. Izmenjava informacij se, kljub že dobro razširjeni uporabi 3D programskih orodij na obeh straneh, odvija pretežno z izmenjavo risb v dvodimenzionalni obliki, kar vodi v delno izgubo informacij in v podvajanje dela. Predvsem zaradi vse večje zahtevnosti projektiranja, postaja izmenjava podatkov med vpletenimi s pomočjo risb v dvodimenzionalni obliki, vse težja.

Bistvena vloga, ki naj bi jo odigral gradbeni inženir, je pravilna izbira konstrukcijskega sistema, materialov in tehnologije gradnje, kar lahko ob dobro opravljenem delu znatno vpliva na ceno in gladko izvedbo projekta. Vendar je običajno žal tako, da za večino omenjenih stvari inženirju zmanjka časa, saj ga večino porabi za manj pomembne oz. bolj trivialne stvari. Ena izmed takih je na primer izdelava 3D modela konstrukcije v programu za računsko analizo konstrukcij, kjer so uporabniški vmesniki pogosto dokaj okorni. Dodatni, morda še večji porabnik časa, pa predstavljajo spremembe, ki se pojavijo tekom iterativnega procesa projektiranja, ko kaj hitro ugotovimo do kakih neprijetnosti lahko privede na primer zgolj prestavitve kakšne od osi ali sprememba položaja in tlorisnih dimenzij stene.

V nalogi se bomo posvetili predvsem potresni analizi, ki predstavlja en del procesa projektiranja. Potresna analiza predstavlja postopek analize odziva konstrukcije na potresne vplive in zajema:

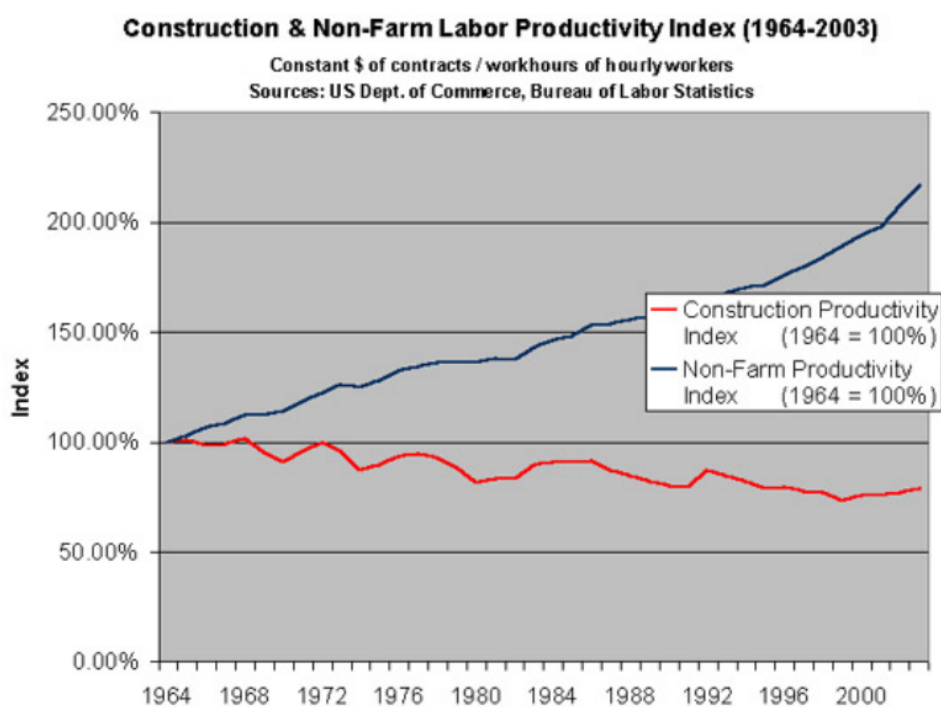
1. določitev vplivov na konstrukcijo,
2. določitev potresne obtežbe in projektne spektra pospeškov,
3. izdelavo analitičnega modela konstrukcije ter
4. analizo.

V zadnjih letih se je sicer že pojavilo nekaj programskih orodij za določanje vplivov in računanje nelinearnega odziva konstrukcij, vendar je zaradi omenjene kompleksnosti področja obravnave zaenkrat njena uporaba še prezahtevna za vsakodnevno prakso.

V široki uporabi tako ostajajo programska orodja za določanje linearnega odziva 3D modelov konstrukcij (modalna analiza). Posledica tega je potreba po iterativnem določevanju odziva konstrukcije na dinamično oz. potresno obtežbo. S tem je mišljeno predvsem iskanje pravilnega matematičnega modela konstrukcije, ki kar najbolj realno opiše odziv konstrukcije na dinamično obtežbo. Glede na iterativno naravo celotnega procesa projektiranja je to delo ob dejstvu, da mora konstruktor pred izvedbo npr. modalne analize najprej izdelati ločen in prirejen 3D model objekta, lahko zelo zamudno in hkrati nepraktično v primeru večjih sprememb projekta.

V sled temu se pospešeno pojavljajo novi načini, s katerimi bi bilo mogoče to kompleksnost bolje obvladati in s tem dvigniti učinkovitost dela na področju gradbeništva, ki v nasprotju z drugimi »non-farm« industrijami, zaradi povečane kompleksnosti projektov, glede na rezultat raziskave dr. Teicholza iz univerze v Stanfordu (Slika 2), celo pada (AECbytes, 2004).

V nadaljevanju naloge bodo s tem namenom preučene možnosti, kako konvencionalen način projektiranja, ki je predstavljen v tem poglavju, poenostaviti in izboljšati z uporabo nekaterih programskih orodij in principov, ki se pospešeno razvijajo na področju informacijske tehnologije.



Slika 2: Produktivnost delovne sile na področju ZDA za gradbeni sektor v primerjavi z vsemi »Non-farm« področji industrije skupaj od leta 1964 do leta 2003 (Vir: [www.aecbytes.com](http://www.aecbytes.com), 2004)

### 3 INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB

Odgovor na vprašanje, kako izboljšati storilnost in kakovost dela v gradbeništvu, je z razvojem strojne in programske opreme kmalu postal jasen. Tehnološki mehanizem, ki bo ta preskok v načinu izvajanja gradbenih projektov omogočal, je v svetu poznan pod pojmom informacijsko modeliranje zgradb (*angl.* BIM - Building Information Modeling). BIM predstavlja proces digitalne izvedbe fizičnih in funkcionalnih lastnosti zgradbe. Kot tak predstavlja osrednjo zbirko podatkov glede zasnove konstrukcije, potrebne za sprejemanje odločitev tekom življenjske dobe objekta, vse od njene zasnove naprej (Wikipedia, 2009).

Osnovni poudarek BIM koncepta je na sodelovanju različnih udeležencev v različnih fazah življenjskega cikla objekta, ki predstavljajo bodisi gradnjo, nadgradnjo, spremembo ali sanacijo konstrukcije. Tekom vseh faz se namreč model sproti prilagaja in popravlja in s tem nudi podporo ter izraža vloge udeležencev. BIM je digitalna izvedba z namenom skupne uporabe, temelječa na odprtih standardih za interoperabilnost (*angl.* open standards for interoperability) (*NBIMS Committee, 2009*).

#### 3.1 Sodelovanje in interoperabilnost

Splošna definicija interoperabilnosti (uporablja se tudi izraz medoperabilnost) je lastnost različnih sistemov in organizacij, da medsebojno sodelujejo. Interoperabilnost programske opreme je zmožnost povezovanja aplikacij pri reševanju skupnega problema, ki jo omogoča izmenjava podatkov med različnimi programi. Omogočena je z naborom formatov za izmenjavo (*angl.* exchange formats) in uporabo enakih protokolov (standardi, ki nadzorujejo in hkrati omogočajo povezavo, komunikacijo in izmenjavo podatkov med dvema končnima točkama operacije) (Wikipedia, 2009).

V ustaljenih procesih projektiranja se, predvsem na nivoju dvodimenzionalnih gradnikov, princip interoperabilnosti delno že uporablja. Pri takem načinu prenosa informacij je pogosto težko razbrati pravi pomen gradnikov, prav tako pa tak pristop v praksi pogosto povzroča



podvajanja, napake, zamude, slabo kvaliteto, nizko produktivnost ter posledično dodatne stroške (Graphisoft, 2004).

Sorazmerno z razvojem programske opreme se počasi tudi v gradbeništvu dvodimenzionalna načrtovalna paradigma zamenjuje s tridimenzionalnim načrtovanjem. Le z uporabo tridimenzionalnih gradnikov je mogoče zagotoviti nedvoumno specifikacijo elementov, ki skupaj tvorijo enotni informacijski model zgradbe oziroma objekta. Ti gradniki skupaj predstavljajo osnovo objektno orientiranih modelov, označenih s terminom informacijski model zgradb (*angl.* BIM – Building Information Model). Namen modela je zajem aspektov posameznih strok, ki so trenutno v praksi običajno zapisani v obliki dokumentov, preglednic, terminskih planov ter nepovezanih in neskladnih datotečnih zapisov. To je način za doseganje večje integracije, koordinacije, sinhronizacije in konsistence ter natančnosti v panogi, pravi Pazlar (2008).

Termini, podatki in orodja uporabljena s strani vsakega izmed udeleženi se med seboj praviloma zelo razlikujejo, kar pretok informacij otežuje. Pazlar (2008) v svoji doktorski disertaciji navaja, da je v sled temu potrebno posebno pozornost posvetiti semantiki oz. skupnemu dojemanju vseh bistvenih konceptov panoge, ki predstavlja eno izmed pglavitnih karakteristik informacijskih modelov zgradb. To pomeni na primer nek otipljiv ali neotipljiv element zgradbe (npr. steber) točno definirati in mu pripisati natančen pomen oz. semantiko, ki vsakemu od akterjev na ustrezen način razloži njegovo vlogo.

Zgradba je torej ena, pogledov nanjo pa več. Skladnost med njimi je zagotovljena v primeru, da pri pretvorbi iz enega pogleda v drugega ne pride do napake, kar je ob dejstvu, da so ljudje zmotljivi, težko. V sled temu stremimo k zmanjšanju števila zamudnih pretvorb oz. k njihovi avtomatizaciji in standardizaciji, kar je v veliki meri pogojeno z interoperabilnostjo programskih orodij.

### **3.1.1 Sodelovanje gradbenega konstrukterja**

Delček v mozaiku zgoraj opredeljenega zagotavljanja interoperabilnosti predstavlja tudi področje gradbenega inženirstva oz. še ožje, gradbenega konstruktorstva. Z vidika gradbene

stroke informacijsko modeliranje zgradb omogoča ustvarjanje, posredovanje in pregledovanje informacij na gradbenem delu projekta vse od zasnove do izdelave elementov, gradnje in vzdrževanja. Ustvarjanje računskega modela v smislu interoperabilnosti temelji na izrabi arhitekturnega modela, katerega z dodanimi informacijami o računskem modelu in analizi inženirsko opredelimo.

Osnova inženirskega dela je model nosilne konstrukcije zgradbe (model zgradbe), ki ga pri naprednejših programih za izdelavo arhitekturnega modela zelo enostavno izluščimo. Model zgradbe predstavlja hrbtnico zgradbe brez detajlov arhitekturnega načrta (okna, vrata, estrihi, ometi, izolacija, ...). Tvori osnovo za vse nadaljnje inženirsko delo. Na njej inženir izdelava analitični model, ki temelji na prilagoditvah modela zgradbe, ki so potrebne za skladnost (spojene osi elementov, ekscentričnost elementov je pogosto zanemarjena) z obstoječimi teorijami in standardi. Preko različnih analiz nato sledi konceptualna, pozicijska in dimenzijska opredelitev konstrukcijskega modela, ki najbolje izpolnjuje zgoraj naštetje kriterije (funkcionalnost, varnost, ekonomičnost, vizualno sprejemljivost).

Na podlagi dobljenih ugotovitev je na tem mestu smiselno informacijsko posodobiti osnovni arhitekturni model. Kakšne so možnosti posodobitve arhitekturnega modela, bo več govora v poglavju o integriranih povezavah med programskimi orodji za računalniško podprto načrtovanje (*angl.* CAD – Computer Aided Design) in računalniško podprto inženirstvo (*angl.* CAE – Computer Aided Engineering). Bolje je na tem mestu obrazložiti, kakšno korist to predstavlja za nadaljnje delo inženirja. Posodobljen model zgradbe lahko namreč uporabimo kot temelj za določitev konstrukcijskih detajlov in izdelavo načrtov konstrukcije (delavniški načrti za jeklo, armaturni načrt z izvlečki, itd.), s čimer se pokaže nova razsežnost interoperabilnosti.

### **3.1.2 Informacijski model zgradbe**

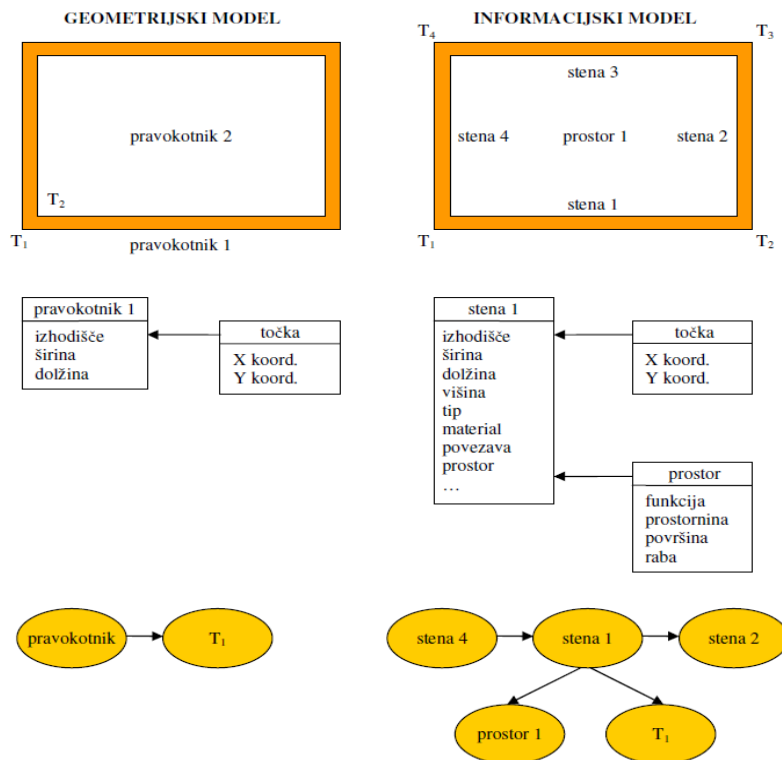
Namen in cilj raziskav na področju informacijskih modelov zgradb je, poglede vsakega od strokovnjakov izluščiti avtomatsko (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002). Rezultat bi bila večja učinkovitost dela (ni več ročnega prenašanja podatkov iz programa v program), izboljšali pa

bi tudi kvaliteto načrtov, saj na tak način lažje preverimo vpliv, ki ga ima sprememba v okviru ene stroke na vse druge. V celotnem smislu življenjskega cikla zgradbe to pomeni v prvem delu hitrejše in učinkovitejše načrtovanje, v drugem delu pa lažje vzdrževanje in gospodarnejšo uporabo.

Pojem »informacijski model zgradbe« predstavlja skladišče podatkov, katerega cilj je na enoten in neredundanten način zajeti vse informacije o zgradbi ter jih deliti z vsemi sodelujočimi v procesu gradnje (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002). Mogoče še boljša, je naslednja definicija: informacijski model zgradbe označuje večdimenzionalno, semantično bogato predstavitev produkta z namenom podpore medsebojni komunikaciji med udeleženci, sodelovanju, simulaciji ter optimizaciji. Informacijske modele lahko glede na izvor razdelimo v dve skupini:

- modeli, **razviti z monolitnimi aplikacijami** (t.j. aplikacije, ki imajo avtorsko zaščiten format zapisa – interoperabilnost je pogojena s kapitalskimi povezavami med avtorji programske opreme) in
- modeli, **razviti v raziskovalnih ustanovah oz. inštitutih in neprofitnih organizacijah** (temelj je odprta specifikacija modelov – je bolj nepopolna in premalo robustna, vendar perspektivna).

V klasičnih 2D in generičnih 3D programih za načrtovanje je geometrija predstavljena z elementarnimi entitetami (točke, črte, pravokotniki, loki, kvadri, valji itd.), kar sicer omogoča opis geometrije, vendar z njimi ne moremo zajeti domensko specifičnih informacij. Zato so se namesto na geometriji temelječi modeli za ta namen uveljavili objektno orientirani modeli, pri katerih sam pomen geometrije ne prevlada nad ostalimi informacijami, ki jih je moč avtomatsko izluščiti in ponovno uporabiti (na primer za potrebe izdelave dokumentacije, izvlečkov, izdelave predstavitev, vizualizacije itd.) (Pazlar, 2008). Nujno je ločiti med geometrijskim in informacijskim modelom. Najbolj nazorno to prikazuje koncept prostora (Slika 3).



Slika 3: Geometrijski model / Informacijski model (Vir: Pazlar, 2008)

Predvsem z razvojem specifične programske opreme (npr. toplotni odziv konstrukcije, računska analiza konstrukcije ipd.) je nastala potreba po domensko specifični predstavitvi zgradbe. Glede na predmet zanimanja te naloge se bomo v nadaljevanju osredotočili na dva domensko specifična modela:

- arhitekturni model ter
- računski model.

### 3.2 Modeliranje informacij

Informacija je nedvoumna interpretacija podatka (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002). Podatki brez pojasnila in konteksta so neuporabni, predvsem pri digitalnem zapisu in računalniški izmenjavi podatkov. Nestandardno označeni načrti so nedoločeni in lahko predstavljajo karkoli, kar nemalokrat vodi v napačne in različne interpretacije. Potek modeliranja informacij je zato nekje v smeri »kaj vse je potrebno povedati o podatku, da je pravilno

interpretiran?«. Primer je lahko na primer steber kompleksnejše geometrije, ki je kot prvo geometrijsko dobro opisan, poleg tega pa so znani tudi parametri, kot so pozicija/lega (katero nadstropje, katera os itd.), material, način izvedbe (montaža, izdelava na mestu...) ter ostali podatki, ki so potrebni v posamezni fazi. Za namen računske analize konstrukcij, na katero smo v našem primeru osredotočeni, so to podatki, ki natančno opišejo vlogo elementa, njegove točne dimenzije, načine stikovanja s sosednjimi elementi, obtežbo, skupino obtežbe itd. Zapis podatkov, predvsem to velja za digitalno obliko, mora biti zato sistematičen in po možnosti standardiziran. Informacijski model zgradb IFC

Za zagotovitev vsesplošne povezljivosti programov, so se v industriji, ki oblikuje grajeno okolje (v tuji literaturi zasledimo pod akronimom AEC/FM – Architecture, Engineering, Construction, Facilities Management), izoblikovali standardi za formulacijo in elektronsko izmenjavo informacij. Med najnovejše in največje sodijo tudi temeljni razredi za industrijo (*angl.* IFC - Industry Foundation Classes) ali kar model zgradb IFC. Specifikacijo IFC razvija organizacija buildingSMART, prej znana kot mednarodno združenje za interoperabilnost (IAI). Tehnična specifikacija zanj temelji na standardu ISO 10303, vsebinska pa na več iniciativah AEC/FM sektorja (BCCM, GARM, CIMSteel) (IAI, 2009).

Datoteka IFC predstavlja nevtralni podatkovni format za opis, izmenjavo in souporabo informacij uporabljenih tekom gradnje in upravljanja z objekti (AEC/FM) in je zapisana v ASCII formatu. Razvoj sega v leto 1994, ko želi skupina podjetij iz ZDA izboljšati izmenjavo podatkov med različnimi programskimi orodji. Kljub že dostopnemu razvojnemu okolju ARX, ponujenem s strani Autodesk, se konec leta 1995 ustanovi združenje IAI (*angl.* International Alliance for Interoperability), ki koordinira razvoj modela zgradb IFC ter skrbi za ustrezno akreditacijo programske opreme na trgu. To delo dandanes nadaljujejo v okviru, leta 2005 začetega programa, buildingSMART, v okviru katerega iščejo zavezništva z ostalimi podobno usmerjenimi organizacijami. Na podlago osmih izdaj je sedaj aktualna in tudi standardizirana verzija modela zgradb IFC2x3. V pripravi pa je tudi že izdaja četrte generacije IFC specifikacije – IFC2x4, ki je tudi že tik pred predajo mednarodni organizaciji za standardizacijo – ISO v potrditev za polno veljaven mednarodni standard ISO16793 (buildingSMART, 2009).

Združenje IAI intenzivno sodeluje z ostalimi organizacijami in združenji s ciljem razvoja nevtralnega formata za komunikacijo med programsko opremo:

- ISO TC184/SC4 – razvoj standardov za avtomatizacijo in integracijo v industriji,
- ISO TC59/SC13/WG6 – razvoj standardov za objektno orientirano izmenjavo informacij,
- ICIS – International Classification Information Society - priprava standardov na področju specifikacije del in stroškov v gradbeništvu.

Definicija IFC po IAI - International Alliance for Interoperability:

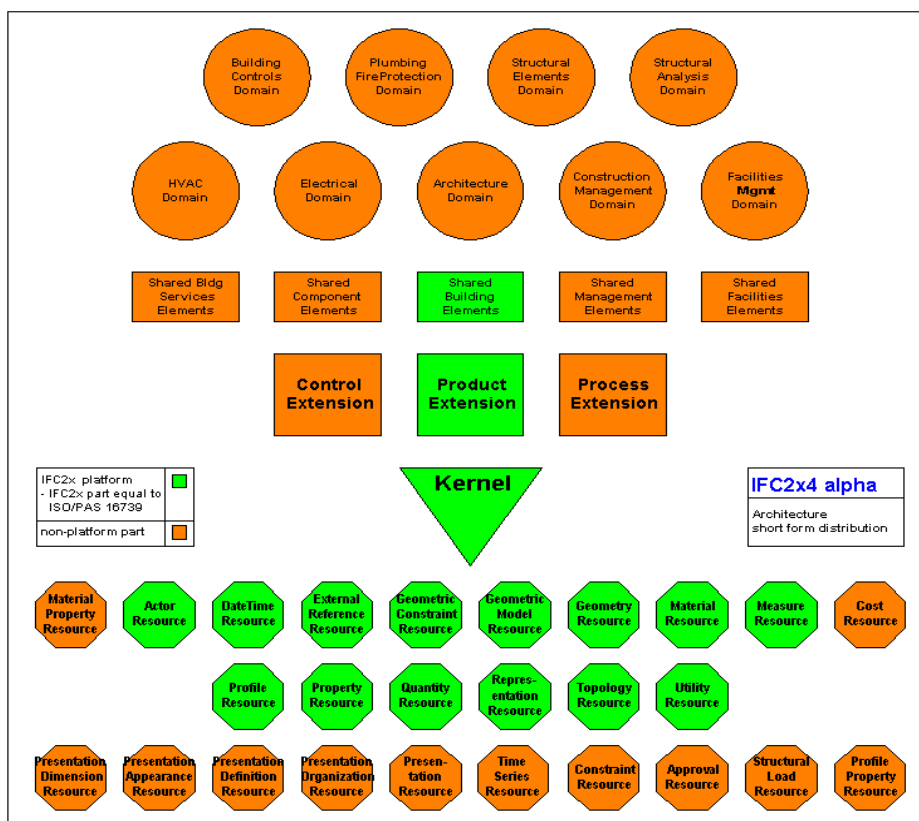
- IFC predstavlja informacijski model zgradbe, katerega namen je deliti informacije o konstrukciji in o upravljanju zgradbe z vsemi aplikacijami, udeleženi v procesu nastajanja objekta.
- IFC je objektno orientiran podatkovni model temelječ na definiciji slojev za opredeljevanje stvari (elementov, procesov, oblik itd.), kateri so uporabljeni s strani programskih aplikacij tekom gradnje ali v fazi projekta upravljanja zgradbe.
- IFC podatkovni model je usmerjen predvsem v zagotavljanje slojev, potrebnih za prenos informacij in ne uporabi le-teh v točno določenem programu.
- IFC podatkovni model je nevtralen in hkrati odprt.

Model zgradbe IFC naj bi zajemal vse informacije o zgradbi ter omogočal njihovo neovirano izmenjavo. Tak model je zelo obširen zalogaj, zato je potrebna dobra sistematizacija pristopa. Zaradi velikega števila shem je bila potrebna organizacija po pomenu in namembnosti. Sheme so zato organizirane na več slojev (Slika 4 od spodaj navzgor) (Pazlar, 2008):

- VIRI – predstavljajo najnižji sloj arhitekture modela IFC. Označimo jih lahko kot generične koncepte oz. objekte, neodvisne od aplikacije oz. domene.
- OSREDNJI SLOJ – predstavlja osnovno strukturo IFC modela in definira splošne koncepte, skupne vsem delom objekta. Tvorita ga:

- jedro: šablona, znotraj katere se razvija model. Definira najbolj osnovne konstrukte.
  - razširitve jedra: predstavlja vsako razširitev splošnih konstruktov. V shemi so prepoznavne po oznaki »Extension«.
- SLOJ SKLADNOSTI – tu so definirani koncepti (ali razredi), ki so skupni vsaj dvema domenskima modeloma
  - DOMENSKI SLOJ – zagotavlja natančen opis modela, ki je v skladu z AEC/FM domenskim procesom in tipom aplikacije.

Pomembno je upoštevati, da med posameznimi sloji velja princip gravitacije (Pazlar, 2008).



Slika 4: Shema specifikacije IFC2x4 alpha (Vir: IAI, 2009)

IFC postavlja zahteve, katerim bi model zgradbe, za uspešno uporabo v industriji, moral zadoščati. Posebna pozornost je namenjena štirim bistvenim odlikam modela, ki so poimenovane kar glavne informacijske osi modela (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002):

- življenjski cikel,
- stroka,
- stopnja podrobnosti,
- računalniška aplikacija.

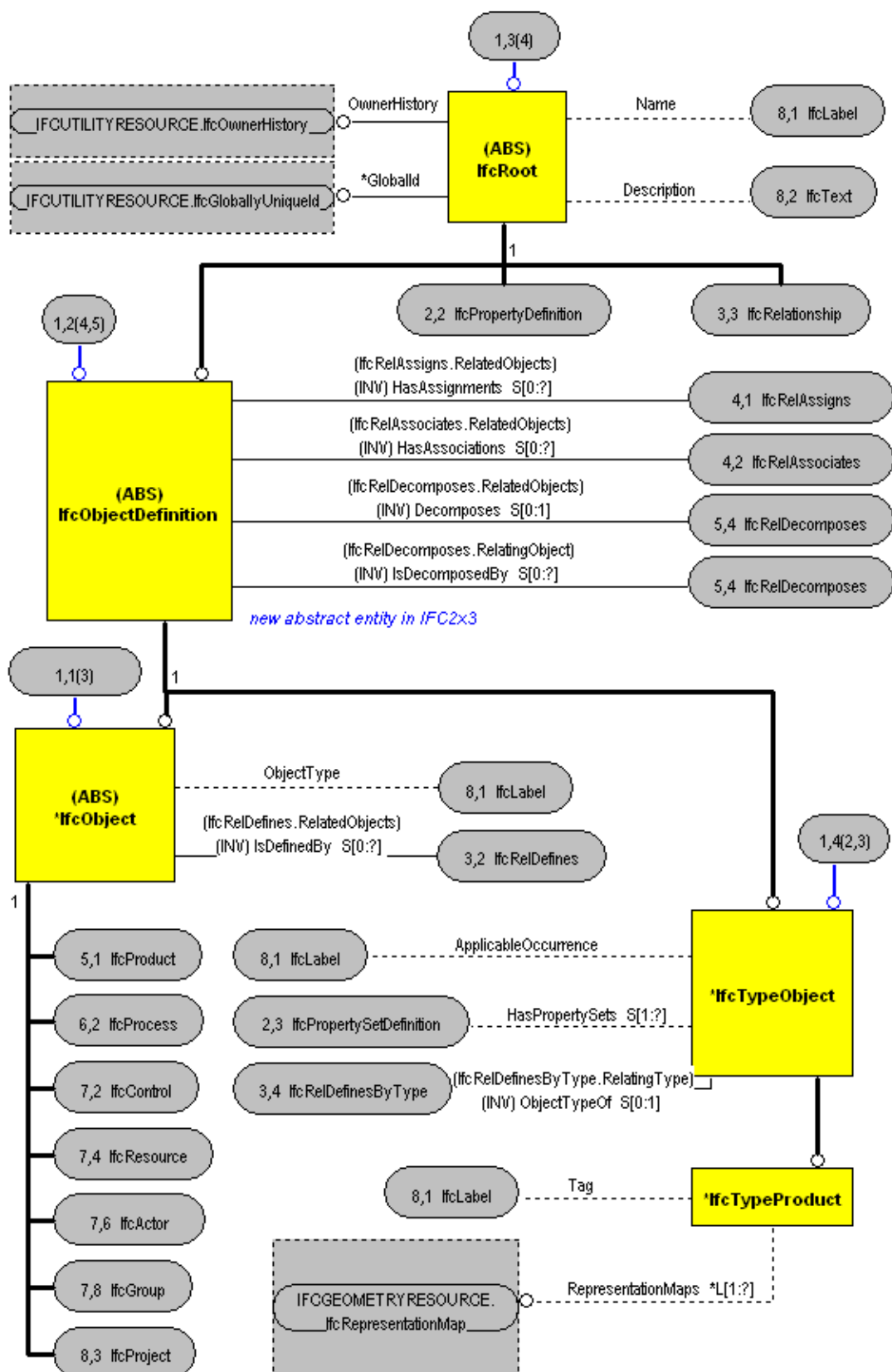
Os »stroka« se nanaša na interdisciplinarno naravo procesa gradnje, kjer se tekom projekta pojavljajo različne interpretacije modela v skladu s pogledi stroke na obravnavano problematiko. Možnost opisovanja različnih pogledov je v modelu IFC vpeljana preko koncepta vlog (strojni inženir, konstruktor, investitor).

### 3.2.1 Shema in zaips IFC

**Shema IFC.** Shema je zbirka entitet (ali razredov), atributov in povezav med entitetami. Predstavlja vzorec oziroma predlogo s katerimi predstavimo skupine entitet in povezav. Taka shema se pogosto imenuje Produktni (Podatkovni) Model. Ena izmed njih je tudi specifikacija IFC. Na sliki 5 je predstavljena shema jedra modela za drugo stopnjo nivoja podrobnosti, specifikacije IFC2x3 TC1 (IAI, 2009). Entiteta (oz. objekt) označuje obstoj fizičnih (steber) in abstraktnih (cena stebra) gradnikov. Uporabljajo se za opisovanje posameznih področij oz. domen znotraj sheme. Glavne entitete, ki opisujejo npr. razred elementov zgradb (IfcBuildingElement), so:

- IfcWall (stene),
- IfcSlab (plošče),
- IfcBeam (grede),
- IfcColumn (stebri).





Slika 5: Shema entitet v IFC2x3 TC1 (Vir: IAI, 2009)

**Zapis IFC.** Za zapis specifikacije IFC je uporabljen jezik EXPRESS, ki omogoča konceptualen opis informacij v obliki sheme. Prednosti jezika so v njegovi kompaktnosti in ustreznosti za vključitev pravil za potrjevanje podatkov znotraj podatkovne strukture. IFC datotečna izmenjevalna struktura oziroma sintaksa podatkovnih datotek s končnico ».ifc« je v bistvu standardiziran format tipa »STEP fizična datoteka« (IAI, 2009). V sami osnovi format datoteke predstavlja standardni nabor za datotečno izmenjavo podatkov (ASCII – American Standard Code for Information Interchange), ki omogoča izmenjavo IFC med različnimi aplikacijami.

Od izdaje IFC2x naprej obstajata k zapisu IFC-EXPRESS dve alternativni. Obe temeljita na jeziku XML (*angl.* Extensible Markup Language), ki omogoča format za opisovanje strukturiranih podatkov. Ti dve alternativni sta:

- aecXML in
- ifcXML.

Specifikacijo aecXML je za sektor AEC/FM predlagalo podjetje Bentley. Druga alternativa je ifcXML, ki predstavlja metodologijo za generacijo strukture XML dokumentov (XSD – XML Schema definition). Namesto STEP fizične datoteke imamo pri ifcXML opravka z .xml ali .ifx datotekami. Praktično gre pri ifcXML zapisu za standardizirano prevedbo iz EXPRESS zapisa v ifcXML XSD model (Pazlar, 2008). Preslikava med shemama je avtomatizirana, prilagajanje preslikav poteka s pomočjo konfiguracijske datoteke. Obe alternativni sta podobni oziroma kar enakovredni tehnologiji pri katerih velja dogovor, da uporabimo zapis ifcXML na vseh področjih, ki jih IFC-ji pokrivajo, za vse ostale uporabimo zapis aecXML (zato v nadaljevanju splošna oznaka XML). Razlika med IFC in XML zapisom je, kot slikovito opiše Pazlar (2008), v tem, da IFC zapis predstavlja način za izmenjavo CAD načrtov, XML pa zgolj način izražanja vsebine CAD načrtov.

Za nastanek alternativnih zapisov je bila bistvena potreba po pridobivanju informacij za informacijski model zgradbe iz področij, kjer že obstajajo XML zapisi (npr. podatkovne zbirke, GIS, geodezija itd.) ter namen zagotavljanja določenih informacij iz modela (npr. e-poslovanje, vizualizacije in navidezna resničnost itd.). Pazlar (2008) prav tako navaja, da ne

gre pričakovati, da bi format ifcXML izpodrinil zapis IFC, saj je zapis modela v obliki XML precej obsežnejši (2-10 krat) kot pa zapis v STEP fizični datoteki.

### **3.2.2 Preslikave med arhitekturnimi in računskimi modeli**

Za izvedbo računske oz. v našem primeru potresne analize je z vidika interoperabilnosti najpomembnejša izdelava računskega modela na podlagi arhitekturnega modela. Tu se pojavi vrsta problemov, saj arhitekturni model, kot smo že omenili, vsebuje lastni domeni specifične informacije, ki so za izdelavo računskega modela v sami osnovi nezadostne. Ena pomembnejših nalog je prirejanje geometrije med modeloma, ki ga je po navedbah Pazlarja (2008) z uporabo hevrstičnih pravil in njihovega računalniškega kodiranja možno poenostaviti ter delno avtomatizirati. Naslednji vidik uporabe je izmenjava ostalih informacij med arhitektom in gradbenikom (npr. o vplivih na konstrukcijo, tipu vozlišč ipd.). Vidik določanja vplivov na konstrukcijo je npr. v doktorski disertaciji obdelal in praktično udejanil predhodno omenjeni avtor, pri čemer se je osredotočil na pripis koristne obtežbe na podlagi informacij o prostorih v arhitekturnem modelu. Vendar vse omenjene rešitve zaenkrat še ne omogočajo vsakdanje uporabe. Po besedah avtorja so zaenkrat v tem veliko boljši t.i. aplikacijsko specifični vmesniki.

Preslikave med različnimi pogledi na model so tako mogoče v okviru aplikacijsko specifičnih ali v okviru pod-modelov oz. domenskih modelov v okviru specifikacije IFC. Slabost slednjih je predvsem v tem, da so v večini primerov omejeni zgolj na delo s primitivi arhitekturnega modela (tako pri uvozu, kot tudi pri izvozu podatkov), kar po besedah Pazlarja (2008) sicer ne zagotavlja t.i. uporabnega minimuma, predstavlja pa pomemben gradnik zaokroženega iterativnega načrtovanja med arhitekti in gradbeniki konstruktorji.

V sledečih poglavjih bomo na praktičnem primeru obravnavali možnosti interopeabilnosti in izvajanja preslikav med arhitekturnim in računskim modelom v okviru uporabljenih programskih orodij s stališča uporabe aplikacijsko specifičnih vmesnikov in vmesnikov IFC.

### 3.2.3 Razširitve ST4 in ST7 modela zgradbe IFC

IFC razširitveni projekti so orodja programa buildingSMART za raziskave, razvoj in prototipno vpeljavo novih možnosti IFC podatkovnega modela. Izpeljava projektov temelji na strokovni podlagi sodelujočih, katerih ozadja in znanja ustrezajo obravnavani industrijski domeni. Glede na cilje projekta je bistveno, da zasedba predstavlja in zastopa širše mednarodne. Cilji projekta vključujejo:

- prepoznati informacijske okvire, temelječe na poslovnih potrebah dotične industrijske domene,
- definicijo razširitev potrebnega podatkovnega modela,
- potrjevanje modela npr. z izdelavo prototipa in
- dokumentirati predlagane IFC razširitve, vključno z izvedbenimi smernicami.

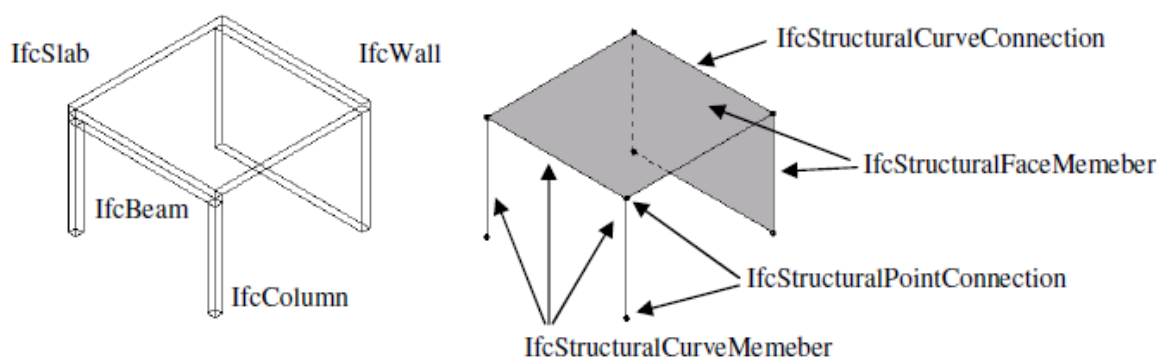
Iz vidika računske analize konstrukcij in posledično tudi potresne analize sta izmed množice razširitvenih projektov za nas najbolj zanimiva naslednja dva:

- ST-4 statična analiza konstrukcij in jeklene konstrukcije in
- ST-7 metoda končnih elementov, procesi dinamične analize, pripis rezultatov.

**Model zgradbe IFC za področje statične analize konstrukcij (ST-4).** Razširitev IFC modela za potrebe računske analize je potekala v okviru projekta ST-4, ki se je v letih 2001/2002 izvajal na Tehnični univerzi v Dresdnu. V središče pozornosti je postavljena integracija aktivnosti med področji arhitekture, gradbenega konstruktorstva in načrtovanja in proizvodnje jeklenih sklopov (IAI, 2009). Cilj projekta je vpeljati oz. semantično dopolniti IFC model z entitetami, ki so primerne za opis računskega modela. Osnovni primitivi geometrijskega oz. arhitekturnega modela ponavadi namreč niso primerni za opis računskega modela, saj elementi zgradb sami po sebi ne omogočajo neposrednega opisa vseh karakteristik gradnikov računskega modela, hkrati pa so nekateri elementi v računskem modelu lahko predstavljeni drugače kot v arhitekturnem (primer je npr. rebrasta plošča) (Pazlar, 2008). Razlika med obema modeloma je dobro predstavljena na sliki 6.

Razširitev IFC modela gre predvsem v sled:

- izdelavi računskega modela iz elementov arhitekturnega modela,
- uporabnosti računskega modela v različnih programih za statično analizo konstrukcij in
- boljši komunikaciji na področju jeklenih konstrukcij pri uporabi programov za načrtovanje, detajliranje, pripravo proizvodnje ter njihovo izmenjavo z arhitekti/projektnim koordinatorjem.



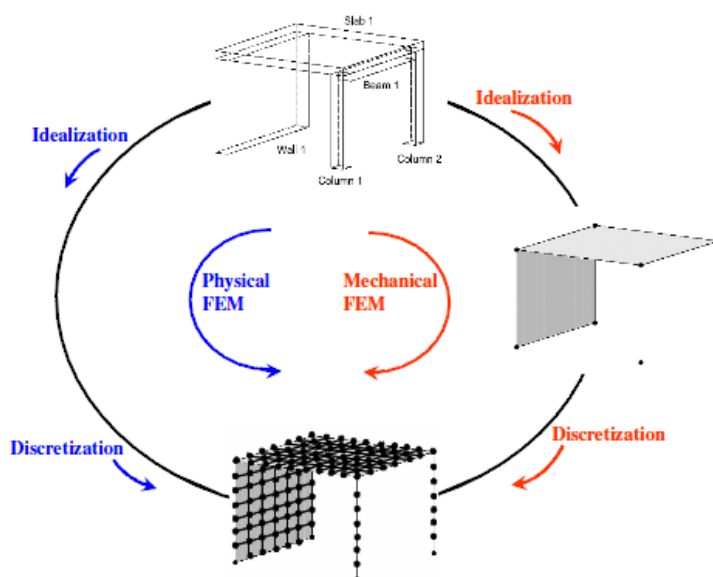
Slika 6: Elementi zgradb : Elementi računskega modela (Vir: Pazlar, 2008)

Za ta namen so bile vpeljane nove entitete z dvema abstraktnima korenskima razredoma `IfcStructuralItem` (opis konstrukcijskih elementov) in `IfcStructuralActivity` (opis zunanjih vplivov). Glede obsega razširitve je potrebno poudariti, da ta ne zajema oz. ne obravnava dela s končnimi elementi in specialnimi elementi (npr. lupinami) ter pripravo modela za dinamično analizo.

**Model zgradbe IFC za področje dinamične analize konstrukcij (ST-7).** Predstavlja logično nadaljevanje razširitve ST-4 in stremi k večji uporabnosti ter razširitvi IFC modela zgradb na področje potresnega inženirstva. Eden izmed ciljev razširitve ST-7 je implementacija procesa potresne analize v okviru razširitve IFC. Tu projekt ST-7 stremi k:

- definiciji modela končnih elementov na podlagi računskega modela, definiranega v razširitvenem projektu ST-4,
- definiciji modela končnih elementov na podlagi arhitekturnega modela,
- uporabnosti modela končnih elementov v različnih programskih orodjih za gradbeno analizo konstrukcij,
- definiciji procesa dinamične analize, vključno z različnimi metodami dinamične analize in
- zmožnosti pripisa rezultatov statične in dinamične analize k računskemu modelu., pri čemer so centri pozornosti naslednji :
  - enote modela končnih elementov (vključno z elementi, vozlišči in gaussovimi točkami) in njihove medsebojne ter zunanje povezave z računskim in arhitekturnim modelom,
  - dinamična presoja z uporabo različnih metod dinamične analize,
  - zmožnost pripisa rezultatov analize enotam modela končnih elementov.

Projekt ima največjo podporo s strani JSCE (Japan Society of Civil Engineering) in služi za namene pridobitve podatkovnega modela IFC za integrirano interoperabilno potresno simulacijo (proces je prikazan na sliki 7). Razširitveni projekt ST-7 je logično nadaljevanje vizije postavljene z razširitvenim projektom ST-4. Udejanjenje zgornjih ciljev je potrebno za uresničitev vizije o zmožnosti izvedbe celostne računske analize konstrukcije na IFC modelu zgradbe. Zaenkrat konkretnih rezultatov projekta še ni.



Slika 7: Prikaz procesa integracije med modelom končnih elementov in arhitekturnim/računskim modelom (Vir: Hassanien – Serror, 2006)

### 3.3 Programska oprema

Programskih orodij, ki temeljijo na BIM filozofiji, je na trgu vse več. Najmočnejša BIM programska orodja prihajajo iz največjih programskih hiš, kot so na primer Autodesk, Bentley Systems, Vico Software, Graphisoft, Tekla in Nemetschek. Temelj njihove ponudbe predstavljajo t.i. BIM platforme, ki jih na trgu poznamo pod imeni kot so Revit, MicroStation, Vico Constructor, ArchiCAD, Tekla in Allplan. Omenjena programska orodja omogočajo izdelavo geometrijskega modela zgradbe, ki predstavlja osnovo za nadaljnjo parametrično obdelavo modela, s katero modelu pripišemo različne domensko specifične informacije, ki jih lahko dodamo v osnovnem programskem orodju ali z uporabo katerega od programov, ki omogoča branje in obdelavo izvornega modela. Za to je potrebna programska interoperabilnost, ki je lahko zagotovljena preko uporabe enakih formatov zapisa ali preko odprtih standardov za iteroperabilnost.

### 3.3.1 Programska orodja s certificirano podporo IFC

Združenje IAI omogoča razvijalcem programske opreme, da svoje produkte peljejo skozi postopek certifikacije tekom katerega preverijo delovanje svojih IFC vmesnikov. Postopek je sestavljen iz dveh stopenj. Na prvi stopnji se ugotavlja sposobnost vmesnikov za zapis osnovnih gradnikov modela IFC oz. konkretnega pogleda. V kolikor vmesnik prestane prvo stopnjo, dobi certifikat zanj. Druga stopnja postopka se začne s šestmesečno uporabo v praksi in se nato na podlagi pridobljenih izkušenj nadaljuje s testiranjem na kompleksnejših modelih. V kolikor so testiranja zadovoljiva se vmesniku podeli certifikat še za drugo stopnjo. Taki vmesniki naj bi zagotavljali dobro izmenjavo informacij, vendar temu v praksi ni tako ugotavlja Pazlar (2008). Glede na to, da testiranja predstavljajo kompromis glede cene in stroškov, bi bilo za delovanje IFC vmesnikov, potrebno podrobnejše testiranje, kar pa ni v dosegu združenja IAI, še navaja avtor.

Programi s certificirano podporo IFC:

**Preglednica 1: Seznam programov s certificirano podporo IFC**

Aplikacija	1. stopnja certificiranja	2. stopnja certificiranja	Opombe
Active3d (Archimen Group)	✓	✓	samo uvoz
AutoCAD Architecture 2008 SP1	✓	✓	
Bentley Architecture 8.9.3	✓	✓	
ALLPLAN 2006.2	✓	✓	
Facility Online	✓	✓	samo uvoz
MagiCAD	✓	✓	samo izvoz
Revit Building 2008 SP1	✓	✓	
ARCHICAD 11	✓	✓	
DDS-CAD 6.4	✓	✓	
EliteCAD Architecture 11 SP1	✓		
SCIA-ESA PT	✓	✓	
Solibri	✓	✓	samo uvoz

...Se nadaljuje



...nadaljevanje

Tekla Structures	✓	✓	
CADS Planner Electric Pro and Hepac Pro	✓		samo izvoz
VectorWorks	✓		
Oracle CADView-3D	✓		samo uvoz

Programi v postopku certifikacije so (ifcWiki, 2009):

- Acrobat podjetja Adobe,
- ActiveFacility,
- ArcGIS podjetja ESRI,
- Autovue podjetja Oracle,
- Asite Collaborative Bulding Information Model (BIM),
- BOCAD,
- BuildingExplorer,
- CADdict,
- CADWORK,
- FME,
- InfoCAD ter
- Octaga, 3D vizualizacije.

Pomemben je tudi podatek, da je programskih orodij, ki podpirajo standard IFC še veliko več, vendar ti niso certificirani (ETABS, Dlubal, Sofistik, AxisVM itd.). Sam postopek namreč predstavlja določen strošek, ki ga podjetja dostikrat niso pripravljena sprejeti.

### **3.3.2 Allplan**

Programsko orodje Allplan je del programskega paketa Allplan BIM, ki predstavlja nabor CAD/CAE programskih orodij za objektno orientirano načrtovanje - projektiranje,

oblikovanje in inženirsko obdelavo. Njegov razvoj gre v smeri nudenja podpore udeležnim na projektu (arhitekt, inženir in izvajalec) ter izboljšanju sodelovanja med njimi.

Programski paket pokriva faze od začetka, ko je potrebno izdelati osnovo BIM - arhitekturni model, vse do kasnejših faz, kot sta izvedba in upravljanje z zgradbo. Allplan BIM je skupek med sabo povezljivih programov, ki se delijo glede na namen uporabe. Sestavljajo ga: Allplan Architecture (arhitekturno projektiranje), Allplan Engineering (inženirsko projektiranje), Allplan BCM in Allplan Planning Data (zajem količin in stroški), Allplan Allfa (upravljanje zgradb) ter terenske (*angl.* On-site) rešitve (On-Site Survey, On-Site Photo, On-Site Inspector in On-Site ProgressManager).

Allplan Engineering in Allplan Architecture sta v bistvu en in isti program, razlikujeta se edino po številu aktivnih modulov, kar je določeno s tipom licence, ki jo imamo v lasti. V nadaljevanju zato ne bomo delali razlik in od tu naprej uporabljamo skupno ime, Allplan. Verzija programa, uporabljena v diplomski je Allplan 2008, medtem ko je v začetku leta 2009 na trg prišla tudi že verzija Allplan 2009. Vendar se program v delu, ki zanima nas ni tako bistveno spremenil, da bi to kakorkoli vplivalo na potek in rezultate diplomske naloge.

Program Allplan je namenjen objektno orientiranemu načrtovanju, detajliranju, zajemu količin in ovrednotenju stroškov. Načrtovanje je možno v 2D in 3D obliki, s poudarkom na slednjem. Z vidika načrtovanja, je program namenjen za izdelavo idejnih zasnov, delovnih risb, detajlov arhitekture in armature ter raznih predstavitev. Kot osnova v nadaljevanju služi vsem, v prejšnjih poglavjih, omenjenim udeležencem.

Načrtovanje s programom Allplan je, v primerjavi z do sedaj najbolj uporabljenim orodjem AutoCAD, postavljeno na višjo raven. Prva razlika je opazna pri sami organizaciji projekta. V nasprotju z AutoCAD-om se načrtovanje ne odvija v zgolj eni datoteki, znotraj programa razdeljene na »layerje«, ampak je projekt sestavljen iz več datotek, ki so na nivoju projekta povezane med seboj in tvorijo smiselno organizacijsko strukturo (Plane Manager/Building Structure).

Do bistvene razlike pride pri samem načrtovanju, katerega osnova je objektno orientirano načrtovanje. Načrtovanje je že na začetku postavljeno v prostor, kar omogoča natančnejše in hitrejše projektiranje. Predstavljajmo si, da v neki fazi projektiranja pride do določenih sprememb. Pri delu v 2D je potrebno popraviti prav vse risbe, medtem ko pri delu v 3D zgolj spremenimo model. Vsi pogledi, prerezi, tlorisi in detajli so namreč samodejno popravljani, saj so vsi elementi in prerezi v modelu enolično določeni v prostoru.

Prav tako izdelava 3D modela ni sama sebi namen, saj lahko vsem modeliranim elementom že sproti pripišemo attribute, ki so potrebni za kasnejšo obdelavo oziroma so temelj informacijskega modela zgradbe (BIM). Projektiranje tako ni več zgolj početje z edinim ciljem zagotoviti načrte in pridobiti vso potrebno dokumentacijo za izgradnjo, ampak lahko nudi podporo tudi vsem nadaljnjim fazam projekta.

Podpora interoperabilnosti je v programu Allplan dopolnjena s kar nekaj rešitvami. Nekatere od teh so:

- podpora uvoza/izvoza velikemu številu formatov (DWG, DXF, DGN, A4D, C4D, WRL, 3DS, U3D, MXS, FEM, ESA idr.),
- podpora standardu IFC2x3,
- podpora standardu PDF 2D/3D,
- integrirana računska analiza – Round Trip Engineering,
- izdelava izvlečkov (armatura, količine) in
- povezanost z industrijo preko katalogov (BAMTEC, Erico-Lenton, Halfen-Deha, Peikko, Schöck, Stahlwerk Annahütte).

### **3.3.3 ETABS**

Je specializirano programsko orodje za statično in dinamično analizo ter projektiranje stavb, podjetja CSi (Computers & Structures, Inc.), s tridesetletno tradicijo. Vseh teh 30 let je v ZDA uveljavljen kar kot standard za projektiranje in analizo zgradb. V zadnjih letih je bil še izboljšán in sedaj predstavlja polno integrirano okolje za projektiranje in analizo zgradb. S

tem je mišljena povezljivost s programi za celostno načrtovanje, natančneje s programom Revit. Za razliko od, v nadaljevanju opisanega programa, SCIA Engineer, je ETABS nekoliko bolj »tog« glede interoperabilnosti, saj predvsem uvoz modela preko standardnih formatov (IFC, DWG,...) ne deluje najbolje. Uvoz in izvoz podatkov bistveno bolje deluje z uporabo integrirane dvosmerne povezave s programom Revit (zagotavlja jo dodatek CSixRevit), ki mu zadnja leta podjetji posvečata precej pozornosti (Muhič, 2007). Glavne prednosti programa so tako:

- objektno orientirano načrtovanje,
- modelne podloge za glavne jeklene in betonske konstrukcijske sisteme,
- samodejna izdelava mreže končnih elementov na elementu,
- samodejna izdelava vezi med končnimi elementi, ki se ne ujemajo,
- napredno grupiranje in izbira elementov,
- dvosmerna povezava s CAD orodji na principu BIM,
- podpora IFC2x2,
- veliko število možnih analiz (dinamična analiza, Pushover analiza, linearna in nelinearna analiza, analiza projektnih faz,...) in
- mednarodna podpora različnim standardom.

### 3.3.4 SCIA Engineer

Programsko orodje, ki prav tako služi za statično in dinamično analizo konstrukcij ter projektiranje konstrukcij in temelji na objektno podprtem načrtovanju. Omogoča analizo, modeliranje in detajliranje vseh tipov konstrukcij (betonskih, jeklenih, aluminijastih, plastičnih, lesenih in kompozitnih) v stalnih in začasnih stanjih. Poseben poudarek je namenjen dvosmerni povezavi s CAD orodji (Allplan, Revit, Tekla ...), preko katere je program vključen v BIM koncept in s stališča analize konstrukcij dopolnjuje informacijski model zgradbe. Med vsemi programi, s katerimi je SCIA povezljiva, je s povezavo »Round-Trip« najučinkovitejša povezava SCIA – Allplan, kar je glede na skupno matično podjetje (Nemetschek AG) povsem razumljivo. Napredne lastnosti programa SCIA Engineer so:

- objektno orientirano načrtovanje,
- modelne podloge za glavne jeklene in betonske konstrukcijske sisteme,
- dvosmerna povezava s CAD orodji na principu BIM,
- podpora IFC2x3,
- samodejna izdelava mreže končnih elementov,
- veliko število možnih analiz (linearna analiza, TDR, račun prednapetja, dinamična analiza, analiza projektnih faz ...),
- mednarodna podpora različnim standardom,
- podpora elementom od enostavnih do kompleksnih oblik,
- detajliranje varjenih in vijačenih spojev ter armiranja betonskih konstrukcij,
- omogoča novejšje principe projektiranja – kontrola požarne varnosti za jeklo in beton,
- »Autodesign«: široke možnosti globalne in detajlne optimizacije zgradbe in
- odprtost programa za prilagajanje uporabniku.

Za slabost programa SCIA Engineer se je izkazala prav, za našo nalogo najpomembnejša funkcija, potresna analiza. Program jo sicer omogoča, vendar ne na najboljši način, vendar več o tem v nadaljevanju.

## 4 IZDELAVA PREIZKUSNEGA INFORMACIJSKEGA MODELA ZGRADBE

### 4.1 Primer večjega industrijskega objekta

Praktični preizkus interoperabilnosti je opravljen na večjem industrijskem objektu, katerega opis sledi. Praktični preizkus zajema naslednje korake:

- izdelava geometrijskega modela zgradbe s programom Allplan,
- izdelava IFC modela zgradbe in uvoz le-tega v program za statično/dinamično analizo konstrukcij in
- uporaba integriranih vmesnikov (aplikacijsko specifičnega vmesnika) za neposredno povezavo med CAD in CAE platformo:
  - modul Roundtrip Engineering (Allplan – SCIA Engineer).

#### 4.1.1 Zasnova

Objekt je 3-etažen, sestavljen iz treh vzdolžnih »ladij«, tlorisnih dimenzij 75,6m x 27,2m in višine 17,0m z dodatnim strešnim svetlobnikom višine 2,25m. Medetaža je na višini +4,00m in obstaja samo v srednji ladji, 1. nadstropje na koti +8,00m, 2. nadstropje na +12,25m in streha na +17,00m pa obsegajo celoten tloris objekta.

Objekt je namenjen tehnologiji vzdrževanja-servisa vlečnih vozil; lokomotiv in motorikov ter vagonov. Predvideni so tudi tehnološki prostori, pisarniško poslovni prostori in prostori namenjeni ambulanti.

Nosilna konstrukcija je mešan armiranobetonski sistem, sestavljen iz okvirja in sten. Osrednji del (med srednjima vzdolžnima osema B in C – širine 4,25m) tvorijo stene debeline od 25 do 50cm z etažnimi ploščami v medetaži in 1. nadstropju ter dodatne povezave na nivoju strehe. V stenah so dodatne ojačitve 40/40cm. Stranski ladji objekta sta zasnovani kot prostorska okvirna konstrukcija sestavljena iz stebrov 60/60cm v vzdolžnem rastru 6,60m povezanih z

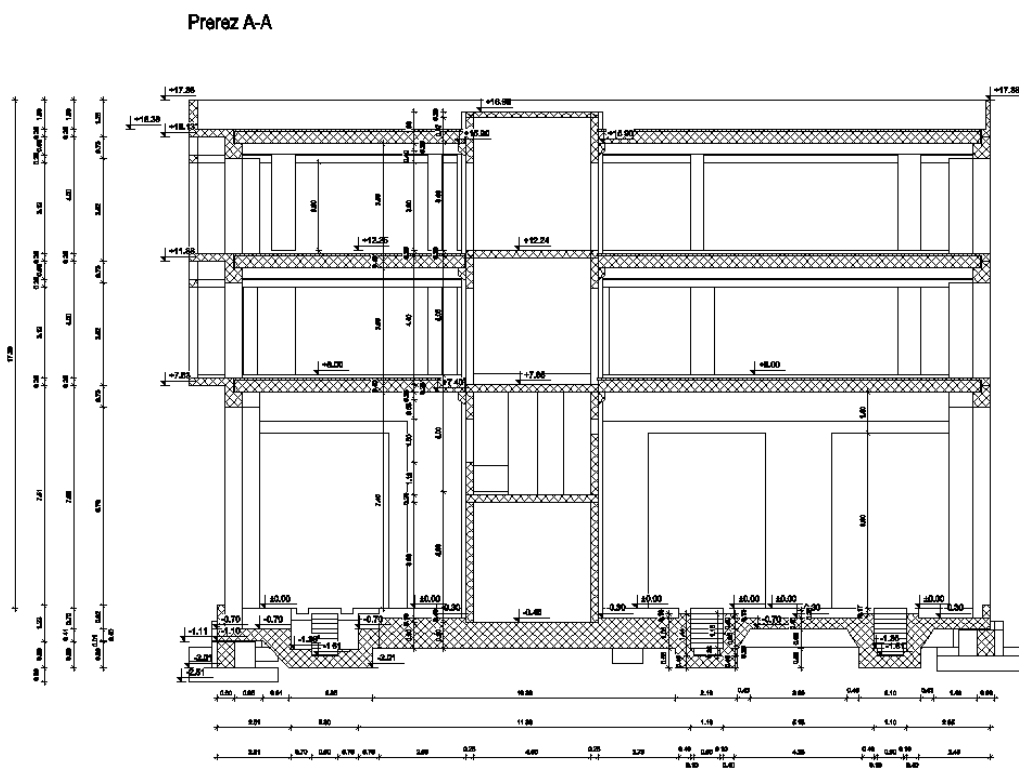
gredami v vzdolžni in prečni smeri. V čelnih stenah so dodane AB stene z odprtinami. Medetažne konstrukcije stranskih ladij so sestavljene iz prednapetih votlih PVP plošč nalitih z 8 cm armiranega betona, ki je sidran v srednji vzdolžni steni. PVP plošče so vzdolž jedra naložene na konzole sten, vzdolž fasade pa na nosilce skeleta. Nalita AB plošča zagotavlja togost v horizontalni ravnini in povezavo jedra objekta s skeletoma stranskih ladij.

okvir je z jedrom povezan tudi preko prečnih nosilcev okvirja, ki so izvedeni skozi jedro.

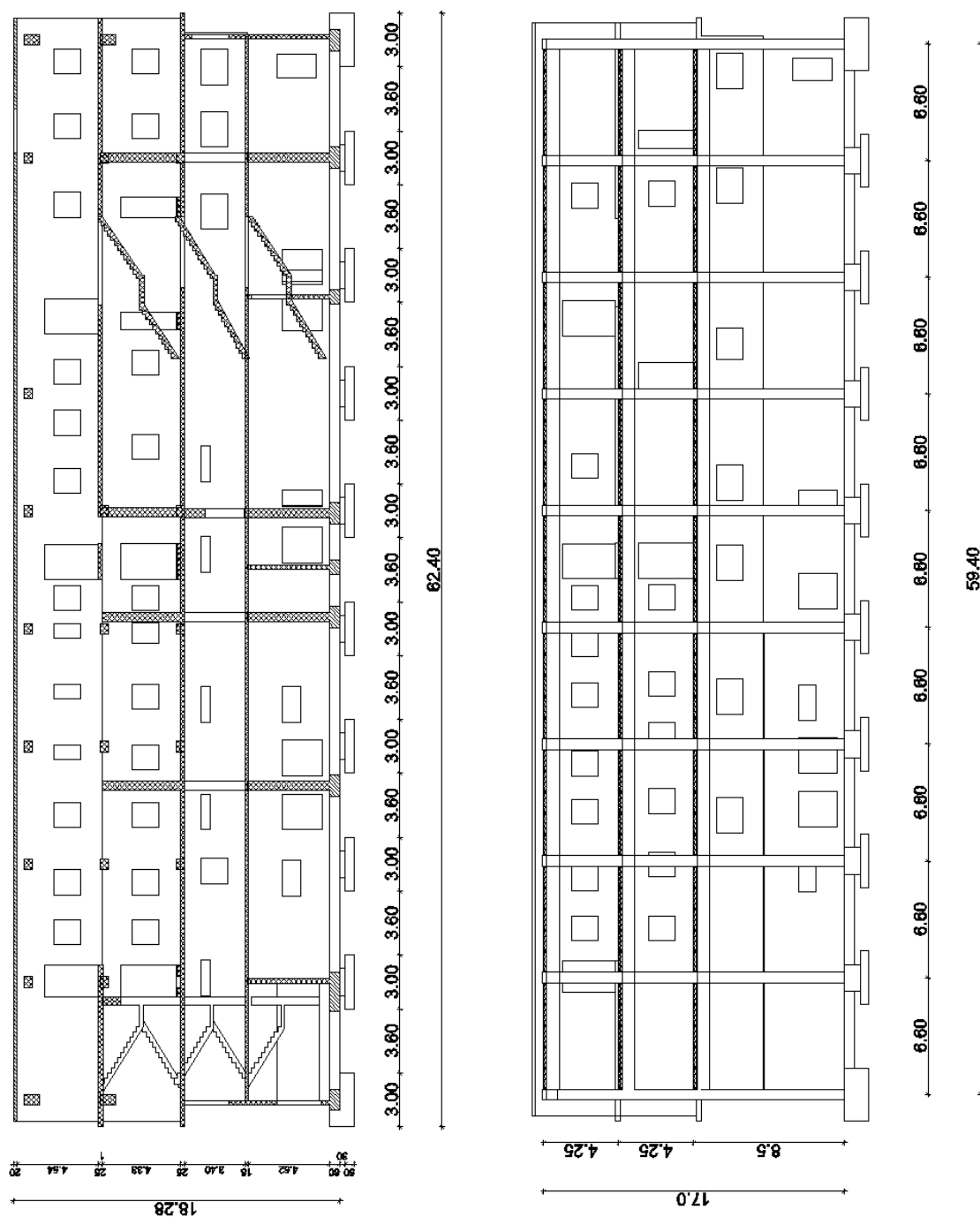
Vzdolžno jedro objekta je temeljeno na 120 cm debeli talni plošči, okvir pa na točkobnih temeljih povezanih s talno ploščo.

### 4.1.2 Obtežba

Obtežba vetra ustreza 1. Vetrni con (v0=20m/s). Obtežba snega ustreza regiji A2 in znaša 1,20kN/m<sup>2</sup>. Koristna obtežba pisarniških prostorov je 3,00kN/m<sup>2</sup>, nepohodne strehe pa 0,75kN/m<sup>2</sup>. Za račun potresnih sil je upoštevan projektني pospešek temeljnih tal ag=0,25g, tip tal A in II. kategorija glede na pomembnost objekta.

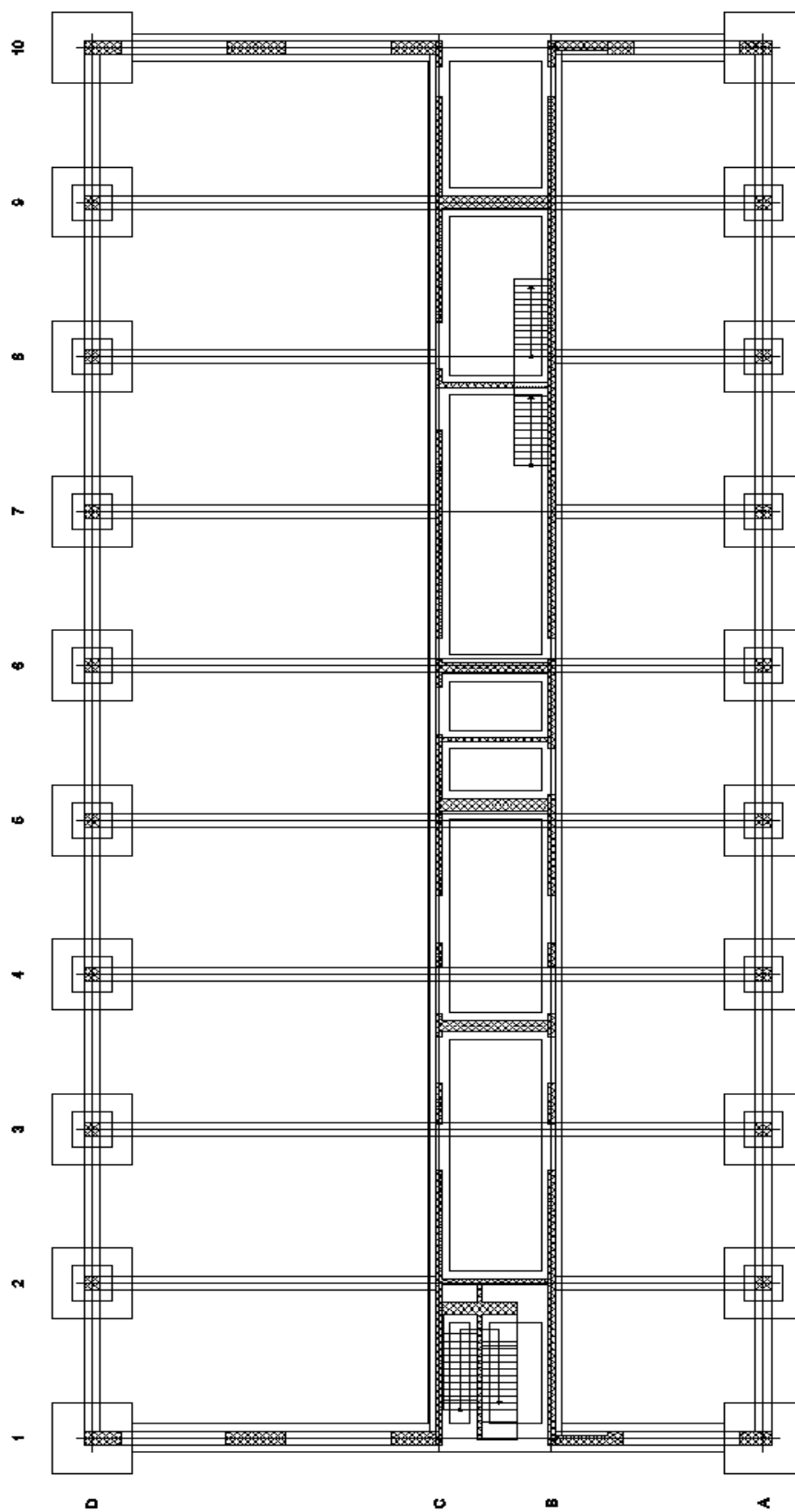


Slika 8: Prečni prerez obravnavanega industrijskega objekta



Slika 9: Tipska vzdolžna prereza obravnavanega industrijskega objekta





Slika 10: Tloris pritličja

## 4.2 Izdelava geometrijskega modela zgradbe

Informacijski model temelji na geometrijskem modelu in predstavlja njegovo nadgradnjo z različnimi informacijami, kot so na primer vrsta materiala, vrsta dela, statična (ne)nosilnost, ipd. Poudariti je potrebno, da izdelan model predstavlja zgolj nosilno konstrukcijo v poglavju 3 predstavljenega objekta. Glavni elementi generiranega modela so:

- stebri,
- grede,
- stene,
- plošče in
- temelji.

Originalni preizkusni informacijski model zgradbe je bil izdelan in kasneje izvožen v IFC s programskim orodjem, katerega podatki so v tabeli 2.

**Preglednica 2: Programsko orodje za izdelavo informacijskega modela**

Ime programskega orodja	Verzija
Allplan	Allplan 2008.0b Release

Izdelava temelji na uporabi 2D podlog, izdelanih s programom Autocad, ki so bile preko integriranega vmesnika uvožene v Allplan. Pri izdelavi modela smo se omejili zgolj na nosilno konstrukcijo brez jeklenega svetlobnika, ki je predviden na strešnem delu betonskega jedra objekta.

Delo v Allplanu temelji na uporabi modulov, ki so smiselno vezani na posamezna področja uporabe. Področja za osnovno modeliranje s pripadajočimi moduli, ki so bila uporabljena za izdelavo našega modela so:

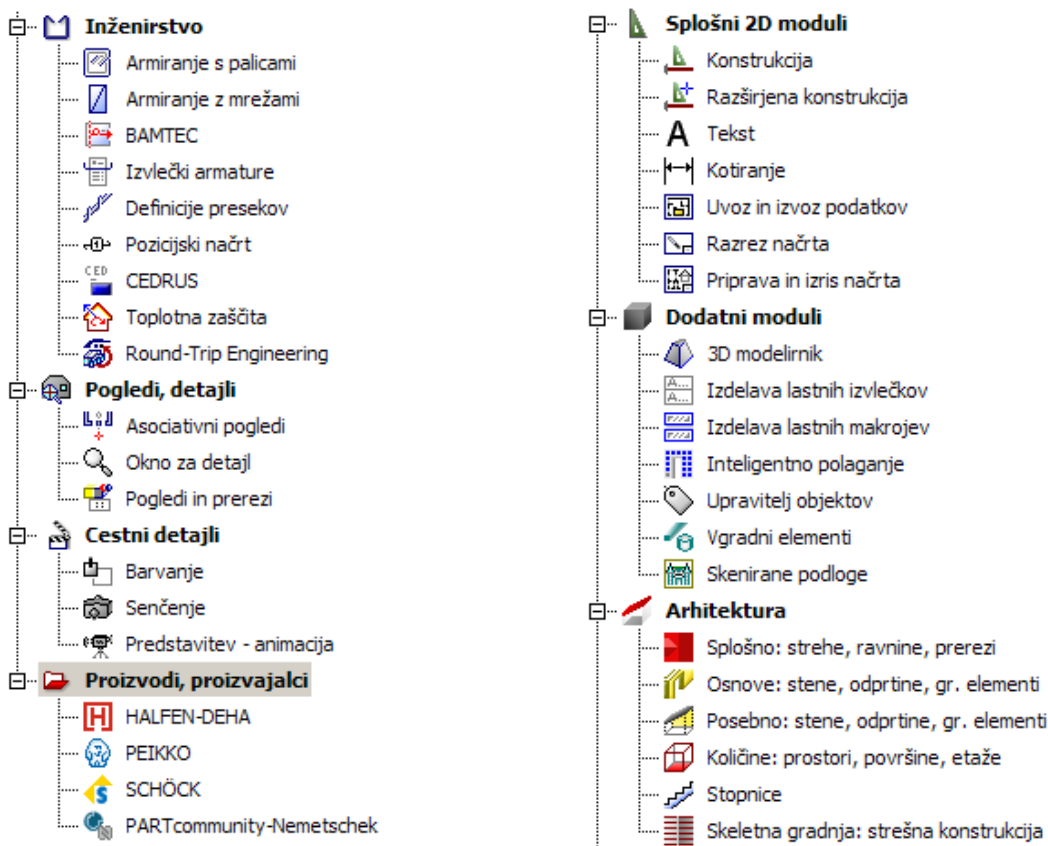
**Preglednica 3: Seznam področij in modulov v programu Allplan**

Splošni 2D moduli	Konstrukcija
	Razširjena konstrukcija
	Tekst
	Kotiranje
	Uvoz in izvoz podatkov
	Razrez načrta
	Priprava in izris načrta
Dodatni moduli	3D modelirnik
	Izdelava lastnih izvlečkov
Arhitektura	Splošno: strehe, ravnine, prerezi
	Osnove: stene, odprtine, gradbeni elementi
	Posebno: stene, odprtine, gradbeni elementi
	Količine: prostori, površine, etaže
	Stopnice
	Skeletna gradnja: strešna konstrukcija
Pogledi, detajli	Asociativni pogledi
	Okno za detajl
	Pogledi in prerezi

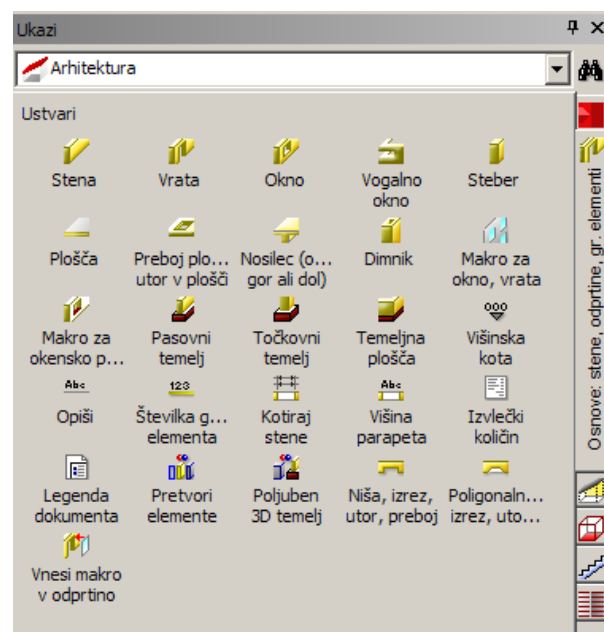
Poleg v tabeli navedenih področij so sestavni del nabora ukazov tudi:

- inženirstvo (armiranje, analiza MKE),
- vizualizacija,
- proizvodi, proizvajalci in
- situacija.

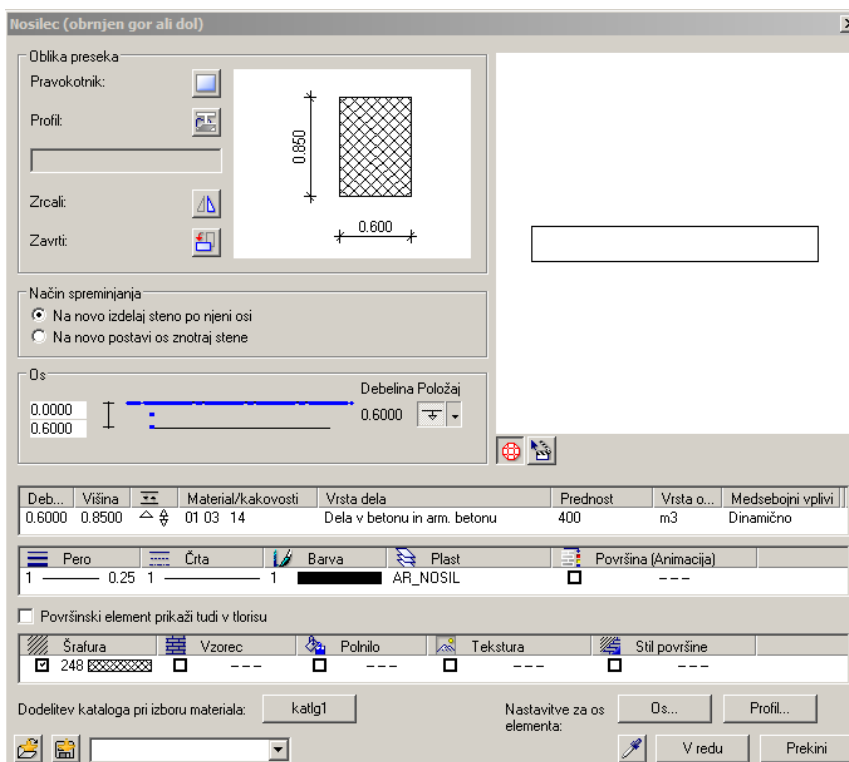
Objekt je sestavljen z uporabo arhitekturnih modulov (stene, stebri, plošče, preboji, temelji) in z uporabo 3D modelirnika. Arhitekturnim elementom so sočasno z izdelavo pripisani atributi materiala, prioritete, vrsto obračuna in vrste dela potrebnega za izdelavo (Slika 11).



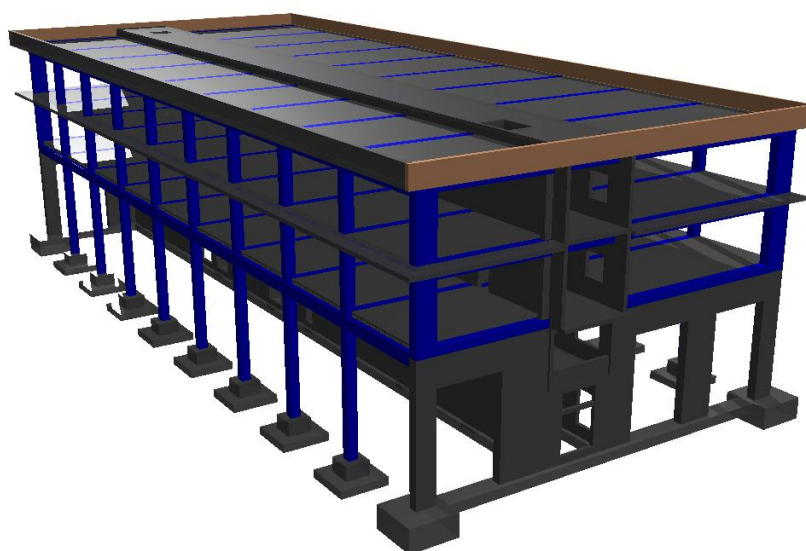
Slika 11: Nabor ukazov v programu Allplan



Slika 12: Za izdelavo modela največkrat uporabljen nabor ukazov



Slika 13: Pogovorno okno za določitev lastnosti elementa nosilca 1.nadstropja v osi 1



Slika 14: Render geometrijskega modela izdelanega s programom Allplan

### 4.2.1 Kontrolna osnova

Pravilnost izvožene IFC datoteke je potrebno določiti preko kontrole informacij in atributov, ki jih datoteka vsebuje. Nujno je tudi, da je IFC shema ustrezna in brez napak. Vse kontrole so izvedene z uporabo zastojnih programov (*angl.* freeware), ki so dosegljivi na naslovu [http://www.ifcwiki.org/index.php/Free\\_Software](http://www.ifcwiki.org/index.php/Free_Software).

Za vsakega od njih so v preglednicah od 4 do 7 zapisane kontrolne informacije in atributi.

**Določitev kontrolnih gradbenih elementov.** Za kontrolo izvoza in kasneje uvoza IFC datoteke smo izmed vsakega tipa elementov določili nekaj testnih. V preglednicah od so predstavljene lastnosti teh elementov, ki služijo kot osnova za kontrolo. Z izborom so zajeti vsi glavni konstrukcijski elementi, ki se pojavijo v nosilni konstrukciji zgradbe.

Izbrani elementi preizkusnega informacijskega modela so zbrani v preglednicah od 4 do 7.

- Stebri v oseh 2 in 12

Pozicija elementa	Lokacija (Začetne/ končne X, Y, Z koordinate)	Prečni prerez [cm]	Material	Kvaliteta materiala	Dolžina [m]
<b>A-2</b>	(339,072; -425,673; -0,700); (339,072; -425,673; 16,130)	60 x 60	Armiran beton	C30/37	16,83
<b>D-2</b>	(339,072; -400,229; -0,700); (339,072; -400,229; 16,130)	60 x 60	Armiran beton	C30/37	16,83
<b>A-12</b>	(391,872; -425,073; 7,400); (391,872; -425,073; 16,130)	120 x 60	Armiran beton	C30/37	8,73
<b>D-12</b>	(391,872; -400,229; 7,400); (391,872; -400,229; 16,130)	140 x 60	Armiran beton	C30/37	8,73

**Preglednica 4: Podatki o kontrolnih elementih (stebri)**

- Grede v oseh 1, 5 in D na nivoju pritličja. in 2. nadstropja

Pozicija elementa	Lokacija (Začetne/ končne X, Y, Z koordinate)	Prečni prerez [cm]	Material	Kvaliteta materiala	Dolžina [m]
<b>1 – PRITL.</b>	(333,072; -425,073; 7,880);	48 x 60	Armiran beton	C30/37	7,00
	(333,072; -418,073; 7,880)				
	(333,072; -413,573; 7,880);				11,95
	(333,072; -401,626; 7,880)				
<b>1 – 1.NAD.</b>	(333,072; -425,073; 12,130); (333,072; -401,626; 12,130)	85 x 60	Armiran beton	C30/37	23,44
<b>5 – PRITL.</b>	(359,472; -425,673; 7,880); (359,472; -400,829; 7,880)	48 x 60	Armiran beton	C30/37	24,84
<b>5 – 1.NAD.</b>	(359,472; -425,673; 12,130); (359,472; -400,829; 12,130)	48 x 60	Armiran beton	C30/37	24,84
<b>D – PRITL.</b>	(391,872; -400,229; 7,630); (333,072; -400,229; 7,630)	L-prerez 73 x 60	Armiran beton	C30/37	58,50
<b>D – 1.NAD.</b>	(391,872; -400,229; 11,880); (333,072; -400,229; 11,880)	L-prerez 73 x 60	Armiran beton	C30/37	58,50

Preglednica 5: Podatki o kontrolnih elementih (grede)

- Plošča medetaže in strehe med osema 1 in 2

Pozicija elementa	Lokacija (Začetne/ končne X, Y, Z koordinate)	Debelina [cm]	Material	Kvaliteta materiala	Dolžina/ Širina [m]
<b>MEDET.</b>	(331,272; -418,074; 7,650); (393,659; -418,074; 7,650)	25	Armiran beton	C30/37	62,39 / 4,50
<b>STREH A</b>	(331,423; -418,074; 16,980); (340,592; -418,074; 16,980)	20	Armiran beton	C30/37	9,17 / 4,50

Preglednica 6: Podatki o kontrolnih elementih (plošče)

- Stene v oseh B in 6 na nivojih medetaže in 2. nadstropja in čelna stena v osi 10

Pozicija elementa	Lokacija (Začetne/ končne X, Y, Z koordinate)	Debelina [cm]	Materia l	Kvaliteta materiala	Dolžina/ Višina [m]
<b>B – MEDET.</b>	(392,609; -417,824; 7,400); (322,722; -417,824; 7,400)	25	Armiran beton	C30/37	59,89 / 3,52
<b>B – 2.NAD.</b>	(393,372; -417,824; 16,780); (331,571; -417,824; 16,780)	25	Armiran beton	C30/37	61,80 / 4,80
<b>3 – MEDET.</b>	(365,914; -417,824; 7,400); (365,914; -413,824; 7,400)	50	Armiran beton	C30/37	4,00 / 3,52
<b>10 – PRITL.</b>	(392,472; -426,273; 7,400); (392,472; -420,073; 7,400)	60	Armiran beton	C30/37	6,20 / 8,10
	(392,472; -420,074; 7,400); (392,472; -418,074; 7,400)	40			2,00 / 8,10
	(392,472; -418,074; 7,400); (392,472; -413,574; 7,400)	25			4,50 / 8,10
	(392,472; -413,574; 7,400); (392,472; -400,229; 7,400)	60			13,34 / 8,10

**Preglednica 7: Podatki o kontrolnih elementih (stene)**



### 4.3 Izvoz geometrijskega modela

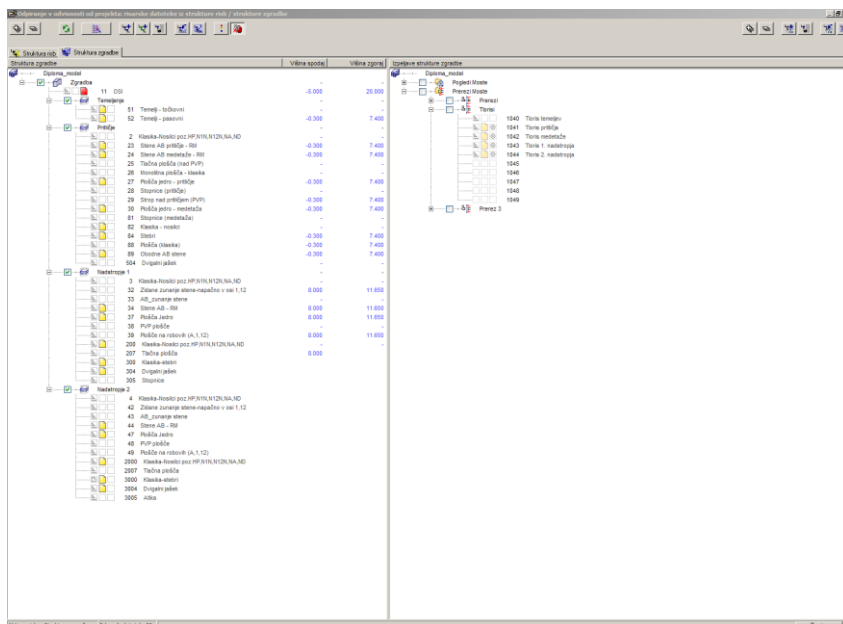
V prejšnjem poglavju opisan geometrijski(arhitekturni) model z nekaj dodanimi atributi je bilo potrebno shraniti v obliki, ki omogoča interoperabilnost med programi in s tem uvoz čim več informacij v programe(-a) za statično in dinamično analizo.

#### 4.3.1 Izvoz IFC datoteke s programom Allplan

Informacijski model zgradbe je izdelan v programu Allplan z izdajo specifikacije IFC2x3.

Zaradi omejene praktične uporabe vmesnikov za izmenjavo informacij (navedeno v poglavju 2.4.5) smo se pri kreiranju IFC datoteke iz programa Allplan omejili zgolj na izvoz primarne nosilne konstrukcije brez PVP plošč, ki so generirane z uporabo 3D modelirnika.

Temelj za izdelavo IFC modela zgradb predstavlja struktura zgradbe določena znotraj projekta (Slika 15). Strukturni nivoji zgradbe so v programu Allplan hierarhično urejeni. Navedeni so v preglednici 8, ki prikazuje njihovo hierarhično ureditev in entiteto, na katero se v specifikaciji IFC navezujejo.

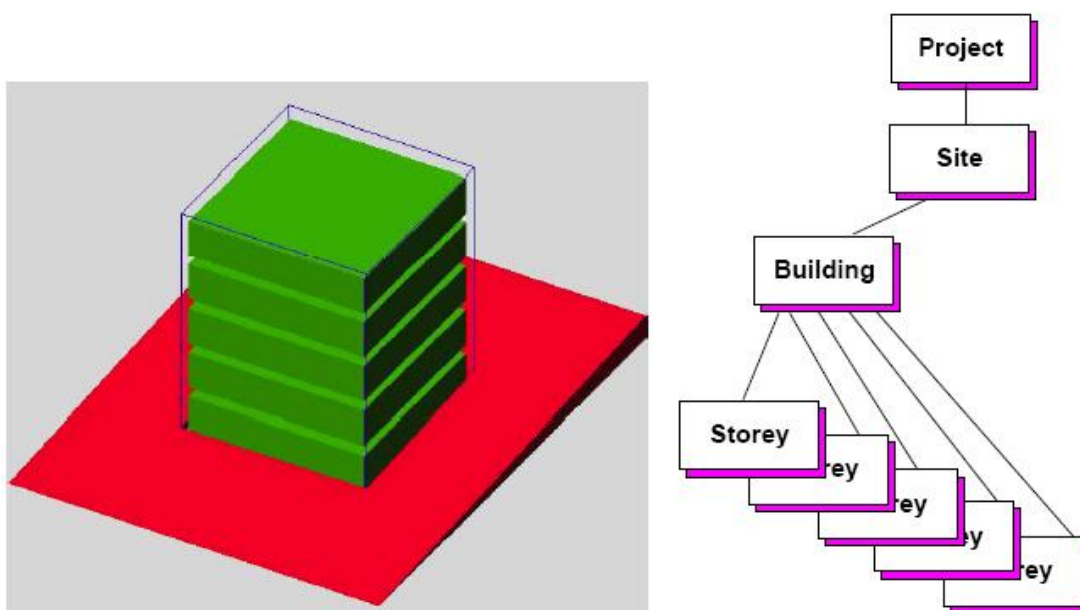


Slika 15: Pogovorno okno programa Allplan za določanje strukture projekta

Strukturni nivo	Ime strukturnega nivoja	Pripadajoča entiteta v specifikaciji IFC2x
1	Projekt	IfcProject
2	Zemljišče	IfcSite
3	Zgradba	IfcBuilding
4	Etaža	IfcBuildingStorey
5	Prostor	IfcSpace

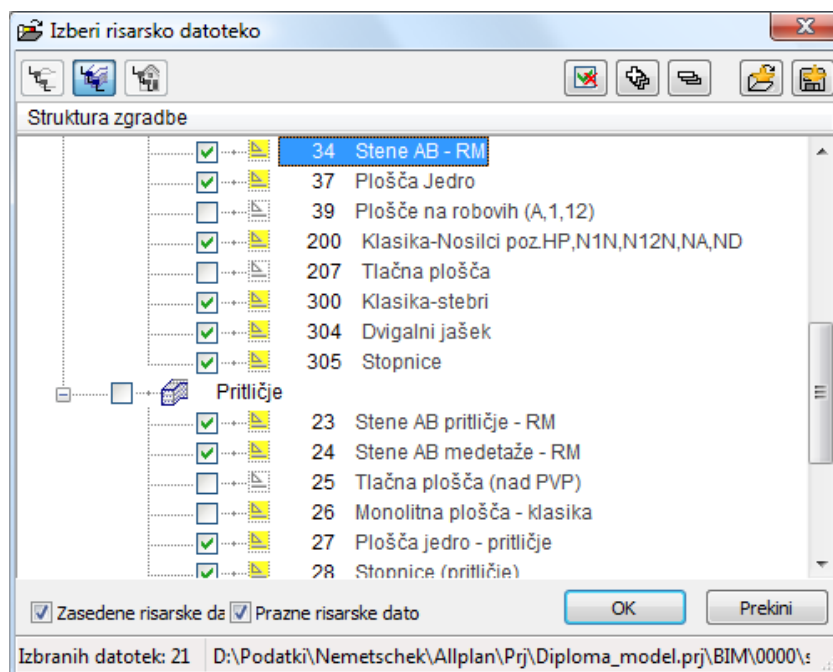
**Preglednica 8:** Tabela glavnih strukturnih nivojev v programu Allplan in pripadajoče entitete, ki jih opisujejo v specifikaciji IFC2x

Del specifikacije IFC, ki definira prostorske strukture projekta je prikazan na sliki 16.



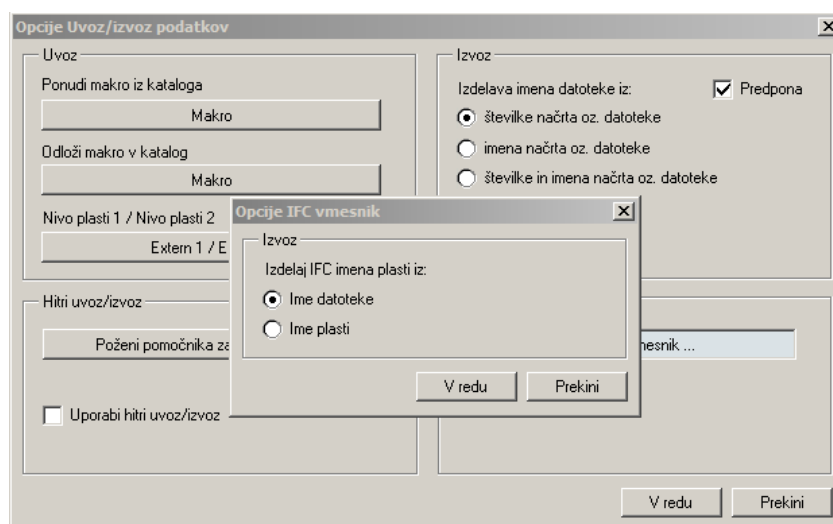
**Slika 16:** Prostorska struktura projekta v specifikaciji IFC 2x (Vir: buildingSMART, 2009)

Izdelava obeh modelov je v programu Allplan avtomatizirana in poteka preko pogovornega okna na sliki 17, preko katerega določimo risbe oz. dele zgradbe, ki bodo vključene v IFC model zgradbe.



Slika 17: Določitev risb, ki bodo vključene pri izdelavi IFC-ja

Do pogovornega okna na sliki 16 pridemo preko ukaza Datoteka → Izvozi podatke → Izvozi IFC podatke. Pred tem lahko preko ukaza (Dodatki → Opcije → Uvoz in izvoz podatkov → Opcije IFC vmesnik) nastavimo pravilo za izdelavo IFC plasti (Slika 18).



Slika 18: Pogovorno okno za nastavitve pravil za izdelavo IFC

### 4.3.2 Kontrola izvoza testnega modela

Kontrola izvoza testnega modela zajema različne procedure in kriterije, ki jim mora izvožena datoteka ustrezati. Koraki, povzeti po » benchmark« testu ATC (2008) so:

- izvoz IFC datoteke,
- kontrola pravilnosti glave v datoteki IFC,
- kontrola IFC datoteke s programom za kontrolo sintakse,
- kontrola IFC datoteke glede osnovnih informacij (naprimer enote itd.) ter
- kontrola IFC datoteke z brezplačnim pregledovalnikom.

**Kontrola pravilnosti glave datoteke IFC.** Glava IFC datoteke mora vsebovati glavne informacije o aplikaciji, s katero je bil opravljen izvoz datoteke. Dostop do glave datoteke IFC je mogoč z odprtjem datoteke IFC v urejevalniku besedil (npr. Notepad).

Vsebina glave IFC datoteke	Rezultat kontrole pravilnosti
<b>Ep2_brazPVPb.ifc</b> ISO-10303-21; HEADER; FILE_DESCRIPTION(('IFC2x3 Coordination View'),'2;1'); FILE_NAME('D:\\FAKS\\DIPLOMA\\EP\\ep_nos_konst.ifc','2009-11-08T19:45:58',(''),('',''),'EDM 4.7.065','Allplan 2008.0 29.03.2008 - 12:20:08',''); FILE_SCHEMA(('IFC2X3')); ENDSEC;	Datum in čas izvoza sta pravilna  IFC shema je pravilna

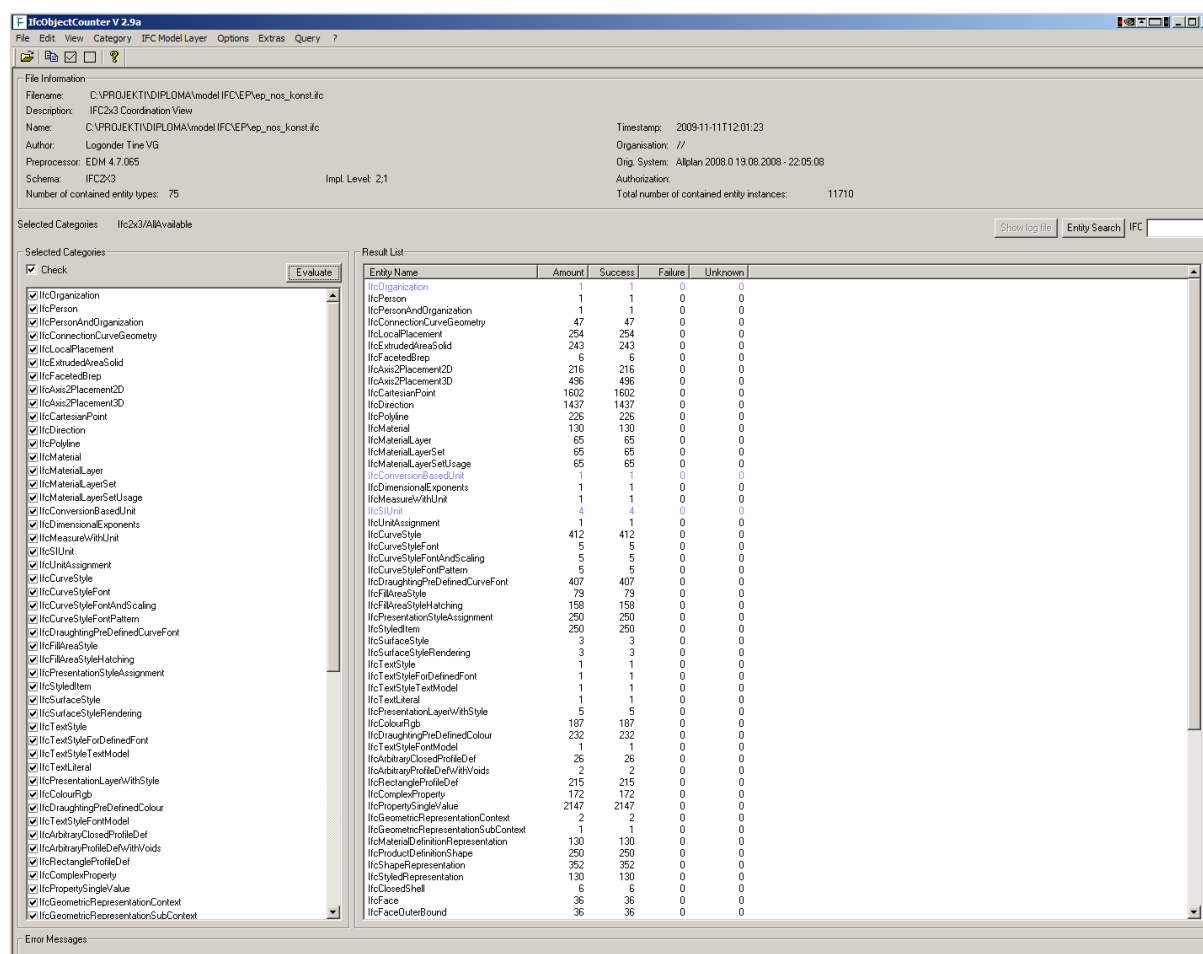
Preglednica 9: Kontrola pravilnosti glave datoteke IFC

**Kontrola s programom za preveritev sintakse.** Kontrolo izdelane IFC datoteke smo izvedli s programom za preveritev sintakse. Pri tej kontroli je potrebno zagotoviti, da IFC shema v svoji sintaksi ne vsebuje napak (*angl.* errors). Možno je, da so morebitne odkrite napake zmotne. Po zgledu procedure ATC (2008) so vsa odstopanja in napake dokumentirane.

Preveritev sintakse je opravljena z brezplačno aplikacijo IfcObjectCounter (podrobneje v preglednici 10) - (<http://www.iai.fzk.de/www-extern/index.php?id=1134&L=1>).

Ime aplikacije za preveritev sintakse IFC	Verzija uporabljene IFC sheme	Rezultat preveritve sintakse
IfcObjectCounter V2.9a	IFC2x3	Brez napak

Preglednica 10: Podatki o programu za kontrolo sintakse datoteke IFC



Slika 19: Kontrola sintakse IFC datoteke

**Kontrola v pregledovalniku.** Izvoženo datoteko preverimo še z enim izmed brezplačnih IFC pregledovalnikov (IfcStoreyView, DDS Viewer, Ifc Engine Viewer ali Solibri Model Viewer). Ta kontrola zajema preveritev geometrije, prostorskih karakteristik zgradbe in

vsebino atributov. Uporabljen je IFC pregledovalnik Solibri Model Viewer (v nadaljevanju *Solibri MV*), ki je brezplačno dosegljiv na naslovu <http://www.solibri.com>.

<b>Uporabljen IFC pregledovalnik</b>	<b>Solibri Model Viewer, build no. 5.0.0.180</b>
--------------------------------------	--

**Preglednica 11: Kontrola geometrije in pripisanih atributov izvožene datoteke IFC**

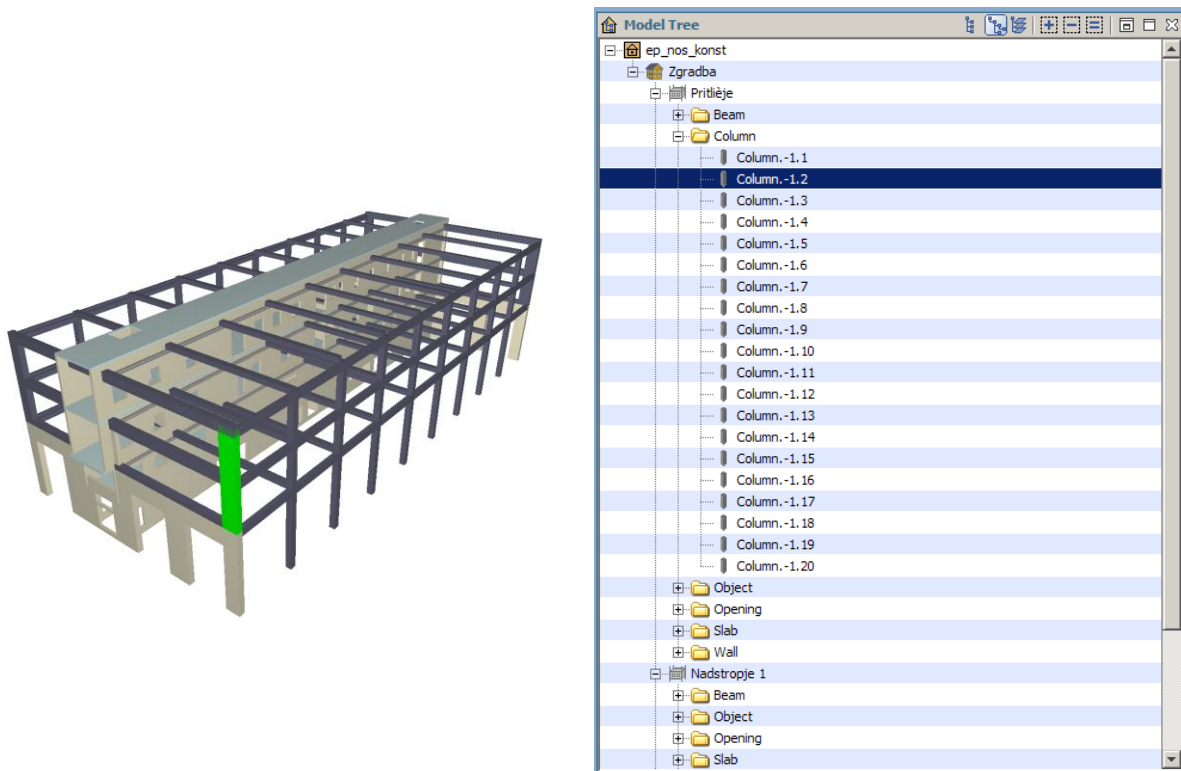
<b>Predmet kontrole</b>	<b>Rezultat kontrole geometrije</b>	<b>Opombe</b>
STEBRI	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne in so podane le za eno točko, ostale določajo dimenzije (dolžina ter tip in dimenzija prečnega prereza). Ti dve karakteristiki sta znani, ker je element v specifikaciji IFC predstavljen kot arhitekturni element. Pravilne so tudi informacije o materialu, površini plašča in volumnu elementa, ter nekateri drugi (med njimi tudi nekaj dodatnih atributov programa Allplan).
GREDE	Geometrija vnosa je pravilna	Glede koordinat velja enako kot za stebre. Opazimo, da je zaznana razlika med pravokotnim in parametrično podanim prečnim prerezom (konkretno: prepoznani so L-prerezi v oseh A in D). Ker je element v specifikaciji IFC predstavljen kot arhitekturni element, se v IFC shemi ohrani veliko pripadajočih atributov (kot pri stebri).
STENE	Geometrija vnosa je pravilna	Podatek o koordinatah je pravilen, prav tako tudi podatki o geometriji (debelina, višina elementa, spodnja in zgornja absolutna višina itd.). Odprtine so opisane s površino in posredno tudi z neto in bruto površino stene. Ni razlikovanja med okni in vrati.
PLOŠČE	Geometrija vnosa je pravilna	Podatek o koordinatah je pravilen, prav tako tudi podatki o geometriji (debelina, višina elementa, spodnja in zgornja absolutna višina itd.). Odprtine so opisane s površino in posredno tudi z neto in bruto površino plošče.

Se nadaljuje...

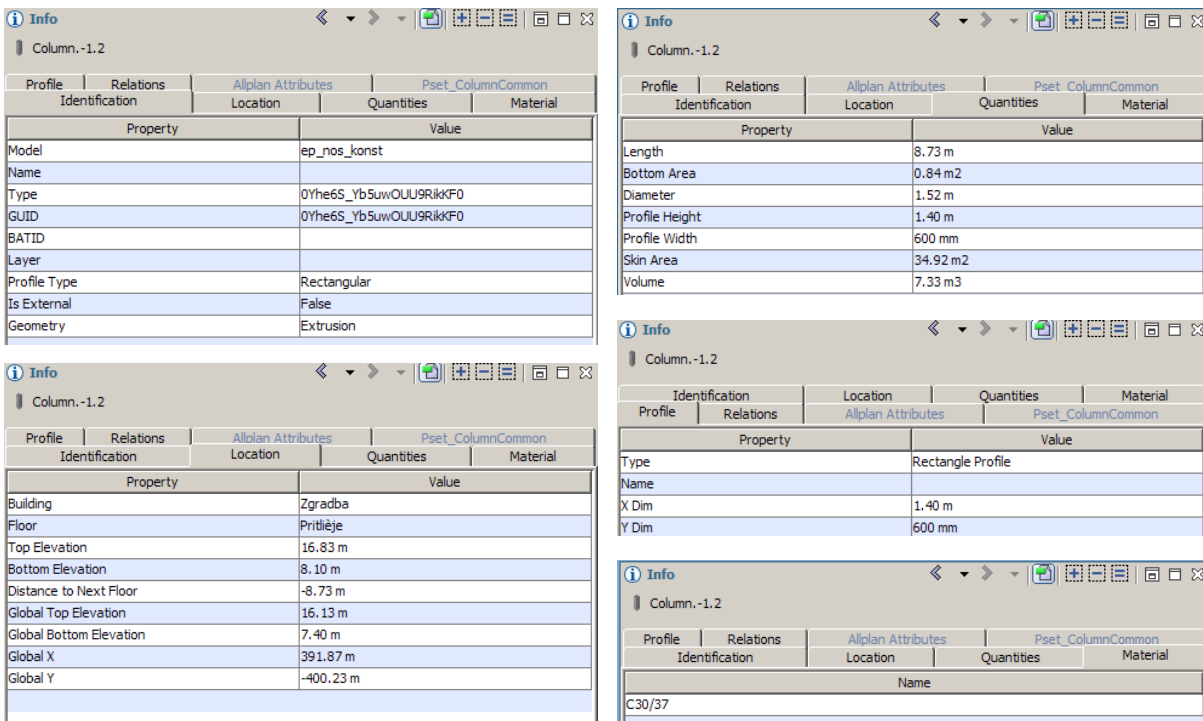
...nadaljevanje

TEMELJI	Geometrija vnosa je pravilna	Oblika je predstavljena z BREP reprezentacijo. Prenesene so zgolj informacije o volumnu, površini spodje ploskve ter položaju v sami zgradbi (ifcStory, IfcBuilding)
SPLOŠNO ARHITEKTURNO TELO	Geometrija vnosa je pravilna	Oblika je predstavljena z BREP reprezentacijo. Prenesene so zgolj informacije o volumnu, površini spodje ploskve ter položaju v sami zgradbi (ifcStory, IfcBuilding)

OPOMBA: Vsem je skupna informacija GUID (*angl.* globally unique identifier), ki je lastna vsakemu posameznemu elementu.

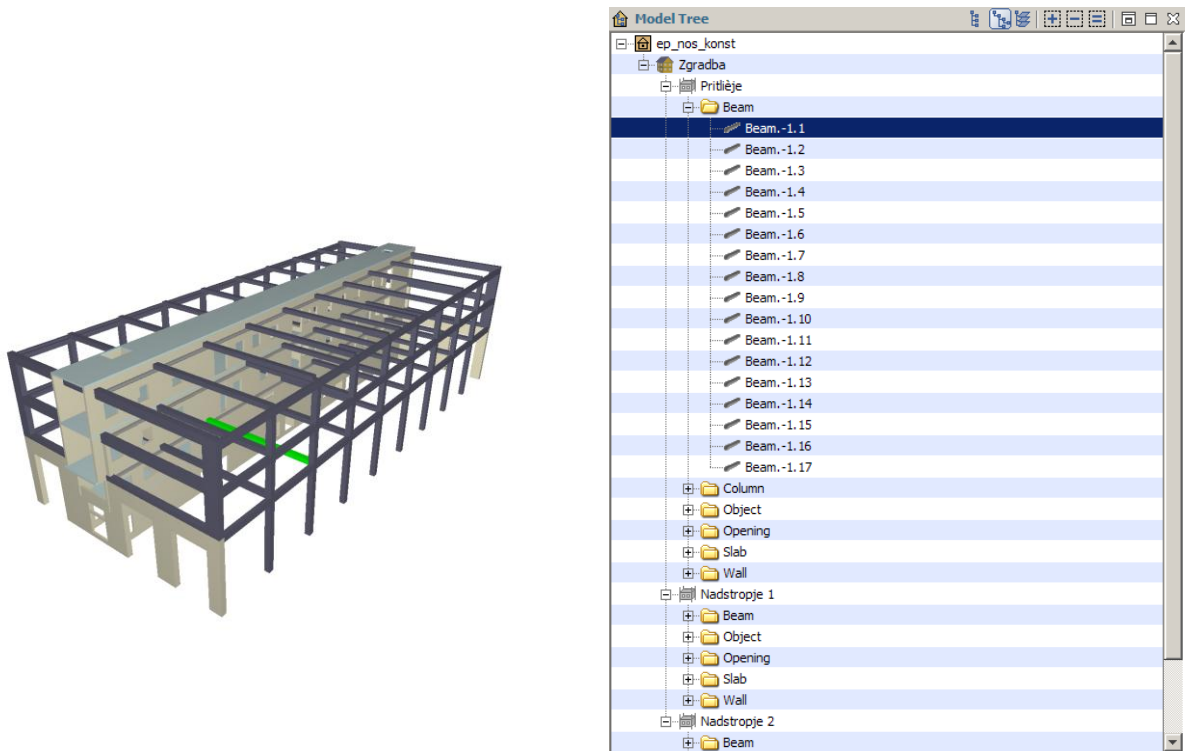


Slika 20: Prikaz geometrije elementa stebra in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV

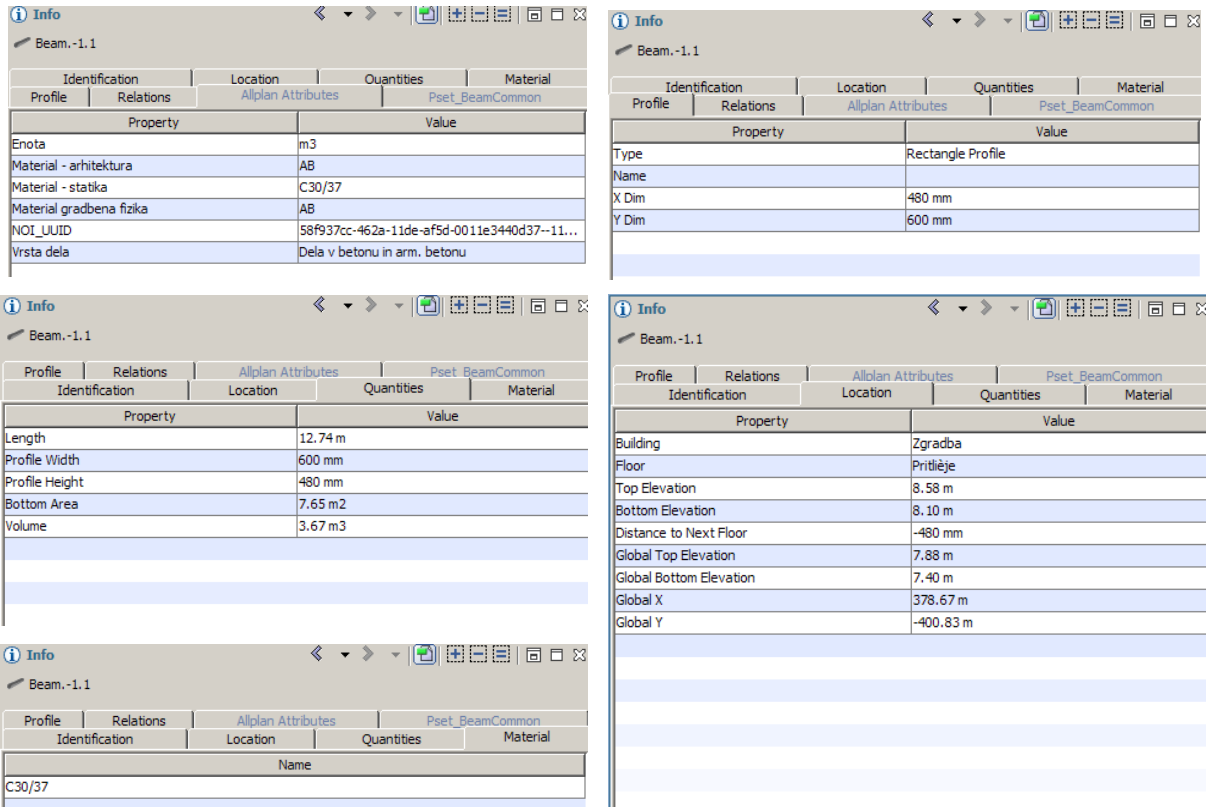


Slika 21: Informacije o elementu stebra v programu Solibri MV

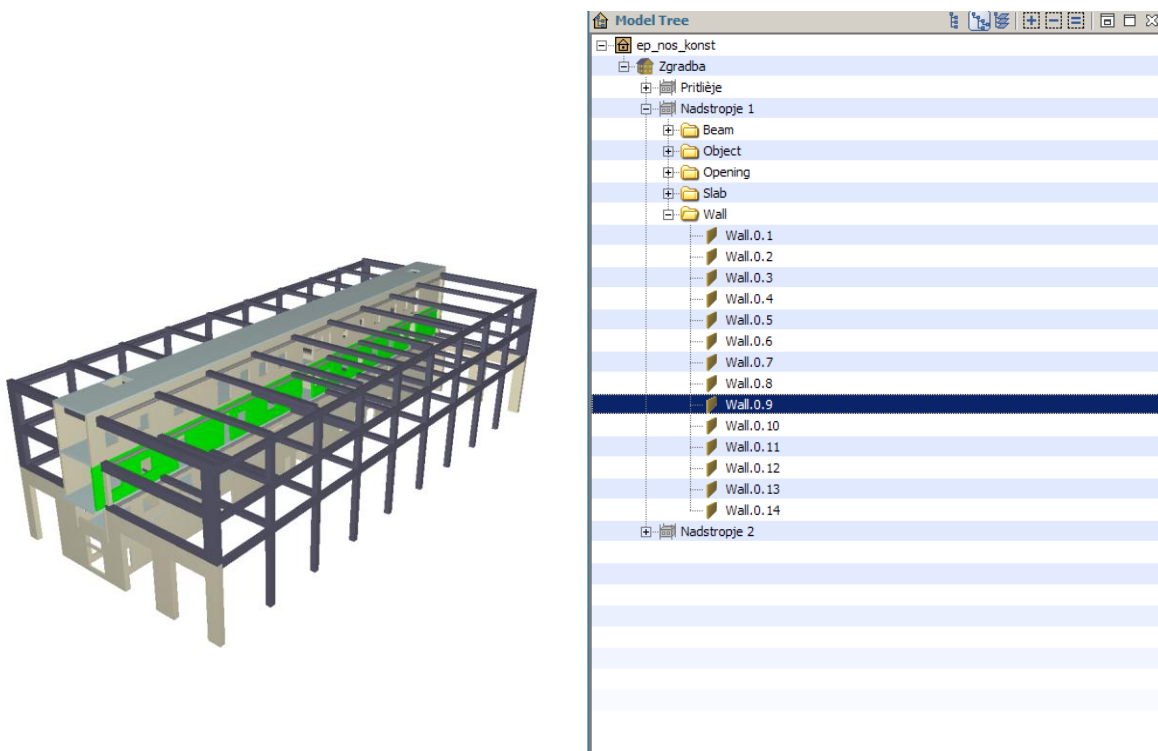




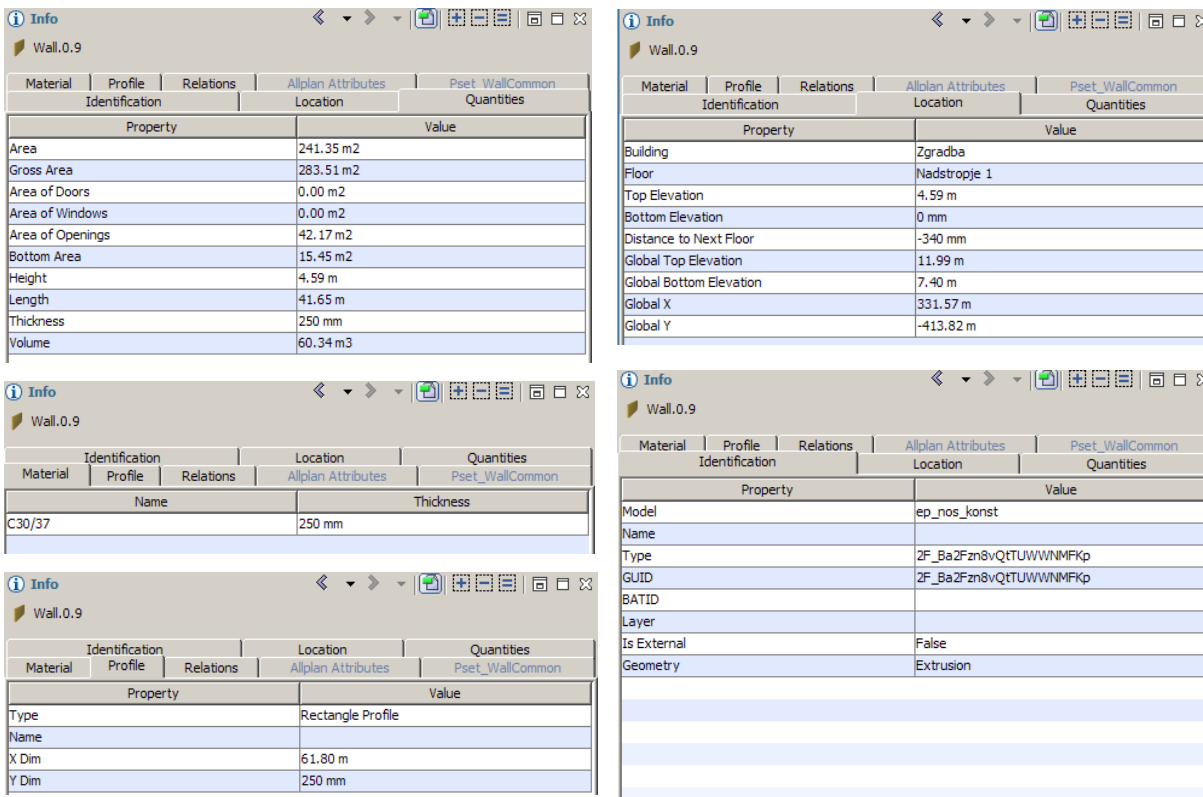
Slika 22: Prikaz geometrije elementa grede in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV



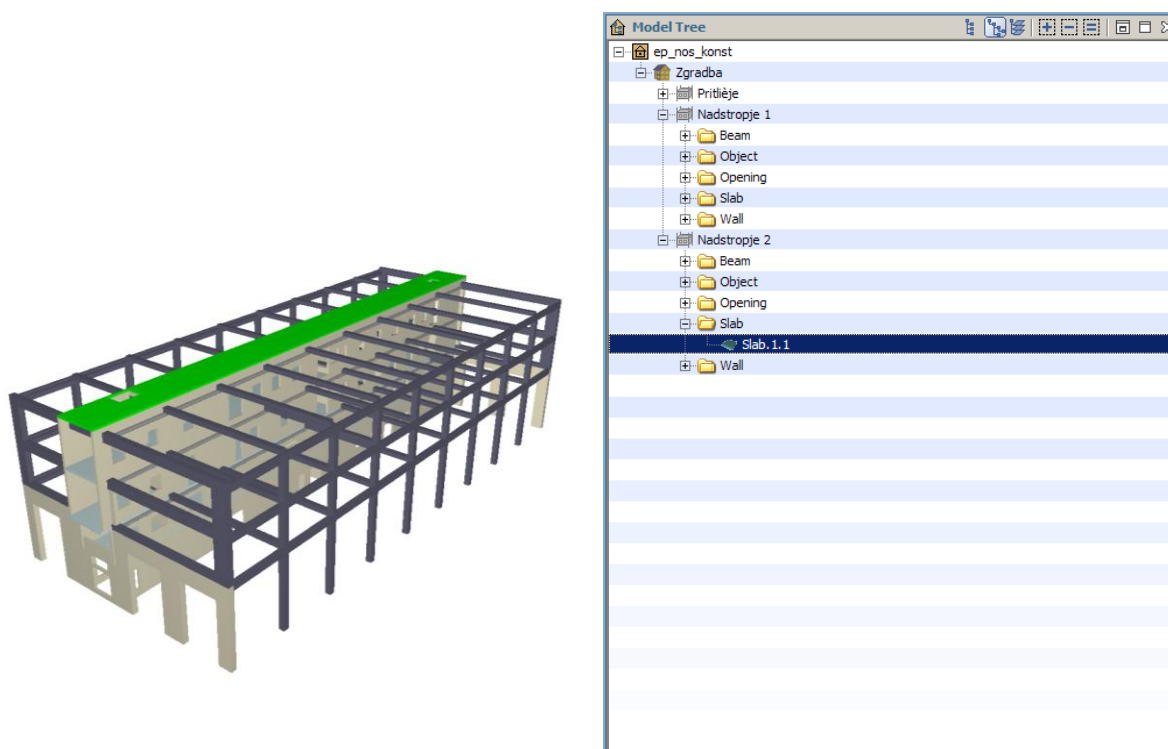
Slika 23: Informacije o elementu grede v programu Solibri MV



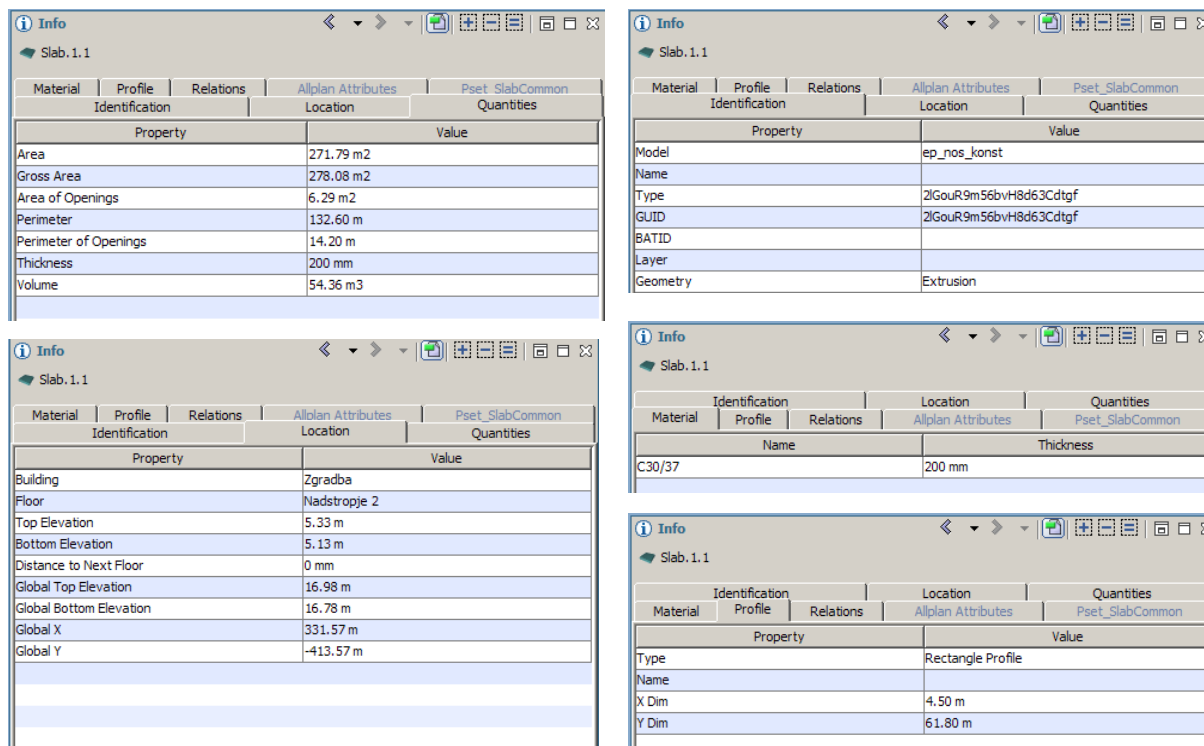
Slika 24: Prikaz geometrije elementa stene in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV



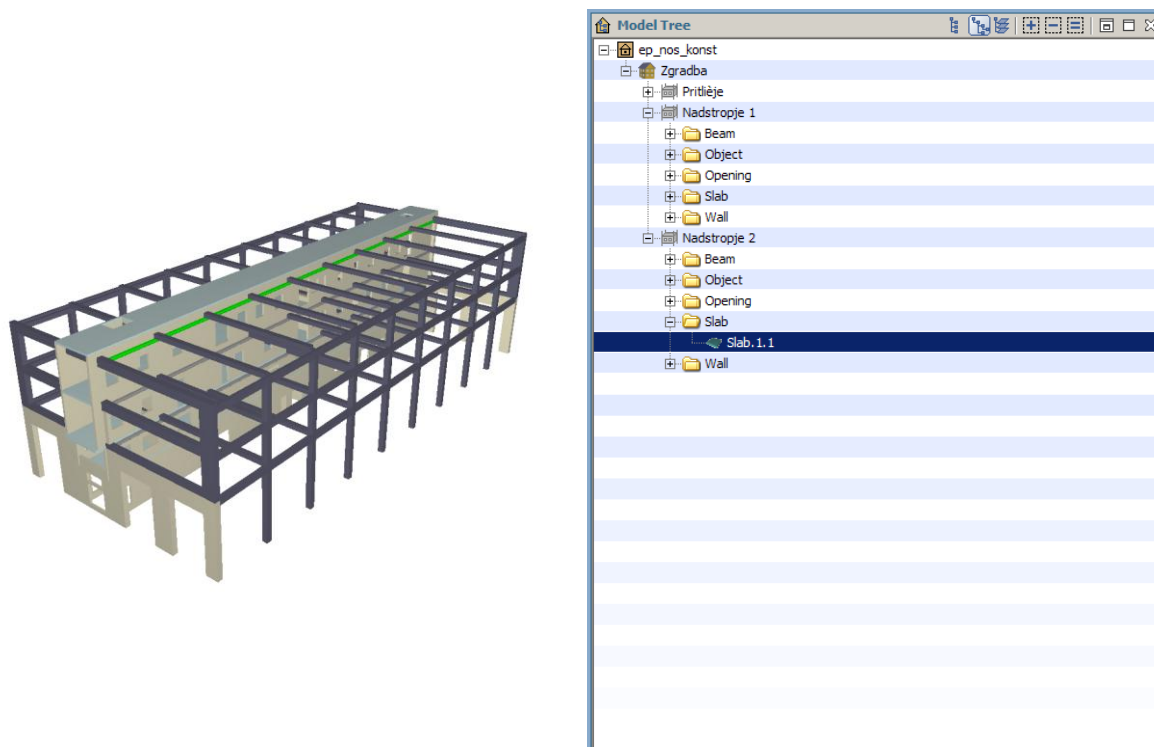
Slika 25: Informacije o elementu stene v programu Solibri MV



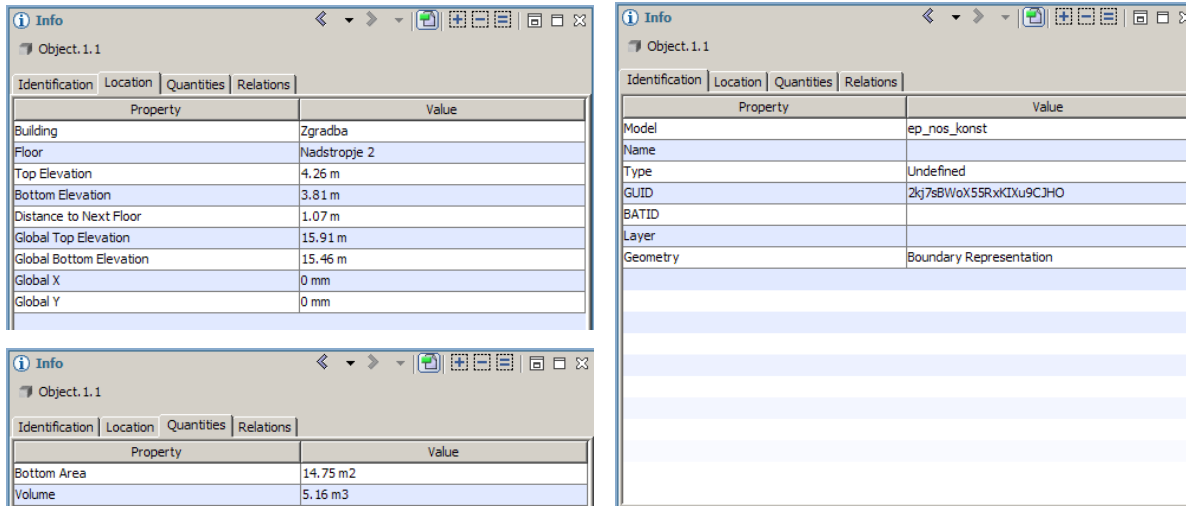
Slika 26: Prikaz geometrije elementa plošče in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV



Slika 27: Informacije o elementu plošče v programu Solibri MV



Slika 28: Prikaz geometrije telesa (BREP) in lokacija v strukturi zgradbe v programu Solibri MV



Slika 29: Informacije o BREP reprezentaciji telesa v programu Solibri MV

## **4.4 Uvoz geometrijskega modela v CAE programska orodja**

Za potrebe statične in dinamične analize smo uporabili programski orodji SCIA Engineer 2008 in ETABS v9.6. V poglavju se ukvarjamo z nekaterimi izmed ključnih vprašanj uporabnosti informacijskega modela zgradb za potresno analizo, in sicer, uvozom informacijskega modela zgradbe v zgoraj omenjeni programski orodji in izdelavo računskega modela zgradbe.

### **4.4.1 Uvoz IFC modela v SCIA Engineer**



Različica SCIA Engineer ima vgrajeno podporo IFC2x3, ki omogoča uvoz, izvoz in posodabljanje modela. Podatki, ki jih je v tej verziji mogoče izmenjevati preko vmesnika IFC so (SCIA Group, 2008):

- poligonalni (tudi ukrivljeni) 1D konstrukcijski elementi (vključno s stebri),
- 1D konstrukcijski elementi z odprtinami,
- 1D konstrukcijski elementi s spremenljivim prečnim presekom ali z ojačitvami narejenimi s ponazoritvijo oblik z uporabo mej (BREP - Boundary representation),
- material,
- prečni prerezi (parametrični, tankostenski, valjani, kompozitni),
- ravninske plošče (vključno z odprtinami in urezi),
- zidovi konstantnih višin,
- urezi v 1D konstrukcijskih elementih zaradi drugih entitet in
- neprepoznane oblike so lahko uvožene in prikazane kot splošni volumni (angl. general volume).

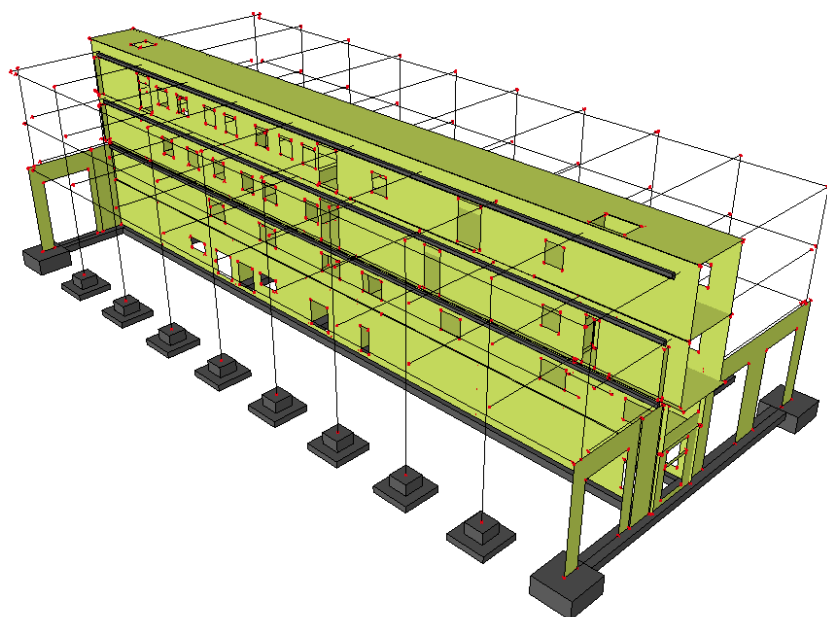
Iz seznama je razvidno, da SCIA Engineer omogoča izmenjavo informacij izključno o arhitekturnih primitivih in nekaterih dodatnih informacijah, ki so skupne obema modeloma (prerezi in material), ne pa tudi entitet, ki jih vpeljuje razširitev ST-4.

Podatkovni model IFC uvozimo po poti: **File** → **Import** → **IFC2x3**. Po izbiri ustrezne datoteke se pojavi okno preko katerega izberamo med naslednjimi možnostmi uvoza:

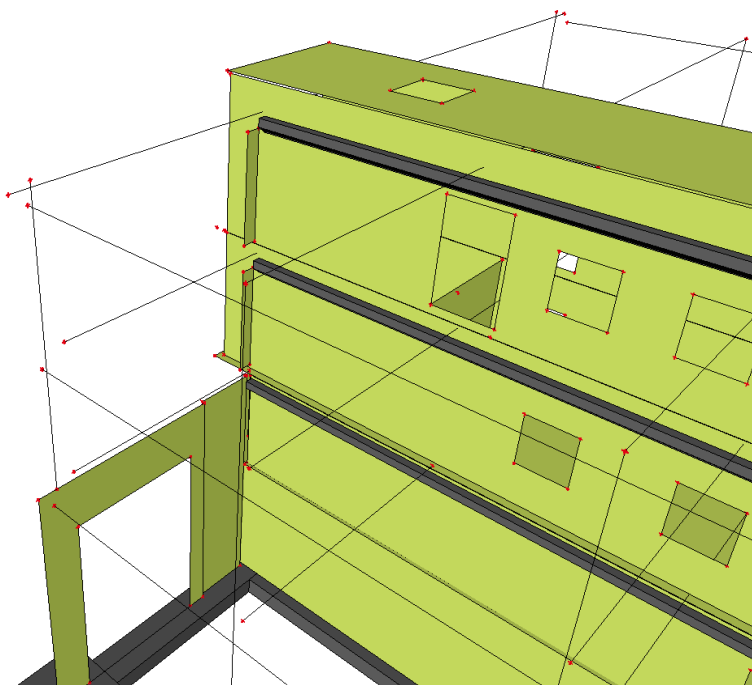
- **Import as members** (*uvozi kot konstrukcijske elemente*),
- **Import as general solids** (*uvozi kot splošne trdne oblike*),
- **Import analysis shape only** (*uvožene so zgolj temeljne oblike*),
- **Run member recogniser** (*avtomatsko prepoznavanje konstrukcijskih elementov zastopanih v SCIA Engineer*),
- **Material table** (*branje podatkov o materialih iz datoteke IFC*) in
- **National code** (*izbira nacionalnega standarda v katerega bo uvožena IFC datoteka*).

Preostali postopek uvoza se v programu SCIA Engineer odvija samodejno. Program po dokončanem uvozu samodejno vklopi prikaz modela s sistemskimi osmi in ravninami (sliki 30 in 31), vendar ga lahko v nadaljevanju na zelo enostaven način, z uporabo ukazov »Render geometry« () in »Show/hide surfaces« (), prilagodimo svojim potrebam. Primer dveh drugačnih prikazov je viden na slikah 32 in 33.

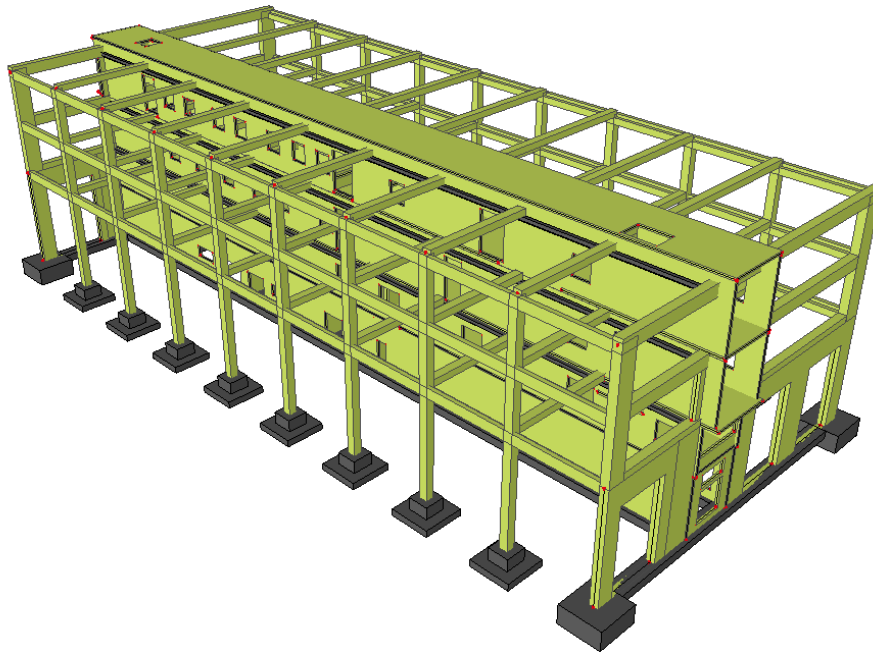
Pravilnost tako dobljenega računskega modela je v največji meri odvisna od načina stikovanja elementov v Allplanu. Zaradi drugačnega pogleda na model zgradbe (pri arhitektih je glavni geometrijski pogled) je stikovanje elementov v večini primerov neprimerno. Rezultat uvoza predstavlja z vidika izdelave računskega modela grobo osnovo, katere nedodelanost je dobro vidna na sliki 31. Temu je tako zato, ker je reprezentacija oblike v resnici še vedno geometrijska. Entitete, definirane v razširitvi modela zgradbe ST-4, za opredelitev strukturnih elementov, v uvoženi datoteki IFC namreč niso zajete (enostavno preverimo v enostavnem urejevalniku teksta – Beležnici). Do uporabnega računskega modela je zato potrebnih nekaj popravkov in prilagoditev, ki so opisane v enem izmed naslednjih poglavij.



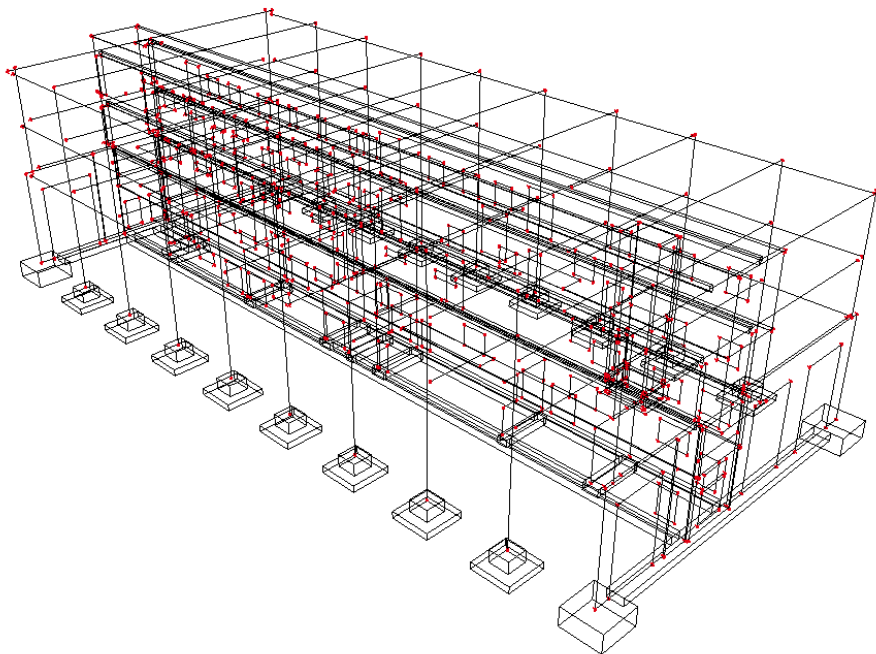
**Slika 30: Rezultat uvoza originalnega IFC modela (prikaz s sistemskimi osmi in ravninami)**



**Slika 31: (Ne)stikovanje osi linijskih in ploskovnih elementov**



**Slika 32:** Rezultat uvoza preko IFC datoteke prikazan z vidnimi površinami in prečnimi prerezi



**Slika 33:** Žični prikaz modela uvoženega preko IFC datoteke



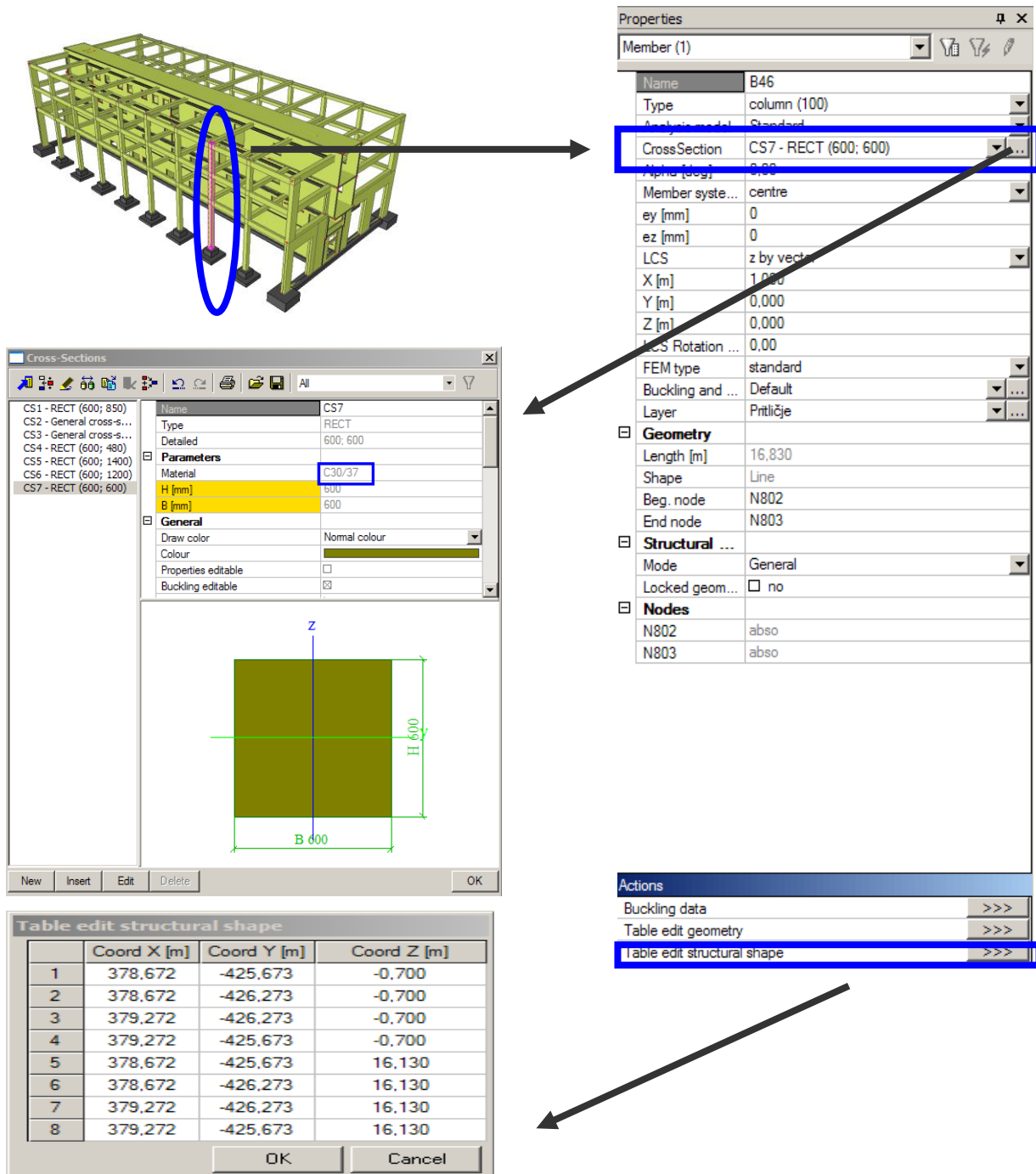
V nadaljevanju smo najprej preverili pravilnost uvoza modela s kontrolo geometrije elementov ter količine in vrste informacij, ki jih je program uspel prenesti iz originalnega modela izdelanega s programom Allplan.

**Kontrola uvoza.** Gradnike, dobljene z uvozom osnovnega informacijskega modela v program SCIA Engineer primerjamo s kontrolnimi gradniki (elementi) določenimi v poglavju 4.2.1.

**Preglednica 12: Kontrola geometrije in pripisanih atributov po uvozu datoteke IFC**

Predmet kontrole	Rezultat kontrole geometrije	Opombe
STEBRI	Geometrija prenosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Element so prepoznani kot stebri in imajo prereze pravilnih dimenzij. Prevzet je tudi podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
GREDE	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot grede in imajo prereze pravilnih dimenzij. Prevzet je tudi podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
STENE	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot stene in imajo določeno pravilno debelino in podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
PLOŠČE	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot plošče in imajo določeno pravilno debelino in podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
TEMELJI	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot splošna telesa (angl. <b>general solid</b> ). Pripisani so nivoji (angl. layer) določeni glede na etažo.
SPLOŠNO ARHITEKTURNO TELO	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot splošna telesa (angl. <b>general solid</b> ). Pripisani so nivoji (angl. layer) določeni glede na etažo.

Za boljšo predstavljenost kontrole uvoza v tabeli predstavljenih ugotovitev, je kontrola geometrije in informacij grafično prikazana za **steber** na poziciji **A-8**:



Slika 34: Grafičen prikaz kontrole geometrije in pripisanih informacij na elementu stebra na poziciji A-8

#### **4.4.2 Uvoz IFC modela v ETABS**

Uvoz IFC datoteke v program ETABS kljub dejstvu, da program nazivno podpira specifikacijo IFC2x2, ni bil mogoč. Največ težav mu povzročajo ploskovni elementi, na kar v svoji diplomski nalogi opozori že Mušič (2007). Kljub testu, pri katerem smo iz programa Allplan v IFC izvozili le 1 steber, uvoz datoteke ni uspel. Vzrok gre iskati v vmesnikih IFC za branje in pisanje, ki po besedah Pazlarja (2008) v vsakem orodju za računsko analizo na drugačen (izviren) način zagotavljajo prirejanje med modeli.

Zaradi navedenih težav smo v nadaljevanju naloge program ETABS uporabili zgolj za primerjavo rezultatov modalne analize obeh programov za računsko analizo v poglavju 9.

#### **4.4.3 Uvoz preko integrirane povezave (Allplan – SCIA Engineer)**

Izmenjava podatkov med programskimi orodji Allplan in SCIA Engineer je možna na dva načina:

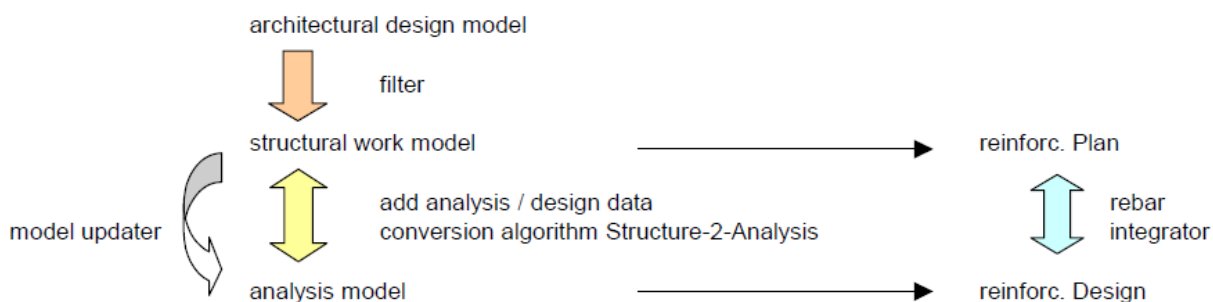
1. standardni uvoz in izvoz modela ali
2. uporaba direktne povezave med programoma.

Pri prvem načinu pretok informacij poteka preko izvoza ali uvoza v/iz projektne datoteke SCIA Engineer (ESA). Pri tem je Allplan tisti, ki je zmožen tako shranjevati, kot tudi brati datoteke formata ESA. Drugi način predstavlja hitrejši način izmenjave informacij. Preko integriranega vmesnika je med drugim možen avtomatski zagon programa SCIA Engineer in neposreden prenos modela iz Allplana v SCIA Engineer. Ob izpolnjenih določenih pogojih lahko na ta način vzpostavimo povezavo med programoma, ki omogoča, da se vsaka sprememba v enem izmed programov takoj odrazi v drugem. »Roundtrip« koncept predstavljajo naslednje možnosti izmenjave podatkov med Allplanom in SCIA Engineer:

- uvoz SCIA Engineer podatkov,
- nadgradnja (angl. update) z ESA datoteko,
- izvoz SCIA Engineer podatkov,

- shranjevanje v ESA datoteko in
- izračun SCIA Engineer (preko integrirane povezave).

**Roundtrip.** Tehnologija »Roundtrip« je plod sodelovanja podjetij Scia in Nemetschek, kot skupna povezava med dvema platformama (CAD in CAE), z obzirom na povezovalne smernice IFC, znotraj IAI. Predstavlja napredno in boljše integrirano povezavo dveh programov (Slika 35).



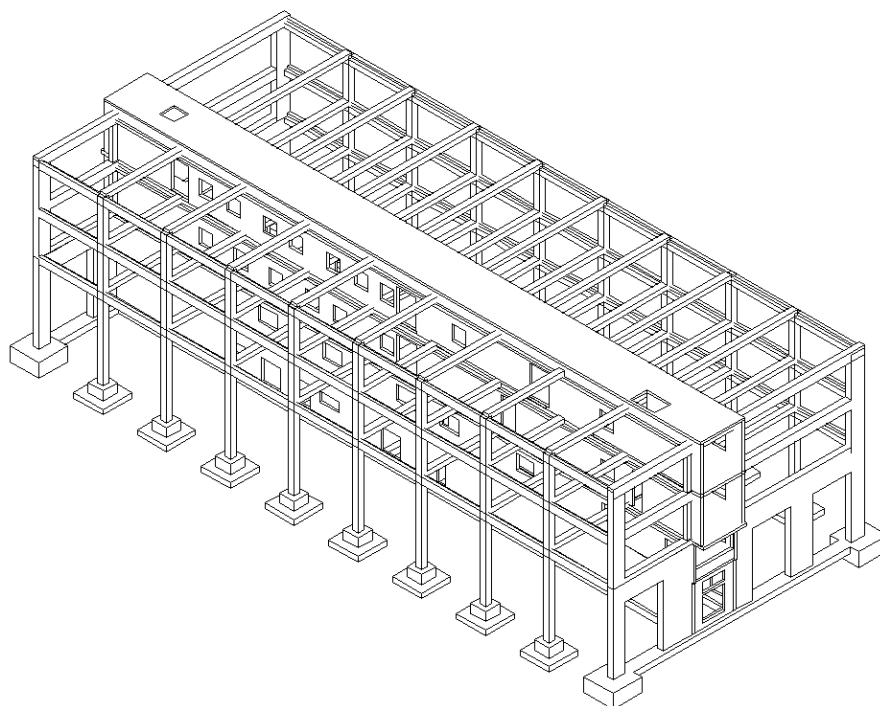
**Slika 35: Shematičen prikaz principa Round-Trip Engineering-a (Vir: Nemetschek SCIA)**

Namen »Roundtrip« tehnologije je, da se lahko arhitekt in inženir v katerikoli fazi objekta, brez predhodnega modeliranja, zgolj s pretvorbo iz CAD v CAE in obratno, ter kasneje z minimalnimi popravki modelov, lotita izvajanja sprememb in analiz objekta. Tak način spodbuja večjo dinamiko projektiranja in faz gradnje, ter s tem stremi k zmanjšanju časa med procesom projektiranja in izvedbe objekta.

Kot že rečeno, je povezava plod povezave med programskima podjetjema Scia in Nemetschek. SCIA Engineer služi kot platforma za CAE (*angl.* Computer-aided engineering). Vsi deli računskega modela so preko Nemetschek Object Interface-a povezani z Allplan-om, ki predstavlja platformo za CAD (*Computer-aided design*). Vsi konstrukcijski elementi (tako za jeklo kot za beton) so skladni za obe platformi. V nasprotju z IFC protokolom, kjer gre za skladnost modelov iste domene, je pri roundtrip povezavi omogočen prenos informacij med CAE in CAD in obratno, brez spremembe izvornega modela (Nemetschek – Interoperability for BIM, 2008). Po navedbah razvijalcev programske rešitve »Roundtrip« predstavlja več, kot zgolj uvoz/izvoz modela. Deklarirane so naslednje prednosti:

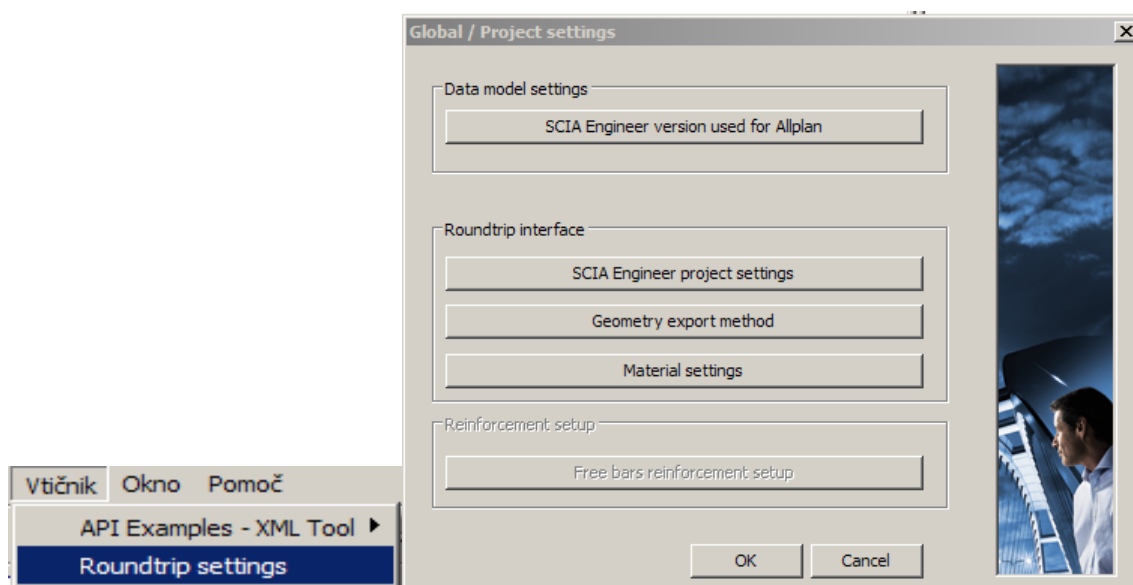
- avtomatizem za nadgrajevanje ohranja modela CAD in CAE kompatibilna; zunanji podatki (arhitekturni podatki) so shranjeni kot Blob (Binary Large Objects) lastnosti,
- izboljšave in spremembe so mogoče tudi le na delu konstrukcije,
- prednastavljene oblike modeliranja na eni platformi se prenesejo tudi na drugo platformo in
- prenos podatkov o armaturi betona je mogoč v obe smeri.

**Izdelava računskega modela z »Roundtrip« modulom.** Podlaga za vse postopke je geometrijski model konstrukcije opisan v poglavju 5. Za uvoz modela v program za računsko analizo, SCIA Engineer smo tokrat uporabili modul »Roundtrip«. Predmet izmenjave so enake risbe, kot smo jih izbrali v poglavju 4.2 (Slika 17), kjer smo izbrali samo konstrukcijske elemente (Slika 36), ki jih potrebujemo za računsko analizo.



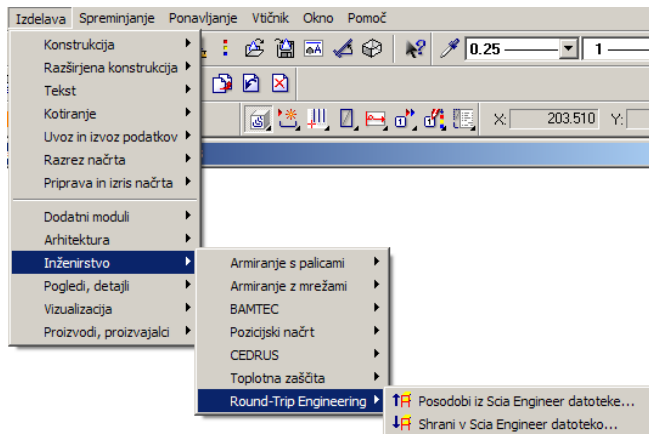
**Slika 36: Prikaz konstrukcije v Allplan-u, ki je predmet izmenjave preko roundtrip vmesnika**

Naslednji korak je prilagoditev Roundtrip nastavitvev, ki jih omogoča program Allplan (Slika 37)



Slika 37: Pogovorno okno za Roundtrip nastavitve in pot do njega

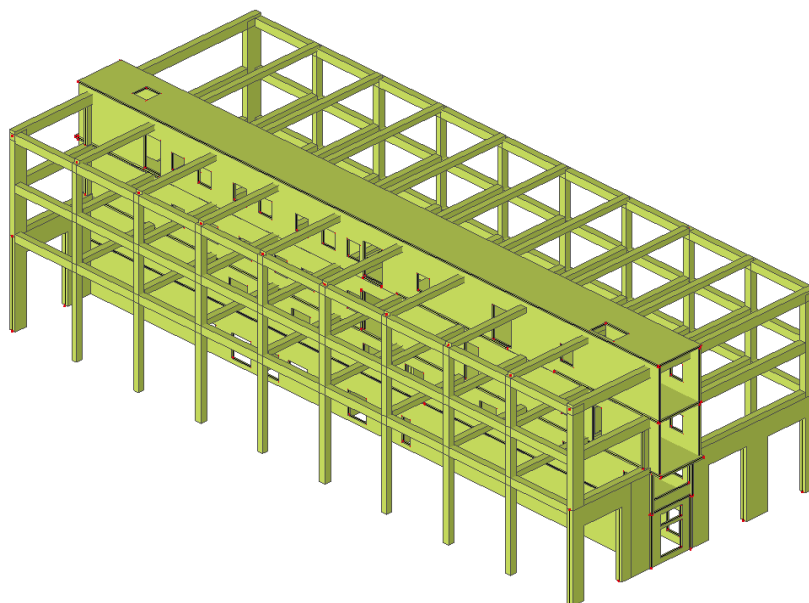
Po opravljenih nastavitvah, preko ukaza »Scia Engineer izračun...« ali »Shrani v Scia Engineer datoteko...« izbrano konstrukcijo prenesemo v program Scia Engineer (Slika 38).



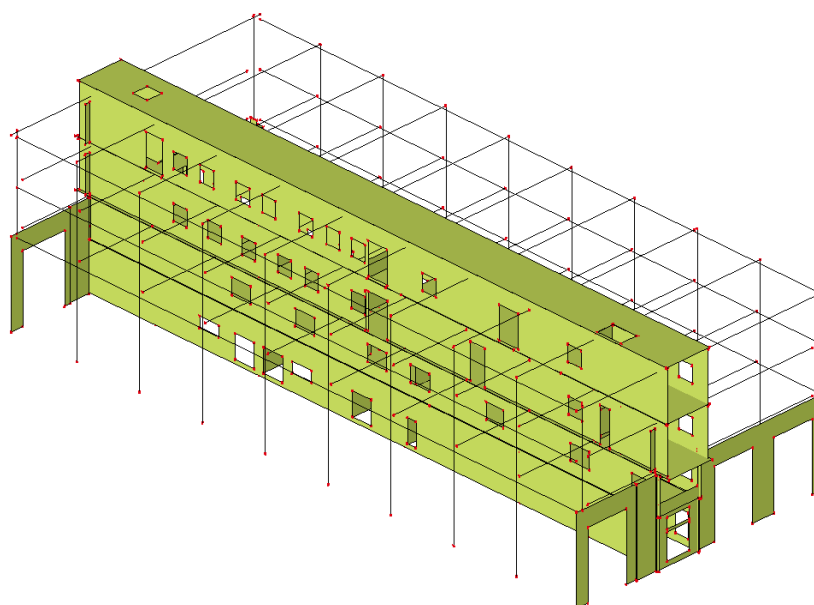
Slika 38: Pot do »Roundtrip« ukazov

V našem primeru smo uporabili ukaz »Scia Engineer izračun...«. Po izvrstitvi ukaza se program SCIA Engineer samodejno zažene ter preko »Roundtrip« povezave od programa Allplan prejme podatke o konstrukciji t.j. geometrijski model je »pretvorjen« v računski model oz. grobo osnovo njega. Geometrijsko gledano zanj veljajo enake ugotovitve, kot za rezultat uvoza IFC datoteke, z razliko, da sedaj elementi temeljev niso preneseni. Povezava med programoma pri takem načinu dela ostane aktivna, kar naj bi omogočalo sprotno

nadgrajevanje modela v obeh programih. Rezultat uvoza geometrijskega modela je viden na slikah 39 in 40. Da je uvožen model dejansko zelo podoben (oz. če odštejemo temelje, kar enak) geometrijskemu, se lahko prepričamo ob primerjavi slik 40 in 30.



**Slika 39: Rezultat uvoza preko »Roundtrip« modula prikazan z vidnimi površinami in prečnimi prerezi**



**Slika 40: Žičnat prikaz modela uvoženega preko »Roundtrip« modula z renderiranimi površinami**

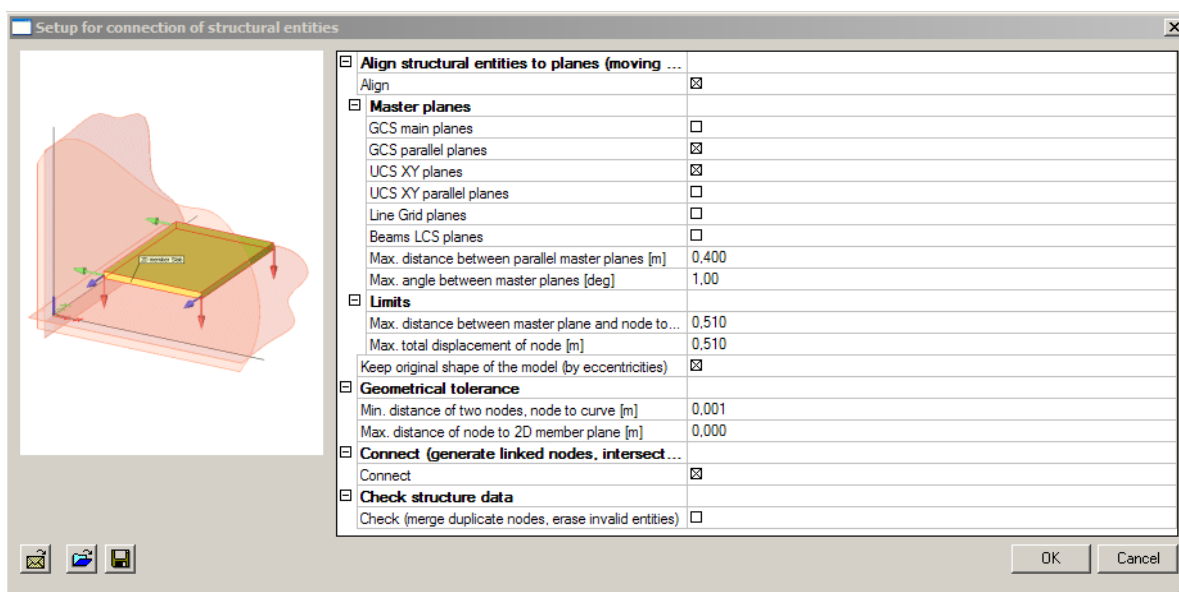
**Kontrola uvoza.** Gradnike, dobljene z uvozom osnovnega informacijskega modela v program SCIA Engineer, preko povezave Round-Trip, primerjamo s kontrolnimi gradniki (elementi) določenimi v poglavju 4.2.1.

Predmet kontrole	Rezultat kontrole geometrije	Opombe
STEBRI	Geometrija prenosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Element so prepoznani kot stebri in imajo prereze pravilnih dimenzij. Prevzet je tudi podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
GREDE	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot grede in imajo prereze pravilnih dimenzij. Prevzet je tudi podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
STENE	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot stene in imajo določeno pravilno debelino in podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
PLOŠČE	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot plošče in imajo določeno pravilno debelino in podatek o materialu. Elementom so določeni nivoji (angl. layer), ki so določeni glede na etažo.
TEMELJI	Prenos teh elementov ni mogoč	Za to so v programu SCIA Engineer predvidene podpore.
ARHITEKTURNO TELO	Geometrija vnosa je pravilna	Koordinate elementov so pravilne. Elementi so prepoznani kot splošna telesa (angl. <b>general solid</b> ). Pripisani so nivoji (angl. layer) določeni glede na etažo.



## 4.5 Dodelava računskega modela v SCIA Engineer

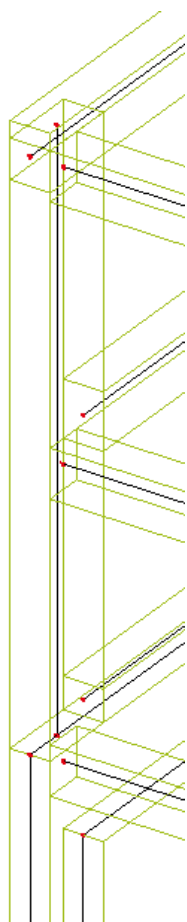
Posebnost analitičnega modela je v tem, da se konstrukcijski elementi stikujejo v svojih oseh in so predstavljeni z 2D oz. linijski elementi z 1D. Pri zgoraj opisanih načinih uvoza geometrijskega modela v SCIA Engineer ima dobljen računski model ima kar nekaj pomanjkljivosti, ki jih je v nadaljevanju potrebno odpraviti. Ena se nanaša na osi elementov, ki so v tej fazi enake, kot pri geometrijskem modelu, česar posledica je nepovezana konstrukcija, neprimerna za računsko analizo. Središčne osi 2D elementov in osi 1D elementov je potrebno ustrezno poravnati in povezati. V programu SCIA Engineer je to olajšano s posebnim vmesnikom »Connect members/nodes«, katerega pogovorno okno je prikazano na sliki 41, ki nam omogoča, da elemente in vozlišča na skorajda avtomatski načine poravnamo, jim določimo največje in najmanjše oddaljenosti ter jih po potrebi združimo. Algoritem, ki to omogoča, so v podjetju SCIA poimenovali »STRUCTURE-2-ANALYSIS«.



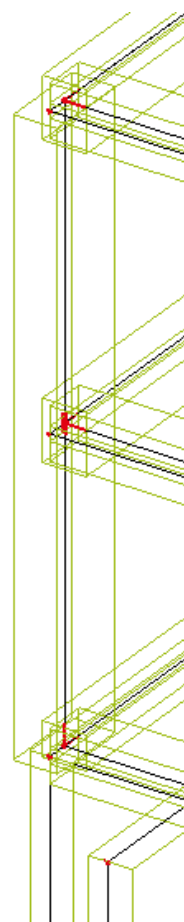
Slika 41: Vmesnik za »Connect members/nodes«

Rezultat obdelave na opisan način je zelo dobro razviden iz prikaza na sliki 42, ki prikazuje stikovanje elementov na sečišču osi 1 in A.

**PRED  
OBDELAVO**

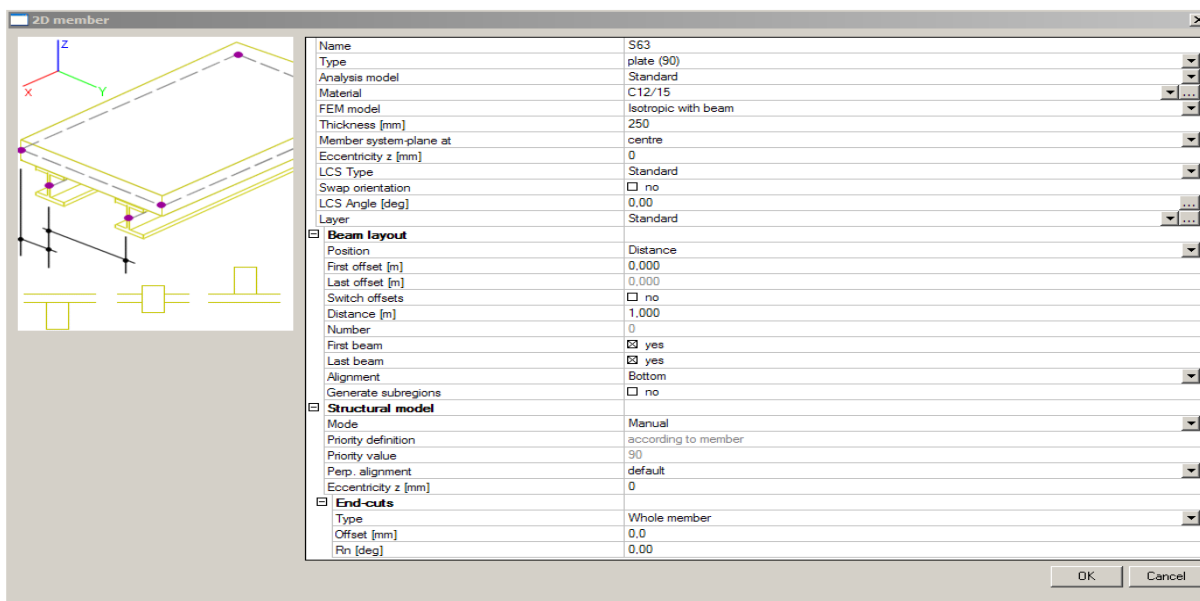


**PO  
OBDELAVI**



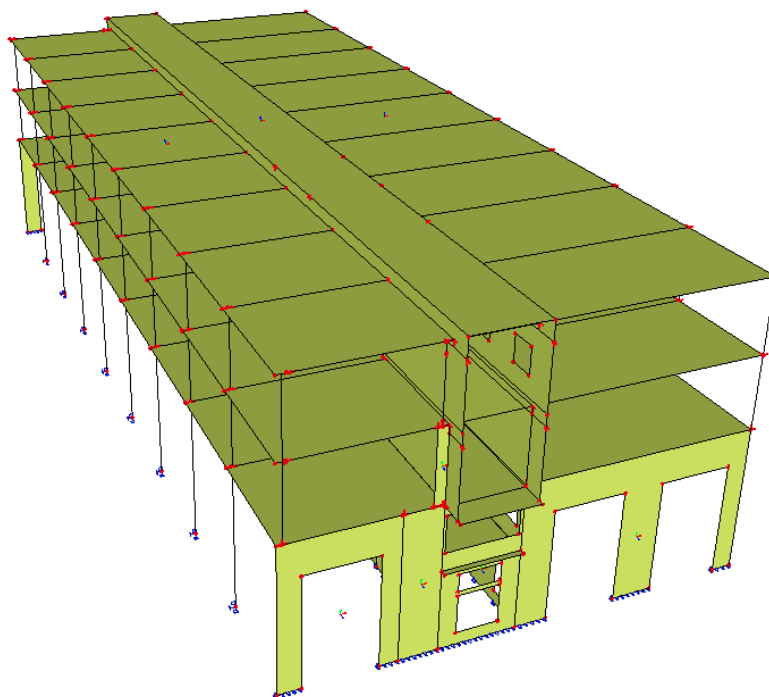
**Slika 42: Primerjava stikovanja elementov PRED in PO obdelavi**

Pri izdelavi računskega modela obravnavanega objekta je bilo poleg prej omenjenih popravkov zaradi, s stališča uporabe programa SCIA Engineer, neustrezne zasnove medetažnih konstrukcij pri geometrijskem modelu potrebno le-te na novo dimenzionirati. Do neskladnosti namreč pride pri povezovanju plošč z gredami (potrebno za pravilno sodelovanje elementov pri računski analizi konstrukcije). To je v SCIA Engineer rešeno na način, da je oblika medetažne konstrukcije – rebrasta plošča (angl. Ribbed slab) pred-programirana - Slika 43.

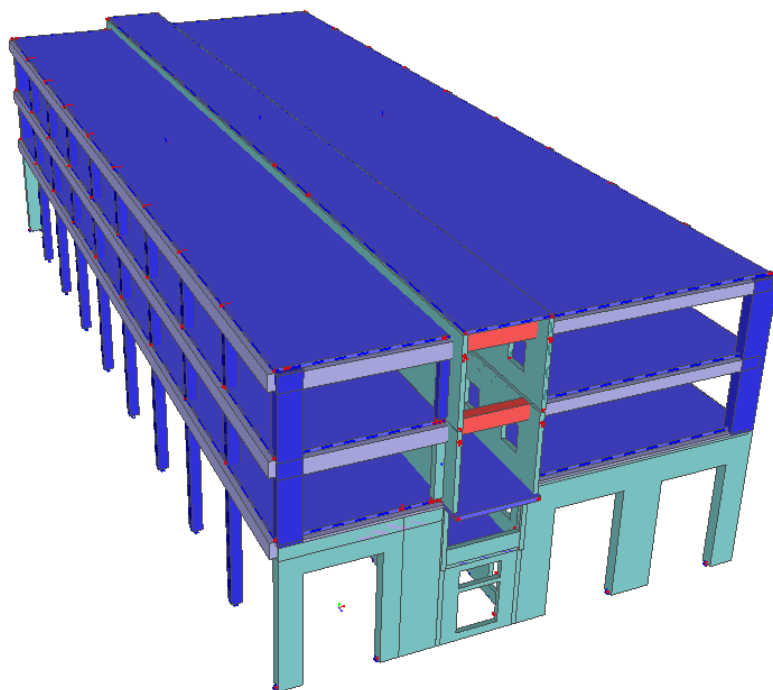


Slika 43: Vmesnik za izdelavo rebraste plošče

Rezultat vseh sprememb in predelav je računski model (sliki 44 in 45), ki je primeren za nadaljnjo obdelavo (definicija obtežb, določitev načina podpiranja, definicija mas po objektu, določitev faz gradnje ...).



Slika 44: Žičnat prikaz računskega modela



**Slika 45: Render računskega modela (obarvan glede na vrsto konstrukcijskega elementa)**

## 5 RAČUN KONSTRUKCIJE

Po prenosu podatkov v programe za računsko analizo smo se lotili preverjanja, v kolikšni meri tako uvožen/pridobljen model ustreza potrebam za potresno analizo. V prvem koraku smo določili vplive (statične in dinamične) na konstrukcijo. Vplivi so bili zatem upoštevani na matematičnih modelih, katerih zasnova in izvedba je opisana v nadaljevanju. Skupaj so uporabljeni za izvedbo modalnih analiz, katerih rezultati so na koncu med seboj primerjani in komentirani. Zaključek poglavja predstavlja opredelitev glede uporabnosti takih modelov glede na izkušnje pridobljene tekom izvajanja naloge.

### 5.1 Vplivi na konstrukcijo

Pri nanašanju obtežbe je za določanje statičnih vplivov potrebno upoštevati določila standarda EC1, kjer so podane zahteve glede osnov projektiranja in določeni vplivi na konstrukcije. Za določitev dinamičnih vplivov je potrebno upoštevati določila določena v EC8.

#### 5.1.1 Statični

**Lastna in Stalna obtežba.** Lastna teža gradbenih objektov je v večini definirana z eno karakteristično vrednostjo in se izračuna kot produkt karakteristične prostorninske teže in nazivnih mer. Obtežba je obravnavana kot stalna z nepomičnim vplivom na konstrukcijo. V obeh uporabljenih programih za računsko analizo konstrukcij je zaradi praktičnih razlogov podajanje lastne teže razdeljeno v dve skupini:

- **Lastna obtežba:**

Predstavlja težo primarne konstrukcije.

- **Stalna obtežba:**

Predstavlja vpliv nekonstrukcijskih elementov in pritrjenih naprav.

*Lastna obtežba.* Za določanje lastne obtežbe je lahko informacijski model zgradbe neposredno uporaben. Tako SCIA Engineer, kot tudi ETABS, namreč omogočata kreiranje obtežnega primera (*angl.* Load Case), ki samodejno zajame vpliv lastne teže (*angl.* Selfweight) elementov konstrukcije. Izračun lastne teže temelji na prostorninski teži materiala, definiranega v bazi materialov in nazivnih merah, ki so določene z geometrijo elementa.

*Stalna obtežba.* Drugače je z določanjem stalne obtežbe, ki predstavlja vpliv nekonstrukcijskih elementov in pritrjenih naprav. Vpliv je v računskem modelu zajet izključno preko obtežbe, ki deluje na konstrukcijske elemente. Njihova neposredna umestitev in povezava z modelom bi namreč povečala kompleksnost računske analize, kar lahko vodi do nerealnega izračuna in posledično slabih rezultatov. Podajamo jih ročno, kot je prikazano v nadaljevanju.

V preglednicah od 13 do 17 sta izračunani lastna in stalna površinska obtežba za vse pozicije stavbe.

### POZ 100 (medetaža)

**Preglednica 13: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ100**

	d [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	g [kN/m <sup>2</sup> ]
premične predelne stene			0,80
estrih	0,08	21,00	1,68
AB plošča	0,18	25,00	4,50
ostalo			0,32
spuščen strop			0,15
<b>SKUPAJ</b>			<b>7,45</b>
<b>SKUPAJ (brez AB plošče)</b>			<b>2,95</b>

### POZ 200 (jedro) – (1. nadstropje)

**Preglednica 14: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ200 - jedro**

	d [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	g [kN/m <sup>2</sup> ]
keramika	0,02	20,00	0,40
estrih	0,14	21,00	2,94
AB plošča	0,25	25,00	6,25
ostalo			0,66
spuščen strop			0,15
<b>SKUPAJ</b>			<b>10,40</b>
<b>SKUPAJ (brez AB plošče)</b>			<b>4,15</b>

### POZ 300 – jedro – (2. nadstropje)

Preglednica 15: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ300 - jedro

	d [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	g [kN/m <sup>2</sup> ]
AB plošča	0,25	25,00	6,25
ostalo			0,25
SKUPAJ			6,50
SKUPAJ (brez AB plošče)			0,25

### POZ 200 in 300 (med osema A in B ter C in D)

Preglednica 16: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ200 in 300

	d [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	g [kN/m <sup>2</sup> ]
premične predelne stene			0,80
estrih	0,08	21,00	1,68
AB plošča	0,28	25,00	7,00
ostalo			0,32
spuščen strop			0,15
SKUPAJ			9,95
SKUPAJ (brez AB plošče)			2,95

### POZ 400 – (streha)

Preglednica 17: Lastna in stalna obtežba medetažne konstrukcije POZ400 - streha

	d [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	g [kN/m <sup>2</sup> ]
estrih	0,08	21,00	1,68
AB plošča	0,20	25,00	5,00
ostalo			1,00
spuščen strop			0,15
SKUPAJ			7,83
SKUPAJ (brez AB plošče)			2,83

Dodatne (stalne) obtežbe na stene ni.

**Koristna obtežba.** Obravnavan objekt sodi v **kategorijo A**. Koristna obtežba izvira iz namena uporabe. Vrednosti, določene v tem delu, vključujejo:

- običajno uporabo za ljudi.
- pohištvo in premične stvari.
- vozila in
- predvidene redke dogodke (kopičenje in koncentracija ljudi oz. stvari).

Vrednosti vplivov so določene glede na kategorijo površine za katero določamo obtežbo. Na obravnavanem objektu se pojavita dve kategoriji površin:

- B (pisarne) in
- H (nepohodna streha).

Vrednosti vplivov so razvidni iz preglednic 6.1, 6.3 in 6.10 v SIST 1991-1-1: 6 in so po objektu razporejeni kot kaže preglednica 18.

**Preglednica 18: Porazdelitev koristne obtežbe po etažah in pripadajoče rezultante**

Etaža	Pozicija	Kategorija površine	q [kN/m <sup>2</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Q [kN]
MEDETAŽA	POZ100	B	3,00	247,0	2473,0
1. NADSTROPJE	POZ200	B	3,00	1562,0	4686,0
2. NADSTROPJE	POZ300	B	3,00	1562,0	4686,0
STREHA	POZ400	H	0,75	1562,0	1171,5



### 5.1.2 Dinamični

Bistven del potresne analize predstavlja določitev potresnih vplivov. Zaradi načina vnosa mase na konstrukcijo, ki je za namen modalne analize skoncentrirana v etažah, je potrebno vse statične vplive podati v tem smislu. Določiti je potrebno tudi projektni spekter pospeškov, s katerim je zajet vpliv potresa.

**Koncentriranje lastne teže na nivojih etaž.** Pri pretvarjanju obtežbe v maso je za vrednost gravitacijskega pospeška uporabljena zaokrožena vrednost  $g = 9,81m/s^2$ . Površine in volumni elementov so pridobljene s pomočjo izvlečkov v programu Allplan.

#### POZICIJA 100 (medetaža)

Preglednica 19: Koncentracija mase konstrukcije na POZ100

Vertikalni položaj elementa	Element /sloj	Obtežba q [kN/m <sup>2</sup> ]	Specifična teža [kN/m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volume n [m <sup>3</sup> ]	Masa [t]
Nivo pozicije	AB plošča		25,0		44,5	111,1
Nivo pozicije	ostali sloji	2,26		247,0		55,3
½ etaže pod pozicijo	Stene		25,0		87,5	218,6
½ etaže pod pozicijo	Stebri					
½ etaže nad pozicijo	Stene		25,0		59,9	149,8
½ etaže nad pozicijo	Stebri					
$M_{G100} = 534,9t$ ; $A_{100} = 247,0m^2$ $\rightarrow m_{G100} = M_{G100}/ A_{100} = 2,17 t/m^2$						

**POZICIJA 200 (1. nadstropje)****Preglednica 20: Koncentracija mase konstrukcije na POZ200**

Vertikalni položaj elementa	Element /sloj	Obtežba q [kN/m <sup>2</sup> ]	Specifična teža [kN/m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Masa [t]
Nivo pozicije	AB plošča (PVP)	5,00		1292,0		646,0
Nivo pozicije	AB plošča (jedro)		25,0		69,0	172,5
Nivo pozicije	ostali sloji	2,26		1562,6		353,5
½ etaže pod pozicijo	Obodne stene		25,0	41,0		102,5
½ etaže nad pozicijo						
½ etaže pod pozicijo	Stene		25,0		114,6	286,5
½ etaže pod pozicijo	Stebri		25,0		23,2	58,1
½ etaže nad pozicijo	Stene		25,0		81,3	203,4
½ etaže nad pozicijo	Stebri		25,0		20,2	50,6
$M_{G200} = 1873,0t$ ; $A_{200} = 1562,0 m^2$ $\rightarrow m_{G200} = M_{G200} / A_{200} = 1,20 t/m^2$						

**POZICIJA 300 (2. nadstropje)**

**Preglednica 21: Koncentracija mase konstrukcije na POZ300**

Vertikalni položaj elementa	Element /sloj	Obtežba $q$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Specifična teža [kN/m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Masa [t]
Nivo pozicije	AB plošča (PVP)	5,00		1292,0		646,0
Nivo pozicije	AB plošča (jedro)		25,0		20,0	50,0
Nivo pozicije	ostali sloji	2,26		1365,9		308,9
½ etaže pod pozicijo	Obodne stene		25,0		41,0	102,5
½ etaže nad pozicijo						
½ etaže pod pozicijo	Stene		25,0		81,3	203,3
½ etaže pod pozicijo	Stebri		25,0		20,2	50,6
½ etaže nad pozicijo	Stene		25,0		65,0	162,5
½ etaže nad pozicijo	Stebri		25,0		20,2	50,6
$M_{G300} = 1574,5t$ ; $A_{300} = 1562,0 m^2$ $\rightarrow m_{G300} = M_{G300} / A_{300} = 1,00 t/m^2$						

**POZICIJA 400 (Streha)****Preglednica 22: Koncentracija mase konstrukcije na POZ400**

Vertikalni položaj elementa	Element /sloj	Obtežba q [kN/m <sup>2</sup> ]	Specifična teža [kN/m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Masa [t]
Nivo pozicije	AB plošča	5,00		1562,0		781,0
Nivo pozicije	ostali sloji	3,74		1562,0		584,2
½ etaže pod pozicijo	Stene		25,0		65,0	162,5
½ etaže pod pozicijo	Stebri		25,0		20,2	50,6
nad pozicijo	Atika		25,0		38,8	97,0
½ etaže pod pozicijo	Obodne stene		25,0		41,0	102,5
$M_{G400} = 1777,8t$ ; $A_{400} = 1562,0 \text{ m}^2$ $\rightarrow m_{G400} = M_{G400} / A_{400} = 1,14 \text{ t/m}^2$						

**Masa konstrukcije.** Predpostavljeno je, da so mase skoncentrirane v nivojih etaž. Upoštevano je, da pri potresnem projektne stanju na konstrukcijo, kakor narekuje EN 1990:2004, dodatek A1, poleg lastne teže deluje le del spremenljive obtežbe. Velja, da se obtežbe vetra, snega in nepožarnih temperatur s potresom ne kombinirajo. Pri določanju skupnega potresnega vpliva je torej potrebno upoštevati mase, povezane z vsemi težnostnimi silami, vključenimi v kombinaciji:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5.1)$$

$\Psi_{E,i}$ ... koeficient za kombinacijo za spremenljiv vpliv i (poglavje 4.2.4)

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2i} \quad (5.2)$$

$\varphi \dots$  (SIST EN 1998-1: preglednica 4.2)

$\Psi_{2i} \dots$  (SIST EN 1990, dodatek A1)

**Preglednica 23: Koefficienti  $\Psi_{E,i}$  za kombinacijo za spremenljiv vpliv po pozicijah**

<i>Pozicija</i>	<i>Kategorija</i>	$\Phi$	$\Psi_{2i}$	$\Psi_{E,i}$
100	B	0,5	0,3	<b>0,15</b>
200	B	0,5	0,3	<b>0,15</b>
300	B	1,0	0,3	<b>0,30</b>
400	H	1,0	0,0	<b>0,00</b>

Masa bo v orodjih določena na podlagi obtežnih primerov. S tem namenom so v preglednici 24 zbrane vse obtežbe po pozicijah. Upoštevana je tudi potresna obtežna kombinacija, določena z enačbo 5.1 in preglednico 23. Pri pretvorbi mase v obtežbo je privzeta vrednost težnega pospeška  $g=9,81m/s^2$ .

$$q_{Gi} = m_{Gi} \cdot 9,81m/s^2 \quad (5.3)$$

**Preglednica 24: Obtežbe po pozicijah glede na tloris**

<i>Pozicija</i>	<i>Delitev po tlorisu</i>	<i>Lastna obtežba [kN/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Stalna obtežba [kN/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Koristna obtežba [kN/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Skupaj [kN/m<sup>2</sup>]</i>
<b>POZ 100</b>	Jedro	19,92	2,95	0,45	<b>23,32</b>
<b>POZ 200</b>	Jedro	11,77	4,15	0,45	<b>16,37</b>
	Pisarne		2,95		<b>15,17</b>
<b>POZ 300</b>	Jedro	9,81	0,25	0,90	<b>10,96</b>
	Pisarne		2,95		<b>13,66</b>
<b>POZ 400</b>	Cel tloris	11,19	2,83	0,00	<b>14,02</b>

Masa konstrukcije po etažah tako znaša:

$$\left. \begin{array}{ll} M_{100} = 588t & M_{300} = 2100t \\ M_{200} = 2429t & M_{400} = 2232t \end{array} \right\} \quad \mathbf{M_t \approx 7350t \text{ (celotna masa konstrukcije)}}$$

Sledi izračun masnega torzijskega momenta po etažah:

$$L_X = 60,0m$$

$$L_Y = 26,0m$$

$$A = L_X \cdot L_Y = 1560m^2 \quad (5.4)$$

$$I_X = \frac{L_X \cdot L_Y^3}{12} = 87880m^4 \quad (5.5)$$

$$I_Y = \frac{L_Y \cdot L_X^3}{12} = 468000m^4 \quad (5.6)$$

$$r^2 = \frac{I_X + I_Y}{A} = 356,3m^2 \quad (5.7)$$

kjer so:

$L_i$  tlorisna dimenzija etaže pravokotna na smer potresnega vpliva

$A$  površina etaže

$I_i$  vztrajnostni moment etaže okoli x oz. y osi

$r$  vztrajnostni radij etaže

Masni vztrajnostni moment po etažah je:

Pozicija	$m_i \cdot r^2$ [ $tm^2$ ]
POZ 100	209504,4
POZ 200	865452,7
POZ 300	748230,0
POZ 400	795261,6

**Slučajna ekscentričnost.** V skladu z SIST EN 1998-1: 4.3.2 je zaradi negotovosti, povezanih s položajem mas in s prostorskim spreminjanjem potresnega gibanja, pri analizi konstrukcije potrebno upoštevati slučajno ekscentričnost mase v vsaki etaži konstrukcije. To naredimo z upoštevanjem dodatnega momenta, ki lahko dobimo z določitvijo izmaknjenosti mase iz njenega središča.

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i \quad (5.8)$$

$$e_x = 0,05 \cdot L_x = 0,05 \cdot 75,6m = 3,78m$$

$$e_y = 0,05 \cdot L_y = 0,05 \cdot 27,2m = 1,36m$$

Kjer sta:

$L_i$  tlorisna dimenzija etaže pravokotna na smer potresnega vpliva

$e_{ai}$  naključna ekscentričnost mase v etaži  $i$  glede na nazivni položaj. Upošteva se v isti smeri v vseh etažah.

**Referenčna in projektna vrednost maksimalnega pospeška tal.** Mesto izgradnje objekta je Ljubljana – Moste. Referenčna vrednost maksimalnega pospeška na tleh **tipa A** ( $a_{gR}$ ) je podana s karto potresne nevarnosti Slovenije v **Nacionalnem dodatku**. Odčitana vrednost maksimalnega pospeška tal za območje Ljubljane je:

$$a_{gR} = 0,25g \quad (5.9)$$

Objekt je obravnavan kot objekt II. kategorije pomembnosti, kateremu ob upoštevanju člena **4.2.5 5(P)** ustreza vrednost faktorja  $\gamma_I = 1,0$ . Projektni pospešek tal tako znaša:

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,25g \cdot 1,0 = 0,25g \quad (5.10)$$

**Projektni spekter pospeškov.** Modalna analiza obeh modelov je opravljena ob upoštevanju projektnega spektra pospeškov, ki je definiran v členu 3.2.2.5. Upoštevano je, da so temeljna tla na območju gradnje objekta gramozna in po identifikaciji tipov tal po členu 3.1.2 in preglednici 3.2 ustrezajo tipu tal B.

Parametri, ki opisujejo priporočen elastičen spekter odziva, glede na opombi k 3.2.2.1(4) in 3.2.2.2(1) v Nacionalnem dodatku, pripadajo spektru tipa 1 in imajo sledeče vrednosti predstavljeni v preglednici 25.

**Preglednica 25: Vrednosti parametrov, ki opisujejo el. spekter odziva za tip tal A po Nacionalnem dodatku EC8**

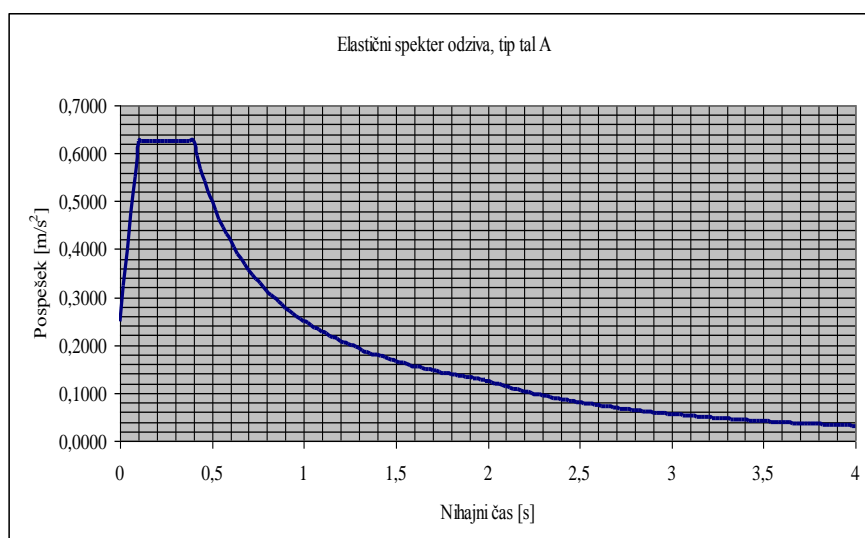
$S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
1,0	0,10	0,4	2,0

katerih pomen je:

$S$  faktor tal

$T_i$  karakteristični nihajni časi v spektru odziva

V spektru upoštevana vrednost kritičnega viskoznege dušenja je  $\xi=5\%$ . Elastični spekter pospeškov je razviden iz slike 46.



**Slika 46: Elastični spekter pospeškov za tip tal A**



**Tip konstrukcije in faktor obnašanja  $q$ .** V členu 5.2.1 standard določa, da mora projektant konstrukciji ob primerni izbiri nosilnosti zagotoviti zadostno sposobnost sipanja potresne energije. Natančneje, gre za princip, da lahko enakovredno sipanje energije zagotovimo z večjo nosilnostjo in manjšo duktilnostjo in obratno. Na tem mestu se torej lahko odločimo, ali za manj zahteven način računa in manj zahtevne konstrukcijske detajle ter ob tem zagotovimo konstrukcijskim elementom večjo nosilnost z uporabo manjšega faktorja obnašanja, ali obratno. Standard predvideva možno izbiro treh stopenj duktilnosti: nizko (DCL), srednjo (DCM) in visoko (DCH). Za področje Slovenije prideta v poštev le DCM in DCH, pri čemer so v EC8 določila za konstrukcije stopnje duktilnosti DCH (člen 5.5) znatno strožja kot za stopnjo duktilnosti DCM (EC8/1:5.4). Medtem, ko je projektiranje objektov razreda DCL primerno le za področja z nizko seizmičnostjo, kar pa glede na relativno veliko pričakovano jakost potresov vseh območij v Sloveniji ni mogoče. Konstrukcij razreda DCL v Sloveniji tako, razen v redkih primerih, ob upoštevanju relevantnih temeljnih konceptov, ne gradimo.

Faktor obnašanja smo določili v skladu s členom 5.2.2.2(1)P, kjer je faktor obnašanja definiran kot:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5 \quad (5.11)$$

kjer sta:

$q_0$  osnovna vrednost faktorja obnašanja

$k_w$  faktor, ki upošteva prevladujoč način rušenja pri konstrukcijskih sistemih s stenami

Pričakovano in na koncu tudi ugotovljeno je, da konstrukcija predstavlja **torzijsko podajen sistem**. Po napotkih je namreč torzijsko togost najlažje opredeliti z izračunom lastnega nihanja prostorskega modela (Fajfar et al., 2009). Faktor obnašanja, glede na zgoraj opredeljeno vrsto konstrukcije in odločitev za delno duktilno (DCM) zasnovo, določimo v skladu s **preglednico 5.1** v členu 5.2.2.2(2):

$$q_0 = 2,0$$

Izračun faktorja  $k_w$  temelji na členu **5.2.2.2(11)P**, ki je za torzijsko podajne sisteme določen na naslednji način:

$$\frac{(1 + \alpha_0)}{3} \leq k_w \leq 0,5 \quad (5.12)$$

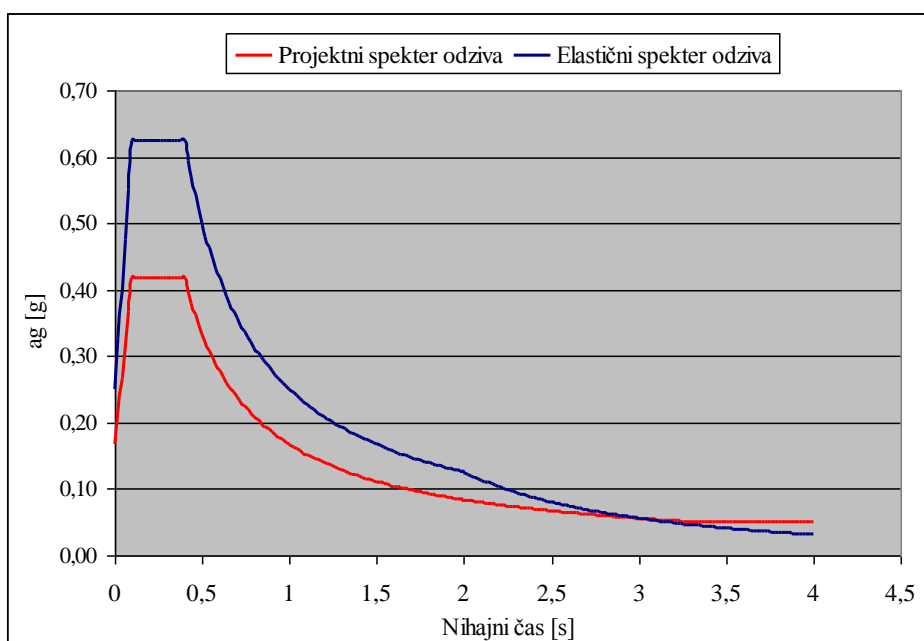
kjer je  $\alpha_0$  prevladujoče razmerje med višino in dolžino slopov.

Glede na tip konstrukcije in na dejstvo, da jedro predstavljata AB steni s prečnimi ojačitvami, je za vrednost  $k_w$  privzeta vrednost 0,5.

$$q = 2,0 \cdot 0,5 = 1,0$$

Vendar pa standard EC8 v členu **2.2.2** navaja, da v primeru konstrukcij, ki so sposobne sipati malo energije faktor obnašanja navzdol omejimo na vrednost 1,5, s čimer upoštevamo, da ima vsaka konstrukcija nekaj dodatne nosilnosti. Velja torej:

$$q = 1,5.$$



Slika 47: Projektni spekter odziva za faktor obnašanja  $q=1,5$

Faktor obnašanja  $q=1,5$  v skladu s členom **3.2.2.5** uporabimo za določitev projektne spektra pospeškov, ki je osnova za modalno analizo in določitev potresnih vplivov na konstrukcijske elemente. Projektni spekter pospeškov je rdečo črto prikazan na sliki 47.

**Vitkost konstrukcije.**  $L_{\max}$  in  $L_{\min}$  sta večja in manjša tlorisna dimenzija, merjeni v pravokotnih smereh, ki morata ustrezati naslednjemu pogoju:

$$\lambda = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} = \frac{60m}{26m} = 2,3 \leq 4,0 \quad \checkmark \quad (5.13)$$

## 5.2 *Matematični model*

Za kompleksnejše objekte, nepravilne po višini in tlorisu je, po pri nas veljavnem standardu EC8, zahtevana modalna analiza s spektri odziva, pri kateri se upošteva zmanjšan faktor obnašanja ( $q$ ).

Izraba informacijskih modelov zgradb je bila preizkušena v komercialnem programu SCIA Engineer, podjetja Nemetschek SCIA. Pri tem smo iskali način, kako ob čim manj spremembah izvornega računskega modela izdelati matematični model, ki pelje do relevantnih rezultatov modalne analize. Ker se program SCIA Engineer pri izvedbi modalne analize ni izkazal za najbolj praktičnega, smo primerjalno modalno analizo izvedli še na »ročno« izdelanih modelih v komercialnem programu ETABS, podjetja CSI, ki je že dobro uveljavljen v vsakdanji praksi. Za oceno ustreznosti uporabe informacijskega modela zgradbe v SCIA Engineer, smo dobljene rezultate opravljenih modalnih analiz na koncu med seboj primerjali.

**Izdelava matematičnega modela.** Za izvedbo modalne analize je potrebno izdelati matematični model, ki kar najbolje opiše obnašanje modela med potresom. Za najboljše se izkažejo najenostavnejši modeli (Kreslin, Dolšek, Fajfar, 2006). Njegova izdelava temelji na določenih standarda EC8, ki predvideva simulacijo obnašanja odziva konstrukcije pri močnih potresih. Posebnost modela je, da model ni enoličen, ampak je prilagojen do te mere, da objekt kar čim boljše opiše obnašanje objekta ob delovanju dinamične obtežbe. Z drugimi besedami, matematični model v večini primerov ni enak analitičnemu modelu konstrukcije. Zavedati se je potrebno, da je dinamična analiza po navadi iteracijski proces, v katerem je pogosto potrebno izdelati več matematičnih modelov ter jih med seboj primerjati. V sled temu, smo v tem poglavju preverili, v kolikšni meri, in če sploh, informacijski modeli zgradb pripomorejo k enostavnejši izdelavi uporabnega matematičnega modela.

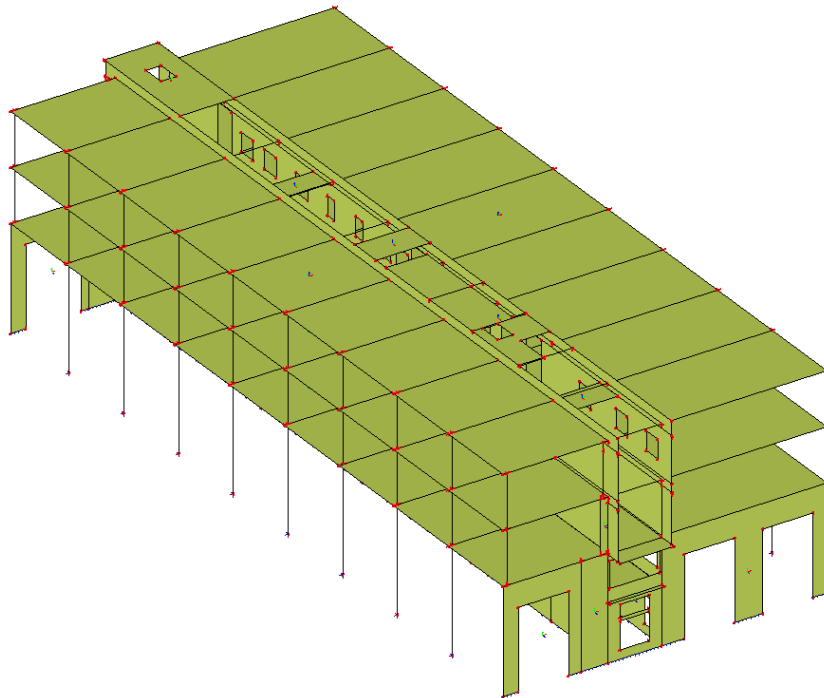
### 5.2.1 *SCIA Engineer*

V SCIA Engineer sta bila izdelana dva matematična modela (S-1 in S-2). Za prvega je značilno, da se geometrijsko ne razlikuje od računskega modela izdelanega z uvozom

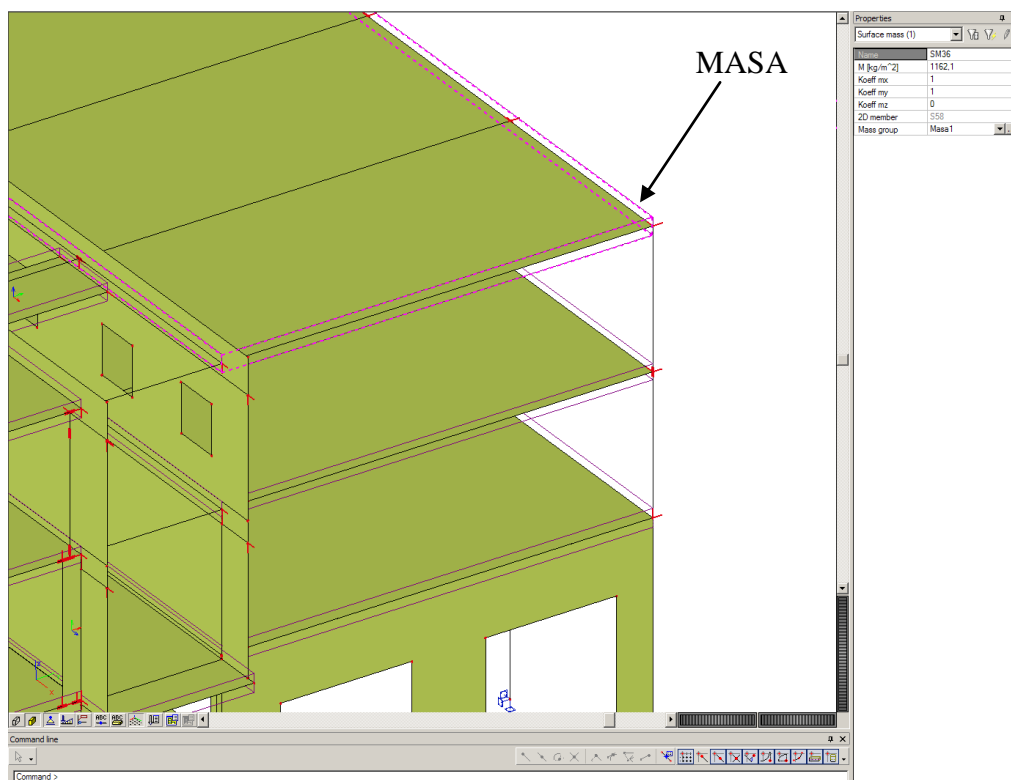
informacijskega modela zgradbe. Drugi model (S-2) je izdelan na klasičen način – »ročno«. Smatramo, da je to potrebno za podajanje ocene uporabnosti preko uvoza informacijskega modela zgradbe. Etaže niso definirane kot toge, saj SCIA Engineer tega ne omogoča (v ETABS-u je to rešeno s predpostavko diafragem).

Postopek določanja potresnih vplivov je podoben za oba modela. Zagotovitev upoštevanja razpokanosti prereзов po priporočilu **EC8/1:4.3.1(7)** je bila izvedena samo na linijskih elementih, medtem ko stenam in ploščam elastične upogibne togosti nismo uspeli zmanjšati. V obeh primerih smo določili projektni spekter pospeškov, določen v poglavju 5.1.2. Mase, dobljene samodejno na podlagi obtežb (Lastna, Stalna in Koristna), smo skoncentrirali v nivoje etaž (4 etaže). Pri tem je bila lastna obtežba na konstrukcijo določena »ročno« z določitvijo ploskovne obtežbe (prikazano v poglavju 5.1.2) - samodejno upoštevanje vpliva bi povzročilo prisotnost mase po vseh elementih konstrukcije. Upoštevali smo tudi nesodelovanje mase v smeri Z (Slika 49).

**Model S-1.** Model S-1 je enak računskemu modelu iz poglavja 7.2 (slika 48). Kot smo že omenili, smo linijskim elementom prepolovili elastično upogibno in strižno togost. Masa je določena na podlagi omenjenih obtežb z uporabo funkcije »**Create masses from load case**«. Za maso »Mass1« je na sliki 49 lepo vidna razporeditev po etažah. Določene so tako, da sodelujejo samo v smereh X in Y, kar je vidno tudi zgoraj desno na sliki 49. Razen pridobljene geometrije računskega modela, pa še to z dodatno obdelavo, informacijski model ni omogočal nikakršnih drugih informacij, ki bi olajšale oz. avtomatizirale izdelavo matematičnega modela.

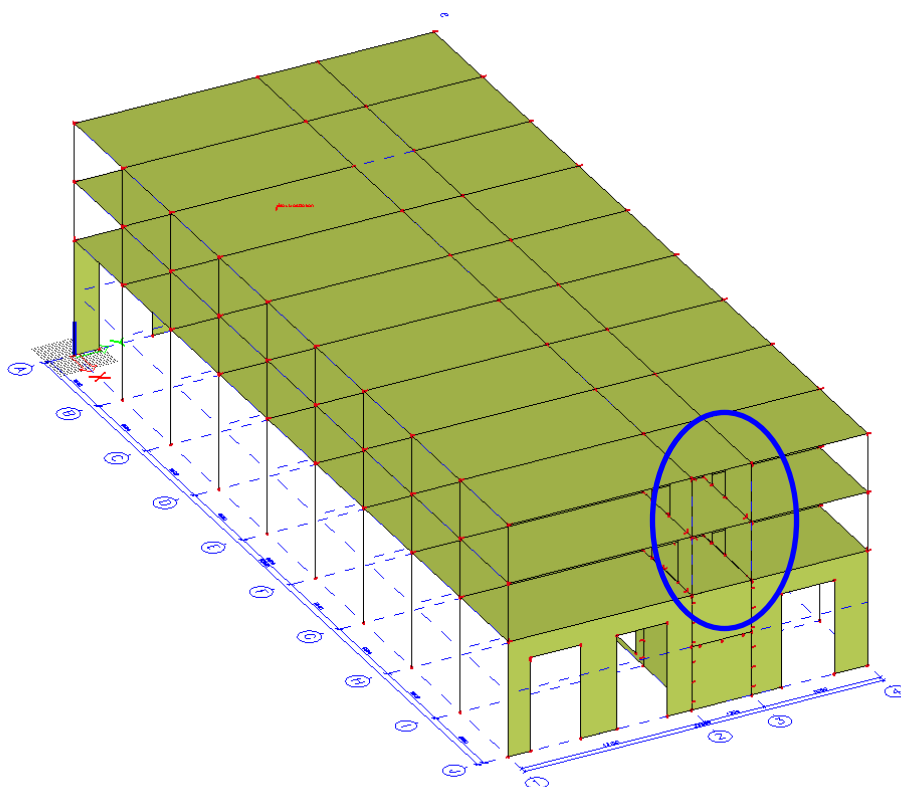


Slika 48: Model S-1 v programu SCIA Engineer



Slika 49: Postavitev mas po etažah in njihova definicija

**Model S-2.** Predstavlja drugačen pristop. S tem modelom ugotavljamo, do kakšne razlike pride, če model izdelamo ročno z enostavnejšo geometrijo (Slika 50). V programu je najprej izdelana mreža, ki določa osi in točke stikovanj. Elementi uporabljeni za dimenzioniranje so enaki, kot pri modelu S1, generiranem z uvozom informacijskega modela. Prvo razliko smo naredili pri modeliranju plošč, ki v tem primeru nimajo odprtin, pozicijsko pa so postavljene na približno enaka mesta kot v modelu S-1. Druga razlika se nanaša na stene jedrain plošče, ki tokrat ne gredo preko dimenzij zgradbe, ki jih določata dela zgradbe med osmi A in B ter C in D. Poenotena je tudi višina strešne plošče – streha nad jedrom je spuščena za 0,90m in je s tem izenačena z nivojem strehe nad pisarniškimi deli. Vplivi na konstrukcijo so podani na enak način, kot smo to storili za model S-1.

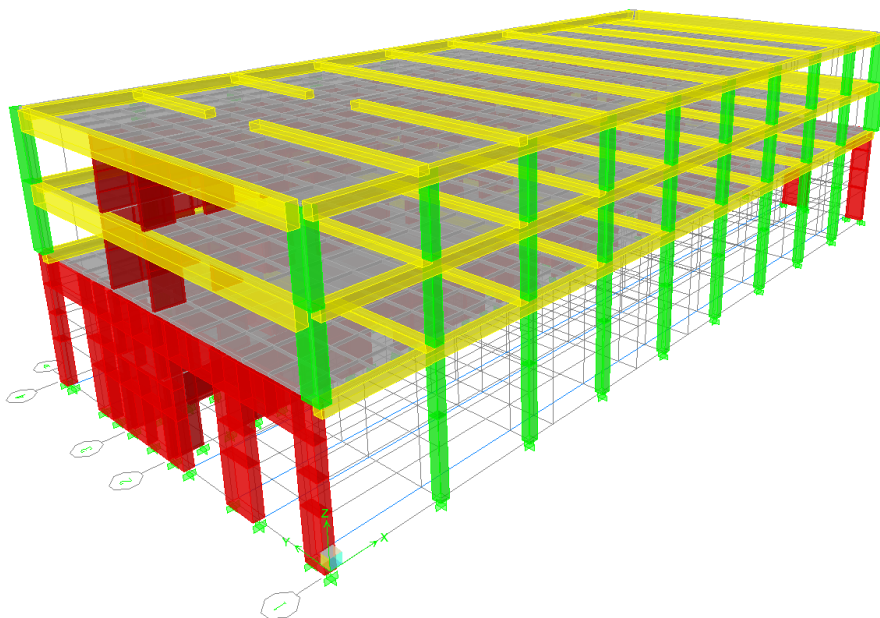


**Slika 50: Model S-2 v programu SCIA Engineer**

## 5.2.2 ETABS

Za oceno rezultatov modalne analize v programu SCIA Engineer smo izvedli modalno analizo še v programu ETABS. Za primerjavo rezultatov smo izdelali tri modele, poimenovane E-1, E-2 in E-3, ki temeljijo na različnih zasnovah in predpostavkah matematičnega modela. Vsi modeli so bili »ročno« izdelani v samem programskem orodju. Zadnji, tretji model, je bil izdelan predvsem za kontrolo, kakšen je vpliv na odziv konstrukcije, če pri stenah in ploščah ne predpostavimo razpakanosti prereza.

**Model E-1.** Model je zasnovan s kombinacijo površinskih (*angl.* area) in linijskih (*angl.* line) elementov (Slika 51). Pri določitvi elementov je upoštevana razpakanost prerezov. Posebnost prvega modela je, da so plošče določene kot elementi tipa »plate«, ki zagotavljajo togost za upogib izven svoje ravnine. Obtežba je določena v skladu s poglavjem pet, prav tako projektni spekter pospeškov. Odprtine so definirane z ustreznim oblikovanjem končnih elementov. Masa je določena iz obtežnih primerov in je porazdeljena po etažah (štiri etaže). Definirane so tudi toge diafragme, ki na nivojih etaž povezujejo vse elemente.



Slika 51: Matematični model (E-1, E-2 in E-3) so zasnovani s ploskovnimi in linijskimi elementi



**Model E-2.** Drugi model se od prvega razlikuje zgolj v eni stvari. To je tip elementa plošče, ki je tokrat tipa »membrane« in v nasprotju z elementom tipa »plate« zagotavlja togost le v ravnini plošče.

**Model E-3.** Model je zasnovan enako kot model E-1. Od njega se razlikuje v tem, da pri stenah in ploščah ni upoštevana razpokanost prerezov. Pomemben je predvsem za primerjavo z modeloma S-1 in S-2, saj jima razpokanosti prerezov sten in plošč nismo uspeli določiti.

### ***5.3 Modalna analiza konstrukcije***

V tem poglavju bomo podali rezultate modalne analize za vse izdelane modele in jih med sabo primerjali. Uporabljeni programski orodji se bistveno razlikujeta pri načinu obravnave podanega modela. V SCIA Engineer tako npr. ni mogoče definirati diafragme (v ETABS-u so te definirane kot toge na nivojih etaž), zaradi česar gre pričakovati nekoliko večji raztros rezultatov (elementi v teh ravninah nimajo nujno enakih pomikov) oz. večje število nihajnih oblik. Na koncu pa podali mnenje o uporabnosti takega načina dela.

#### ***5.3.1 Rezultati***

**Nihajne oblike, nihajni časi in sodelujoče mase.** Dober pokazatelj odziva konstrukcije so nihajni časi in pripadajoča masa, ki pri določeni nihajni obliki sodeluje. V naslednjih tabelah so predstavljeni rezultati za relevantne oblike. V programu ETABS je število nihajnih oblik trikratnik števila etaž, kar pomeni 12 nihajnih oblik. V SCIA Engineer je situacija drugačna. Izpis rezultatov je razširjen na podatke za prvih 70 nihajnih oblik.

## Model S-1

Preglednica 26: Nihajni časi in sodelujoče mase za model S-1

Nihajna oblika	Nihajni čas [s]	Masa X [%]	Masa Y [%]	Skupaj X [%]	Skupaj Y [%]	Masa R <sub>z</sub> [%]	Skupaj Rz [%]
1	0,37	0,00	0,57	0,00	0,57	0,00	0,00
2	0,29	0,02	0,00	0,02	0,57	0,00	0,00
3	0,15	0,00	0,34	0,02	0,91	0,00	0,00
4	0,12	0,78	0,00	0,80	0,91	0,00	0,00
5	0,11	0,12	0,00	0,91	0,91	0,00	0,00
6	0,07	0,00	0,00	0,91	0,91	0,00	0,00
7	0,06	0,00	0,01	0,91	0,92	0,00	0,00
8	0,06	0,00	0,01	0,92	0,93	0,00	0,00
9	0,06	0,00	0,02	0,92	0,95	0,00	0,00
10	0,05	0,02	0,00	0,94	0,95	0,00	0,00
11	0,05	0,01	0,00	0,95	0,95	0,00	0,00
12	0,04	0,00	0,01	0,95	0,96	0,00	0,00
13	0,04	0,00	0,00	0,95	0,96	0,00	0,00
14	0,04	0,00	0,00	0,95	0,96	0,00	0,00
15	0,04	0,01	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
16	0,04	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
17	0,04	0,00	0,00	0,96	0,96	0,00	0,00
18	0,03	0,00	0,01	0,96	0,97	0,00	0,00
19	0,03	0,00	0,00	0,96	0,97	0,00	0,00
20	0,03	0,00	0,00	0,96	0,97	0,00	0,00
21	0,03	0,00	0,00	0,96	0,97	0,00	0,00
22	0,03	0,00	0,01	0,96	0,99	0,00	0,00
23	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
24	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
25	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
26	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
27	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
28	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
29	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
30	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
31	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
32	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
33	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
34	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
35	0,03	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
36	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
37	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
38	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
39	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
40	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
41	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
42	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
43	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
44	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
45	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
46	0,02	0,00	0,00	0,96	0,99	0,00	0,00
47	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
48	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
49	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
50	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
51	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
52	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
53	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
54	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
55	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
56	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
57	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
58	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
59	0,02	0,00	0,00	0,97	0,99	0,00	0,01
60	0,02	0,00	0,00	0,98	0,99	0,00	0,01
61	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
62	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
63	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
64	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
65	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
66	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
67	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
68	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
69	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01
70	0,02	0,00	0,00	0,98	1,00	0,00	0,01

## Model S-2

Preglednica 27: Nihajni časi in sodelujoče mase za model S-2

Nihajna oblika	Nihajni čas [s]	Masa X [%]	Masa Y [%]	Skupaj X [%]	Skupaj Y [%]	Masa R <sub>z</sub> [%]	Skupaj Rz [%]
1	0,44	0,00	0,47	0,00	0,47	0,00	0,00
2	0,35	0,01	0,00	0,01	0,47	0,00	0,00
3	0,15	0,01	0,41	0,02	0,88	0,03	0,03
4	0,13	0,84	0,01	0,86	0,88	0,01	0,05
5	0,12	0,04	0,00	0,90	0,88	0,01	0,06
6	0,09	0,00	0,00	0,90	0,88	0,01	0,07
7	0,08	0,00	0,00	0,90	0,88	0,09	0,16
8	0,08	0,00	0,00	0,90	0,88	0,00	0,16
9	0,08	0,00	0,00	0,90	0,88	0,00	0,16
10	0,08	0,00	0,00	0,90	0,88	0,02	0,18
11	0,07	0,00	0,00	0,90	0,88	0,00	0,19
12	0,07	0,00	0,00	0,90	0,88	0,01	0,20
13	0,07	0,00	0,00	0,90	0,88	0,00	0,20
14	0,07	0,00	0,00	0,90	0,89	0,00	0,20
15	0,07	0,00	0,00	0,90	0,89	0,01	0,21
16	0,07	0,00	0,00	0,90	0,89	0,01	0,22
17	0,07	0,00	0,00	0,90	0,89	0,00	0,22
18	0,06	0,00	0,01	0,90	0,90	0,00	0,22
19	0,06	0,00	0,01	0,91	0,91	0,00	0,22
20	0,06	0,00	0,00	0,91	0,91	0,00	0,22
21	0,06	0,00	0,01	0,91	0,92	0,00	0,22
22	0,06	0,00	0,00	0,91	0,92	0,00	0,22
23	0,06	0,02	0,00	0,93	0,92	0,00	0,22
24	0,06	0,02	0,00	0,95	0,92	0,00	0,22
25	0,06	0,00	0,00	0,96	0,92	0,00	0,22
26	0,06	0,00	0,00	0,96	0,92	0,00	0,22
27	0,06	0,00	0,00	0,96	0,93	0,00	0,22
28	0,06	0,00	0,01	0,96	0,93	0,00	0,23
29	0,05	0,00	0,00	0,96	0,93	0,00	0,23
30	0,05	0,00	0,00	0,96	0,93	0,00	0,23
31	0,05	0,00	0,00	0,96	0,93	0,02	0,24
32	0,05	0,00	0,00	0,96	0,93	0,00	0,24
33	0,05	0,00	0,00	0,96	0,94	0,00	0,24
34	0,05	0,00	0,00	0,96	0,94	0,02	0,26
35	0,05	0,00	0,00	0,96	0,94	0,00	0,26
36	0,05	0,00	0,00	0,96	0,94	0,00	0,26
37	0,05	0,00	0,00	0,96	0,94	0,01	0,27
38	0,05	0,01	0,01	0,96	0,95	0,01	0,29
39	0,05	0,00	0,00	0,96	0,95	0,00	0,29
40	0,05	0,00	0,00	0,96	0,95	0,00	0,29
41	0,05	0,00	0,00	0,96	0,95	0,03	0,31
42	0,05	0,00	0,02	0,97	0,97	0,00	0,32
43	0,04	0,00	0,00	0,97	0,98	0,00	0,32
44	0,04	0,00	0,00	0,97	0,98	0,00	0,32
45	0,04	0,00	0,00	0,97	0,98	0,00	0,32
46	0,04	0,00	0,00	0,97	0,98	0,00	0,32
47	0,04	0,01	0,00	0,97	0,98	0,03	0,35
48	0,04	0,00	0,00	0,97	0,98	0,01	0,36
49	0,04	0,00	0,00	0,97	0,98	0,00	0,36
50	0,04	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,36
51	0,04	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,36
52	0,04	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,36
53	0,04	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,36
54	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,01	0,37
55	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
56	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
57	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
58	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
59	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
60	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
61	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
62	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
63	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
64	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
65	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
66	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
67	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
68	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
69	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37
70	0,03	0,00	0,00	0,98	0,98	0,00	0,37

**Model E-1****Preglednica 28; Nihajni časi in sodelujoče mase za model E-1**

Nihajna oblika	Nihajni čas [s]	Masa X [%]	Masa Y [%]	Skupaj X [%]	Skupaj Y [%]	Masa R <sub>z</sub> [%]	Skupaj R <sub>z</sub> [%]
1	0,50	<b>0,00</b>	<b>47,10</b>	0,00	47,10	<b>0,13</b>	0,13
2	0,36	<b>1,31</b>	<b>0,11</b>	1,31	47,21	<b>51,08</b>	51,21
3	0,17	<b>1,61</b>	<b>41,66</b>	2,92	88,87	<b>0,10</b>	51,31
4	0,16	<b>86,14</b>	<b>0,80</b>	89,06	89,67	<b>0,13</b>	51,44
5	0,13	<b>0,59</b>	<b>0,02</b>	89,64	89,69	<b>31,72</b>	83,16
6	0,07	<b>0,62</b>	<b>6,12</b>	90,27	95,81	<b>4,59</b>	87,76
7	0,06	3,71	2,34	93,98	98,15	<b>3,88</b>	91,64
8	0,06	3,85	0,37	97,83	98,52	7,05	98,69
9	0,04	0,69	0,00	98,53	98,52	0,09	98,78
10	0,02	0,00	1,48	98,53	100,00	0,01	98,79
11	0,02	1,47	0,00	100,00	100,00	0,03	98,82
12	0,01	0,00	0,00	100,00	100,00	1,18	100,00

**Model E-2****Preglednica 29; Nihajni časi in sodelujoče mase za model E-2**

Nihajna oblika	Nihajni čas [s]	Masa X [%]	Masa Y [%]	Skupaj X [%]	Skupaj Y [%]	Masa R <sub>z</sub> [%]	Skupaj R <sub>z</sub> [%]
1	0,57	<b>0,00</b>	<b>43,48</b>	0,00	43,48	<b>0,07</b>	0,07
2	0,37	<b>1,27</b>	<b>0,04</b>	1,27	43,52	<b>49,56</b>	49,62
3	0,17	<b>0,49</b>	<b>45,65</b>	1,76	89,17	<b>0,08</b>	49,71
4	0,16	<b>87,16</b>	<b>0,27</b>	88,91	89,44	<b>0,07</b>	49,77
5	0,13	<b>0,81</b>	<b>0,02</b>	89,73	89,46	<b>33,13</b>	82,91
6	0,07	<b>0,56</b>	<b>6,54</b>	90,29	96,00	<b>4,37</b>	87,27
7	0,06	3,30	2,28	93,59	98,27	<b>4,91</b>	92,18
8	0,06	4,27	0,26	97,86	98,53	6,53	98,71
9	0,04	0,68	0,00	98,54	98,53	0,09	98,80
10	0,02	0,00	1,47	98,54	100,00	0,01	98,81
11	0,02	1,46	0,00	100,00	100,00	0,02	98,83
12	0,01	0,00	0,00	100,00	100,00	1,17	100,00

## Model E-3

Preglednica 30: Nihajni časi in sodelujoče mase za model E-3

Nihajna oblika	Nihajni čas [s]	Masa X [%]	Masa Y [%]	Skupaj X [%]	Skupaj Y [%]	Masa R <sub>z</sub> [%]	Skupaj R <sub>z</sub> [%]
1	0,41	0,00	43,01	0,00	43,01	0,12	0,12
2	0,29	1,07	0,08	1,08	43,09	46,47	46,59
3	0,12	0,37	45,96	1,45	89,06	0,06	46,65
4	0,12	85,72	0,21	87,17	89,27	0,06	46,70
5	0,10	2,40	0,01	89,57	89,27	35,12	81,83
6	0,05	0,62	6,15	90,19	95,43	5,67	87,50
7	0,05	3,04	2,79	93,22	98,21	4,99	92,49
8	0,04	4,60	0,30	97,82	98,51	6,20	98,69
9	0,03	0,70	0,00	98,52	98,51	0,09	98,78
10	0,01	0,00	1,48	98,52	100,00	0,01	98,79
11	0,01	1,47	0,00	100,00	100,00	0,03	98,82
12	0,01	0,00	0,00	100,00	100,00	1,18	100,00

**Etažne prečne sile.** V preglednicah od 31 do 35 so prikazane etažne prečne sile za analizirane modele. Rezultati so najprej predstavljeni za neodvisno vzbujanje v X in Y smer, nato pa še za SRSS način kombinacije (en. 5.1) učinkov zaradi potresnih sil v X in Y smeri.

$$E_E = \sqrt{E_{Ex}^2 + E_{Ey}^2 (+E_{Ez}^2)} \quad (5.14)$$

Celotne prečne potresne sile za vsako smer vzbujanja posebej so dobljene z CQC kombinacijo vplivov vseh nihajnih oblik (en. 5.2)

$$E_E = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \varphi_{ij} \cdot E_{Ei} \cdot E_{Ej}} \quad (5.15)$$

V naslednjih treh tabelah so predstavljeni rezultati etažnih prečnih sil dobljeni v programu ETABS.

**Preglednica 31: Etažne prečne sile za model E-1 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva**

E-1	Etaža	X smer		Y smer	
		F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]
	1	25559	1007	1007	16656
	3	18526	564	753	11998
	4	10955	185	527	8898
E-1	Etaža	SRSS			
		F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]
	1	25560	5097	7733	16659
	3	18527	3643	5608	11999
	4	10957	2676	3329	8898

**Preglednica 32: Etažne prečne sile za model E-2 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva**

E-2	Etaža	X smer		Y smer	
		F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]
	1	25543	1059	1059	16219
	3	18500	593	793	11071
	4	10905	134	535	7611
E-2	Etaža	SRSS			
		F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]
	1	25545	4980	7736	16222
	3	18501	3374	5606	11073
	4	10906	2287	3315	7611

**Preglednica 33: Etažne prečne sile za model E-3 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva**

E-3	Etaža	X smer		Y smer	
		F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]
	1	25240	996	996	18324
	3	18325	564	750	13690
	4	10747	147	505	10405
E-3	Etaža	SRSS			
		F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]
	1	25240	5587	7637	18327
	3	18325	4146	5548	13691
	4	10749	3125	3264	10405

SCIA Engineer je z rezultati nekoliko bolj skopa, kot program ETABS. Iz tega razloga so rezultati nekoliko bolj skopi. Za primerjavo podatkov nam je uspelo priti zgolj do skupne potresne sile na mestu vpetja. Rezultati so predstavljeni v preglednicah 34 in 35.

**Preglednica 34: Etažne prečne sile za model S-1 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva**

<b>S-1</b>	<b>Etaža</b>	<b>X smer</b>		<b>Y smer</b>	
		Fx [kN]	Fy [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]
	<b>1</b>	22118	182	182	18650
	<b>Etaža</b>	<b>SRSS</b>			
		Fx [kN]	Fy [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]
	<b>1</b>	22097	5629	6567	18659

**Preglednica 35: Etažne prečne sile za model S-2 pri posamičnih smereh vzbujanja in oba načina kombinacije učinkov komponent potresnega vpliva**

<b>S-2</b>	<b>Etaža</b>	<b>X smer</b>		<b>Y smer</b>	
		Fx [kN]	Fy [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]
	<b>1</b>	25592	2669	2669	17841
	<b>Etaža</b>	<b>SRSS</b>			
		Fx [kN]	Fy [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]
	<b>1</b>	26183	4653	9800	17459

**Kontrola celotne prečne sile.** Zaradi možnosti napak je potrebno kontrolirati celotno prečno silo. To naredimo tako, da ocenimo spodnjo in zgornjo mejo prečne sile (Fajfar et al., 2009).

Spodnjo mejo celotne prečne sile  $F_{b,\min}$  v določeno smer (X ali Y) določimo kot produkt efektivne mase  $m_{\text{eff},i}$ , ki sodeluje pri prevladujoči nihajni obliki ter pripadajoče vrednosti v spektru pospeškov  $S_d(T_i)$ . Zgornjo mejo za celotno prečno silo  $F_{b,\max}$  določimo tako, da predpostavimo sodelovanje celotne mase konstrukcije  $m_t$  pri prvi nihajni obliki.

$$F_{b,\min} = F_{b,1} = m_{\text{eff},1} \cdot S_d(T_1) \quad (5.17)$$

$$F_{b,\max} = F_{b,1} = m_t \cdot S_d(T_1) \quad (5.18)$$

$$m_t = 7350t$$

$$m_{eff,1} = m_{eff,1} [\%] \cdot m_t \quad (5.16)$$

Izračun za celotno prečno silo je podan v spodnjih obrazcih. Če je celotna potresna sila v obeh smereh pade znotraj mej, kaže na to, da so naši izračuni pravilni. V primeru S-1 je celotna prečna sila v smeri x manjša od spodnje meje, kar daje dvom o pravilnosti modela.

<p><b>Model E-1</b></p> <p><b><u>Spodnja meja</u></b></p> <p>Smer X:</p> $S_d(T_1) = S_d(0,16) = 0,417 g$ $m_{eff,1} = m_{eff,1} [\%] \cdot m_t = 0,86 \cdot 7350t = 6321t$ $F_{b,min}^X = 6321t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 25858kN$ <p>Smer Y:</p> $S_d(T_1) = S_d(0,50) = 0,333 g$ $m_{eff,1} = 0,47 \cdot 7350t = 3455t$ $F_{b,min}^Y = 3455t \cdot 0,333 \cdot 9,81m/s^2 = 11287kN$ <p><b><u>Zgornja meja</u></b></p> <p><b><u>Smer X:</u></b></p> $F_{b,max}^X = 7350 \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 30067kN$ <p><b><u>Smer Y:</u></b></p> $F_{b,max}^Y = 7350t \cdot 0,333 \cdot 9,81m/s^2 = 24010kN$	<p><b>Model E-2</b></p> <p><b><u>Spodnja meja</u></b></p> <p>Smer X:</p> $S_d(T_1) = S_d(0,16) = 0,417 g$ $m_{eff,1} = m_{eff,1} [\%] \cdot m_t = 0,87 \cdot 7350t = 6395t$ $F_{b,min}^X = 6395t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 26160kN$ <p>Smer Y:</p> $S_d(T_1) = S_d(0,57) = 0,292 g$ $m_{eff,1} = 0,44 \cdot 7350t = 3234t$ $F_{b,min}^Y = 3234t \cdot 0,292 \cdot 9,81m/s^2 = 9264kN$ <p><b><u>Zgornja meja</u></b></p> <p><b><u>Smer X:</u></b></p> $F_{b,max}^X = 7350 \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 30067kN$ <p><b><u>Smer Y:</u></b></p> $F_{b,max}^Y = 7350t \cdot 0,292 \cdot 9,81m/s^2 = 21054kN$
<p><b>Model E-3</b></p> <p><b><u>Spodnja meja</u></b></p> <p>Smer X:</p> $S_d(T_1) = S_d(0,12) = 0,417 g$ $m_{eff,1} = m_{eff,1} [\%] \cdot m_t = 0,86 \cdot 7350t = 6321t$ $F_{b,min}^X = 6321t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 25858kN$ <p>Smer Y:</p> $S_d(T_1) = S_d(0,41) = 0,417 g$	$m_{eff,1} = 0,57 \cdot 7350t = 4190t$ $F_{b,min}^Y = 4190t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 17140kN$ <p><b><u>Zgornja meja</u></b></p> <p><b><u>Smer X:</u></b></p> $F_{b,max}^X = 7350 \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 30067kN$ <p><b><u>Smer Y:</u></b></p> $F_{b,max}^Y = 7350t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 30067kN$



<b>Model S-1</b>	<b>Model S-2</b>
<b><u>Spodnja meja</u></b>	<b><u>Spodnja meja</u></b>
Smer X:	Smer X:
$S_d(T_1) = S_d(0,12) = 0,417g$	$S_d(T_1) = S_d(0,13) = 0,417g$
$m_{eff,1} = m_{eff,1}[\%] \cdot m_t = 0,78 \cdot 7000t = 5460t$	$m_{eff,1} = m_{eff,1}[\%] \cdot m_t = 0,84 \cdot 7350t = 6174t$
$F_{b,min}^X = 5460t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 22336kN$	$F_{b,min}^X = 6174t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 25256kN$
Smer Y:	Smer Y:
$S_d(T_1) = S_d(0,37) = 0,417g$	$S_d(T_1) = S_d(0,37) = 0,417g$
$m_{eff,1} = 0,57 \cdot 7000t = 3990t$	$m_{eff,1} = 0,47 \cdot 7350t = 3455t$
$F_{b,min}^Y = 3990t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 16322kN$	$F_{b,min}^Y = 3455t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 14134kN$
<b><u>Zgornja meja</u></b>	<b><u>Zgornja meja</u></b>
Smer X:	Smer X:
$F_{b,max}^X = 7000 \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 28635kN$	$F_{b,max}^X = 7350 \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 30067kN$
Smer Y:	Smer Y:
$F_{b,max}^Y = 7000t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 28635kN$	$F_{b,max}^Y = 7350t \cdot 0,417 \cdot 9,81m/s^2 = 30067kN$

### 5.3.2 Primerjava rezultatov

Primerjava rezultatov etažnih prečnih sil z izračunanimi pripadajočimi mejami celotne potresne sile pokaže, da je v primeru glavnega vzbujanja v X smeri celotna potresna sila blizu spodnje meje. Masa konstrukcije, uporabljena pri izračunu mej ne predstavlja točne vrednosti za določeno konstrukcijo, ampak izračunano maso v poglavju 5.1.2.

V nadaljevanju je izračunan tudi delež, ki ga celotna potresna sila predstavlja v primerjavi s celotno težo konstrukcije. Podatki za vse modele so zbrani v preglednici 36.

Preglednica 36: Delež celotne potresne sile glede na celotno maso konstrukcije

Model	Delež celotne potresne sile [%]	
	X smer	Y smer
S-1	32	27
S-2	38	25
E-1	37	24
E-2	37	24
E-3	37	27

Preglednica 37 prikazuje prevladujoče nihajne oblike za vse smeri nihanja (2 translacijski in torzijsko) ter pripadajoče sodelujoče mase za vse analizirane modele.

Preglednica 37: Primerjava nihajnih časov in sodelujočih mas za glavne oblike v vseh smereh

Program	Model	Glavna translacijska		Glavna translacijska		Glavna torzijska nihajna oblika Rz	
		Nihajni čas [s]	Ef. Masa [%]	Nihajni čas [s]	Ef. Masa [%]	Nihajni čas [s]	Ef. Masa [%]
SCIA Engineer	S-1	0,12	78	0,37	57	-	-
	S-2	0,13	84	0,44	47	0,08	9
ETABS	E-1	0,16	86	0,50	47	0,36	51
	E-2	0,16	87	0,57	44	0,37	50
	E-3	0,12	86	0,41	43	0,29	46

Primerjava rezultatov kaže na odstopanje modela S-1 pridobljenega z uvozom informacijskega modela zgradbe. Zlasti zanimivo v je torzijsko obnašanje modela S-1, pri katerem se ne aktivira nič mase. Translacija v smeri X je z nihajnim časom 0,12s in sodelujočo maso 78% nekoliko podobna kot pri ročno izdelanem modelu S-2, medtem ko se translacijski obliki v Y smeri v obeh karakteristikah precej razlikujeta. Model S-2 je geometrijsko poenostavljen in geometrijsko enak modeloma izdelanima v ETABS-u. Dobljeni rezultati so, kar se tiče translacijskih oblik, zelo blizu rezultatom modelov E-1 in E-2. Nikakor pa to ne velja za torzijsko nihajno obliko, ki si s prej omenjenim modeloma ne pride niti blizu. Vzrok za takšno razliko glede torzijskega obnašanja konstrukcije med modeloma S-1 in S-2

ter E-1 in E-2 je vprašljiv. Dodatna stvar, ki je ob primerjavi opažena je, da imata modela S-1 in S-2 pri primerjavi nihajnih časov te nekoliko manjše. To kaže na nekoliko večjo togost konstrukcije, kar je posledica ne-določitve razpokanosti prerezov za stene in plošče. To je dobro vidno ob primerjavi z rezultati modela E-3.

Za modela S-1 in S-2 iz rezultatov sklepam, da je prevladujoča oblika translacijska v Y smeri, saj je nihajni čas več kot enkrat večji kot v X smeri. Pri modelih E-1 in E-2 je drugače. Prevladuje sicer translacija v Y smeri, vendar zaradi druge nihajne oblike, ki je torzijska, sklenemo, da konstrukcija ni torzijsko toga.

**Ustreznost informacijskega modela zgradbe.** Programsko orodje SCIA Engineer se ni izkazalo za najprimernejše za izvedbo potresne analize, čemur pritrjuje tudi dejstvo, da bo prihodnja verzija orodja - SCIA Engineer 2010 vsebovala integriran vmesnik za povezavo s programom ETABS, s čimer nakazujejo, da področje potresne analize odstopajo drugim. Kljub nekaterim (ne)zmožnostim programa SCIA Engineer se iz medsebojne primerjave modelov S-1 in S-2 kaže dokaj različen odziv na enak potresni vpliv. Pomembno pri tem je, da so rezultati modela S-2 bližji rezultatom primerljivih matematičnih modelov v ETABS-u. Iz tega sklepamo, da uporaba matematičnega modela, pridobljenega iz informacijskega sistema zgradb ob minimalnih dopolnitvah, ni primerna.

Model bi bilo potrebno bolj približati ročno izdelanemu modelu. Šele v tem primeru in pa seveda ob uporabi dostojnejšega programa za potresno analizo bi se lahko nadejali ustrežnejših rezultatov. Tu se postavi vprašanje smiselnosti interoperabilnosti in so-uporabe arhitekturnega modela kot osnove. Problem se pojavi v arhitekturnih detajlih, kot so odprtine, parapeti, balkoni ipd. Kompleksnejša je torej arhitekturna zasnova, več dela nam predstavlja popravljanje take geometrije za pripravo ustreznega matematičnega modela za potresno analizo. Za masivne zgradbe enostavnejših oblik in za okvirne konstrukcije je tak pristop bolj smiseln.

Glede na to, da se razvoj nadaljuje, bodo tudi programi in medsebojne povezave postajale vse boljše in zmogljivejše. Tako Pazlar (2008) v svoji disertaciji npr. že poda primer avtomatskega prirejanja geometrije in nekaterih informacij za namen računske analize, s

čimer se poleg samega uvoza geometrije konstrukcijskega sistema že kaže dodatna možnost na področju izrabe informacij, ki bodo v prihodnosti lahko pripisane informacijskim modelom (npr. projektni pospešek temeljnih tal, vetrna cona, snežna cona, koristne obtežbe, itd.).

## 6 ZAKLJUČEK

Glavni cilj te naloge je bil preizkusiti in ovrednotiti možnosti interoperabilnosti v procesu gradbene analize objektov. Ob vseh predstavljenih možnostih zagotavljanja interoperabilnosti je kmalu postalo jasno, da smo ob uporabi zgolj komercialnih programskih orodij z možnostmi dokaj omejeni. Vendar je to kar razumljivo, saj je gradbeništvo kompleksno in obsežno področje, na katerem nenadnih premikov skorajda ne more biti.

Srž naloge je bil, v okviru programskih orodij Allplan, SCIA Engineer ter ETABS, preizkusiti možnosti interoperabilnosti med CAD in CAE programskimi orodji ter oceniti uporabnost informacijskega modela zgradbe, kot načina zagotavljanja interoperabilnosti, za potresno analizo izbranega objekta.

Pri preučevanju načinov interoperabilnosti smo se osredotočili na IFC model zgradbe in na aplikacijsko specifične vmesnike, ki so lastni določenim programskim paketom. Vse operacije smo vršili na podlagi arhitekturnega modela izdelanega v programu Allplan. V okviru IFC nas je zanimala oblika izvoza arhitekturnega modela ter na drugi strani uvoz v programa za računsko analizo konstrukcij (ETABS in SCIA Engineer). Kot je v svoji doktorski disertaciji zapisal že Pazlar (2008), smo tudi mi opazili, da so IFC vmesniki še dokaj v povojih, vsaj kar se tiče širine, ki jo specifikacija ponuja. Za področje računske analize je namreč, glede na drugačnost pogleda na model, ki ga v razširjenem pogledu specifikacije IFC predstavlja izvedena razširitev ST-4, ta vsaj v programu SCIA Engineer povsem prezrt. Drugače je v programu ETABS, ki sicer nazivno omogoča branje in zapisovanje razredov ST-4, vendar se je izkazalo, da ima veliko težav že z branjem navadnih arhitekturnih gradnikov. Kar se slednjega tiče je SCIA Engineer s to preslikavo zlahka opravila. Arhitekturne gradnike je namreč preslikal v svoje gradnike. Seveda pa to iz vidika izdelave računskega modela to ni najbolje, saj dobljena geometrija ne zadošča osnovnim pogojem računskega modela. Ker uvoz IFC modela, kot edina možna povezava s programom ETABS ni uspel, smo se k temu programu vrnili šele na koncu, ko smo izvajali primerjave rezultatov potresne analize. Kot eno izmed možnosti smo preverili tudi integrirano povezavo med programskima orodjema

Allplan in SCIA Engineer. Ob preučitvi priročnika in ob preizkusu izmenjave je, glede na dejstvo, da povezava temelji na IFC smernicah, postalo jasno, da je rezultat praktično enak, kot pri uvozu datoteke IFC. Toda zgolj kar se uvoza tiče. Integrirana povezava namreč ponuja veliko več možnosti glede izmenjave in posodabljanja CAD in CAE modelov. Ker pa te niso tako bistvene za naše interesno območje, se z njimi v nadaljevanju nismo ukvarjali.

Nadaljnja koncentracija je bila v smeri izdelave računskega modela v SCIA Engineer in izvedba modalne analize, ki je za obravnavan objekt potrebna. Modalna analiza je bila izvedena na petih modelih (3 v Etabsu ter 2 v SCIA Engineer). Toda vrnimo se k izdelavi računskega modela iz produkta uvoza IFC modela v SCIA Engineer, ki je na začetku predstavljal nekakšno osnovo za računski model. Program je namreč vsem gradnikom določil enako pozicijo, kot so jo imeli v arhitekturnem modelu, hkrati pa jim je določil systemske osi in ravnine. Rezultat tega je bil model, katerega systemske osi in ravnine med seboj niso bile povezane. Za ta primer so poskrbeli znotraj samega orodja SCIA Engineer in sicer z algoritmom, ki glede na podane omejitve elemente poravnava in jih poveže (določi jim vozlišča). S tem je v dokaj hitrem času izdelan ustrezen računski model, na katerem lahko brez problema izvedemo statično analizo. Vprašanje pa to postane, ko bi na njem hoteli izpeljati potresno analizo, ki je kompleksnejša in ne tako enoznačna. To je predstavljal zadnji in hkrati glavni ozir naše naloge; ugotoviti ustreznost tako dobljenega računskega modela za potresno analizo.

Po določitvi potresnih vplivov in izvedbi vseh nastavitvev v programskih orodjih se je izkazala ne največja primernost SCIA Engineer za izvajanje potresne analize (predvsem to velja za 3D masivne konstrukcije). Ker se tega dobro zavedajo, so nedavno nazaj naznanili povezavo z ETABS-om preko integriranega vmesnika, ki bo lahko združeval prednosti obeh programov. Ob primerjavi rezultatov dobljenih z modalno analizo modelov v SCIA Engineer in ETABS je bilo ugotovljeno, da model izdelan z uvozom informacijskega modela zgradb ob minimalni obdelavi ni najbolj primeren za računsko analizo. Za boljše rezultate bi morali iti v sled poenostavitvev same geometrije.

Vsekakor pa tehnologije, predstavljene v prvih poglavjih, obetajo nadaljnji razvoj programske opreme v smeri, da bo interoperabilnost vse boljša in informacijsko bogata. Kakor smo napisali že v uvodu – to je le začetek.

## VIRI

AECbytes – Viewpoint. Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies. [http://www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue\\_4.html](http://www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue_4.html) . (november 2009)

Bertero, V.V., Bertero, R.D. 2001. Performance-based seismic engineering: the need for a reliable conceptual comprehensive approach. V: Earthquake engineering and structural dynamics. J. Wiley: str. 627 – 652

Bertero, V.V., Uang, C.-Ming. 2005. Issues and future directions in the use of an energy approach for seismic-resistant design of structures. V: Fajfar, P. in Krawinkler, H. (ur.). Nonlinear seismic analysis and design of reinforced concrete buildings. Essex, Elsevier science publishers LTD: str. 2 - 26

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

Fajfar, P., Fischinger, M., Beg, D. 2009. Evrokod 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, V: Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 8. poglavje

Fischinger, M. 1999. Projektiranje potresnoodpornih armiranobetonskih konstrukcij. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 84 str.

Fischinger, M. Projektiranje potresno odpornih konstrukcij armiranobetonskih stavb, komentar k Poglavju 5 v SIST EN 1998-1 (Posebna pravila za betonske stavbe): 74 str.



Graphisoft, 2004. Graphisoft IFC support.

<http://www.graphisoft.com/products/ifc> . (junij 2009)

Hassanien – Serror, M. 2006. Building on IT/IFC: Shared Computer-aided structural design Model for construction industry: 37 str.

<http://dir.u-tokyo.ac.jp/kokusai/reports/Fullpaper.pdf> . (oktober 2009)

IAI. International Alliance for Interoperability.

<http://www.iai-tech.org/> . (september 2009)

IAI – mednarodna stran. IFC2x Edition 3 - Technical Corrigendum 1.

<http://www.iai-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm> . (september 2009)

IfcWiki – Basic Informations. 2008.

[http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic\\_Informations](http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic_Informations) . (september 2009)

International Alliance for Interoperability – buildingSMART. 2008. Model - Industry Foundation Classes (IFC). <http://www.buildingsmart.com/bim> . (maj 2009)

Muhič, S. 2008. Projektiranje konstrukcij na podlagi modelirnika Revit. Diplomski naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 117 str.

Nemetschek SCIA – Whitepaper.

<http://www.scia-online.com/en/engineering-white-papers.html> . (maj 2009)

Pazlar, T. 2008. Preslikave med arhitekturnimi in računskimi aspekti v informacijskih modelih zgradb. Doktorska disertacija. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 218 str.

SIST EN1998-1. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij. Del 1: Splošna pravila, potresni vplivi in vplivi na stavbe: 223 str.

Dimec, A. 2008. Analiza armiranobetonske stenaste stavbe v skladu z EC8. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 136 str.

Wikipedia. 2009. Industry Foundation Classes.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_Foundation\\_Classes](http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes). (september 2009)