

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO
EKONOMSKO-POSLOVNA FAKULTETA

Mića Gavrić

**TEST INTEROPERABILNOSTI NA PRIMERU
IZBRANIH APLIKACIJ ODPRTEGA
INFORMACIJSKEGA MODELIRANJA
OBJEKTOV**

Magistrsko delo

Maribor, april 2017



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo
Ekonomsko-poslovna fakulteta

Smetanova ulica 17
2000 Maribor, Slovenija

Magistrsko delo na študijskem programu 2. stopnje UM

**TEST INTEROPERABILNOSTI NA PRIMERU IZBRANIH APLIKACIJ ODPRTEGA
INFORMACIJSKEGA MODELIRANJA OBJEKTOV**

Študent: Mića Gavrić
Študijski program: 2. stopnja, GOSPODARSKO INŽENIRSTVO
Smer: Gradbena smer

Mentor FG: Dr. Danijel Rebolj
Mentor EPF: Dr. Duško Uršič
Lektorici: Dr. Aleksandra Gačić, prof. zgo. in slov.
Ana Žagar, mag. prof. slov. j. in knj.

Maribor, april 2017



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo
Ekonomsko-poslovna fakulteta

Številka: G2002929
Maribor, 06.06.2016

Na osnovi 330. člena Statuta Univerze v Mariboru (Ur. l. RS, št. 44/2015 – UPB11) izdajam

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Mića Gavrić, študent(ka) študijskega programa 2. stopnje GING - smer Gradbeništvo, se dovoljuje izdelati magistrsko delo.
Tema magistrskega dela je pretežno s področja Katedre za gradbeno in prometno informatiko.

MENTOR(ICA): red. prof. dr. Danijel Rebolj
red. prof. dr. Duško Uršič

SOMENTOR(ICA):

Datum veljavnosti teme: 20.05.2017

Tema podaljšana:

Naslov magistrskega dela:

TEST INTEROPERABILNOSTI NA PRIMERU IZBRANIH APLIKACIJ ODPRTEGA INFORMACIJSKEGA
MODELIRANJA OBJEKTOV

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku:

INTEROPERABILITY ASSESSMENT OF SPECIFIC OPEN BIM APPLICATIONS

Magistrsko delo je potrebno izdelati skladno z "Navodili za izdelavo magistrskega dela" in ga oddati v treh izvodih do 20.05.2017 v referatu za študentske zadeve.

V skladu z Navodili o pripravi in oddaji e-diplom je potrebno magistrsko delo oddati v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru.

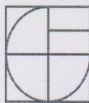
Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na senat članice v roku 15 dni.

Obvestiti:

- kandidata -ko,
- mentorja,
- somentorja,
- odložiti v arhiv



DEKAN
red. prof. dr. Miroslav Premrov



ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorjema dr. Danijelu Rebolju in dr. Dušku Uršiču za pomoč in vodenje pri opravljanju magistrskega dela. Prav tako se zahvaljujem dr. Nataši Šuman, pred. Aleksandru Pajtlerju ter osebju, ki dela v referatu, za pomoč in nasvete v času študija. Zahvala gre tudi študijskemu kolegu in prijatelju Aljažu Purgu, ki me je motiviral in spodbujal skozi celoten študij.

Največja zahvala seveda velja staršem in obema bratoma ter najbližjim sorodnikom in moji zaročenki.

TEST INTEROPERABILNOSTI NA PRIMERU IZBRANIH APLIKACIJ ODPRTEGA INFORMACIJSKEGA MODELIRANJA OBJEKTOV

Ključne besede: BIM, interoperabilnost, IFC, MVD, test, Tekla Structures, BIM orodja, informacije, komunikacija, izmenjava

UDK: 004.9:69.05(043.2)

Povzetek

Magistrsko delo obravnava opis pojma informacijskega modeliranja zgradb (kratica BIM) in predstavitev tega v neposredni povezavi z interoperabilnostjo med glavnimi udeleženci v gradbenem projektu. Zaradi zahtevnosti in unikatnosti v gradbeništvu je komunikacija med temi udeleženci bistvenega pomena za uspešnost in stroškovno učinkovitost projektov. S tem namenom smo v prvem delu najprej opisali glavne lastnosti BIM-a in koncepte, kako zagotoviti interoperabilnost. Poseben poudarek v celotnem magistrskem delu smo dali pojmu IFC (kratica za Industry Foundation Classes) in pojmu MVD (Model View Definition). V drugem delu smo predstavili različne BIM-aplikacije, ki jih pogosto uporabljajo udeleženci BIM-sistemov, in opisali natančno tiste, ki smo jih uporabljali v magistrskem delu.

V tretjem delu smo izvedli medsebojne teste interoperabilnosti. Postavili smo različne scenarije in preverili možnosti in uspešnost komuniciranja med arhitekti, projektanti, naročniki in gradbenimi izvajalci. Poskušali smo ohraniti rdečo nit in zastaviti scenarije v oblikovalski fazi projekta, kjer se projekt začne z arhitektom in konča s statično analizo spojev. Testi so izvedeni z velikim poudarkom na izmenjavi podatkov v standardnem formatu (izvleček IFC-sheme), še posebej na vplivu izbire pravilnega MVD. Testirana je tudi neposredna povezava preko aplikacijskega programskega vmesnika (API).

V zaključku smo na kratko opisali, katere izzive in stroške mora podjetje, ki želi vpeljati BIM-sistem, predvideti in premagati za uspešno implementacijo tega. Opisani so tudi nekateri pozitivni učinki na gradbene stroške, kadar je med udeleženci zagotovljena interoperabilnost.

INTEROPERABILITY ASSESSMENT OF SPECIFIC OPEN BIM APPLICATIONS

Key words: BIM, interoperability, IFC, MVD, test, Tekla Structures, BIM tools, information, communication, exchange

UDK: 004.9:69.05(043.2)

Abstract

This master's thesis deals with the explanation (exposition) of the concept of building information modelling (BIM) and its direct relation to the interoperability between the major participants in a construction project. Due to the complexity and uniqueness of construction, communication between these actors is essential for ensuring the efficiency and cost-effectiveness of projects. With this in mind, the first part of the thesis describes the main features of BIM concepts and how to ensure interoperability. Throughout the thesis, special emphasis is given to IFC (an acronym for Industry Foundation Classes) and the concept of MVD (Model View Definition). In the second part, it presents a variety of BIM applications that are widely used by participants in the BIM environment, and a more detailed description of those that are used in the thesis. In the third part, tests of interoperability were performed. Different scenarios were set up, checking the possibilities and effectiveness of communication between architects, engineers, contractors and owners. The thesis tries to maintain a common thread by placing the scenarios in the design phase of a construction project, in which the project starts with the architect and ends with a static analysis of the joints. Tests were carried out with great focus on the exchange of reference models (IFC models) and especially on the impact of the choice of MVD. Also tested was the direct link between applications with the application programming interface (API).

The thesis briefly describes the challenges and costs that a company may incur when undertaking to introduce and implement a BIM system. It also describes some positive effects where interoperability between the participants in a construction project is ensured.

VSEBINA

1	UVOD	1
1.1	OZADJE	1
1.2	CILJI MAGISTRSKEGA DELA	3
1.3	METODE DELA.....	3
2	BIM	4
2.1	PREDNOSTI UPORABE BIM-A ZA INŽENIRJE.....	4
2.2	RAZLIKA MED 2D-DIGITALNO RISBO, 3D IN BIM.....	5
2.3	INTEROPERABILNOST	7
2.3.1	<i>Krivulja BIM izkoriščenosti informacij</i>	9
2.3.2	<i>IFC</i>	10
2.3.3	<i>IDM, MVD in IFD</i>	14
2.3.4	<i>Stopnje zrelosti BIM-a</i>	15
2.4	TEŽAVE INTEROPERABILNOSTI	17
2.5	KONCEPTI ZAGOTAVLJANJA INTEROPERABILNOSTI.....	18
3	PREDSTAVITEV PROGRAMSKE OPREME, KI NAM BO SLUŽILA ZA TESTE INTEROPERABILNOSTI	20
3.1	PRILJUBLJENA PROGRAMSKA ORODJA V BIM-PROCESU	20
3.2	TEKLA STRUCTURES 2016i IN TEKLA STRUCTURES 21.1	22
3.3	REVIT	24
3.4	SAP 2000	25
3.5	IDEA STATICA.....	26
3.6	SOLIBRI MODEL VIEWER	28
3.7	TEKLA BIMSIGHT	28
3.8	DRAFTSIGHT	28
4	ZASNOVA IN IZVEDBA TESTOV INTEROPERABILNOSTI	30
4.1	INTEROPERABILNOST ARHITEKT – GRADBENI INŽENIR (REVIT – TEKLA STRUCTURES) 30	
4.1.1	<i>Uvoz arhitekturnega modela v formatu DWG</i>	30
4.1.2	<i>Test uvoza IFC4 in IFC2x3</i>	32
4.1.3	<i>Arhitektova revizija</i>	37

4.2	INTEROPERABILNOST GRADBENI INŽENIR – GRADBENI INŽENIR (TEKLA STRUCTURES – TEKLA STRUCTURES).....	38
4.2.1	<i>Različni MVD izvoženega IFC-modela iz Tekla Structures 2016i</i>	41
4.3	TEST INTEROPERABILNOSTI GRADBENI INŽENIR – NAROČNIK/GRADBENI IZVAJALEC (TEKLA STRUCTURES – SMV, TEKLABIMSIGHT).....	48
4.4	TEST INTEROPERABILNOSTI GRADBENI INŽENIR – STATIK (TEKLA STRUCTURES – SAP 2000, IDEA STATICA).....	53
4.4.1	<i>Izvoz s pomočjo API-povezave iz TS v SAP 2000</i>	54
4.4.2	<i>Tekla Structures – SAP 2000 IFC-izvoz/uvoz</i>	58
4.4.3	<i>SAP 2000 IFC-izvoz možnosti</i>	61
4.4.4	<i>Tekla Structures – IDEA Statica</i>	64
5	ANALIZA REZULTATOV TESTIRANJA IN DISKUSIJA	70
6	PREDNOSTI IN STROŠKI UVAJANJA BIM V PODJETJE	75
6.1	OPIS MOŽNIH STROŠKOV	75
6.2	PREDNOSTI USPEŠNE INTEROPERABILNOSTI BIM-A V POVEZAVI S STROŠKI.....	78
7	SKLEP	80
8	VIRI IN LITERATURA	81
9	PRILOGE	83
9.1	SEZNAM SLIK.....	83
9.2	SEZNAM TABEL	85
9.3	SEZNAM GRAFOV	85
9.4	UKAZ INQUIRE NA ENEGA IZMED IFC OBJEKTOV (DEL 1).....	86
9.5	UKAZ INQUIRE NA ENEGA IZMED IFC OBJEKTOV (DEL 2).....	87
9.6	PODROBNO POROČILO IZRAČUNA IZ IDEA STATICA STEEL	89
9.7	KRATEK ŽIVLJENJEPIS.....	105
9.8	IZJAVA O AVTORSTVU	105

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

2D	Dvodimenzijsko
3D	Tridimenzijsko
AEC	Architecture, Engineering and Construction
AISC	American Institute of Steel Construction
API	Application programming interface (slov. aplikacijski programski vmesnik)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (slov. ameriški standardni nabor za izmenjavo informacij)
BIM	Building Information Modeling ali Building Information Model
BREP	Boundary representation
BSI	British Standards Institution
CAD	Computer Aided Design ali Computer Aided Drafting
CBFEM	Component based finite element model
CIMSteel	Computer Integrated Manufacturing in Constructional Steelwork
CIS/2	CIMSteel Integration Standard version 2
CSG	Constructive solid geometry
DGN	Design
DTV	Design transfer view
DWF	Design Web Format
DWG	Format zapisa datoteke za shranjevanje dvo- in tridimenzionalnih risb
EC	Eurocode (slov. Evrokod)
FEM	Finite element method (slov. MKE – metoda končnih elementov)
GPS	Global Positioning System
HTML	Hyper Text Markup Language
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes

IFD	International Framework for Dictionaries
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
LOD	Level of Detail ali Level of Development
MEP	Mechanical, electrical and plumbing (slov. mehanične, električne in vodovodne napeljave)
MKE	Metoda končnih elementov
MVD	Model View Definition
nD	n-dimenzijsko
PDF	Portable Document Format
RHS	Rectangular hollow section
RV	Reference view
SAT	Standard ACIS Text
STEP	Standard for the Exchange of Product Data
TS	Tekla Structures
UK	United Kingdom (slov. Združeno kraljestvo)
XML	Extensible Markup Language (slov. razširljivi označevalni jezik)
€	Evro (valuta)

1 UVOD

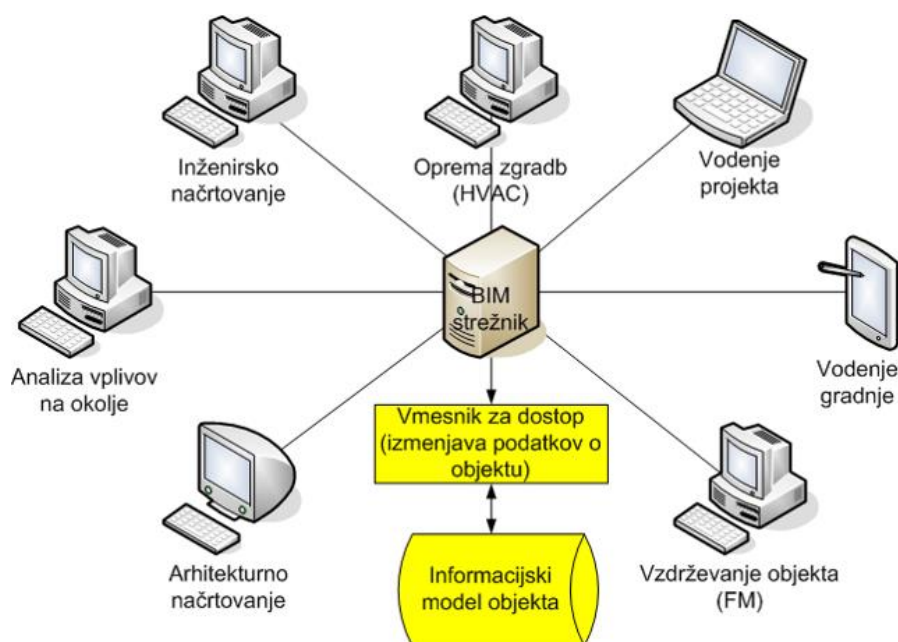
1.1 Ozadje

Slovenski trg je še vedno v zgodnji fazi implementacije tehnologije BIM (angl. Building information modelling), medtem ko je na primer v Veliki Britaniji, Združenih državah Amerike, Hongkongu, Singapurju in predvsem skandinavskih državah gradbena industrija že nekaj let v tehnološki renesansi. V današnjem svetu je celoten gradbeni projekt nemogoče izpeljati z enim samim programskim orodjem. Takšen program bi bil tudi sicer preobsežen in prekompleksen. Zato se morajo udeleženci gradbenega procesa naučiti sodelovati in ob uporabi različnih programov izmenjevati podatke brez izgub informacij, če želijo izpeljati projekt učinkovito ter v skladu s postavljenimi stroški in časovnimi roki.

Obstaja nekaj definicij informacijskega modeliranja zgradb (Building Information Modelling, BIM), vse predstavljajo preseganje tradicionalnih okvirjev razumevanja uporabe računalnikov v gradbeništvu zgolj za izvajanje določenih specializiranih nalog z uporabo samostojnih in nepovezanih podatkov. BIM temelji na souporabi celovitega podatkovnega modela, ki se dopolnjuje skozi celoten življenjski cikel zgradbe. Takšen integrirani pristop je danes mogoč zaradi izboljšanih zmoglosti računalnikov in potreben, zaradi povečanja kompleksnosti objektov, ki jih gradimo, večjega števila strokovnjakov, ki sodelujejo, pa tudi zaradi pričakovanj za takojšen dostop do informacij. Vendar BIM ni le tehnologija ali z besedami Scotta Simpsona »BIM is 10 percent technology and 90 percent sociology« (Simpson, KlingStubbins), kar v prevodu pomeni, da je IMZ (informacijski model zgradbe) samo 10 odstotkov tehnologije in 90 odstotkov človeške strani. V teh 90 odstotkih ima velik delež komuniciranje med udeleženci BIM-a, pogoj za uspešno komunikacijo in sodelovanje je interoperabilnost programske opreme, ki jo posamezniki uporabljajo v skupnem projektu (Fleming, 2016).

Informacijsko modeliranje objekta ali Building Information Modeling (BIM) hitro postaja najbolj priljubljeno orodje za komuniciranje med vsemi udeleženci gradbenega projekta. Te

informacijsko bogate modele lahko uporabljajo tudi drugi udeleženci načrtovalske skupine, ki so zadolženi za zasnovo posameznih sistemov znotraj projekta, kot so na primer mehanične, električne in vodovodne napeljave (MEP in HVAC), ali pa odkrivanje konfliktov med sistemi oz. prekrivanj posameznih elementov (Clash Detection). Dodatno lahko udeleženci koncepta BIM (slika 1.1) uporabljajo te modele tudi kot vnosne podatke za izdelavo risb, podrobnosti za proizvodnjo, statično ali dinamično analizo objekta, naročilo potrebnega materiala, izdelavo terminskega načrta grajenja, ali vzdrževanje objekta (Burt, 2009).



Slika 1.1: Koncept BIM (Rebolj, b. d.)

»Ena izmed glavnih težav za zamude in podaljšanje zaključnih rokov projektov sta slaba komunikacija in slabo sodelovanje med udeleženci pri projektu (naročnik, projektanti, izvajalci). Tehnologija, ki lahko pospeši izmenjavo informacij, izboljša sodelovanje in poveča učinkovitost celotnega procesa graditve, predstavlja za investitorje ne le smotnejšo porabo sredstev, temveč tudi večjo transparentnost poslovanja in večje zadovoljstvo s končnim izdelkom. BIM je takšna tehnologija. BIM je koncept oziroma pristop, ki so ga različna razvojna podjetja uporabila pri razvoju programske opreme. Na svetu tako obstaja veliko število programov oziroma modelirnikov BIM, ki bolj ali manj uspešno zajemajo

koncept BIM-a, znotraj nobenega pa se ne da opraviti vseh potrebnih opravil, ki so zahtevana tekom razvoja projekta na vseh področjih« (Česnik, 2016).

1.2 Cilji magistrskega dela

Cilji magistrskega dela so:

- povečati znanje o BIM-u;
- seznaniti se s pojmom interoperabilnosti;
- spoznati različno moderno programsko opremo na področju informacijskega modeliranja zgradb;
- seznaniti se s težavami interoperabilnosti;
- na konkretnih primerih preverjati uspešnost komuniciranja več aplikacij;
- predstaviti razliko med 2D in BIM-om;
- opisati pojme, kot so IFC, MVD, IDM in IFD;
- seznaniti se s koncepti zagotavljanja interoperabilnosti, kot so:
 - a) izmenjava izbranih podatkov,
 - b) izmenjava vseh podatkov v standardnem formatu (IFC na primer),
 - c) neposredna izmenjava modelov s pomočjo API-vmesnika;
- ugotoviti (če je le možno), kateri načini interoperabilnosti so najustreznejši;
- opisati izzive in tipe stroškov pri implementaciji BIM-a.

1.3 Metode dela

V magistrskem delu smo uporabljali različne metode dela. Ker smo delo osredotočili na teste interoperabilnosti, večina dela temelji na eksperimentalni metodi dela. Za študij podatkov in opisovanje smo uporabili analizo in deskriptivno metodo. Primerjave rezultatov testov interoperabilnosti smo izvedli s komparativno metodo.

2 BIM

»Informacijsko modeliranje zgradb je proces ustvarjanja integriranih modelov, ki so centralno povezani preko različnih programskih platform z različnimi uporabniki – od arhitektov, gradbenikov, strojnikov, izvajalcev do investitorjev in upravljavcev zgradb. Vsak izmed njih je odgovoren za sodelovanje in povezovanje z drugimi strokami na področjih svojih odgovornosti. Uspešni primeri prakse iz tujine kažejo na tudi več kot 50-odstotni dvig kakovosti projektov, v smislu hitrejše izvedbe projektiranja, zmanjšanja napak pri delu in posledično manjših stroškov. Manjša poraba materiala in bolj kakovostni gradbeni objekti pomenijo tudi manjšo porabo energije. BIM v primerjavi z drugimi standardi gradbene industrije še vedno predstavlja relativno novo tehnologijo. Kljub vsemu pa že predstavlja največjo tehnološko prednost v gradbeni industriji te generacije. Programi BIM so bili razviti zaradi potreb projektantov, ki so uvideli prednost enotnega vira informacij, ki se ga lahko deli, prilagaja in odgovorno prenaša med sodelujočimi v procesu. V Sloveniji trenutno šele dobro začenjamo spoznavati njegov polni potencial, kot proces in kot programsko rešitev, v tujini pa BIM v zadnjih letih postaja vse bolj priljubljena metodologija dela in vedno več podjetij se odloča za korak naprej ter začenja slediti temu novemu valu gradbene industrije« (Ferk, 2016).

2.1 Prednosti uporabe BIM-a za inženirje

»Prednosti uporabe BIM-a za inženirje so naslednje:

- Večja produktivnost: s pomočjo modelov BIM za konstrukcijske elemente in stavbe je mogoče prihraniti kar 55 % časa, od izdelanega statičnega izračuna do armaturnih načrtov.
- Uporaba modela BIM za analizo: vedno več aplikacij nudi povezavo med modeli 3D in programi za analizo in dimenzioniranje konstrukcij, tako da se lahko mreža končnih elementov generira na osnovi modela BIM. Takšne povezave med različnimi aplikacijami BIM so običajno dosežene s pomočjo API-vmesnika (2.5).
- Lažja koordinacija: na osnovi modela BIM lahko lažje izmenjujemo projektno dokumentacijo, tako v fazah pred kot tudi med gradnjo.

- Usklajenost in kakovost projektne dokumentacije: projektna dokumentacija, izdelana na podlagi modela BIM, je vedno usklajena in tudi veliko bolj kakovostna.
- Študije izvedljivosti in simulacije: gradbenim inženirjem modeli BIM nudijo številne prednosti pri analizi izvedljivosti celotne konstrukcije in posameznih konstrukcijskih podrobnosti« (Cerovšek, 2010).

2.2 Razlika med 2D-digitalno risbo, 3D in BIM

»Model BIM je digitalni zapis in predstavitev informacij o konkretni stavbi za komunikacijo med udeleženi v gradbenem projektu. Model BIM vsebuje **geometrijske in negeometrijske informacije** (primer takšnih informacij je prikazan v tabeli 2.1), ki jih potrebujejo in izdelajo arhitekti in inženirji za načrtovanje, analizo, simulacije, vizualizacije in dokumentacijo tako v fazah pred, med in po gradnji. Geometrijske informacije določajo digitalni 3D-model stavbe, sestavljen iz elementov, ki so digitalni ekvivalent 'pravih' elementov stavb (od temeljev do strehe). Negeometrijski del določa dodatne informacije o stavbi in njenih elementih ter lastnosti, ki se nanašajo na funkcijo, obliko in materiale.« (Cerovšek, 2010).

Tabela 2.1: Primeri geometrijskih in negeometrijskih informacij

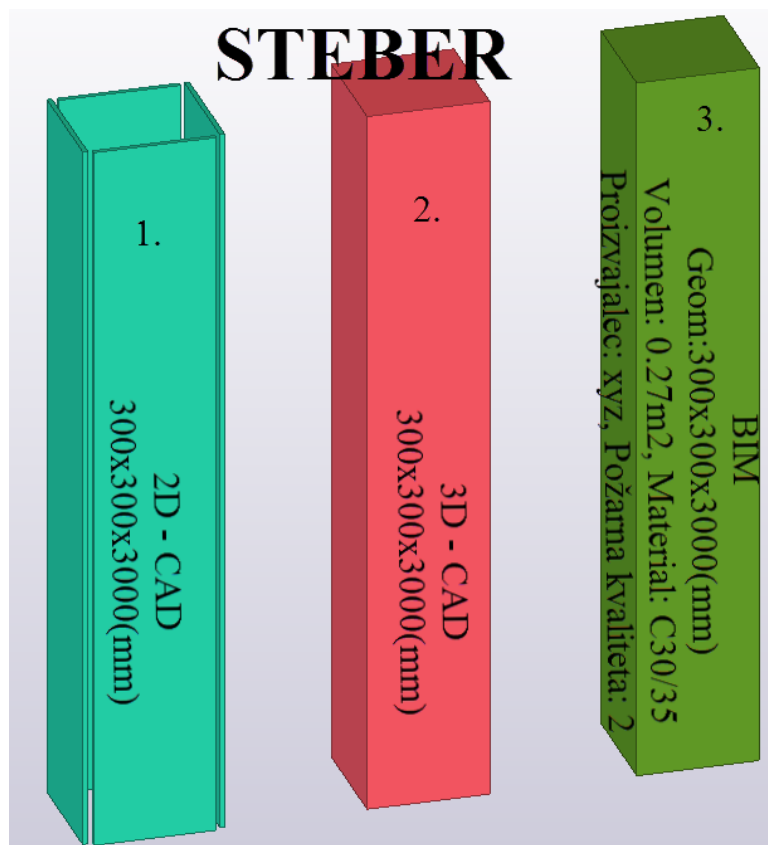
GEOMETRIJSKE INFORMACIJE	NEGEOMETRIJSKE INFORMACIJE
Širina	Material
Dolžina	Proizvajalec
Višina	Požarna varnost
Velikost	Lastnosti izolacije
Volumen	Strošek
Orientacija	Specifikacije

»Klasični 2D- in 3D-programi CAD operirajo s črtami, ravninskimi liki in telesi, medtem ko BIM operira z elementi stavb, ki jih lahko prikažemo v 2D- in 3D-načinu, poleg tega pa so vključene še dodatne negeometrijske informacije o njih. Rezultat klasičnega tehničnega risanja, 2D-risba, je en sam statičen pogled na stavbo, medtem ko lahko v modelirnikih BIM

konstruiramo in modeliramo model BIM ter izdelamo več pogledov, prerezov, količine in dimenzije. Z 2D-risbo ne moremo obravnavati številnih 3D-problemov pri projektiranju, ki jih z BIM-om lahko, lep primer je na primer prostorska analiza izvedljivosti konstrukcijskih detajlov ali osončenje prostorov.« (Cerovšek, 2010).

Glavna razlika med 2D- in 3D-tehnologijo je torej, da so 3D-objekti modelirani, medtem ko so 2D-elementi narisani s pomočjo črt. Digitalne risbe, narisane v 2D-tehnologiji, imajo že od samega začetka veliko potenciala, da bodo vodile do nerazumevanja in ročnega popravljanja. V CAD-sistemih je treba vsak element posodobiti ročno, vsi prečni prerezi so izdelani in detajlirani ročno. V sistemih BIM pa so na primer takšni prečni prerezi izdelani samodejno iz modela. Ključno je tudi to, da v sistemih BIM dobimo geometrijske in negeometrijske informacije, medtem ko imamo v sistemih CAD (2D in 3D) samo geometrijske informacije.

Na sliki 2.1 na primeru stebra vidimo razliko v njegovem videzu in potencialnih informacijah, ki jih lahko pridobimo z različno tehnologijo. Sistem BIM izhaja iz parametričnega 3D-modeliranja.



Slika 2.1: Razlika med stebri, izdelanimi v 1. 2D-CAD, 2. 3D-CAD, 3. BIM-programskem orodju

2.3 Interoperabilnost

V angleškem jeziku je beseda interoperabilnost definirana kot (Dictionary, 2010):

»The ability of software and hardware on multiple machines from multiple vendors to communicate.«

V prevodu to pomeni »sposobnost medsebojne komunikacije programske in strojne opreme na več napravah različnih dobaviteljev«.

Interoperabilnost je sposobnost izmenjave podatkov med programi oziroma zajemanja in ponovne uporabe informacij, ki so že na voljo. Modeli BIM vsebujejo celovite in povezane informacije o zgradbi na visoki semantični ravni, zato je zelo pomembno, da programi, ki uporabljajo model BIM, pri uporabi dosežejo semantično raven in jo pri ponovnem vnosu informacij ohranjajo. Zato je potrebna takšna raven interoperabilnosti, kjer se nobena

informacija ne izgubi ali pokvari. Idealno je, če ni treba ponovno vstavljati obstoječih podatkov (in popravljati napak), torej ni zapravljanja časa za popravljanje in vstavljanje že znanih informacij, ampak se takoj nadaljuje s projektom (glej zeleno barvo na Grafu 2.1).

Sodelovanje med udeleženci v gradbenih projektih je ključnega pomena za učinkovito dostavo gradbenih objektov. Organizacije vedno bolj dajejo poudarek na sodelovanje v novih okoljih, da bi dosegle višje standarde kakovosti in večjo ponovno uporabo obstoječih znanj in izkušenj. Najpomembnejši del tega sodelovanja so vsekakor sposobnost komuniciranja, ponovna uporaba in izmenjava podatkov brez izgub, nasprotij in napačnih razlag. Organizacije vsako leto namenjajo precej sredstev za popravke podatkov, ki niso standardizirani, za usposabljanje novih in obstoječih kadrov ter usklajevanje prizadevanj naročnika. (Burt, 2009)

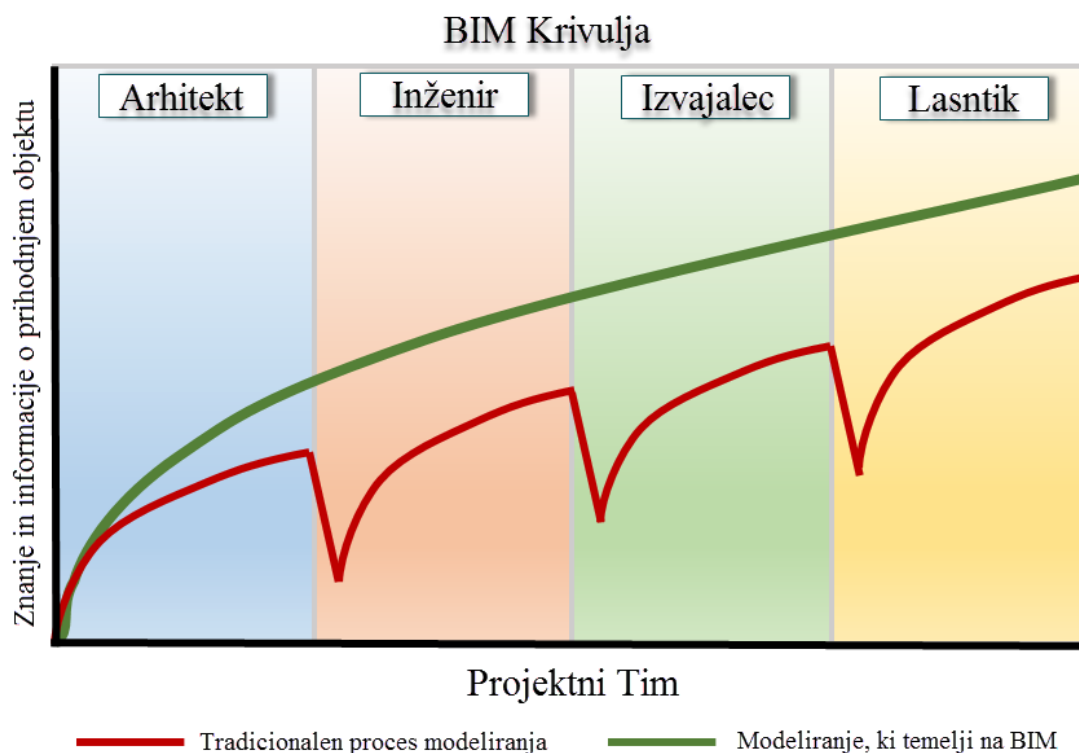
V različnih programih so enaki elementi različno opisani, kar pomeni, da so za opis enakih elementov uporabljene različne podatkovne strukture. Zato je za izmenjavo podatkov potreben vmesnik, ki transformira podatke iz ene strukture v drugo in je lahko programski (na primer z uporabo API vmesnika) ali podatkovni, v obliki nevtralne podatkovne sheme in posledično nevtralni format datotek za izmenjavo podatkov.

Interoperabilnost se je v gradbeništvu tradicionalno zanašala na formate datotek za izmenjavo, ki so bili omejeni le na geometrijske informacije (glej Tabelo 2.1), kot so DXF (Drawing eXchange Format) in IGES (Initial Graphic Exchange Specificaton). Takšna izmenjava je bila zelo uspešna za 2D in 3D geometrijo. Toda z razvojem kompleksnejših sistemov in modelov BIM, ki poleg osnovnega arhitekturnega modela vsebujejo tudi raznovrstne napeljave (angl. Mechanical, Electrila and Plumbing, MEP) in veliko negeometrijskih lastnosti, so takšni formati za izmenjavo postali nezadostni. Za uspešno izmenjavo informacij kompleksnejših modelov, ki vsebujejo geometrijo, attribute in informacije o razmerjih med posameznimi elementi, je mednarodna organizacija za standarde (ISO) sprejela standard STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data). V poznih 80. letih so se začele iz ISO-STEP standardov razvijati nevtralne podatkovne sheme za podporo izmenjave elementov celovitejših modelov med različnimi sistemi in platformami. Dve najpomembnejši nevtralni podatkovni shemi sta IFC (Industry Foundation Classes) in CIS/2 (CIMsteel Integration Standard Version 2), ki temeljita na shematskem jeziku EXPRESS, ki je bil eden glavnih produktov STEP standarda. Pri

podatkovni shemi je pomembno izdelati in vzdrževati nevtralno podatkovno shemo, ki mora vsebovati podatkovne strukture vseh elementov in atributov, ki jih želimo izmenjati. Hkrati mora vsak program vsebovati programski vmesnik, ki podatke iz njegove interne podatkovne strukture transformira v nevtralni zapis (angl. export) in nazaj (angl. import). V nadaljevanju magistrskega dela smo se v testih interoperabilnosti (glej poglavje 4) omejili na uporabo IFC-sheme. Neposredne povezave (angl. direct links) s pomočjo programskih vmesnikov API so najstarejši in še vedno zelo pomemben način zagotavljanja interoperabilnosti. Običajno deluje v programskem jeziku C++ ali C#. Takšen programski vmesnik mora poznati podatkovne strukture programov, ki jih povezuje. Problem je, ker je programov veliko in bi bilo za takšno interoperabilnost potrebno narediti in vzdrževati ogromno število programskih vmesnikov, ki so omejeni le na različice posameznih programov in poslovna razmerja teh ponudnikov programov (Eastman, et al., 2011).

2.3.1 Krivulja BIM izkoriščenosti informacij

V magistrskem delu se bomo v uvodu ukvarjali z razlago definicije BIM-a v neposredni povezavi s pojmom interoperabilnosti. Graf 2.1 ponazarja namen in pomen interoperabilnosti ter komunikacije med udeleženci v gradbenem projektu. Tudi če malo naivno predpostavimo, da so v gradbenem projektu vključeni štiri glavni udeleženci (arhitekt, inženir, izvajalec ter lastnik) in delajo na projektu eden za drugim, to pomeni, da se v projektu vsaj trikrat pojavi potreba po medsebojni izmenjavi informacij o projektu (v realnosti je izmenjavanje informacij o projektu ponovljeno veliko večkrat).



Graf 2.1: Prikaz krivulje BIM-a v pomenu interoperabilnosti, prevedeno po (Dickinson, 2015)

V preteklosti je vse temeljilo na ročnem risanju in izmenjavi načrtov. Tako je morala naslednja oseba v verigi samostojno interpretirati in vstaviti informacije, ki jih je potrebovala za nadaljevanje svojega dela, v njej priljubljenemu orodju (glej rdečo črto v grafu 2.1). Če upoštevamo zmerno velike projekte, kjer je potrebnih več kot 100 načrtov detajlov, ni težko predpostaviti, da je bilo treba vložiti precej časa in posledično finančnih sredstev ter da je bilo veliko prostora za napake. Če te načrte zamenjamo z digitalnimi načrti (PDF), ki se uporabljajo kot vsakodnevna praksa v Sloveniji kot način za izmenjavo digitalne projektne dokumentacije, v večini primerov zgolj v 2D obliki ali z načrti CAD (DXF), je potrebnega še vedno precej časa strokovnjakov za predelavo in obdelavo količine podatkov, sinhronizacijo z gradbiščem, vzdrževanje ipd. (Dickinson, 2015).

2.3.2 IFC

»Standardi imajo izredno pomembno vlogo pri razvoju, implementaciji in uporabi novih tehnologij. To velja tudi za informacijsko modeliranje zgradb (BIM). Za boljše sodelovanje

med udeleženci gradbenih projektov je treba zagotoviti standarde na ravni izmenjave podatkov med inženirskimi programi, na ravni sodelovanja med inženirskimi podjetji ter med podjetji in državnimi institucijami. Za lažjo komunikacijo sta nujna poznavanje terminologije in vzpostavitev tehničnih, organizacijskih in pravnih standardov, potrebnih za uvajanje modelov BIM« (Cerovšek, 2010).

»Prvi poskus izdelave take podatkovne sheme se je pojavil še pred pojavom pojma BIM, saj se je že leta 1985 začel oblikovati standard za izmenjavo podatkov o izdelkih (angl. Standard for the Exchange of Product Data, kratica STEP), a se ni nikoli razširil v praktično uporabo v gradbeništvu. Trenutno najbolj znana rešitev, ki temelji na formatu STEP, je v svoji prvi obliki nastala pod okriljem IAI (angl. International Alliance for Interoperability, slo. Mednarodna zveza za interoperabilnost) leta 1997 in je znana pod kratico IFC (angl. Industrial Foundation Classes). IFC je formalni standard za opis gradbenih objektov in izmenjavo podatkov o konkretnih zgradbah, a zmore veliko več, saj predstavlja prvo, splošno razširjeno podatkovno shemo, ki omogoča opis in izmenjavo podatkov med udeleženci gradbenega projekta. IAI se je leta 2005 preoblikovala v organizacijo buildingSMART, ki je še naprej razvijala format IFC« (Česnik, 2016).

IFC je oboje; podatkovna shema in odprti format datoteke za izmenjavo.

IFC kot podatkovna shema:

Opisali smo že, da BIM model vsebuje geometrijske (3D in 2D) in negeometrijske informacije. Tehnično gledano je IFC podatkovna shema definirana kot objektni model (angl. Object Oriented Model, OOM), ki opisuje informacije o relacijah med posameznimi elementi sheme. Sestavljen je iz približno 800 gradnikov (Eastman, et al., 2011), ki so organizirani in hierarhično povezani. Najpomembnejši pojmi v hierarhiji so: definicija elementa (*IfcObjectDefinition*), relacija do drugih ali sosednjih elementov (*IfcRelationship*) in atributni podatki (*IfcPropertyDefinition*).

»**IfcObjectDefinition** - opisuje konkretne elemente in pojave in je razdeljen na pojavnost elementa (*IfcObject*) in sam tip elementa (*IfcTypeObject*).

IfcRelationship - zajema odnose med elementi.

IfcPropertyDefinition - del, ki vsebuje dinamične informacije o elementu. V tem delu sta lahko oblika in način podatkov popolnoma odvisna od izbrane aplikacije ali specifičnih

zahtev uporabnika. V poglavju 4.3 smo postavili scenarij, kjer naročnik ali gradbeni izvajalec želi dodatne informacije o specifičnih elementih. Spremeniti je bilo potrebno **IfcPropertySet**, ki omogoča razširitev IFC sheme z dodatnimi atributi« (Zabreznik, 2016).

»IFC kot format datoteke za izmenjavo:

IFC je svoji običajni obliki navadno besedilo ASCII datoteke. Podatkovna shema opisuje, kako se text spremeni v objektne gradnike z medsebojnimi odnosi. Čeprav so podatki na videz berljivi, je naloga BIM orodja, da te informacije pretvori in ustvari model (Areo, 2016).

IFC dopušča več različnih fizičnih zapisov, poznamo tri glavne:

- IFC-SPF je tekstovni zapis definiran s standardom ISO 10303-21, kjer vsaka vrstica vsebuje en objekt, datoteka ima končnico .ifc. To je najpogosteje uporabljen format. Odlikuje ga majhna velikost datotek.
- IFC-XML je XML zapis, definiran s standardom ISO 10303-28 in ima končnico .IFCXML. Ta format je ustrezen za delo z XML orodji in izmenjavo delnih modelov. Zaradi 4-8 krat večje velikosti v primerjavi z IFC-SPF za tipični model objekta, je ta format redkeje v uporabi.
- IFC-ZIP je stisnjen zapis, ki vsebuje IFC-SPF datoteko. Končnica formata je .ifcZIP« (Zabreznik, 2016).

»IFC je formalni standard, ki omogoča izmenjavo modelov BIM med programi, ki jih uporabljajo različni strokovnjaki v gradbenem projektu (buildingSMART, 2010). Osnovni cilj pri razvoju standarda je bil zagotoviti modularno strukturo za izmenjavo informacij med strokami v AEC/FM (angl. Architecture, Engineering, Construction and Facility Management) v industriji; olajšati vzdrževanje in nadaljnji razvoj modelov BIM; omogočiti ponovno uporabo komponent modela pri modeliranju; avtorjem programske opreme omogočiti uporabo že izdelanih komponent in skrbeti za združljivost med različnimi modelov za vnaprej. Podpora IFC v inženirskih programih raste« (Cerovšek, 2010).

»IFC je zelo uporaben za inženirje, saj na primer omogoča, da arhitektov model odpremo v programu za račun konstrukcij ali za energetska analizo. S formatom IFC se poleg geometrije gradnikov modela stavbe prenesejo tudi fizična struktura, elementi, materiali, parametri in povezave. Format IFC lahko inženirji uporabljajo tako, da model shranijo v datoteko IFC (s končnico .ifc ali .ifcxml, .ifczip) in nato to datoteko IFC uvozijo v drug program, kar lahko bistveno skrajša čas za podajanje geometrije in drugih lastnosti. Za

modele v formatu IFC so na voljo brezplačni pregledovalniki, ki smo jih opisali v poglavju 3.1« (Cerovšek, 2010).

IFC-shema se nenehno posodablja in v preteklosti je buildingSMART že izdelal veliko različic. Trenutno sta dve različici, ki sta najpomembnejši in relevantni. To sta IFC 2x3 in IFC 4. Imena se zdijo na prvi pogled rahlo zavajajoča. Zgodovina imen za IFC izhaja iz preteklih različic. Tako so bile prejšnje različice 1.0, 1.5, 1.5.1, nato so prišli 2x, 2x2 in 2x3. Po takšnem vrstnem redu bi se zadnja uradna različica lahko imenovala 2x4, a so v buildingSMART posplošili ime v IFC 4. Naslednja različica, katere datum izhoda še ni znan, se bo imenovala IFC 5 (Areo, 2016).

Razlika med IFC 2x3 in IFC 4 je velika. Glavne razlike in izboljšave v IFC 4 so sledeče:

- geometrijske zmogljivosti (predvsem parametrična podpora);
- podatkovna struktura (število PropertySetsov se je na primer povečalo v primerjavi z IFC 2x3, kar je izboljšalo zmogljivosti);
- novi in spremenjeni MVD (Model View Definitions) – glej poglavje 2.3.3;
- dokumentacijska podpora.

Toda, čeprav je IFC 2x3 prejšnja različica, se danes še vedno najpogosteje uporablja in bo najverjetneje še nekaj časa dominantna različica. Razlog izhaja iz tega, da orodja BIM (BIM-modelirniki) potrebujejo čas, da izdelajo in izdajo uradno podporo k IFC 4. Številni tekoči projekti v svetu izhajajo iz smernic, ki imajo predpisan standard za izmenjavo (interoperabilnost) IFC 2x3. Kot že omenjeno v poglavju 1.3, zadnja uradna različica Tekla Structures 2016i, ne podpira IFC 4, medtem ko Revit na primer to IFC shemo že podpira.

Z izdajo IFC 4 je v letu 2013 standard IFC v celotnem obsegu postal del standardov »Mednarodne organizacije za standardizacijo (angl. International Organization for Standardization, kratica ISO) znotraj ISO 16739:2013. Razvoj se sedaj nadaljuje v smeri OpenBIM, ki temelji ravno na formatu IFC za izmenjavo informacij in podatkov« (Česnik, 2016).

»Ni pa, kot večina uporabnikov misli, IFC edina tehnologija, potrebna za doseg interoperabilnosti v BIM-u« (Kastelic, 2016), vendar je najpogostejša. V magistrskem delu smo s stališča openBIM dali poudarek predvsem testiranju IFC-datotek, vendar se nismo ukvarjali z drugimi shemami, kot so na primer (Eastman, et al., 2011):

- IGES,
- CIS/2,
- STEP,
- BACnet,
- AEX,
- AECXML in
- cityGML.

2.3.3 IDM, MVD in IFD

V prejšnjem poglavju smo podrobno opisali pojem IFC, ki omogoča, da si strokovnjaki »različnih profilov ter upravljavci zgradb lahko izmenjujejo informacije, ne glede na to, s katerim programom so bili podatki ustvarjeni. Da pa je interoperabilnost v BIM-u realnost, pomembno vlogo (poleg IFC) igrajo drugi, manj znani standardi. Med njimi so IDM, MVD in IFD« (Kastelic, 2016).

»**IDM (angl. Information Delivery Manulas)** določa, kateri podatek se bo izmenjal in kdaj se bo to zgodilo. IDM je v bistvu metodologija za identificiranje in opisovanje procesov in povezanih informacij, ki jih pridobivamo skozi projekt. Njegova naloga je učinkovito določiti informacije, ki se bodo izmenjale z uporabo IFC, in način, na katerega jih je treba sporočiti« (Kastelic, 2016).

IDM je usmerjen na uporabnike BIM-a in tudi na ponudnike rešitev (Ifcwiki, 2016).

Namen IFC-standarda je, da transportira informacije/podatke, ki so pomembni, med orodji BIM. Kakor koli, pomembno je vedeti, da vsi podatki niso vedno potrebni v takšni izmenjavi med dvema orodjema BIM. Informacije, ki so potrebne in pomembne, so odvisne od procesa in okolja, v katerem poteka takšna izmenjava. Podmnožica IFC-sheme se tako imenuje »**Model View Definiton**« ali na kratko **MVD** (BuildingSmart, 2016).

»MVD je metodologija, uporabljena predvsem zato, da pokaže, kako se informacija iz IDM preslika v IFC« (Kastelic, 2016).

MVD za IFC2x3:

- IFC 2x3 Coordination View 2.0 je najpogostejši format za export (izvoz), ki se uporablja v sedanosti.

- Structural analysis view omogoča izvoz za analizo konstrukcij iz ene takšne aplikacije v drugo; SAP 2000 na primer v Robot Structural.
- Basic FM handover view.

MVD za IFC4:

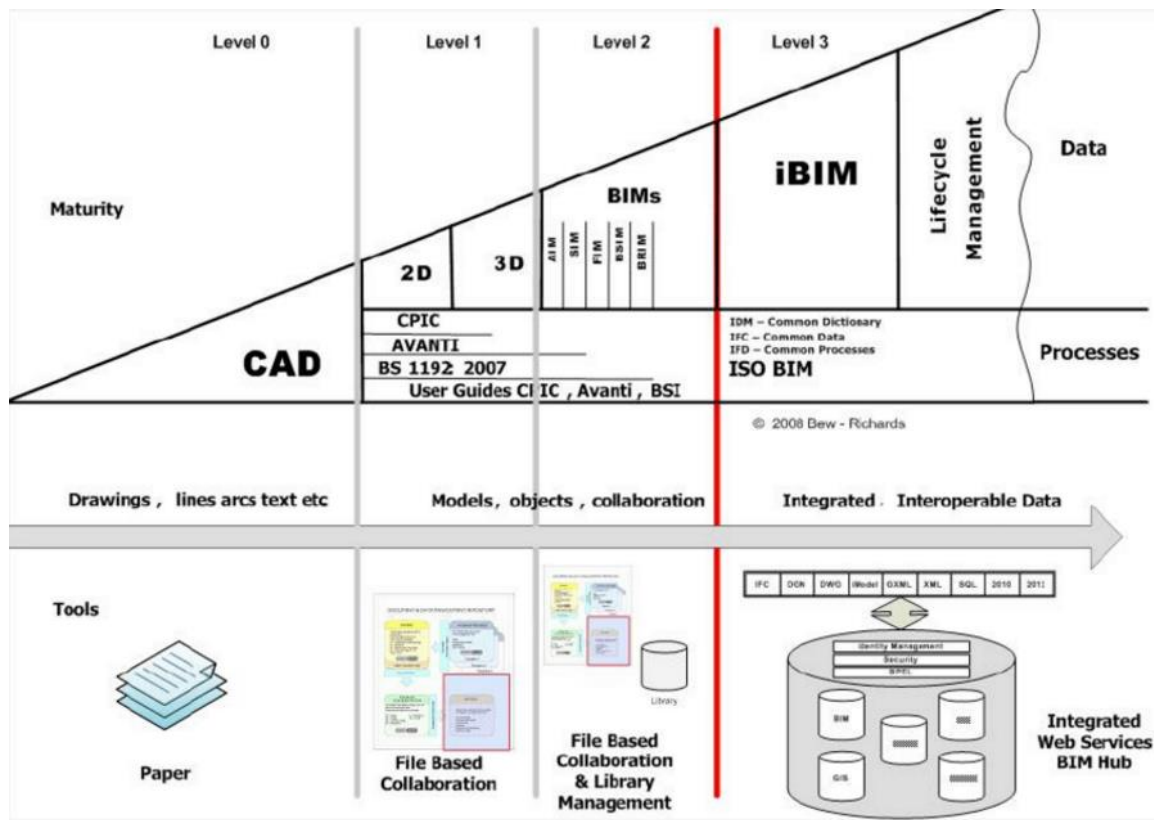
Za IFC4 je bil generični IFC2x3 Coordination view 2.0 zamenjan z dvema MVD, ki sta prilagojena dvema primeroma uporabe.

- IFC4 reference view (RV) je namenjen predvsem uporabi referenčnih modelov;
- IFC4 Design transfer view (DTV) je namenjen uporabniku, ki sprejme takšen modeli ter želi in ima potrebo po spremembi objektov in nadaljevanju modeliranja iz prejetega modela (Areo, 2016)

IFD (angl. International Framework for Dictionaries) določa, kaj pomeni izmenjana informacija, ki je torej sistematizira in shranjuje izraze. Opisan je v Standardu ISO 12006-3 buildingSMART Data Dictionary.

2.3.4 Stopnje zrelosti BIM-a

»Kot smo že ugotovili, je informacijsko modeliranje stavb (BIM) zelo širok pojem. Opisuje proces ustvarjanja digitalnih podatkov o stavbi ali drugem gradbenem objektu (kot so npr. most, cesta, predor ...). BIM je v delovni proces lahko implementiran na različne načine in razvit do različnih stopenj. Spekter teh stopenj označujemo kot »stopnje zrelosti«. (Ferk, 2016)



Slika 2.2: The UK BIM Maturity Model (GCCG, 2011)

»Prvo zrelostno stopnjo imenujemo Stopnja 0. Predstavlja nenadzorovano računalniško podprto načrtovanje (CAD), ki vključuje besedila in 2D-risbe. Izmenjava informacij na tej stopnji poteka v papirnati ali elektronski obliki, vendar brez skupnih standardov in standardiziranih postopkov. Lahko bi rekli, da gre za uporabo elektronske risalne deske. Stopnja 1 označuje nadzorovano oziroma upravljano računalniško podprto načrtovanje (CAD). Velik poudarek je na prostorski koordinaciji, organiziranih strukturah in oblikah. Vključuje 2D- in tudi 3D-informacije, kot so vizualizacije in razvojni koncepti modelov. To stopnjo lahko opišemo kot osamljen BIM, saj se 3D-modeli objekta ne izmenjujejo med posameznimi člani projektne skupine.

Stopnja 2 je upravljano oziroma nadzorovano 3D-okolje z dodanimi informacijami, torej informacijskimi modeli. Ustvarjenih je več informacijskih modelov, ki se navezujejo na različna strokovna področja in so na koncu združeni v en zvezni model. V model so vključene informacije v zvezi s terminskim načrtom (4D) in stroški (5D) projekta. Stopnjo lahko označimo s pBIM (proprietary ali lastniški BIM). Na tem mestu omenimo Veliko

Britanijo, kjer vlada od leta 2016 za vse javne projekte kot minimum zahteva 3D BIM, ki bo omogočal popolno sodelovanje različnih strok in bo vseboval vso projektno dokumentacijo in vse informacije o projektu v elektronski obliki. Ta zahteva predstavlja stopnjo 2 v implementaciji BIM-a.

Zadnja stopnja je Stopnja 3, ki predstavlja popolnoma interoperabilen model objekta, ki je vsem sodelujočim dostopen na spletu in vsebuje terminski načrt (4D), stroške (5D) in informacije o življenjskem ciklu zgrajenega objekta (6D). Gre za popolnoma odprt proces dela s povezovanjem podatkov, kar je omogočeno z uporabo IFC/IFD-formata. Stopnjo lahko označimo kot iBIM (integrated BIM ali integriran BIM)« (Ferk, 2016).

2.4 Težave interoperabilnosti

»Vedeti je treba, da moramo biti pri implementaciji BIM-a pripravljeni na občutno spremembo v načinu razmišljanja in projektiranja, zato pot vpeljave te nove metodologije dela ni preprosta, niti ni hitra. Seveda se hkrati s težavami, ki nastanejo pri vpeljavi BIM-a, kažejo tudi druge težave oziroma nujne spremembe običajne prakse, ki jih ne moremo spregledati. Še posebej problematično je področje standardizacije in interoperabilnosti. Vzporedno s standardizacijo v podjetjih se bodo morali izoblikovati tudi bolj splošni, nacionalni in nadnacionalni (npr. na ravni EU), ki bodo določali bistvene okvire poteka dela in izmenjave podatkov med sodelujočimi v gradbenem procesu. Ob tem se bo pojavila še toliko večja potreba po uporabi različnih neodvisnih programskih orodij in s tem povezana potreba po interoperabilnosti. Temu se je trenutno najbolj približal že opisan format IFC, ki naj bi poskrbel za standardni zapis modela zgradbe, ki bi bil prepoznaven in uporaben v vseh programskih orodjih, neodvisno od proizvajalca. Realnost je drugačna, saj shema in format IFC ne zagotavlja enolične interpretacije podatkov, zato prihaja pri izmenjavi podatkov do nedoslednosti. Razvoj IFC-standarda kljub visokim pričakovanjem poteka (pre)počasi. Vendar ne gre pričakovati, da bi se pojavil nov format, ki bi ga nadomestil. Razvoj in približevanje IFC-ja k popolnoma interoperabilnemu formatu sta pomembna, verjetno pa bo za to potrebnih še nekaj let.« (Ferk, 2016)

2.5 Koncepti zagotavljanja interoperabilnosti

»Skupna podatkovna shema (npr. IFC-shema) je osnovni koncept povezovanja in usklajevanja BIM-modelov med različnimi udeleženci z različno ali isto programsko opremo. Metod za izmenjavo podatkov preko BIM-modela oziroma BIM-podatkov je veliko in glede na projekt ter razpoložljivo tehnologijo se uporabi najprimernejša. Najpogostejše metode so« (Česnik, 2016):

- »**Izmenjava izbranih podatkov:** Vsak izmed udeležencev ohranja svoje modele in z drugimi izmenjuje samo določene podatke. Izguba podatkov je zelo velika, prav tako je metoda zelo konservativna, toga in ni primerna za optimiziran razvoj projekta (npr. pripombe e-pošt z razpredelnicami in datotekami PDF).
- **Izmenjava vseh podatkov v standardnem formatu:** Gre za linearen proces, kjer en avtor ustvari svoj BIM-model, ga izvozi v format za izmenjavo modelov (npr. IFC) in pošlje naslednjemu avtorju, ki model dopolni in spet ponovi proces predaje modela tretjemu avtorju. To je zelo linearna metoda, kjer je izguba podatkov vezana na uspešnost zapisa v interoperabilen format modela. Primerna je za manj zahtevne projekte. To smo podrobneje opisali v poglavju 2.3.
- **Izmenjava modelov preko neposredne povezave API:** Sočasnost izdelave različnih BIM-modelov lahko uvedemo tako, da jih med seboj povežemo z različnimi programskimi orodji npr. preko API vmesnikov in se tako izognemo izgubam podatkov zaradi izvoza v različne formate. Tu sta glavni omejitvi neobstoj vmesnikov med uporabljenimi programi in medsebojna skladnost verzij programov. V večini primerov je pogoj, da sta obe orodji nameščeni na istem računalniku.
- **Integrirani skupni podatki:** Trenutno najvišja stopnja vključenosti podatkov znotraj enega samega centraliziranega modela, ki ga lahko hkrati dopolnjujejo in spreminjajo vsi avtorji. Model je navadno na strežniku, do katerega imajo vsi dostop, ali se gosti preko storitve v oblaku (angl. cloud service), do katerega se dostopa preko projektnega portala. To je najtežje dosegljiva metoda za sodelovanje, saj lahko hitro pride do pravnih težav, povezanih z intelektualno lastnino podatkov« (Česnik, 2016).

V magistrskem delu smo v poglavju 4 zasnovali in izvedli teste interoperabilnosti, kjer smo testirali uvoze in izvoze IFC podatkovne sheme med izbranimi aplikacijami odprtega (openBIM) informacijskega modeliranja objektov. Postavili smo različne scenarije in

preverili možnosti in uspešnost komuniciranja med arhitekti, projektanti, naročniki in gradbenimi izvajalci. Poskušali smo ohraniti rdečo nit in zastaviti scenarije v oblikovalski fazi projekta, kjer se ta del začne z arhitektom in konča s statično analizo spojev. Testi so izvedeni z velikim poudarkom na izmenjavi referenčnih modelov (izvleček IFC-scheme), še posebej na vplivu izbire pravega MVD (2.3.3). Testirana je neposredna povezava preko aplikacijskega programskega vmesnika (API).

Ponudniki BIM-orodij pogosto raje zagotavljajo interoperabilnost preko neposredne povezave (angl. direct link) s pomočjo **API-vmesnika**, saj to povezavo boljše in lažje podpirajo (Eastman, et al., 2011). V ozadju so zagotovo tudi komercialni razlogi, kjer imata oba ponudnika različnih BIM orodij, lastne interese za razvoj takšnih neposrednih povezav. Najpogosteje so to vmesniki, ki povežejo aplikacijo za statično analizo in dizajnersko aplikacijo, obstajajo pa tudi drugi primeri (toplotna analiza).

V magistrskem delu smo takšen primer testirali na primeru SAP 2000 in Tekla Structures (4.4.3) ter IDEA Statica in Tekla Structures (4.4.4). Ti vmesniki običajno omogočajo večje zmogljivosti, ki jih ni enostavno podpreti s trenutnimi standardi openBIM.

3 PREDSTAVITEV PROGRAMSKE OPREME, KI NAM BO SLUŽILA ZA TESTE INTEROPERABILNOSTI

»Model BIM lahko izdelamo z modelirnikom BIM, računalniškim orodjem, ki ima dve funkciji:

- modeliranje poteka z digitalnimi elementi stavb 3D, ki so 'inteligentni' in parametrizirani tako, da odražajo bistvene lastnosti elementov dejanskih, fizičnih stavb (element 'okno' BIM na primer 've', da ne more stati v zraku, temveč mora biti vključeno v steno. Oknu lahko določimo parametre, kot so višina parapeta, zasteklitev, tip in barva okovja in podobno).
- Vsaka informacija je zapisana le enkrat: projektna dokumentacija, izdelana na osnovi modela BIM, je bolj kakovostna in vedno usklajena (tlorisi, prerezi, fasade, izvlečki količin in tudi matematični modeli za analize se na primer avtomatično generirajo iz skupnega zapisa informacijskega modela stavbe in so zato vedno usklajeni. Če torej spremenimo steno v tlorisu, je ta debelina avtomatično popravljena v vseh odvisnih tlorisih, prerezih, pogledih in popisih).

Modelirniki BIM lahko pokrivajo ožja strokovna področja, na primer za modeliranje arhitekture, gradbenih konstrukcij, konstrukcijskih elementov, stikov, porabe energije, študije izvedljivosti itd.« (Cerovšek, 2010).

3.1 Priljubljena programska orodja v BIM-procesu

BIM-programska orodja uporabljajo različni udeleženci v projektu, ki prihajajo iz različnih področij, arhitekti, gradbeni konstruktorji, statiki, MEP-inženirji. Vsak ima svoje priljubljeno orodje, ki je tudi praviloma specializirano za eno od teh področij. Tako bo statik uporabljal na primer program SAP 2000 ali pa Robot Structural Analysis ali RSTAB, arhitekt pa bo najbolj zaupal ArchiCAD-u in Revit Architecture, ki sta tudi globalno najbolj razširjena in uporabljena na področju arhitekture.

Nekaj primerov takšnih orodij za različne panoge je predstavljenih v tabeli 3.1 in 3.2. V tabelah je podano tudi, za kakšen namen se ti programi največkrat uporabljajo.

Tabela 3.1: BIM-programska orodja za modeliranje objektov in BIM-orodja za statično analizo modelov

Programsko orodje	Proizvajalec	Uporaba/Namen
Advance Steel	Autodesk	Konstruktivsko modeliranje
Archicad	Nemetschek	Arhitekturno modeliranje
CSI Bridge, ETABS in SAFE	CSI	Statična analiza
IDEA Statica	IDEA	Statična analiza spojev
Revit (Architecture, Structure, MEP)	Autodesk	Arhitekturno in konstruktivsko modeliranje, MEP-sistemi
Robot Structural Analysis	Autodesk	Statična analiza
RSTAB	Dlubal	Statična analiza
SAP 2000	CSI	Statična analiza
SCIA Engineer	Nemetschek	Statična analiza
SketchUP	Trimble	Konceptualno modeliranje
Staad.Pro	Bentley Systems	Statična analiza
Tekla Structures	Trimble	Konstruktivsko modeliranje
Vectorworks	Nemetschek	Arhitekturno in prostorsko model.

Tabela 3.2: BIM-orodja za načrtovanje in stroškovno analizo ter brezplačna orodja za pregled BIM-modelov

Programsko orodje	Proizvajalec	Uporaba/Namen
VICO Software	Trimble	4D-načrtovanje
CostX	Exactal	Stroškovna analiza
Solibri Model Viewer	Solibri	Neodvisni pregledovalnik
Tekla BIMsight	Trimble	Neodvisni pregledovalnik
DDS-CAD Viwer	DDS	Neodvisni pregledovalnik
DraftSight	Dassault Systèmes	Neodvisni pregledovalnik

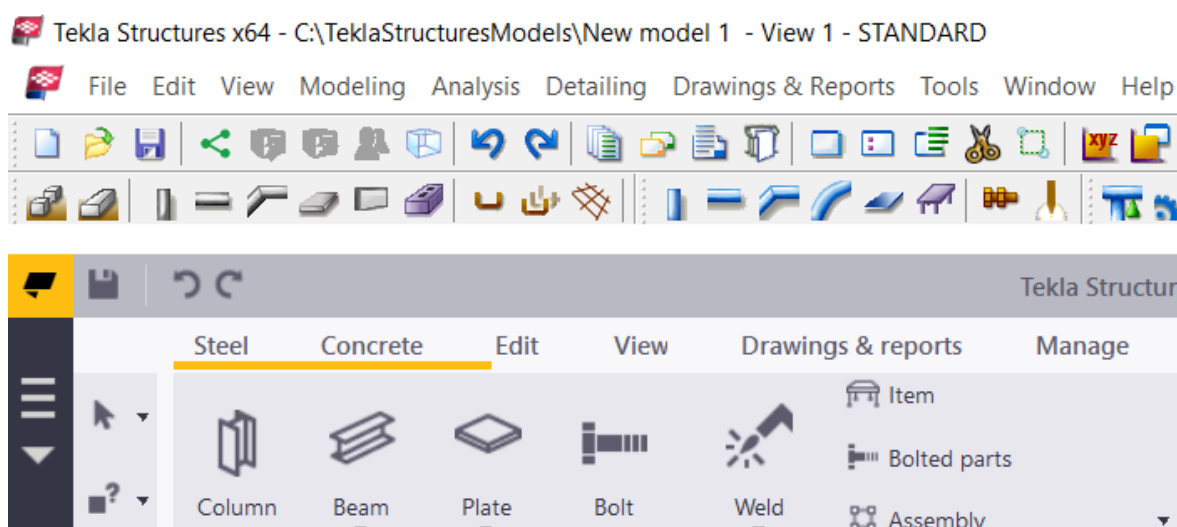
V magistrskem delu smo testirali naslednje aplikacije oziroma programska orodja: Tekla Structures 2016i in Tekla Structures 21.1, SAP 2000 v.19, IDEA Statica Steel v.7, Solibri Model Viewer v.9, Tekla BimSight in DraftSight. Uporabili smo tudi IFC-shemo 2x3 in IFC 4, izvoženi iz Revit Structures.

3.2 Tekla Structures 2016i in Tekla Structures 21.1

Podjetje Tekla je bilo ustanovljeno v 60. letih prejšnjega stoletja v Espoo, na Finskem. Prvi izdelek za komercialno uporabo se je imenoval Xsteel. Namenjen je bil inženirjem, ki so se ukvarjali z jeklom. Leta 2004 je podjetje izdalo prvo različico programa Tekla Structures. Leta 2011 je Tekla postala del ameriškega podjetja Trimble Group, ki je posebej specializirano za GPS in geodetske naprave. (Fleming, 2016)

»Tekla Structures ponuja zelo natančno, dinamično in podatkovno intenzivno 3D-okolje. Omogoča izdelavo zelo kompleksnih modelov, ki jih je mogoče natančno detajlirati in obdelovati ter spreminjati. Tak model je primeren za uporabo v celotnem procesu nastajanja objekta, od izrisa konceptualnih idejnih risb, za proizvodnjo gradbenih elementov vse do montaže in vodenja gradnje. Eden izmed segmentov, ki jih omogoča 3D-model, je natančna izdelava projektne dokumentacije, ki močno vpliva na uspešno izvedbo gradnje objekta. Ker risbe nastanejo na podlagi 3D-modela, ki ga lahko vizualno pregledamo in s pomočjo

programskega orodja preverimo morebitne napake prekrivanja, montaža poteka brez običajnih zapletov in nepotrebnih dodatnih del na gradbišču, ki so vedno razlog za nastanek zamud, slabšanje kakovosti in pojav drugih napak, ki sledijo v nadaljnjih fazah izgradnje objekta. Prav tako se tak model izkaže kot dober pri sledenju sprememb. Že v fazi proizvodnje in gradnje se brez težav izvedejo spremembe, ki zagotavljajo sledljivost« (Funda, 2014).



Slika 3.1: Prikaz menijev v TS 21.1 (zgoraj) in v TS 2016i (spodaj)

V tem magistrskem delu smo uporabljali dve različici Tekla Structures. To sta različici 21.1 in 2016i. Prehod iz različice 21.1 na 2016 je bila velika sprememba podjetja Trimble. A te spremembe so prisotne pri vseh sodobnih programskih opre mah. Tako smo v praktičnem delu magistrskega dela preverili takšno spremembo na podlagi interoperabilnosti.

Največja razlika med obema različicama se prikaže v uporabniškem vmesniku (slika 3.1). Trimble se je odločil popolnoma spremeniti grafični uporabniški vmesnik ter prikaz izbirnih menijev in ikon. Tako smo na forumu Tekla zasledili manjše pripombe izkušenejših uporabnikov, da jim ta sprememba povzroča težave, saj potrebujejo več časa za zagon istih ukazov kot prej.

Tekla Structures izvorni format je .db1. Tekla uporablja odprti format za izmenjavo datotek (IFC) in tudi veliko neposrednih izmenjav API s programi, kot so na primer SAP 2000,

STAAD. PRO, AXIS, VM, Dlubal, MIDAS, S-Frame, ETABS, Strusoft. Preko »reference models« je možno uvoziti različne odprte formate (ifc, ifczip, ifcxml, 3dd, dgn, dxf, dwg, igs, ascii, fem, cimsteel, iges, step). Na tem mestu naj omenimo, da Tekla Structures 2016i ne podpira izvoza in uvoza IFC4, ki je tudi zadnja uradna shema, izdelana s strani buildingSMARTa. Podpira pa IFC2x3, ki se v današnji uporabi uporablja najpogosteje. O teh shemah in podmnožicah (MVD) smo že govorili v poglavju 2.3.3 (Fleming, 2016).

3.3 Revit

Revit je najbolj znan in trenutno vodilni na BIM-tržišču, ko govorimo o arhitekturni zasnovi. Predstavljen je bil leta 2002, ko ga je Autodesk kupil od podjetja »startup« Revit Technology Corporation. Naj omenimo, da je Revit popolnoma drugačna platforma kot AutoCAD. Revit je družina z integriranimi aplikacijami, ki vključujejo Revit Architecture, Revit Structure in Revit MEP.

Kot orodje za zasnovo je Revit zelo močno in intuitivno orodje. Revit je orodje, ki je zelo prijazno uporabnikom, z modernim uporabniškim vmesnikom. Vsebuje bogato knjižnico parametričnih objektov in funkcij, ki so jih izdelali sami ali pa zunanji razvijalci. Zaradi dominantnega položaja na tržišču je Revit zelena platforma za neposredne povezave z drugimi BIM-orodji. Neposredna odvisnost risb in modela omogoča, da se informacije posodobijo v planskih načrtih v modelu in risbah.

Največja slabost se pokaže pri velikih projektih (modelih, večjih, kot 500 MB), saj uporablja sistem, ki obremenjuje notranji pomnilnik računalnika. Ima tudi nekaj omejitev pri parametričnih pravilih in podpori nekaterih kompleksnih ukrivljenih površin.

Izvorni format pri Revitu je datoteka .rvt. Revit popolnoma podpira tudi naslednje datoteke: DWG, DWF/DWFX, IFC, gbXML, html, DXF, DGN, SAT, ADSK in FBX. (Eastman, et al., 2011)

Naj omenimo, da Revit 2017 popolnoma podpira zadnjo uradno različico IFC-modelov IFC 4.

3.4 SAP 2000

»SAP 2000 je programsko orodje, ki ga razvija podjetje Computers and Structures (CSI).

Orodje deluje po metodi končnih elementov. Obravnavani projekt se lahko pregleduje v 2D- ali 3D-pogledu. Uporaben je za modeliranje vseh vrst konstrukcij. Omogoča izvajanje različnih možnih analiz konstrukcij, od preproste linearno elastične do bolj kompleksne nelinearne statične in dinamične analiz« (Kastelic, 2016).

V tem magistrskem delu smo testirali, kako poteka neposredna (API-link) komunikacija med Tekla Structures 2016i in SAP 2000 19.



Slika 3.2: Tekla Structures in SAP 2000 API-link, dostopen v Tekla Warehouse

»Iz Tekla Structures v SAP 2000 se lahko prenesejo naslednji podatki, ki so potrebni za analizo konstrukcije:

- vrsta materiala,
- obtežba,
- geometrija in dimenzije prečnih prerezov elementov,
- elementi in njihove lastnosti ter
- drugi projektni parametri.

Po izvedenih analizah in dobljenih rezultatih v SAP 2000 se predlagane spremembe uvozijo nazaj v modelirnik Tekla, tam pa se samodejno integrirajo, in obratno, v primeru sprememb na modelu konstrukcije se te prenesejo na računski model v analiznem programu. Tako je omogočeno kroženje informacij« (Kastelic, 2016).

3.5 IDEA Statica

IDEA Statica Steel je moderen in inovativen program, ki ga uporabljajo inženirji širom sveta za izračune jeklenih spojev, povezav, detajlov, prečnih prerezov itd. Funkcionalnost programa je prilagojena različnim modulom, toda njihov glavni izdelek je IDEA Statica Steel Connection. Prav tega smo tudi testirali v tem magistrskem delu. Unikatnost tega programskega orodja je, da uporablja posebno metodo za statično analizo spojev, ki jo je profesor Wald s češke univerze v Pragi poimenoval metoda CBFEM. CBFEM pomeni »Component based finite element model«. V prevodu to pomeni komponentno temelječa metoda končnih elementov. V današnjem svetu vsa programska orodja za globalno analizo statičnih modelov, navedena v tabeli 3.1, uporabljajo FEM-metodo, torej metodo končnih elementov (MKE). Na drugi strani pa se na primer spoji in detajli praviloma računajo s predpostavkami in ne popolnoma natančno (ročno, mathcad, Excel itd.). Ti rezultati so praviloma dovolj natančni za splošne spoje in povezave, a se pri kompleksnejših elementih predpostavke in zaokrožitve povečajo in njihova funkcionalnost zmanjša. Zato so v podjetju, ki prihaja iz Češke, izdelali orodje, ki omogoča analizo spojev, prav tako s FEM-metodo.

IDEA Statica omogoča analizo napetosti in deformacij, preverja pa tudi uklon in togost spojev. Pri vsem tem dobimo še natančne rezultate za zware in vijake.



Slika 3.3: Izbira vozlišča v TS, API-vmesnik z IDEA Statica, preveritev po EC/AISC

Za uporabo tega programskega orodja v magistrskem delu smo se odločili na podlagi trditve na spletni strani IDEA Statica, da se orodje zelo dobro »pogovarja« z drugimi BIM-programi. Na sliki 3.3 je prikazan primer takšne komunikacije med TS 2016i in Idea Statica. Naj pa takoj omenimo, da program ne omogoča izvoza/uvoza IFC-datotek ali podobnih datotek za interoperabilnost. Programska interoperabilnost torej temelji izključno na tako imenovani neposredni povezavi oziroma API-vmesniku (Application programming interface) z drugimi orodji. Svojo preveritev smo izvedli na testu te povezave s Tekla Structures in SAP 2000, ki sta tudi označena z rdečo barvo v tabeli 3.3. Vsa programska orodja, ki do danes omogočajo povezavo z IDEA Statica Steel, so predstavljena v tabeli 3.3. V tabeli je uporabljen izraz FEA-orodja (Finite element analysis), torej orodja, ki uporabljajo metodo končnih elementov (MKE).

Tabela 3.3: Programska orodja, ki omogočajo API-vmesnik z IDEA Statica Steel

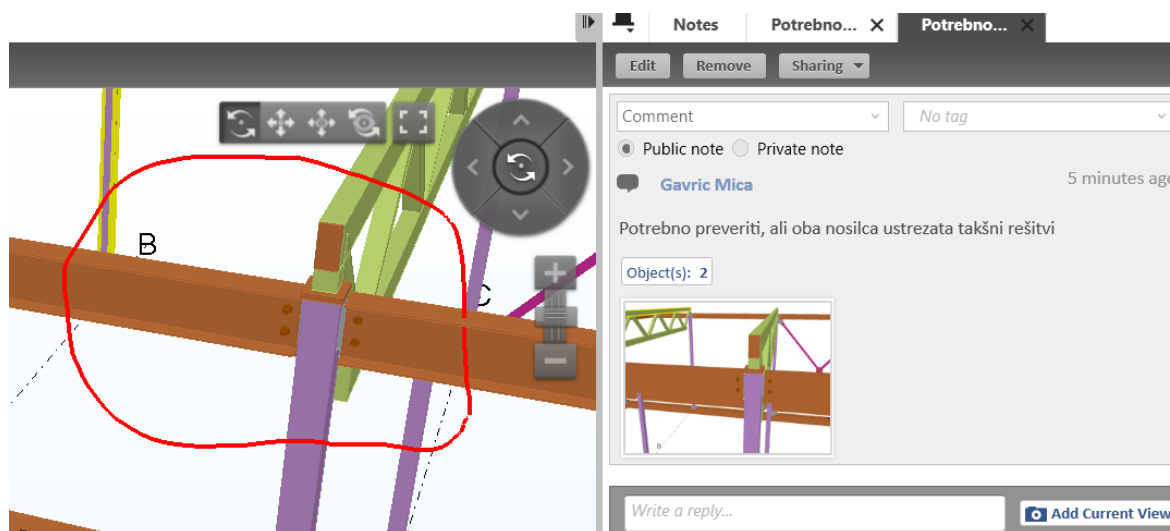
	<i>Axis VM,</i> <i>Midas</i> <i>Civil,</i> <i>Midas</i> <i>Gen,</i> <i>Dlubal,</i> <i>Naxis,</i> <i>Scia</i> <i>Engineer,</i> <i>Robot,</i> <i>SAP</i> <i>2000</i>
<i>Orodja za modeliranje:</i>	<i>Tekla</i> <i>Structures,</i> <i>Advance</i> <i>Steel</i>

3.6 Solibri Model Viewer

Solibri Model Viewer je brezplačna aplikacija, izdelana v Skandinaviji. Program je namenjen pridobivanju informacij iz BIM-modelov oziroma natančneje IFC-formatov in omogoča tudi komunikacijo med udeleženi v projektu. Možno je preveriti tudi razmike med posameznimi objekti. Naj omenimo, da je na voljo tudi program za komercialno uporabo, Solibri Model Checker, ki omogoča dodatne funkcije in rešitve.

3.7 Tekla BIMsight

Tekla BIMsight je prav tako še en nekomercialen program. Ta brezplačen neodvisen pregledovalnik je možno prenesti s spletne strani Trimble in omogoča odpiranje IFC-datotek. Uspešno lahko pregledujemo, preverjamo dimenzije objektov, dodajamo komentarje. Dodatno omogoča pregledovanje, kje so določena prekrivanja med različnimi IFC-modeli in različnimi objekti.

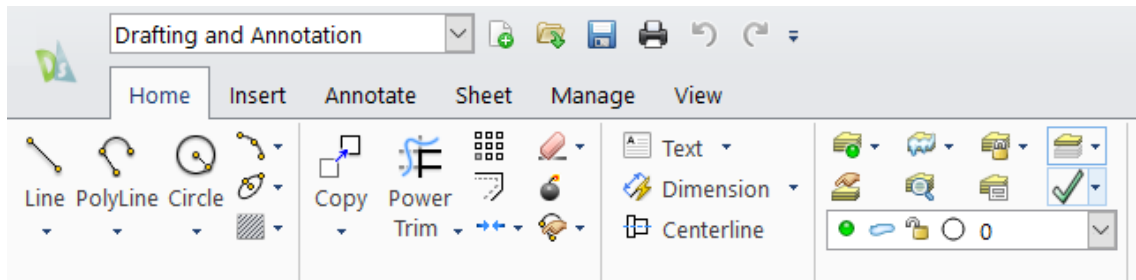


Slika 3.4: Komentar v Tekla BIMsight

3.8 Draftsight

Draftsight je brezplačen 2D CAD-izdelek, na voljo za namestitev na spletni strani DraftSight.com. Draftsight profesionalnim in komercialnim CAD-uporabnikom, študentom,

profesorjem omogoča vpogled, spreminjanje in izdelavo DWG-datotek. Z DraftSight lahko ustvarjamo 2D-digitalne risbe, posodobimo in vzdržujemo datoteke .dwg in .dxf, ustvarjamo PDF-datoteke in z drugimi podjetji/uporabniki izmenjujemo CAD-datoteke.



Slika 3.5: Prikaz uporabniškega vmesnika v Draftsight

4 ZASNOVA IN IZVEDBA TESTOV INTEROPERABILNOSTI

4.1 Interoperabilnost arhitekt – gradbeni inženir (Revit – Tekla Structures)

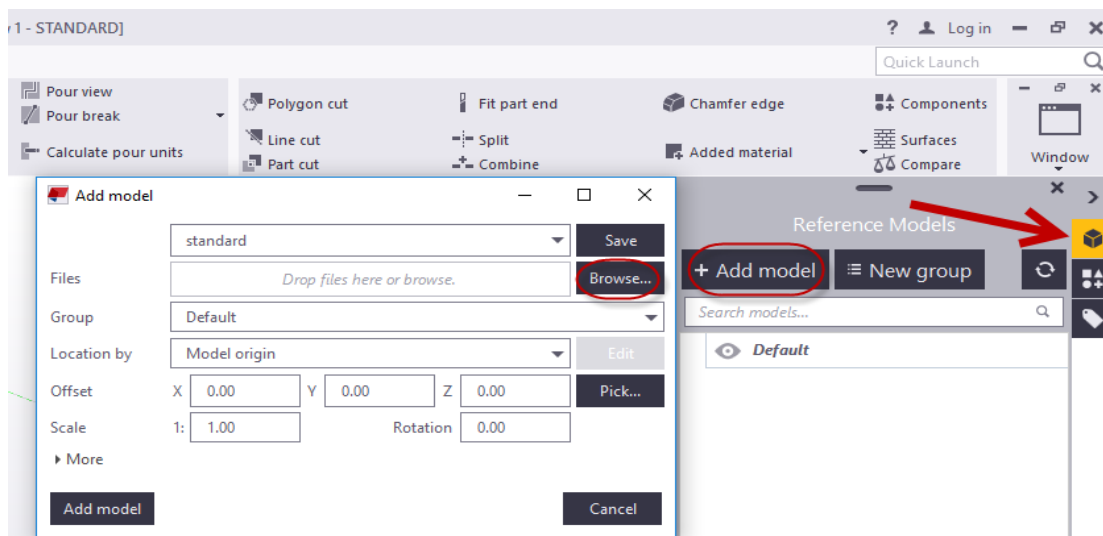
Če želimo uporabljati orodje Tekla Structures kot orodje BIM in v okolju BIM že od samega začetka, potem je smiselno, da na začetku vnesemo informacije, ki smo jih pridobili od arhitekta ali drugih gradbenih inženirjev. Pridobiti te informacije v ustreznem formatu je ključni del BIM-a. Želja tukaj je, da že od začetka pridobimo bogat model z informacijami – najbolj zaželen format za izmenjavo modelov je IFC, izvožen iz na primer programa, ki ga arhitekti po svetu največ uporabljajo: Revita.

Tako na primer informacije, pridobljene kot natisnjeni arhitekturni načrti, lahko poimenujemo kot 0-odstotni BIM, hkrati pa je potreben popolnoma »svež« začetek v Tekla Structures. Vse geometrijske podatke, ki jih je izdelal arhitekt, mora ponovno izdelati konstruktor. V tem primeru vsi ročni popravki arhitekta dodatno otežujejo in podaljšajo to fazo projekta.

Kakor koli, Tekla se še vedno lahko uporablja kot BIM-orodje v nadaljevanju projekta s sodelovanjem s statiki, projektanti detajlov in spojev, naročnikom, lastnikom in drugimi podizvajalci.

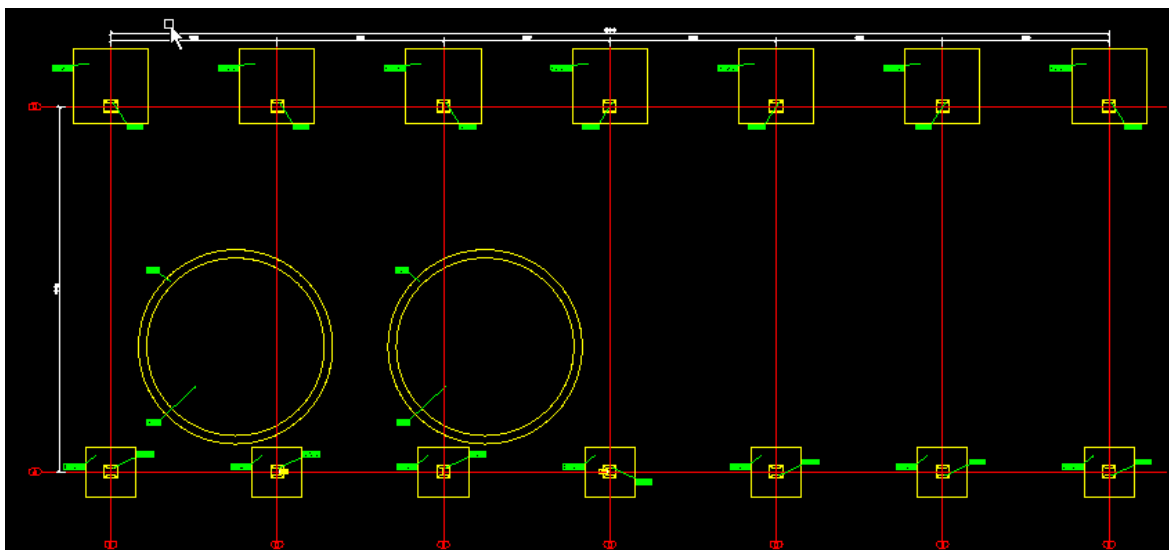
4.1.1 Uvoz arhitekturnega modela v formatu DWG

Druga možnost bi bil uvoz formata zapisa datoteke za shranjevanje dvo- in tridimenzionalnih risb (.dwg), na primer izvoženega iz orodja AutoCAD. Takšen zapis datoteke vstavimo v Tekla Structures kot »reference model« v desnem zgornjem kotu s klikom na ikono, prikazano na sliki 4.1 (slika velja za različico TS 21.1 ali novejšo različico).

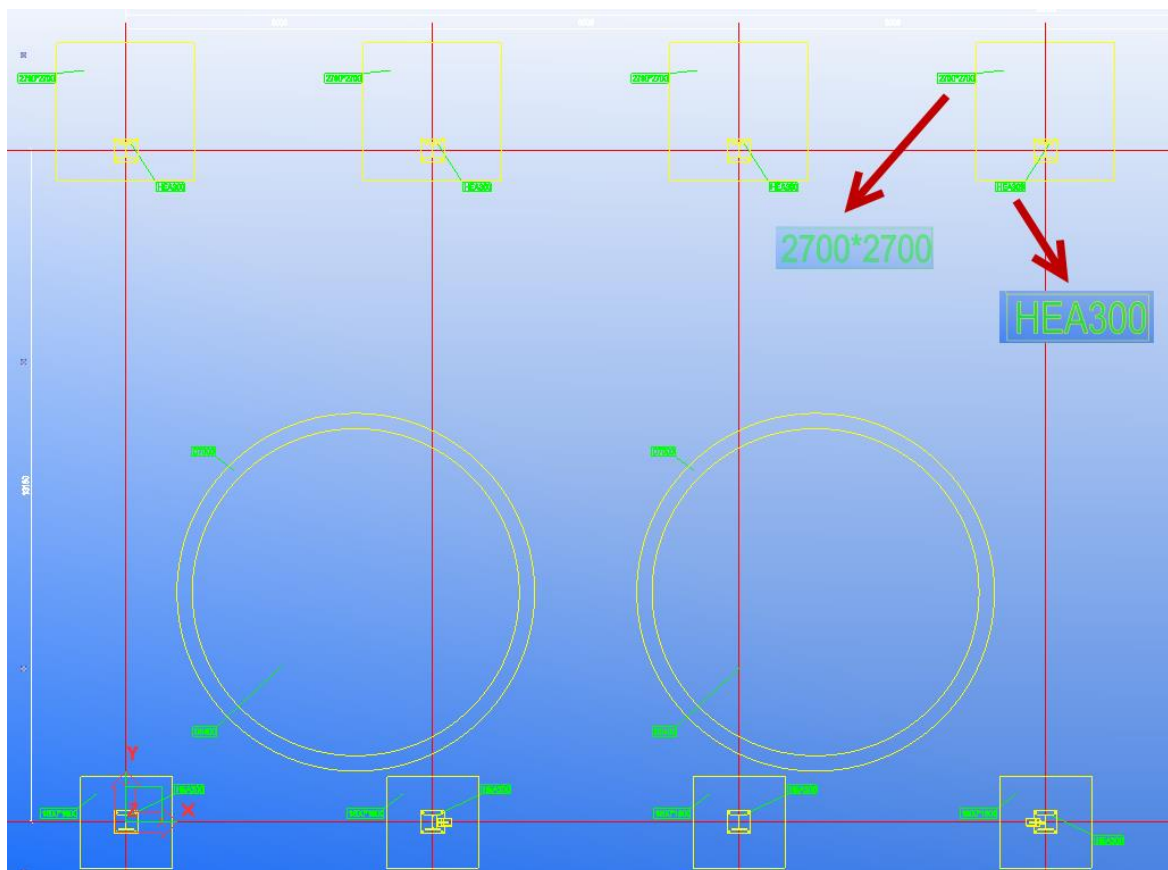


Slika 4.1: Ukaz »reference models« v Tekla Structures 2016i

Testirali smo uvoz formata datoteke DWG, ki ga je prvotno izdelal arhitekt. Predpostavka je, da je arhitekt izdelal planski načrt temeljev, dodal pa je tudi informacije o stebrih na zahtevo konstruktorja (slika 4.2).



Slika 4.2: Datoteka DWG, najprej odprta z neodvisnim pregledovalnikom Draftsight



Slika 4.3: Uvožen 2D CAD (.dwg) v Tekla Structures 21.1

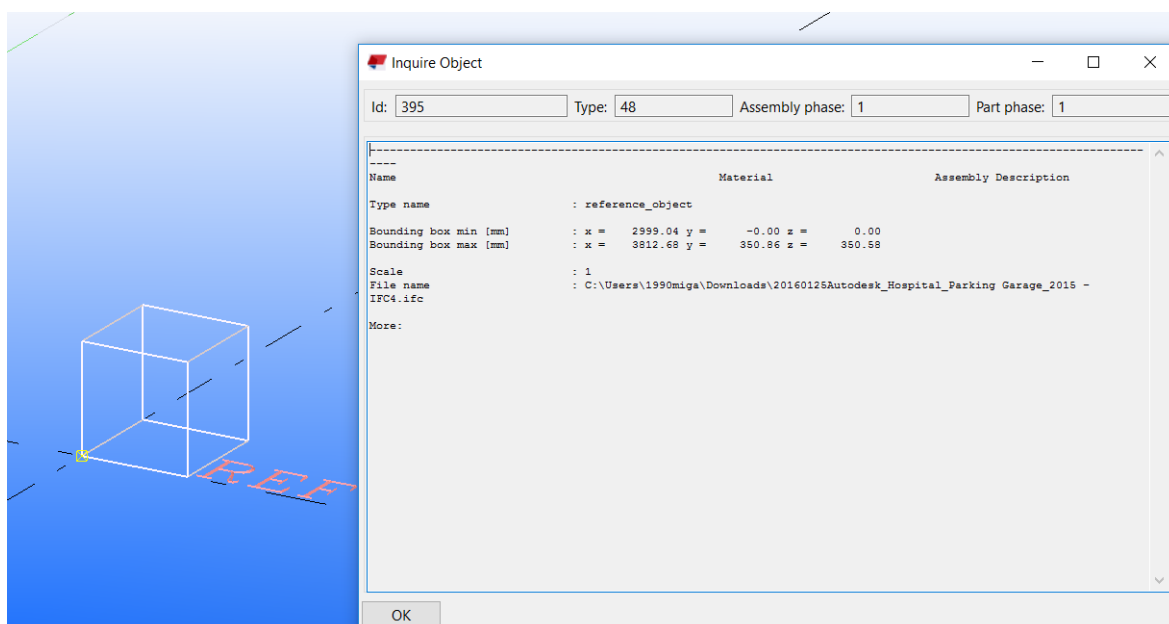
Tudi tukaj še ne moremo govoriti o sodelovanju BIM med arhitektom in projektantom, a vseeno že v tem primeru opažamo precej prednosti v primerjavi z možnostjo številka 1. Z načrti 2D AutoCAD imamo še vedno samo reprezentativne črte in z adnotacijami dodane določene informacije o elementih, kot je na primeru slike 4.3 tip profila za stebre (HEA 300). Toda individualne informacije o posameznih elementih nam še vedno manjkajo. Vse načrtno izdelane datoteke .dwg v obliki 2D lahko uvozimo in prilagodimo kot 3D v Tekli. To pomeni, da jih lahko vstavljamo točno na določeno višino/etažo. Lahko pa tudi uvozimo načrte 3D CAD, a tudi v tem primeru dobimo samo geometrijske informacije (glej 2.2).

4.1.2 Test uvoza IFC4 in IFC2x3

Zadnja in tudi najbolj zaželena možnost je, da tudi arhitekt uporablja programsko orodje BIM. Testirali smo na primeru, ko arhitekt uporablja REVIT 2011. Ker v Tekla Structures formata datotek Revit (.rvt) ne moremo uvoziti kot »reference models«, nam je v tem primeru arhitekt posredoval IFC shemo, ki je tudi najbolj primerna za interoperabilnost med

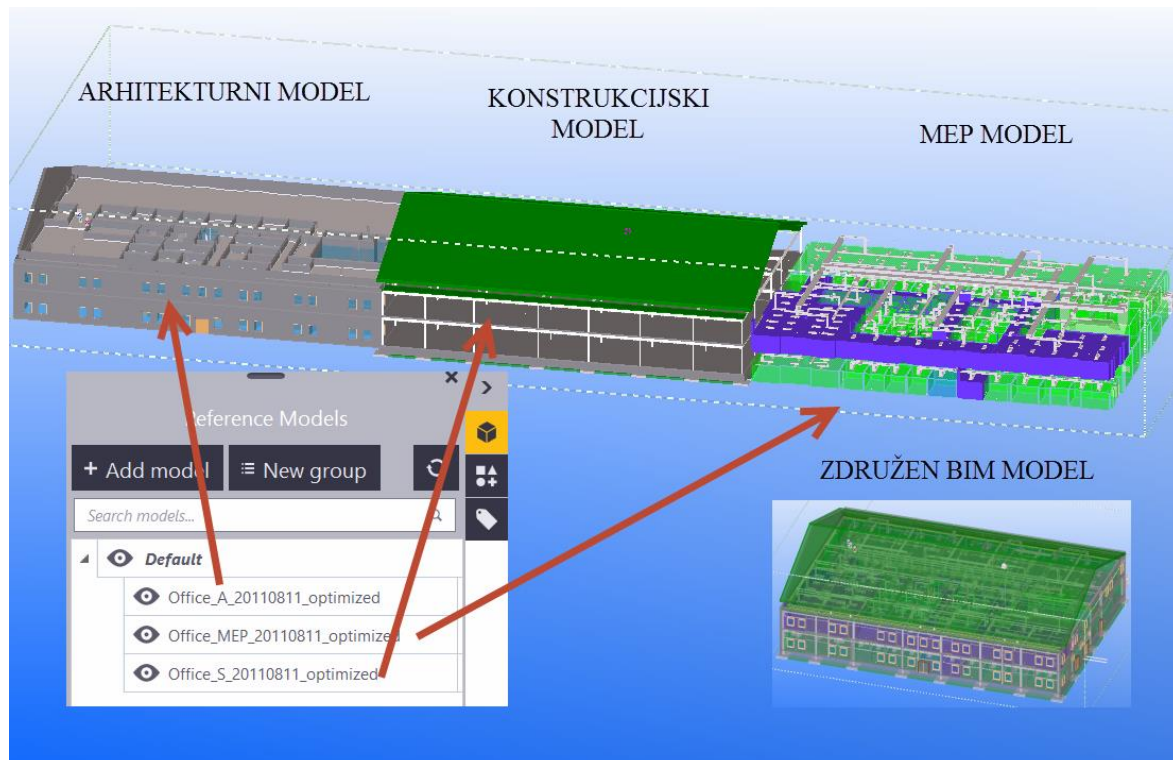
dvema programskima orodjema. Tukaj lahko končno govorimo o BIM-okolju. Format datoteke .ifc, izvožen iz Revita 2011, smo pridobili na spletni strani BuildingSmart, v rubriki »sample models« (slov. primeri modelov).

Najprej smo testirali uvoz sheme IFC 4, ki je, kot že opisano v poglavjih 3.2, Tekla Structures ne podpira. Pri uvozu takšne podatkovne sheme (IFC 4) nas ni pričakala nobena informacija, da takšen uvoz ni mogoč. V modelskem prikazu se je prikazala le kocka in poleg nje tekstovni zapis: »REF«, kot je prikazano na sliki 4.4. Z ukazom na »inquire« na to kocko ugotovimo, da ne vsebuje nobene informacije.



Slika 4.4: Uvoz modela podatkovne sheme IFC 4 in rezultat le tega

Kot že omenjeno, smo na spletni strani BuildingSmart pridobili podatkovno shemo IFC za testiranje, ki je bil izdelan v Revit 2011. Odločili smo se za primer z imenom projekta »2011-09-14-Office-IFC«. Po prenosu te datoteke smo pridobili tri različne modele podatkovne sheme IFC 2x3, vse izvožene v podmnožici MVD: CV2 (Coordination View 2.0), ki jo podpira tudi Tekla Structures. To pomeni, da smo nato v Tekla Structures uvozili arhitekturni model, konstrukciji model in MEP-model. Prikaz teh modelov je na sliki 4.5.



Slika 4.5: Uvoženi modeli sheme IFC 2x3 v Tekla Structures

Testirali smo, kako si lahko na konkretnem primeru pomagamo s prejetimi modeli. V Tekli lahko posamezne elemente (steber, zid, temelj, nosilec, strop, itd.) modelov uvoženih v formatu datoteke .ifc v veliki meri uporabljamo kot izvirne elemente Tekla (angl. native objects), za preverbo medsebojnih prekrivanj (clash detection), izdelavo poročil in terminsko načrtovanje. Velikokrat ni treba imeti vsega kot izvirni objekt Tekla (Tekla native object), saj se uvoženi »povezani modeli« lahko po potrebi uporabljajo tudi na načrtih.

Kot omenjeno Tekla Structures 2016i ponuja možnost pretvorbe elementov IFC modela v izvirne elemente Tekla Structures z ukazom «Convert IFC objects to Tekla native objects». Ker nas v tem poglavju zanima predvsem komunikacija med arhitektom in gradbenim inženirjem, smo se odločili to možnost testirati samo na arhitekturnem modelu.

Če želimo najprej preveriti, kakšne informacije posamezni elementi vsebujejo, moramo najprej aktivirati funkcijo «select objects in components», prikazano na sliki 4.6.



Slika 4.6: Aktivacija ukaza »select objects in components« v Tekla Structures

IFC-model je bil uvožen kot povezani model (angl. reference model). Takšen povezani model je v Tekli definiran kot komponenta. Kot komponenta so v Tekli definirani vsi elementi, ki jih najdemo v knjižnici komponent (spoji, detajli, posebni elementi). Če želimo izbrati le posamezen element tega modela, mora biti ukaz s slike 4.6 dejaven.

Izbrali smo en zid v modelu IFC in z ukazom na inquire pridobili vse informacije, ki so bile izvožene iz Revita. Na sliki 4.7 so v tem primeru prikazani najbolj relevantni podatki za gradbenega inženirja, kjer lahko vidimo parametrične informacije o izbranem IFC-elementu in tudi, iz katere aplikacije smo pridobili IFC. V prilogi smo dodali celoten zapis takšnega ukaza (»inquire part«).

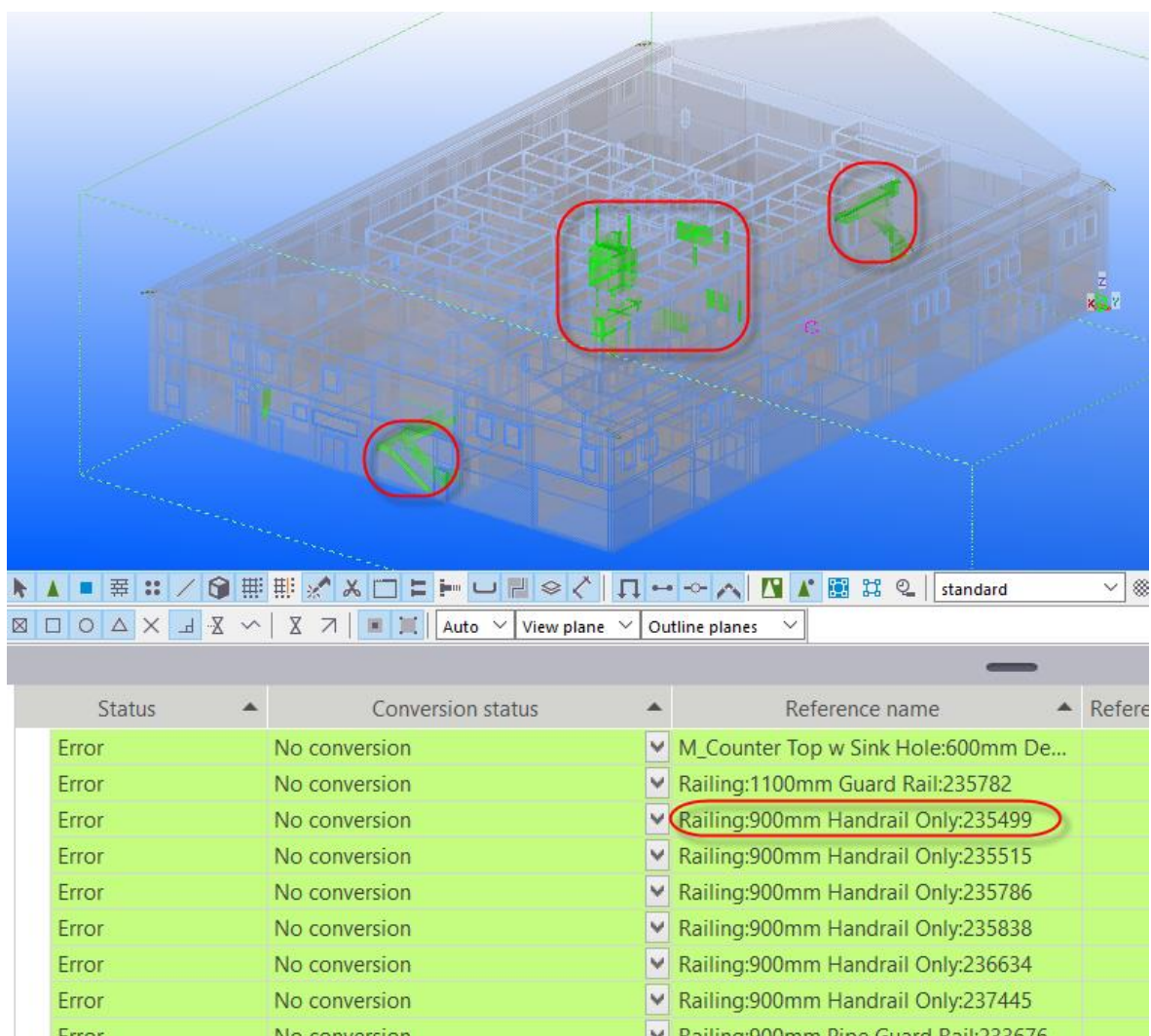
```
Parametric object rectangle profile
Origin [mm]           : x =  -345.88 y = -17911.77 z =    0.00
KDir [mm]             : x =    0.00 y =   -1.00 z =    0.00
Extrusion [mm]       : x =    0.00 y =    0.00 z =  4267.22
Profile name          : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud:397
KDim [mm]             : 36213.30
YDim [mm]             : 302.00

Product attributes
Family name           :
Given name            : cskender
Middle names          :
Roles                 :
Organization names    :
Organization description :
Organization roles    :
Version               : 2011
Application full name  : Autodesk Revit Architecture 2011
Application identifier : Revit
State                 : 0
Change action         : NOCHANGE
Creation date         :
Last modified date    :
Is set last modified date : False
Name                  : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud:139528
Description           :
Object type           : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud:397
```

Slika 4.7: Del informacij o posameznem IFC-elementu

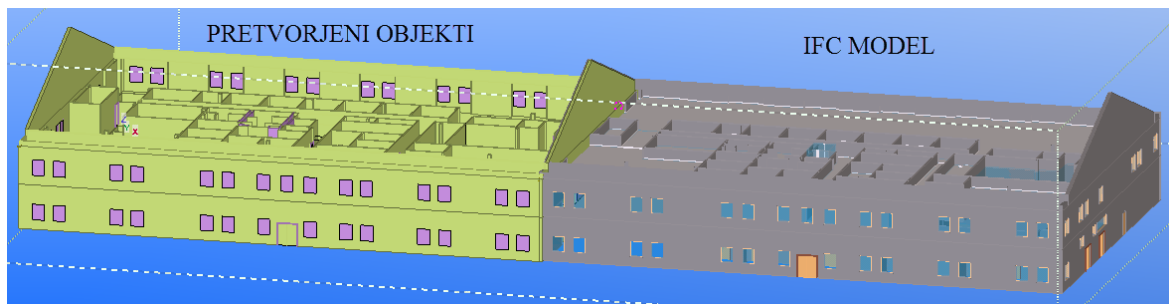
Po poskusu pretvorbe vseh elementov IFC modela v izvirne elemente Tekla smo dobili naslednje rezultate. Pričakovano nam je uspelo pretvoriti vse parametrične elemente, kot so

zidovi, stebri, nosilci, strop. Po drugi strani smo dobili tudi informacijo, da pretvorba ni bila uspešna (»error«) za elemente, kot so ograje, nekatera vrata in okna ter podobni arhitekturni elementi, ki jih Tekla Structures ne vsebuje v svoji knjižnici v primerjavi z Revitom. Na sliki 4.8 je prikazan takšen rezultat, kjer so z zeleno barvo označeni vsi elementi, ki niso bili uspešno pretvorjeni. Vse te elemente bi sedaj lahko pretvorili kot B-rep (angl. boundary representation), a ne bi predstavljali Tekla elementov in ne bi bili parametrični, kar pomeni da jih ne bi mogli spreminjati.



Slika 4.8: Opozorilo, da IFC-elementi, označeni z zeleno barvo, niso bili uspešno pretvorjeni

Na sliki 4.9 je prikazana primerjava obeh modelov, kjer smo dobili na prvi pogled zadovoljive rezultate. Preverili smo podrobnejše informacije, ki jih sedaj vsebujejo ti pretvorjeni elementi.



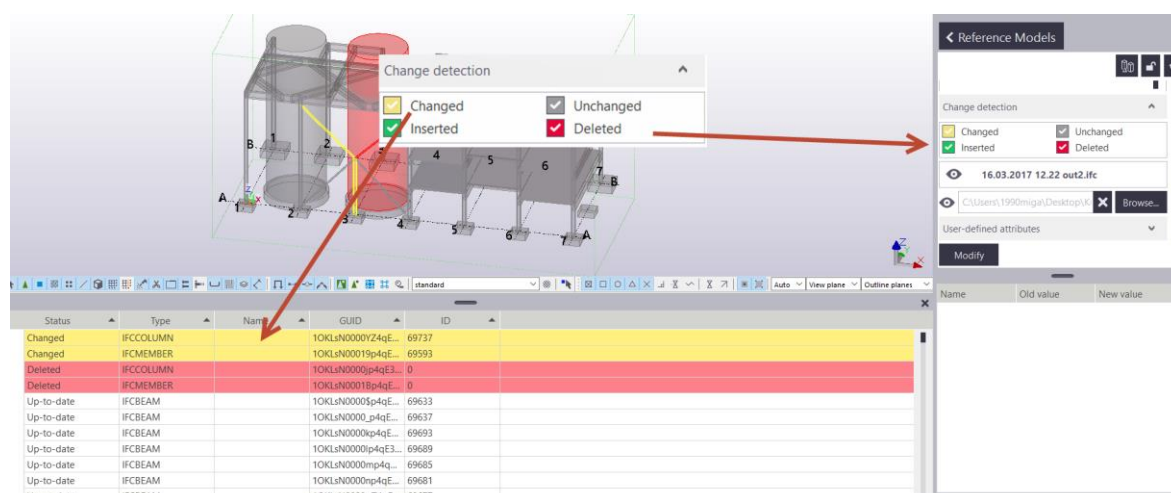
Slika 4.9: Primerjava obeh modelov (levo-pretvorjeni elementi IFC modela v Tekla izvorne elemente in desno-prvotni IFC model)

Opazili smo, da je večina elementov pretvorjena kot betonski element (zelena barva na sliki 4.9), medtem ko so vsa okna pretvorjena kot jekleni elementi (vijolična barva na sliki 4.9).

Okna in vrata so bila pretvorjena kot nosilci (beam), vse materialne informacije o posameznih elementih pa niso bile pridobljene v pretvorbi IFC-elementov (tako pri elementih v rubriki material piše na primer: Concrete_ Undefined ali pa Steel_ Undefined).

4.1.3 Arhitektova revizija

Ne obstaja projekt, pri katerem v času projektiranja in oblikovanja ne bi prišlo do sprememb. V našem primeru smo scenarij zastavili tako, da arhitekt, ki uporablja Revit, želi poslati popravljen IFC-model. Po ponovnem uvozu v Tekla Structures nas je zanimalo, ali nas bo pričakalo sporočilo o spremenjenih elementih.



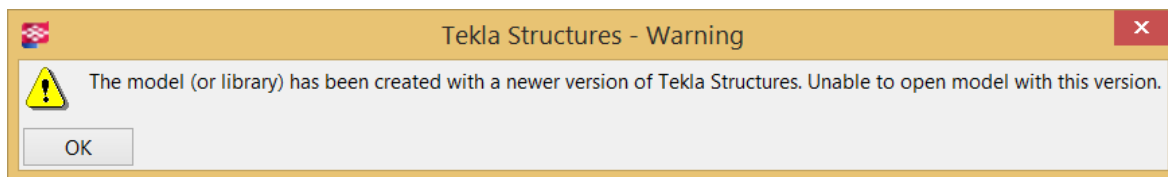
Slika 4.10: Revizija IFC-modela v Tekla Structures

V Tekli imamo možnost, ki se imenuje »IFC change management«. V zavihku »Reference models« najdemo ukaz »Change detection«, kjer vstavimo spremenjen IFC model, ki smo ga pridobili od arhitekta. Samodejno dobimo grafično predstavitev (slika 4.10), kjer so z rumeno barvo označeni vsi spremenjeni elementi, z rdečo barvo vsi elementi, ki so bili izbrisani, dodani novi elementi s strani arhitekta pa bi bili označeni z zeleno barvo. Vsi drugi elementi imajo sivo barvo. V primeru, da smo prvotni IFC-model že pretvorili v izvorne elemente Tekla (4.1.2), imamo sedaj možnost sprejeti te spremembe na izvornih elementih z ukazom na »apply«.

4.2 Interoperabilnost gradbeni inženir – gradbeni inženir (Tekla Structures – Tekla Structures)

Testirali smo, kako poteka komunikacija med dvema projektantoma, ko oba uporabljata enako programsko orodje, a v različnih različicah (v našem primeru Tekla Structures).

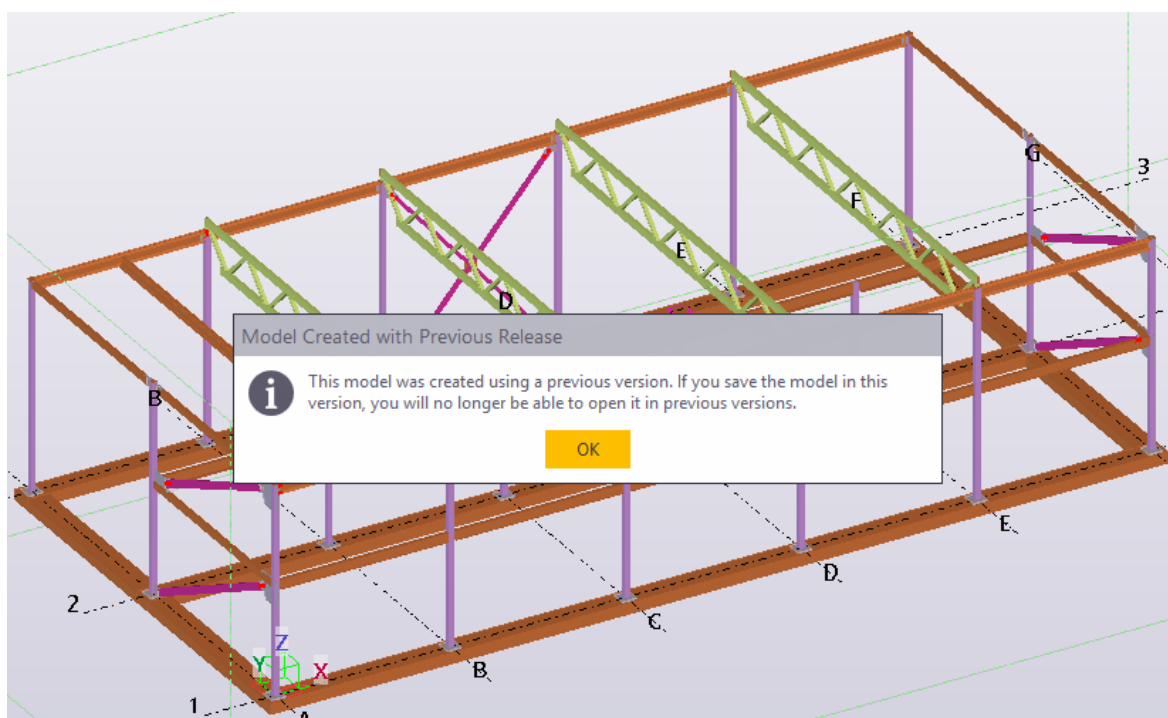
Medsebojna združljivost obeh različic je omejena. Kot večina podobnih programov tudi Tekla Structures ni izjema. Modela, ki je bil modeliran v novejši različici Tekla Structures (v našem primeru različica 2016i), ni mogoče odpreti v starejši različici programa Tekla Structures (v našem primeru različica 21.1). Ob poskusu se pojavi pojavno okno, prikazno na sliki 4.11.



Slika 4.11: Pojavno okno ob poskusu odpiranja modela različice 2016i v različici 21.1

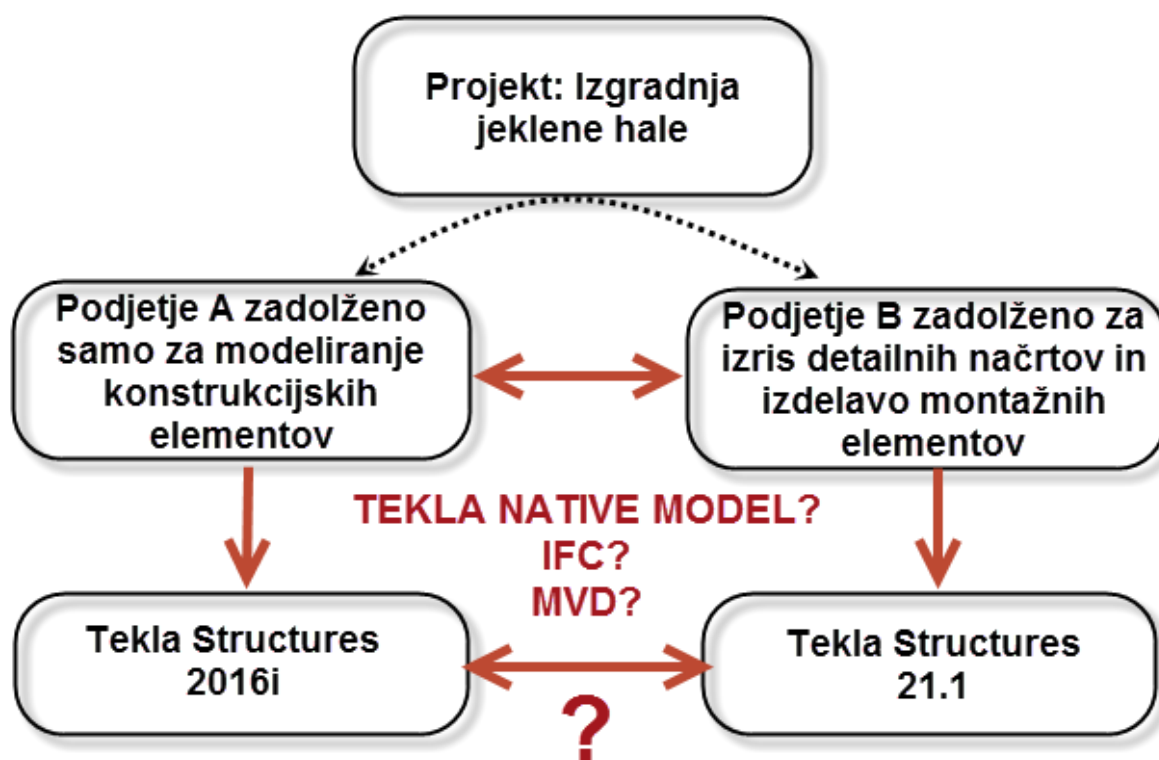
Kot omenjeno v uvodu, je glavna tema tega magistrskega dela interoperabilnost. V tem primeru gre za interoperabilnost znotraj programa Tekla Structures.

Model, ki smo ga izdelali v programu 21.1, je možno brez težav odpreti z vsemi informacijami v novejši različici (2016i), a tudi tukaj nas pričaka opozorilo, da ga ne bo več mogoče odpreti v starejši različici, če ga bomo shranili v tej različici. Tak primer je prikazan na sliki 4.12.



Slika 4.12: Opozorilo, da shranjeni model v tej različici (2016i) ne bo več združljiv s prejšnjimi različicami

Na sliki 4.13 je shematsko predstavljena problematika interoperabilnosti v takšnem primeru. Podjetje A je zadolženo le za modeliranje v projektu izgradnje jeklene hale (model, prikazan na sliki 4.12), nato pa po dogovoru želi posredovati končan model podjetju B, ki je zadolženo samo za montažne risbe in produkcijo jeklenih elementov. V začetni fazi projekta je bil sklenjen dogovor le o izbiri programskega orodja, kjer sta bili v tem primeru obe podjetji soglasni z izbiro Tekla Structures. Pri dogovoru pa poseben poudarek ni bil dan izbiri različice tega orodja. Tako sedaj podjetje B, ki ima zaposlenih le 10 ljudi, sporoča, da modela ne morejo odpreti in da se jim pojavlja prikazano okno s slike 4.11. Sporočajo, da uporabljajo različico TS 21.1 in da zaradi stroškov v bližnji prihodnosti nimajo namena investirati v novejšo različico programskega orodja. Naj omenimo, da strošek obnovitve licence v takšnem primeru ni visok, a je popolnoma razumljivo, da si manjša podjetja takšnega stroška ne morejo privoščiti vsako leto, saj podjetje Trimble običajno izdaja dve novi različici Tekla Structures na leto.



Slika 4.13: Shematski prikaz praktičnega problema

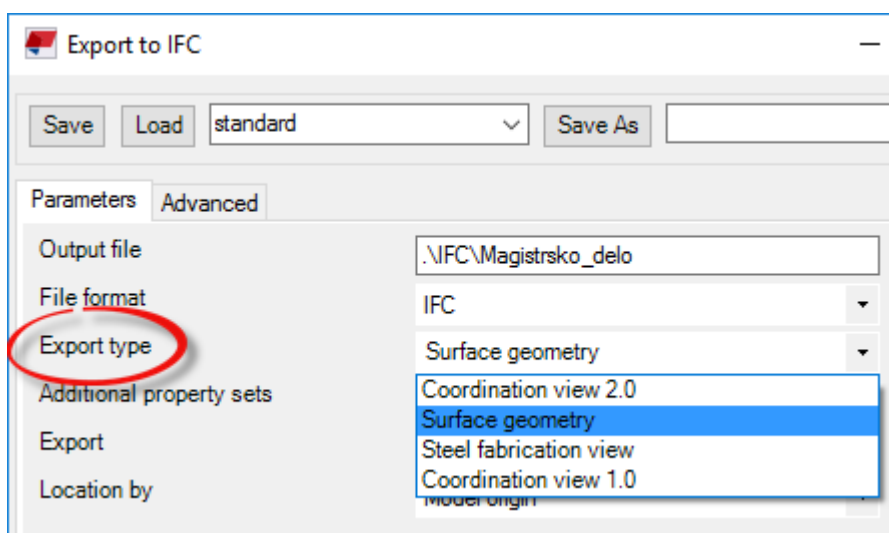
Tekla Structures ponuja možnost pretvorbe elementov modela IFC v Tekla izvorne elemente z ukazom «Convert IFC objects to Tekla native objects», kot je prikazano že v prejšnjem

primeru (arhitekt – projektant). Ugotovili smo že, da ta pretvorba deluje zadovoljivo, toda daleč od odličnosti.

Predpostavka v primeru pretvorbe elementov modela IFC, izvožene iz Tekla Structures 2016i in pretvorba teh elementov IFC-modela v izvorne objekte Tekla, je, da bo delovala brezhibno (brez izgube informacij). A, kot smo v nadaljevanju ugotovili, ima tukaj še kako pomembno vlogo izbira pravilnega MVD (model view definition) in tukaj se pokažejo besede Eastmana, da sama funkcija izvoza in uvoza formata datoteke IFC v programskih orodjih BIM ne predstavlja veliko, če podmnožica MVD, ni izbrana pravilno ali pa niti ni na voljo. (Eastman, et al., 2011)

4.2.1 Različni MVD izvoženega IFC-modela iz Tekla Structures 2016i

Tekla ponuja štiri različne izbire MVD pri izvozu IFC 2x3 podatkovne sheme, ki so predstavljene na sliki 4.14.



Slika 4.14: MVD-možnosti pri izvozu IFC-datoteke

Coordination view 2.0 predstavlja IFC2x3 Coordination View Version 2.0, ki je tudi uradni MVD, izdelan s strani podjetja buildingSMART. Zadnja uradna različica IFC-sheme, izdelana s strani BuildingSmart, je, kot že omenjeno, IFC 4, ki pa ga Tekla Structures 2016i, tako kot v uvozu IFC-modela, ne podpira niti pri izvozu IFC-datoteke. Ta je prišel v uradno veljavo leta 2013, ko je zamenjal njegovega predhodnika IFC2x3 Coordination View (Coordination view 1.0 na sliki 4.14). (BuildingSmart, 2016)

Surface geometry je dobra izbira, če bo IFC-model posredovan le za koordinacijo oblikovanja (design coordination) ali le za vpogled v model (viewer type). Številni objekti (armatura, vijaki, ukrivljeni elementi,...) so v tem primeru izvoženi kot B-rep (BREP). Torej bo takšen model odličen za vizualizacijo, merjenje dimenzij, preveritev sovpadanja elementov itd., ne bo pa uporaben za spreminjanje elementov in njihovih informacij, saj takšen izvoz ne podpira CSG (Constructive solid geometry). CSG je tehnika, uporabljena pri modeliranju trdnih elementov. Model, izvožen z nastavitvijo Surface geometry, bo praviloma zasedel tudi manjšo kapaciteto kot druge tri možnosti.

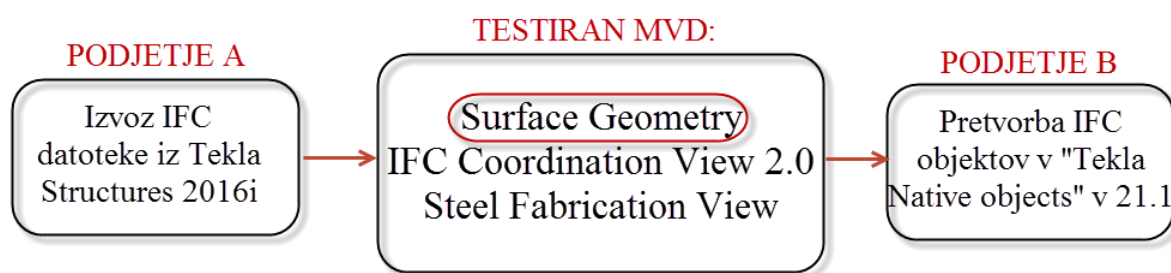
»Coordination view 2.0« je priporočljiva izbira, če programsko orodje, ki bo sprejelo izvožen IFC, podpira možnost uvoza takšne IFC sheme. Tukaj izvoz podpira CSG in ukrivljene elemente. Vijaki so še vedno izvoženi kot B-rep.

»Steel fabrication view« je priporočljiv, ko želimo izvoziti podrobne informacije o jeklenih elementih, ki bodo nato izdelani v proizvodnji. Izvoženi so zvari in luknje za vijake.

Naj omenimo, da je za privzeto nastavitve v Tekla Structures, ko začnemo operacijo »Export to IFC«, izbrana možnost »Surface geometry«, ki pa nam iz zgoraj opisanih posameznih nastavitvev da slutiti, da to lahko povzroča težave.

Odločili smo se, da na konkretnem primeru jeklene hale testiramo vse tri možnosti MVD pri izvozu IFC-sheme (možnosti Coordination view 1.0 ne bomo testirali).

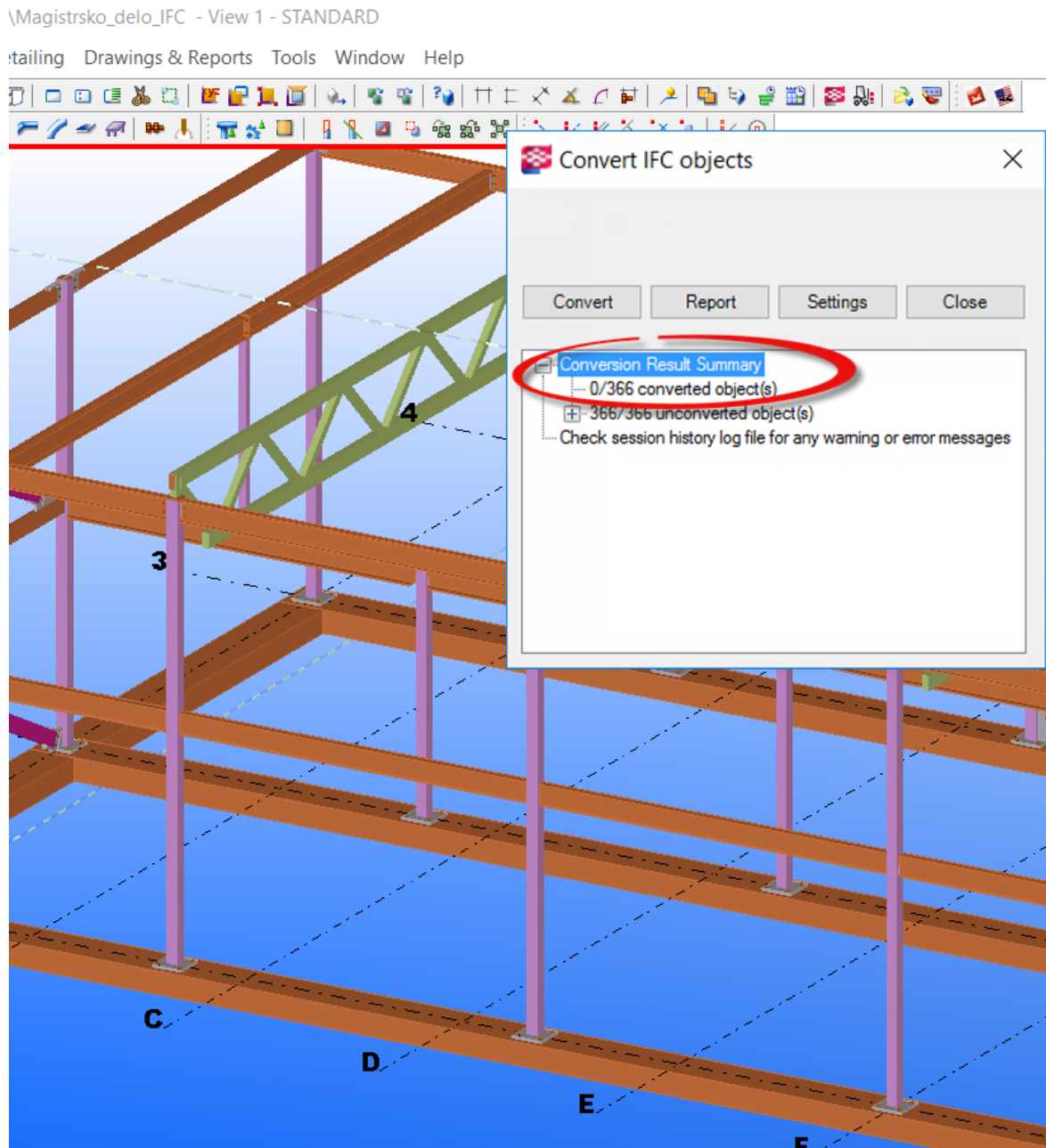
4.2.1.1 Možnost A: Surface Geometry



Slika 4.15: Test z nastavitvami »Surface Geometry«

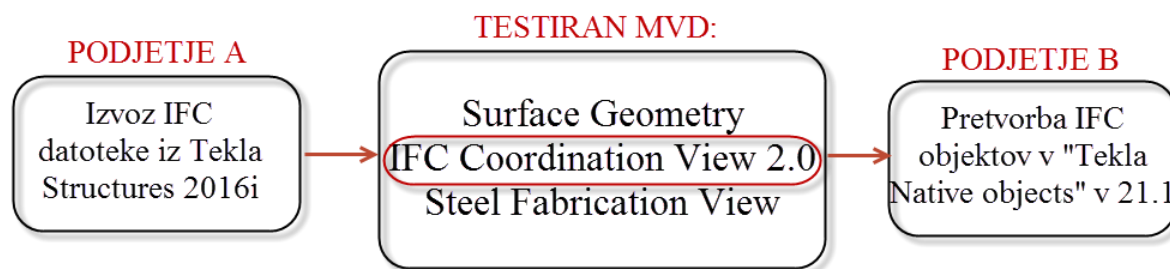
Najprej smo v Tekla Structures 2016i izvozili IFC-model s privzetimi nastavitvami, kot je prikazano na sliki 4.15. Predpostavka je, da takšne nastavitve uporablja tudi večina uporabnikov, ki niso tako seznanjeni z MDV in pomembnostjo teh. V večini primerov, ko si

bodo naročniki, gradbeni izvajalci ogledali le zunanost modela s kakšnim neodvisnim pregledovalnikom (na primer Solibri), to tudi popolnoma zadovolji vse akterje takšne komunikacije. V našem primeru to predstavlja dodatno težavo za podjetje B. Slika 4.16 prikazuje pričakovani rezultat ob poskusu pretvorbe elementov modela IFC v izvorne elemente Tekla (Tekla native objects). Niti en sam element ni bil uspešno pretvorjen (0/366). Takšni rezultati potrdijo naša pričakovanja, saj objekti, izvoženi kot Surface geometry MDV, kot že zapisano, ne podpirajo CSG. Projekt jeklene hale bo sedaj še enkrat več časa v fazi »čakanja«, saj podjetju B takšen IFC ne koristi prav veliko. Imajo sicer možnost pretvoriti vse elemente v BREP-elemente, ki se lahko uporabljajo tudi v načrtih v TS, ampak v takšnem modelu ne morejo spreminjati ničesar (kar je za podjetje, ki se ukvarja z najmanjšimi podrobnostmi v modelu, še kako pomembno pred proizvodnjo jeklenih elementov). B-rep elementi ne vsebujejo vijakov, kar je tudi nujno potrebno za podjetje B. Imajo pa tudi možnost, da vse elemente ponovno izdelajo sami, kar bi popolnoma razvrednotilo delo podjetja A in predstavljalo veliko izgubo časa (denarja).



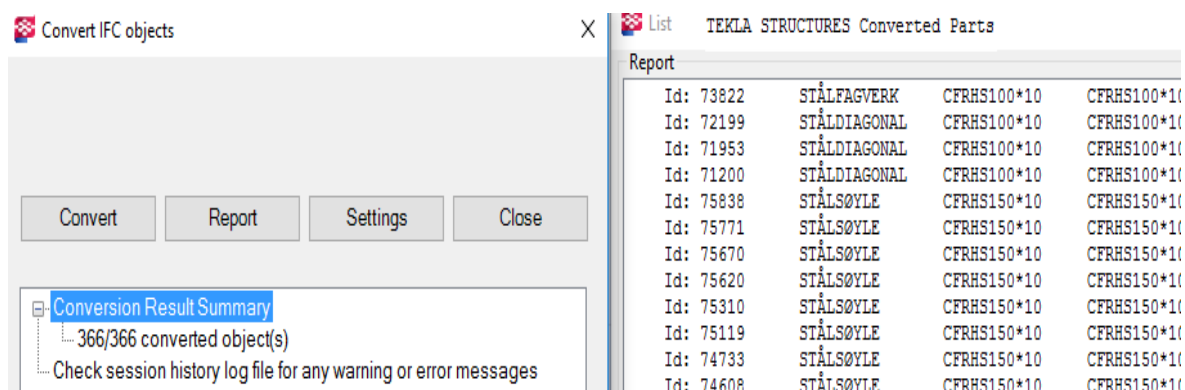
Slika 4.16: 0/366 IFC-elementov je bilo pretvorjenih v izvirne elemente Tekla – Surface Geometry

4.2.1.2 Možnost B: Coordination view 2.0



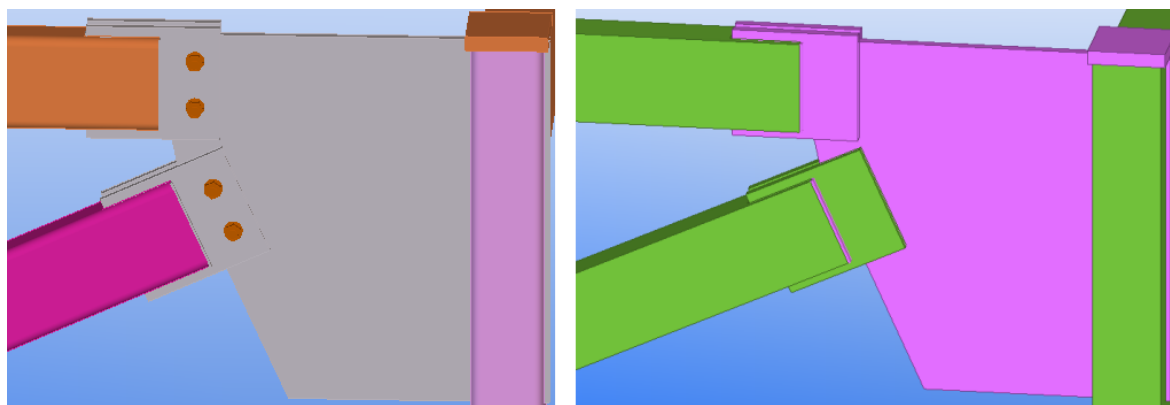
Slika 4.17: Test z nastavitvami »IFC Coordination View 2.0«

Po izvozu datoteke z nastavitvami IFC 2x3 (IFC Coordination View 2.0) tokrat pretvorba IFC-objektov pričakovano deluje odlično (366/366). Tokrat dobimo tudi poročilo, kako so bili vsi IFC-objekti pretvorjeni v Tekla »Native objects« (slika 4.18).



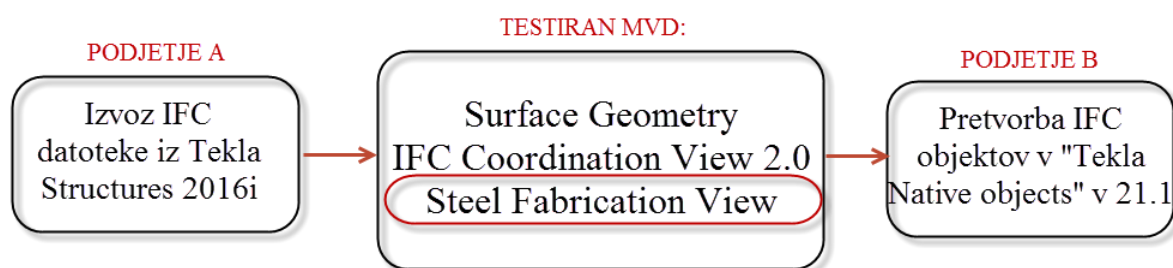
Slika 4.18: Pretvorba IFC-objektov in del poročila

A tudi tu podjetje B še ni popolnoma zadovoljno. Ob pogledu na podrobnosti vidimo, da še vedno manjkajo vijaki (oziroma vsaj luknje za vijake), ki pa so vidni na IFC-modelu (slika 4.19).



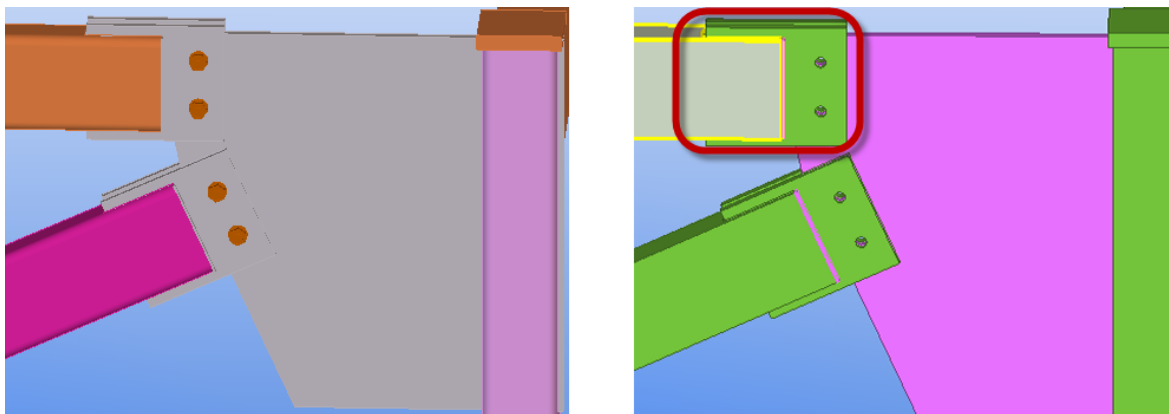
Slika 4.19: IFC-model na levi strani z vijaki in pretvorjeni IFC-elementi na desni strani (brez vijakov)

4.2.1.3 Možnost C: Steel Fabrication View



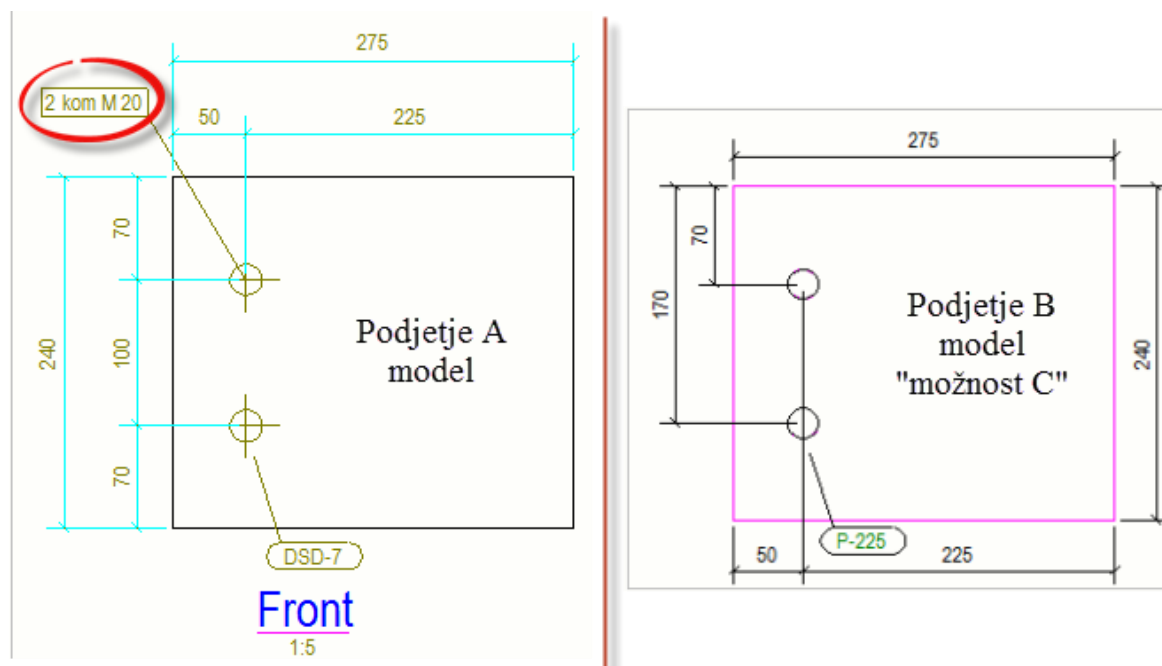
Slika 4.20: Test z nastavitvami »Steel Fabrication View«

Edina razlika na konkretnem primeru v primerjavi z možnostjo B se pokaže pri tem, da tokrat v elementih, kjer so vijaki, namesto teh dobimo luknje. S temi luknjami se podjetje B lahko posveti izdelavi podrobnih načrtov, a še vedno ni mogoče pridobiti vseh informacij o objektih (vijaki, zvari), kot so dostopni v izvornem modelu.



Slika 4.21: Primerjava izvirnega modela (levo) in modela s »Steel Fabrication View« MVD (desno)

Za primerjavo smo izdelali en načrt »single-part« označene zaplate na sliki 4.21 v izvirnem modelu (TS 2016i) in v modelu, ki je bil pretvorjen iz izvožene datoteke IFC z nastavitvami Steel Fabrication View kot MVD. V izvirnem modelu dobimo samodejno označitev za vijake (2 kos M 20) – glej levo stran slike 4.22, medtem ko v modelu »možnost C« te informacije ne pride samodejno v načrt (desna stran slike 4.22), saj je Tekla ne more pridobiti iz modela, saj tam ni vijaka. Takšne oznake bo treba narediti ročno.



Slika 4.22: Načrt podjetja A (levo), načrt podjetja B (desno)

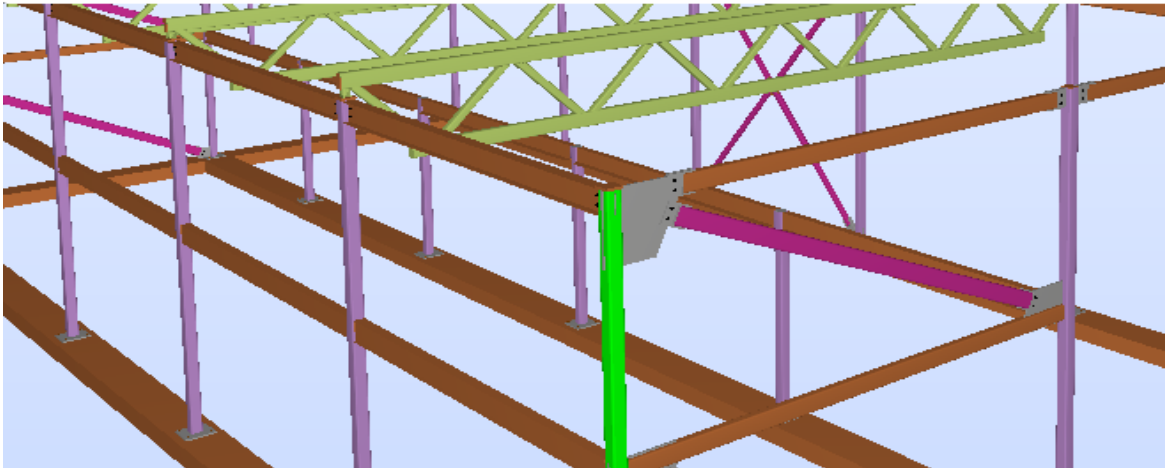
4.3 Test interoperabilnosti gradbeni inženir – naročnik/gradbeni izvajalec (Tekla Structures – SMV, TeklaBimSight)

V magistrskem delu smo do sedaj veliko govorili o MVD in spoznali pomembnost tega pri izvozu in uvozu IFC podatkovne sheme z različnimi nastavitvami. Sedaj nas je zanimalo, ali je možno v Tekla Structures samostojno dodati kakšen P-set (property set) k že predefiniranemu MVD, tako da bo naročnik, ali pa na primer gradbeni izvajalec, imel vpogled v dodatne informacije v tako izvoženi IFC-datoteki. Omenjene predefinirane konfiguracijske datoteke MVD najdemo v programu Tekla Structures v `..\ProgramData\TeklaStructures\ <version>\Environments \Common\inp`. Te datoteke so »read-only«, kar pomeni, da jih ne moremo spreminjati, lahko pa dodajamo nove property sets v dialogu »property set definitions«, kot je prikazano na sliki 4.25. Z ukazom na »Export to IFC« pritisnemo možnost »Edit« in odpre se pojavno okno z imenom »Property Set Definitions«.

Najprej smo preverili, kakšne informacije lahko pridobimo v neodvisnem pregledovalniku Solibri Model Viewer, ko izvozimo model IFC s prevzetimi nastavitvami CoordinationView

2.0 kot izhodiščni MVD. Za označeni stebri (zeleni barva) na sliki 4.23 so prikazane informacije, ki jih takšen IFC ponuja.

Identification		Location		Quantities		Material		Profile		Relations	
Classification	Hyperlinks	BaseQuantities		Pset_ColumnCommon		Tekla Common		Tekla Common		Tekla Quantity	
Property				Value							
Length				5.95 m							
NetVolume				33 l							
NetWeight				255.617							
OuterSurfaceArea				3.53 m ²							



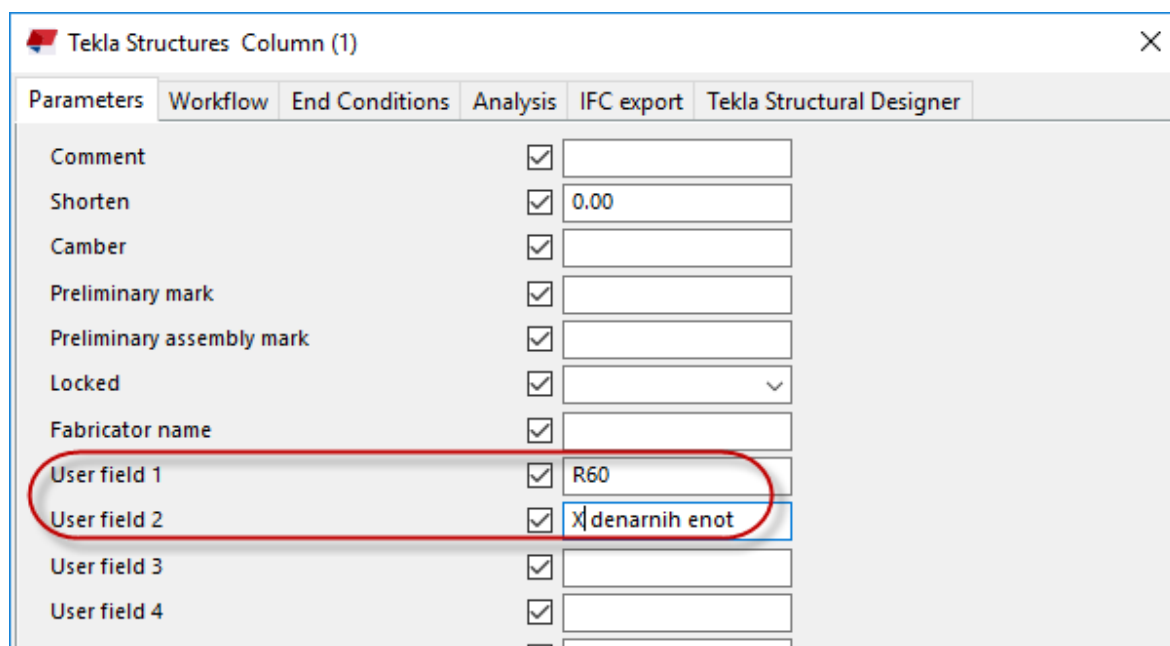
Slika 4.23: Solibri Model Viewer – prikaz informacij

Material, Profile, BaseQuantities, Pset_ColumnCommon in tako naprej so vse informacije, ki smo jih uspešno izvozili iz Tekla Structures v obliki IFC s pomočjo datoteke, ki definira MVD CoordinationView 2.0:

- IfcPropertySetConfigurations_CV2.xml (Default property sets).

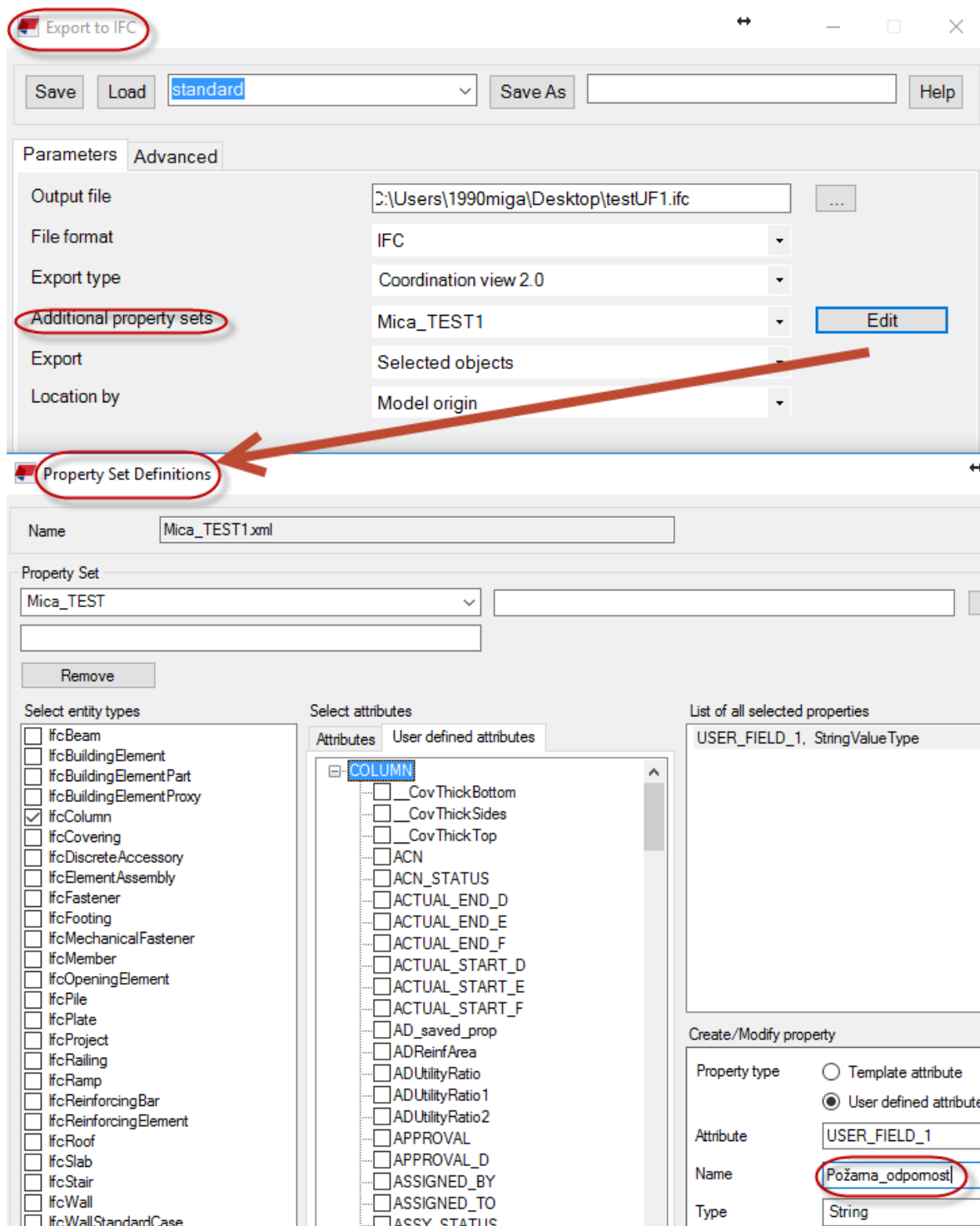
Postavili smo scenarij, kjer si naročnik in glavni gradbeni izvajalec želita dodatne informacije o stebrih in nosilcih v izvoženi datoteki IFC. V projektu jeklene hale iz poglavja 3.2 je bilo tako zahtevano, da vsi stebri in nosilci vsebujejo informacijo o zahtevani požarni odpornosti. Predpostavljeno je, da bo jeklena hala v prihodnosti vsebovala večnamensko sežigalnico in da bo precej dela z visokimi temperaturami. Tako bodo imeli stebri v tem predelu zahtevano požarno odpornost R60, drugi pa R30. Za glavnega gradbenega izvajalca je to zelo koristna informacija, če jo lahko razbere iz samega modela (možnost ima, da IFC-datoteko odpre na primer na tabličnem računalniku ali pa kar na prenosnem telefonu). Naročnik je zahteval tudi informacijo o predvidenem strošku teh stebrov z dodatno požarno zaščito.

Po navodilih s spletne strani »Tekla user assistance« smo vsem stebrom in nosilcem najprej dodali informacijo o požarni odpornosti in tudi informacijo o strošku teh s požarno odpornostjo R60. To storimo v nastavitvah objektov – ukaz »user-defined attributes ...«, kjer v polja za User field 1 in User field 2 vnesemo te informacije (glej sliko 4.24).



Slika 4.24: Dodajanje »user defined attributes« k izbranemu stebrom

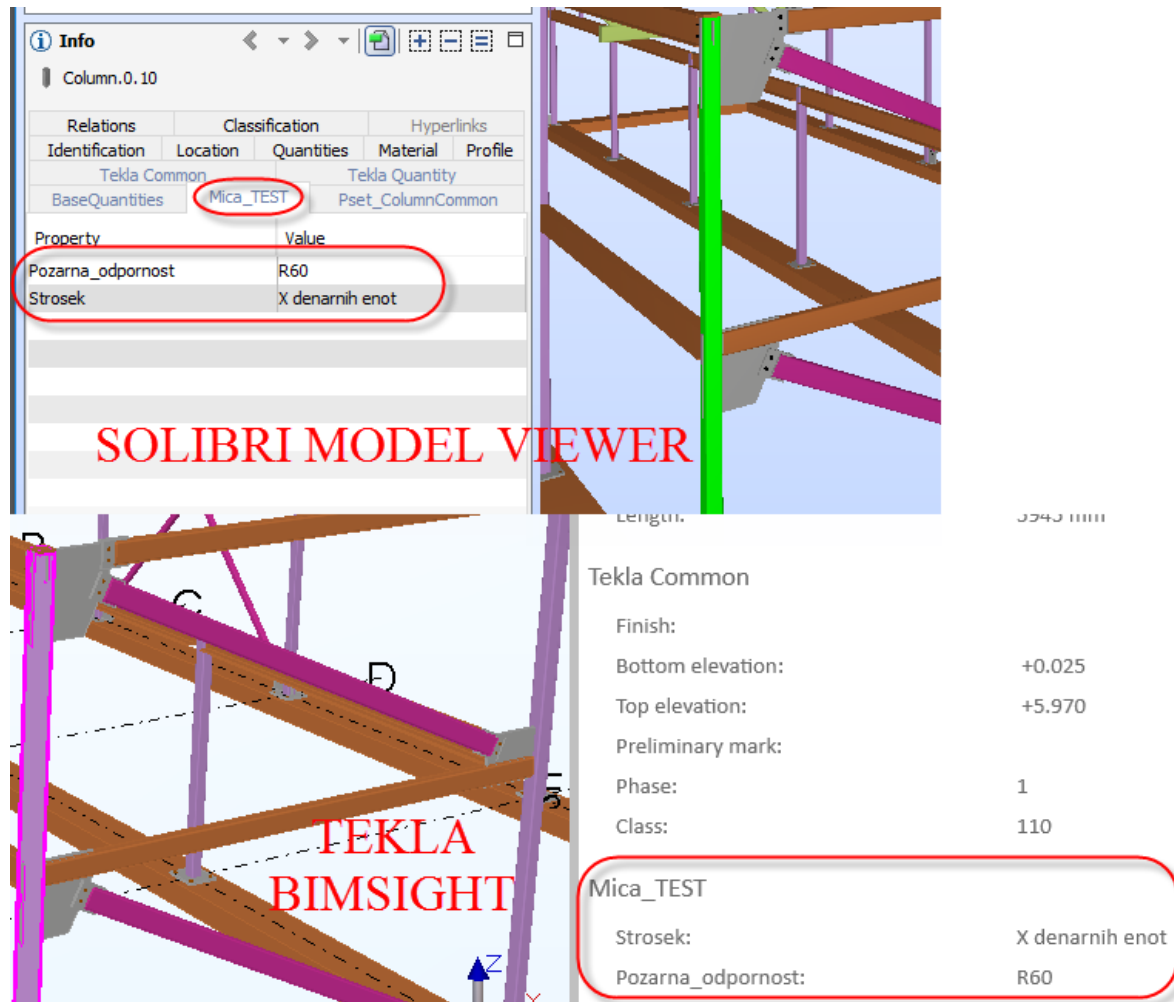
Ti dve informaciji smo nato dodali kot »property set« k že definiranemu MVD: CoordinationView 2.0 (slika 4.25).



Slika 4.25: Dodajane »property sets« h Coordination View 2.0

Mica_TEST1.xml. je sedaj datoteka, ki ima enako strukturo kot na primer IfcPropertySetConfigurations_CV2.xml, ki, kot že zapisano, definira MVD. V tem primeru ga ta datoteka sedaj dopolnjuje. Datoteka Mica_TEST1.xml je priložena v prilogi.

Po izvozu IFC-datoteke s takšnimi nastavitvami smo odpri IFC-model v Solibri Model Viewer in v Tekla BimSight. Na sliki 4.26 vidimo, da je bil takšen izvoz uspešen.



Slika 4.26: Preverba izvoza IFC-datoteke v SMV in v Tekla BimSight

Zaključek:

Z dodajanjem takšnih informacij k modelu in po uspešnem izvozu v IFC shemi lahko predvidevamo, da bo vedno lažje pridobiti vse potrebne informacije kar iz modela, torej v prihodnosti ne bodo več potrebni 2D-načrti na gradbišču. V skandinavskih državah je že kar nekaj podjetij, ki na manjših projektih poskušajo izpeljati projekt izključno s prikazi BIM modela v digitalni obliki, popolnoma brez 2D-načrtov.

4.4 Test interoperabilnosti gradbeni inženir – statik (Tekla Structures – SAP 2000, IDEA Statica)

Do zdaj smo v praktičnem delu uporabljali IFC-model kot prenos podatkov med različnimi udeleženci gradbenega projekta, a, kot že omenjeno v poglavju 2.5, poznamo tudi tako imenovane »neposredne povezave« ali »direct links«, ki uporabljajo API-sistem za prenos informacij in podatkov z ene aplikacije na drugo. Takšno povezavo smo testirali med Tekla Structures 2016i in trenutno zadnjo različico SAP 2000 v.19. Ker obe testirani aplikaciji podpirata tudi IFC-uvoz/izvoz, smo želeli primerjati razliko v obeh metodah interoperabilnosti.

»Izdelan konstruktorski model je podloga za izdelavo modela za analizo. Računski model lahko izdelamo v programu Tekla Structures, nakar ga lahko preko povezave neposredno izvozimo v analitični program SAP 2000 in izvedemo statično oziroma dinamično analizo. Povezava med Tekla Structures in SAP 2000 v inženirskih birojih izboljšuje delotok v projektni fazi gradbenega projekta. Modeliranje fizične strukture se začne v Tekla Structures, kjer inženir pridobi informacije o strukturi konstrukcije. Z vnosom obtežb, podpor oziroma robnih pogojev in drugih lastnosti, potrebnih za analizo, lahko v Tekla Structures izdelamo računski model, ki ga analiziramo v SAP 2000. Po analizi in rezultatih so spremembe v modelu (npr. sprememba prereza) samodejno integrirane nazaj v model v Tekla Structures. Ko se pojavijo spremembe v projektu, je lahko nov model ponovno analiziran in združen v SAP 2000 ter obratno, spremembe v SAP 2000 posodobijo model v Tekla Structures. Povezava med programoma je zgrajena na standardu Open API (angl. Open Application Programming Interfaces, slo. odprti vmesniki za programiranje aplikacij), ki omogoča krožno funkcioniranje in zanesljivo vzdrževanje integriranega delotoka« (Kravanja, 2014).

»Informacije, ki so lahko prenesene iz Tekla Structures v SAP 2000, so:

- vozlišča, elementi, plošče, stene, vozliščne podpore, sprostivne elementov;
- toge vezi;
- obtežbe: lastna teža, vozliščna obtežba, točkovna obtežba na elementu, porazdeljena obtežba, obtežba plošč ali zidov;

- materiali;
- prečni prerezi in
- projektni parametri.

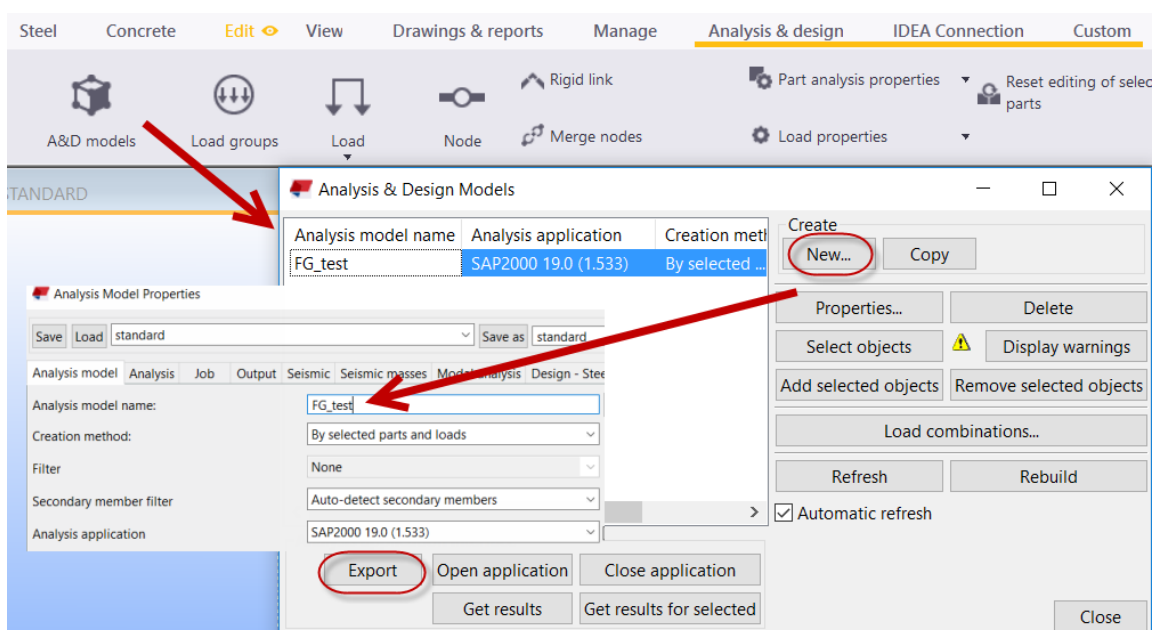
Informacije, ki so lahko prenesene iz SAP 2000 v Tekla Structures, so:

- sprememba prereza,
- sile v vozliščih in elementih za vse obtežne kombinacije,
- pomiki in zasuki elementov za vse obtežne kombinacije in
- projektni rezultati, kot na primer stopnja armiranja ali količina in prerez armature.

Spremembe v modelu za analizo v Tekla Structures so lahko spojene v obstoječi model v SAP 2000 (na primer novi elementi, ki so bili dodani v model). Elementi in definicije, ki so bile dodane v SAP 2000, se ohranijo. SAP 2000 se s Tekla Structures poveže preko posebnega programa, ki omogoča neposredno povezavo, ki ga dobimo v Teka Warehouse, kjer dobimo tudi druge dodatke za Tekla Structures. Pogoji, da povezava deluje, je le, da sta oba programa nameščena na istem računalniku« (Kravanja, 2014).

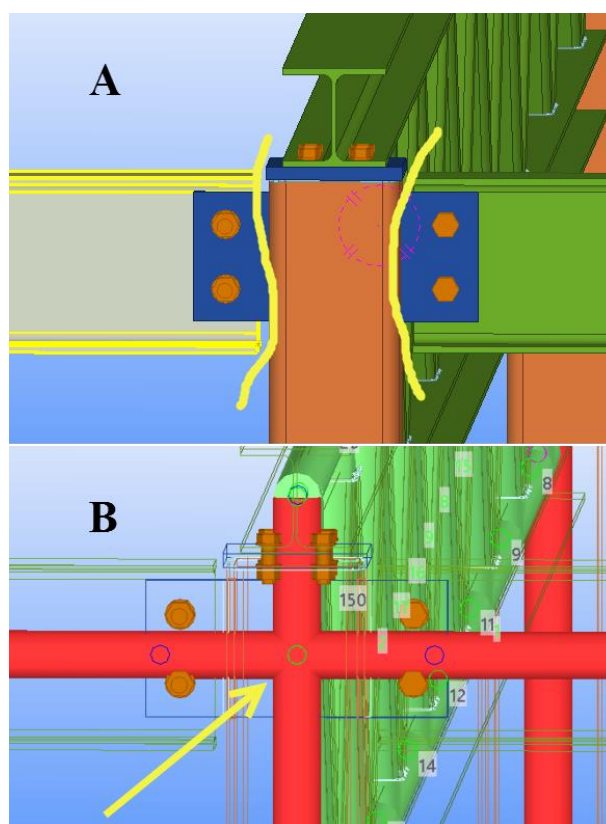
4.4.1 Izvoz s pomočjo API-povezave iz TS v SAP 2000

Pripravili smo model za analizo z imenom «FG_test». V Tekla Structures 2016i to naredimo v zavihku «Analysis&design» in potem izberemo «A&D models» (glej sliko 4.27).



Slika 4.27: Priprava »A&D«-modela za izvoz v SAP 2000

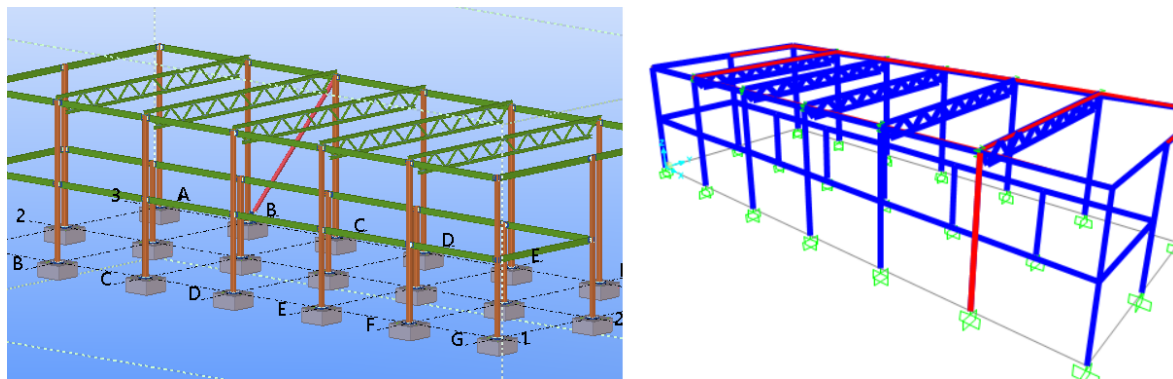
»Ko imamo popolnoma pripravljen računski model in lastnosti analize, ga lahko izvozimo neposredno v SAP 2000. To storimo s klikom na tipko Izvoz (angl. Export), pri čemer nam izpiše morebitne napake, ki jih lahko popravimo, če izberemo, da nam izpiše podrobnosti napake. Pred izvozom nas Tekla Structures tudi opozori, da moramo biti za projektiranje in analizo primerno kvalificiran inženir z izkušnjami na tem področju. Poleg tega nam še svetuje, da preverimo, ali se analitični model sklada z zahtevami izvirne fizične strukture. Po uvozu v SAP 2000 je model možno spreminjati tudi v tem programu: spreminjanje velikosti končnih elementov, dodajanje ali spreminjanje obtežbe, dodajanje podpor ali celo elementov« (Kravanja, 2014).



Slika 4.28: Tekla Structures izviren prikaz (A), prikaz za izvoz v SAP 2000 (B)

Pomembno je tudi razumeti razliko med pripravljenim modelom za analizo in izvirnim modelom v Tekla Structures. Na sliki 4.28 smo označili podrobnost, ki jo bomo v nadaljevanju podrobno obravnavali. Z oznako »A« je prikazan izviren model Tekla, kjer so bile pomembne podrobnosti, kot so zvari, vijaki, rez na nosilcih (označeno z rumeno barvo na sliki 4.28). Z oznako »B« pa je označen na primer model, ki je pripravljen za API-izvoz

iz Tekla Structures in uvoz v SAP 2000. Glavna razlika je v vozliščih. Za pravilno statično analizo je zelo pomembno, da se elementi, ki so soodvisni, med seboj (nosilec-steber) stikajo v istih točkah (vozliščih).



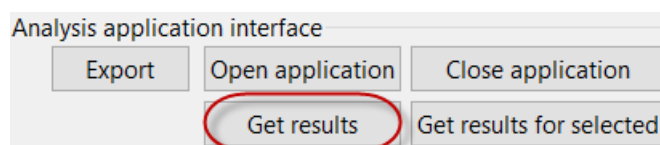
Slika 4.29: Uspešno izvožen model iz Tekla Structures (levo) v SAP 2000 (desno).

Izvoz modelov za statično analizo iz Tekla Structures v SAP 2000 s pomočjo API-vmesnika je preprost in enostaven za uporabo. Pri izvozu je model samodejno shranjen v format SAP 2000, torej v .sdb. Datoteka je lahko shranjena kjerkoli na računalniku, toda s privzetimi nastavitvami se shrani v datoteki »Analysis« skupaj z drugimi datotekami modela Tekla Structures.

Vse informacije o prečnih prerezih in materialnih značilnostih so bile uspešno izvožene.

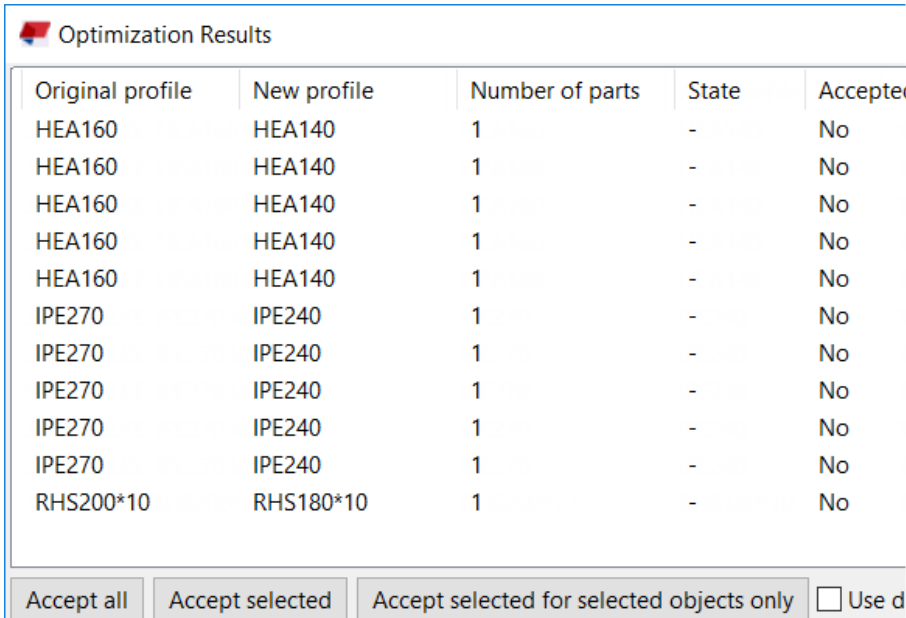
Velika prednost uporabe te neposredne povezave je, da lahko spremenjene podatke v SAP 2000 samodejno spremenimo tudi v Tekli. Tako smo na sliki 4.29 z rdečo barvo označenemu stebri spremenili prečni prerez iz RHS 200*10 v RHS 180*10. Predpostavka je, da smo po statični analizi ugotovili, da lahko zmanjšamo prečne prereze določenih nosilcev in stebrov ter s tem prihranimo pri stroških.

Po zaključku z optimiziranjem v SAP 2000 je treba najprej shraniti model in ga nato tudi zapreti. Predpostavka je, da je model Tekla Structures še vedno odprt in imamo tam sedaj možnost, da izberemo ukaz »Get results« (slika 4.30).



Slika 4.30: Ukaz »Get results«

Aplikacija SAP 2000 se samodejno ponovno odpre in v Tekla Structures se prikaže pojavno okno z optimizacijskimi rezultati (slika 4.31), ki jih je sedaj možnost sprejeti. S klikom na »accepted« se bo izbran prečni prerez samodejno spremenil v Tekla Structures.



Original profile	New profile	Number of parts	State	Accepted
HEA160	HEA140	1	-	No
HEA160	HEA140	1	-	No
HEA160	HEA140	1	-	No
HEA160	HEA140	1	-	No
HEA160	HEA140	1	-	No
IPE270	IPE240	1	-	No
IPE270	IPE240	1	-	No
IPE270	IPE240	1	-	No
IPE270	IPE240	1	-	No
IPE270	IPE240	1	-	No
IPE270	IPE240	1	-	No
RHS200*10	RHS180*10	1	-	No

Accept all Accept selected Accept selected for selected objects only Use d

Slika 4.31: Optimizacijski rezultati

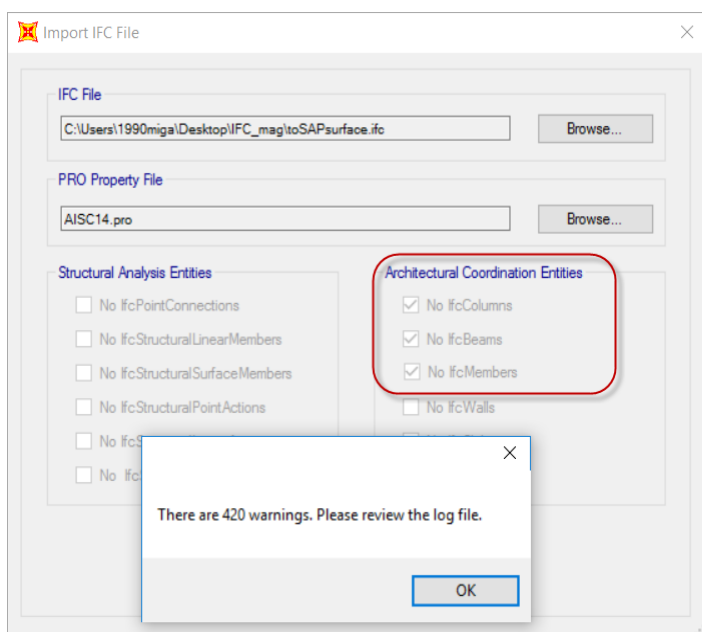
Neposredna povezava med Tekla Structures in SAP 2000 deluje učinkovito. Še posebej učinkovita je obojestranska možnost spreminjanja prečnih prerezov in drugih lastnosti elementov. Toda treba je še enkrat poudariti, da je glavni pogoj uporabe tega »linka«, da ima podjetje oba programa nameščena na istem računalniku. To pa seveda v majhnih podjetjih predstavlja velik finančni zalogaj. Potrebna je možnost uvoza in izvoza v odprtem standardu. Priporočljiva možnost uporabe odprtih standardov v primeru Tekle in SAP 2000 sta IFC-datoteka in CIS/2-standard (CIMSteel Integration Standard). Slednji se veliko uporablja za interoperabilnost med udeleženci, ki uporabljajo programe za statične analize. V našem primeru smo se odločili njuno povezavo preveriti le z izvlečkom IFC sheme.

4.4.2 Tekla Structures – SAP 2000 IFC-izvoz/uvoz

V poglavju 3.2 smo podrobno opisali možnosti izvoza IFC-scheme iz Tekla Structures. Tudi v tem primeru smo želeli preveriti, kakšni bodo rezultati v SAP 2000 z vsemi tremi možnostmi MVD, torej z uporabo nastavitve za:

- Surface Geometry,
- Coordination View 2.0,
- Steel Fabrication View.

4.4.2.1 Surface geometry



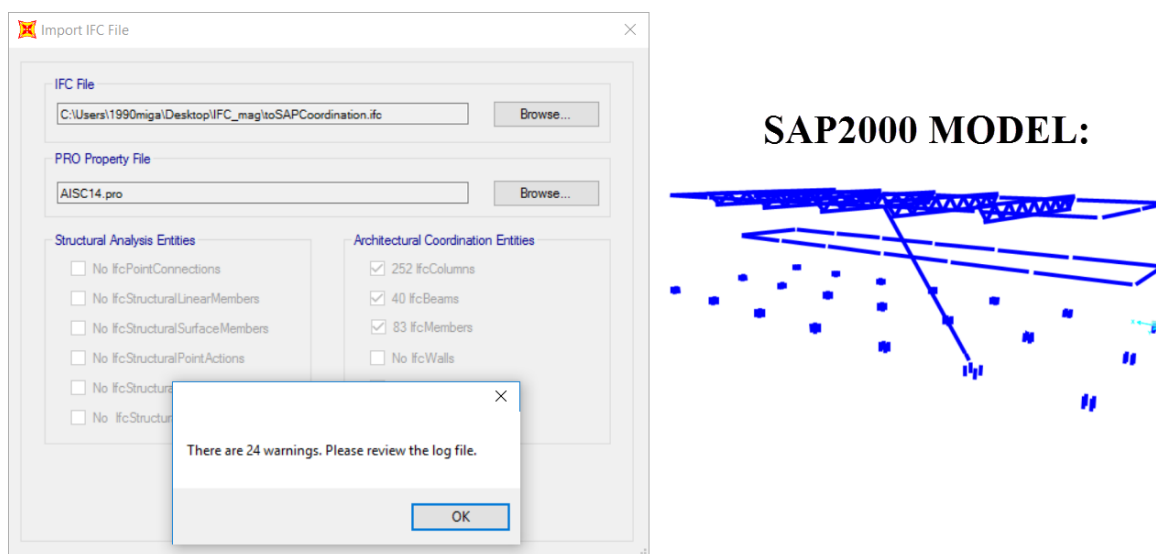
SAP2000 MODEL:



Slika 4.32: Uvoz IFC-datoteke s »Surface geometry« MVD

IFC-model, izvožen z MVD izbiro »Surface geometry«, ni uporaben v SAP 2000. Zaznan ni bil niti en element, zato tudi na sliki 4.32 na desni strani vidimo samo koordinatni sistem in nobenih drugih elementov.

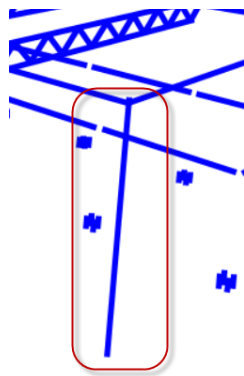
4.4.2.2 Coordination View 2.0



Slika 4.33: Uvoz IFC-datoteke s »Coordination view 2.0« MVD

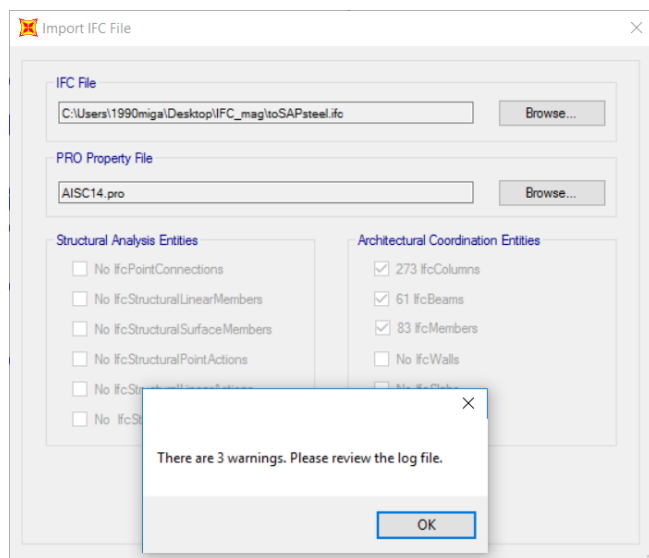
Tudi v primeru, ko smo uporabili »Coordination view 2.0« kot izbran MVD pri izvozu iz Tekle, ne dobimo zadovoljivih rezultatov. Na sliki 4.33 vidimo, da je bila večina elementov uspešno uvožena, a po drugi strani SAP 2000 ni uspešno zaznal glavnih stebrov s prečnim prerezom: RHS200*10. Vzrok za to leži v tem, da so vsi ti stebri detajlirani v Tekla Structures. SAP 2000 ni program, ki zazna vijake in zvale in zato teh stebrov tudi ne upošteva kot samostojne elemente. Da to drži, smo preverili, ko smo odstranili te detaile v Tekla Structures na enem izmed manjkajočih stebrov.

Ponovno smo izvozili IFC model iz Tekla Structures in tako dobili uspešno uvožen steber v SAP 2000. Seveda to le potrди naš vzrok neuspešnosti izvoza in pridobljenih rezultatov na sliki 4.33, nikakor pa to ne predstavlja načina, ki je priporočen, saj s tem izgubimo veliko opravljenega dela v Tekla Structures.

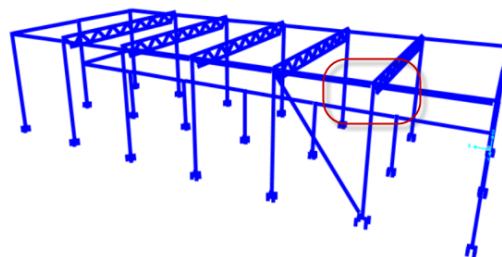


Slika 4.34: Uspešno uvožen steber v SAP 2000, po odstranitvi podrobnosti v Tekla Structures

4.4.2.3 Steel fabrication view:

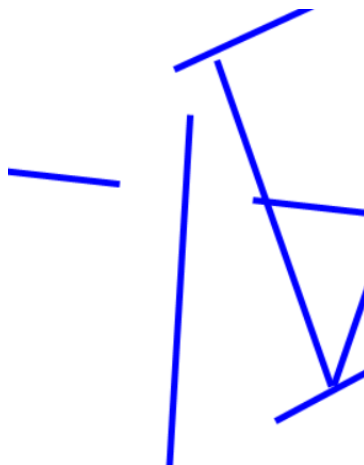


SAP2000 MODEL:



Slika 4.35: Uvoz IFC-datoteke s »Steel fabrication view« MVD

Tako kot v poglavju 3.2 tudi v tem primeru najboljše rezultate dobimo z uvozom IFC-datoteke v SAP 2000, ki je bila izvožena z nastavitvami MVD »Steel fabrication view«. Vsi prečni prerezi so uvoženi pravilno, a opazamo, da druge lastnosti, kot je na primer podatek o materialu, niso bile zaznane. To se da hitro spremeniti in ročno dodati v SAP 2000. Toda največja težava se v takšnem IFC-uvozu sedaj pokaže v vseh vozliščih, ki so bili detajlirani v Tekla Structures. Enega izmed številnih smo na sliki 4.35 označili z rdečo barvo.

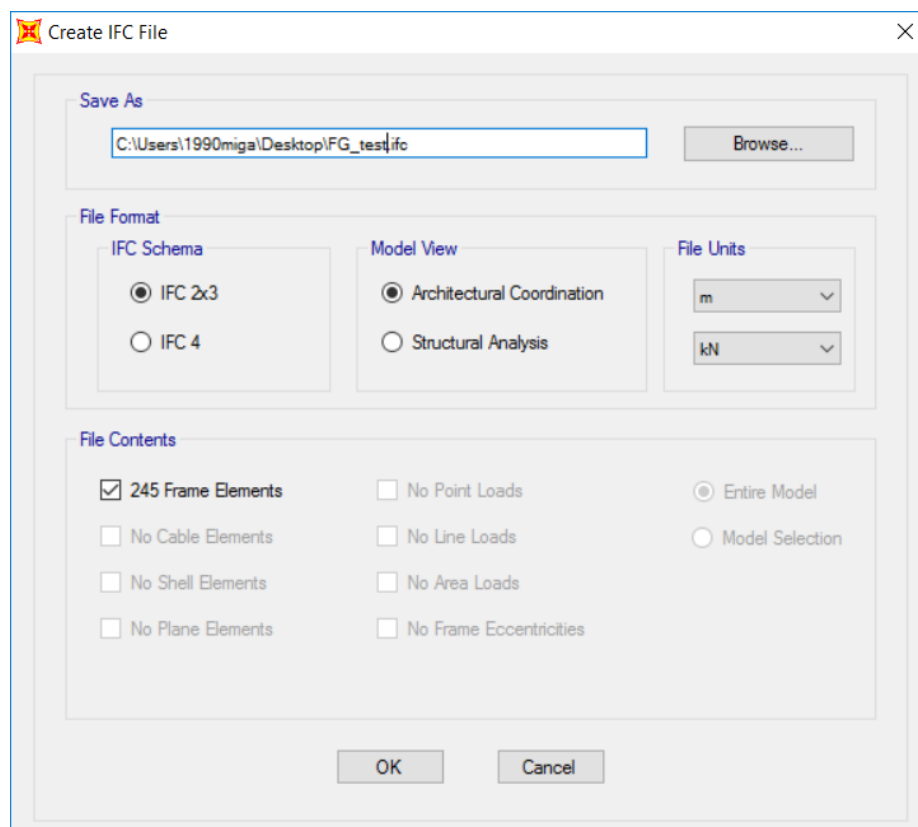


Slika 4.36: Prikaz nepravilnega vozlišča v SAP 2000

Če ta primer pogledamo od bližje, vidimo, da so nosilci »rezani« (slika 4.36), kar je tudi pravilen prikaz, saj to tudi so pravilne dolžine teh nosilcev, vendar, kot že omenjeno na sliki 4.28, takšen prikaz vozlišč za statično analizo ni pravilen. Treba je ponovno ročno spremeniti vsa vozlišča, da bi uspešno zagnali ukaz za statični izračun izbrane konstrukcije.

4.4.3 SAP 2000 IFC-izvoz možnosti

V SAP 2000 smo izdelali model, ki ima sedaj vsa vozlišča postavljena pravilno. Model je zelo podoben modelu, ki je bil predhodno izdelan v Tekla Structures. Zanimale so nas možnosti izvoza IFC-datoteke iz SAP 2000. Pohvalno ima SAP 2000 enostavno razčlenjeno izbiro (slika 4.37).



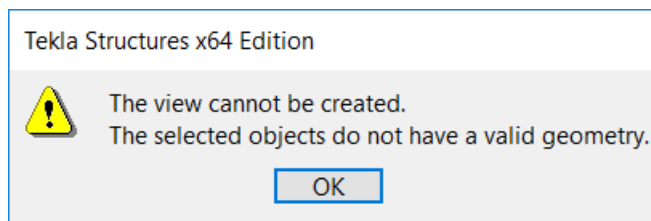
Slika 4.37: Možnosti IFC-izvoza iz SAP 2000

Na voljo imamo izvoz IFC v dveh najpogostejših shemah, to sta že opisana IFC 2x3 in IFC 4. Kot MVD lahko izbiramo med Architectural Coordination in Structural Analysis. Kot je bilo že testirano v poglavju 3.1.2, Tekla Structures ne podpira uvoza in izvoza IFC 4, zato smo se odločili testirati samo IFC-shemo 2x3 v obeh omenjenih MVD.

Obe IFC-datoteki sta bili hitro in uspešno izvoženi iz SAP 2000.

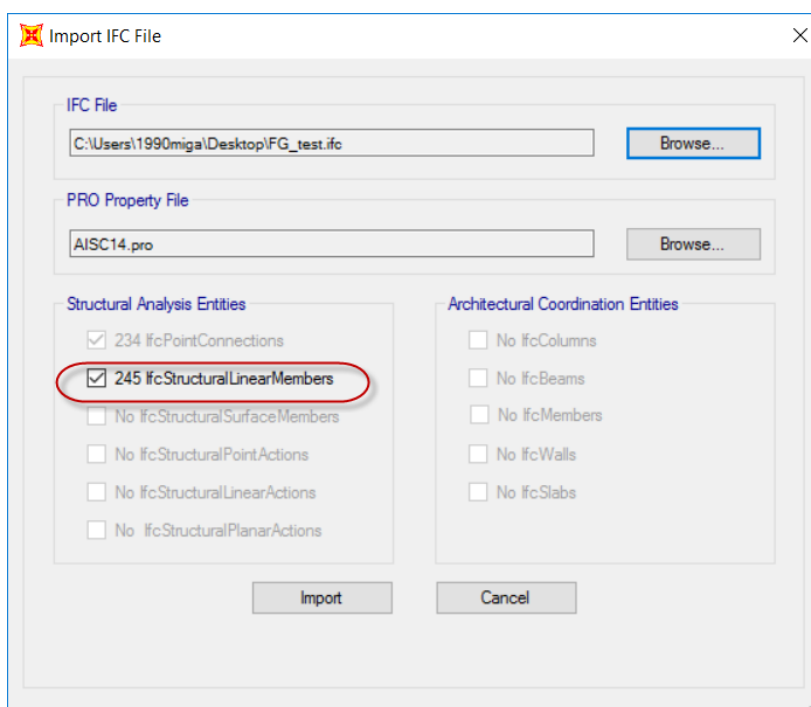
4.4.3.1 Structural Analysis

Sklepali smo, da zaradi tega, ker v Tekla Structures nimamo na izbiro izvoza IFC-sheme v Structural analysis MVD, tudi uvoz takšnega IFC-modela ne bo uspešen. Takšen sklep se je pokazal kot resničen. Po uvozu takšne IFC sheme smo ugotovili, da ni bilo nič uvoženo v naš model. Prikazalo se je le opozorilno okno na sliki 4.38, da izbrani objekti nimajo pravilne geometrije.



Slika 4.38: Izbrani objekti nimajo pravilne geometrije

Preverili smo tudi v Solibri Model Viewer in Tekla BimSight, a rezultat je bil tudi tam enak – prazen prikaz na zaslonu. Predpostavljamo, da je takšen uvoz možen le v aplikacijah, ki so namenjene izvajanju statičnih analiz. Tako smo ponovno izvedli uvoz takšne datoteke v SAP 2000 in dobili popolnoma pravilen prikaz modela.

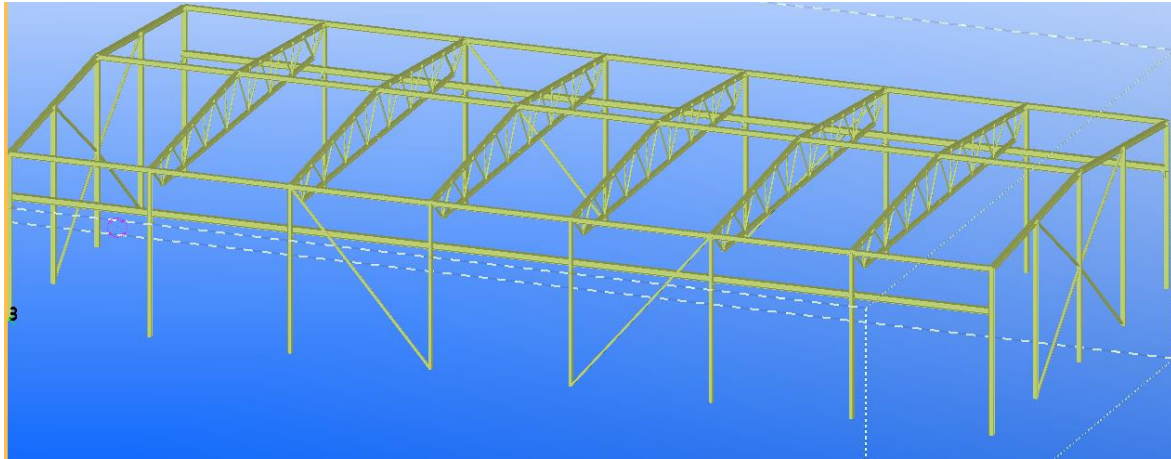


Slika 4.39: Uvoz IFC-datoteke »FG_test«, predhodno izvožene iz SAP 2000

4.4.3.2 Architectural Coordination

Z nastavitvami »Architectural Coordination« kot izbranim MVD smo uspešno uvozili IFC-model v Tekla Structures in tudi uspešno pretvorili vse elemente v izvirne elemente Tekla. Če primerjamo takšen IFC s tistim, ki smo ga pridobili od arhitekta v poglavju 3.1.2, je bila

sedaj pretvorba uspešnejša. Vsi prečni prerezi in lastnosti o materialu so bili uspešno pretvorjeni v izvirne elemente Tekla.



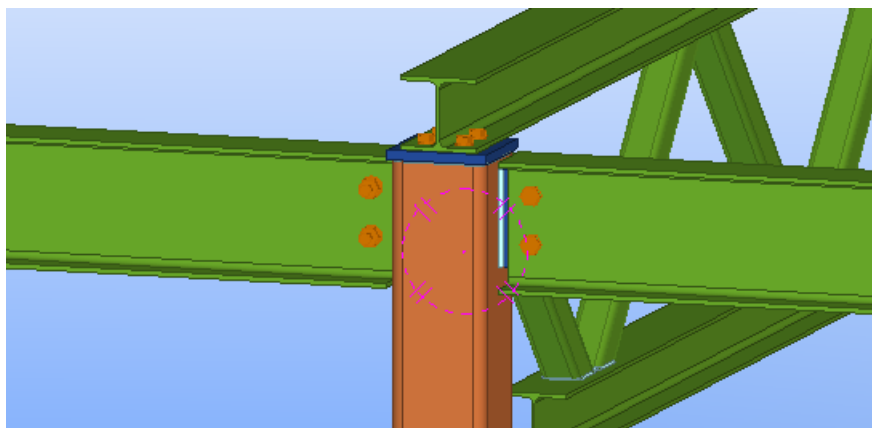
Slika 4.40: Uspešno pretvorjeni IFC-elementi v izvirne elemente Tekla, ki so bili izvoženi iz SAP 2000

Oba programa sta seveda namenjena konstrukcijskim namenom in takšen rezultat ni presenetljiv. Seveda pa ta model, ki smo ga uspešno pretvorili v izvirne elemente Tekla, ni detajliran in vsi popravki, ki smo jih dobili od statika, bi morali biti vneseni ročno (in ne samodejno, kot je v primeru uporabe »neposredne povezave« oziroma API-linka).

4.4.4 Tekla Structures – IDEA Statica

V današnjem svetu večina podjetij statične izračune za posamezne podrobnosti in spoje elementov izvaja z ročnimi izračuni ali pa uporablja pripravljene enačbe v Excelu/MathLab. Nekatera podjetja uporabljajo tudi programe, izdelane lokalno pri njih. Vsi ti izračuni so v večini primerov zelo natančni, ko govorimo o enostavnejših spojih. Pri zahtevnejših spojih in kompleksnejših topologijah elementov pa ponavadi uporabljajo večji varnostni dejavnik pri izbiri vijakov, zvarov in prečnih prerezov elementov. To vse pa ponavadi povzroča dodatne stroške, saj tudi ročni izračuni zahtevajo več časa od računalniških izračunov. Želeli smo preveriti API-kompatibilnost med Tekla Structures in programom IDEA Statica Steel, ki je, kot že opisano v poglavju 1.3, inovativen program za izračun jeklenih spojev in podrobnosti.

Izbrali smo tipičen spoj, ki se v modelu pojavlja večkrat. Ta spoj je prikazan na sliki 4.41. Prikazana sta dva nosilca s profilom IPE 270, steber RHS 200*10, zaplata debeline 10 mm, štiri vijaki velikost M24, in zvari debeline 5 mm.



Slika 4.41: Prikaz značilne podrobnosti

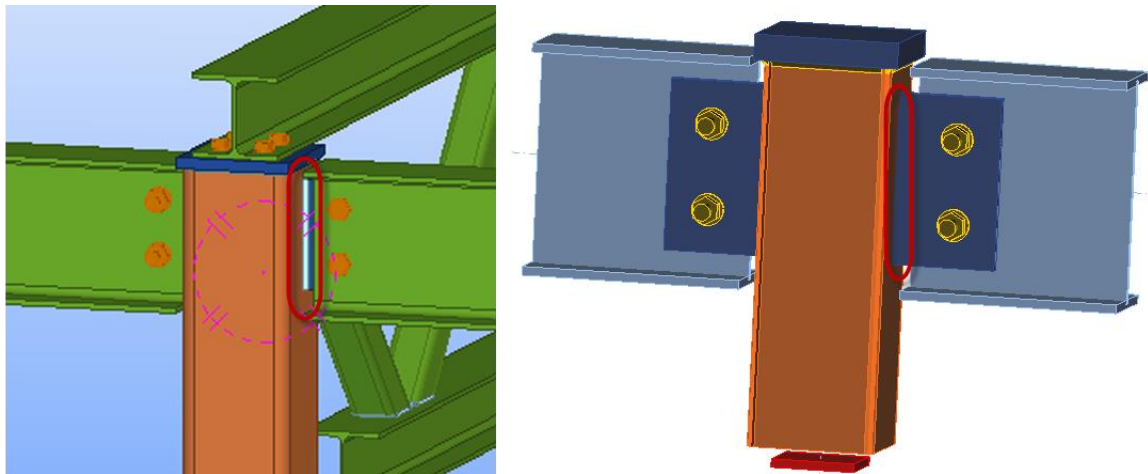
Po namestitvi programa IDEA Statica Steel se v zavihek v Tekla Structures samodejno vnese nova ukazna možnost: »Idea Connection«. Ta zavihek vsebuje dve različni možnosti. ECEN predstavlja »macro«, kjer bo izbrani model uvožen z nastavitvami Evrokod, AISC pa predstavlja ameriški standard.



Slika 4.42: Možnost izbire neposredne povezave API z IDEA

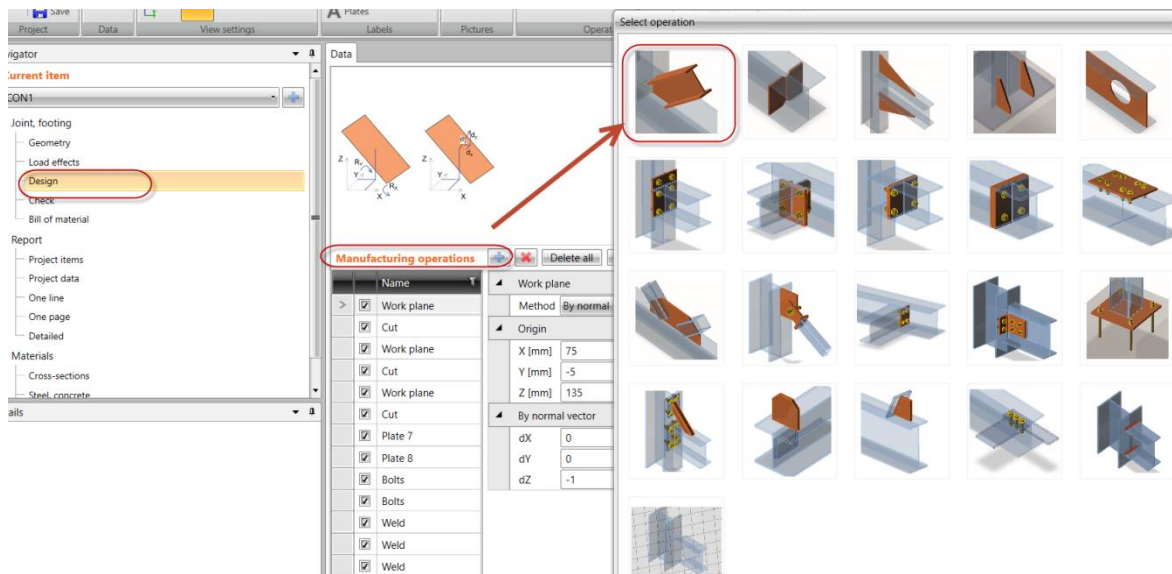
Ko izberemo ukaz »ECEN«, se v levem spodnjem kotu v Tekla Structures pojavi ukaz, da je treba izbrati vozliščno točko (»select connection point«). To smo izbrali v središču zaplate. Po izboru te točke se pojavi naslednji ukaz, ki od nas zahteva, da izberemo vse glavne elemente, torej stebre in nosilce (»select connected beams«). Tukaj lahko dodamo, da tisti element, ki je prvotno izbran, predstavlja nosilni objekt (bearing member). V našem primeru

tako izberemo steber RHS 200*10, in sicer kot prvi element. Nato dodamo še oba nosilca IPE 270. Nato s pritiskom preslednice na tipkovnici gremo na zadnji ukaz, ki od nas zahteva, da označimo vse objekte, ki predstavljajo spoj – vijake, zware, zaplate («select parts of the connection»). Ponovno pritisnemo preslednico in pojavi se pojavno okno, ki nas vpraša, kje želimo shraniti model IDEA Statica v IDEA-formatu (.ideacon). Nato se program IDEA Statica samodejno odpre (podobno, kot smo to že spoznali pri API-povezavi med Tekla Structures in SAP 2000). Prvotni prikaz v aplikaciji IDEA Statica je spodbuden (desna stran na sliki 4.43).



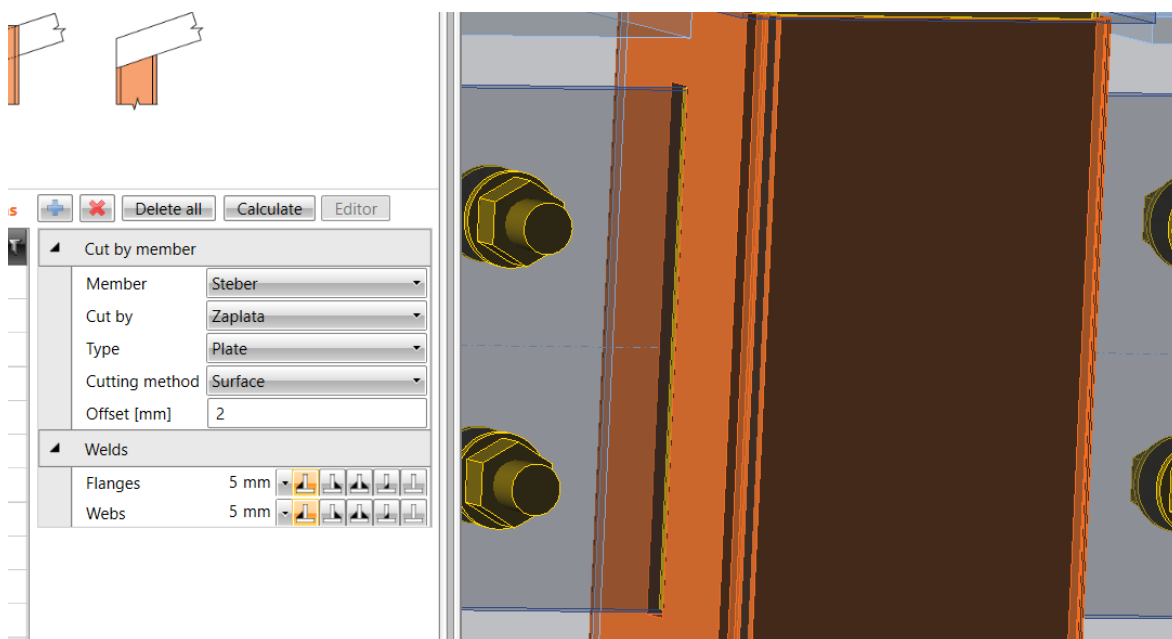
Slika 4.43: Primerjava med Tekla Structures (levo) in IDEA Statica (desno)

A opazili smo, da zvar in rez skozi steber (označeno z rdečo barvo na sliki 4.43) nista bila uspešno izvožena iz Tekla Structures Idea Statica. To je tudi predstavljeno na spletni strani aplikacije IDEA kot pomanjkljivost v tej API-povezavi (rezi skozi elemente). Ta rez (cut) smo v aplikaciji IDEA vstavili ročno. V zavihku Design lahko izberemo »new manufacturing operation«. S tem ukazom se odpre knjižnica pametnih operacij, kot so rezi, zvari, vijaki itd.



Slika 4.44: Prikaz knjižnice »ročnih« operacij v aplikaciji IDEA Statica Steel

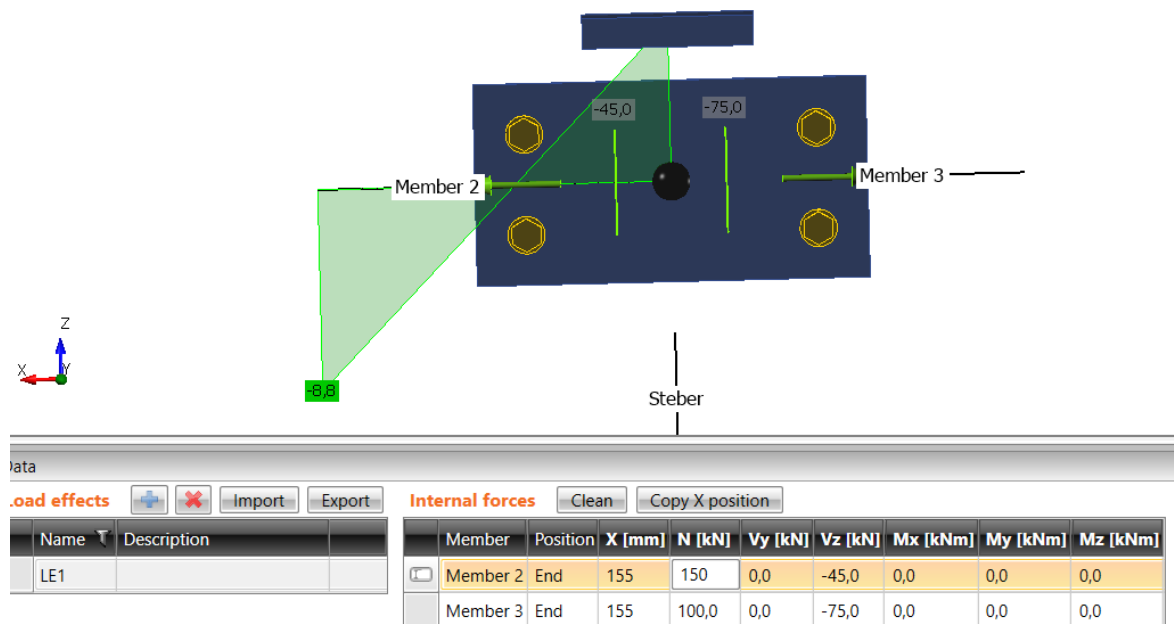
Ko izberemo ukaz »cut«, nas aplikacija vpraša, kateri element želimo rezati s katerim.



Slika 4.45: Prikaz reza in pravilne izbire

Še ena dodatna prednost te operacije je tudi, da nam samodejno omogoča dodajanje zvarov (slika 4.45 – »Welds«). Izbrali smo enaka zvara kot v Tekla Structures (debelina 5 mm).

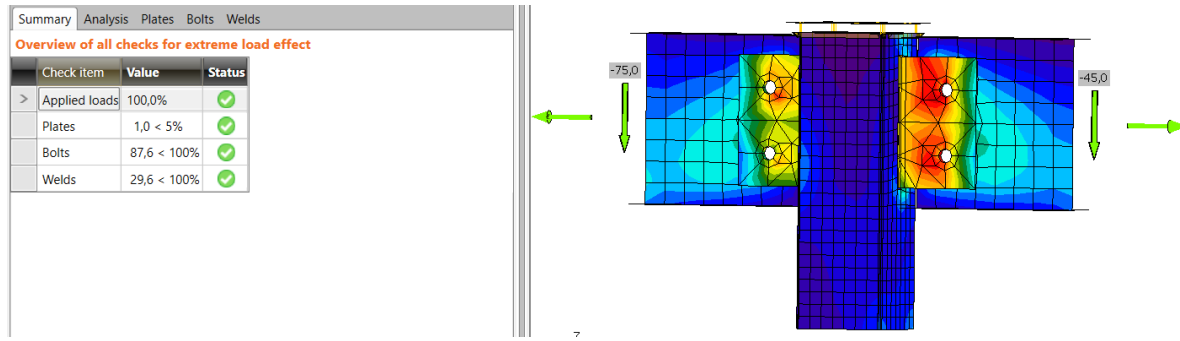
Sedaj je treba dodati le obtežbeni primer (load effects). V aplikaciji lahko dodamo več obtežbenih primerov, mi pa smo za ta primer dodali le enega, prikazanega na sliki 4.46.



Slika 4.46: Dodan obtežbeni primer LE1

Najpogosteje se pri izračunih podrobnosti in spojev notranje sile (internal forces) pridobijo iz že narejenih globalnih izračunov v drugih programih, kot so SAP 2000, Robot Structural, Scia Engineer ... Mi smo podane sile vnesli iz prejšnje opravljene globalne analize v SAP 2000.

Za vse te ročne spremembe in popravke (rez, zvari) je bilo potrebnih približno 10 minut. Sedaj je model IDEA pripravljen za analizo. Z ukazom na Izračunaj – »Calculate« smo zelo hitro pridobili rezultate, ki so delno prikazani na sliki 4.47. Celotni rezultati so kot poročilo priloženi v prilogi magistrskega dela.



Slika 4.47: Prikaz izračuna napetosti za izbrani spoj

Na levi strani slike 4.47 so prikazani rezultati, kjer pri »Plates« 1 % predstavlja plastično deformacijo zaplate. Po Evrokodu je takšna plastična deformacija omejena na 5 %. Za vijake in zware ti odstotki ponazarjajo mejno stanje uporabnosti. Aplikacija IDEA Statica omogoča zelo enostaven izvoz vseh rezultatov kot poročilo. Takšno nadrobno poročilo je priloženo v prilogi (11).

5 ANALIZA REZULTATOV TESTIRANJA IN DISKUSIJA

V magistrskem delu smo poskušali predstaviti posamezne možnosti sodelovanja med različnimi udeleženci v gradbenem projektu. Tako je na začetku projekta vsekakor pomembno sodelovanje med arhitektom in gradbenim inženirjem (poglavje 4.1). Nato smo testirali, kako sodelujeta dva projektanta, ki uporabljata isto orodje (Tekla Structures v našem primeru), a različne različice. Nadaljevali smo s primerom, kjer nas je zanimalo, kako si lahko naročnik/gradbeni izvajalec pomaga z IFC-modelom. V zadnjem delu smo testirali in primerjali uspešnost uporabe neposredne povezave (API-link) in izmenjave IFC-datotek med statikom in projektantom v oblikovalskem programu. Vsi pridobljeni rezultati so na kratko predstavljeni v tabeli 5.1.

Tabela 5.1 Prikaz rezultatov testov interoperabilnosti opravljenih v poglavju 4

Izhodni program	Vhodni program	Način prenosa informacij	Komentar/napka prenosa informacij	Vzrok
Revit Architecture 2011	Tekla Structures 2016i	Podatkovna shema IFC 4	Neuspešen uvoz.	Uvoz/izvoz sheme IFC 4 ni podprt v Tekla Structures 2016i.
Revit Architecture 2011	Tekla Structures 2016i	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Coordination View 2.0	Uspešen uvoz vseh elementov IFC modela. Po poskusu pretvorbe v elemente Tekla dobimo pomanjkljive informacije o materialu posameznih elementov. Nekateri Revit elementi (vrata, okna) so pretvorjeni kot nosilci.	Knjižnica elementov v orodju Revit je popolnoma drugačna kot v Tekli.

Tekla Structures 21.1	Tekla Structures 2016i	Medsebojna kompatibilnost v družini istega BIM orodja	Uspešen uvoz. Opozorilo, da shranjen model v tej različici ne bo možno odpreti v starejši različici Tekle.	Kompatibilnost z novjšimi različicami istega orodja je običajna zmožnost večine BIM aplikacij.
Tekla Structures 2016i	Tekla Structures 21.1	Medsebojna kompatibilnost v družini istega BIM orodja	Neuspešen uvoz.	Programska orodja v novjših različicah spremenijo vnos in strukturo podatkov.
Tekla Structures 2016i	Tekla Structures 21.1	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Surface Geometry	Uspešen uvoz. Neuspešna pretvorba elementov IFC modela v elemente Tekla. Elementi so lahko pretvorjeni le v B-rep (Boundary representation).	Model ne podpira tehnike CSG, ki se uporablja pri modeliranju trdnih objektov.
Tekla Structures 2016i	Tekla Structures 21.1	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Coordination View 2.0	Uspešen uvoz. Uspešna pretvorba večine elementov IFC modela v elemente Tekla. Vijaki, zvari in armatura so lahko pretvorjeni le kot B-rep elementi.	Vijaki in armatura so že pri izvozu iz Tekla Structures 2016i bili izvoženi kot B-rep elementi.
Tekla Structures 2016i	Tekla Structures 21.1	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Steel Fabrication View	Uspešen uvoz in pretvorba v elemente Tekla. Mesta, kjer so predvideni vijaki, vsebujejo odprtine za te.	Izmed vseh treh možnosti izbire ustreznega MVD, je Steel Fabrication View najboljša rešitev za scenarij opisan v poglavju 4.2.
Tekla Structures 2016i	Solibri Model Viewer v9	Podatkovna shema IFC 2x3	Uspešen uvoz in prikaz dodanih P-setov v	Poglavje 4.3

		MVD: Coordination View 2.0	podatkovni shemi IFC 2x3.	
Tekla Structures 2016i	Tekla BimSight	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Coordination View 2.0	Uspešen uvoz in prikaz dodanih P- setov v podatkovni shemi IFC 2x3.	Poglavje 4.3
Tekla Structures 2016i	SAP2000 v19	Neposredna povezava s pomočjo API vmesnika	Uspešen uvoz. Elementi, ki jih analitični program SAP2000 ne potrebuje v spojih (vijaki, zvari, armatura), so avtomatsko odstranjeni pri prenosu. Obtežbe so lahko dodane v obeh orodjih. Nekateri elementi ne vsebujejo enakih lastnosti o materialu in profilu.	Knjižnica elementov v orodju SAP2000 je drugačna kot v Tekli. Elemente, ki SAP2000 ne vsebuje, je treba ročno dodati v knjižnico.
SAP2000 v19	Tekla Structures 2016i	Neposredna povezava s pomočjo API vmesnika	Uspešen uvoz nazaj v Tekla in prikaz informacij o spremenjenih prečnih prerezih.	Poglavje 4.4.1
Tekla Structures 2016i	SAP2000 v19	Podatkovna shema IFC 2x3 Vsi MVD (4.4.2)	Neuspešen uvoz in uporaba takšnega modela v SAP2000. Vsa vozlišča so postavljena nepravilno v SAP2000, model vsebuje napake v informacijah o elementih.	Potreben je ustrezen MVD (Structural Analysis), ki pa ga običajno vsebujejo le analitični programi.
SAP2000 v19	Tekla Structures 2016i	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Architectural Coordination	Uspešen uvoz in pretvorba vseh elementov IFC modela v elemente Tekla.	SAP2000 in Tekla sta oba programa, namenjena za konstrukcijske namene, rezultat tega je uspešna

				pretvorba elementov.
SAP2000 v19	Tekla Structures 2016i	Podatkovna shema IFC 2x3 MVD: Structural Analysis	Neuspešen uvoz takšnega IFC modela.	Takšen MVD se običajno uporablja le za komunikacijo med analitičnimi programi (primer: SAP2000 in Robot Structural).
Tekla Structures 2016i	IDEA Statica v.7	Neposredna povezava s pomočjo API vmesnika	Nekateri zvari in rezi skozi prečne prereze neuspešno preneseni. Nekatero materialne lastnosti profilov je potrebno dodati ročno.	Poglavje 4.4.4

IFC-shema je upravičila vsa pričakovanja, pri čemer smo se zavedali, da ne vsebuje vseh potrebnih podrobnosti. Vsak udeleženec v gradbenem procesu lahko 3D-model objekta odpre z brezplačnim pregledovalnikom, kot sta na primer Solibri Model Viewer in Tekla BimSight. Tako je možno med vsemi udeleženci izmenjati vse informacije, povezane z geometrijo in materialnimi značilnostmi. Če so ukazi pravilno upoštevani, se lahko takšne informacije izmenjajo brez izgube. Ugotovili smo tudi, kako pomembna sta pravilna izbira MVD-ja in razvoj tega v prihodnosti. MVD nam omogoča, da vemo, kaj lahko pričakujemo pri izvozu IFC-datoteke. Tako oseba, ki pošilja takšno datoteko, ve, kaj mora vsebovati, in tudi sprejemnik ve, kakšne informacije bo dobil in kako jih bo uporabljal naprej (4.2). Ugotovili smo, da Tekla vsebuje odlično orodje, ki omogoča pretvorbo IFC-objektov v izvorne objekte Tekla (Tekla native objects). Takšna možnost na primer v Revitu ni na voljo. Zahvaljujoč tej funkciji se izognemo ponovnemu delu (dvojno delo). To dodatno orodje ima tudi svoje pomanjkljivosti. Pri testih v poglavjih 4.1 in 4.2 smo namreč ugotovili, da armature, vijakov in zvarov ni mogoče pretvoriti v objekte Tekla. Prav tako smo ugotovili, da pri pretvarjanju IFC-datoteke, izvožene iz Revit-a (4.1), takšna pretvorba vsebuje pomanjkljivosti (okna, vrata, materialne značilnosti, imena objektov).

V poglavju 4.4 smo dobili pozitivne rezultate z uporabo dodatnih orodij, ki omogočajo neposredno povezavo med različnimi ponudniki programske opreme. V primeru TS in SAP 2000 smo testirali obojestransko interoperabilnost takšne povezave in imeli brezhiben pretok informacij. Velja pa omeniti tudi omejitve. Obe aplikaciji morata biti namreč nameščeni na isti platformi (računalniku), praviloma pa, če uporabljamo zadnjo različico Tekla Structures (2016i), za uspešno povezavo s SAP 2000 potrebujemo eno od zadnjih različic (v18.1 ali v19). Sklepamo, da je vzrok za kaj takšnega bolj komercialnega pomena, ker v tem primeru Trimble in CSI spodbujata nakup enega ali drugega programa. Podobni rezultati s pomočjo API-povezave so se pokazali tudi na testu med TS in IDEA Statica Steel. Tudi tam morata biti oba programa nameščena na isti platformi. Tukaj je bila ena od omejitev, da takšna povezava deluje le enostransko, torej iz TS v IDEA in ne obratno. Potrebni so morebitni ročni popravki v TS. IDEA Statica je bila tudi edini program, ki ni omogočal uvoza ali izvoza datoteke enega izmed odprtih standardov (2.3).

Pri izmenjavi IFC-datoteke med TS in SAP 2000 smo naleteli na največ napak in takšna izmenjava je bila brez pomena. Vozlišča so bila popolnoma napačno uvožena in neuporabna. V oblikovalskih orodjih trenutno še nimamo na voljo možnosti izvoza IFC-ja v obliki »structural analysis« MVD (2.3). Takšna odprta interoperabilnost dandanes še ne obstaja med analitičnimi programi za statične izračune in oblikovalskimi programi. Ta možnost izvoza MVD obstaja le med ponudniki analitičnih aplikacij za statične izračune. Ugotovili smo, da takšne datoteke ni možno niti uvesti v TS.

Menimo, da je ravno ta zadnja ugotovitev, torej nezmožnost učinkovite interoperabilnosti z neodvisnim formatom datoteke (v našem primeru IFC) med SAP 2000 in TS, vrhunec tega dela. Takšen razvoj na IFC-področju, kjer bo IFC zmožen iz oblikovalske aplikacije shraniti analitične informacije (pravilna pozicija in dolžina vozlišč, obremenitve, kombinacije obremenitev), bo predstavljal največji korak naprej v interoperabilnosti med dvema različnima ponudnikoma BIM-orodij. To pomeni, da bi na primer v TS imeli na voljo nov MVD, ki bi se imenoval »structural analysis«. S takšnim korakom naprej bi mogoče tudi vrednost neposrednih povezav izgubila vrednosti, ki pa bodo prav gotovo še dolgo v prednosti. Ta prednost ima v ozadju zagotovo tudi komercialne namene.

Po drugi strani pa vseeno napovedujemo svetlo prihodnost za IFC-standard in trdimo, da bo postal zlati standard v gradbeništvu.

6 PREDNOSTI IN STROŠKI UVAJANJA BIM V PODJETJE

»Uvedba BIM-a pomeni sistemsko novost, ki zahteva spremembe na skoraj vsaki ravni izvedbe projekta in s tem delovanja podjetja, za kar ni dovolj zgolj uvedba nove programske opreme, temveč je treba temu prilagoditi delotok podjetja. Zaposleni v podjetju se morajo najprej zavedati prednosti uporabe BIM-a zanje in za podjetje, čemur sledi prej omenjeni miselni preskok ali, kot nekateri avtorji to poimenujejo, premik paradigme (angl. paradigm shift), s čimer se premaga odpor do spremembe. Sprememba znotraj enega podjetja je zgolj ena izmed ravni uvedbe. Ker gradbeni projekti po svoji naravi vključujejo različne udeležence, ki predstavljajo različne stroke (angl. multi-organizational team), je njihovo medsebojno sodelovanje ključno za uspešen zaključek projekta in je treba uvedbo BIM-a doseči tudi na ravni medsebojnega sodelovanja. Vsa podjetja, ki sodelujejo pri projektih, ki vključujejo uporabo BIM-a, morajo svoje zunanje delovanje prilagoditi novim procesom komunikacije, organizacije in sodelovanja preko BIM-modelov in spremljajočih tehnologij« (Česnik, 2016).

6.1 Opis možnih stroškov

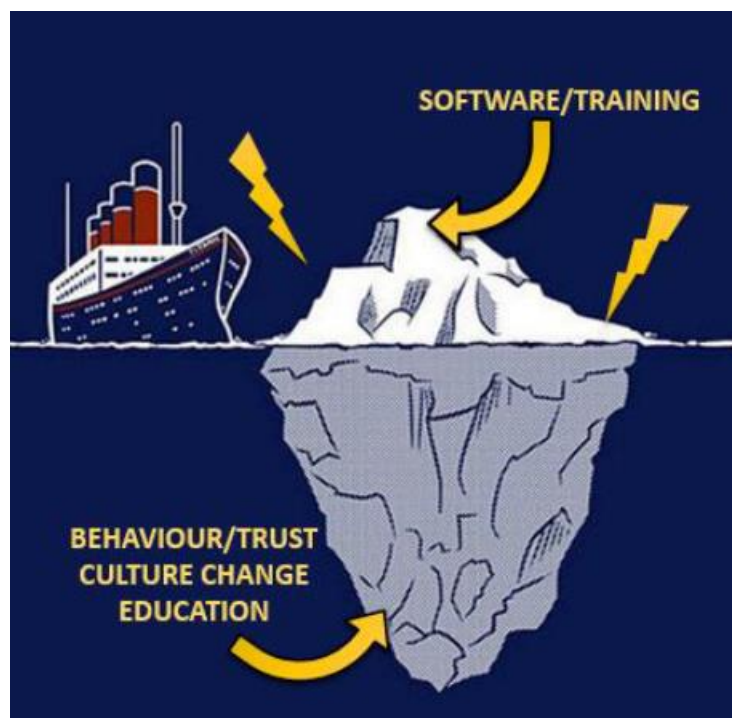
»Pri investicijah je vedno treba razmišljati dolgoročno in preveriti, ali se investicija finančno izplača. Ena izmed glavnih ovir pri uvedbi BIM-a v podjetja je navadno začetna investicija, ki uvedbo spremlja, zato je smiselno preveriti, kakšni so ti stroški in od kod izvirajo« (Česnik, 2016).

- **Nakup programske in strojne opreme:** Cena programske BIM-opreme se med različnimi proizvajalci zelo razlikuje. Že za isti program so na primer na voljo različni tipi licenc (v primeru Tekla Structures se cene gibljejo med 3.000 € in 30.000 € in veljajo za nedoločen rok uporabe, podjetja pa se ponavadi odločijo tudi za letno vzdrževanje, ki stane približno 20 odstotkov od cene licence). Ker Tekla Structures velja za enega izmed dražjih BIM-orodij, lahko sklepamo, da so povprečne cene približno med 5.000 € in 10.000 € za eno licenco. Več je zaposlenih, ki bodo uporabljali BIM-programe, večji je strošek. Večina strojne opreme, ki jo imajo sedaj podjetja, brez težav poganja najbolj napredne BIM-programe, zato je tu mišljena predvsem investicija v zgolj nekaj boljših računalnikov in strežnik za

hranjenje vseh modelov ter deljenje. To nanese 5.000 € ali več in je zopet odvisno od velikosti podjetja.

- **Izobraževanje zaposlenih:** Brez znanja uporabe BIM-a je vsaka investicija v BIM nesmiselna. Cena izobrazbe je odvisna od predhodne stopnje znanja zaposlenih, potreb po novem znanju in stopnje želene izobrazbe. Takšne stroške lahko ocenimo na približno 1.200 € na osebo.
- **Podloge in knjižnice:** Če je okvirne stroške za prejšnji dve kategoriji še mogoče določiti, pa je za izdelavo ali nakup podlog in knjižnic to skoraj nemogoče, saj je cena popolnoma odvisna od zahtevnosti dela, velikosti in specializacije podjetja. Nakup podlog in knjižnic velja predvsem za Revit. V nekaterih BIM-orodjih so te že vključene v ceno licence in njenega letnega vzdrževanja (Česnik, 2016).

Pri vseh teh začetnih stroških pa mora biti podjetje zelo pozorno na tako imenovane skrite stroške BIM-investicije in se izogniti Titanikovi zgodbi (slika 6.1).



Slika 6.1: Skriti stroški BIM-procesa (Fleming, 2016)

- **»Zaupanje (angl. Behaviour/Trust):** Največjo nevarnost za neuspešno investicijo v uvedbo BIM-a predstavljata strah pri uporabi BIM-tehnologije na prvih projektih in vrnitev k preizkušeni CAD-tehnologiji, ko zaposleni naletijo na prve večje težave. Podjetje mora imeti dovolj časa in, če je le možno, testne projekte, kjer lahko zaposleni po opravljenih izobraževalnih tečajih sami naredijo miselni preskok in pridobijo zaupanje v BIM-orodje. Takšen čas seveda predstavlja strošek, a je v tem primeru nujno potreben.
- **Sprememba kulture podjetja (angl. Culture Change):** Počasen prehod je nujen, saj je nemogoče pridobiti vse znanje naenkrat, ampak se mora postopoma razvijati in utrditi preko izvedenih projektov, saj se ljudje hitrim spremembam psihološko upiramo. S postopnim pridobivanjem znanj lahko dosežemo potreben miselni preskok, ki se navadno zgodi, ko oseba sprejme realnost in se začne zavedati, da je nova tehnologija potrebna za napredek. Težava je v začetni fazi, saj je krivulja učenja BIM-a na začetku zelo strma, ker sta okolje in pristop k delu popolnoma nova.
- **Izobraževanje (angl. Education):** Izobraževanje je pri vsaki uvedbi novosti neizbežno. Z zahtevnostjo novega sistema, obsežnostjo spremembe procesov in drugačnostjo načina uporabe tehnologije se višata obsežnost zahtevane izobrazbe in njena raven. Temeljno znanje za podjetje, ki želi uporabljati BIM, je dejanska uporaba BIM-programov (t. i. BIM-znanja). Podjetje ima dve možnosti: dodatno izobraziti že zaposlene ali zaposliti nov, že izobražen kader. V prvem primeru so možnosti različne, od tečajev do internega razvoja znanja s pomočjo BIM-svetovalcev in specialistov, vse pa je odvisno od tega, kakšni so cilji uvedbe BIM-a v podjetje. Bolj napredni so cilji, bolj izobražen kader je potreben. Pri zaposlovanju novega kadra je vedno treba preveriti usposobljenost in znanje, kar pa zna biti problematično, če podjetje s tem področjem nima izkušenj. Največja težava so tudi starejši zaposleni, ki imajo sicer veliko tehničnega znanja, a so manj podkovani v uporabi programske opreme in počasneje sprejmejo novosti. Ena izmed posledic uvedbe BIM-a v podjetja bo vsekakor večje povpraševanje po mladih gradbenih inženirjih z BIM-znanji, ki so hitro prilagodljivi in učeči. Z uporabo BIM-a se podjetjem odpre veliko novih priložnosti, ki so pri tradicionalnem CAD-načinu dela težko dosegljiva ali celo nedosegljiva« (Česnik, 2016).

Na investicijo je torej treba gledati dolgoročno in se zavedati vseh prednosti, ki jih lahko podjetje doseže z vpeljavo BIM-a.

6.2 Prednosti uspešne interoperabilnosti BIM-a v povezavi s stroški

Ker smo se v tem magistrskem delu ukvarjali z interoperabilnostjo, bomo tudi ekonomične prednosti BIM-a predstavili v tem pomenu.

»Z vključitvijo naročnika v proces (glej 4.3) se izboljša ustreznost in zmanjša možnost pritožb ob zaključku projekta. Dobra komunikacija pomeni manj šumov, nesporazumov in ponovnega dela, saj so natančne informacije lažje dosegljive in kompromisi lažje izvedljivi. Vsaka neskladnost v načrtih, ki je posledica slabe komunikacije, pomeni dodatne stroške in zamudo, ki ni predvidena v začetnem načrtu. Za neskladnosti odgovarjajo projektanti ali izvajalci in si tako ustvarijo nepotrebne izgube pri projektu, zato sta dobra komunikacija in sodelovanje ključna ne samo za večjo kakovost izvedbe, temveč tudi za večji dobiček udeležencev na račun medsebojne usklajenosti. Z vsakim izvedenim projektom se lahko izdela optimizacija procesa in izvedejo izboljšave protokolov, kar še dodatno olajša medsebojno sodelovanje« (Česnik, 2016).

»Koordinacija med projektanti, izvajalci in podizvajalci se poveča. Z dobro komunikacijo, koordinacijo in projektnimi portali oziroma strežniki obstaja možnost sočasne izdelave BIM-modelov in gradnje objekta, kar prinese znatno znižanje potrebnega denarja in časa, če naročnik podpira uporabo portalov.

Prednosti za projektanta so naslednje:

- prihranki časa zaradi manjšega števila iteracij in manj neproduktivnega dela oziroma ponovnega opravljanja istih opravil, če pride do spremembe v zasnovi projekta;
- enostavno izvedljive analize (statika, napeljave, osvetlitev, ogrevanje), ki so tudi do 50 % hitrejše kot pri tradicionalnem poteku;
- manjše možnosti za napake (do 80 % manj napak) in s tem porabljenega manj časa za njihovo odpravljanje;
- hitro in učinkovito medsebojno usklajevanje vseh sprememb, ki se pojavijo tekom projektiranja, in odkrivanje neskladij v modelih, kar se odraža v hitrejši izvedbi.

Prednosti za izvajalca so naslednje:

- lažje načrtovanje dostave materiala na gradbišče in eliminiranje potencialnih zamud zaradi čakanja;
- manj problematična in hitrejša izvedba gradnje zaradi manjšega števila napak v dokumentaciji in med seboj usklajenimi načrti različnih sistemov (arhitektura, konstrukcija, napeljave)« (Česnik, 2016).

7 SKLEP

V magistrskem delu smo se dodobra spoznali s pojmom BIM in interoperabilnost. BIM ni orodje za 3D-dizajn, kot se včasih napačno interpretira, temveč veliko več, predstavlja človeške operacije, ki pokrivajo širok spekter sprememb, ki vodijo do stalnega razvoja v gradbeni industriji. Seznanili smo se z nekaterimi vodilnimi aplikacijami, ki se trenutno uporabljajo v AEC-industriji. S tem smo izpolnili nekatere začetne cilje, zastavljene v uvodu.

Kot je že omenjeno v rezultatih testiranja, predvidevamo svetlo prihodnost za standard IFC. Zaradi dostopnosti in celovitosti takšne datoteke bo v gradbeništvu postal zlati standard, kot je na primer PDF-format. Seznanili smo se s pomembnostjo pojmov MVD in IDM pri omogočanju IFC-izmenjave med BIM-orodji. Po izvedenih testih smo hitro potrdili trditev Eastmana, da sam ukaz izvoz/uvoz IFC-datoteke v posameznih aplikacijah še ne predstavlja rešitve in ne zagotavlja uspešne interoperabilnosti med različnimi udeleženci v gradbenem projektu. Potreben je razvoj pravih MVD-jev, ki dandanes še niso na tej ravni kot na primer neposredna povezava preko API-vmesnika med dvema ponudnikoma programske opreme. Predvidevamo, da bodo v prihodnosti vse države na svetu imele urejen zakon na področju BIM-a, kot je že urejen v nekaterih državah, omenjenih v uvodu dela. Direktiva je že prisotna tudi v EU, in sicer 2014/24/EU, ki spodbuja uporabo modelnih orodij in BIM-a. Takšen zakon bo vključeval nekomercializacijo programskih orodij in imel poseben poudarek na uporabo odprtega informacijskega modeliranja objektov.

Vsak lahko hitro ugotovi, da svet stremi k čim manjši uporabi papirja. Vse postaja elektronsko in tehnologija se bo v tem trendu samo še hitreje razvijala. Tako bodo tudi v gradbeništvu v približno desetih letih natisnjeni načrti v razvitih državah postali preteklost. V delu smo testirali, da lahko praktično vsakemu IFC-modelu dodamo kakršno koli informacijo. Takšen način dela bo v prihodnosti omogočal uporabo le BIM-modelov, brez potrebnih 2D-načrtov.

Naj omenimo, da že danes obstajajo gradbeni objekti, ki so izdelani s pomočjo 3D-tiskanja. Ta robotski proces se bo v prihodnosti samo še povečeval. Virtualna realnost (Oculus Rift na primer) in mešana realnost (Hololens) prav tako pozitivno vplivata na razvoj BIM-a.

V delu smo izpolnili vse v uvodu zastavljene cilje in povečali v času študija pridobljeno znanje.

8 VIRI IN LITERATURA

Areo, B 2016. *Blog Areo*. Dostopno na: <<http://blog.areo.io/> [15. 1. 2017]>.

BuildingSMART 2010. BuildingSMART. Dostopno na: <<http://buildingsmart.org/standards/technical-vision/>> [20. 12. 2016].

BuildingSMART 2016. BuildingSMART. Dostopno na: <<http://buildingsmart.org/standards/technical-vision/open-standards-101/>> [20. 2. 2017].

Burt, B A 2009. *BIM Interoperability*. Dostopno na: <<http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/08/C-Technology-Burt-Dec091.pdf>> [20. 12. 2016].

Cerovšek, T 2010. 'Informacijsko modeliranje zgradb (BIM)', *Gradbeni vestnik*, marec 2010, str. 71-72. Dostopno na: <<http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-CYSPG4D4/3dfb9216-7287-4353-abcf-472bf64d3337/PDF>> [5. 2. 2017].

Cerovšek, T 2010. 'Informacijsko modeliranje zgradb (BIM)', *Gradbeni vestnik*, avgust 2010, str. 206-208 [10. 2. 2017].

Česnik, J 2016. *Analiza potenciala uvajanja BIM za javna naročila*, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, str. 132.

Dickinson, J 2015. *Advanced Bim Solutions*. Dostopno na: <http://advancedbimsolutions.com/bim-is-about-interoperability/> [20. 11. 2016].

Dictionary 2010. Dictionary. Dostopno na: <http://www.dictionary.com/browse/interoperability> [10. 5. 2016].

Eastman, C, Teicholz, P, Sacks, R, Liston, K 2011. *A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Ferk, M 2016. *Informacijsko modeliranje stavb v Sloveniji v letu 2016*, s.n., Maribor.

Fleming, W 2016. *BIM modelling for structural analysis*, s.n., Poznan,

Funda, S 2014. *Izdelava projektne dokumentacije Jeklenih konstrukcij*, Maribor.

IFCWIKI 2016. IFCWIKI. Dostopno na: <http://www.ifcwiki.org/index.php/IDM> [10. 2. 2017].

Kastelic, A 2016. *Primer uporabe federacijskega modela za izdelavo 5D BIM*, diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

Kravanja, S 2014. *Razvoj referenčnega modela BIM za izdelavo računskega modela*, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

Rebolj, D b. d. *Digitalno Modeliranje*, Predavanja, Maribor.

Zabreznik, I 2016. *Uporaba BIM-modeliranja v fazi projektiranja infrastrukturnih objektov*, s.n., Maribor.

9 PRILOGE

9.1 Seznam slik

Slika 1.1: Koncept BIM (Rebolj, b. d.)	2
Slika 2.1: Razlika med stebri, izdelanimi v 1. 2D-CAD, 2. 3D-CAD, 3. BIM-programskem orodju.....	7
Slika 2.2: The UK BIM Maturity Model (GCCG, 2011)	16
Slika 3.1: Prikaz menijev v TS 21.1 (zgoraj) in v TS 2016i (spodaj)	23
Slika 3.2: Tekla Structures in SAP 2000 API-link, dostopen v Tekla Warehouse.....	25
Slika 3.3: Izbira vozlišča v TS, API-vmesnik z IDEA Statica, preveritev po EC/AISC.....	26
Slika 3.4: Komentar v Tekla BIMsight	28
Slika 3.5: Prikaz uporabniškega vmesnika v Draftsight.....	29
Slika 4.1: Ukaz »reference models« v Tekla Structures 2016i.....	31
Slika 4.2: Datoteka DWG, najprej odprta z neodvisnim pregledovalnikom Draftsight.....	31
Slika 4.3: Uvožen 2D CAD (.dwg) v Tekla Structures 21.1	32
Slika 4.4: Uvoz modela podatkovne sheme IFC 4 in rezultat le tega.....	33
Slika 4.5: Uvoženi modeli sheme IFC 2x3 v Tekla Structures	34
Slika 4.6: Aktivacija ukaza »select objects in components« v Tekla Structures.....	35
Slika 4.7: Del informacij o posameznem IFC-elementu	35
Slika 4.8: Opozorilo, da IFC-elementi, označeni z zeleno barvo, niso bili uspešno pretvorjeni	36
Slika 4.9: Primerjava obeh modelov (levo-pretvorjeni elementi IFC modela v Tekla izvorne elemente in desno-prvotni IFC model).....	37
Slika 4.10: Revizija IFC-modela v Tekla Structures.....	38
Slika 4.11: Pojavno okno ob poskusu odpiranja modela različice 2016i v različici 21.1 ...	39
Slika 4.12: Opozorilo, da shranjeni model v tej različici (2016i) ne bo več združljiv s prejšnjimi različicami	39
Slika 4.13: Shematski prikaz praktičnega problema	40
Slika 4.14: MVD-možnosti pri izvozu IFC-datoteke	41
Slika 4.15: Test z nastavitvami »Surface Geometry«.....	42

Slika 4.16: 0/366 IFC-elementov je bilo pretvorjenih v izvirne elemente Tekla – Surface Geometry.....	44
Slika 4.17: Test z nastavitvami »IFC Coordination View 2.0«	45
Slika 4.18: Pretvorba IFC-objektov in del poročila	45
Slika 4.19: IFC-model na levi strani z vijaki in pretvorjeni IFC-elementi na desni strani (brez vijakov).....	46
Slika 4.20: Test z nastavitvami »Steel Fabrication View«.....	46
Slika 4.21: Primerjava izvirnega modela (levo) in modela s »Steel Fabrication View« MVD (desno).....	47
Slika 4.22: Načrt podjetja A (levo), načrt podjetja B (desno).....	48
Slika 4.23: Solibri Model Viewer – prikaz informacij.....	49
Slika 4.24: Dodajanje »user defined attributes« k izbranemu stebru	50
Slika 4.25: Dodajane »property sets« h Coordination View 2.0.....	51
Slika 4.26: Preverba izvoza IFC-datoteke v SMV in v Tekla BimSight.....	52
Slika 4.27: Priprava »A&D«-modela za izvoz v SAP 2000	54
Slika 4.28: Tekla Structures izviren prikaz (A), prikaz za izvoz v SAP 2000 (B).....	55
Slika 4.29: Uspešno izvožen model iz Tekla Structures (levo) v SAP 2000 (desno).	56
Slika 4.30: Ukaz »Get results«.....	56
Slika 4.31: Optimizacijski rezultati.....	57
Slika 4.32: Uvoz IFC-datoteke s »Surface geometry« MVD.....	58
Slika 4.33: Uvoz IFC-datoteke s »Coordination view 2.0« MVD	59
Slika 4.34: Uspešno uvožen steber v SAP 2000, po odstranitvi podrobnosti v Tekla Structures.....	60
Slika 4.35: Uvoz IFC-datoteke s »Steel fabrication view« MVD.....	60
Slika 4.36: Prikaz nepravilnega vozlišča v SAP 2000	61
Slika 4.37: Možnosti IFC-izvoza iz SAP 2000	62
Slika 4.38: Izbrani objekti nimajo pravilne geometrije.....	63
Slika 4.39: Uvoz IFC-datoteke »FG_test«, predhodno izvožene iz SAP 2000.....	63
Slika 4.40: Uspešno pretvorjeni IFC-elementi v izvirne elemente Tekla, ki so bili izvoženi iz SAP 2000.....	64
Slika 4.41: Prikaz značilne podrobnosti	65
Slika 4.42: Možnost izbire neposredne povezave API z IDEA	65

Slika 4.43: Primerjava med Tekla Structures (levo) in IDEA Statica (desno)	66
Slika 4.44: Prikaz knjižnice »ročnih« operacij v aplikaciji IDEA Statica Steel.....	67
Slika 4.45: Prikaz reza in pravilne izbire.....	67
Slika 4.46: Dodan obtežbeni primer LE1	68
Slika 4.47: Prikaz izračuna napetosti za izbrani spoj	69
Slika 6.1: Skriti stroški BIM-procesa (Fleming, 2016)	76

9.2 Seznam tabel

Tabela 2.1: Primeri geometrijskih in negeometrijskih informacij.....	5
Tabela 3.1: BIM-programska orodja za modeliranje objektov in BIM-orodja za statično analizo modelov.....	21
Tabela 3.2: BIM-orodja za načrtovanje in stroškovno analizo ter brezplačna orodja za pregled BIM-modelov	22
Tabela 3.3: Programska orodja, ki omogočajo API-vmesnik z IDEA Statica Steel	27
Tabela 5.1 Prikaz rezultatov testov interoperabilnosti opravljenih v poglavju 4	70

9.3 Seznam grafov

Graf 2.1: Prikaz krivulje BIM-a v pomenu interoperabilnosti, prevedeno po (Dickinson, 2015).....	10
--	----

9.4 Ukaz inquire na enega izmed IFC objektov (del 1)

```

-----
Name                                     Material                               Assembly Description
-----
Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud  Not Exported

Reference Objects

Start point          13031          : x =-497          y =-36018         z =0
End point            13031          : x =-195          y =195            z =4267

Top level            4267
Assembly Code
Type Mark            0
Length
Width                0
Height
Perimeter            0
Gross Footprint Area 0.0
Cross Area           0.0
Cross section area   0.0
Outer Surface Area   0.0
Volume               0.0

Father id            : 9548
Type name            : reference_object

Bounding box min [mm] : x = -496.87 y = -36018.42 z = 0.00
Bounding box max [mm] : x = -194.88 y = 194.87 z = 4267.22

Scale                : 1
File name             : C:\Users\1990miga\Downloads\2011-09-14-Office-IFC\Office_A_20110811_optimized.ifc

More:

Parametric object rectangle profile

Origin [mm]          : x = -345.88 y = -17911.77 z = 0.00
XDir [mm]            : x = 0.00 y = -1.00 z = 0.00
Extrusion [mm]       : x = 0.00 y = 0.00 z = 4267.22
Profile name         : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud:397
XDim [mm]            : 36213.30
YDim [mm]            : 302.00

String value pair attributes

GUID                 : 1b000EH1P4cx9jYcmjqBPT

Wall common attributes

Reference             : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud
Acoustic rating      :
Fire Rating           :
Surface spread of flame :
Extend to structure  : False
External Use         : True
Load bearing         : False

Custom attributes

PSet_Revit_Type_Other.AccessibilityPerformance: AccessibilityPerformance
PSet_Revit_Type_Other.CodePerformance: CodePerformance
PSet_Revit_Type_Other.Color : Color
PSet_Revit_Type_Other.Constituents: Constituents
PSet_Revit_Type_Other.Features: Features
PSet_Revit_Type_Other.Finish : Finish
PSet_Revit_Type_Other.Grade : Grade
PSet_Revit_Type_Other.Material: Material
PSet_Revit_Type_Other.ModelReference: ModelReference
PSet_Revit_Type_Other.NominalHeight: NominalHeight
PSet_Revit_Type_Other.NominalLength: NominalLength
PSet_Revit_Type_Other.NominalWidth: NominalWidth
PSet_Revit_Type_Other.ProductionYear: ProductionYear
PSet_Revit_Type_Other.Reference: Reference
PSet_Revit_Type_Other.Shape : Shape
PSet_Revit_Type_Other.Size : Size
PSet_Revit_Type_Other.SustainabilityPerformance: SustainabilityPerformance
PSet_Revit_Type_Other.WarrantyDescription: WarrantyDescription
PSet_Revit_Type_Other.WarrantyDurationLabor: WarrantyDurationLabor
PSet_Revit_Type_Other.WarrantyDurationParts: WarrantyDurationParts
PSet_Revit_Type_Other.WarrantyGuarantorLabor: WarrantyGuarantorLabor
PSet_Revit_Type_Other.WarrantyGuarantorParts: WarrantyGuarantorParts
PSet_Revit_Type_Other.ExpectedLife: ExpectedLife

```


9.5 Ukaz inquire na enega izmed IFC objektov (del 2)

```

PSet_Revit_Type_Other.ReplacementCost: ReplacementCost
PSet_Revit_Type_Other.AssetAccountingType: FIXED
PSet_Revit_Type_Other.Classification Code: 23-25 30 24 21
PSet_Revit_Type_Other.Classification Description: Metal Framed Structural Walls
PSet_Revit_Type_Other.ModelLabel: ModelLabel
PSet_Revit_Type_Identity Data.Manufacturer: Manufacturer
PSet_Revit_Type_Identity Data.Assembly Description:
PSet_Revit_Type_Identity Data.Assembly Code:
PSet_Revit_Type_Graphics.Coarse Scale Fill Color: 0
PSet_Revit_Type_Construction.Wrapping at Inserts: 0
PSet_Revit_Type_Construction.Wrapping at Ends: 0
PSet_Revit_Type_Construction.Width [mm]: 302.00
PSet_Revit_Type_Construction.Function: 1
PSet_Revit_Dimensions.Length [mm]: 36515.30
PSet_Revit_Dimensions.Area [m²]: 139.82
PSet_Revit_Dimensions.Volume [mm³]: 42227130140.26
PSet_Revit_Other.InstallationDate: InstallationDate
PSet_Revit_Other.SerialNumber : SerialNumber
PSet_Revit_Other.WarrantyStartDate: WarrantyStartDate
PSet_Revit_Other.BarCode : BarCode
PSet_Revit_Other.AssetIdentifier: AssetIdentifier
PSet_Revit_Other.TagNumber : TagNumber
PSet_Revit_Phasing.Phase Created: New Construction
PSet_Revit_Constraints.Location Line: 2
PSet_Revit_Constraints.Base Constraint: Level 1
PSet_Revit_Constraints.Base Offset [mm]: 0.00
PSet_Revit_Constraints.Base is Attached: False
PSet_Revit_Constraints.Base Extension Distance [mm]: 0.00
PSet_Revit_Constraints.Top Constraint: Up to Level: Level 2
PSet_Revit_Constraints.Unconnected Height [mm]: 4267.22
PSet_Revit_Constraints.Top Offset [mm]: 0.00
PSet_Revit_Constraints.Top is Attached: False
PSet_Revit_Constraints.Top Extension Distance [mm]: 0.00
PSet_Revit_Constraints.Room Bounding: True
PSet_Revit_Constraints.Related to Mass: False
PSet_Revit_Structural.Structural Usage: 0

```

Product attributes

```

Family name :
Given name : cskender
Middle names :
Roles :
Organization names :
Organization description :
Organization roles :
Version : 2011
Application full name : Autodesk Revit Architecture 2011
Application identifier : Revit
State : 0
Change action : NOCHANGE
Creation date :
Last modified date :
Is set last modified date : False
Name : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud:139528
Description :
Object type : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud:397

```

Material layer set usage attributes

```

MaterialLayerSet.Name : Basic Wall:Exterior - Brick on Mtl. Stud
MaterialLayerSet.Offset from reference line [mm]: 151.00
MaterialLayerSet.Direction : Axis2 (Y)
MaterialLayerSet.Sense : Negative
MaterialLayerSet.Layer[1].Thickness [mm]: 90.00
MaterialLayerSet.Layer[1].Ventilated: Unknown
MaterialLayerSet.Layer[1].Material: Masonry - Brick
MaterialLayerSet.Layer[1].Color: (170, 100, 105, 255)
MaterialLayerSet.Layer[2].Thickness [mm]: 25.00
MaterialLayerSet.Layer[2].Ventilated: Unknown
MaterialLayerSet.Layer[2].Material: Misc. Air Layers - Air Space

```

Mica_TEST1.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <PropertySetConfiguration xmlns="http://www.tekla.com/IfcProperties" version="1.0"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  - <PropertySetBindings>
    - <PropertySetBind referenceId="default">
      <Rules/>
    </PropertySetBind>
    - <PropertySetBind referenceId="mica_test">
      - <Rules>
        <Include subtypes="false" entityType="IfcColumn"/>
      </Rules>
    </PropertySetBind>
  </PropertySetBindings>
  - <PropertySetDefinitions>
    - <PropertySet referenceId="default">
      <Description/>
      <Name>Default</Name>
      <Properties/>
    </PropertySet>
    - <PropertySet referenceId="mica_test">
      <Description/>
      <Name>Mica_TEST</Name>
      - <Properties>
        - <Property optional="true" xsi:type="PropertySingleValueType">
          <Name>Požarna_odpornost</Name>
          - <PropertyValue xsi:type="StringValue" stringType="IfcLabel">
            - <GetValue xsi:type="UdaVariableType">
              <UdaName>USER_FIELD_1</UdaName>
            </GetValue>
          </PropertyValue>
        </Property>
        - <Property optional="true" xsi:type="PropertySingleValueType">
          <Name>Strošek</Name>
          - <PropertyValue xsi:type="StringValue" stringType="IfcLabel">
            - <GetValue xsi:type="UdaVariableType">
              <UdaName>USER_FIELD_2</UdaName>
            </GetValue>
          </PropertyValue>
        </Property>
      </Properties>
    </PropertySet>
  </PropertySetDefinitions>
</PropertySetConfiguration>

```

9.6 Podrobno poročilo izračuna iz IDEA Statica Steel

Project data

Project name	Magistrsko delo
Project number	1.0
Author	Mića Gavrić
Description	
Date	06.02.2017
Design code	EN

Material

Steel	Unrecognized S355J0
-------	---------------------

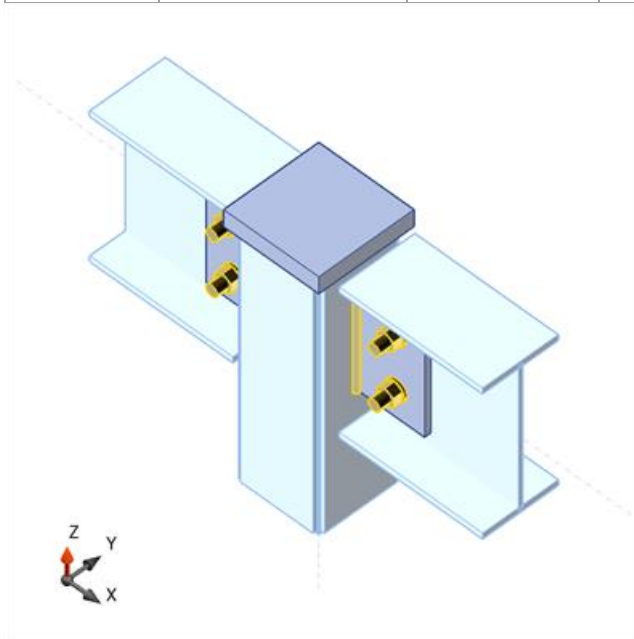
CON1

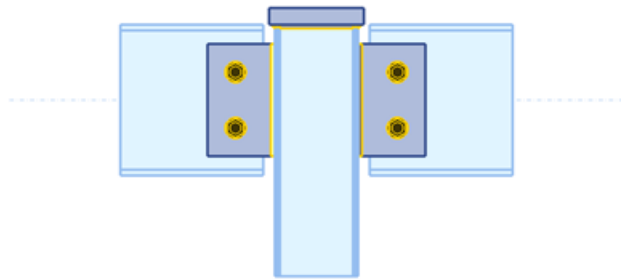
Connection

Item	
Name	CON1
Description	
Analysis	Stress, strain/ simplified loading

Beams and columns

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
Steber	1 - CFRHS150*10	0,0	90,0	180,0	5	0
Member 2	2 - IPE270	0,0	0,0	0,0	5	0
Member 3	2 - IPE270	180,0	0,0	0,0	-5	0





Cross-sections

Name	Material
1 - CFRHS150*10	Unrecognized S355J0
2 - IPE270	Unrecognized S355J0
2 - IPE270	Unrecognized S355J0

Cross-sections

Name	Material	Drawing
1 - CFRHS150*10	Unrecognized S355J0	
2 - IPE270	Unrecognized S355J0	

Name	Material	Drawing
2 - IPE270	Unrecognized S355J0	

Material

Steel	Unrecognized S355J0 (EN)
Bolts	M20 8.8

Bolts/ Anchors

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M20 8.8	M20 8.8	20	800,0	314

Load effects

Name	Member	Pos.	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
LE1	Member 2	End	150,0	0,0	-45,0	0,0	0,0	0,0
	Member 3	End	100,0	0,0	-75,0	0,0	0,0	0,0

Results

Summary

Name	Value	Check status
Applied loads	100,0%	OK
Plates	1,0 < 5%	OK
Bolts	87,6 < 100%	OK
Welds	29,6 < 100%	OK

Plates

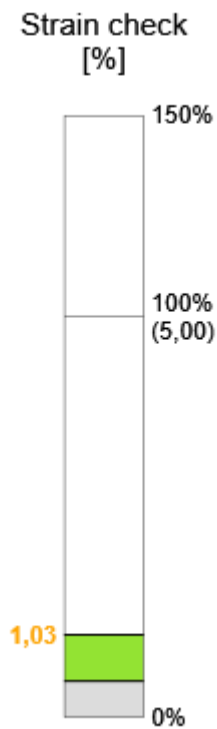
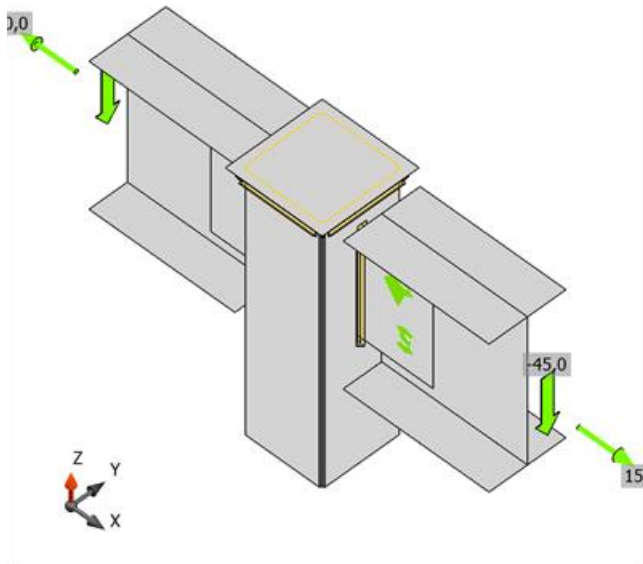
Name	Thickness [mm]	Loads	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	Check status
Steber	10	LE1	276,6	0,0	OK
Member 2-bfl 1	10	LE1	63,0	0,0	OK
Member 2-tfl 1	10	LE1	12,9	0,0	OK
Member 2-w 1	7	LE1	357,2	1,0	OK
Member 3-bfl 1	10	LE1	73,6	0,0	OK
Member 3-tfl 1	10	LE1	33,2	0,0	OK
Member 3-w 1	7	LE1	355,5	0,2	OK
Zaplata	12	LE1	355,1	0,1	OK
Plate 8	30	LE1	14,6	0,0	OK

Design data

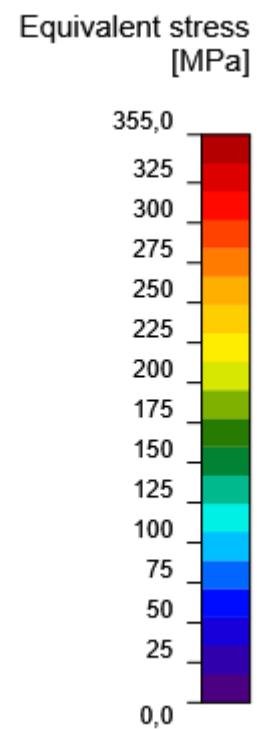
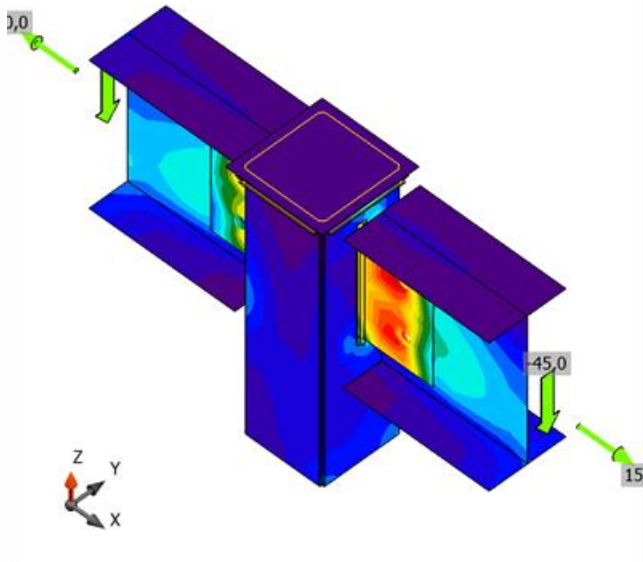
Material	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [1e-4]
Unrecognized S355J0	355,0	500,0

Symbol explanation

Symbol	Symbol explanation
ϵ_{Pl}	Strain
σ_{Ed}	Eq. stress

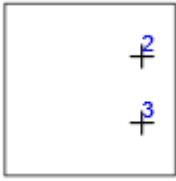



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Bolts

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	U_t [%]	U_s [%]	U_{ts} [%]	Status
	B2	LE1	28,3	82,4	20,1	87,6	0,0	OK
	B3	LE1	23,1	74,2	16,4	78,9	0,0	OK
	B5	LE1	22,4	68,4	15,9	72,7	0,0	OK
	B6	LE1	14,7	57,0	10,4	60,6	0,0	OK

Design data

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]
M20 8.8 - 1	141,1	146,3	94,1	129,4

Symbol explanation

Symbol	Symbol explanation
$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{t,Ed}$	Tension force
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance
V	Resultant of shear forces V_y , V_z in bolt.
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{s,Rd}$	Design slip resistance EN_1993-1-8 table 3.9
U_t	Utilization in tension
U_s	Utilization in shear
U_{ts}	Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

Welds (Average value)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	σ_{\perp} [MPa]	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} [MPa]	Ut [%]	Check status
Plate 8	Steber-11	45,0	549	LE1	1,6	1,5	0,3	-0,2	0,4	OK
Plate 8	Steber-12	45,0	549	LE1	1,6	1,5	0,3	-0,2	0,4	OK
Plate 8	Steber-13	45,0	549	LE1	1,6	1,5	0,3	-0,2	0,4	OK
Zaplata	Steber-w 1	45,0	200	LE1	68,6	-23,8	-18,4	32,3	15,8	OK
Zaplata	Steber-w 1	45,0	200	LE1	84,9	7,5	48,5	5,9	19,5	OK
Zaplata	Steber-w 3	45,0	200	LE1	129,0	18,2	-71,3	-18,6	29,6	OK
Zaplata	Steber-w 3	45,0	200	LE1	99,8	-16,0	53,3	-19,9	22,9	OK

Design data

	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0,9 \sigma$ [MPa]
Unrecognized S355J0	0,90	435,6	352,8

Symbol explanation

Symbol	Symbol explanation
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
σ_{\perp}	Perpendicular stress
τ_{\parallel}	Shear stress parallel to weld axis
τ_{\perp}	Shear stress perpendicular to weld axis



Symbol	Symbol explanation
0.9σ	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
β_w	Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization

Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	29,93

Bill of material

Manufacturing operations

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
Cut							
Cut							
Cut							
Zaplata	P12,0x390,0-200,0 (Unrecognized S355J0)		1			M20 8.8	4
Plate 8	P30,0x170,0-170,0 (Unrecognized S355J0)		1				
CUT4				Fillet: a = 5,0	800,0		

Welds

Type	Material	Thickness [mm]	Length [mm]
Double fillet	Unrecognized S355J0	5,0	1646,3
Fillet	Unrecognized S355J0	5,0	800,0

Bolts

Name	Count
M20 8.8	4

Drawing

Zaplata

P12,0x390,0-200,0 (Unrecognized S355J0)

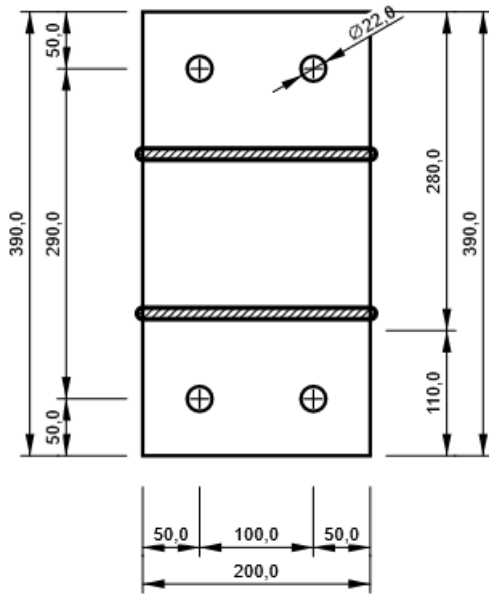
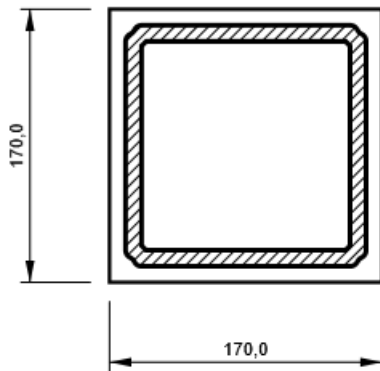


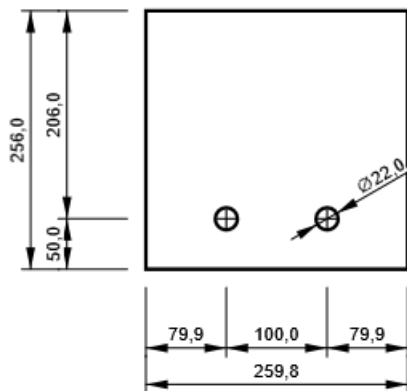
Plate 8

P30,0x170,0-170,0 (Unrecognized S355J0)



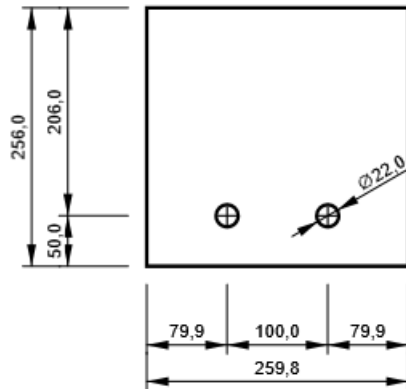
Member 2, IPE270 - Web 1:

P6,6x256,0-259,8 (Unrecognized S355J0)



Member 3, IPE270 - Web 1:

P6,6x256,0-259,8 (Unrecognized S355J)



Bill of material

Bolts

Name	Count
M20 8.8	4

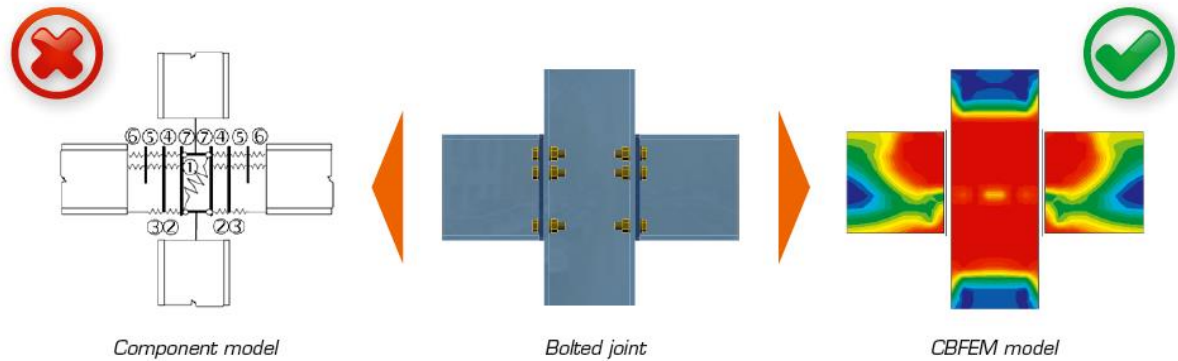
Code setting

Item	Value	Unit	Reference
γ_{M0}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ_{M1}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ_{M2}	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ_C	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
γ_{Inst}	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient β_j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient	0,25	-	EN 1993-1-8
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Average value		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete cone breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated a_b in bearing check.	No		EN 1993-1-8: tab 3.4

Theoretical Background

CBFEM versus Components method

The weak point of standard Component method is in analyzing of internal forces and stress in a joint. CBFEM replaces specific analysis of internal forces in joint with general FEA.

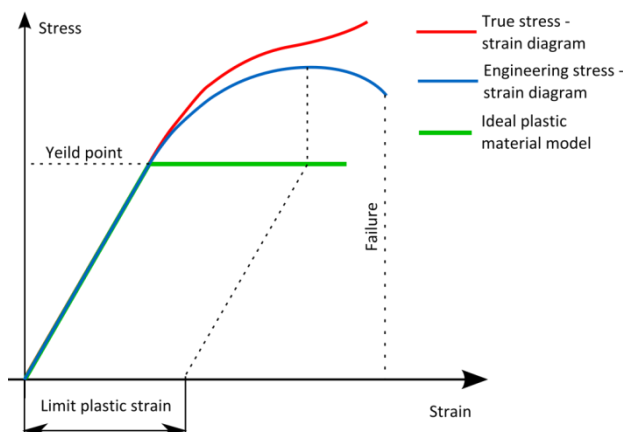


Check methods of specific components like bolts or welds are done according to standard Component method (Eurocode).

For the fasteners – bolts and welds – special FEM components had to be developed to model the welds and bolts behaviour in joint. All parts of 1D members and all additional plates are modelled as plate/walls. These elements are made of steel (metal in general) and the behaviour of this material is significantly nonlinear.

The real stress-strain diagram of steel is replaced by the ideal plastic material for design purposes in building practice. The advantage of ideal plastic material is, that only yield strength and modulus of elasticity must be known to describe the material curve. The granted ductility of construction steel is 15 %. The real usable value of limit plastic strain is 5% for ordinary design (1993-1-5 appendix C paragraph C.8 note 1).

The stress in steel cannot exceed the yield strength when using the ideal elastic-plastic stress-strain diagram.



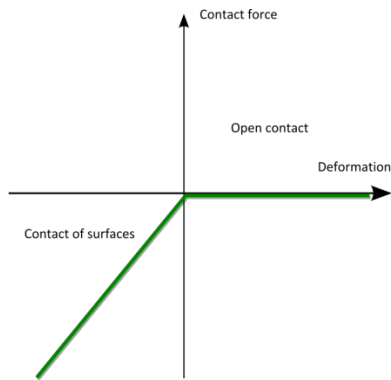
Real tension curve and the ideal elastic-plastic diagram of material

CBFEM method tries to create to model the real state precisely. The analysis plate/walls are not interconnected, no intersections are generated between them, unlike it is used to when modelling structures and buildings. Mesh of finite elements is generated on each individual plate independently on mesh of other plates.

Welds are modelled as special massless force interpolation constrains, which ensure the connection between the edge of one plate and the surface or edge of the other plate.

This unique calculation model of bolt provides very good results – both for the point of view of precision and of the analysis speed. The method protected by patent.

The steel base plate is placed loosely on the concrete foundation. It is a contact element in the analysis model – the connection resists fully to compression, but does not resist to tension.



Stress-strain diagram of contact between the concrete block and the base plate

Two approaches of modelling welds are implemented.

The first option of weld model between plates is direct merge of meshes of welded plates. The load is transmitted through a force-deformation constrains to opposite plate. This model does not respect the stiffness of the weld and the stress distribution is conservative. Stress peaks, which appear at the end of plate edges, in corners and rounding, govern the resistance along the whole length of the weld. To eliminate the effect of stress peaks three methods for evaluation of the weld can be chosen:

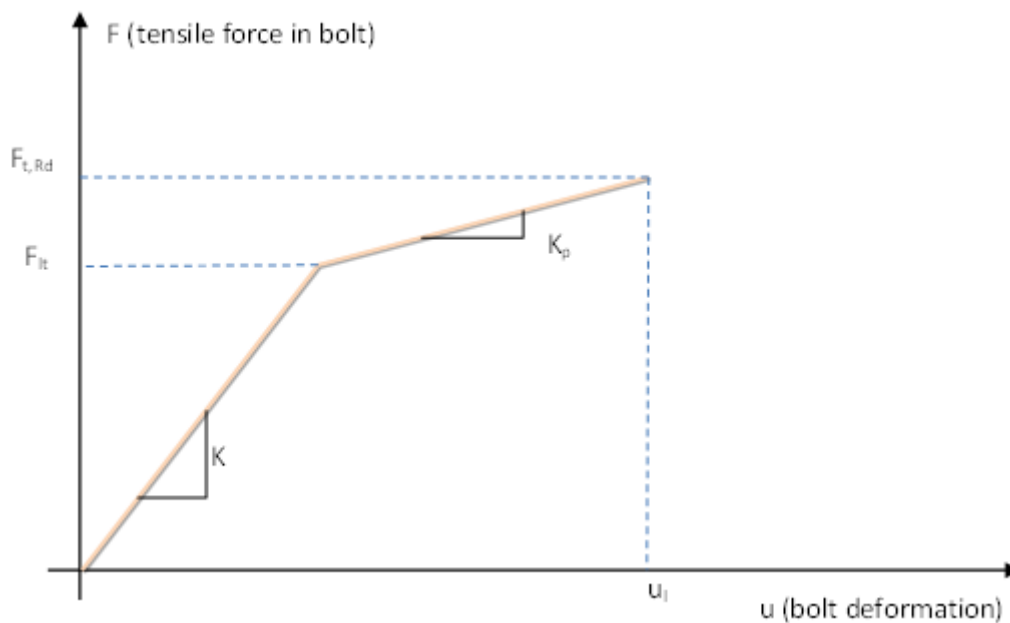
- Maximal stress (conservative)
- Average stress on weld
- Linear interpolation along weld

The second approach uses an improved weld model. A special elastoplastic element is added between the plates. The element respects the weld throat thickness, position and orientation. Ideal plastic model is used and the plasticity state is controlled by stresses in the weld throat section. The stress peaks are redistributed along the longer part of the weld length.

Bolted connection consists of two or more clasped plates and one or more bolts. Plates are placed loosely on each other.

A contact element is inserted between plates in the analysis model, which acts only in compression. No forces are carried in tension.

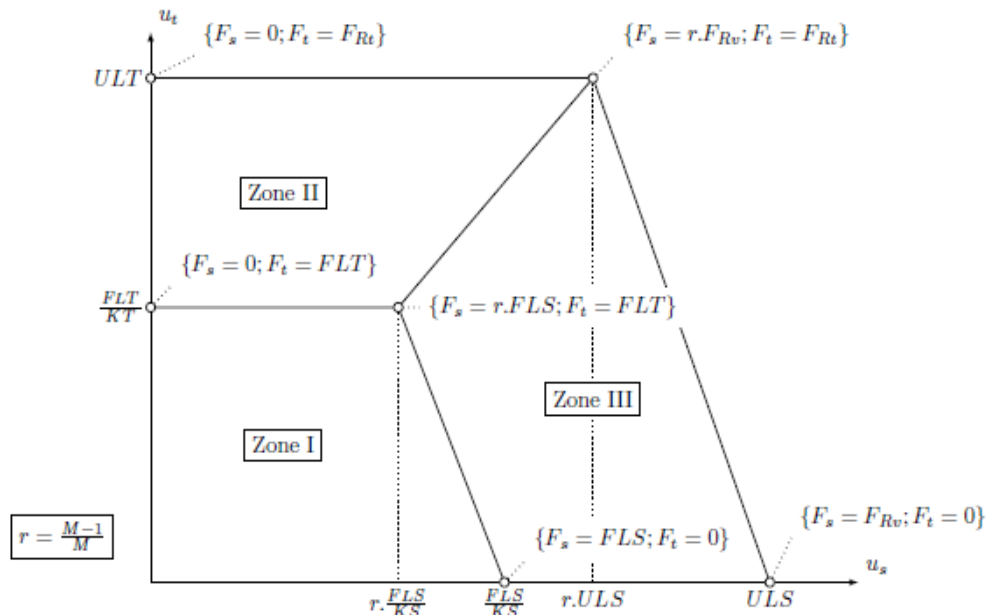
Shear force is taken by bearing. Special model for its transferring in the force direction only is implemented. IDEA StatiCa Connection can check bolts for interaction of shear and tension. The bolt behavior is implemented according following picture.



Bolt - tension

Symbols explanation:

- K – linear stiffness of bolt,
- K_p – stiffness of bolt at plastic branch,
- F_{lt} – limit force for linear behaviour of bolt,
- $F_{t,Rd}$ – limit bolt resistance,
- u_l – limit deformation of bolt.

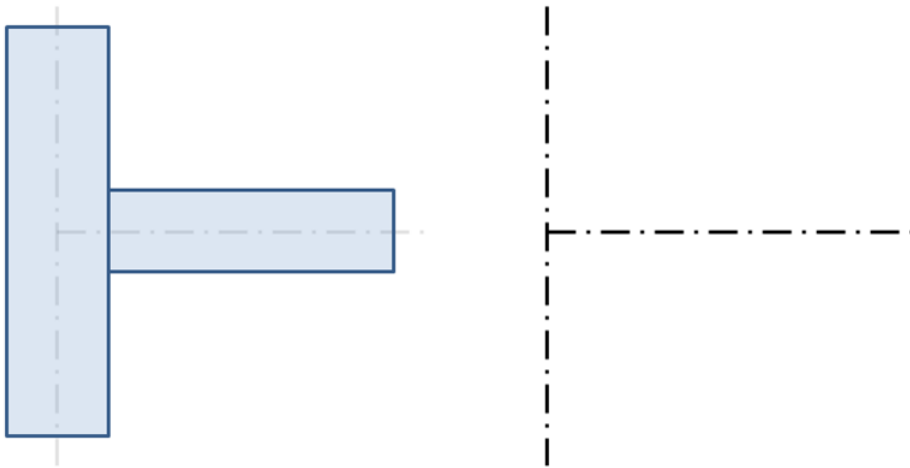


Bolt - interaction of shear and tension

The concrete block in CBFEM is modelled using Winkler-Pasternak subsoil model. The stiffness of subsoil is determined using modulus of elasticity of concrete and effective height of subsoil. The concrete block is not designed by CBFEM method. Only the minimal dimension of block under the base plate is determined to avoid the concrete cone breakout.

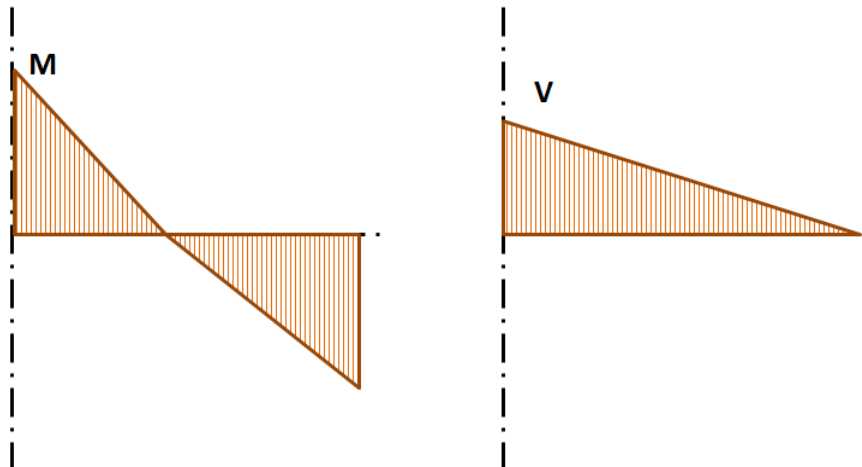
Loads

End forces of member of the frame analysis model are transferred to the ends of member segments. Eccentricities of members caused by the joint design are respected during transfer. The analysis model created by CBFEM method corresponds to the real joint very precisely, whereas the analysis of internal forces is performed on very idealised 3D FEM 1D model, where individual beams are modelled using centrelines and the joints are modelled using immaterial nodes.



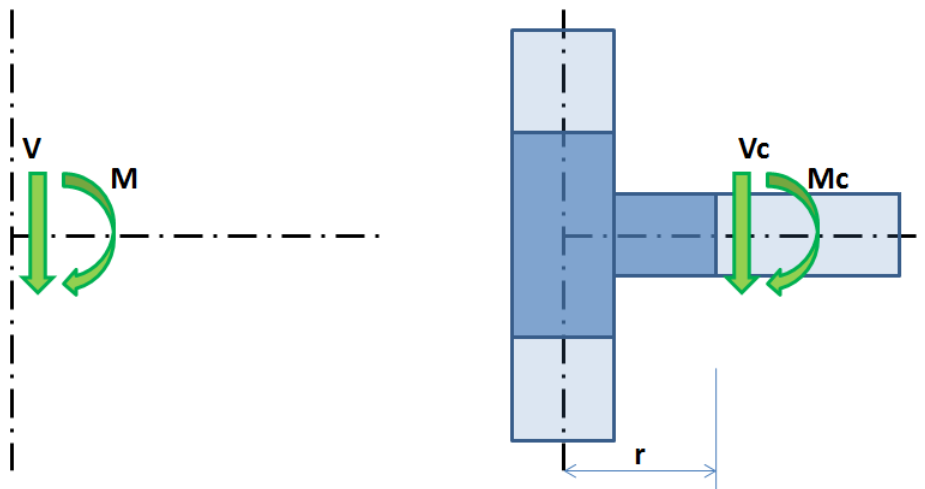
Real shape and theoretical 3D FEM model of joint of vertical column and horizontal beam

Internal forces are analysed using 1D members in 3D model. There is an example of courses of internal forces in the following picture.



Course of bending moment and shear force on horizontal beam. M and V are the end forces at joint.

The effects caused by member on the joint are important to design the joint (connection). The effects are illustrated in the following picture.



Effects of member on the joint in 1D members model and CBFEM model. CBFEM model is drawn in dark color.

Moment M and force V act in theoretical joint. The point of theoretical joint does not exist in CBFEM model, thus the load cannot be applied here. The model must be loaded by actions M and V , which have to be transferred to the end of segment in the distance r .

$$M_c = M - V \cdot r$$

$$V_c = V$$

In CBFEM model, the end section of segment is loaded by moment M_c and force V_c .

Welds

Design resistance

The stress in the throat section of fillet weld is determined according to art. 4.5.3:

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

$$0.9 \cdot \sigma_{w,Rd} = f_u / \gamma_{M2}$$

Weld utilisation

$$U_t = \min(\sigma_{w,Ed} / \sigma_{w,Rd}; \sigma_{\perp} / 0.9 \cdot \sigma_{w,Rd})$$

β_w - correlation factor tab 4.1

- n - number of the friction surfaces. Check is calculated for each friction surface separately,
- γ_{M3} - safety factor,
- V - shear force,
- $F_{t,Ed}$ - design tensile force in bolt.

Anchors

Concrete cone failure resistance of anchor or group of anchors ETAG-001 5.2.2.4:

$$N_{Rkc} = N_{Rkc}^0 A_{cN} / A_{cN}^0 \Psi_{sN} \Psi_{reN}$$

Initial value of characteristic resistance:

$$N_{Rkc}^0 = 7.2 f_{ck}^{0.5} hef^{1.5},$$

where

- A_{cN} - area of concrete cone of an individual anchor; circle of diameter $1.5 * hef$,
- hef - length of anchor in concrete,
- f_{ck} - characteristic concrete compressive strength,
- A_{cN} - actual area of concrete cone of the anchorage at the concrete surface respecting influence of edges and adjoining anchors,
- $\Psi_{sN} = 1$,
- $\Psi_{reN} = 1$.

Anchors shear resistance in case of transfer of shear forces. Friction is not taken into account. Valid in case, that the anchor failure precedes the concrete failure ETAG-001 5.2.3.2:

$$V_{Rks} = 0.5 f_y A_s.$$

Concrete pry-out failure ETAG-001 5.2.3.3:

$$V_{Rkcp} / \gamma_{Mc} \leq V,$$

$$V_{Rkcp} = k * N_{Rkc},$$

where

- V - shear force,
- $k = 1$ for $hef < 60$
 $k = 2$ for $hef \geq 60$.

Concrete edge failure ETAG-001 5.2.3.4:

$$V_{Rkc} / \gamma_{Mc} \leq V,$$

$$V_{Rkc} = V_{Rkc}^0 A_{cV} / A_{cV}^0 \Psi_{sV} \Psi_{reV},$$

$$V_{Rkc}^0 = 1.7 d^\alpha l_f^\beta f_{ck}^{0.5} c_1^{1.5},$$

$$\alpha = 0.1 (l_f / c_1)^{0.5},$$

$$\beta = 0.1 (d / c_1)^{0.2},$$

where

- $l_f = hef$,
- c_1 - edge distance,
- d - anchor diameter,
- $\Psi_{sV} = 1$,
- $\Psi_{reV} = 1$,
- A_{cV} - area of concrete cone of an individual anchor at the lateral concrete surface not affected by edges ($4.5 c_1^2$),
- A_{cV} - actual area of concrete cone of anchorage at the lateral concrete surface.

Concrete block

Concrete resistance at concentrated compression:

$$F_{jd} = \beta_j k_j f_{ck} / \gamma_c.$$

Average stress under the base plate:

$$\sigma = N / A_{eff}.$$

Utilisation in compression [%]:

$$U_t = \sigma / F_{jd},$$

where

- f_{ck} - characteristic compressive concrete strength,
- $\beta_j = 0.6$,
- k_j - concentration factor,
- γ_c - safety factor,
- A_{eff} - effective area, on which the column force N is distributed.

Shear in concrete block

1. Shear is transferred only by friction:

$$V_{Rd,y} = N \cdot C_f,$$

$$V_{Rd,z} = N \cdot C_f.$$

2. Shear is transferred by shear iron and friction:

$$V_{Rd,y} = N \cdot C_f + A_{vy} \cdot f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0}),$$

$$V_{Rd,z} = N \cdot C_f + A_{vz} \cdot f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0}).$$

Utilisation in shear [%]:

$$U_t = \min (V_y/V_{Rd,y}, V_z/V_{Rd,z}),$$

where

- A_{vy} - shear area A_y of shear iron cross-section,
- A_{vz} - shear area A_z of shear iron cross-section,
- f_y - yield strength,
- γ_{M0} - safety factor,
- V_y - shear force component in the base plate plane in y-direction,
- V_z - shear force component in the base plate plane in z-direction,
- N - force perpendicular to the base plate,
- C_f - friction coefficient.

9.7 Kratek življenjepis

Mića Gavrić

Rojen: 1. 3. 1991

Šolanje:

- 1997–2005: Osnovna šola Janka Padežnika
- 2005–2009: Gimnazija in srednja kemijska šola Ruše
- 2009–2012: Fakulteta za gradbeništvo UM, dodiplomski študijski program GING
- 2012–2017: Fakulteta za gradbeništvo UM, podiplomski študijski program GING

9.8 Izjava o avtorstvu