

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2, p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

LUKA ARKO

**PROJEKTIRANJE KONSTRUKCIJ S
PARAMETRIČNIM MODELIRNIKOM TEKLA
STRUCTURES**

Diplomska naloga št.: **3197\KS**

**STRUCTURAL DESIGN WITH PARAMETRIC
MODELING SOFTWARE TEKLA STRUCTURES**

Graduation thesis No.: **3197\KS**

Mentor:
doc. dr. Tomo Cerovšek

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani LUKA ARKO izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»Projektiranje konstrukcij s parametričnim modelirnikom Tekla Structures«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 8. 12. 2011

Luka Arko

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.012.4:519.4(043.2)
Avtor:	Luka Arko
Mentor:	doc. dr. Tomo Cerovšek
Naslov:	Projektiranje konstrukcij s parametričnim modelirnikom Tekla Structures
Obseg in oprema:	76 str., 5 preg., 85 sl., 11pril.
Ključne besede:	BIM, parametrični 4D model konstrukcije, modeliranje, interoperabilnost, IFC, armirano-betonska konstrukcija

Izvleček

Danes se vedno bolj zavedamo pomembnosti kakovostnega projektiranja gradbenih konstrukcij. Ker gradbeni projekti postajajo vedno bolj zahtevni in vsebujejo vse več informacij, postaja uporaba informacijskega modela zgradbe nuja. Zaradi vse večje delitve dela v fazi projektiranja, bi bila programska oprema, s katero bi lahko izdelali celovit projekt vseh strokovnih področij, za projektante prezahtevna in nepregledna. To posledično vodi k uporabi številnih orodij, kar pa zahteva vse večjo interoperabilnost. Programska oprema Tekla Structures, ki sem jo uporabljal v diplomskem delu, omogoča komuniciranje z ostalimi programi projektantov na osnovi dobro razvitih vmesnikov in standardnih formatov za izmenjavo podatkov. Da bi prikazali potencial, ki nam ga ta program ponuja, smo obravnavali velik in tudi zahteven objekt. V sklopu diplomske naloge sem izdelal informacijski model poslovno-nakupovalnega centra Gemini v skupni izmeri slabih 50.000 m². Objekt obsega dva 17 nadstropna stolpa ter skupen pritlični in kletni del s podzemnimi garažami. Izdelan informacijski model stavbe sem s pomočjo vgrajene avtomatizacije pretvoril v računski model in ga nato uporabil za statično analizo v programu SAP2000. Na podlagi rezultatov analize sem delno dimenzioniral konstrukcijo in preizkusil sodoben način detajliranja in armiranja elementov. Projektna dokumentacija izhaja iz BIM modela in je zato vedno usklajena in posodobljena. Preveril sem sposobnost obvladanja sprememb in zaznave kolizij, kar se je izkazalo kot zelo uporabno, vendar je na tem področju treba določene obstoječe rešitve še nekoliko dodelati. Za konec sem izdelal še terminski plan gradnje in preveril ostale funkcionalnosti, ki nam jih ponuja ta sodobni način projektiranja konstrukcij. Na tak način sem v nalogi opisal celotno izdelavo BIM modela, ki nam omogoča popoln pregled tako nad projektiranjem, kot tudi kasneje v času gradnje ter same uporabe objekta.

BIBLIOGRAPHIC– DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.012.4:519.4(043.2)
Author: Luka Arko
Supervisor: Assist. Prof. Tomo Cerovšek
Title: Structural design with parametric modeling software Tekla Structures
Scope and tools: 76 p., 5 tab., 85 fig., 11ann.
Keywords: BIM, parametrical 4D construction model, modeling, interoperability, IFC, reinforced-concrete structure

Abstract:

Today, we are increasingly aware of the importance of quality design in building structures. Due to the fact that construction projects are becoming increasingly complex and contain more information, the need for the use of the building information model has become more important. Increasing fragmentation of the work in the design stage which cannot be handled by one single tool, different design software tools require better interoperability. In this thesis, we have used Tekla Structures design software, which allow for a high level of interoperability with other software packages and supports many different standards for data exchange. To show the advantage of the Tekla Structures' potential we modelled a large and complex facility. As part of the thesis we have made a Building Information Model (BIM) of a business-shopping centre Gemini with an area of almost 50,000 m², which comprises two 17-storey towers with common ground floor and basement. BIM model was used to generate analytical model for a program for static and dynamic analysis SAP 2000. Based on the analysis results, we have partly designed the construction and tested a modern way of detail-making and element reinforcing. Project documentation results from a BIM model and is therefore always consistent and updated. We examined the ability of BIM change management and collision detection, which demonstrated to be very useful; however, certain segments in this area may need considerable improvement. Finally, we have developed a construction schedule and tested other functionalities of this modern way of designing structures. In the thesis we have described a broad use of the BIM model, which allows us a complete review of the design, construction and usage of the object itself.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomu Cerovšku. Iskrena zahvala gre tudi avtorju arhitekture obravnavane zgradbe g. Andreju Kalamaru, ki mi je priskrbel vse potrebne arhitekturne načrte in podjetju IGRA d.o.o. za pomoč in koristne nasvete.

Zahvalil bi se tudi svoji družini in dekletu, ki so mi stali ob strani in me spodbujali skozi celoten čas študija, ter vsem prijateljem, ki so mi popestrili preživljanje študijskega časa v Ljubljani.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opis problema	2
1.2	Metode dela.....	3
1.3	Namen in cilj	4
2	BIM IN PROJEKTIRANJE	6
2.1	Ustaljen način projektiranja	6
2.2	Projektiranje s parametričnimi modelirniki BIM	7
2.3	Spremembe v gradbenem projektu in produktivnost v procesu projektiranja.....	9
2.4	Interoperabilnost v gradbeništvu	12
2.4.1	Industry Foundation Classes (IFC).....	12
2.4.2	CIMsteel	13
3	MODELIRANJE V PROGRAMU TEKLA	14
3.1	Osnovne lastnosti programa Tekla Structures 16	14
3.2	Primer celovitega BIM projektiranja v navezavi Tekla – Revit.....	16
3.3	Komunikacija z ostalimi udeleženci.....	17
3.3.1	Tekla BIMsight	17
3.3.2	Tekla Web Viewer	19
4	MODELIRANJE KONSTRUKCIJE	20
4.1	Zasnova konstrukcije.....	21
4.2	Priprava na modeliranje	22
4.3	Potek modeliranja konstrukcije	23
4.3.1	Konstrukcijski elementi.....	23
4.3.2	Modeliranje kletnih prostorov	29
4.3.3	Modeliranje poslovnega dela.....	30
4.3.4	Avtomatsko ugotavljanje neskladij	31
4.4	Izdelava računskega modela in izvoz v SAP2000.....	32
4.4.1	Statična analiza jeklene konstrukcije	37
4.4.2	Dimenzioniranje jeklene konstrukcije.....	45
4.4.3	Obvladanje sprememb.....	47
4.4.4	Armiranobetonska konstrukcija	48
4.4.5	Priprava modela za modalno analizo.....	49
5	DETAJLIRANJE IN IZDELAVA NAČRTOV	51

5.1	Uporaba knjižnice parametričnih komponent.....	51
5.2	Stikovanje jeklenih elementov.....	52
5.3	Armiranje elementov	55
5.4	Obvladanje sprememb armiranega elementa.....	63
5.5	Izdelava načrtov.....	65
6	TERMINSKI PLAN.....	68
6.1	Postopek priprave terminskega plana	69
6.2	Simulacija poteka gradnje	72
7	ZAKLUČEK.....	73
VIRI	75
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Koeficient zunanje tlaka in območja vplivov	39
Tabela 2: Tlak vetra na zunanje ploskve in območja vplivov	39
Tabela 3: Tlak vetra	39
Tabela 4: Obtežbe vetra.....	40
Tabela 5: Maksimalni pomiki	44

KAZALO SLIK

Slika 1: Ustaljen postopek projektiranja (Cerovšek, 2010a)	6
Slika 2: Postopek konstruiranja s parametričnimi modelirniki BIM (Cerovšek, 2010a).....	8
Slika 3: Primerjava poznavanja informacij o zgradbi v tradicionalnem in BIM načinu projektiranja	8
Slika 4: Razvoj programske opreme.....	9
Slika 5: MacLeamyjeva krivulja.....	10
Slika 7: Začetne nastavitve okolja v Tekli Structures	14
Slika 8: Shema modeliranja objekta z uporabo centraliziranega modela	15
Slika 9: Celovito BIM projektiranje Tekla – Revit (Tekla, 2011).....	16
Slika 10: Označevanje in komuniciranje v pregledovalniku TeklaBIMsigh.....	17
Slika 11: Tekla BIMsight	18
Slika 12: Tekla Web Viewer	19
Slika 13: Shema dostopnosti do centraliziranega modela (Wang, 2011)	20
Slika 14: 3D prikaz stavbe Gemini.....	21
Slika 15: Vzдолžni prerez stavbe	21
Slika 16: Tloris stavbe	22
Slika 17: Uvoz referenčnega modela oziroma podlog.....	22
Slika 18: Izdelovanje mreže	23
Slika 19: Izbira konstrukcijskega materiala.....	24
Slika 20: Izdelava jeklenih in betonskih konstrukcijskih elementov.....	24
Slika 21: Knjižnica profilov	25
Slika 22: Orodje za izdelavo poljubnih prerezov	25
Slika 23: Definiranje karakteristik betonskega stebra	26
Slika 24: Notranje sile v stebri po izvedeni statični analizi	27
Slika 25: Določanje parametrov betonskih stopnic	28
Slika 26: Informacije o elementu.....	28
Slika 27: Model razdeljen na faze	29
Slika 28: 3D prikaz kletnih prostorov.....	30
Slika 29: 3D prikaz pritličja.....	31
Slika 30: Seznam neskladji.....	32
Slika 31: Interoperabilnost programov (CSi, 2010)	32
Slika 32: Osnovne nastavitve analitičnega modela	33
Slika 33: Nastavitev dimenzioniranja AB elementov.....	34
Slika 34: Definiranje podpor betonskega stebra.....	35
Slika 35: Seznam analitičnih modelov	35
Slika 36: Matematični model zgradbe	36

Slika 37: Del analitičnega modela.....	36
Slika 38: Analitičen model izvožen v SAP2000	37
Slika 39: Prikaz območji delovanja vetra.....	39
Slika 40: Obtežne kombinacije	40
Slika 41: Obtežen analitični model jeklene konstrukcije v pritličju.....	41
Slika 42: Analitični model jeklene konstrukcije izvožen v SAP2000.....	42
Slika 43: Optimizacija elementov po opravljeni analizi v SAPu	42
Slika 44: Notranje sile v stebru	43
Slika 45: Nastavitev kriterijev prikaza izkoriščenosti prereзов	43
Slika 46: Shema upogibni momentov [My]	44
Slika 47: Deformirana lega jeklene konstrukcije	45
Slika 48: Nastavitve dimenzioniranja jeklenih elementov	45
Slika 49: Optimizacija elementov izvedena v SAPu.....	46
Slika 50: Ponovna optimizacija elementov	47
Slika 51: Izvajanje sprememb	47
Slika 52: Računski model stolpnice v programu SAP2000	48
Slika 53: Izbira standarda oziroma spektra za potresno analizo.....	49
Slika 54: Definiranje mase za potresno analizo	49
Slika 55: Ploščo v računskem modelu definiramo kot diafragmo.....	50
Slika 56: Knjižnica parametričnih komponent.....	51
Slika 57: Parametrična jeklena podložna ležišča	52
Slika 58: Orodje za preprosto spajanje elementov	52
Slika 59: Spajanje jeklenih elementov	53
Slika 60: Katalog vijakov, matic in podložk	54
Slika 61: Detajl spajanja jeklenih elementov	54
Slika 62: Detajlno izdelan del jeklenega okvirja.....	55
Slika 63: Knjižnica parametričnih komponent za armiranje	56
Slika 64: Določanje parametrov armiranja okroglih stebrov	56
Slika 65: Podpora za armiranje	57
Slika 66: Določanje parametrov armaturne palice	57
Slika 67: Armiran del stolpnice.....	58
Slika 68: Armiranje etaž.....	59
Slika 69: Orodje za izdelavo preklopov	59
Slika 70: Detajl preklopa vzdolžne armature pri stebrih.....	60
Slika 71: Orodje za armiranje odprtín	61
Slika 72: Detajl armiranja odprtín v plošči	61
Slika 73: Poročilo izvoženo v Excel	62

Slika 74: Preprost izvleček armature v etaži.....	62
Slika 75: Armaturni načrt temelja prenesen v naravo (Tekla, 2011).....	63
Slika 76: Sprememba odprtine	64
Slika 77: Sprememba velikosti stebra	64
Slika 78: Nastavitev splošnih lastnosti načrta	65
Slika 79: Izvleček armature točkovega temelja	66
Slika 80: Seznam načrtov	67
Slika 81: Smiselna razporeditev elementov.....	68
Slika 82: Seznam izvajalcev vključenih v terminski plan	69
Slika 83: Terminski plan gradnje.....	70
Slika 84: Terminalske informacije o montažnem stebri	71
Slika 85: Orodje za vizualizacijo gradnje	72

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Načrti celotne konstrukcije

PRILOGA B: Načrti jeklenega dela konstrukcije

PRILOGA C: Armaturni načrti

PRILOGA D: Informacijski model zgradbe

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AEC	Architecture, Engineering, Construction: arhitektura, projektiranje, gradnja
BIM	Building Information Modeling: informacijsko modeliranje zgradb
CAD	Computer Aided Design: računalniško podprto načrtovanje
DXF	Drawing eXchange Format: format za izmenjavo načrtov
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning: ogrevanje, prezračevanje, hlajenje
IFC	Industry Foundation Classes: temeljni industrijski razredi
IPD	Integrated Project Delivery: integrirana in optimizirana izdelava projekta
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design: certifikat za energetske varčen objekt
MEP	Mechanical, Electrical, and Plumbing: kanalizacija, elektro in vodovodne inštalacije
VBE	Virtual Building Environment: virtualno grajeno okolje

1 UVOD

Gradbeni projekt je kompleksen produkt, na katerem sodeluje veliko število strok z medsebojnimi funkcijami in nalogami, potrebnimi za njegovo uspešno izvedbo. V preteklosti se je graditelj z vsemi nalogami lahko spopadel sam. Ker pa smo danes priča vedno bolj zahtevnim in obsežnim projektom, je potreba po razdelitvi dela in medsebojnemu sodelovanju postala neizbežna. Posledica tega je potreba po učinkoviti komunikaciji in sodelovanju med udeleženci gradbenega projekta. Z razvojem računalnikov in programske opreme smo ročno tehnično risanje nadomestili z računalniškimi orodji CAD (*angl. Computer Aided Design*), ki še dandanes v večji meri predstavljajo ustaljen način izdelave projektne dokumentacije. Klasični 2D kot tudi generični 3D programi nam ponujajo zgolj geometrijske informacije o zgradbi in žal nobenih bolj specifičnih informacij o elementih zgradbe, kot so material, volumen, teža, nosilnost, obremenitev, pomiki, količina armature in podobno.

K razvoju gradbeništva v smislu uporabljenih naprednih tehnologij, materialov in same organizacije dela spada tudi sodobna priprava projektne dokumentacije. Napredek na tem področju že dalj časa predstavlja prehod iz dvodimenzionalnega načina projektiranja, ki je zgolj risanje, na napredno 3D projektiranje, kjer lahko z informacijskim modelom zgradbe (*angl. Building Information Model – BIM*) predstavimo celoten življenjski cikel gradbenega objekta. Z BIM modelom, ki poleg geometrijskih predstavlja tudi negeometrijske informacije o stavbi, lahko enostavno komuniciramo z udeleženi v gradbenem projektu. Tak model vsebuje informacije, ki jih izdelajo in hkrati potrebujejo arhitekti in inženirji za zasnovo, analizo, načrtovanje, simulacije in vizualizacije v vseh fazah gradbenega projekta ter skozi celoten življenjski cikel objekta. Glavni cilj informacijskih modelov zgradb je zamenjava projektne dokumentacije na papirju z digitalnim modelom zgradbe.

Čeprav trenutno stanje gradbeništva v Sloveniji ni ravno zavirljivo in je to v globoki krizi, se moramo zavedati, da je gradbena industrija ena izmed ključnih gospodarskih panog. Da bi bili predvsem javni gradbeni projekti v prihodnosti bolj transparentno in učinkovito izpeljani, potrebujemo nov pristop in novo miselnost. Za povečanje produktivnosti in dvig kakovosti gradbena podjetja med drugim potrebujejo natančno in celovito 3D orodje za načrtovanje in racionalizacijo poteka del. Mogoče je ravno zmanjšan obseg del, ki je posledica trenutne gospodarske krize, priložnost, da gradbena podjetja začno uvajati nove, sodobne načine projektiranja.

1.1 Opis problema

Pomanjkanje novih gradbenih projektov v Sloveniji usmerja napredna gradbena podjetja v perspektivne, a hkrati zahtevne, tuje trge, kjer je konkurenca še toliko močnejša od domače. Razviti trgi od podjetji zahtevajo veliko mero prilagodljivosti in odzivnosti, zato je uporaba sodobne informacijske tehnologije v gradbeništvu nujna za ohranitev konkurenčnosti podjetja ter za samo preživetje na trgu. Pomanjkanje znanj o novih produktih, ki se pojavljajo na trgu, podjetjem znižuje konkurenčnost in povzroča nenehne zaplete pri projektih. Na žalost pa večina gradbenih podjetij ni naklonjena novim produktom na področju informacijske tehnologije, saj je za to potreben dodaten vložek finančnih sredstev in časa, učinek pa ni viden takoj. Ker v procesu gradnje deluje veliko število strok, je eden izmed ključnih pojmov interoperabilnost, ki omogoča uporabo in izmenjavo projektnih informacij skozi faze projekta.

Eno izmed navodil o javnem naročanju gradenj in storitev, povezanih z gradnjami, ki ga je vlada sprejela, nalaga tako naročniku, ki pripravlja razpis, kot tudi ponudniku oziroma projektantu zelo visoke zahteve (IZS, 2011). Projektanti morajo pri izdelavi projektne dokumentacije slediti predpisom in standardom, poleg tega pa morajo sedaj izdati še energetska izkaznica objekta, katere kriterije določi naročnik in ne smejo biti manjši od predpisanih. Na zahtevo naročnika mora biti celotno projektiranje objekta v okviru neke določene cene. Če hočemo zajeti vse zahtevane kriterije, moramo že v fazi investicijske dokumentacije kar se da natančno upoštevati gradbene, inštalacijske in obrtniške stroške ter stroške v fazi obratovanja, vzdrževanja in razgradnje objekta. Za opredelitev vseh zgoraj naštetih elementov, moramo imeti na razpolago veliko informacij, ki so zbrane na enem mestu, na informacijskem modelu zgradbe. Le centralizirane informacije o stavbi omogočajo boljše sodelovanje med vsemi projektanti in izvajalci, kar se kaže v večji produktivnosti in tudi zmanjševanju odpadkov, kar pripomore k trajnostnemu razvoju gradbeništva.

S širšo uporabo informacijskega modela zgradbe zagotavljamo brezhibno usklajevanje in vodenje v kateri koli fazi načrtovanja, detajliranja, prefabrikacije in same gradnje. Na tak način bi lahko inženirji konstrukcij bolj tesno sodelovali z dobavitelji in izvajalci, kar bi prispevalo k dvigu produktivnosti in kakovosti gradbeništva.

Ključne prednosti uporabe BIM modela so prihranek časa za »neproduktivna« dela, zmanjšanje možnosti za napake in neskladja ter enostavno upravljanje sprememb v času projektiranja. BIM model nam poleg tega služi kot učinkovito orodje v času gradnje objekta, kot tudi v celotni življenjski dobi objekta. BIM je v zadnjih letih postal pomemben trend v gradbeništvu. Prednost tega orodja je, da lahko konsolidira projektno dokumentacijo v vseh fazah, tako da posamezni projektanti združijo svoje podmodele in preverijo neskladja. Z zmanjšanjem napak podjetja prihranijo na času in stroških in s

tem dvignejo kakovost ter produktivnost. Informacijski model zgradbe naj bi bil kot enciklopedija informacij o objektu, ki bi vseboval podatke vse od celotnega procesa gradnje pa do posameznega detajla. Gre za uporabljanje modela skozi celotno življenjsko dobo objekta »*Plan–Build–Operate*«. V diplomski nalogi sem uporabil eno izmed BIM orodji in preveril njegovo funkcionalnost.

1.2 Metode dela

Delo diplomske naloge je zahtevalo spoznavanje in učenje konceptov informacijskega modeliranja zgradb, za kar je bilo treba preučiti ustrezno strokovno literaturo. Med mnogimi ponudniki BIM programske opreme smo se odločili za orodje Tekla Structures, ki nam poleg izdelave 3D modela konstrukcije, posredno omogoča še statično in dinamično analizo, optimizacijo elementov, enostavno izdelavo detajlov, izdelavo delavniških in armaturnih načrtov ter terminskega plana izvedbe konstrukcije, ki je povezan s konstrukcijskimi elementi.

V nadaljevanju je delo potekalo po naslednjih zaporednih korakih, in sicer:

- Zbiranje arhitekturnih podlog ter izbira ustreznega objekta za modeliranje.
- Spoznavanje ter učenje modeliranja s programom Tekla Structure.
- Modeliranje objekta vključno z vsemi detajli in testiranje orodja za zaznavanje neskladij.
- Avtomatična izdelava matematičnega modela celote in delov konstrukcije.
- Izvoz matematičnih modelov v SAP2000 V14 in testiranje uspešnosti prenosa informacij.
- Optimizacija elementov v programu Tekla Structures na podlagi rezultatov analize.
- Izdelava načrtov in preizkušanje usklajevanja le-teh s spremembami na modelu.
- Izdelava terminskega plana in simulacije gradnje objekta.

Model Tekla lahko uporabimo kot centralno zbirko strukturnih podatkov stavbe za vse udeležence projekta. Natančno izdelana projekta dokumentacija z uvozom ali v kombinaciji programa Tekla Structures omogoča najvišjo stopnjo natančnosti izvedbe in nadzora gradnje. Centralizirane informacije na modelu omogočajo več sodelovanja in integrirano upravljanje objekta, kar poleg večje produktivnosti pomeni tudi manj odpadkov in ohranjanje okolja za naslednje generacije, s čimer gradbeništvo pripomore k trajnostnemu razvoju.

1.3 Namen in cilj

Namen diplomske naloge je predstaviti argumente za uporabo informacijskih modelov zgradb ter virtualno izgradnjo objekta za čim boljšo fizično realizacijo objekta v naravi. V nadaljevanju diplomske naloge bom predstavil inovativno BIM programsko opremo za celoten potek gradnje. Cilj diplomske naloge je spoznati trenutno uporabnost orodja Tekla Structures in prikazati način izdelave informacijskega modela zgradbe, ki poleg 3D modela konstrukcije vključuje tudi terminski plan gradnje konstrukcije.

S projektno dokumentacijo bistveno vplivamo na uspešnost poteka izvedbe projekta. Gradnja poteka v skladu s skrbno izdelano projektno dokumentacijo. V primeru, da je ta slabo in neusklajeno pripravljena, pa v procesu gradnje hitro nastopijo številne težave. Ker je v procesu graditve potrebno izvesti ogromno del, ki jih opravljajo različne stroke, je usklajenost njihove projektne dokumentacije ključ do uspešnega projekta.

Gradbena industrija potrebuje natančno in celovito parametrično BIM orodje, ki bi zajemalo vse faze od projektiranja, gradnje, izdelave ponudb, ocene stroškov, pa do prodaje in samega vzdrževanja zgradbe. V gradbenem projektu deluje veliko različnih strok, ki sodelujejo na področju projektiranja, gradnje, proizvodnje elementov, dobave, montaže, prodaje in javnih razpisov. Vsi ti udeleženci imajo različne zadolžitve, ki se nanašajo na točno določeno zgradbo. V gradbenem projektu je torej ogromno informacij, ki postanejo uporabne šele takrat, ko so nam enostavno dostopne. Vse te informacije različnih strok je treba hraniti na skupnem mestu, kar omogoča informacijski model zgradbe.

Trendi informacijskih modelov zgradb in gradbeništva

- BIM se zaradi vladnih in nacionalnih spodbud k trajnostnemu razvoju najbolj razširjeno uporablja v severnih evropskih državah, Singapurju in v ZDA, predvsem v večjih podjetjih. Z zahtevami javnih, kot tudi zasebnih investitorjev, pogodbenih izvajalcev in nacionalnih standardov, se bo BIM sčasoma začel uporabljati tudi v srednjih in majhnih podjetjih.
- BIM bo vse bolj postajal standard v gradbeni industriji, za kar pa bo potrebno še kar veliko dela, da nam bo dejansko nudil vse, kar se od njega pričakuje. Za uspešen prehod na BIM bomo morali vsi od arhitekta, projektantov in drugih tradicionalnih CAD uporabnikov spremeniti način dela, kar pa zahteva učenje, potrpežljivost in pozitiven odnos do novosti.

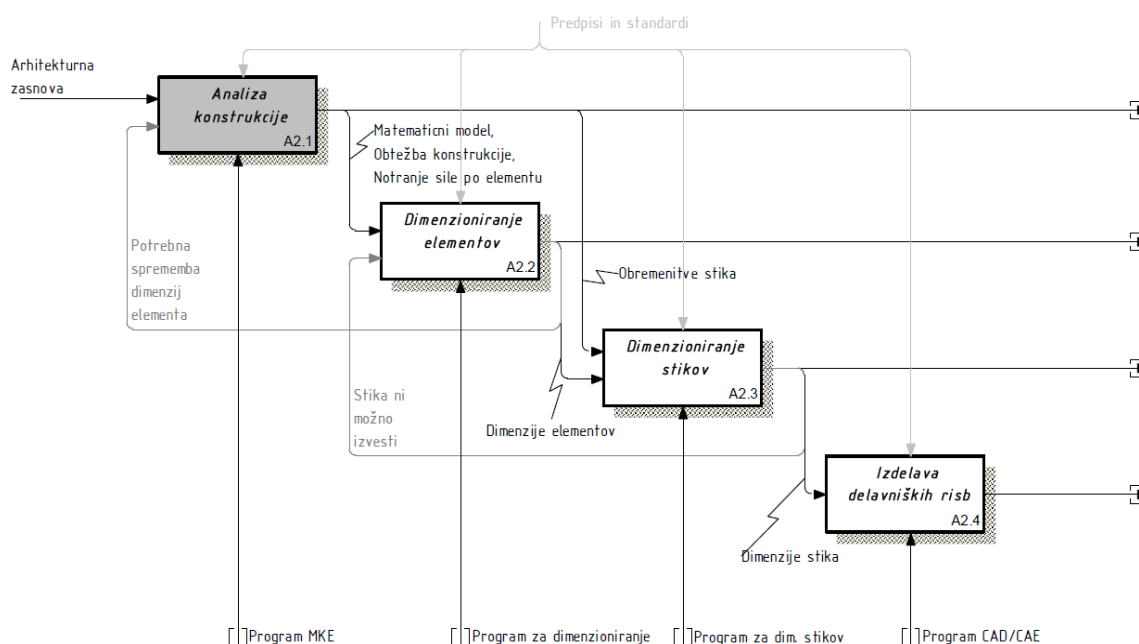
- Gradnja klasičnih objektov je drag in dolgotrajen proces, zato bodo na trg prihajali prefabricirani elementi, s katerimi bomo proces gradnje pospešili, delo na gradbišču pa zmanjšali na minimum. Kot navaja Juhola (2011) se bo povečala uporaba bolj ekonomičnih, in ekološko naravnanih materialov, kot so les, jeklo, steklo, z uporabo katerih bodo arhitekti lažje ustvarjali »razgibane« zgradbe. Prefabrikacija, proizvodnja in sama gradnja bodo upravljane z BIM-om.
- Z najnovejšimi BIM tehnologijami je mogoče pridobiti informacije direktno iz 3D modela in jih nato uporabiti v napravi na terenu, saj je informacijska točka na modelu neposredno vezana na dejansko lokacijo na terenu. Ideja je, da uporabimo podrobne informacije BIM modela tudi na terenu za natančno montažo elementov. Tako poleg natančnejše, z BIMom upravljane izdelave montažnih elementov v proizvodnih obratih, zagotovimo tudi manj terenskega dela in zmanjšamo možnost napak.
- Na trgu je že mnogo brezplačnih pregledovalnikov BIM modelov, s katerimi podjetja poskušajo pospešiti in razširiti uporabo BIM programov. Pred kratkim je tudi podjetje Tekla predstavilo svoj nov produkt TeklaBIMsigt, ki je mnogo več kot samo pregledovalnik. BIM je treba razumeti kot centraliziran proces v gradbeništvu, ne pa zgolj kot model. To zahteva sodelovanje in dobro voljo med udeleženi v gradbenem procesu.
- V prihodnosti bomo strmeli k temu, da bo lahko vsak projektant delo opravljal »od doma«, pa čeprav se bodo gradbena dela odvijala na drugem delu sveta. Ključ do kvalitetno izdelane projektne dokumentacije in same izvedbe bo v brezhibnih informacijah in komunikaciji, kar pa lahko zagotovimo le z uporabo enotnega centraliziranega informacijskega modela.
- S svojimi mobilnimi telefoni in tabličnimi računalniki lahko že danes pregledujemo z uporabo resničnostnih tehnologij izdelan informacijski model zgradbe neposredno na gradbišču ali kjerkoli drugje na terenu.

2 BIM IN PROJEKTIRANJE

2.1 Ustaljen način projektiranja

Standardni način projektiranja poteka tako, da gradbeni konstrukter od arhitekta prejme arhitekturne podloge, na osnovi katerih se določi konstrukcijski sistem z izbranimi dimenzijami. V programu za analizo izdelamo matematični model konstrukcije za statično in dinamično analizo, ter na podlagi dobljenih rezultatov dimenzioniramo elemente, katere med seboj ustrezno stikujemo in nato vse skupaj dokumentiramo v obliki tehničnih poročil, delavniških risb, armaturnih in opažnih načrtov. V tem primeru veliko časa porabimo za izdelavo zamudnih in nekreativnih del, kot so na primer izdelava matematičnega modela za statično analizo ob zapleteni geometriji konstrukcije, izdelava delavniških risb in priprava projektne dokumentacije.

Večje težave nastopijo pri spremembah. Na primer investitor se odloči, da bo nekoliko spremenil tloris konstrukcije. V tem primeru je potrebno ponovno opraviti skoraj vse zgoraj omenjene korake, kar pa zahteva veliko dodatnega časa, ki bi ga lahko uporabili bolj produktivno. Poleg tega ob večkratnem spreminjanju projekta hitro pride do neskladji v projektni dokumentaciji arhitekta, statika, strojnega in elektro inženirja in ostalih udeležencev pri projektiranju. Odpravljanje neskladij na tak način je zahtevno in zamudno opravilo. Veliko teh neskladij pa ostane tudi spregledanih ali nerešenih, kar pomeni, da jih je potrebno reševati v fazi gradnje, kar lahko precej podraži in podaljša čas gradnje. Več o spremembah sledi v naslednjem poglavju.



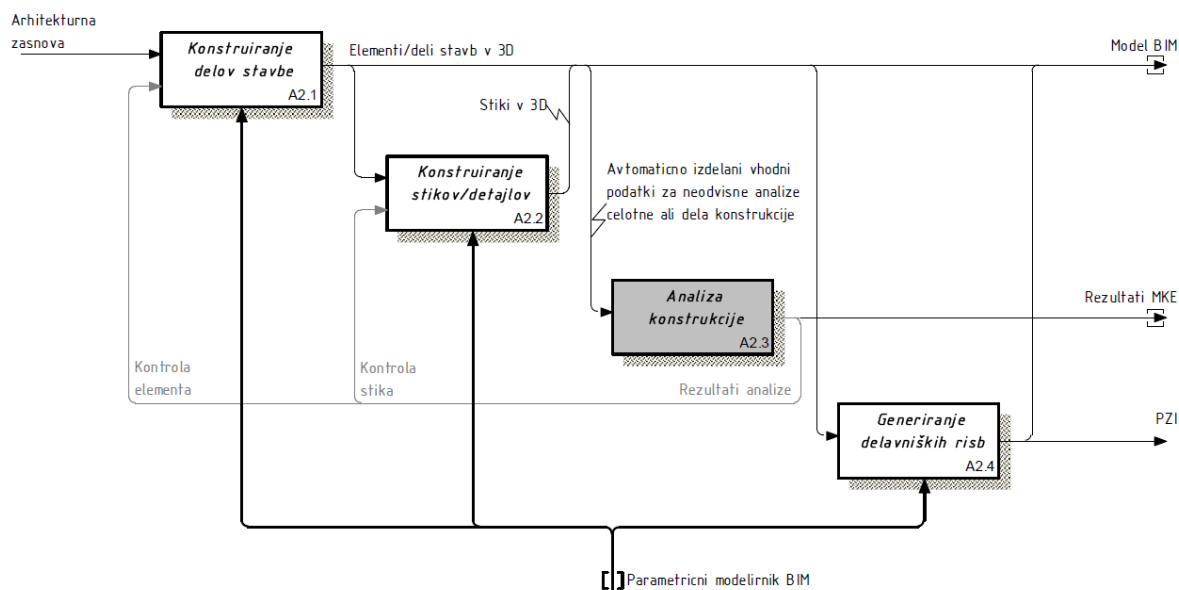
Slika 1: Ustaljen postopek projektiranja (Cerovšek, 2010a)

2.2 Projektiranje s parametričnimi modelirniki BIM

V arhitekturnem 3D modelu zamrznemo nenosilne elemente in s pomočjo integrirane povezave ali IFC formata model prenesemo v izbran modelirnik. Tam skonstruiramo tako posamezne elemente stavbe, kot tudi spoje in detajle. Sledi analiza konstrukcije, ki jo s pomočjo ustreznega programskega vmesnika enostavno izvedemo v programu za statično oziroma dinamično analizo. V primeru, da je analiza pokazala neustreznost določenih elementov oziroma stikov, nam sodoben modelirnik avtomatsko predlaga ustrezne rešitve. Delavniške risbe in načrti, izdelani s parametričnim BIM modelirnikom, se ob kakršni koli spremembi avtomatsko zgenerirajo. Tako je nevarnost podvajanja ali izgube informacij nična.

Prednosti takega pristopa je več. Tudi ob večkratnih spremembah je napak bistveno manj oziroma teh ni. Izhajamo iz skupnega oziroma referenčnega modela in v primeru, da na tem modelu spremenimo geometrijo, se nam ta spremeni na vseh pod-modelih (na primer matematičen model za statično analizo, model za strojne in elektro inštalacije, model energetske učinkovitosti).

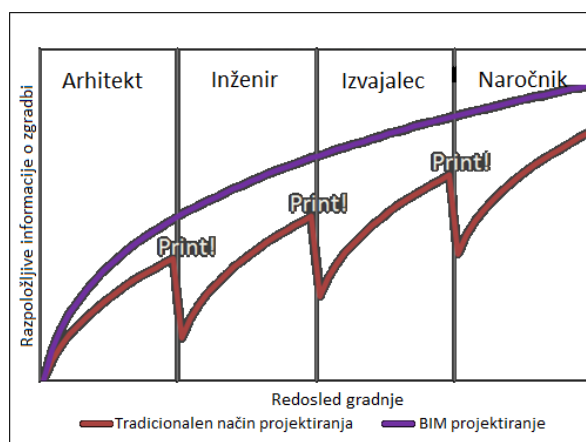
Modeliramo z elementi, ki so parametrizirani na način, da čim boljše opišejo lastnosti dejanskega elementa. Na trgu je več vrst BIM modelirnikov, ki se razlikujejo po svoji namembnosti. Za vlogo gradbenega inženirja konstrukterja so bolj pomembni tisti, ki omogočajo modeliranje konstrukcijskih elementov, vključno z vsemi detajli, armaturo in stiki. Ker so projektanti navajeni dela v 2D CAD programih, imamo tudi v BIM modelirnikih možnost konstruiranja detajlov poleg v prostorskem tudi v ravninskem pogledu, kar se v določenih situacijah izkaže za bolj pregledno, kljub temu, da imamo na voljo več polarnih in ortogonalnih mrež. Vsekakor pa je končni izdelek le en model, na katerem so zbrane vse informacije, in je tako možnost zmešnjave le-teh ali celo izguba praktično nemogoča.



Slika 2: Postopek konstruiranja s parametričnimi modelirniki BIM (Cerovšek, 2010a)

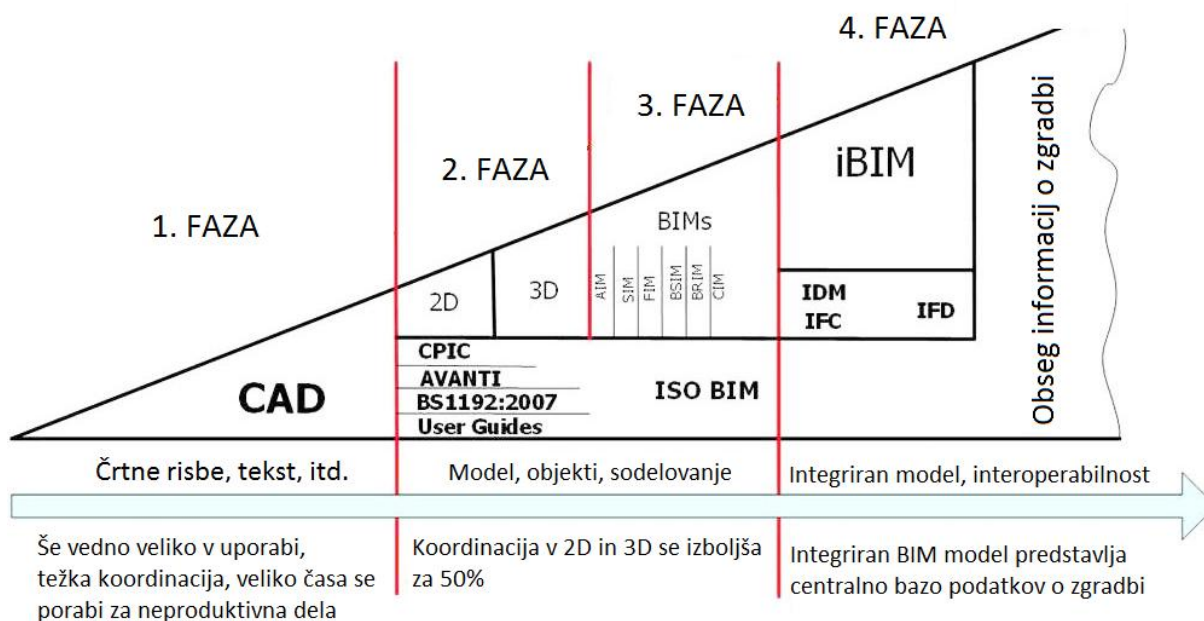
Ena izmed velikih prednosti BIM modelov je prav gotovo tudi preglednost in boljša predstava objekta, kar nam omogočajo razni pogledi. Slednje delimo na projekcijske in modelne poglede. Projekcijski pogledi so nam dobro poznani, to so namreč tlorisi, prerezi in razne projekcije 3D modela. Z modelnimi pogledi pa določimo, kar želimo v določenih »projekcijskih« 3D pogledih videti. Modelne poglede si različno prilagodimo, ko na primer želimo delati le z določenimi elementi (na primer nosilno konstrukcijo), ko izdelujemo ali pregledujemo določene detajle, ko želimo določene dele izvoziti v drug program in še v mnogih drugih primerih (Cerovšek, 2010).

Dandanes pri večini projektov, ki jih izdelamo v 2D programih, izgubimo določeno količino podatkov o zgradbi, zato projektne skupine, ko dobijo projekt v roke, potrebujejo kar nekaj časa, da se seznanijo s projektom, preden lahko začnejo s svojim delom. Informacije o grajenem objektu bi morale biti na razpolago v največjem možnem obsegu skozi celoten proces projektiranja, gradnje in uporabe objekta.



Slika 3: Primerjava poznavanja informacij o zgradbi v tradicionalnem in BIM načinu projektiranja

V primeru boljšega prenosa informacij med projektanti bi bil tudi sam proces načrtovanja bolj učinkovit. To je tudi eden izmed razlogov za današnji hiter razvoj BIM programske opreme, saj informacijski model zgradbe vsebuje veliko več informacij, s katerimi bi razpolagale projektne skupine. S Sliko 3 sta predstavljena tradicionalen in BIM način projektiranja. Na Sliki 4 pa je prikazan razvoj programske opreme od tradicionalne CAD (*angl. Computer Aided Drafting*) do integrirane in interoperabilne BIM (*angl. Building Information Model*). Prednosti takega pristopa so med drugim tudi enostavna in učinkovita izdelava načrtov, izvlečkov, terminskega plana gradnje, denarnega toka poteka gradnje iz enotne baze podatkov (informacijskega modela) in uporabnost pri sami proizvodnji gradbenih elementov ter gradnji in uporabi objekta skozi celotno življenjsko dobo.



Slika 4: Razvoj programske opreme

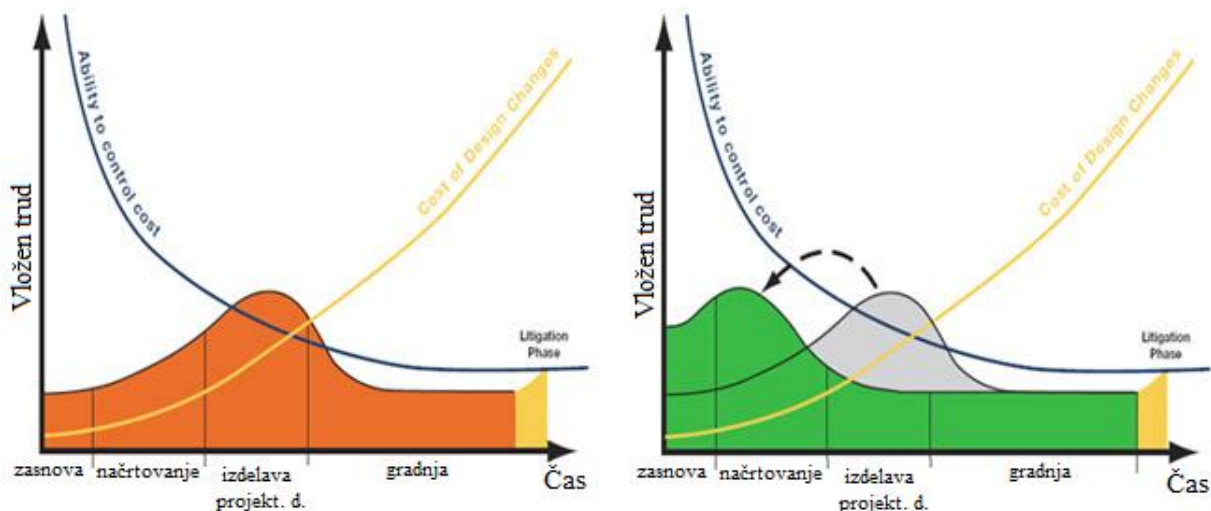
2.3 Spremembe v gradbenem projektu in produktivnost v procesu projektiranja

Lahko rečemo, da gradbeni projekti postajajo vse bolj kompleksni in nepredvidljivi z vidika sprememb, zato je izdelava popolne in usklajene projektne dokumentacije s CAD orodji praktično nemogoča. Z razvojem naprednih in informacijsko podprtih pristopov, so problemi neskladji projektne dokumentacije veliko bolj obvladljivi, saj imamo s tem možnost številne pomanjkljivosti in napake vnaprej prepoznati in jih odpraviti že na nivoju samega informacijskega modela.

Le s stalno komunikacijo in sodelovanjem med vsemi udeleženi skozi celoten potek gradbenega projekta lahko zagotovimo potreben pretok informacij in s tem kakovosten projekt z bistveno manj neskladji. Eden od ključnih razlogov za razvoj informacijskih modelov, kateri zajame vse informacije

o stavbi, je prav količina informacij in pa njihova kompleksnost. Posamezni deli načrtov (na primer načrt arhitekture, armaturni načrt, načrt instalacij) so lahko izdelani skladno s predpisi, vendar so le deloma uporabni, če med seboj niso usklajeni. Poleg tega pa v okviru projektiranja prihaja do raznih sprememb projekta in na tem delu neustrezna usklajenost pride še toliko bolj do izraza. Pravočasno odkrivanje in reševanje napak na informacijskem modelu je ključnega pomena, saj bi te napake kasneje povzročile znatno podražitev izvedbe. Odpravljanje neskladji projektne dokumentacije izdelane v CAD programih je zamudno delo, ki obsega odkrivanje napak in usklajevanje načrtov. Zaradi težavnosti odkrivanja neskladij, veliko le-teh ostane v fazi načrtovanja še nerešenih, kar pa kasneje v fazi izvedbe zavleče in podraži samo gradnjo objekta. Tako lahko rečemo, da so potrebe po zmanjšanju stroškov in ohranjanju kakovosti v gradbeništvo privedle k razvoju novih pristopov odkrivanja in reševanja neskladij.

Pri tradicionalnem načinu projektiranja se napake odkrijejo pozno. Spremembe po odkritju teh napak so zato dražje, kot pa če bi bile le-te ugotovljene že v fazi zasnove. Pri projektiranju s pomočjo informacijskega modela stavbe lahko na podlagi natančnejših informacij odločitve sprejmemo že v začetnih fazah projekta, torej v fazi zasnove in načrtovanja. V tej fazi je namreč še veliko možnosti za spremembe in so te cenejše, kot če jih izvajamo kasneje, ko se že izdeluje vsa projektna dokumentacija oziroma še slabše, ko se že izvajajo gradbena dela na elementih, ki so potrebni popravkov. To lepo prikazuje MacLeamyjeva krivulja na naslednji Sliki.



Slika 5: MacLeamyjeva krivulja

Razviti trgi dandanes od podjetji zahtevajo veliko mero prilagodljivosti in odzivnosti, zato je uporaba sodobne informacijske tehnologije v gradbeništvo nujna za ohranjanje konkurenčnosti in za samo preživetje na trgu. Pomanjkanje znanj o novih produktih, ki se pojavljajo na trgu, podjetjem znižuje konkurenčnost in povzroča nenehne zaplete pri projektih.

Neskladja v projektne dokumentaciji lahko pričakujemo predvsem tam, kjer zaradi omejenega vizuelnega pregleda načrtovalci nimajo popolne predstave in je zato načrtovanje precej oteženo. Razreševanje neskladji projektne dokumentacije posameznih strok je dolgotrajno in problematično. Napake, ki pri obsežnejših projektih niso odpravljene, se odražajo z zapleti in zamudami v procesu gradnje, kar pa lahko investicijo precej podraži. Zaradi slabega ažuriranja in pomanjkanja podatkov večina projektantov izdela projektne dokumentacije do take mere, kolikor ima podatkov na voljo in nato čaka, da svoj del opravijo ostale projektantske skupine. V primeru večkratnih sprememb projekta se ta nedinamičen proces prenosa podatkov večkrat ponovi, za kar je za enak učinek treba vložiti bistveno več časa in dela, kot če bi vse skupaj obdelovali na skupnem centraliziranem modelu. Pravilen pristop k reševanju te problematike bi bilo skupno reševanje neskladij, ne pa zgolj obsojanje in prelaganje odgovornosti ene projektantske skupine na drugo.

Kot posledica neusklajene projektne dokumentacije, nastajajo največja neskladja med:

- Arhitekturo
- Ogrevalnimi, ohlajevalnimi in ventilacijskimi sistemi (*angl. HVAC - Heating, Ventilation, Air Conditioning*)
- Vodovodnimi, kanalizacijskimi in elektroinštalacijami (*angl. MEP - Mechanical, Electrical, and Plumbing*)

Šele zatem, ko se posamezna projektne dokumentacije »združi«, postanejo vsa neskladja razvidna in potrebna so razna dogovarjanja, usklajevanja in popravki. Predvsem za inštalacije HVAC sistemov strojnih naprav je potrebno zagotoviti dovolj prostora in ker so te velikih dimenzij, lahko predstavljajo velike oslavitve konstrukcijskega sistema, skozi katerega vodimo inštalacijo. Na takih mestih je potrebna natančna usklajenost s statikom. Problem pa je včasih lahko celo tako obsežen, da zahteva novo arhitekturno in statično načrtovanje, kar pa predstavlja veliko dodatnega dela ter posledično časa in denarja. Usklajevanje vseh načrtov projektne dokumentacije s spodnjega seznama od projektantov zahteva veliko dogovarjanja in usklajevanja, kar je brez uporabe BIM modelov zahtevno in zamudno opravilo.

Seznam načrtov projektne dokumentacije:

- Načrti arhitekture
- Načrti gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti
- Načrti električnih inštalacij in električne opreme
- Načrti strojnih inštalacij in strojne opreme
- Načrti telekomunikacij
- Tehnološki načrti
- drugi načrti.

Za odpravljanje neskladji pri informacijskem modelu zgradbe BIM uporabljamo napreden pristop odkrivanja neskladij imenovan Collision detection (zaznavanje kolizij). V programski opremi Tekla Structures se tako orodje imenuje Clash check, ki učinkovito prepozna določena neskladja med različnimi predmeti. Uporablja se kot ena izmed kontrol končnega projektnega dela, ki nam prihrani čas ter zmanjša vpliv napak človeškega izvora pri pregledovanju neskladij.

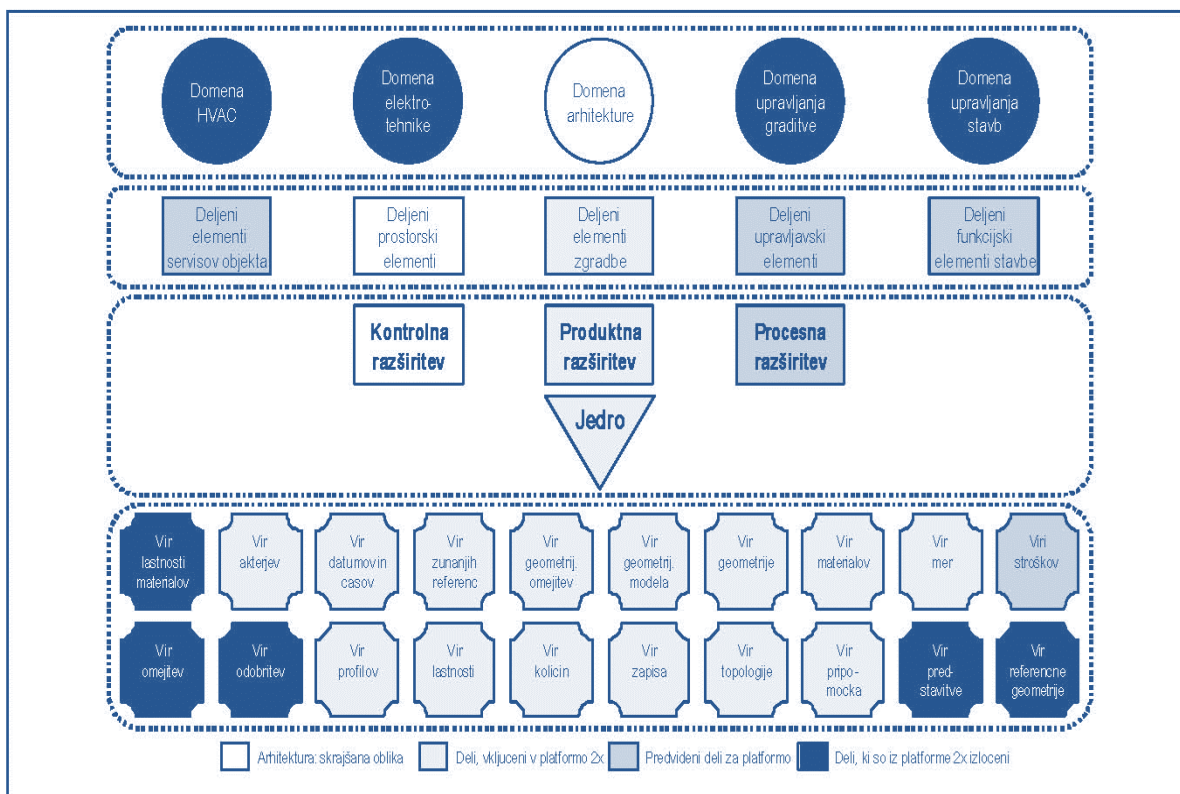
2.4 Interoperabilnost v gradbeništvu

Interoperabilnost je lastnost oziroma sposobnost za skupinsko delo različnih sistemov in organizacij. Izraz se pogosto uporablja v tehničnem svetu informacijskih sistemov, kjer bi lahko dejali, da je to lastnost programske opreme ali sistema, katerega vmesniki se za delo z drugimi programskimi opremami ali sistemi, brez kakršne koli omejitve med seboj popolnoma razumejo (Wikipedia, 2011). Pomen izraza interoperabilnost v diplomski nalogi, bi lahko definiral kot sposobnost programske opreme za delo in uporabo z drugimi programi. V gradbeništvu si interoperabilnost lahko razlagamo kot dinamično izmenjavo informacij med aplikacijami, s katerimi lahko zajamemo celoten življenjski cikel gradbenega objekta. V nadaljevanju sta na kratko opisana standarda za izmenjavo podatkov, ki sem jih med izdelavo diplomske naloge tudi uporabil.

2.4.1 Industry Foundation Classes (IFC)

Model zgradb – IFC (*angl. Industry Foundation Classes*) je podatkovni model za opis zgradbe in podatkov v gradbeni industriji. To je odprta in nevtralna specifikacija, ki ni pod nadzorom enega ali skupine proizvajalcev programske opreme, pač pa za razvoj skrbi industrijsko združenje IAI (*angl. International Alliance for Interoperability*). Cilj omenjenega društva je izboljšanje učinkovitosti procesov, povezanih z deljenjem informacij v gradbeništvu. Njihova naloga je definirati in promovirati specifikacije za deljenje in izmenjavo informacij med vsemi strokami in programi, ki jih projektanti in ostali udeleženci uporabljajo skozi celoten cikel gradbenega projekta.

Razvoj IFC-ja sega v leto 1994, do sedaj pa je razvitih že več kot 10 izdaj, nazadnje IFC 2x4. Zapis temelji na bogatem in detajlnem semantičnem 3D-objektnem podatkovnem modelu. To je bogat in detajlen semantičen model za predstavitev 3D-stavb z uporabo konstruktivnih sestavin, kot so stebri, grede, konzole, stene, plošče in podobno.



Slika 6: Razčlenjen prikaz modela zgradb IFC 2x (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002)

IFC postavlja številne zahteve, katerim bi model zgradbe za uspešno uporabo v industriji moral zadoščati. Posebna pozornost je namenjena naslednjim štirim bistvenim odlikam modela, ki so poimenovane kar glavne informacijske osi modela. Te so življenjski cikel, stroka, stopnja podrobnosti in računalniška aplikacija (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002).

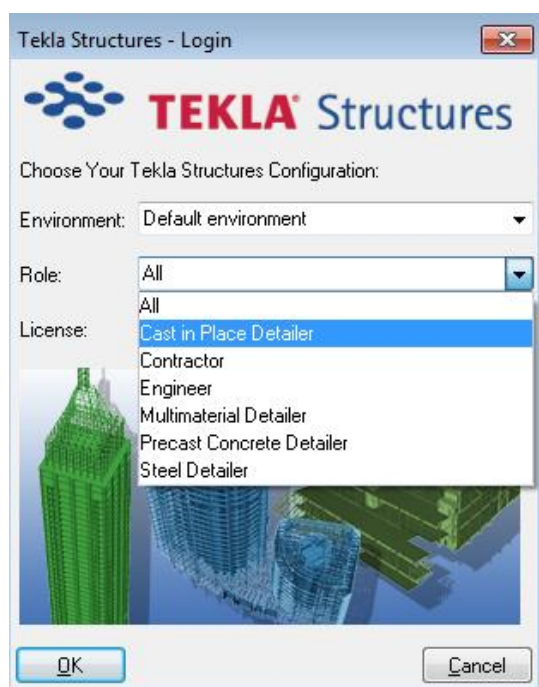
2.4.2 CIMSteel

Posebnost CIMSteel (CIS/2) standarda v primerjavi z ostalimi referenčnimi modeli zgradb je v tem, da se osredotoča zgolj na jeklene konstrukcije. Njegov razvoj poteka pod okriljem mednarodnega inštituta za jeklene konstrukcije SCI (*angl. Steel Construction Institute*), ki vključuje več kot 600 organizacij iz 37 držav (Cerovšek, Turk, Duhovnik, 2002). Model CIMSteel je najbolj uporaben za konstrukterje, saj lahko na podlagi podatkov, ki se med fazami preprosto izmenjujejo, enostavno izdelajo projektno dokumentacijo. Pri prenašanju modela se izmenjujejo tudi informacije o obtežbah in detajlih, kot so na primer vijaki, matice in podložke v okviru spoja.

3 MODELIRANJE V PROGRAMU TEKLA

V tem poglavju so opisane osnovne lastnosti programske opreme Tekla, ki sem jih spoznal v sklopu izdelave diplomske naloge. Pozornost sem namenil predvsem pregledovalnikoma modelov Tekla BIMsight in Tekla Web Viewer, opisal pa sem tudi primer celovitega projektiranja v navezavi s programsko opremo Revit.

Preden zaženemo program Tekla Structures, si izberemo okolje v katerem bomo delovali. Okolje se nanaša na lokacijo gradnje, saj zajema standarde različnih držav. Poleg tega pa si lahko izberemo tudi vlogo, ki jo imamo v gradbenem projektu. Različna delovna okolja imajo tudi različne vloge, te pa imajo med seboj nekoliko prilagojen uporabniški vmesnik, vrste orodji, kataloge detajlov, nastavitve risanja in dokumentacije, ki izboljšajo uporabnost posameznih uporabnikov. V mojem primeru sem se odločil kar za privzeto okolje in splošno vlogo.



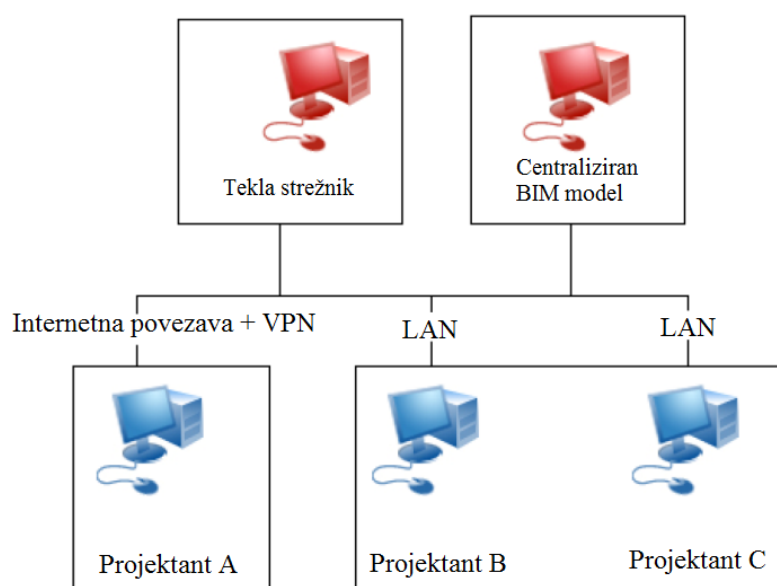
Slika 7: Začetne nastavitve okolja v Tekli Structures

3.1 Osnovne lastnosti programa Tekla Structures 16

Glavne prednosti modeliranja z orodjem Tekla Structures so predvsem naslednje, in sicer:

- Izredno velik poudarek je na interoperabilnosti, kar priča podpora več kot dvajsetim različnim formatom v gradbeništvu, kot so IFC, DXF, DWG, CIS/2, SDF, DGN, DSTV, ERP, SDNF, STP, itd.

- Omogoča direktne povezave in povratne informacije s skoraj dvajsetimi programi za analizo konstrukcij, kot so CSI (SAP2000), Nemetschek (SCIA), MIDAS (MidasGen), Bentley (STAAD), Autodesk (Robot) in drugi.
- Bogata knjižnica parametriziranih komponent za izdelavo konstrukcijskih detajlov nam bistveno poenostavi izdelavo stikov, armiranje in izdelavo posameznih elementov. Ker so komponente izdelane parametrično, jih lahko enostavno spreminjamo in uporabljamo v več različnih primerih. Poleg pestre izbire komponent lahko te tudi uvozimo ali jih ustvarimo sami in kasneje uporabimo na drugih projektih. Tak način modeliranja je učinkovit in produktiven.
- Z vidika gradbenega konstrukterja je velika prednost v tem, da lahko fizični model, kjer elemente detajliramo in izdelamo projektno dokumentacijo, uporabimo tudi za analitičen model za statično in dinamično analizo konstrukcije. Slednji se ob raznih spremembah avtomatično zgenerira.
- Arhitektura se uvozi v modelirnik in nato vse projektiranje poteka na centraliziranem modelu, kjer se delo razdeli med statika, projektante strojnih in elektro instalacij, projektante energetske učinkovitosti in ostale udeležence. Skupna baza podatkov omogoča preverjanje ali se elementi posameznih strok med seboj usklajujejo, morebitne spremembe pa je potrebno opraviti samo enkrat. Centraliziran model se nahaja na strežniku, do katerega lahko dostopajo projektanti in tam dodeljujejo svoje delo na modelu ter ga ponovno shranijo na strežnik.

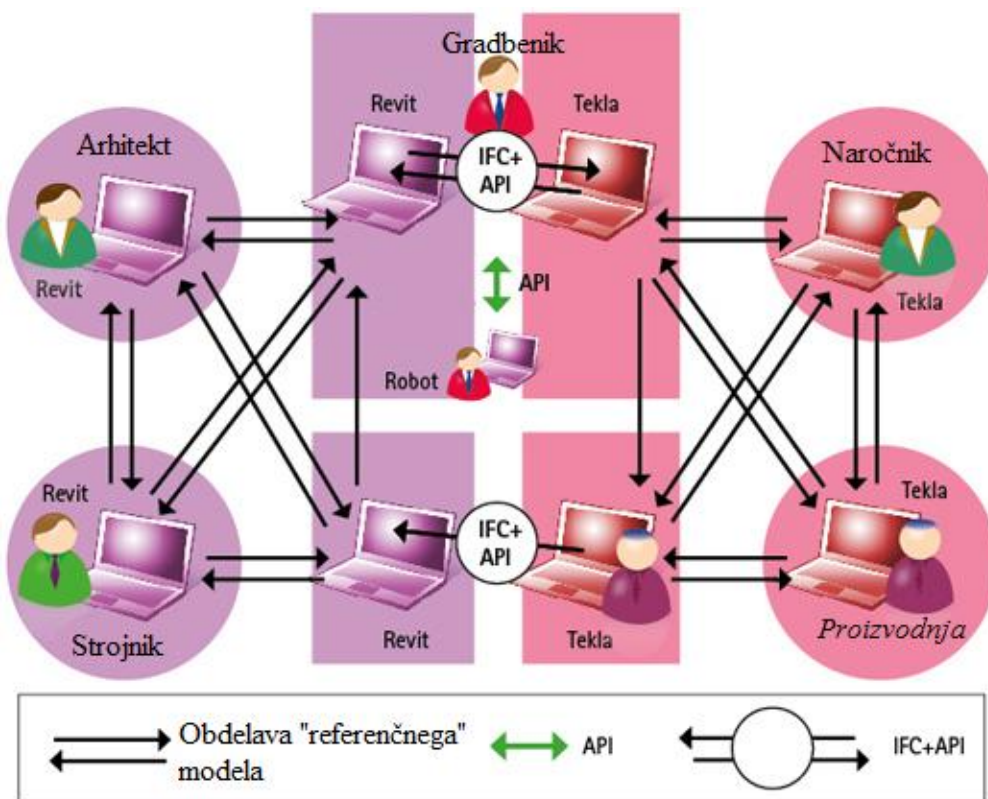


Slika 8: Shema modeliranja objekta z uporabo centraliziranega modela

- Takšna projektna dokumentacija je vedno posodobljena in popolno usklajena. Izhajamo iz referenčnega modela in v primeru, da na tem modelu spremenimo geometrijo, se nam ta spremeni na vseh pod-modelih (matematičen model za statično analizo, model za strojne in elektro inštalacije, model energetske učinkovitosti, itd.).

3.2 Primer celovitega BIM projektiranja v navezavi Tekla – Revit

Noben BIM program ni tako obsežen, da bi lahko z njim opravili celovito projektiranje, zato je za celovit projekt potrebna ustrezna povezava med programi. Kot sem že omenil, program Tekla deluje v navezavi z mnogimi programi, v nadaljevanju pa bom predstavil celovito projektiranje v navezavi s programsko opremo Revit. Z uporabo in interoperabilnostjo teh dveh programov zajamemo celoten obseg projektiranja in komuniciranja z vsemi udeleženci v gradbenem projektu. Arhitekturni model izdelan v Revit Architecture preko neposredne povezave prenesemo v Teklo, kjer model nadgradimo s konstrukcijskimi detajli, v proizvodnjo naročimo posamezne montažne elemente in izvedemo analizo konstrukcije z enim izmed kompatibilnih programov, z Revit MEP-om pa sprojektiramo vse inštalacije. Vse informacije o konstrukciji so tako na enem mestu, na informacijskem modelu zgradbe, ki ga dopolnimo še s terminskim planom izvedbe. Ta omogoča boljšo organizacijo dela, investitorju pa omogoča celovit pregled nad celotnim projektiranjem, gradnjo in obratovanjem objekta.

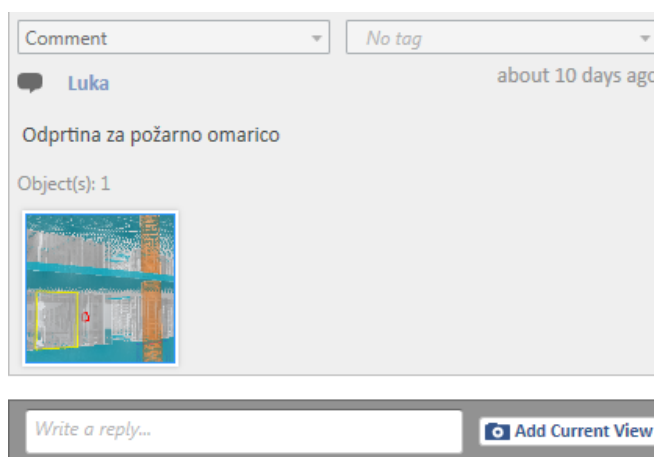


Slika 9: Celovito BIM projektiranje Tekla – Revit (Tekla, 2011)

3.3 Komunikacija z ostalimi udeleženci

3.3.1 Tekla BIMsight

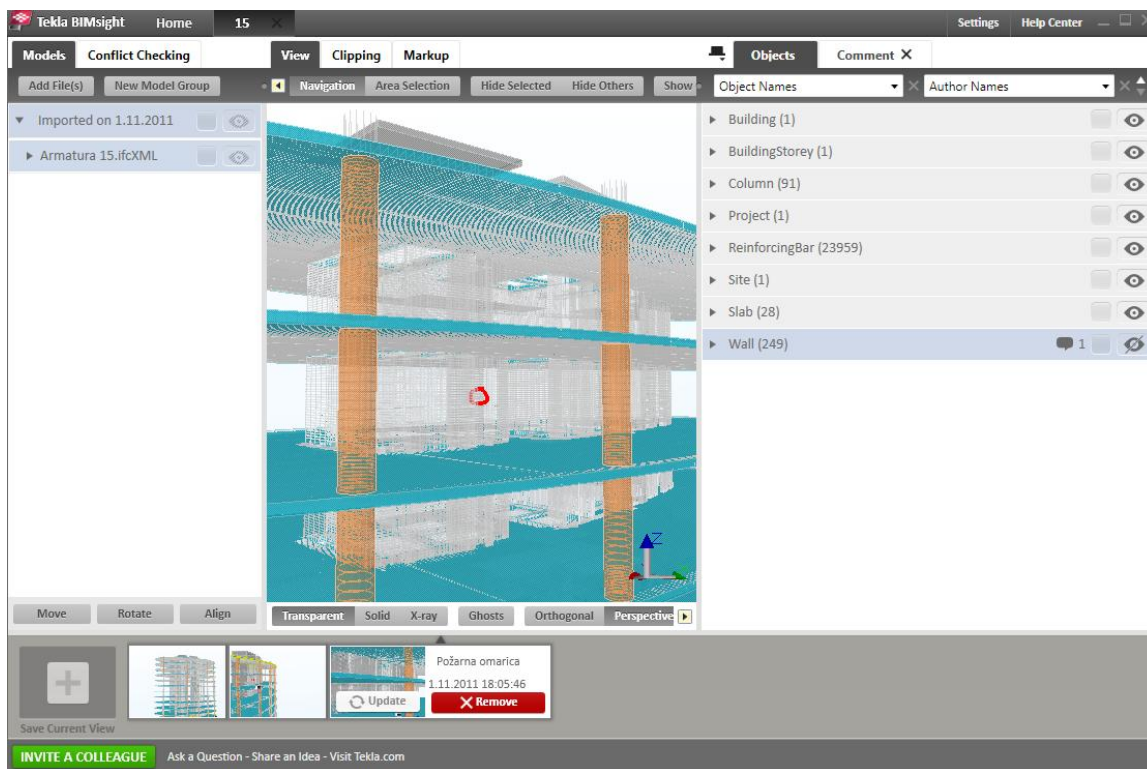
Ena izmed glavnih prednosti informacijskega modeliranja zgradb je usklajevanje arhitekture, gradbenih načrtov ter načrtov strojnih, elektro in vodovodnih instalacij. Neskladja se lahko odpravijo že v fazi zasnove in na začetku načrtovanja, kar pomeni precejšen prihranek časa in denarja. Uporabnikov BIM-a pri nas za enkrat še ni veliko. Raziskave kažejo, da tudi drugje, kot na primer v Skandinaviji ali Veliki Britaniji, kjer je teh uporabnikov bistveno več, le-ti ne izkoristijo prednosti BIM-a v celoti. Na primer koordinacija projektov se pogosto začne v pozni fazi načrtovanja oziroma tik pred začetkom gradnje, a žal imamo na tej stopnji že mnogo manj možnosti za izboljšanje oziroma optimizacijo modela. Finsko podjetje Tekla poskuša to spremeniti z brezplačnim pregledovalnikom TeklaBIMsight, v katerega lahko uvozimo model iz velike večine BIM programov, preko IFC (*angl. Industry Foundation Classes*) zapisa, ki se ga uporablja za podatkovni opis zgradbe v gradbeni industriji. Z njim lahko opravljamo prostorsko koordinacijo, vizualno preverjamo geometrijo in rešujemo konstrukcijska vprašanja, tako da zapisujemo in označujemo opombe, kot je to prikazano na Sliki 10. Na tak način lahko vsi udeleženci v gradbenem projektu enostavno in pregledno rešujejo določeno težavo.



Slika 10: Označevanje in komuniciranje v pregledovalniku TeklaBIMsigh

Kar se mi zdi najbolj pomembno pa je to, da program omogoča avtomatsko zaznavanje kolizij. Pri zaznavanju neskladij lahko uporabniki nastavijo kateri modeli oziroma modelne skupine se med seboj preverijo, in kakšna je toleranca. Pomembnejša neskladja se uvrstijo na seznam. Z dvojnim klikom na neskladje nam program avtomatsko približa lokacijo neskladja na modelu in zraven si lahko pripišemo opombo ali označimo status neskladja (bo uredil arhitekt, urejeno, itd.). Ko je neskladje ugotovljeno, bo popravke potrebno izvesti v BIM programu. Pomagamo si lahko tako, da uporabimo referenčni

TeklaBIMsight model ali pa izvozimo koordinate neskladij. Arhitekti, inženirji, izvajalci in podizvajalci lahko dobijo program brezplačno in tako neovirano sodelujejo med seboj.



Slika 11: Tekla BIMsight

Tekla ima s tem produktom močno vizijo. Kot navaja Wilker (2011), si prizadevajo, da bo to orodje postalo »Adobe Reader na področju AEC« (*angl. Architecture, Engineering & Construction*). Njihova želja je spodbuditi koncept integrirane izdelave projekta (*angl. Integrated Project Delivery - IPD*), kjer je vsak udeleženec vključen v proces načrtovanja že od samega začetka projekta. To pomeni, da pri načrtovanju lahko sodelujejo tudi vsi podpogodbениki in izvajalci na način, da dajejo predloge za izboljšave, da čim več dela opravijo izven gradbišča in tako zmanjšajo stroške celotnega projekta. S tem spodbujajo uporabo referenčnih modelov na način, da arhitekt, statik in inštalaterji redno objavljajo svoje modele v tem skupnem pregledovalniku in odpirajo razpravo, bodisi v skupni sobi ali preko spleta. Ključna ideja je, da se vse zgodi že v zgodnjem procesu načrtovanja.

Pri večjih projektih lahko model razdelimo na primer po dilatacijah ali etažah, kar nam omogoča boljši pregled obravnavanega, poleg tega pa ima vsaka projektna skupina vidne le želene plasti (*angl. layer*). Na primer statika ne zanima, kako bodo razporejeni stoli v jedilnici in zato to plast (*angl. layer*) enostavno izklopi. Elementi modela so lahko polnih barv ali delno prosojni. Model lahko kjerkoli prerežemo in si tako natančneje ogledamo določen detajl, vse skupaj pa si lahko ogledamo tako v 3D kot tudi v prerezih in tlorisih. Lahko si naredimo več pogledov, kjer določimo vidnost posameznih elementov in jih shranimo ter kasneje uporabljamo kot referenčne poglede.

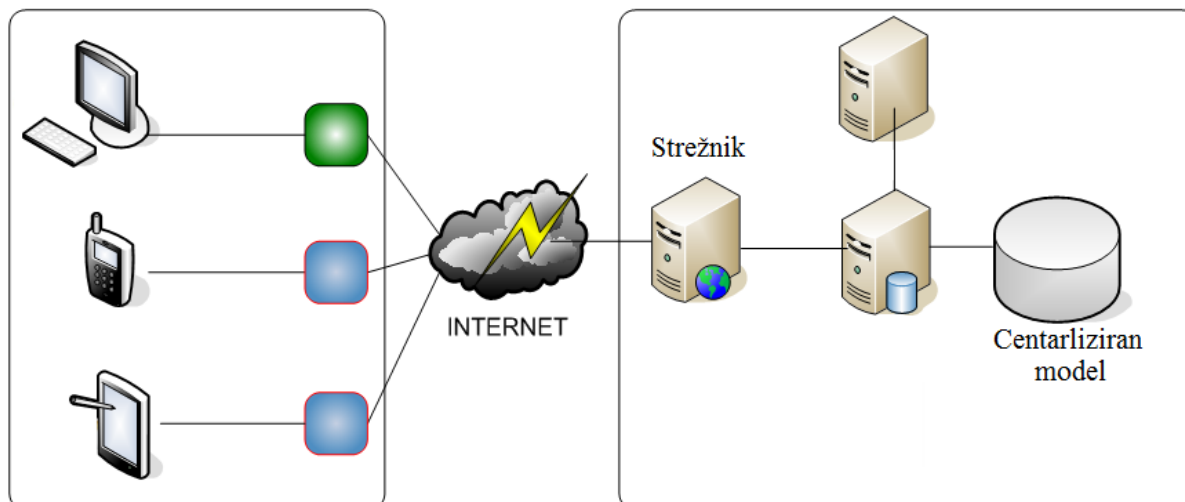
3.3.2 Tekla Web Viewer

Celoten model ali pa le njegove dele lahko enostavno objavimo tudi kot spletno stran in si s pomočjo spletnega pregledovalnika ogledujemo model. Model velikosti le nekaj KB (*angl. kilobyte*) si lahko preprosto izmenjujemo med seboj. Prednost tega je vsekakor ta, da do modela lahko dostopa kdorkoli izmed udeležencev gradnje in ima na tak način veliko boljše predstavo o grajenem objektu.



Slika 12: Tekla Web Viewer

Vedno ažuriran model si lahko ogledujemo na gradbišču z uporabo mobilnih telefonov in tabličnih računalnikov, na računalnikih v bivalnih kontejnerjih na gradbišču ter na velikih zaslonih in projektorjih na sestankih. Vse informacije izhajajo iz centraliziranega modela, kar pomeni, da so vedno posodobljene.



Slika 13: Shema dostopnosti do centraliziranega modela (Wang, 2011)

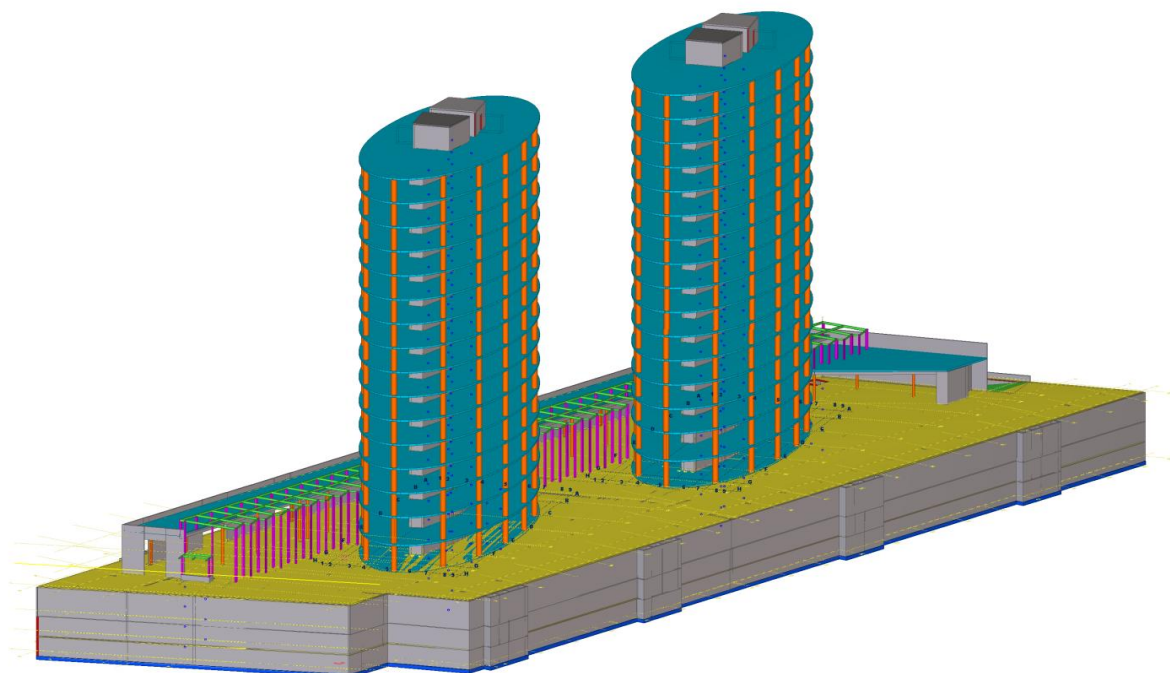
4 MODELIRANJE KONSTRUKCIJE

Z namenom, da bi v celoti izkoristil možnosti, ki nam jih ponuja Tekla Structure, sem si izbral relativno zahtevno zgradbo za modeliranje, in sicer načrtovani poslovni center Gemini v Ljubljanskem BTC-ju. Stolpnici predstavljata tehnološko in ekološko napredno gradnjo, saj so se investitorji zavzeli, da bo gradnja izpolnjevala vse zahteve za »*Green Building design*«. Projekt strmi k zahtevni pridobitvi najprestižnejšega certifikata na področju okolju in uporabniku prijazne gradnje LEED, ki ga na podlagi zelo zahtevnih kriterijev podeljuje organizacija United States Green Building Council.

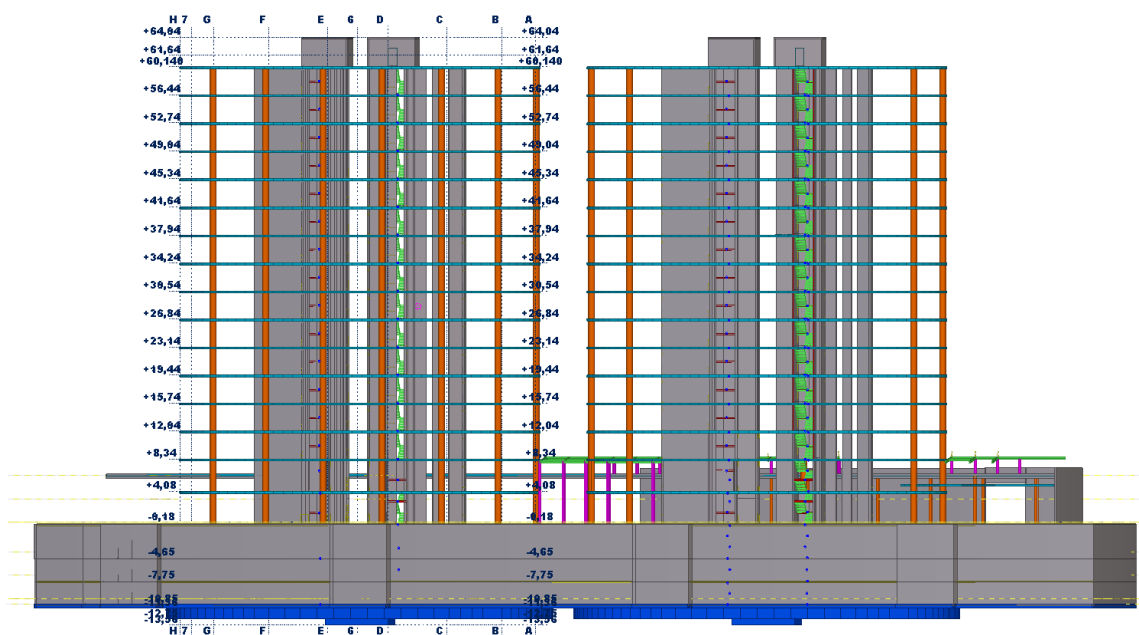
Poleg vgradnje naravnih materialov in uporabe obnovljivih virov tak projekt zahteva tudi zelo dobro in usklajeno projektno dokumentacijo. Informacijski model zgradbe bi omogočal usklajeno projektno dokumentacijo in še mnogo več. S tem bi celotno zgradbo zgradili virtualno, kjer bi izvedli študijo izvedljivosti, simulacije odzivov in optimizirali sam potek gradnje. V tujini temu pravijo »*Virtual Building Environment - VBE*«. Poleg same preglednosti tak model vsebuje mnogo več informacij za izvajalca, med drugim tudi animacijo terminskega plana in spremljanje denarnega toka, kjer govorimo že o 5D modelu. Investitorju bo na tak način omogočen boljši pregled nad samo gradnjo, poleg tega pa bo informacijski model uporaben tudi tekom obratovanja objekta ter skozi celotno njegovo življenjsko dobo. Trenutno smo v Sloveniji še v fazi uvajanja na BIM, ponekod v tujini pa je že uveljavljena praksa, da investitor pogodbeno zahteva uporabo BIM modela (Cerovšek, 2010b).

4.1 Zasnova konstrukcije

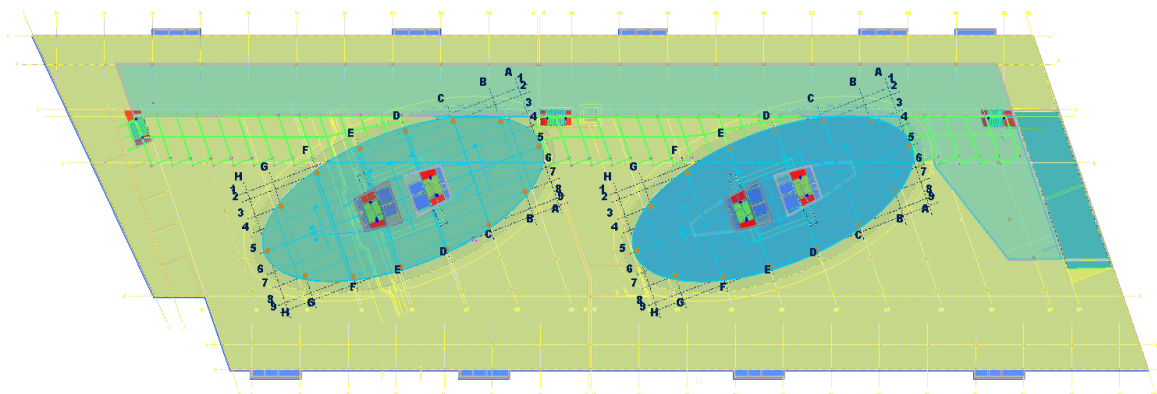
Gemini sestavljata dve 17 nadstropni stolpnici višine 68,5 m, ki imata tloris v obliki elipse. Stolpnici imata skupni garažni kletni in pritlični del. Kletni del sestavljajo 3 etaže, namenjen pa bo predvsem parkirnim prostorom. Stolpnici, katerih tloris je dimenzij 45x22 m, sta v celoti zgrajeni iz armiranega betona, jekleno konstrukcijo predstavlja le del v pritličju.



Slika 14: 3D prikaz stavbe Gemini



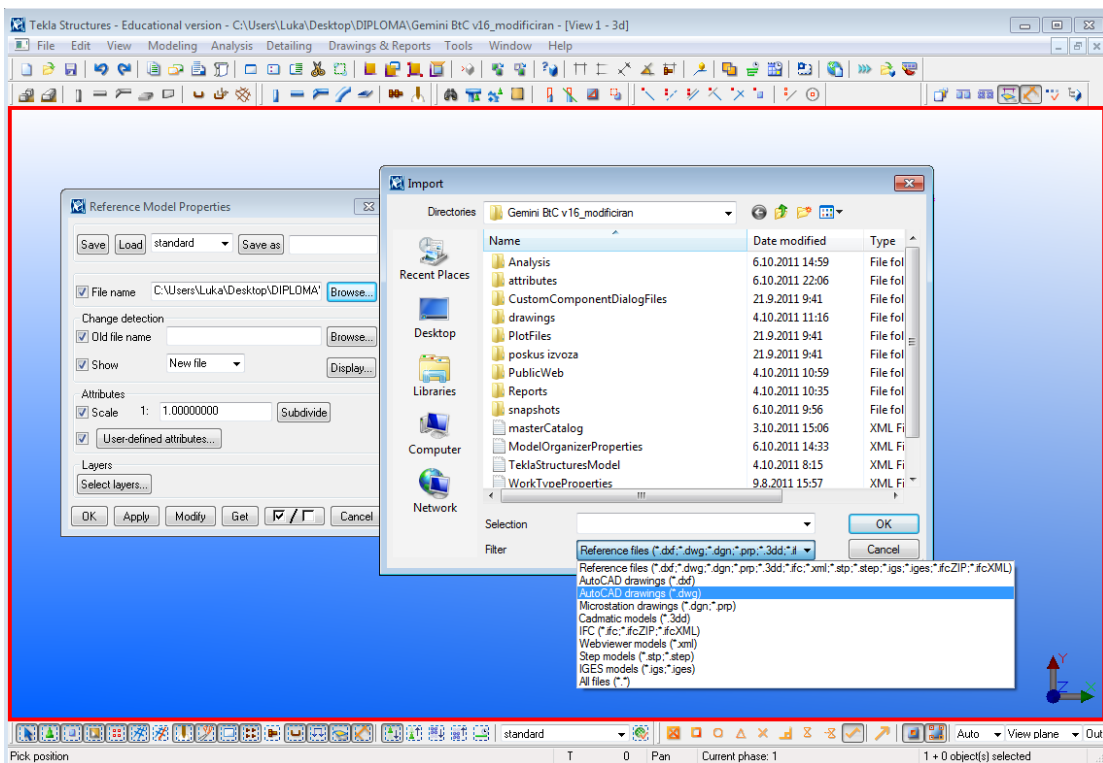
Slika 15: Vzdolžni prerez stavbe



Slika 16: Tloris stavbe

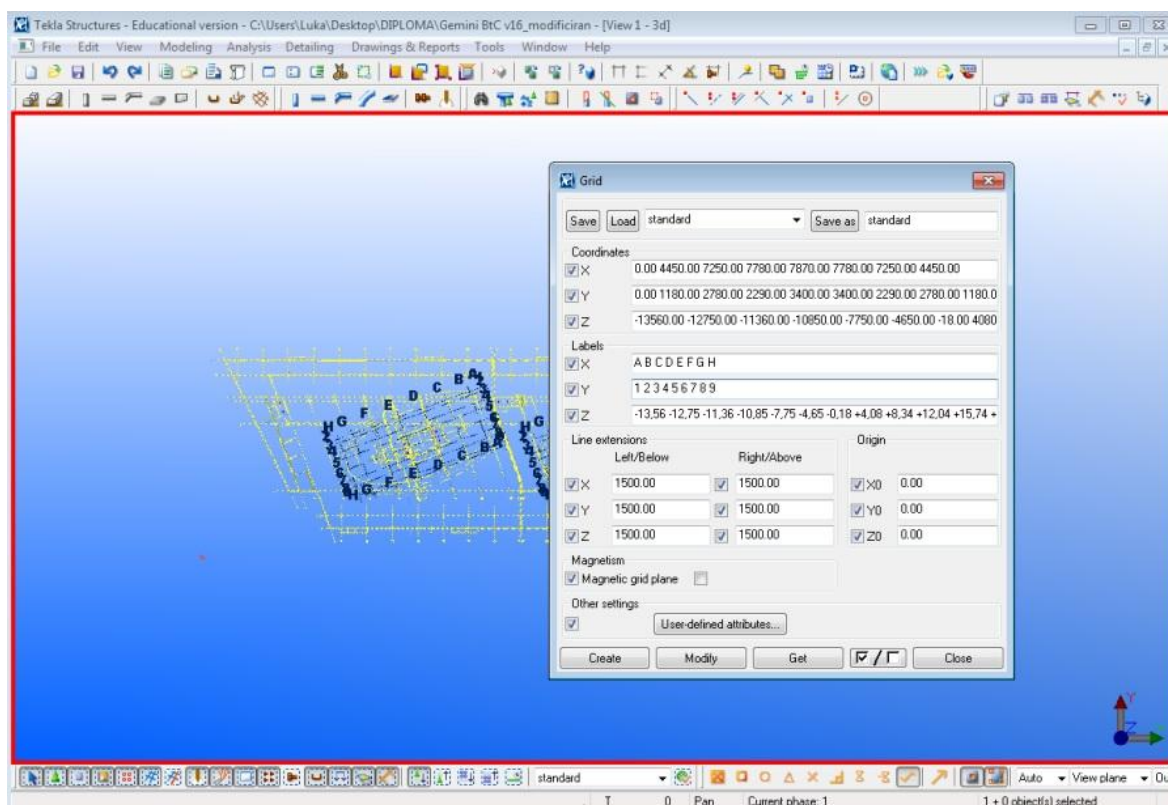
4.2 Priprava na modeliranje

Izhajal sem iz arhitekturnih 2D podlog, izdelanih s pomočjo programa AutoCad. Zaradi razmeroma zapletene geometrije in prihranka časa, sem podloge v zapisu DWG uvozil v program Tekla Structures. Ker sem v programu Tekla structures, zaradi večje natančnosti, ki sem jo kasneje potreboval pri detajliranju, imel kot osnovno enoto izbrane milimetre, sem moral pri uvozu geometrije upoštevati ustrezno merilo (*angl. scale factor*).



Slika 17: Uvoz referenčnega modela oziroma podlog

Nato sem izdelal mrežo v tlorisu in prerezu, kar mi je v nadaljevanju poenostavilo vnašanje geometrije. Lahko imamo na primer glavno mrežo, znotraj nje pa za potrebo raznih detajlov izdelamo še »pod mreže«. Z izdelavo mrež pridemo na hiter način do novih projekcijskih pogledov v ravninah danih osi, ki nam jih program avtomatsko zgenerira. V svojem primeru sem imel dve ločeni mreži, kjer sem že izdelano mrežo kopiral na lokacijo druge stolpnice. Lahko bi izdelal tudi mrežo kleti in pritličja, vendar sem si zaradi zapletenih rastrov enostavneje pomagal z uvozom referenčnih modelov. Teh imamo lahko več in jih lahko po potrebi vklopimo ali izklopimo. Referenčni modeli so lahko 2D risbe, 3D modeli ali informacijski 3D modeli oziroma njihovi posamezni deli. Čar tega je, da v primeru sprememb podlog oziroma referenčnega modela, lahko uvozimo le spremenjeni del in tako lažje izvedemo spremembo, oziroma se ta v določenih primerih izvede kar sama.



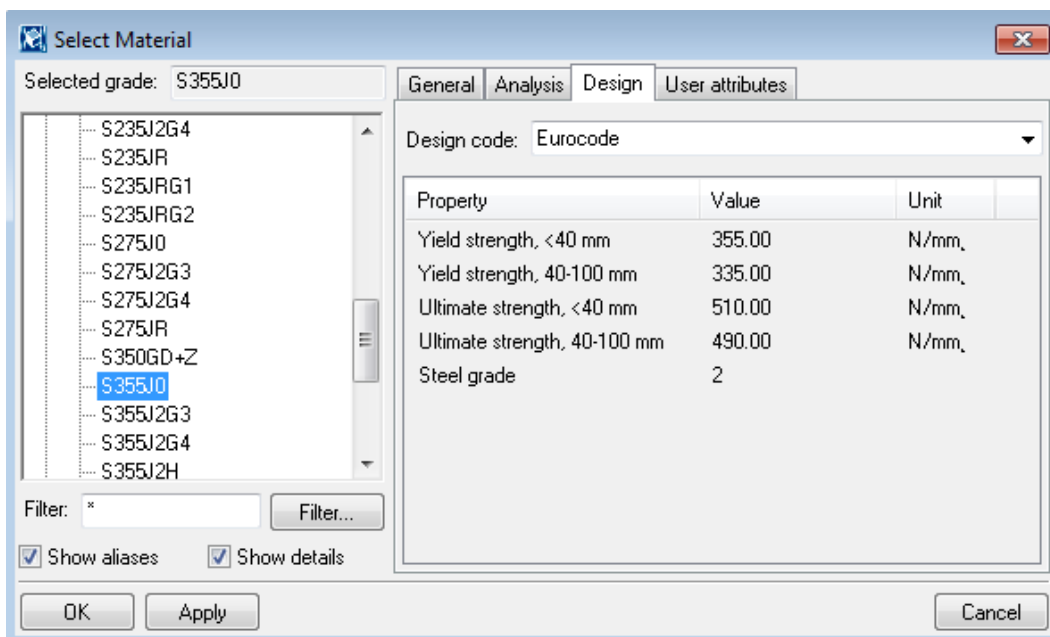
Slika 18: Izdelovanje mreže

4.3 Potek modeliranja konstrukcije

4.3.1 Konstrukcijski elementi

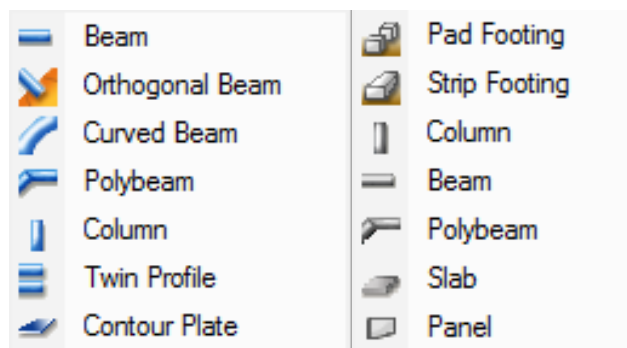
Poleg geometrijskih informacij, ki določajo digitalni model stavbe v 3D, sem elemente tudi klasificiral (na primer steber, greda, stena, plošča), določil prereze in definiral material z ustreznimi mehanskimi lastnostmi. Modeliranje kakršnihkoli elementov je v Tekli zelo preprosto. Program je najbolj primeren za modeliranje jeklenih in betonskih konstrukcij, saj imamo za njih bogato knjižnico profilov in parametričnih detajlov, s pomočjo katerih delo izvedemo hitro in kakovostno. Seveda lahko

modeliramo tudi lesene konstrukcije, vendar imamo tukaj nekoliko več ročnega dela. Na voljo imamo še mnogo ostalih materialov, kot so razni polimeri, materiali za dilatacije, izolacije, poleg tega pa lahko izdelamo poljubne materiale in jih izvozimo ter uvozimo v program.



Slika 19: Izbira konstrukcijskega materiala

Pri izdelavi elementov izhajamo iz jeklenih in betonskih delov, ki so v nadaljevanju tudi prikazani.

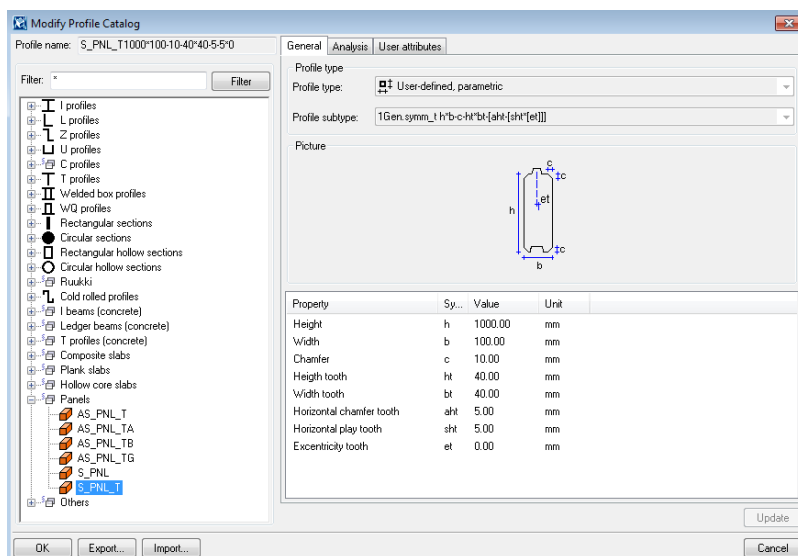


Slika 20: Izdelava jeklenih in betonskih konstrukcijskih elementov

Pri jeklenih elementih izhajamo iz vrste nosilcev, kjer lahko med drugim enostavno izvedemo tudi zaokrožene nosilce poljubnih radijev, stebrov, sestavljenih profilov in ploskovnih elementov. Enostavno izdelamo točkovne in pasovne betonske temelje, stebre, nosilce, plošče in stene.

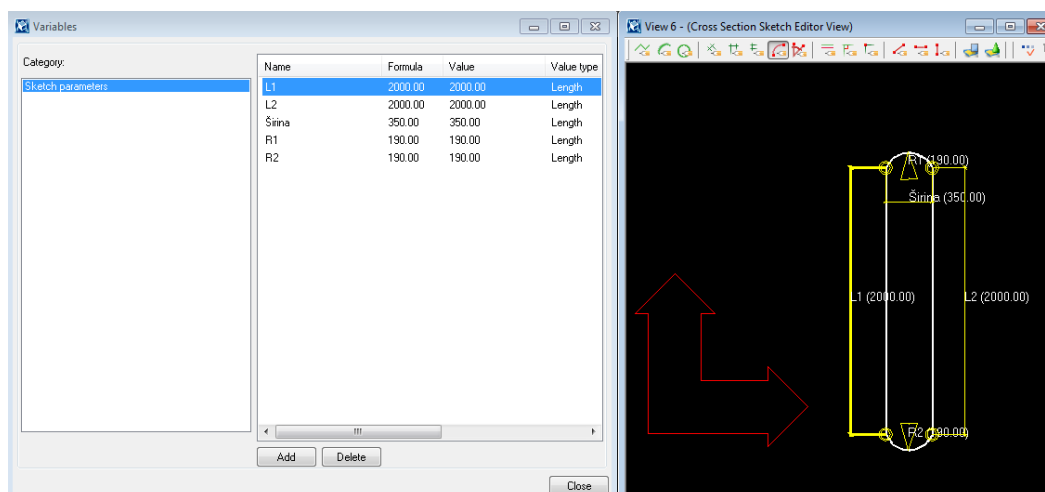
Kot sem že omenil, ima Tekla zelo bogato knjižnico profilov. Poleg standardiziranih jeklenih profilov imamo na voljo pester nabor parametričnih prereзов različnih oblik, kot so paneli in razni terciarni profili za obešanje panelov, trapezne pločevine, škatlasti elementi in nekateri drugi. Pri betonskih

elementih imamo poleg standardnih pravokotnih, okroglih, T in I prerezov, na razpolago še nosilce raznih oblik, prednapete votle plošče ter oporne zidove. Kar vidim kot bistveno prednost, je prav uvoz dejanskih elementov posameznih proizvajalcev, kot imamo to že integrirano v Tekli s strani finskega proizvajalca Ruukki.



Slika 21: Knjižnica profilov

Prereze lahko tudi sami oblikujemo in parametriziramo. Nekateri stebri in slopi v kletnih etažah, kjer je garažni del, so zaobljeni »pravokotniki«, kar omogoča lažje manevriranje in manj poškodb vozil ob manjših dotikih s stebri. V knjižnici elementov takega prereza nisem imel na razpolago, zato sem ga s pomočjo integriranega orodja izdelal sam. Ker sem imel več podobnih elementov različnih dolžin, sem dolžino parametriziral in na primer z vpisom manjše dolžine dobil avtomatsko krajši element. Imamo tudi možnost uvoza geometrije prereza v formatu DWG, kjer lahko posamezne dimenzije ravno tako parametriziramo.

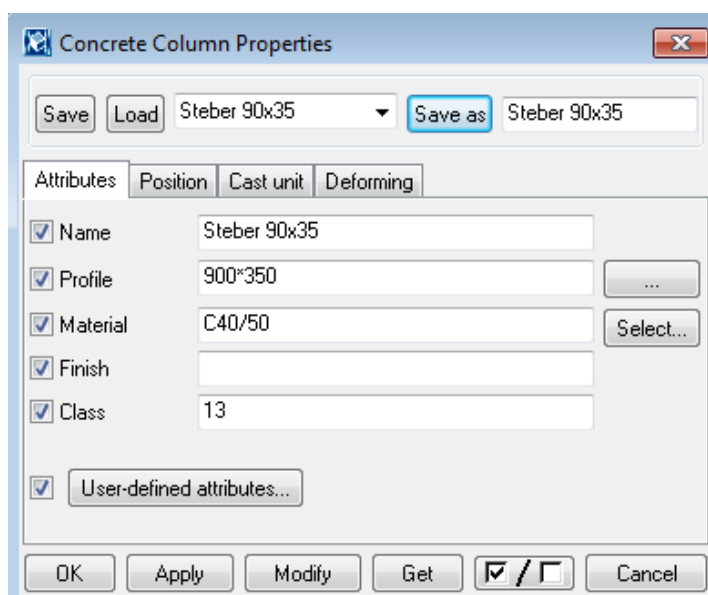


Slika 22: Orodje za izdelavo poljubnih prerezov

STEBRI

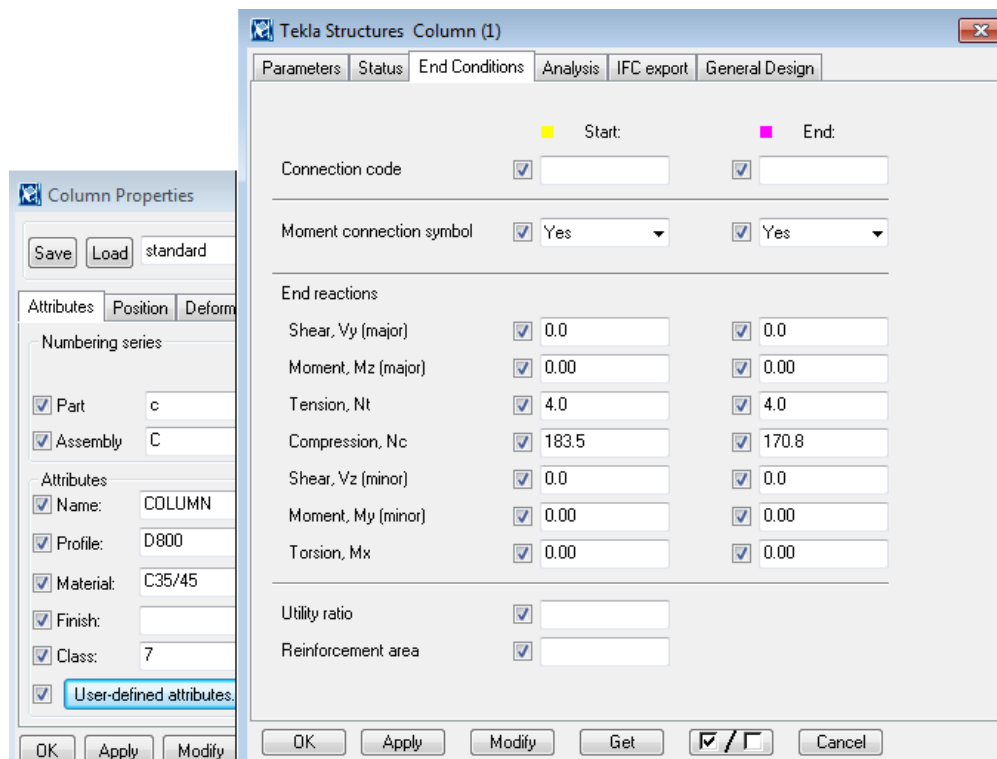
V kletnem delu se pojavljajo stebri pravokotnega prereza dimenzij 90/35 cm in 120/35 cm, na mestu stolpnic pa okrogli stebri premera 105 cm. Prav tako kot stebre sem modeliral tudi slope pravokotnega prereza dimenzij 200/35 cm. Vzdolž osi B se v pritličju nahajajo stebri kvadratnega prereza dimenzij 35/35 cm, poleg njih pa imamo še stebre okroglega prereza premera 35 cm in 80 cm na mestu stolpnic, ki se prav tako pojavljajo višje v obeh stolpnicah. Poleg naštetih armiranobetonskih stebrov, v pritličju zastekljeni del podpirajo jekleni profili HEA200 in HEA140.

Ko sem stebri določil material in prečni prerez, sem ga umestil na določeno lokacijo, in sicer tako, da sem mu definiriral položaj v ravnini (X,Y), kar najlažje izvedemo v tlorisu in nato določimo spodnjo in zgornjo vertikalno točko stebra. Steber lahko kasneje enostavno rotiramo, premikamo in mu spreminjamo lastnosti.



Slika 23: Definiranje karakteristik betonskega stebra

Tukaj imamo še veliko možnosti tako imenovanih »finih« nastavitvev. Vsak element lahko še dodatno parametriziramo z dodatnimi oznakami, kjer vsak izmed udeleženih projektantov lahko doda svoje zaznamke. V zavihku »Status« v fazi gradnje podajamo natančne informacije o elementu, kot so podatki o proizvajalcu in naročniku elementa, kdaj je bil element pregledan in kdo je to izvedel, kdo ga je prevzel, datum dostave elementa na gradbišče po terminskem planu in morebitna zamuda, datum vgradnje elementa in ostali komentarji. Po že opravljeni statični analizi lahko preverimo notranje sile v elementu, določamo lastnosti izvoza elementa preko IFC datoteke, skratka imamo dokumentirane vse informacije o elementu na enem mestu.



Slika 24: Notranje sile v stebru po izvedeni statični analizi

STENE

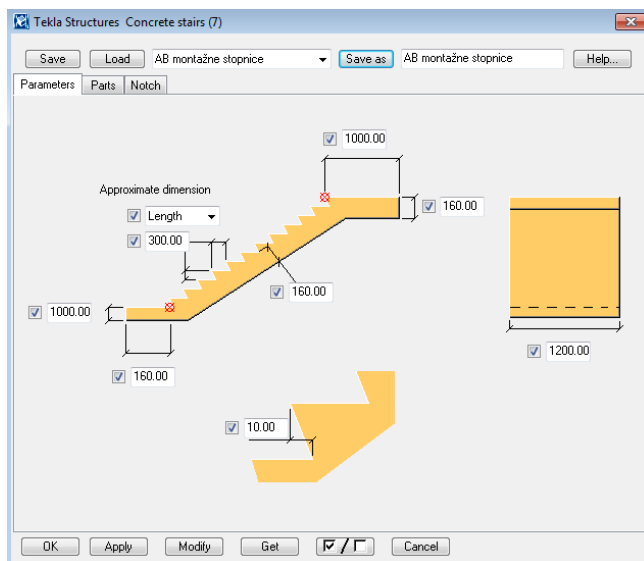
Obodne stene v kleti so debeline 30 cm, betonsko jedro, ki poteka po celotni višini stavbe od kleti do vrha, pa je debelin 30 cm in 20 cm. Tukaj je več odprtih za dvigalne jaške, stopnišča in ostale prehode, ki sem jih izvedel z izrezom stene. Stene sem izdelal podobno kot stebre, le da sem tukaj označil točke, kjer je stena potekala.

PLOŠČE

Temeljna plošča, kjer se nahaja jedro stolpnice, je debeline od 120 cm do 230 cm in je na koti -10,85 m, kjer koto 0,00 m predstavlja nadmorska višina 298 m. Medetažne gladke armiranobetonske plošče so debeline 24 cm. Izdelava plošč je zelo podobna izdelavi ostalih elementov.

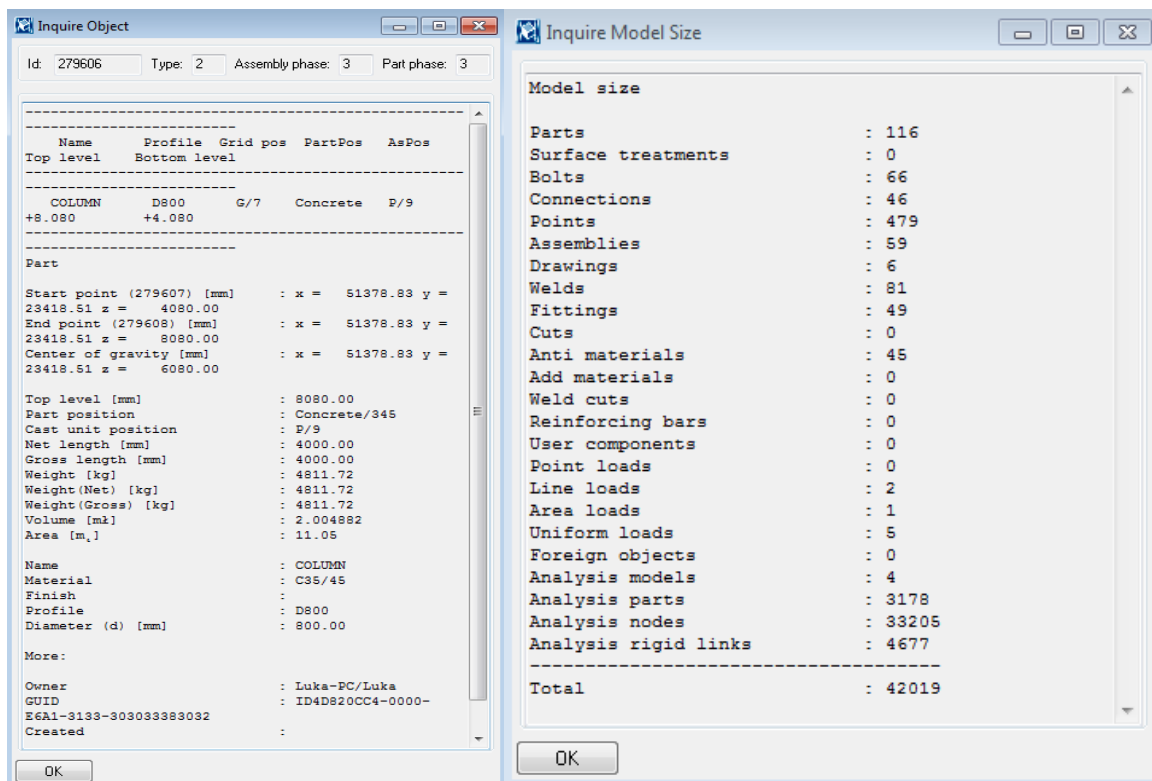
STOPNICE

Čeprav ne gre za primaren nosilen konstrukcijski element, sem v model vključil tudi montažne AB stopnice. V knjižnici elementov, kjer je na razpolago več različnih tipov stopnic, sem si izbral betonske stopnice, ki sem jim določil potrebne parametre in jih nato enostavno vgradil v model. Zaradi oblike, ki ni tipično pravokotna, sem podeste izdelal ročno, sicer pa bi se mi ti ob izdelavi stopnic avtomatsko zgenerirali.



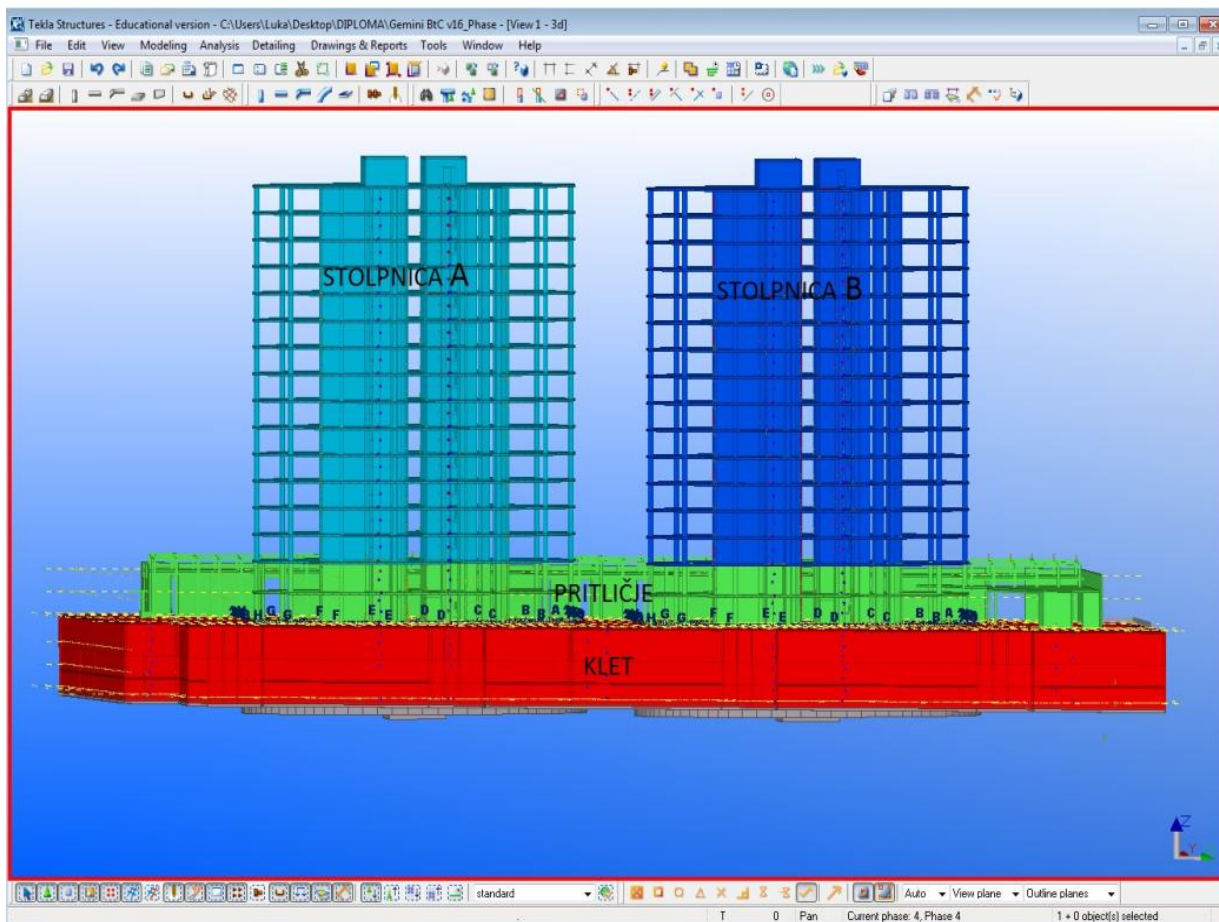
Slika 25: Določanje parametrov betonskih stopnic

Vsak vgrajen element ima svojo oznako (Id), ostale informacije o elementu pa si lahko pogledamo s klikom »*Inquire Object*« na element, kjer so nam na voljo še informacije o lokaciji, dimenzijah, masi, volumnu, površini, materialu in prerezu elementa. Enostavno so nam na razpolago tudi podrobnejše informacije o komponentah določenega dela ali celotne konstrukcije, kot so spoji, zvari, vijaki, armatura in nekatere druge. To lepo prikazuje desni del Slike 26, ki se konkretno nanaša na del jeklene konstrukcije v pritličju.



Slika 26: Informacije o elementu

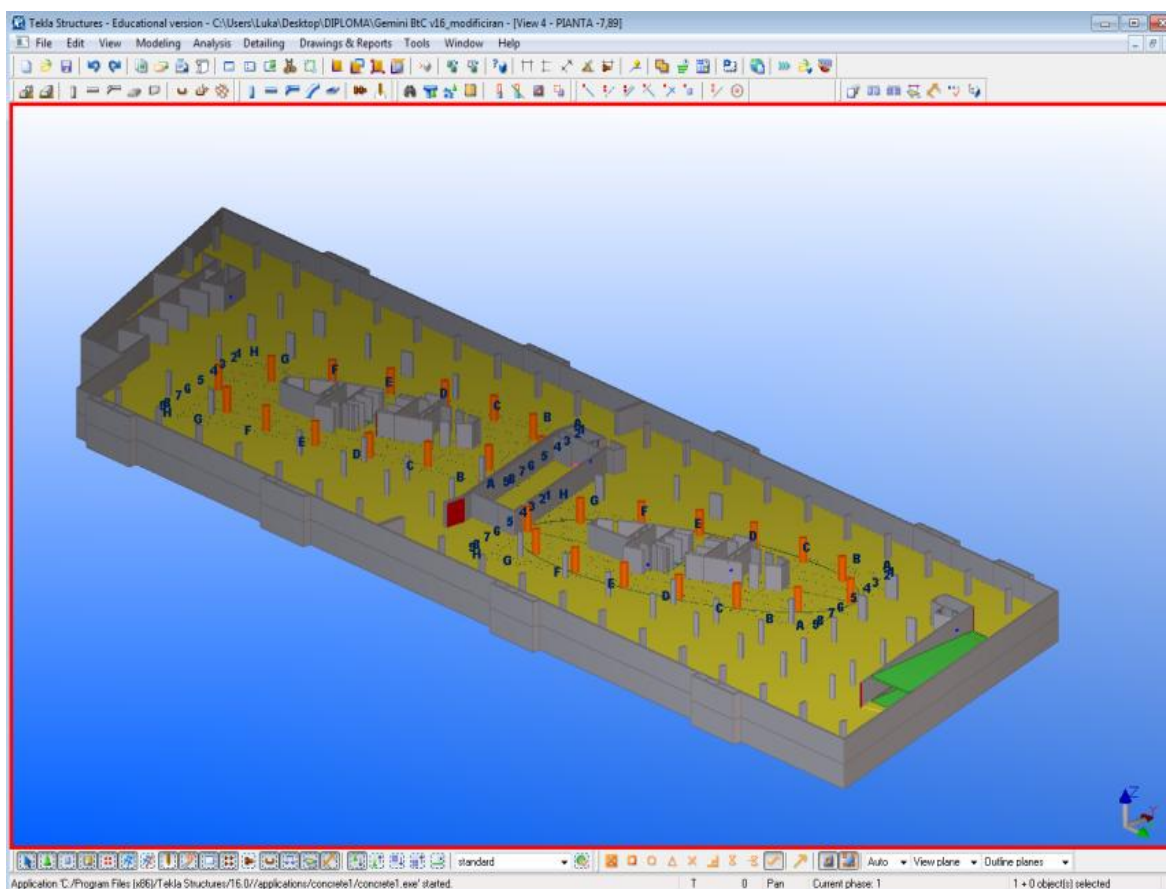
Konstrukcijo sem razdelil na več delov, saj sem tako imel večji pregled nad delom stavbe, ki ga obdelujem. Zaradi simetričnosti in ponavljajočih se etaž sem najprej izdelal stolpnici in šele nato obdelal pritličje, klet in temelje. Na Sliki 27 je prikazana razdelitev zgradbe na faze.



Slika 27: Model razdeljen na faze

4.3.2 Modeliranje kletnih prostorov

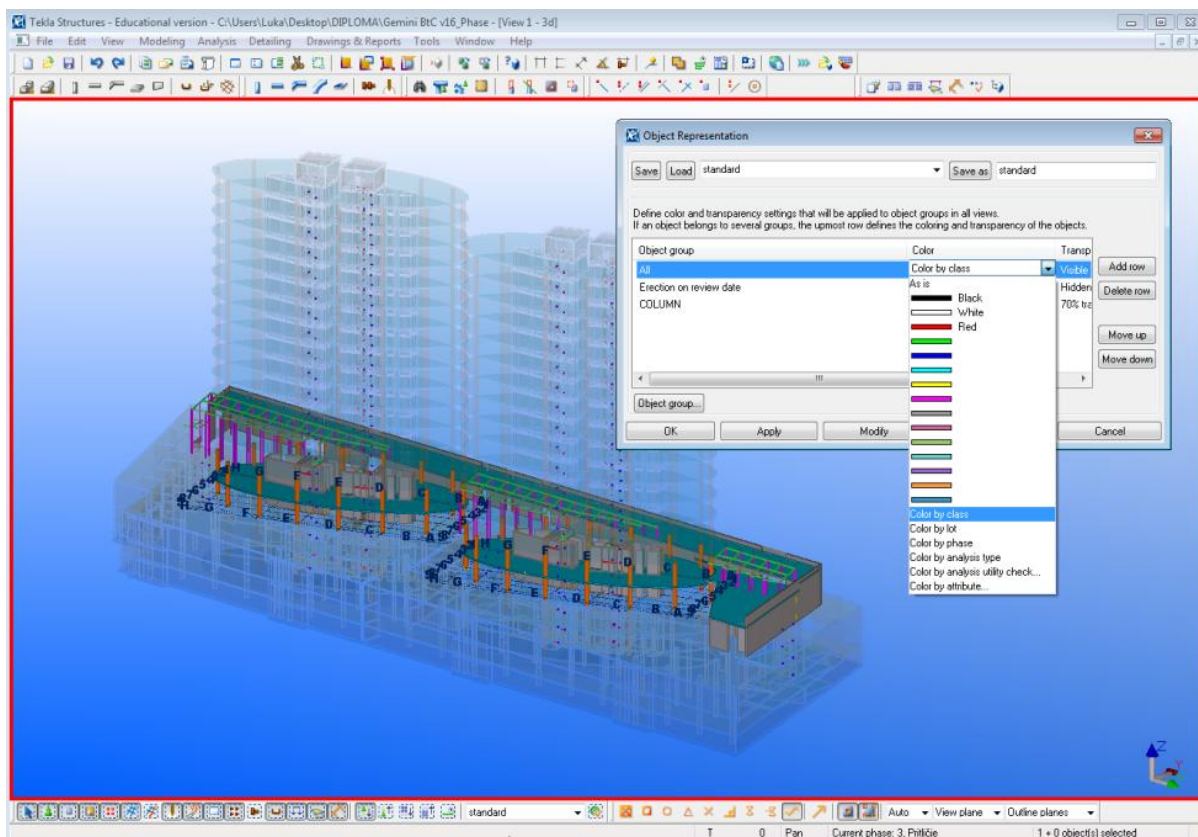
Zgradba ima 3 armiranobetonske kletne etaže neregularne tlorisne oblike približnih dimenzij 160 m x 51 m in skupne površine približno 25.000 m², ki so namenjene predvsem parkirnim prostorom za osebna vozila. V garažo bo mogoče dostopati preko sedmih stopnišč, devetih dvigal in preko uvozniozvozne rampe. Za izdelavo modela sem sprva poskušal izdelati mrežo, vendar sem si zaradi mnogih sten izven rastra premislil in stvar poenostavil z uvozom arhitekturnih 2D podlog, kar se je izkazalo za enostavno in hitro rešitev. Za vsako kletno etažo sem uvozil nov referenčni model, saj je vsaka etaža imela določene specifičnosti. Na tak način je bilo izdelovanje modela preprosto in hitro.



Slika 28: 3D prikaz kletnih prostorov

4.3.3 Modeliranje poslovnega dela

Pritličje in prva etaža sta nekoliko bolj specifični, od druge etaže navzgor pa tloris ostaja nespremenjen. Konstrukcija stolpnice je v celoti armirano betonska, le v pritličju del konstrukcije predstavlja jeklo. Plošča debeline 24 cm je gladka, v območjih ležišč na stebrih je v večini primerov potrebna armatura za zavarovanje pred prebojem. Stopniščne debeline 15 cm, sem enostavno izdelal s pomočjo knjižnice elementov. Na sredini je betonsko jedro, ki ga sestavljajo stene debelin 20 cm in 30 cm. Tloris stolpnice v obliki elipse ima na sredini betonsko jedro na robu pa stebre. Po klasifikaciji standarda EC8, konstrukcijski sistem spada pod mešani sistem (ekvivalentni stenasti), kjer stene prevzamejo med 50 in 65 % skupne strižne sile.



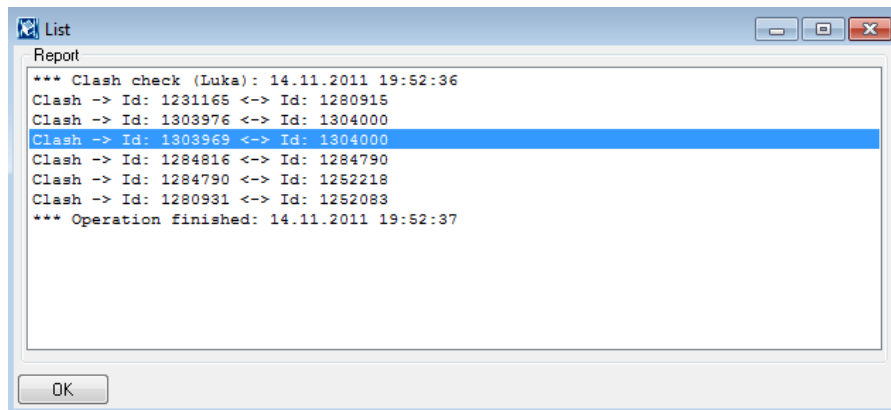
Slika 29: 3D prikaz pritličja

Na razpolago imamo več možnosti pogledov, kot so žični model, zasenčen žični model, skrite linije in render, poleg tega pa lahko tudi nastavimo vidnost le določenim elementom in skupinam elementov. Zaradi boljšega pregleda, lahko posamezne skupine elementov enako obarvano. Že po začetnih nastavitvah so različni elementi barvno ločljivi, tako so na primer vsi jekleni stebri viola, betonski stebri so oranžni, plošče so zelenkaste itd. Tukaj imamo še veliko drugih možnosti, kot je barvno združevanje elementov po tipu analize, notranjih sil v elementu, teži elementa, terminskem planu vgradnje elementa, delovne skupine, ki obdeluje element in še mnogo več.

4.3.4 Avtomatsko ugotavljanje neskladij

Zaznavanje kolizij naj bi bilo z uporabo orodja Clash Check enostavno, vendar sem zaradi študentske verzije programa bil s to funkcijo nekoliko omejen. Program zgenerira poročilo neskladij, kot je to prikazano na Sliki 31, s klikom na določeno neskladje pa ga zaznamo še na modelu. Kljub prikazu neskladja mi v nekaterih primerih ni bilo jasno, kaj dejansko ni skladno, saj se je na primer vizualno vse lepo ujemalo. V prikazanem primeru je bilo neskladij malo, vendar v primeru modela opremljenega z vsemi inštalacijami, je lahko teh bistveno več in poročilo ne bi bilo pregledno. Z orodjem Clash Check Manager, za katerega sem bil pri uporabljeni verziji prikrajšan, bi lahko

neskladja razdelil v skupine, jim določil pomembnost, jih izvozil, zapisal komentar, orodje pa bi avtomatsko definiralo za kakšno vrsto neskladja gre.



Slika 30: Seznam neskladji

4.4 Izdelava računskega modela in izvoz v SAP2000

Z izdelanim BIM modelom lahko avtomatično pripravimo računske modele za različne programe za statično in dinamično analizo. Za računski model lahko uporabimo celotno konstrukcijo, lahko pa jo razdelimo na več elementov ali celo obravnavamo le izbran element konstrukcije. Obtežne primere, obtežbe in obtežne kombinacije lahko definiramo v Tekli, lahko pa jo tudi naknadno upoštevamo v računskem programu.

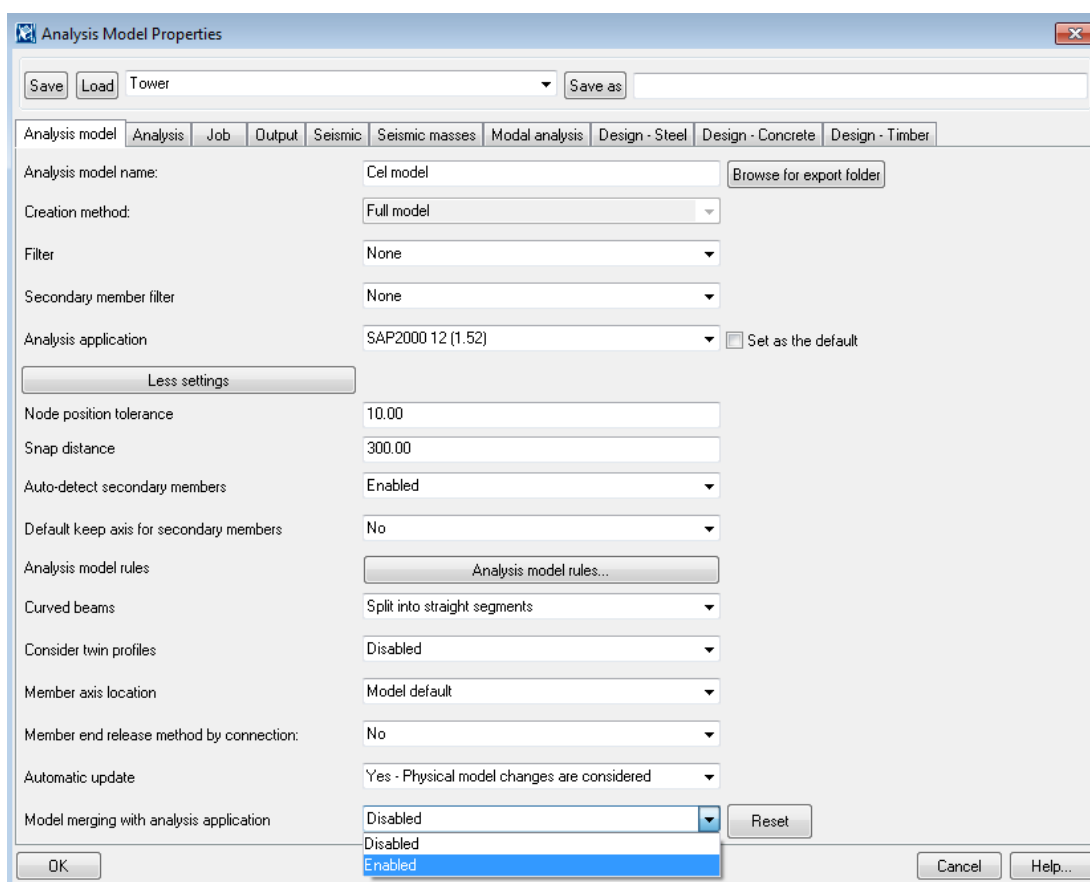
Program Tekla Structures ne omogoča direktnega statičnega in dinamičnega izračuna konstrukcije, zato sem moral izdelan računski model izvoziti v program za analizo konstrukcije. Tekla je kompatibilna z mnogimi programi, med njim pa na primer ni programa Radimpex Tower, ki je pri nas precej razširjen. Odločil sem se, da statično analizo konstrukcije opravi v programu SAP2000 V14, ki ga razvija CSI (*Computers & Structures Inc.*) in je nam študentom FGG dobro poznan. Izvoz in uvoz računskega modela sem opravil s pomočjo programskega vmesnika SAP2000 API, ki sem ga namestil na operacijski sistem in se nam nato znotraj programa pri definiciji analitičnega modela pojavi kot ena izmed možnosti prenosa modela. Pri izvozu analitičnega modela se načeloma ohranijo vsi parametri o končnih elementih, nekoliko več težav je pri kompozitnih materialih.



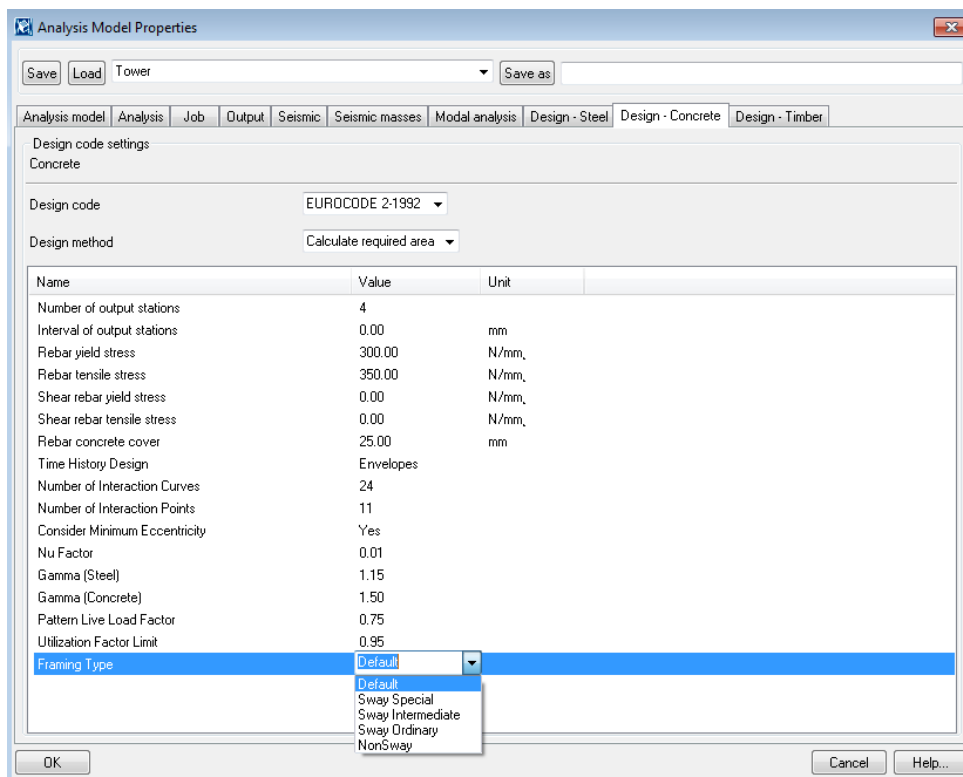
Slika 31: Interoperabilnost programov (CSI, 2010)

Matematičen model sem izdelal na podlagi informacijskega modela Tekla. Zadeve bi se lahko lotil tudi obratno, vendar menim, da je podajanje geometrije v Tekli enostavnejše. V primeru, da statična analiza pokaže šibkost določenih prerezov, jih lahko v SAP-u povečam in jih nato izvozim nazaj v Teklo, kjer se nam spremembe avtomatsko upoštevajo. Po končani statični analizi, so nam za vse obtežne kombinacije v Tekli Structures na voljo notranje sile v elementih in pomiki, a žal v verziji 16 le na robovih in v sredini linijskih elementov. Program omogoča tudi prikaz odstotka izkoriščenosti jeklenih prerezov in potrebno armaturo v betonskih prerezih, vendar sem bil žal pri študentski verziji za ta del prikrajšan.

Z vključitvijo ukaza »*Model merging with analysis application*« se nam spremembe, ki jih izvedemo v Tekli, avtomatsko prenesejo na računski model v SAPu, kar omogoča večkratno kroženje podatkov.



Slika 32: Osnovne nastavitve analitičnega modela

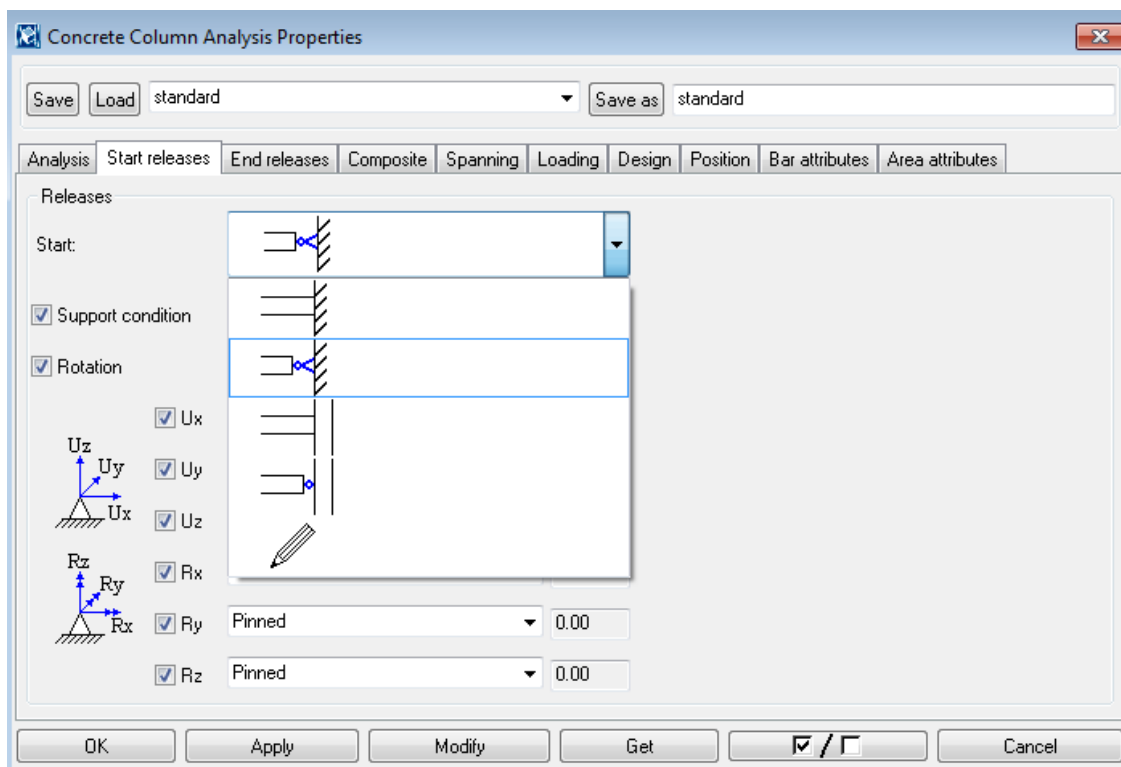


Slika 33: Nastavitev dimenzioniranja AB elementov

Pri izdelovanju računskega modela se najprej odločimo, v katerem računskem programu bomo opravili statično in dinamično analizo, lahko pa model zgolj shranimo v IFC datoteko. Za izračun modela imamo na voljo več postopkov, kot so teorija 1. reda, nelinearna teorija in P-Delta oziroma teorija drugega reda. Izberemo si, kateri podatki iz statične/dinamične analize se nam prikažejo v Tekli. Pri dinamični analizi lahko podajamo mnogo parametrov, kot so spektri pomikov, število nihajnih oblik, določamo frekvenco, dodajamo mase po etažah in ostalo. Program omogoča izbiro standardov ter vnos podatkov, ki jih zahteva izbran standard. Standardi se navezujejo na dimenzioniranje jekla, betona in lesa.

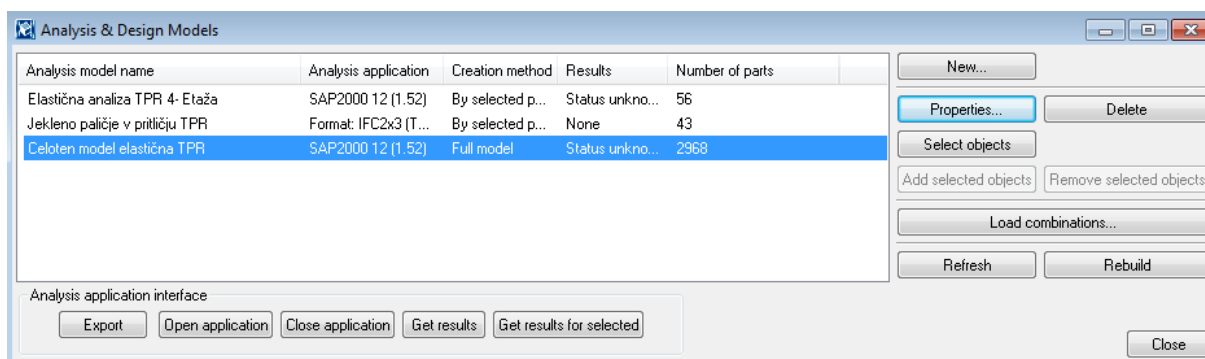
Ob pretvorbi BIM modela v računski model moramo definirati, na kakšen način naj računski program obravnava posamezne elemente. Veliko dela tukaj opravi program sam, ki avtomatično pretvori posamezne elemente in jih obravnava, na primer kot steno, ploščo, lupino, steber, nosilec, sekundarni nosilec ali paličje. Lahko upoštevamo samo tlačne elemente, samo natezne, samo primarne nosilne elemente, nenosilne elemente ali pa vse podane elemente. Nato določimo, kako je element podprt v vozliščih, morebiten pomik oziroma zasuk elementa. Obtežbo načeloma podajamo »globalno« na konstrukciji, kot je to v navadi pri ostalih programih, lahko pa jo podajamo na posamezne elemente, kjer lahko upoštevamo lastno težo ter vse ostale obtežbe, ki smo jih predhodno definirali. V nadaljevanju določimo lastnosti elementa računskega modela, ali pa lahko predlagamo nov prerez, ki ga bo program avtomatsko privzel v primeru, da bo statična analiza pokazala neustreznost prvotno

izbranega. Obenem lahko definiramo oblike končnih elementov in še nekatere druge lastnosti analize. Na Sliki 34 je prikazan način definiranja podpor elementa.



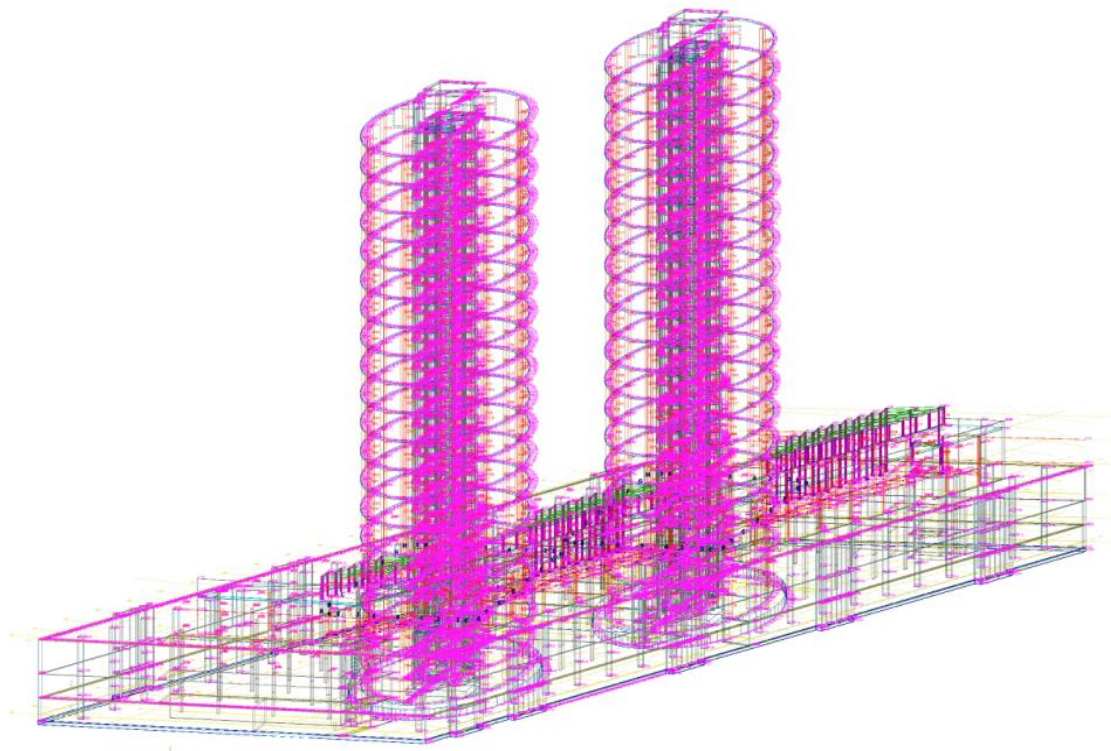
Slika 34: Definiranje podpor betonskega stebra

Izdelal sem več računskih modelov, kjer sem obravnaval celoten objekt, kot tudi posamezne dele objekta. Posameznemu modelu lahko poljubno spreminjamo, dodajamo in brišemo elemente, določamo obtežne kombinacije in jih posodabljam v primeru raznih sprememb. Za posamezen računski model nam je na voljo podatek o vsebovanih elementih in statusu rezultatov. Na voljo so nam ukaz za izvoz modela v program za analizo, ukaz za zagon ter izklop programa in ukaz za enostavno pridobitev rezultatov analize.



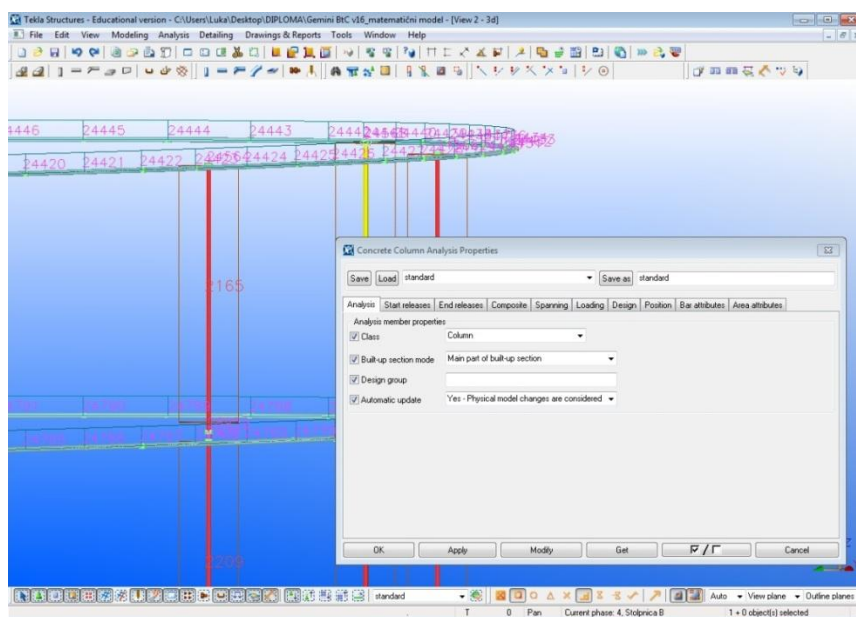
Slika 35: Seznam analitičnih modelov

Na Sliki 36 je prikazan matematičen model celotne zgradbe v programu Tekla Structures. Kljub temu, da gre za velik objekt in posledično za veliko število elementov, je program matematični model zgeneriral v razmeroma kratkem času.



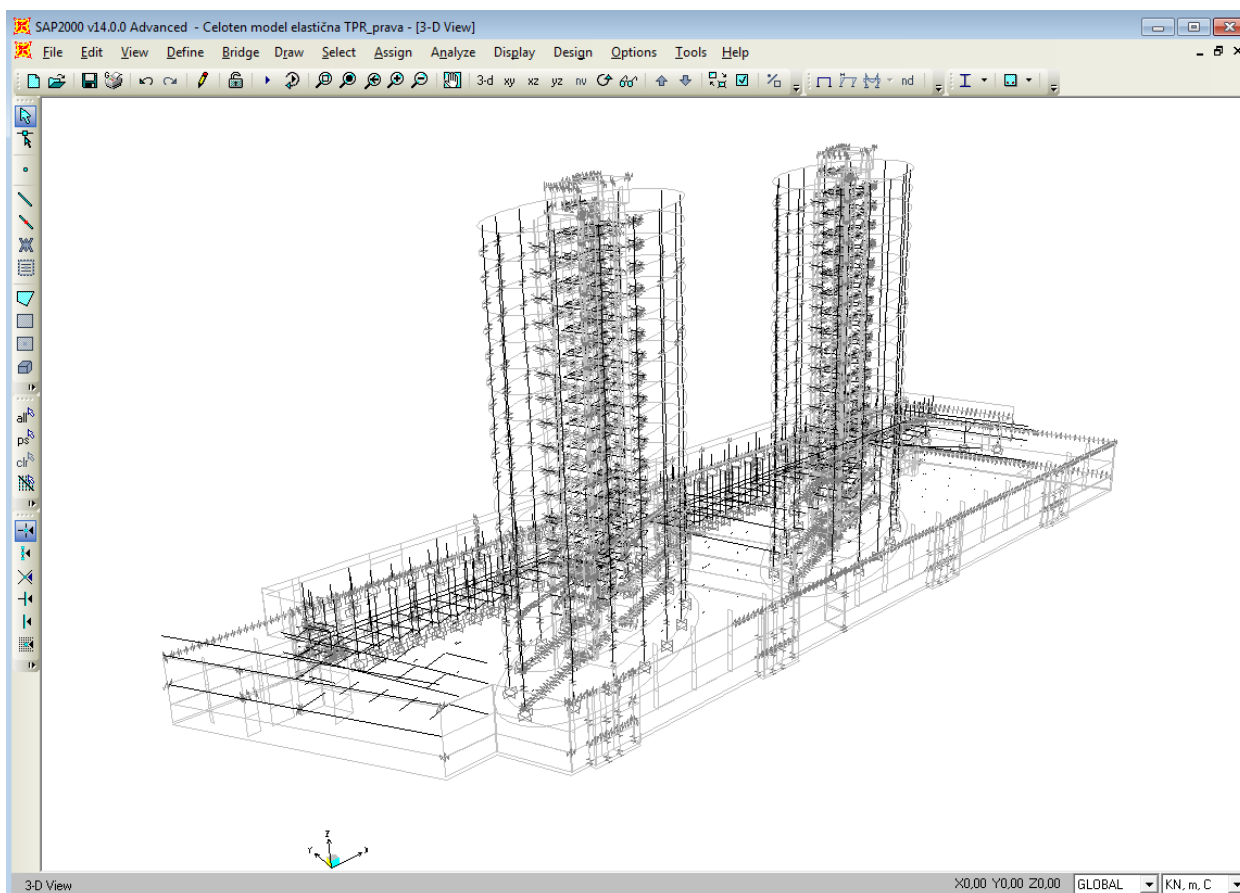
Slika 36: Matematični model zgradbe

Vsak element analitičnega modela lahko poljubno definiramo v Tekli, njegove lastnosti pa lahko poljubno spreminjamo kasneje v računskem modelu, kar se odraža tudi na prvotnem modelu Tekla.



Slika 37: Del analitičnega modela

Model celotnega objekta sem prenesel v program za statično analizo SAP2000 V14. Ker se je računski model celotne zgradbe izkazal za prevelikega za statično analizo, sem model raje razdelil na več delov. Kritična točka izvoza v program za analizo se je izkazala plošča v obliki elipse, kjer SAP ni uspel zgenerirati mreže končnih elementov.



Slika 38: Analitičen model izvožen v SAP2000

4.4.1 Statična analiza jeklene konstrukcije

JEKLEN OKVIR

Da bi preveril delovanje izvoza jeklenih elementov, sem v SAP2000 izvozil del jeklene konstrukcije v pritličju. Pri računskem modelu sem poleg lastne teže elementov upošteval še stalno in koristno obtežbo snega in vetra.

Vplivi (Obtežba)

Upošteval sem lastno težo jeklene konstrukcije

• Stalna obtežba (G_k)

-Nepohodna streha

steklene plošče	$0,03 \times 25 = 0,75 \text{ kN/m}^2$
jeklena podkonstrukcija	$= 0,30 \text{ kN/m}^2$
	$g_k = 1,05 \text{ kN/m}^2$

• Spremenljiva obtežba

Obtežba snega

$$s = \mu_1 C_e C_t s_k$$

Snežna cona:	A2
Nadmorska višina A:	290 m
Naklon strešine α :	13 °

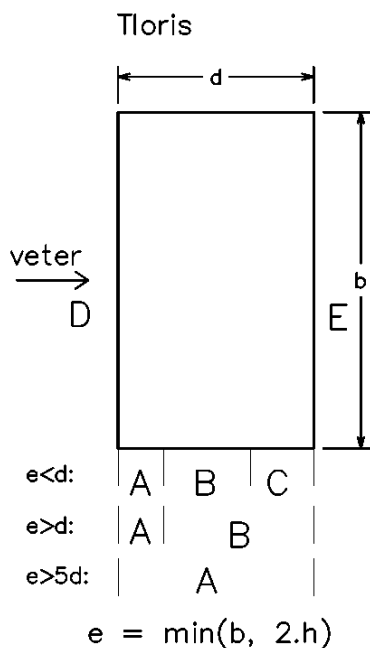
koeficient izpostavljenosti vetru (običajen teren)	$C_e = 1,0$
toplotni koeficient	$C_t = 1,0$
karakteristična obtežba snega na tleh	$s_k = 1,5$
oblikovni koeficient obtežbe snega	$\mu_1 = 0,80$
Obtežba snega	$s = 1,20 \text{ kN/m}^2$

Vpliv vetra

Osnovne vrednosti

lokacija na nadmorski višini	= 290m
vetrna cona	= 1
višina stavbe nad terenom	= 4,5m
faktor hribovitosti terena	= 1,0
Osnovni tlak vetra q_b	= 0,25 kN/m^2

V nadaljevanju bom prikazal način izračuna vpliva vetra na stene v smeri Y.



Slika 39: Prikaz območji delovanja vetra

Koeficient zunanje tlaka C_{pe10} in območja vplivov

območja	A	B	C	D	E	Max. tlak
koef. zun. tlaka C_{pe10}	-1,20	-0,80		0,80	-0,50	$q_p(z_e)$
dolžina območja [m]	1,80	4,70		13,50	13,50	0,29

Tabela 1: Koeficient zunanje tlaka in območja vplivov

Tlak vetra na zunanje ploskve W_e in območja vplivov [kN/m^2]

območja		A	B	C	D	E
tlak vetra na zunanje	zgornje	-0,35	-0,24		0,24	-0,15
dolžina območja [m]		1,80	4,70		13,50	13,50

Tabela 2: Tlak vetra na zunanje ploskve in območja vplivov

Pri tlaku na notranje ploskve sem upošteval manj ugodni koeficient notranje tlaka c_{pi} (0,20, -0,30).

		območje	$W_i(0,20)$	$W_i(-0,30)$
tlak vetra	w_i	celotno	0,06	-0,09

Tabela 3: Tlak vetra

Na stranico D tako na primer deluje tlak vetra na zunanje ploskve $0,24 \text{ kN/m}^2$ in tlak vetra na notranje ploskve $0,06 \text{ kN/m}^2$. Podobno sem naredil tudi za porazdelitev vetra na stene v X smeri, za strehe pa sem ponovno upošteval pravila po EC1. Ker bistvo diplomske naloge ni statični izračun konstrukcije, sem pri podajanju vetrne obtežbe na konstrukcijo, obtežbe nekoliko povprečil in poenostavil.

Tako sem kot merodajni vpliv vetra na konstrukcijo upošteval naslednje obtežbe predstavljene v Tabeli 4.

	Stranica L na veter	Stranica II z vetrom	Streha
Smer vetra v X smeri	$0,3 \text{ kN/m}^2$	$-0,1 \text{ kN/m}^2$	$0,1 \text{ kN/m}^2$
Smer vetra v Y smeri	$0,4 \text{ kN/m}^2$	$-0,1 \text{ kN/m}^2$	$0,15 \text{ kN/m}^2$

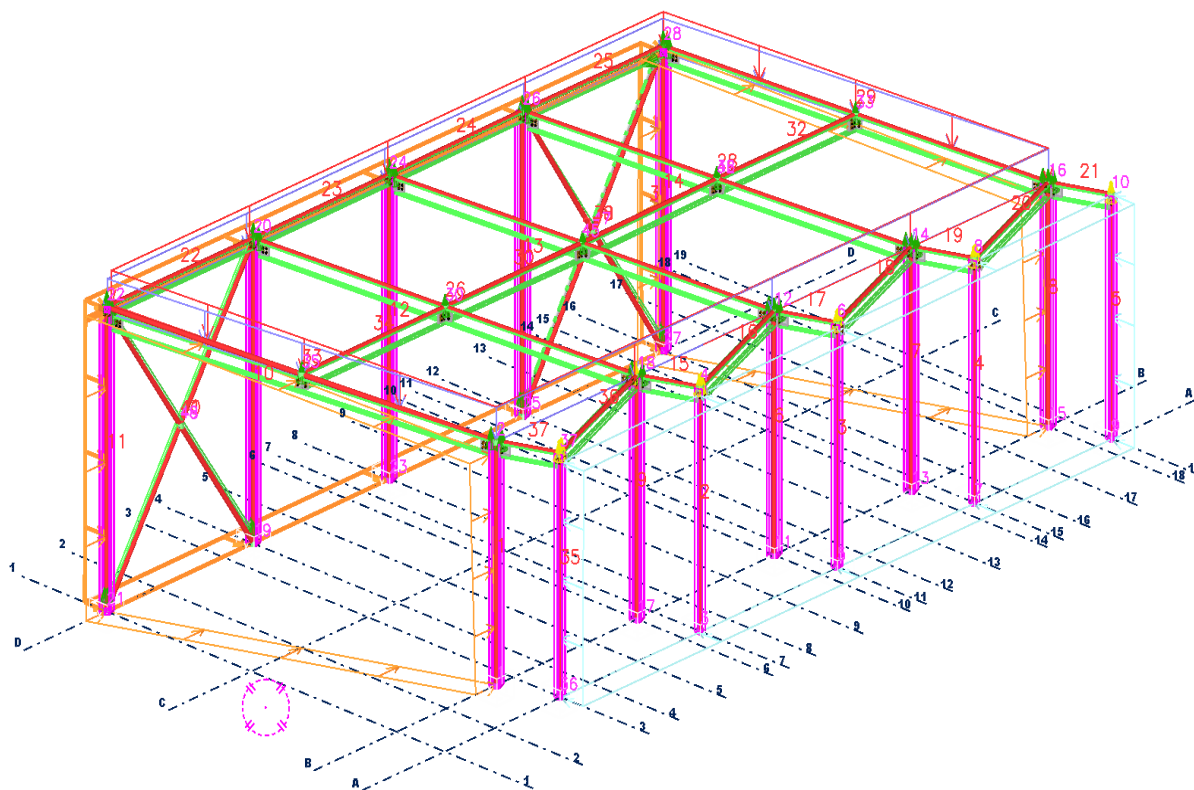
Tabela 4: Obtežbe vetra

Pri izdelavi obtežnih kombinacij, sem upošteval delne varnostne in kombinacijske faktorje v skladu s standardom Eurocode, ki jih program sam pozna. Obtežne kombinacije je program avtomatsko zgeneriral.

Id	Name of the combination	Combination type	Veter Y	Veter X	Sneg	Stalna teža	Self weight
1	LG1	LG		1.00x1.00			
2	LG2	LG	1.00x1.00				
3	LG3	LG			1.00x1.00		
4	LG4	LG				1.00x1.00	
5	LG5	LG					1.00x1.00
6	ULS6	ULS				1.00x1.35	1.00x1.35
7	ULS7	ULS				1.00x1.00	1.00x1.00
8	ULS8	ULS	1.00x1.50			1.00x1.35	1.00x1.35
9	ULS9	ULS		1.00x1.50		1.00x1.35	1.00x1.35
10	ULS10	ULS	1.00x1.50			1.00x1.00	1.00x1.00
11	ULS11	ULS		1.00x1.50		1.00x1.00	1.00x1.00
12	ULS12	ULS			1.00x1.50	1.00x1.35	1.00x1.35
13	ULS13	ULS			1.00x1.50	1.00x1.00	1.00x1.00
14	ULS14	ULS	1.00x1.50		0.60x1.50	1.00x1.35	1.00x1.35
15	ULS15	ULS		1.00x1.50	0.60x1.50	1.00x1.35	1.00x1.35
16	ULS16	ULS	1.00x1.50		0.60x1.50	1.00x1.00	1.00x1.00
17	ULS17	ULS		1.00x1.50	0.60x1.50	1.00x1.00	1.00x1.00
18	ULS18	ULS	0.60x1.50		1.00x1.50	1.00x1.35	1.00x1.35
19	ULS19	ULS		0.60x1.50	1.00x1.50	1.00x1.35	1.00x1.35
20	ULS20	ULS	0.60x1.50		1.00x1.50	1.00x1.00	1.00x1.00
21	ULS21	ULS		0.60x1.50	1.00x1.50	1.00x1.00	1.00x1.00

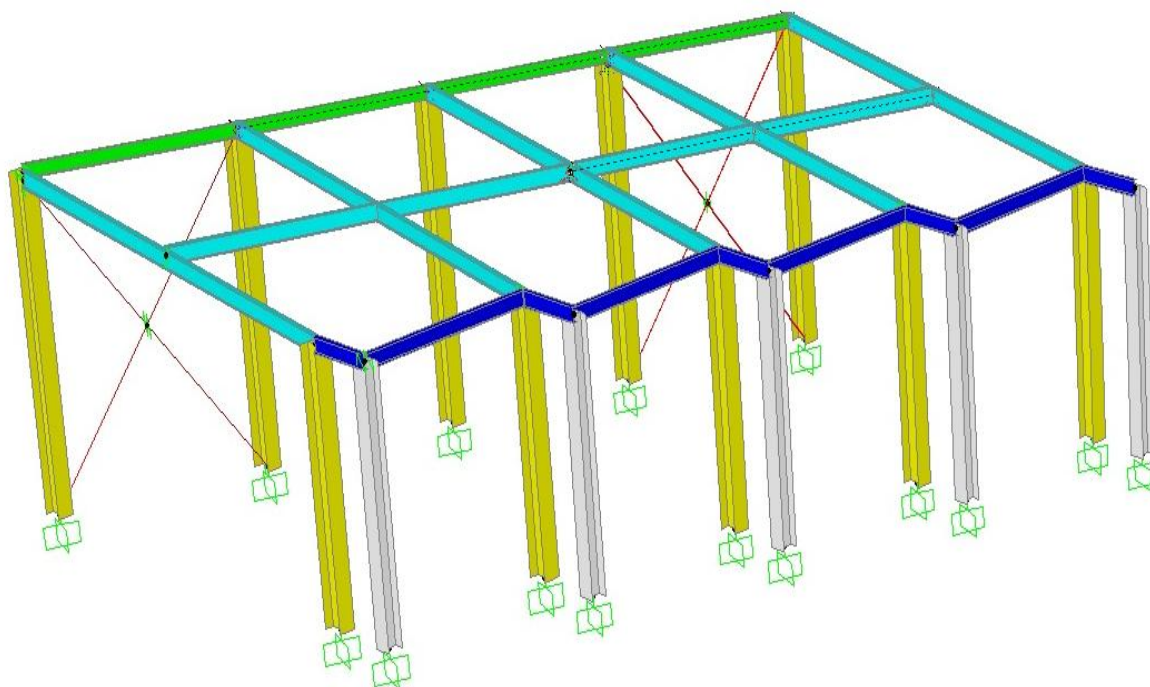
Slika 40: Obtežne kombinacije

Obtežbo lahko podajamo kot točkovno, linijsko ali ploskovno in prav tako jih SAP2000 tudi interpretira. Obtežbo in obtežne primere lahko kasneje tudi urejamo v programu za analizo, vendar je najboljše, da to opravimo kar v Tekli, saj imamo tako najboljši vpogled. Obtežbe sem podal kot ploskovne, s tem da se je obtežba avtomatsko smiselno porazdelila na linijske elemente.



Slika 41: Obtežen analitični model jeklene konstrukcije v pritličju

S sliko na naslednji strani prikazujem računski model izvožen v SAP2000, kjer imajo vsi prerezi elementov svojo barvo. Analitičen model lahko izvozimo v program za analizo, ga tam dodelamo, določamo drugačne načine podpiranja, določimo nove obtežne primere in podobno.



Slika 42: Analitični model jeklene konstrukcije izvožen v SAP2000

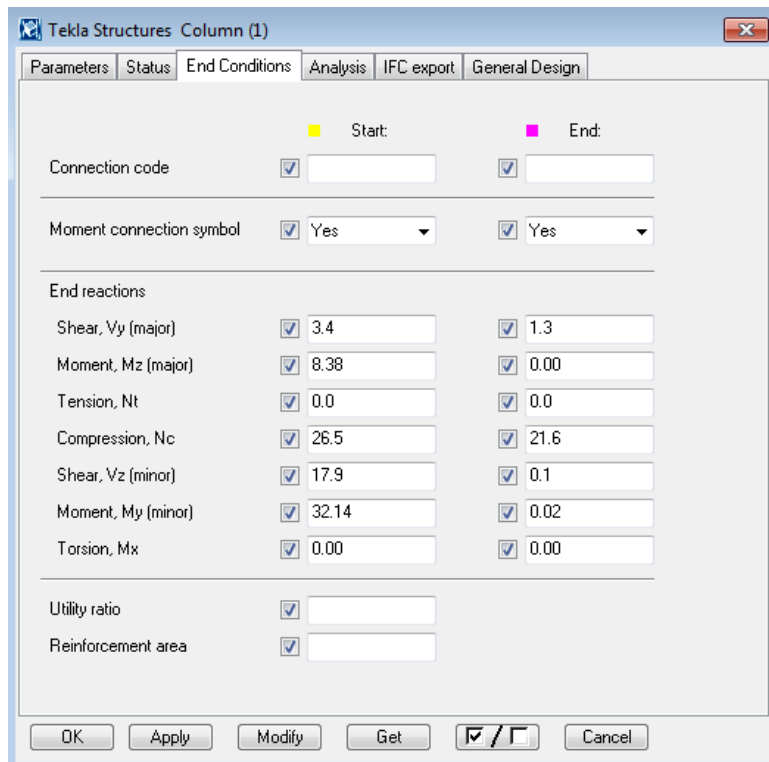
V primeru, da smo analitičen model v celoti obdelali v Tekli, lahko rezultate zelo enostavno dobimo z ukazom »Get results«. Poleg izvoza v SAP2000, se tam avtomatsko izvrši statična analiza, njene rezultate pa dobimo v Tekli. Kot rezultati statične analize, so nam v Tekli Structures 16 na razpolago notranje sile na začetku in na koncu elementov za vse obtežne kombinacije. Za jekleno konstrukcijo nam program na slednji način optimizira profile, ki jih po želji lahko spremenimo in nato privzamemo v našo konstrukcijo.

Design group	Original profile	New profile	Number of parts	State	Accepted
BEAM-IPE180	IPE180	IPE200	9		Yes
BEAM-D35	D35	D20	4		Yes
COLUMN-HEA180	HEA180	HEA340	10		Yes
COLUMN-HEA140	HEA140	HEA280	5		Yes
BEAM-IPE140	IPE140	IPE180	4		Yes
BEAM-IPE240	IPE240	IPE220	9		Yes

Use design groups
 Show changes only

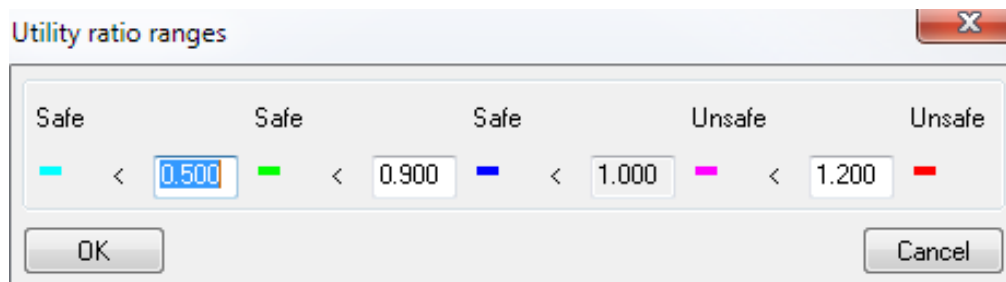
Slika 43: Optimizacija elementov po opravljeni analizi v SAPu

Sedaj imamo poleg vseh ostalih informacij o elementu na razpolago še notranje sile na začetku in koncu elementa.



Slika 44: Notranje sile v steburu

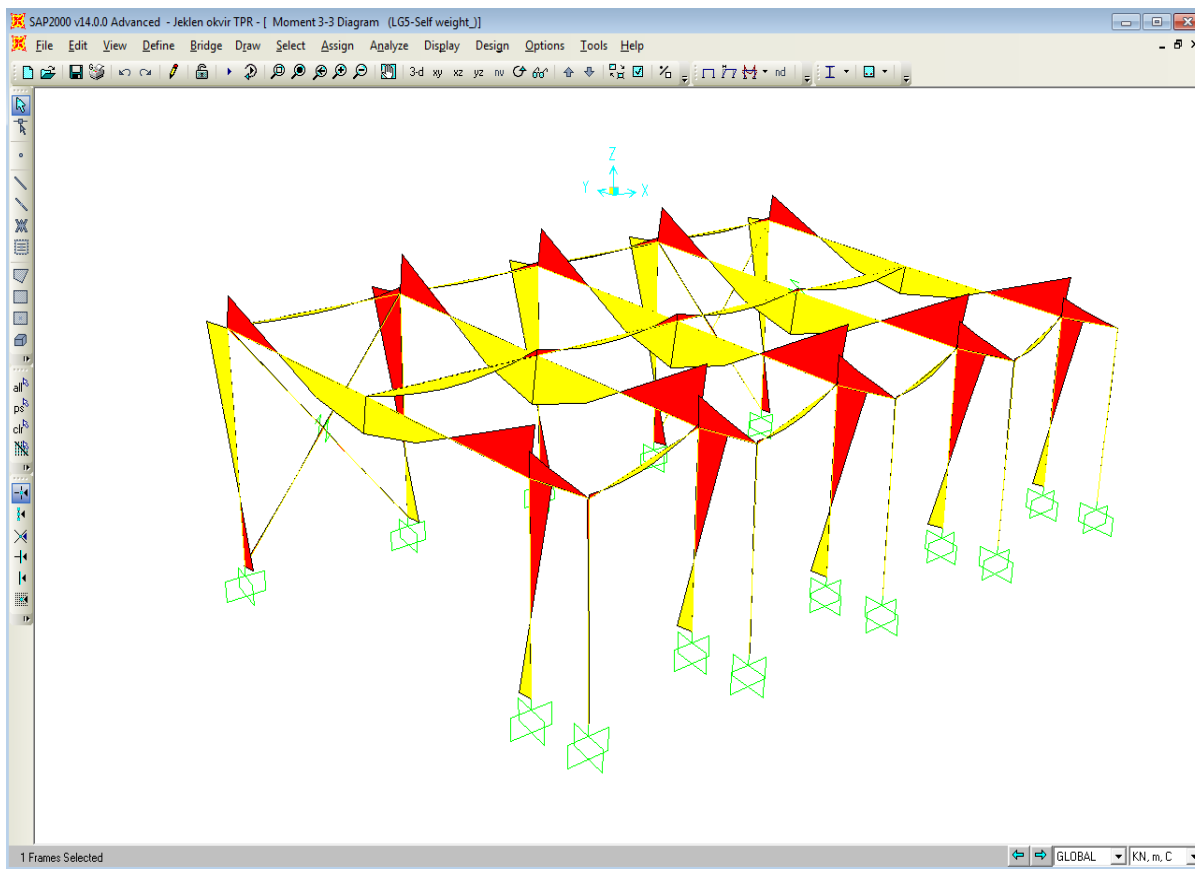
Naredimo lahko tudi hiter vizualen pregled jeklene konstrukcije, tako da se nam elementi obarvajo glede na izkoriščenost prereza. Poljubno si definiramo meje izkoriščenosti in dobimo hiter vpogled v varnost konstrukcije. Žal sem bil s to funkcijo pri študentski verziji omejen, vendar bi prav prišla za globalni pregled nosilnosti konstrukcije.



Slika 45: Nastavitev kriterijev prikaza izkoriščenosti prerezov

Po opravljeni optimizaciji mi je program Tekla Structures predlagal profile jeklenih elementov, ki so se mi zdeli nekoliko predimenzionirani. Zaradi tega sem v nadaljevanju opravil dimenzioniranje še v programu SAP2000. Analiza je bila izvedena po teoriji prvega reda z obtežbami in obtežnimi kombinacijami, ki sem jih predhodno definiral v Tekli. Po izvozu modela v SAP sem moral zgoj zagnati analizo. Za nadaljnje delo so me zanimala notranje sile in pomiki konstrukcije. Za

dimenzioniranje povezij je pomembna osna sila, pri stebrih pa približno enak del obremenitve predstavljata osna sila in upogibni moment. K obremenitvi prečk so delež prispevale tudi osne in prečne sile, vendar so te v primerjavi z upogibnimi momenti zanemarljive. Maksimalni momenti so v glavnih nosilcih, in sicer nad podporami, gibljejo pa se med 17,9kN in 36,7kN.

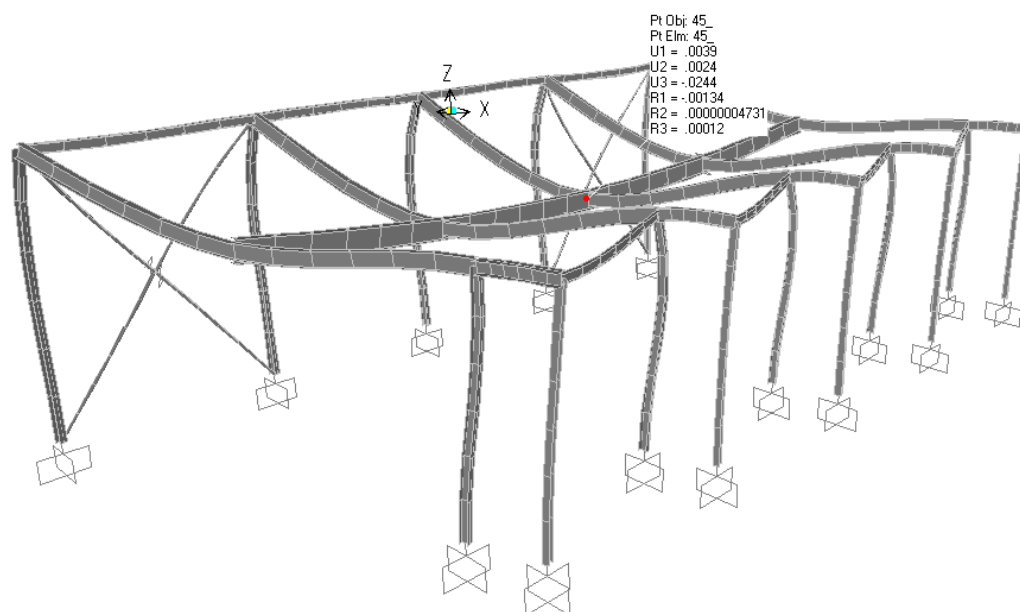


Slika 46: Shema upogibni momentov [My]

Pomike sem določil s pomočjo obtežnih kombinacij za mejno stanje uporabnosti (MSU). Elementi so povsod toga vpeti, zato ni prišlo do večjih pomikov.

	Računski pomik [cm]	Dovoljen pomik [cm]
Glavni nosilec	2,44	1/250 = 4,25
Steber	0,61	1/300 = 1,20

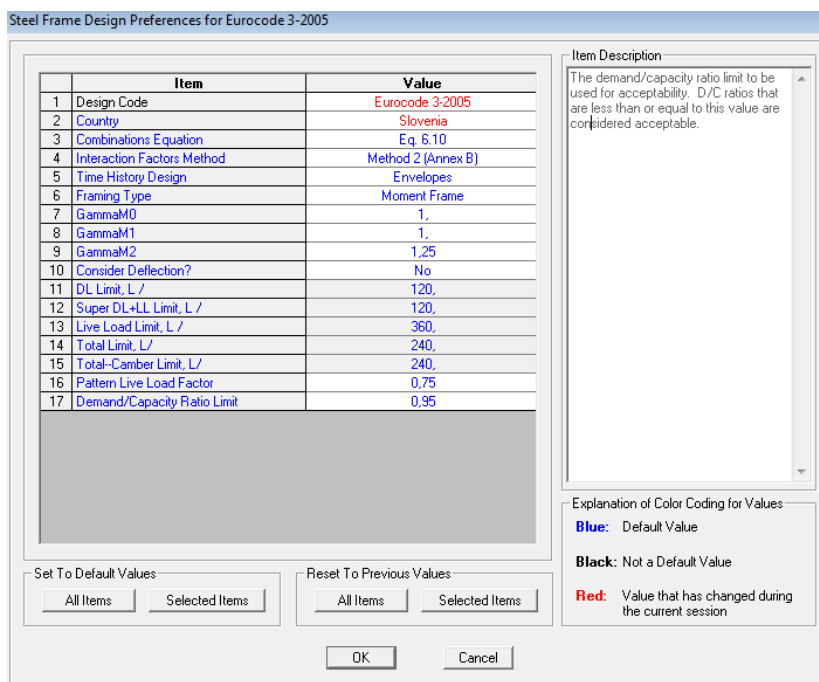
Tabela 5: Maksimalni pomiki



Slika 47: Deformirana lega jeklene konstrukcije

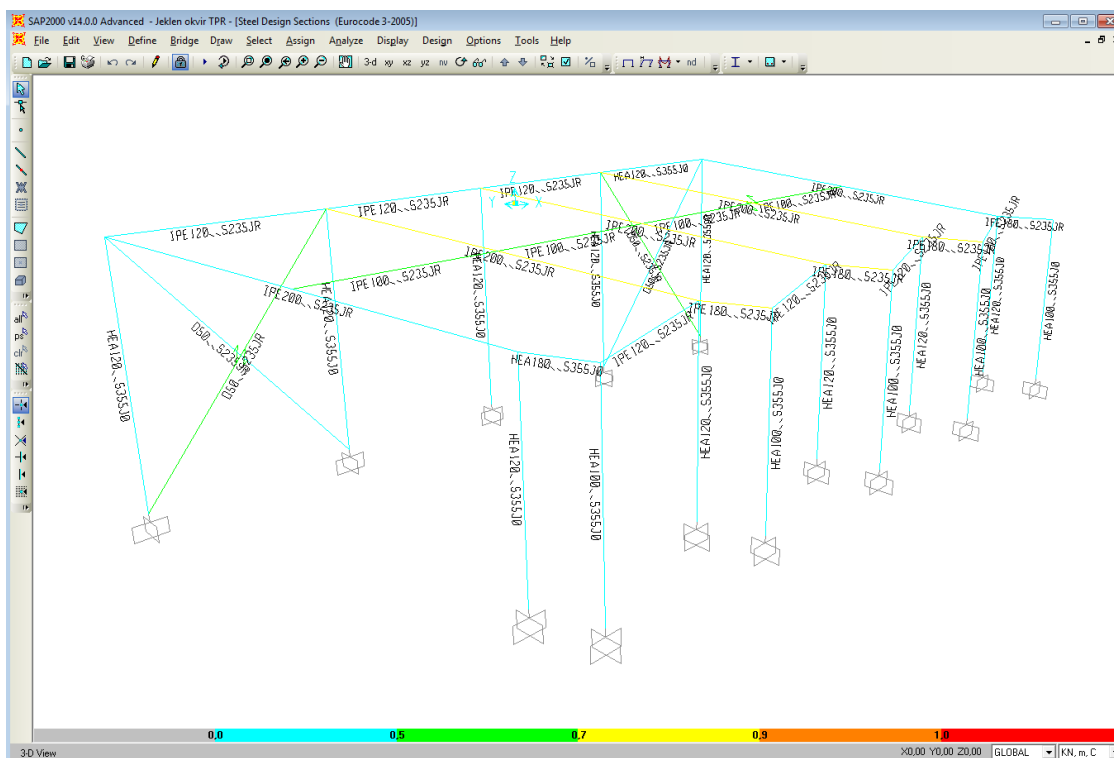
4.4.2 Dimenzioniranje jeklene konstrukcije

Jekleno konstrukcijo sem v SAP-u dimenzioniral po določilih standarda Evrokod 3 in slovenskega nacionalnega dodatka. Upošteval sem vse obtežne kombinacije, ki jih je zgenerirala v Tekli, vključno s kombinacijo za MSU.



Slika 48: Nastavitve dimenzioniranja jeklenih elementov

Na spodnji sliki je optimizacija jeklenega okvirja izdelana v SAPu. Izkoriščena nosilnost stebrov je zgolj nekje med 30 in 50 %, vendar glede na to, da v analizi nisem upošteval potresne obtežbe lahko rečem, da smo na varni strani.



Slika 49: Optimizacija elementov izvedena v SAPu

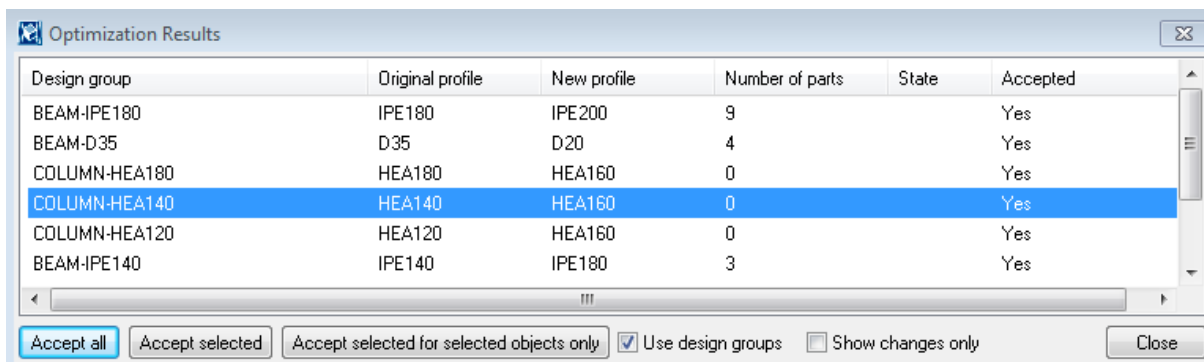
Izvedem kratko kontrolo glavnega nosilca, kjer upoštevam samo upogibni moment:

$$M_{pl,Rd,s} = W_{pl,s} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$W_{pl,s} \geq \frac{M_{pl,Rd,s} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{36,4 \cdot 100 \text{ kNcm} \cdot 1,0}{23,5 \text{ kN/cm}^2} = 154,9 \text{ cm}^3$$

Izberem profil IPE 200 ($W_y = 194,0 \text{ cm}^3$), ki mi ga je predlagal tudi SAP.

Primerjava optimizacij v SAP-u in Tekli nekaj strani nazaj na Sliki 43, pokaže na predimenzionirane stebre. Razloga za to ne gre predpisovati neustrezni komunikaciji med programi, pač pa že izdelanim spojem. Ti se do neke mere lahko prilagodijo spremembam profilov, vendar so bile v mojem primeru problem majhne dimenzije stojin profilov HEA 120, ki sem jih nato nadomestil s HEA 160, kar se je izkazalo kot ustrezna rešitev tudi za izvedbo spojev.

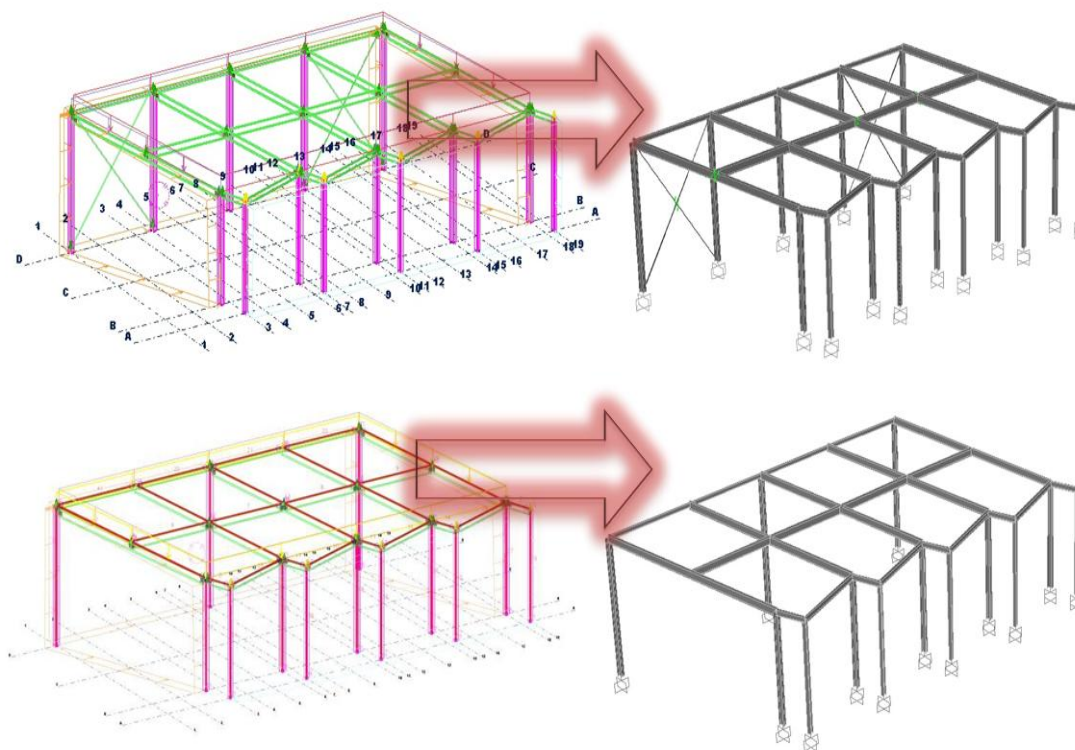


Design group	Original profile	New profile	Number of parts	State	Accepted
BEAM-IPE180	IPE180	IPE200	9	Yes	Yes
BEAM-D35	D35	D20	4	Yes	Yes
COLUMN-HEA180	HEA180	HEA160	0	Yes	Yes
COLUMN-HEA140	HEA140	HEA160	0	Yes	Yes
COLUMN-HEA120	HEA120	HEA160	0	Yes	Yes
BEAM-IPE140	IPE140	IPE180	3	Yes	Yes

Slika 50: Ponovna optimizacija elementov

4.4.3 Obvladanje sprememb

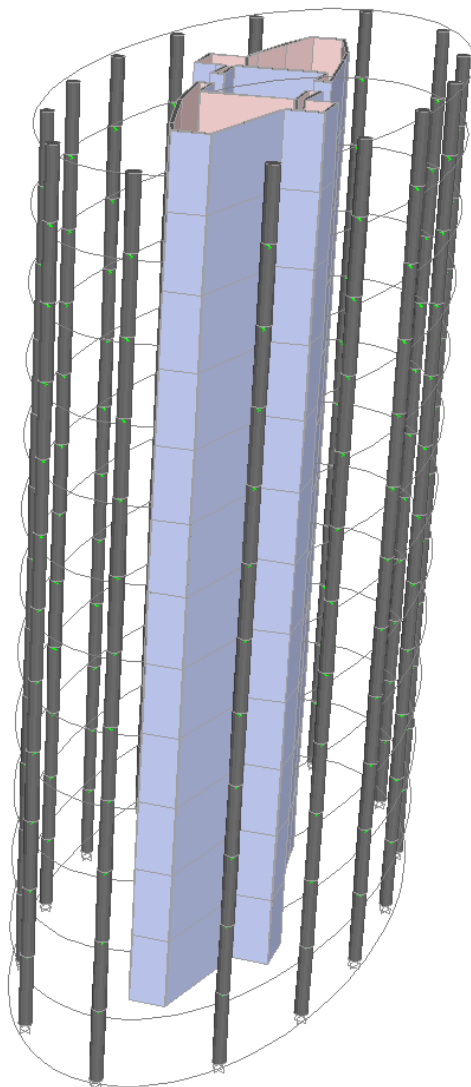
Obvladovanje sprememb v BIM modelih je zelo preprosto. V primeru, ko se na referenčnem modelu pojavi sprememba, se ta izvrši tudi na ostalih modelih. Tudi v primeru, ko sem v Teklo izvozil 2D podlogo in bi se ta kasneje spremenila, bi bil na spremembe opozorjen. Čar obvladanja sprememb na obravnavani zgradbi sem preizkusil na jeklenem pritličnem delu, kjer sem kasneje odstranil določene stebre in diagonalna povezja. Model sem imel izvožen v program za analizo SAP2000, in ko sem v Tekli izvedel spremembo, se je ta prav kmalu pojavila tudi na modelu v programu za analizo. Da pride do upoštevanja sprememb na računskem modelu, je potrebno model osvežiti in ga ponovno poslati v program za analizo in sprememba je tu.



Slika 51: Izvajanje sprememb

4.4.4 Armiranobetonska konstrukcija

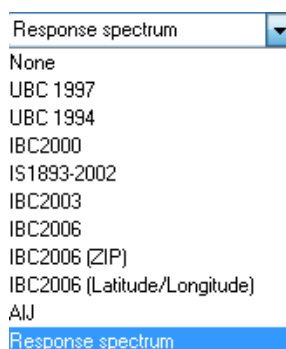
Izvažanje analitičnih modelov iz Tekle v SAP je potekalo brez težav, z izjemo elipsastih plošč. V tem primeru so se prenesli vsi podatki o plošči vključno z obtežbo, vendar tukaj ni bila težava v prenosu, pač pa v samem programu za analizo, ki ni uspel zgenerirati mreže končnih elementov. Da bi preveril izvor napake, sem kasneje v SAP2000 uvozil le geometrijo elipsaste plošče, samo ploščo pa izdelal v SAP-u. Težava generiranja mreže končnih elementov se je pojavila tudi v tem primeru. Tako lahko rečem, da je izvoz podatkov potekal brezhibno, kar priča tudi izvoz pravokotnih plošč in sten, kjer se je mreža končnih elementov enostavno zgenerirala. Zaradi omenjenih težav se v tem primeru nisem spuščal v statično analizo stolpnice, saj bi se s tem preveč oddaljil od bistva diplomske naloge. S Sliko 52 je prikazan model stolpnice, ki sem ga kot del analitičnega modela v Tekli izvozil v SAP2000.



Slika 52: Računski model stolpnice v programu SAP2000

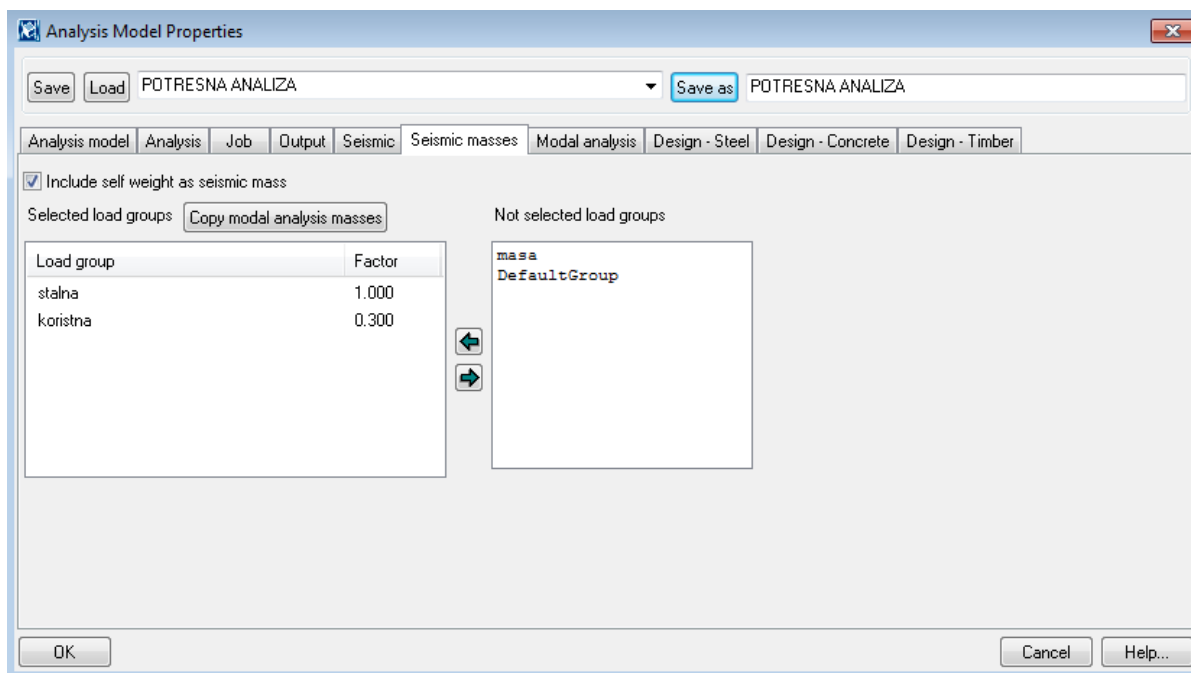
4.4.5 Priprava modela za modalno analizo

Tako kot pri računskem modelu za statično analizo, sem tudi v primeru modalne analize vse parametre definiral že v Tekli. Potresno obtežbo v X in Y smeri definiramo na podlagi danih standardov podobno, kot sem to naredil pri statični analizi ali pa z uporabo spektra pospeškov oziroma pomikov.



Slika 53: Izbira standarda oziroma spektra za potresno analizo

V odvisnosti od izbranega standarda za potresno analizo določamo parametre, kot so na primer faktor obnašanja, tip tal, maksimalen pospešek tal, tip zgradbe, potresna cona in faktor dušenja. V mojem primeru sem vpliv potresa zajel s projektnim spektrom pospeškov. Predpostavil sem, da so mase skoncentrirane na nivojih etaž. Tukaj ne gre le za lastno težo etaž, pač pa tudi za del spremenljive obtežbe, med katere ne spadajo obtežba snega in vetra. Pri pretvorbi obtežb v mase, sem za vrednost gravitacijskega pospeška uporabil $g = 9,81\text{m/s}^2$.



Slika 54: Definiranje mase za potresno analizo

Poslovna zgradba Gemini se bo nahajala v ljubljanskem BTC-ju, kjer je referenčna vrednost maksimalnega pospeška tal tipa A podana s karto potresne nevarnosti v Slovenije v Nacionalnem dodatku in znaša $a_{gR} = 0,25g$.

Zgradba spada v II. kategorijo pomembnosti, in ji zato ustreza varnostni faktor $\gamma_I = 1,0$.

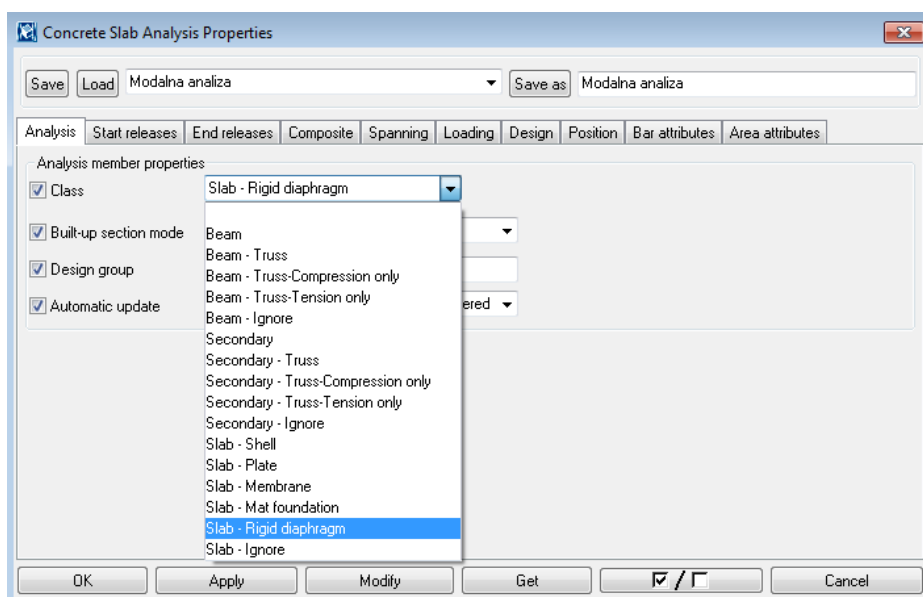
Projektni pospešek tal a_g tako znaša:

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,25g \cdot 1,0 = 0,25g$$

Temeljna tla, kjer naj bi se nahajal objekt so gramozna in ustrezajo tipu tal C, tako da sem za faktor tal S upošteval vrednost 1,15.

V tem poglavju, je bil moj cilj raziskati uporabnost modela narejenega v Tekli za potresno analizo, zato se nisem tako posvečal sami določitvi potresnih vplivov, čeprav se zavedam, da je za ustreznost rezultatov bistven prav ta del.

Zavedal sem se težav generiranja končnih elementov elipsastih plošč v programu SAP, zato sem za primer potresne analize definiral plošče kot diafragme, ki so toge le v svoji ravnini (X,Y). V tem primeru so nastale težave že v Tekli, saj je program zelo zakompliciral računski model plošče. Razlog za to gre ponovno iskati v obliki plošč, saj je program povezal vsa vozlišča, s pomočjo katerih sem ploščo izdelal. Tak model plošče je bil prezahteven za uporabo v Tekli, kaj šele za izvoz v program za analizo. V primeru ploskovnih elementov enostavnejših, pravokotnih oblik s tem ne bi imel težav, tako pa sem bil primoran ta način izdelave modela opustiti.

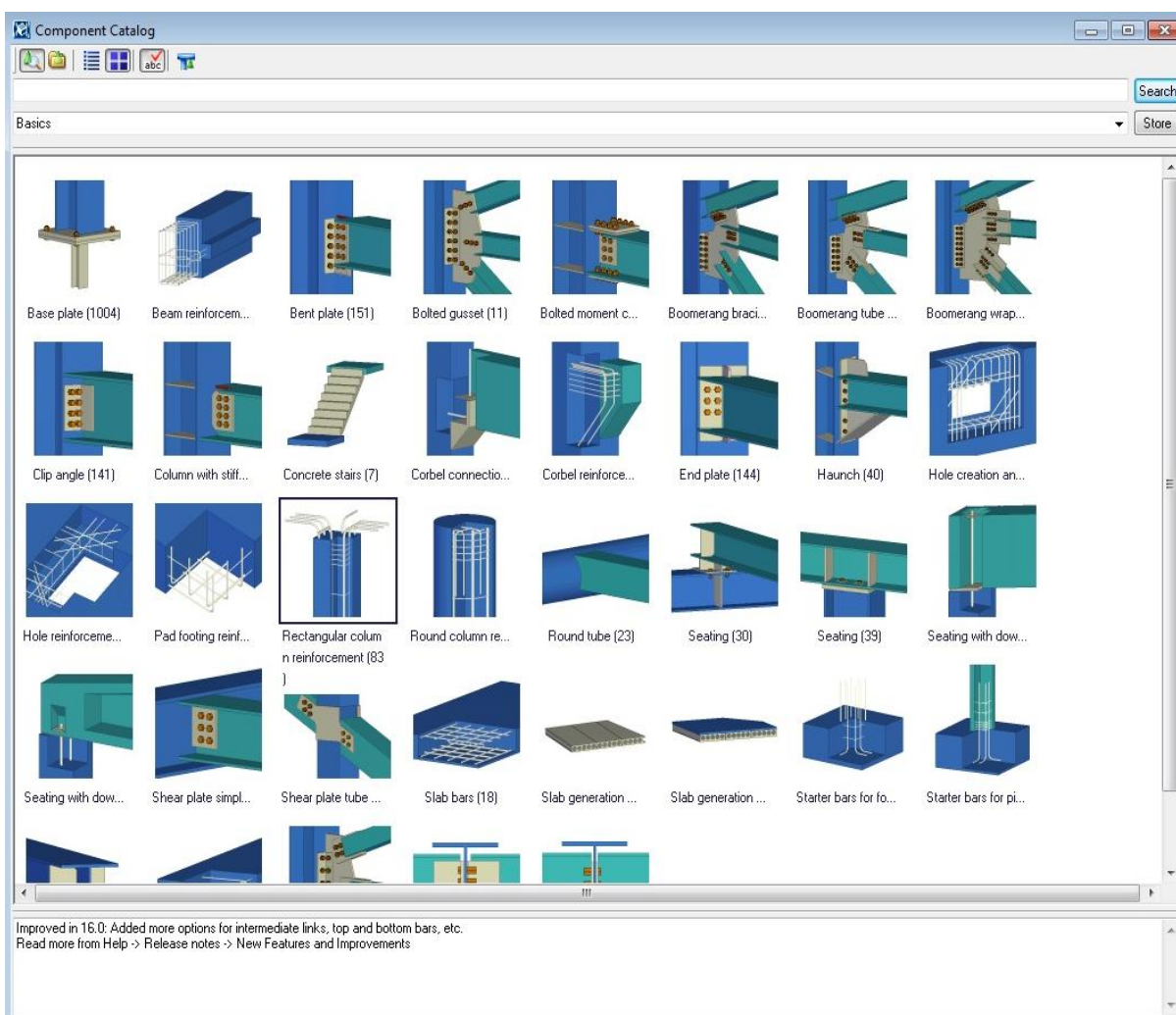


Slika 55: Ploščo v računskem modelu definiramo kot diafragmo

5 DETAJLIRANJE IN IZDELAVA NAČRTOV

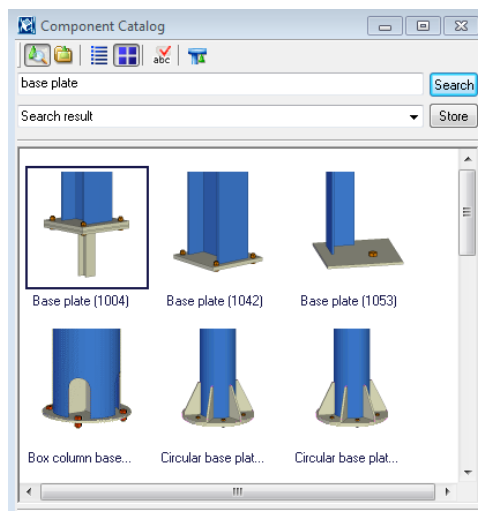
5.1 Uporaba knjižnice parametričnih komponent

Ko v Tekli izdelamo elemente, je te potrebno še ustrezno povezati v celoto. Tukaj nam je v veliko pomoč bogata in vnaprej pripravljena knjižnica parametričnih komponent, s katerimi precej avtomatiziramo proces izdelave modela. Z njimi konstrukter enostavno izdelava razne detajle, armira elemente in rešuje stike v 3D pogledu. V primeru sprememb elementov se detajli avtomatsko prilagajajo izvedenim spremembam. Poleg že izdelanih komponent, lahko ustvarimo tudi svoje in jih kasneje uporabljamo na ostalih primerih.



Slika 56: Knjižnica parametričnih komponent

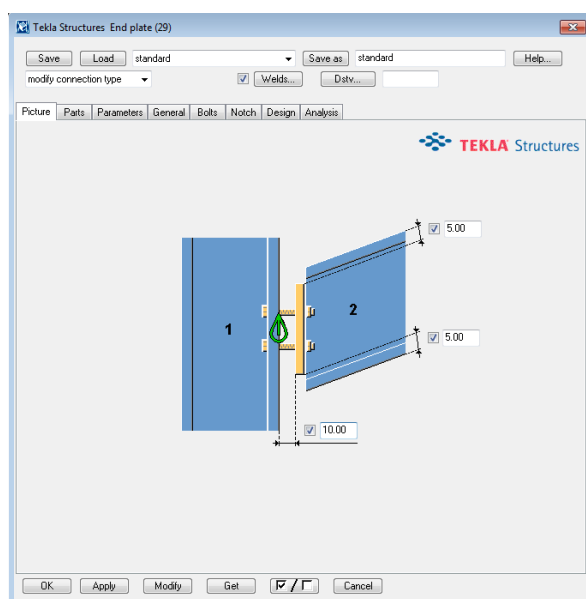
Zaradi večje preglednosti so komponente razporejene po skupinah, vsaka komponenta pa ima tudi svojo oznako, s katero jo lahko priključimo iz knjižnice. Tako sem na primer enostavno našel podložna ležišča za jeklene stebre.



Slika 57: Parametrična jeklena podložna ležišča

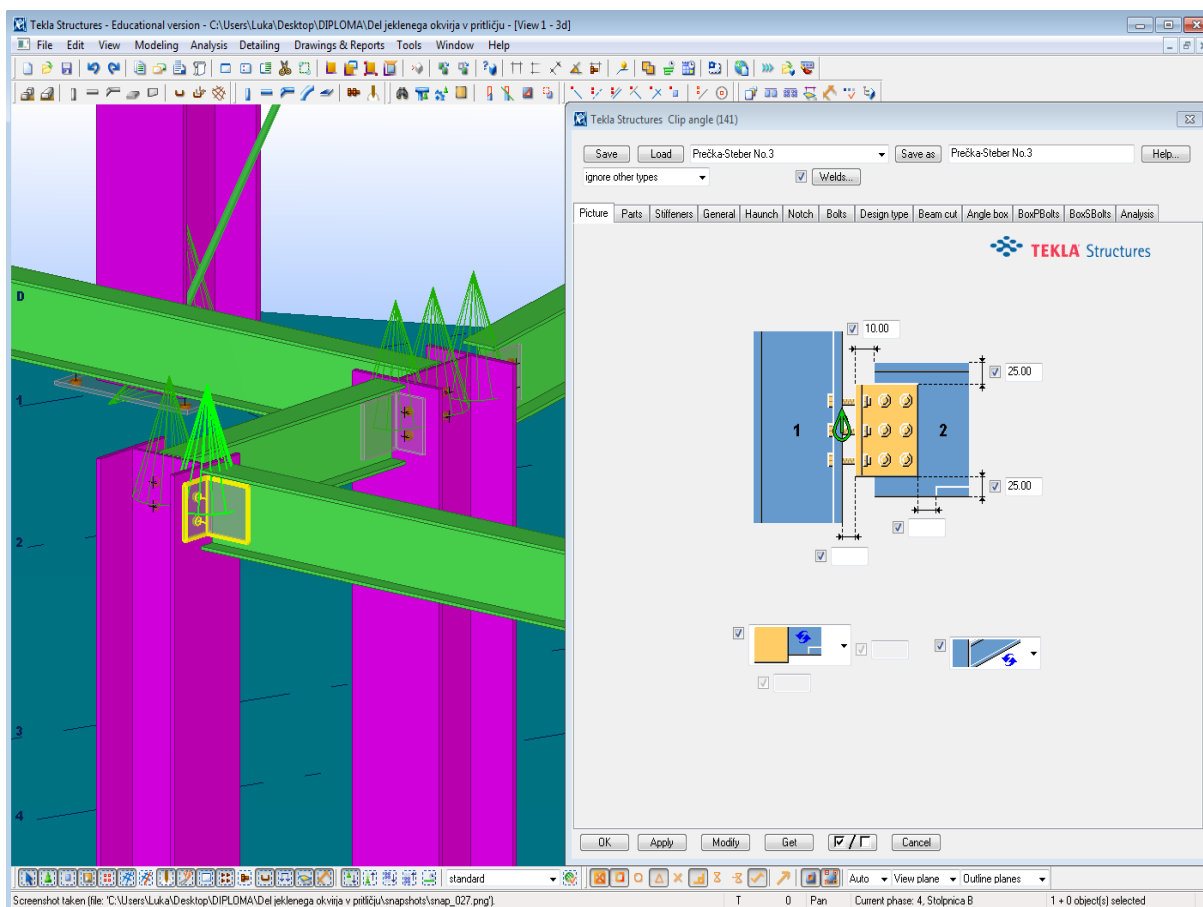
5.2 Stikovanje jeklenih elementov

Najpreprostejši način izdelave stikov je avtomatsko stikovanje. V tem primeru nastavimo poljubne kriterije, po katerih morajo biti stiki izdelani, označimo vse elemente, ki jih želimo stikovati in jih z ukazom »*Create AutoConnections*« izdelamo. Na tak način sem izdelal večino spojev obravnavanega jeklenega okvirja, v tako rekoč nekaj klikih. Spoje lahko izdelamo tudi z ukazom »*Create current connection*«, kot je to prikazano s Sliko 58. Najprej označimo primarni element, nato še sekundarnega in spoj je izdelan. Parametre kot so velikost in debelina pločevin, vijaki, lega vijakov, velikost lukenj, zarez v pločevini in način stikovanja, katerega privzame analitičen model, lahko določamo ročno ali pa izberemo ukaz »*AutoDefaults*«, ki nam parametre avtomatsko prilagodi dejanskemu stanju.



Slika 58: Orodje za preprosto stikovanje elementov

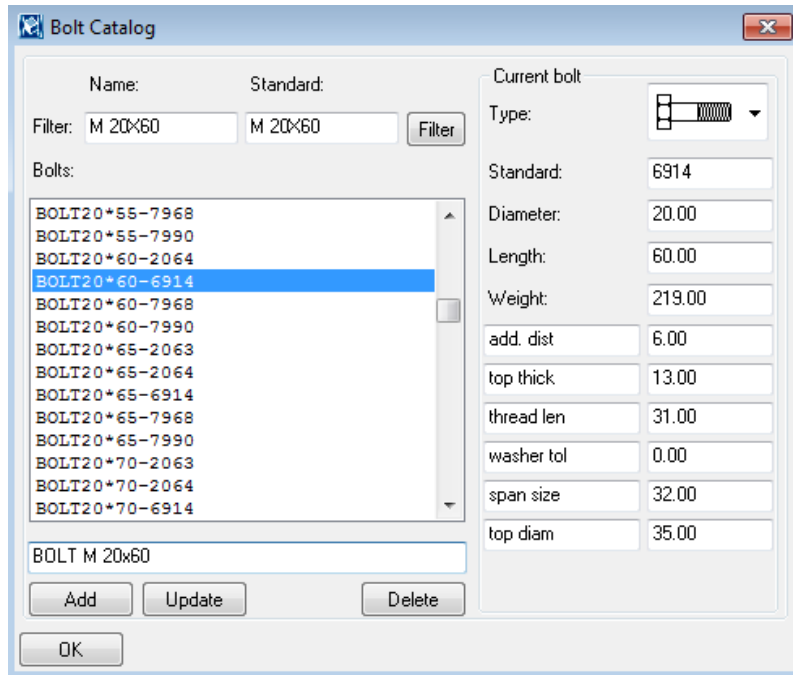
Zeleni stožec nad izdelanim detajlom na Sliki 59 pomeni dobro izdelan spoj, stožec rumene barve predstavlja določene težave pri izdelanem spoju, rdeč pa neuspešno izdelan spoj. S klikom na stožec lahko preprosto spreminjamo parametre spoja.



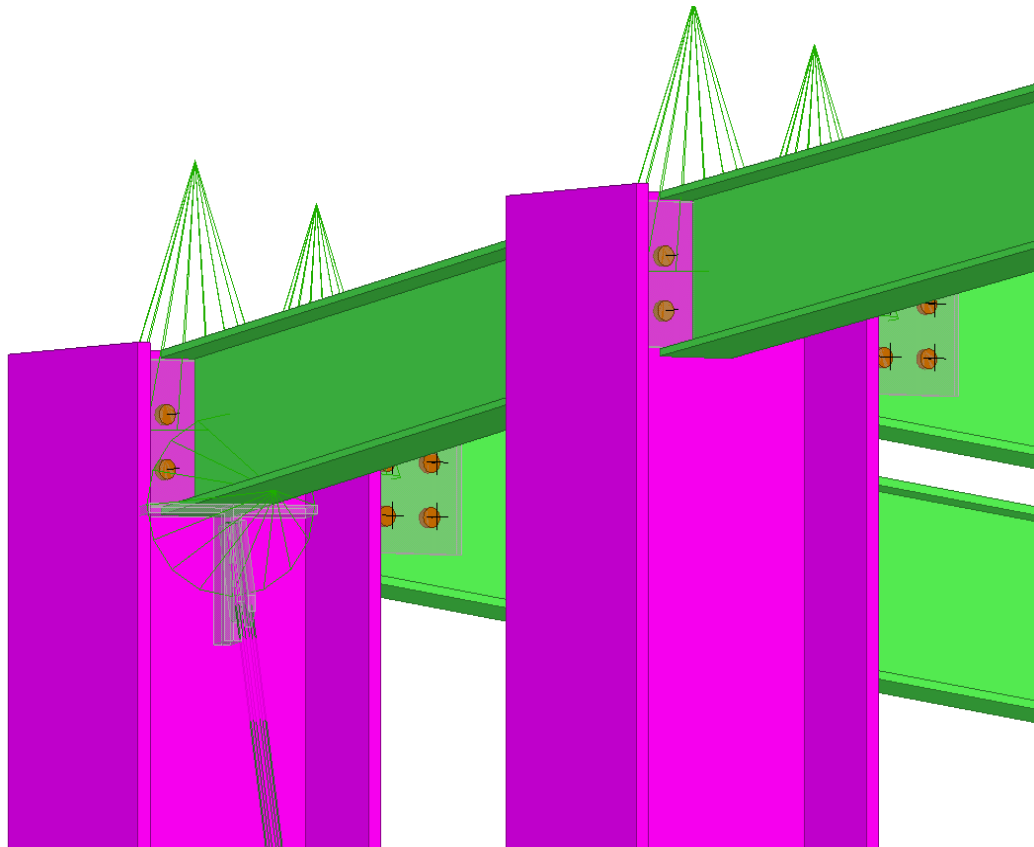
Slika 59: Stikovanje jeklenih elementov

Čelna pločevina pri vijaknih spojih je v tem pogledu delno prosojna. Lahko nastavimo tudi pogled, kjer so nam vidni le spoji, ostali elementi pa so pretežno prosojni. Z izjemo spojev diagonalnih povezij, ki so izdelani členkasto, so vsi ostali spoji momentni. Vidimo, da so spoji delno varjeni, pri tem pa so se vsi zvari med čelno oziroma bočno pločevino in elementom izdelani že v delavnici, vijačenje pa je izvedeno na gradbišču.

Da je Tekla primeren program za detajliranje, priča bogata knjižnica vijakov, matic in podložk. Te lahko izdelujemo tudi sami, ali poljubno uvozimo in izvozimo nove knjižnice. Za svoj primer sem uporabil vijake kvalitete 8.8. Poleg vijačenja lahko spoje jeklenih elementov izvedemo tudi z zvari. Izbiramo med kotnimi zvari, različni tipi čelnih zvarov, čepastimi zvari in zvari ob zaobljenih robovih. Določamo njihove dimenzije, postopek oziroma način varjenja in jih klasificiramo v skupine.

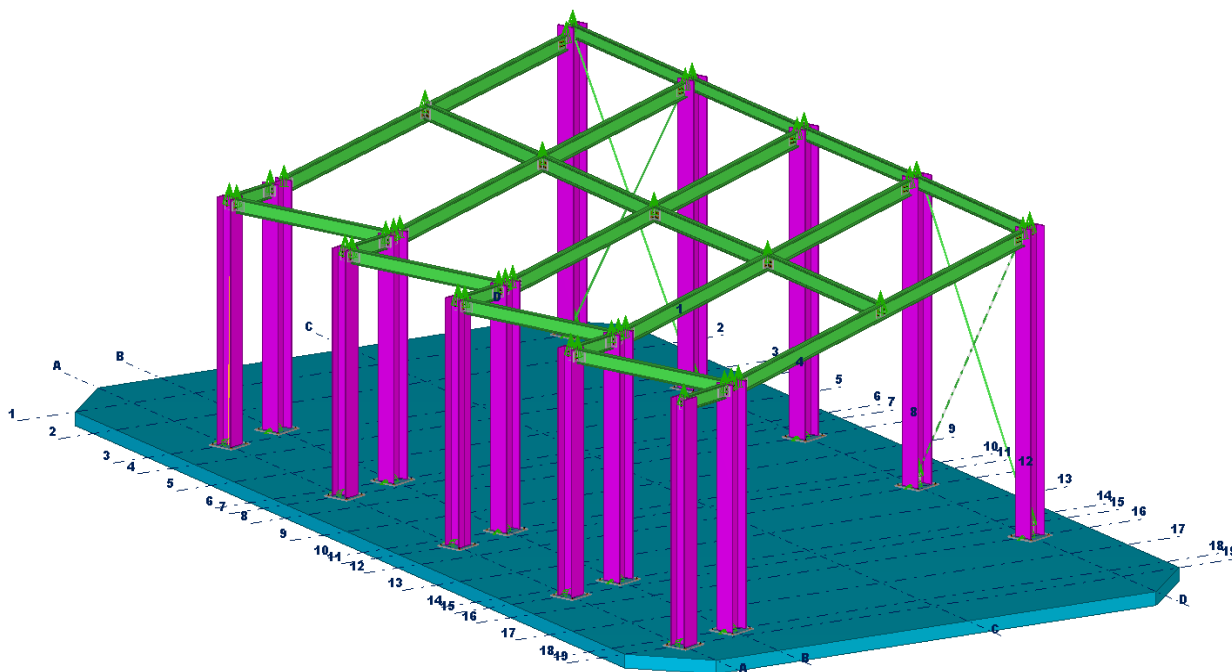


Slika 60: Katalog vijakov, matic in podložk



Slika 61: Detajl stikovanja jeklenih elementov

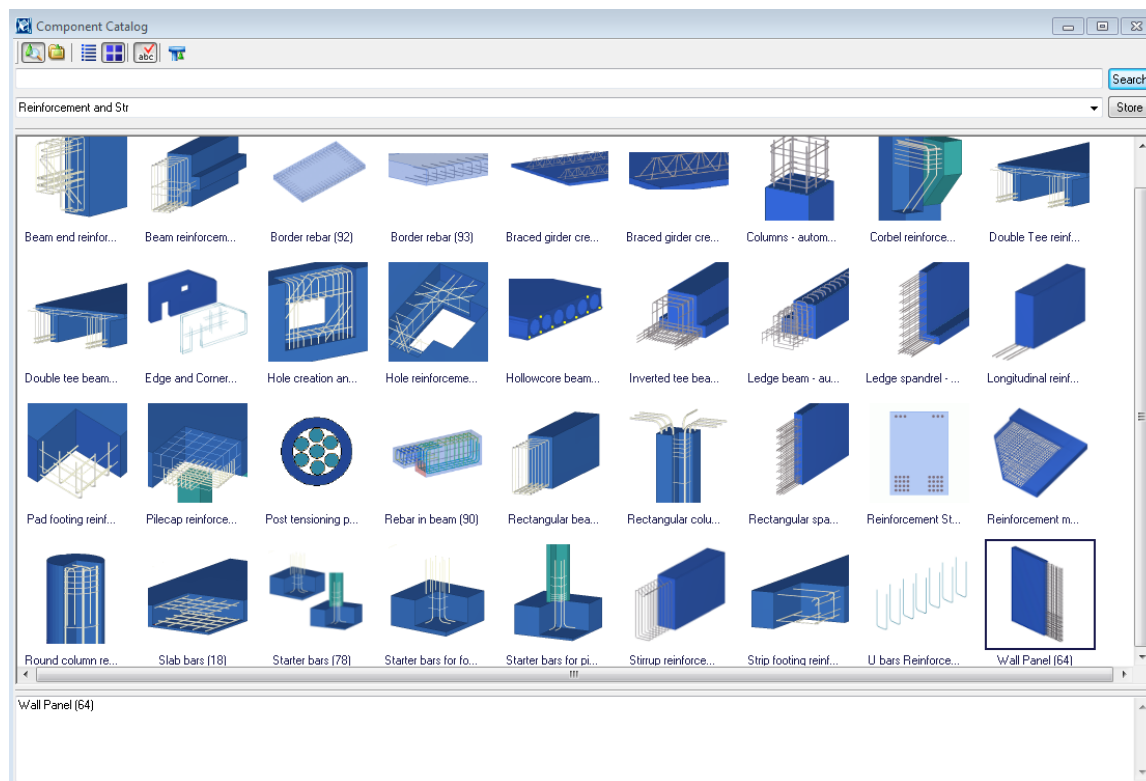
Slika 62 prikazuje del jeklenega okvirja v pritličju vključno z vsemi spoji. Za ta del sem izdelal tudi pod mrežo, ki mi je koristila zgoj za enostavnejši vnos geometrije elementov. Poleg že zgoraj navedenih detajlov, so tukaj razvidna še podložna ležišča stebrov.



Slika 62: Detajlno izdelan del jeklenega okvirja

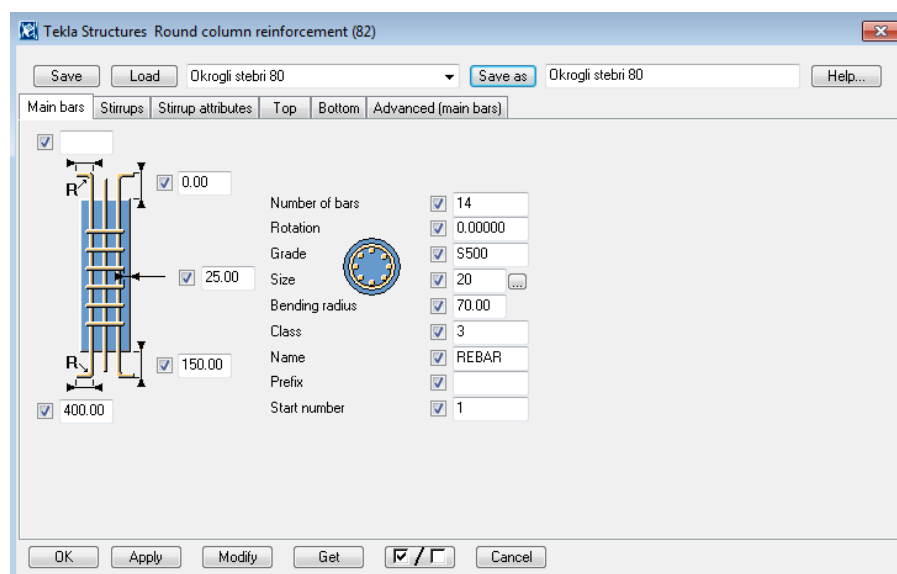
5.3 Armiranje elementov

Poleg detajliranja jeklenih konstrukcij, je v Tekli tudi armiranje betonskih konstrukcij dobro dodelano. Ravno tako je tudi tukaj priporočljivo izhajati iz knjižnice parametričnih komponent, kjer najdemo veliko že vnaprej izdelanih detajlov, ki jih ustrezno prilagodimo za svoje potrebe armiranja. Tako se v knjižnici nahajajo parametrizirane komponente za armiranje plošč, sten, pravokotnih in okroglih stebrov, nosilcev, temeljev, odprtin in raznih prefabriciranih elementov. Armiranje poteka na tak način, da si iz knjižnice izberemo komponento primerno za naš detajl in ji nato določimo parametre, kot so kvaliteta jekla, palice glavne armature in morebitne kljuge, tip in armatura stremen, mreže, krovni sloj betona, način preklapljanja armature in še nekatere druge lastnosti. Ko smo komponento parametrizirali, določimo elemente, ki jih želimo na tak način armirati in stvar je zaključena. Včasih je potrebno nekatere detajle izdelati tudi ročno, vendar o tem bo več govora v nadaljevanju. S takšnim načinom armiranja elementov privarčujemo veliko časa in imamo dober vpogled v vgrajeno armaturo vključno z vsemi popisi in izvlečki. V primeru spreminjanja geometrije elementov, se nam armatura avtomatsko prilagodi danim spremembam.



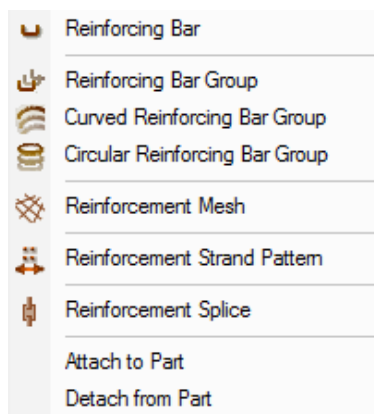
Slika 63: Knjižnica parametričnih komponent za armiranje

S pomočjo komponente za okrogle stebre sem armiral stebre v stolpnicah. Izbral sem si 14 palic vzdolžne rebraste armature $\varnothing 20$, kjer sem jih polovico sidral v ploščo v spodnjem delu stebra, zgoraj pa sem jih s pomočjo orodja za stikovanje armature povezal s palicami stebra iz višje etaže. Lahko bi izbral tudi spiralno stremensko armaturo, vendar sem se odločil za klasična kljukasta stremena $\varnothing 8$, ki sem jih na robovih v kritičnem območju dolžine 80 cm zgostil na 8 cm, v polju pa sem jih razporedil na 20 cm.



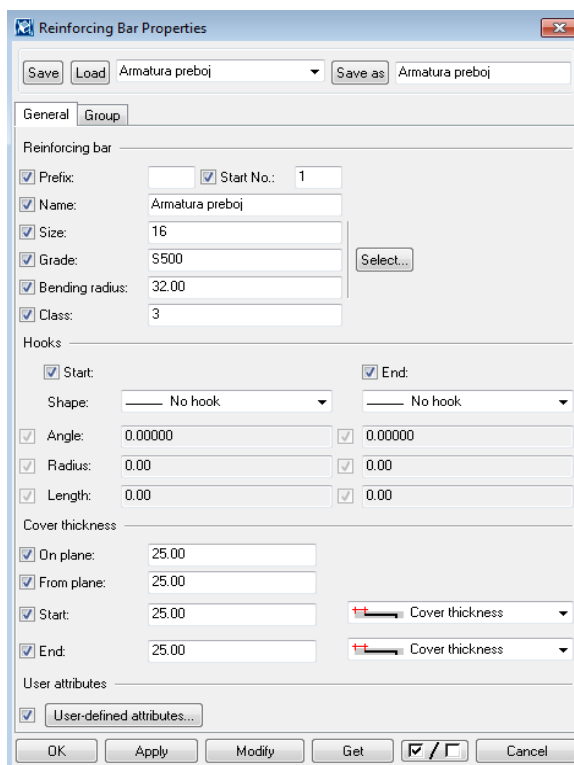
Slika 64: Določanje parametrov armiranja okroglih stebrov

Drugi pristop k armiranju elementov je tako imenovano ročno armiranje. Na tak način lahko podajamo posamezne palice ali skupine več palic, stremena, mreže, izdelujemo preklope in ostale detajle. Tako sem dodelal stikovanje armature, ki sem jo predhodno izdelal z uporabo parametrične knjižnice in določil protiprebojno armaturo na območju stebrov v plošči.



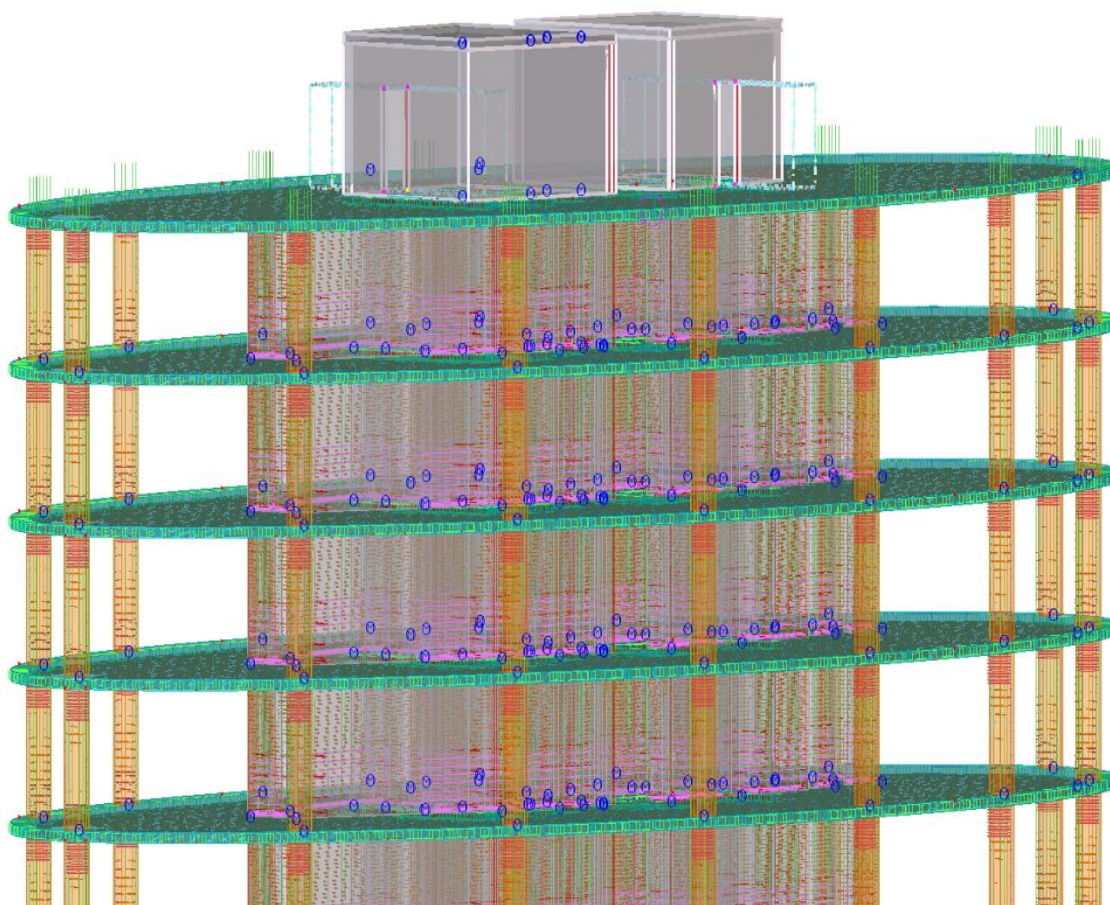
Slika 65: Podpora za armiranje

Izdelovanje armature na tak način je preprosto, a vseeno veliko bolj zamudno kot z uporabo knjižnice komponent. V splošnem postopamo tako, da definiramo karakteristike armaturnih palic oziroma mrež, določimo morebitne kljuke, razmik med palicami in krovni sloj betona, narišemo obliko palice in označimo območje, kjer želimo armaturo namestiti.

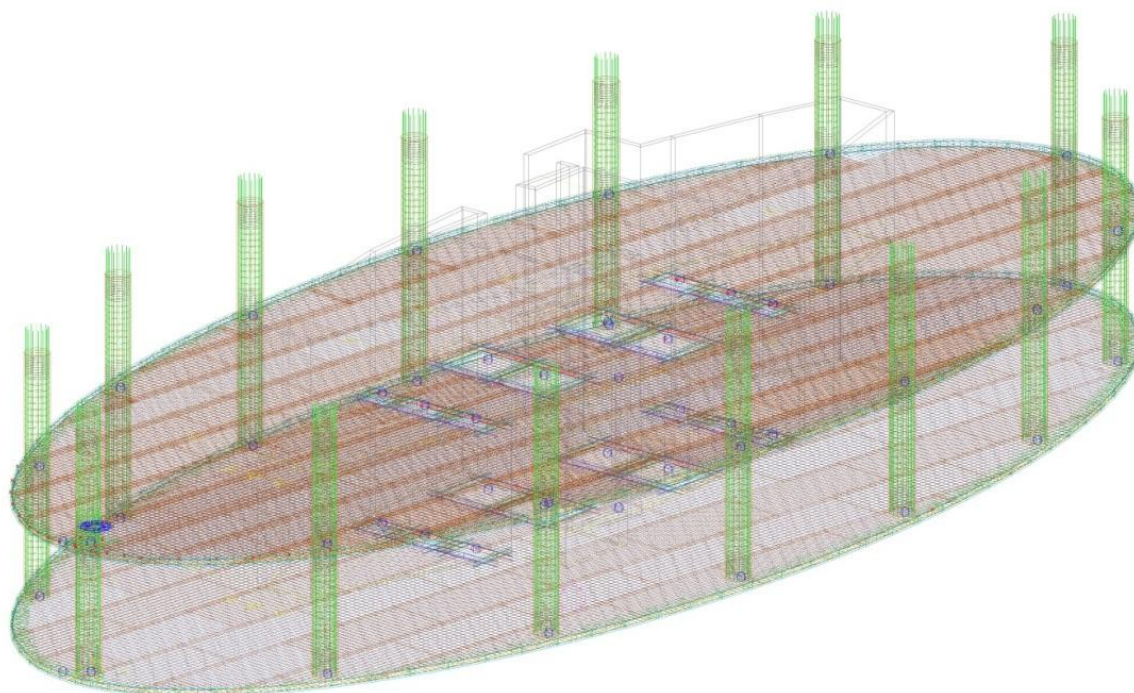


Slika 66: Določanje parametrov armaturne palice

Prednost armiranja z uporabo parametričnih komponent je tudi enostavno obvladanje sprememb. Armatura se ob spremembah velikosti in pozicij betonskih elementov samodejno prilagaja tudi v primeru ročnega armiranja. V primerih, ko si želimo spremeniti prerez armature, spremeniti pozicijo palic v prerezu ali spremeniti detajl, je spremembe veliko enostavneje in hitreje izvesti z uporabo parametričnih komponent. V tem primeru lahko parametre armiranja enostavno spreminjamo s klikom na simbole modre barve, ki so razvidni na Sliki 67. Ta predstavlja del armirane stolpnice.

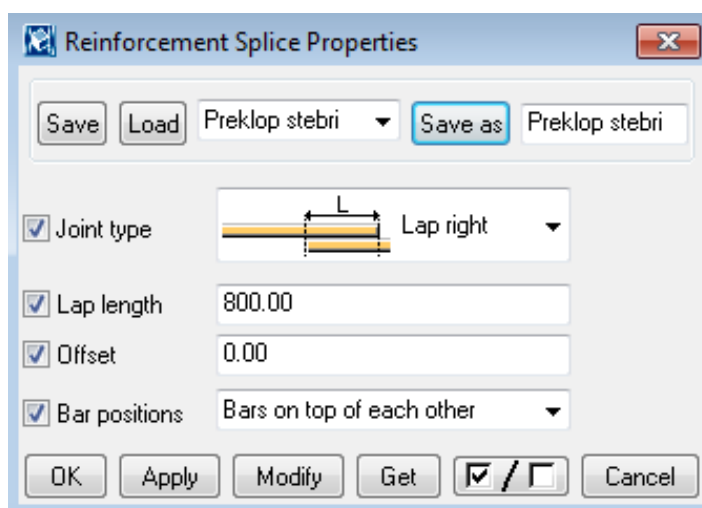


Slika 67: Armiran del stolpnice



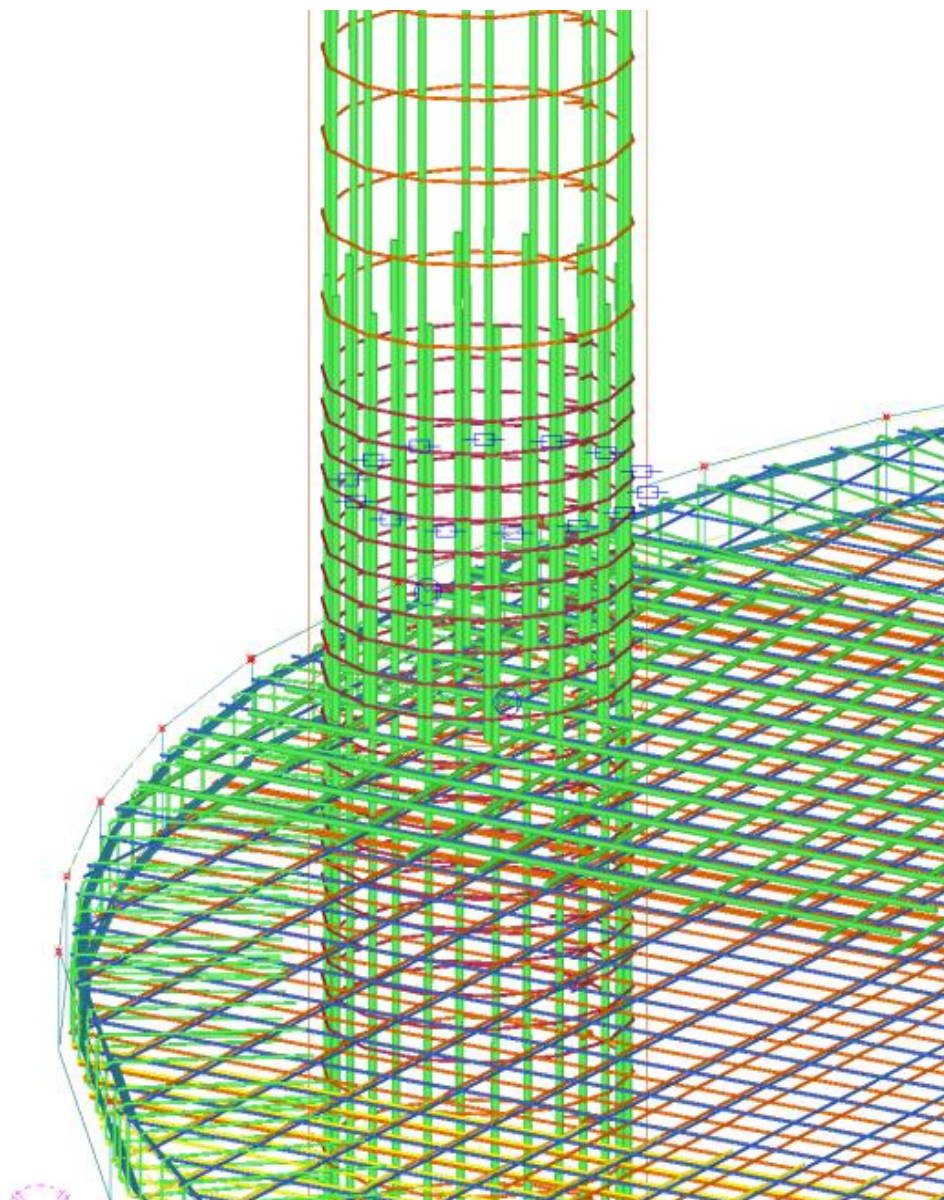
Slika 68: Armiranje etaž

Parameter pri konstruiranju mrež je tudi dolžina preklopa. Pri armiranju stebrov, pa sem moral preklope izdelati s pomočjo za to ustreznega orodja. Preklop bi lahko izdelal tudi tako, da bi pri konstruiranju vzdolžne armature v stebrih podal daljše palice, vendar v tem primeru žal ne morem prikazati prekrivanja. Preklope v stebrih sem izvedel s prekrivanjem palic, lahko pa bi se tudi odločil za preklop z varjenjem ali z uporabo »navojnih spojk« v primeru gostega armiranja.



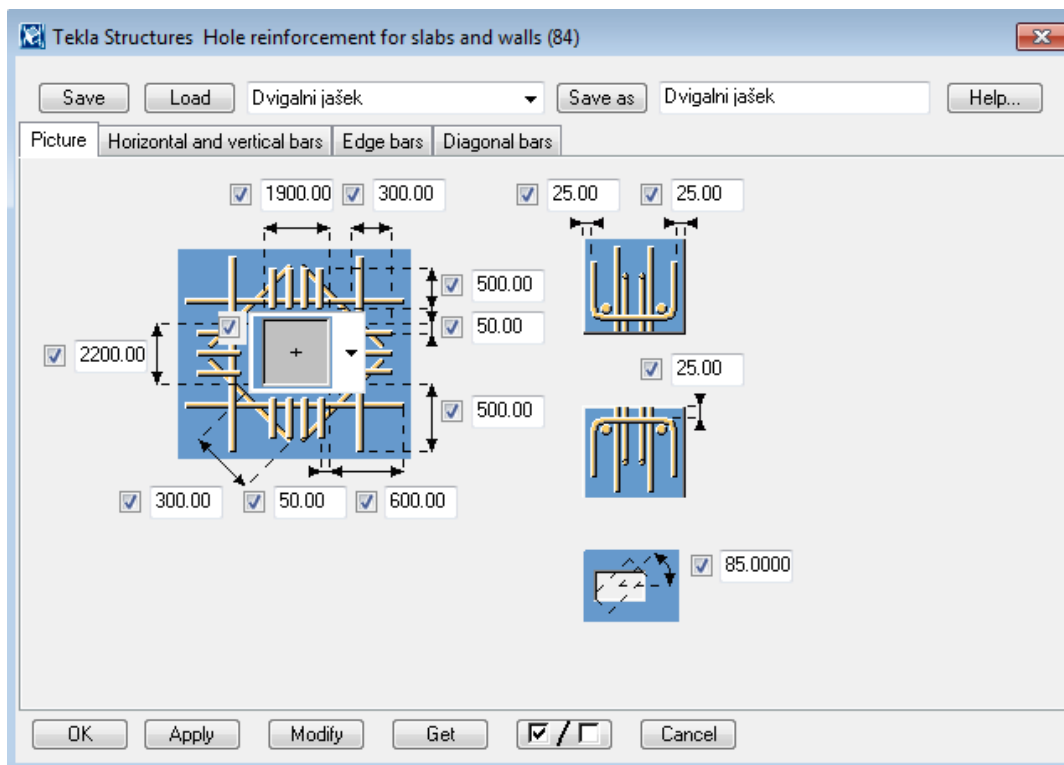
Slika 69: Orodje za izdelavo preklpov

S klikom na moder simbol na mestih prekrivanja vzdolžne armature, lahko spreminjamo parametre preklopa.



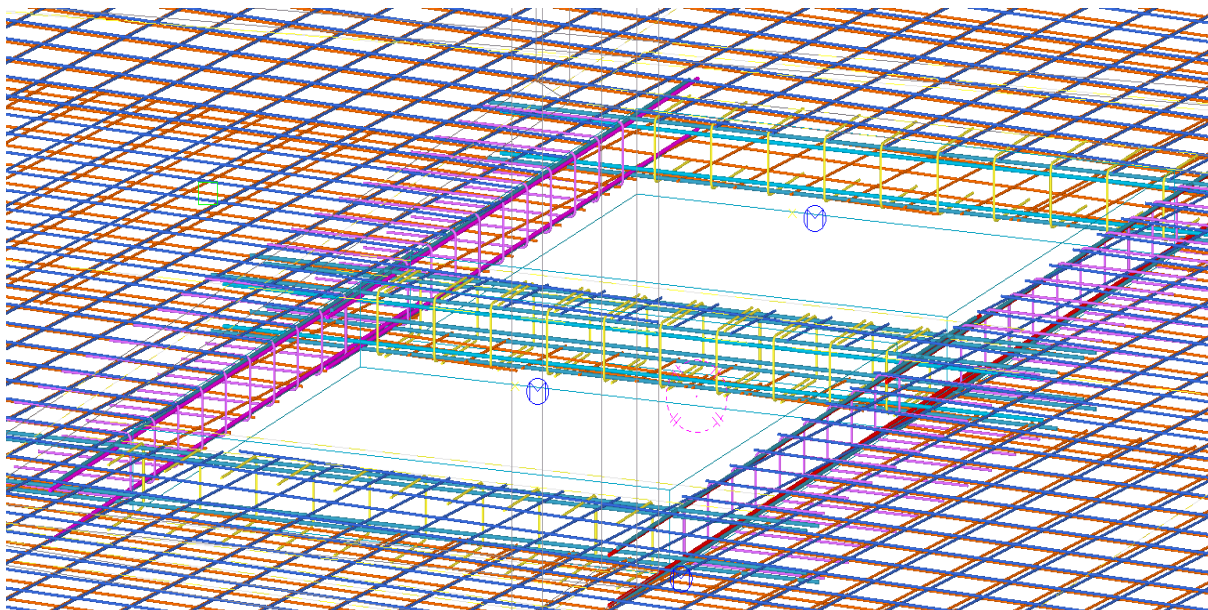
Slika 70: Detajl preklopa vzdolžne armature pri stebrih

Odprtine v ploščah in stenah lahko izdelamo in armiramo na dva načina. Prvi način je ta, da izrežemo del plošče in ga kasneje armiramo z orodjem za armiranje robnih delov. Prednost slednjega je, da lahko izdelamo odprtine poljubnih oblik. Druga možnost je, da odprtino izdelamo in hkrati armiramo s pomočjo orodja na Sliki 71. Pozitivna stran takega načina armiranja odprtin je ta, da lahko odprtine zelo enostavno spreminjamo, smo pa v tem primeru omejeni glede oblike odprtine, saj lahko izbiramo le med pravokotnimi in okroglimi oblikami. Kljub že izdelanim odprtinam, sem se kasneje odločil za slednji način, saj sem lahko tako natančneje podajal parametre armiranja odprtine.



Slika 71: Orodje za armiranje odprtin

S klikom na moder simbol lahko poljubno spreminjamo obliko odprtine, tip, število in razmik armaturnih palic, način sidranja in še nekatere ostale parametre.



Slika 72: Detajl armiranja odprtin v plošči

Vse informacije o konstrukciji imamo na enem mestu in lahko enostavno razpolagamo z njimi. Lahko izdelujemo poročila in izvlečke materialov, elementov, spojev, armature, terminskega plana in še

marsikaj drugega. Slednje lahko tudi izvozimo na primer v Excel in jih tam poljubno dodelujemo in uporabljamo.

Size	Grade	Qty.	Length(mm)	Area(m ²)	Weight(kg)
D800	C40/50	1	3440	9.6	4138.1
			3440	9.6	4138.1
Total:					4138.1 kg

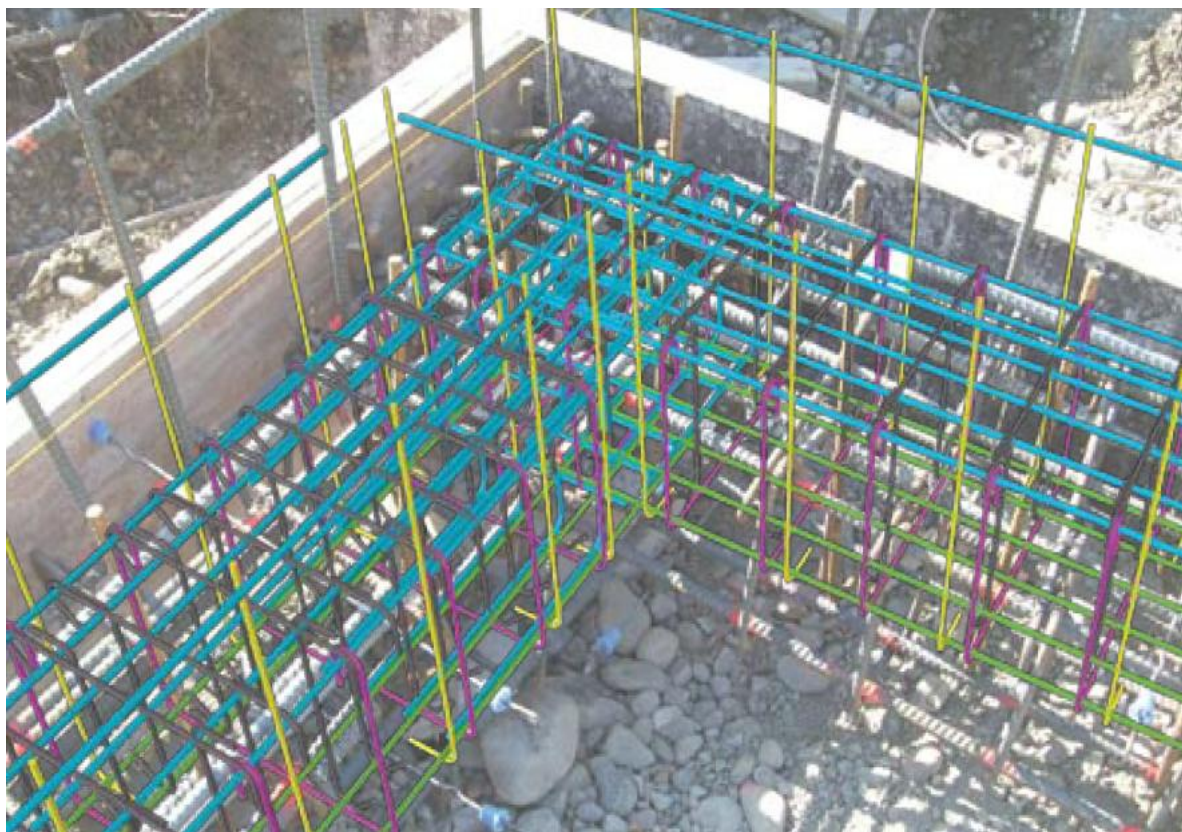
Slika 73: Poročilo izvoženo v Excel

Za izdelovanje izvlečkov armature ne potrebujemo izdelanih armaturnih načrtov, pač pa lahko te informacije pridobimo neposredno iz modela. Na Sliki 74 je prikazan enostaven izvleček količin armature v eni etaži stolpnice.

Bend type	Nr.	Pcs	D mm	L mm	dL mm	Weight sum kg	Bending measures (mm)							Obs. Rev.		
							a	b	c	d	e	u	v	x	r	
D	0 (?)	3706	20	4700		4713.9	300	4200	300							100
D	1	96	8	1150		43.9	500	190	500							32
D	2	36	8	750		10.8	300	190	300							32
A	3	8	12	2660		18.9	2660									
A	4	16	12	1830		26.0	1830									
A	5	8	12	2560		18.2	2560									
A	6	8	12	1660		11.8	1660									
A	7	8	12	1430		10.2	1430									
SUMMARY			Total			4854 kg										

Slika 74: Preprost izvleček armature v etaži

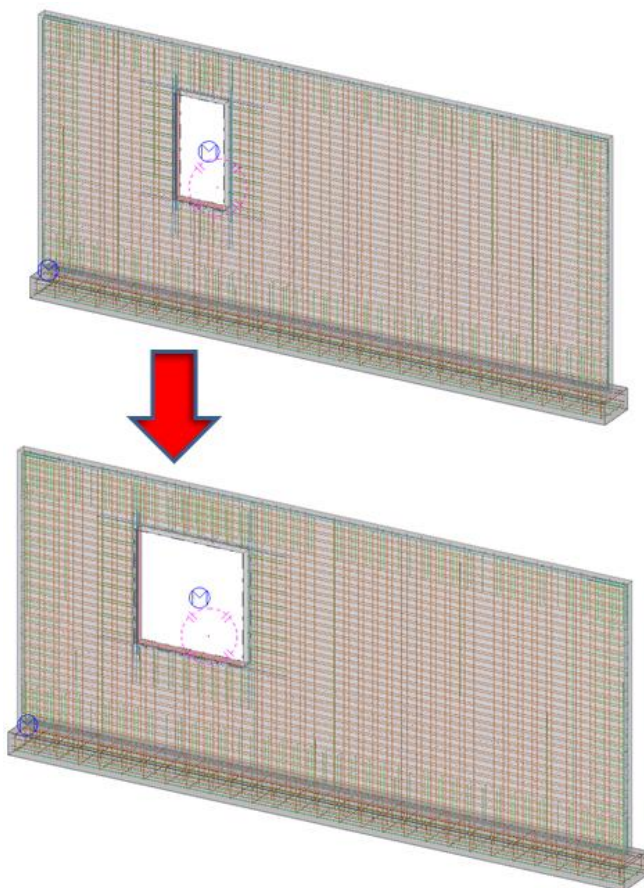
V nadaljevanju prikazujem primer armiranja pasovnega temelja, izdelanega v Tekli in prenesenega na teren. Na tak način lahko enostavno izvedemo kontrolo vgrajene armature.



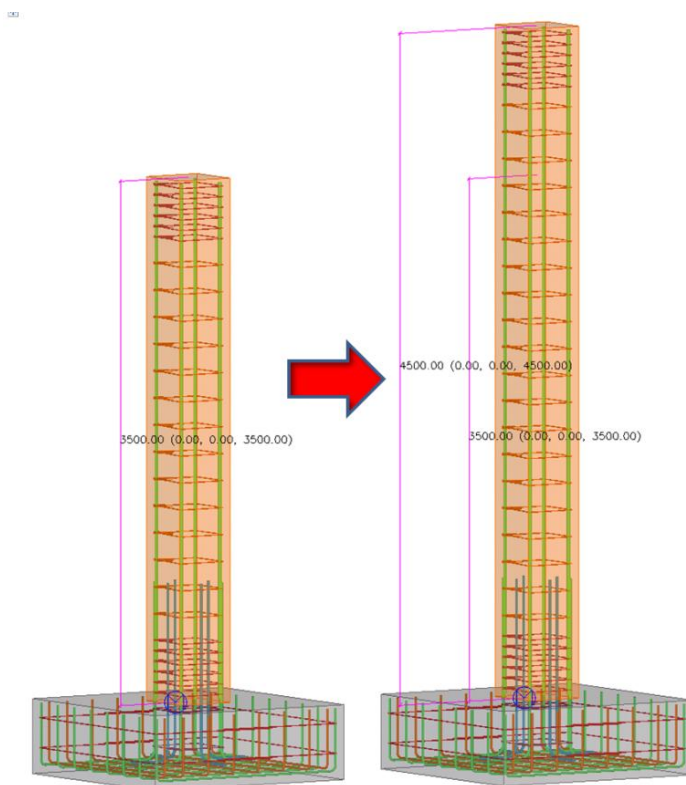
Slika 75: Armaturni načrt temelja prenesen v naravo (Tekla, 2011)

5.4 Obvladanje sprememb armiranega elementa

Pri projektih pride žal velikokrat do sprememb v fazi, ko je konstrukcija že detajlno obdelana in armirana. Takrat projektanti veliko časa potrebujejo za neproduktivna dela, kot je izris posodobitev vključno s ponovnim detajlnim armiranjem. V Tekli se nam posodobitve armature v primeru spremembe geometrije avtomatsko zgenerirajo. V določenih primerih je seveda potrebnega tudi nekaj ročnega dela, vendar je v splošnem zadeva zelo enostavno in avtomatizirano izvedljiva. Če pogledamo na primeru armiranobetonskega nosilca, se armatura prilagodi spremembam oblike in velikosti prereza, dolžini elementa, morebitnim nastalim odprtina v nosilcu, dodatnem spojenem elementu in tako naprej. V nadaljevanju sem preizkusil, koliko dela mi v detajlno izdelanem modelu predstavlja sprememba velikosti odprtine v steni. V primerih ročnega 2D armiranja s CAD orodji, bi to pomenilo ponovno risanje položaja odprtine ter ročno armiranje s posameznimi armaturnimi palicami. Z uporabljenim programom sem spremembo izvedel preprosto z enim klikom. Spremenil sem zgolj dimenzijo odprtine in nova armatura se je avtomatsko zgenerirala. Seveda se je sprememba izvedla tudi na vseh armaturnih načrtih. Še bolj enostavno sem izvedel spremembo velikosti stebra, kjer se je armatura avtomatsko prilagodila novim dimenzijam.



Slika 76: Sprememba odprtine



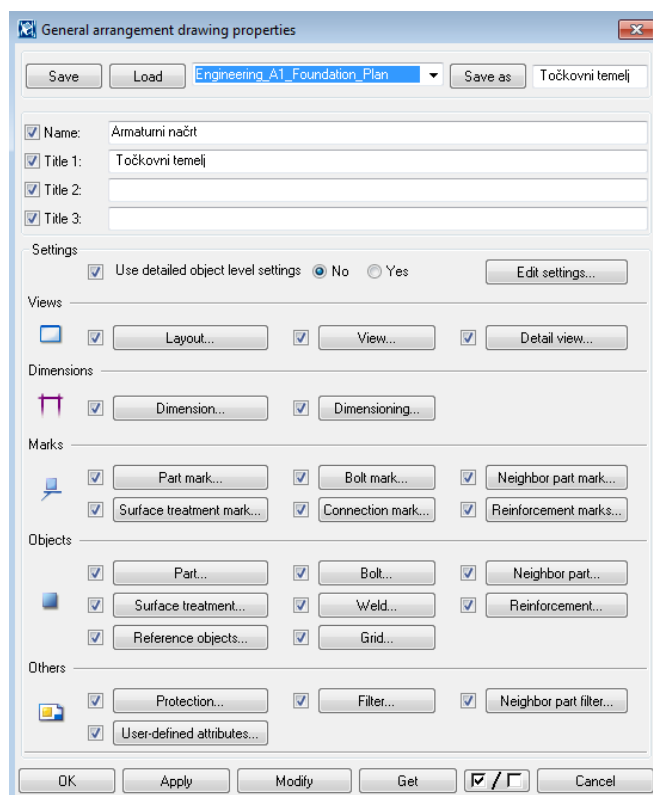
Slika 77: Sprememba velikosti stebra

5.5 Izdelava načrtov

Načrti, izdelani s programsko opremo Tekla Structures, so sestavljeni iz dveh osnovnih elementov, in sicer iz:

- Oblike načrta, ki določa stil risbe in tabel, ki prikazujejo elemente, količine materiala, morebitne opombe ter glave načrta.
- Raznih prereзов in tlorisov zgradbe, prereзов elementov in detajlnih pogledov.

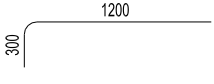
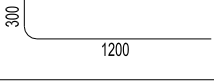
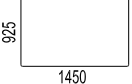
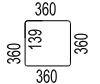
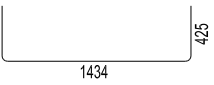
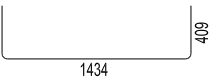
Informacijski model zgradbe je edini vir informacij za načrte, kar pomeni, da so slednji vedno usklajeni z modelom, tudi v primeru, ko se ta spreminja. Pred vsakim izdelovanjem načrtov moramo zagnati hiter postopek označevanja elementov, ki vsak element in detajl ustrezno označi. Poleg geometrijskih karakteristik se usklajujejo tudi ostale lastnosti, kot na primer material, oznaka elementa, zvari, spoji, zaznamki in ostali elementi, ki so na risbah označeni s posebno oznako. Do usklajevanja pride vsakič, ko izvedemo označevanje elementov modela. V primeru, da načrt ni usklajen z modelom, smo na to tudi opozorjeni s komentarjem na seznamu načrtov. Elementom na načrtih lahko spreminjamo pogled (žični, delno prosojen, polen element), ne moremo pa jih brisati ali spreminjati njihovih geometrijskih lastnosti in lokacije, saj bi to pomenilo neusklajenost z modelom. Ker informacijski model vsebuje ogromno informacij, lahko sami določimo, katere želimo vključiti v načrte.



Slika 78: Nastavitev splošnih lastnosti načrta

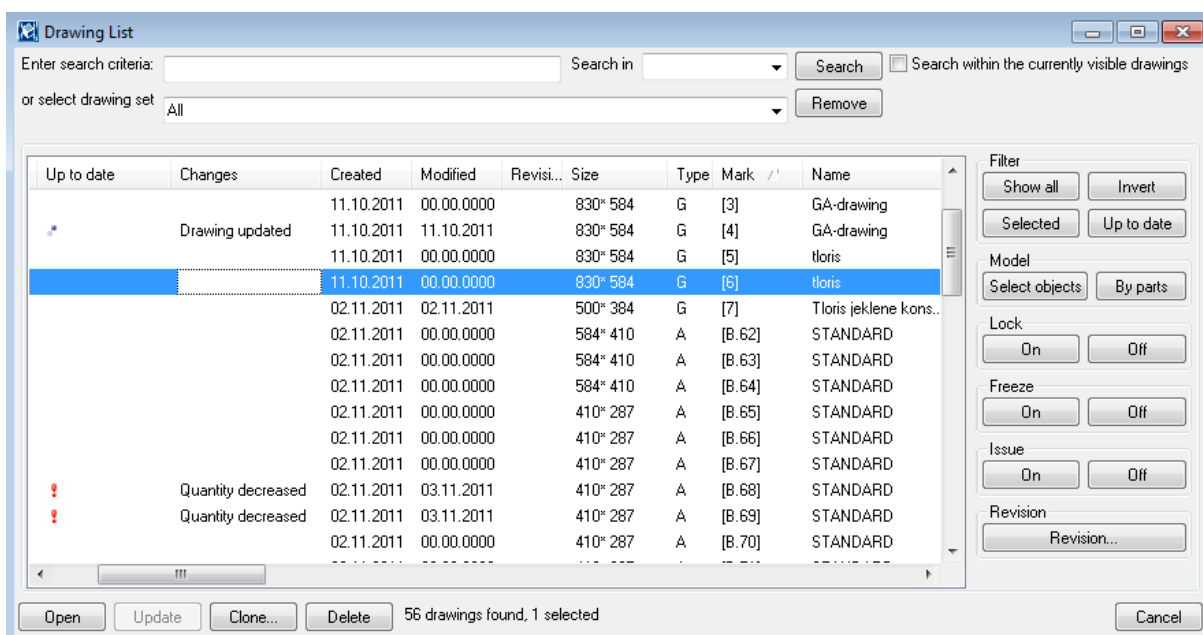
Zaradi tako velikega števila informacij, imamo v Tekli že predhodno izdelane tipe podlog načrtov, ki imajo točno definirane parametre in bodo v načrtu prikazani. Te podloge imajo različno definirane glave načrtov, različna merila, različne izvlečke in popise materialov. Izhajamo iz podlog načrtov, kot so načrt posameznega elementa brez detajlov, splošni načrt celotne ali le dela konstrukcije, načrt montažnih elementov, delavniški in armaturni načrt ter še nekaterih drugih podlog. Poleg tega lahko znotraj podlog načrtov definiramo natančnost prikaza, kjer lahko na primer pri armaturnem načrtu izvleček armature prikažemo le z informacijo o tipu in številu palic, ali pa natančnejši izvleček, kot je prikazan na Sliki 79. Dimenzije točkovnega temelja sem kasneje povečal za 30 %. Na tem mestu bom ponovno omenil prednost takega načina projektiranja, saj se mi je poleg prilagojene armature na modelu, ta posodobila tudi na armaturnem načrtu, vključno z izvlečkom. Izdelal sem več tipov načrtov, ki se nahajajo v prilogah diplomskega dela.

IZVLEČEK ARMATURE

Pozicija	Ø	Št. palic	Material	Dolžina	Kg/p	Teža	Oblika palice
9	20	4	B500C	1440	3.55	14.2	
10	20	4	B500B	1440	3.55	14.2	
12	8	4	B500B	3260	1.29	5.2	
14	8	2	B500C	1630	0.64	1.3	
15	16	8	B500B	2210	3.49	27.9	
16	16	8	B500B	2180	3.44	27.5	
Total:						90.3	

Slika 79: Izvleček armature točkovnega temelja

Načrte imamo zbrane na seznamu, kjer jih lahko upravljamo, posodabljam, dopolnjujemo, revidiramo, zamrzujemo, zaklenemo ali jih med seboj združujemo. Ker imam v mojem primeru veliko število risb, jih zaradi boljše preglednosti lahko razvrstim glede na različne kriterije. Načrte lahko tudi izvozim s pomočjo formata DWG in DXF. Ker ima Tekla razmeroma zakomplicirano označevanje armature v načrtih, sem slednje izvozil v AutoCAD, kjer sem oznake ročno popravil.

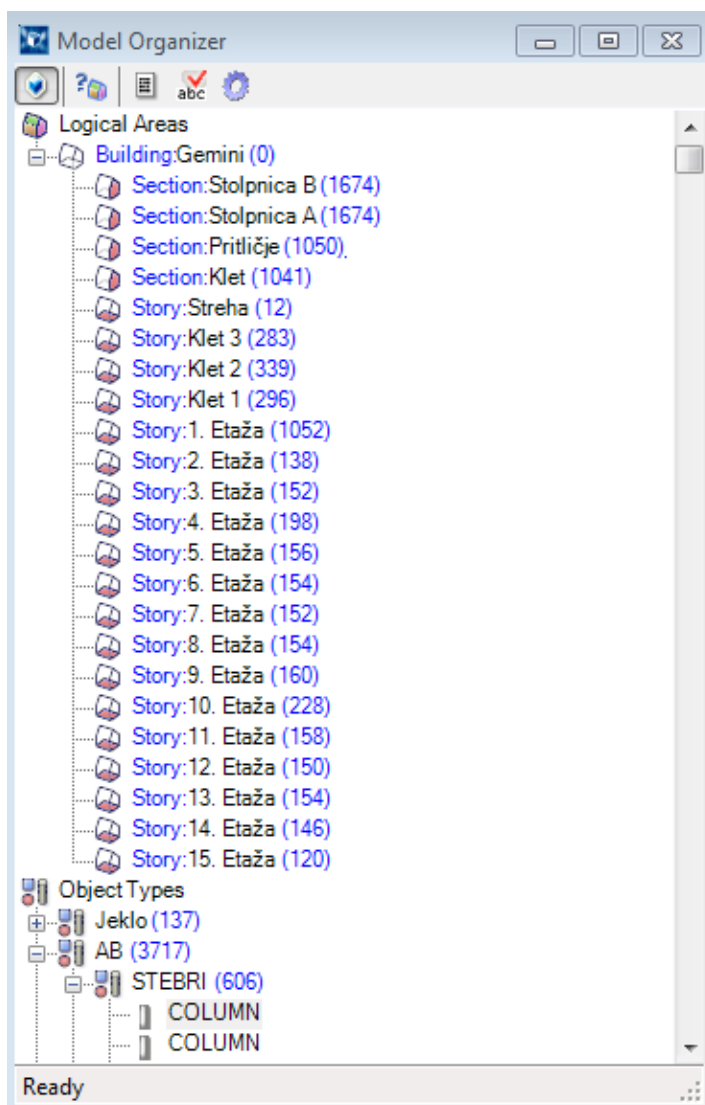


Slika 80: Seznam načrtov

6 TERMINSKI PLAN

Informacijski model zgradbe sem na koncu nadgradil z informacijo o časovnem poteku gradnje. Za ta korak sem potreboval natančno izdelan model, vključno z armaturo in ostalimi detajli. Le tako je namreč lahko program poznal dejanske količine vgrajenega materiala.

Preden začnemo z izdelavo terminskega plana, je smiselno model urediti z orodjem »Model Organizer«. S pomočjo tega orodja lahko še tako velik model razstavimo na dele in elemente, ki so med seboj smiselno povezani in tako povečamo preglednost obravnavanega odseka. Na tak način sem objekt razdelil na sektorje in etaže, poleg tega pa sem jih tudi klasificiral glede na vrsto elementa. V odvisnosti od materiala sem elemente grupiral na stebre, stene, plošče in nosilce. S klikom na skupino elementov se nam ti na modelu prikažejo, na voljo pa so nam tudi mnogi podatki o njih.



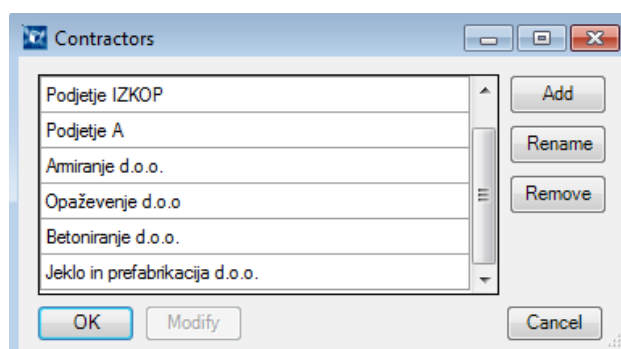
Slika 81: Smiselna razporeditev elementov

Orodje »Task Manager« nam v informacijski 3D model stavbe omogoča vključitev časovne komponente na način, da dobimo pregleden terminski plan gradnje. Orodje je uporabno predvsem za izvajalce, podizvajalce in vodje projektov. S tako integriranim terminskim planom pa ima tudi investitor celovit pregled nad izvajanjem projekta. Z njim lahko načrtujemo in upravljamo gradnjo posameznih delov, ki se navezujejo na naš informacijski model. To pomeni, da se izdelovanje AB stebra v informacijskem modelu ne konča z detajliranjem armature, pač pa se na njem beležijo tudi vsi podatki tekom gradnje in ravno tako med samo uporabo objekta. Na podlagi terminskega plana lahko prilagajamo poglede modela glede na že izvedena dela, oziroma izdelamo celovito 4D simulacijo poteka gradnje. Opravila za terminski plan lahko enostavno izdelamo v Tekli, ali pa jih uvozimo iz različnih programov, kot na primer Microsoft Office Project ali Primavera P6 in jih nato v Tekli dodelamo.

6.1 Postopek priprave terminskega plana

Gradbena dela med seboj terminološko in smiselno razporedimo v povezano celoto. Nato definiramo normo glede na vrsto dela in naziv izvajalca, ki je zadolžen za določeno delo. V terminskem planu lahko spremljamo, primerjamo in beležimo razlike med terminsko načrtovan in dejansko izvedenimi dogodki, kot so dobava potrebnega materiala za gradnjo določenega segmenta, priprava skupin na izvedbo, gradnja določenega segmenta ter kontrola segmenta med in po gradnji.

Ko so znani podizvajalci, ki bodo sodelovali pri gradnji objekta, jih vključimo v terminski plan, in tako se lahko vnaprej pripravijo in organizirajo za določeno delo. Seveda lahko na enak način organiziramo tudi posamezne ekipe znotraj podjetja.

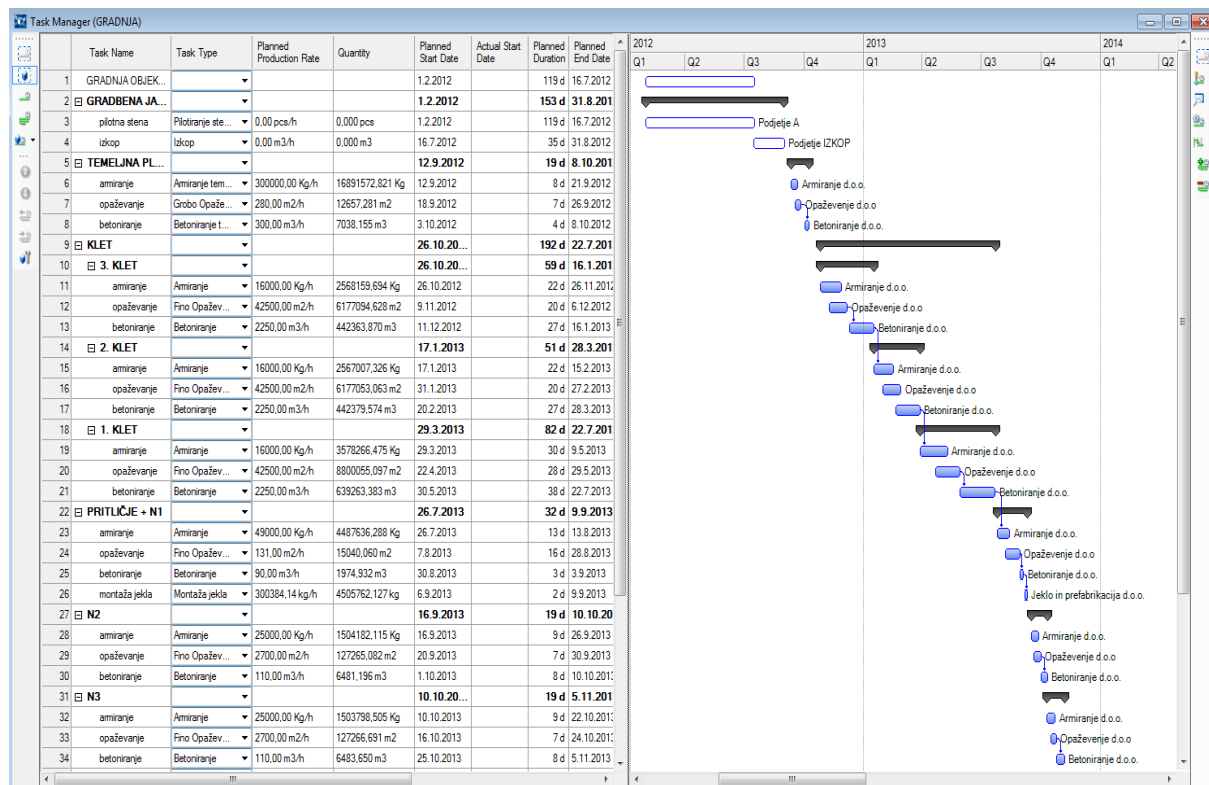


Slika 82: Seznam izvajalcev vključenih v terminski plan

Ker sem želel zgolj prikazati funkcionalnost izdelave terminskega plana v Tekli, se nisem spuščal v detajle in zato sem v terminski plan vključil zgolj večja dela, ki se navezujejo na konstrukcijo. Pri izdelavi terminskega plana sem predpostavil, da bi se gradnja objekta pričela februarja leta 2012.

Gradnja se začne z izvedbo pilotne stene in nadaljuje z izkopom gradbene jame. Podatki za ti dve dejavnosti so v razpredelnici izpuščeni, saj se konkretno ne nanašajo na noben del modela. Upošteval sem vgradnjo 4200 AB pilotov in izkop gradbene jame 80.000 m^3 , kar naj bi z izbrano produktivnostjo in delom 8 ur dnevno ob delavnikih izvedli v 153 delavnih dneh. Na gantogramu so opravila, ki niso povezana z elementi modela, ponazorjena s praznim okvirčkom, opravila v povezavi z modelom pa s polnim okvirčkom.

Če vzamem kot primer izdelavo temeljne plošče, sem dela razdelil na armiranje, izdelovanje opaža in betoniranje. Za izvajalce, ki opravljajo navedene aktivnosti, sem določil normo oziroma pričakovano produktivnost, kot je na primer količina vgrajenega betona na uro ali opažena površina na uro. Ker je določene elemente lažje opaževati, armirati in betonirati kot druge, sem upošteval dve različni postavki. Ko sem imel definirane aktivnosti, sem jim pripisal elemente modela (v mojem primeru temeljno ploščo) in na podlagi znanih količin, kot so prostornina, površina, masa in procent armiranja zajetih elementov, je program podal čas potreben za izvedbo opravila.



Slika 83: Terminski plan gradnje

Podobno sem vnašal ostale dejavnosti, ki sem jih med seboj smiselno povezal. Na primer betoniranje odseka plošče se lahko izvede šele po opažanju in armiranju tega, zato sem upošteval določene odvisnosti in razmerja med aktivnostmi. V mojem primeru se izvedba objekta še ni začela, sicer pa bi lahko rumeni okvirčki na gantogramu ponazarjali dejanski potek opravil in bi tako imel lep grafični pregled med planiranim in dejanskim stanjem.

Z izdelavo terminskega plana vsak element informacijskega modela zgradbe dodatno obogatimo z informacijo o časovni komponenti. Na tak način imajo v delavnici na avtomatiziran način na voljo informacijo, kdaj mora biti element izdelan, logistika ima informacijo, kdaj mora element dostaviti na gradbišče, izvajalci vedo, kdaj morajo element vgraditi, na koncu pa še nadzorni inženir zaključi časovno informacijo z vpisom datuma pregleda. Vse te informacije vsebuje vsak izmed elementov obdelanega modela.

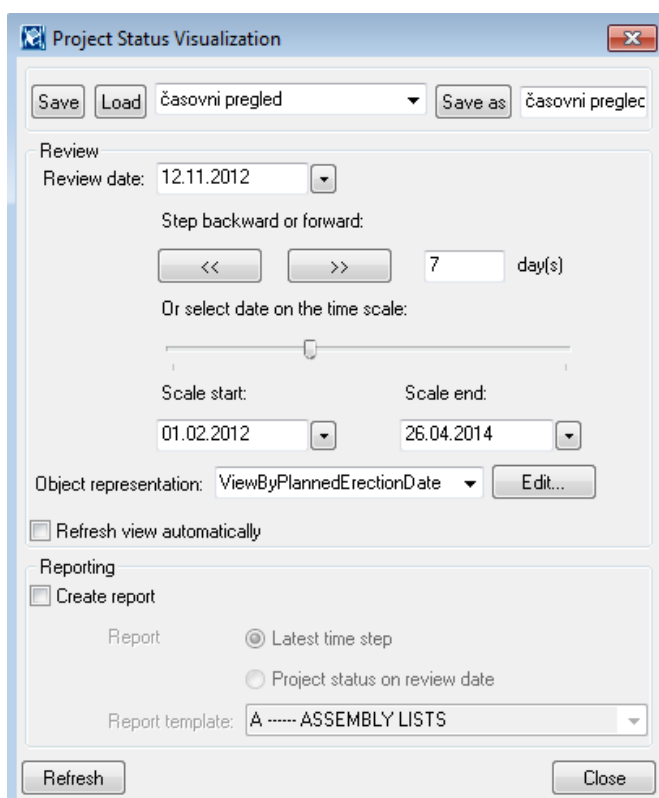
	Scheduled	Actual	Status
Plans	<input checked="" type="checkbox"/> 26.06.2011	<input checked="" type="checkbox"/> 26.06.2011	<input checked="" type="checkbox"/> Completed
Fabrication	<input checked="" type="checkbox"/> 15.09.2011	<input checked="" type="checkbox"/> 28.09.2011	<input checked="" type="checkbox"/> Completed, SI
Shipment	<input checked="" type="checkbox"/> 19.10.2011	<input checked="" type="checkbox"/> 01.11.2011	<input checked="" type="checkbox"/> 76-35-12-9
Erection	<input checked="" type="checkbox"/> 21.10.2011	<input checked="" type="checkbox"/> 02.11.2011	<input checked="" type="checkbox"/> Erected

Erection Comment: Zaradi zastoja v proizvodnji, vgrajeno z zamudo.

Slika 84: Terminske informacije o montažnem stebri

6.2 Simulacija poteka gradnje

Z izdelanim terminskim planom lahko enostavno izdelamo simulacijo poteka gradnje. Glavna prednost takega vizuelnega pregleda je preglednost nad planiranjem, ki nam izboljša organizacijo izvajanja gradnje. Simulacijo izvajamo znotraj željenih časovnih okvirjev. Med različnimi načini prikaza modela, je najbolj učinkovit ta, ki nam elemente modela, ki so na primer po terminskem planu na vrsti za izvedbo čez dva tedna, obarva v rumeno in tako imamo čas, da organiziramo ekipe. Že izdelani elementi se obarvajo v sivo, elementi v gradnji v zeleno, elementi, ki zamujajo s prihodom na gradbišče pa v rdeče. Lahko si namreč poljubno nastavimo podobne kriterije, ki bi jih lahko kasneje uporabljali tudi na ostalih primerih.



Slika 85: Orodje za vizualizacijo gradnje

7 ZAKLUČEK

Informacijski model zgradbe je kot enciklopedija znanj o grajeni zgradbi, ki vsebuje splošne informacije o poteku gradnje, kot tudi rešitve zahtevnih detajlov. Centraliziran model omogoča boljše komuniciranje med projektanti, kar pomeni večjo produktivnost in zmanjšanje napak, tako v fazi načrtovanja, kot tudi v fazi izvedbe. Zavedati se moramo, da kljub trenutnemu nezavidljivemu stanju slovenskega gradbeništva, gre pri tem za eno najpomembnejših gospodarskih panog. Na slovenski trg v zadnjih letih prihaja veliko tujih gradbenih podjetij. Da bi ohranili konkurenčnost slovenskega gradbeništva na domačem kot tudi na tujem trgu, je med drugim nujno uvajanje novih načinov na področju gradbene informatike. Tukaj je bilo v zadnjih letih že veliko narejenega, seveda pa ostaja še veliko stvari, ki jih je potrebno dodelati.

Lahko rečemo, da je zgradba trajen in drag poseg v prostor, poleg tega pa gradbeni projekti postajajo vedno bolj zahtevni, kar privede do zaključka, da je smiselno izdelati kakovostno projektno dokumentacijo. Informacijsko modeliranje zgradb prav gotovo ponuja napredek na tem področju, kar pa zahteva določena nova znanja in organiziranost podjetji. Potrebno se je zavedati dejstva, da pomanjkanje znanj o novostih kot je BIM, podjetjem znižuje konkurenčnost na trgu in povzroča vsakodnevne zaplete pri izvedbi projektov.

Glavni cilj diplomske naloge je bil spoznati trenutno uporabnost orodja Tekla Structures in prikazati način izdelave informacijskega modela zgradbe. Ugotovil sem, da je Tekla Structures prav gotovo eden izmed najhitreje razvijajočih se programov na področju modeliranja konstrukcij, ki deluje na osnovi matematičnega modela. Modeliranje se je zdelo preprosto, izdelan 3D model pa predstavlja enovito bazo podatkov, kar pomeni celovit pregled informacij na enem mestu. Tekom izdelave diplomskega dela sem ugotovil, da program ponuja mnogo več kot le modeliranje konstrukcij. Ta program, ki je kompatibilen z mnogimi programi na področju gradbeništva, nam omogoča avtomatsko preverjanje kolizij, avtomatsko izdelavo delavniških detajlov, neposredno povezavo s CNC napravami ter celotno revizijo projekta. Poleg tega pa nam program služi tudi kot orodje za celovit nadzor in upravljanje samega procesa gradnje. Tekla torej obsega zelo širok spekter področji, vendar sem se v diplomski nalogi posvetil predvsem področju, ki ga opravlja gradbeni inženir.

Tekom izdelave modela poslovno-nakupovalnega centra Gemini sem spoznal pristope in koncepte delovanja informacijskih modelov zgradb. Naučil sem se novega načina modeliranja konstrukcij in preizkusili postopek konstruiranja s parametričnim BIM modelirnikom. Ugotovil sem, da gre za precej avtomatiziran postopek, ki v osnovi poenostavi in pospeši proces projektiranja konstrukcij. Povratne informacije in komuniciranje s programom SAP2000 bi lahko ocenil kot solidne, nikakor pa ne odlične. Izvoz računskega modela v program za analizo, ki je potekal preko vmesnika SAP2000 API je

deloval zadovoljivo. Prenos geometrije, obtežb, načinov podpiranja elementov, materialnih informacij jeklenih elementov je bil brezhiben, kar pa ne morem trditi za armirano betonske elemente. Pri slednjih so se pojavile težave pri uvozu armature v program za analizo, poleg tega pa v Tekli po opravljeni statični analizi v SAP-u nisem prejel povratnih informacijah o notranjih silah. Vzrok za to lahko deloma pripišem nekoliko bolj zapleteni geometriji, vsekakor pa so na področju interoperabilnosti potrebne dodatne izboljšave. Pri tem ne smemo pozabiti, da so tehnologije izmenjevanja podatkov v razvoju. Na vprašanje, kdaj bodo le-te dosegle »zadovoljiv« nivo za uporabo, pa je zaenkrat težko odgovoriti. Zavedati se moramo, da samo čakanje na izboljšavo orodji, s katerimi bomo lahko uresničili vse svoje ideje in pričakovanja ni dovolj. Naše zamisli se iz dneva v dan večajo in spreminjajo, tem pa more slediti tudi razvoj programske opreme. Ta naj bo v koraku s časom, funkcionalna in uporabniku prijazna.

V diplomskem delu sem natančneje opisal uporabo BIM modela na strokovnem individualnem delu. Pri tem pa se moramo zavedati, da pravi učinek takega projektiranja dosežemo šele takrat, ko BIM uporabljajo vsi udeleženci v projektu. S tem želim povedati, da je bistvena prednost informacijskega modeliranja zgradb v boljšem, integriranem sodelovanju med podjetji, ki temelji na sočasnem projektiranju in usklajevanju sistemov. To nam omogoča centraliziran model na strežniku, do katerega dostopajo projektanti z različnimi pripomočki iz različnih podjetij in lokacij po vsem svetu. Poudariti je potrebno boljšo koordinacijo med strokami, saj si lahko na osnovi BIM modela lažje izmenjujemo vedno usklajeno projektno dokumentacijo, in to v vseh fazah gradbenega projekta. BIM modeli torej omogočajo enostavno, pregledno, učinkovito, koordinirano in kakovostno projektiranje, kar so tudi njegove najpomembnejše prednosti in prav zaradi teh prednosti verjamem, da se bo njihov razvoj nadaljeval tudi v prihodnosti.

VIRI

Antonsson, E. Vitruvius Redux. Transformation Design & Reseach blog, objavljeno 17. 11. 2010.
<http://thred.org/tag/bim/> (Pridobljeno 2. 10. 2011.)

Bernhardt, K. England Calling . BIM Discussions, objavljeno 24. 10. 2007.
http://inside-the-system.typepad.com/my_weblog/bim_discussions/ (Pridobljeno 23. 9. 2011.)

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

Cerovšek, T. 2010a. Konstruiranje s parametričnimi modelirniki BIM. V: Lopatič, J., Markelj, V. in Saje, F. (ur.). V: Zbornik 32. Zborovanje gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, hotel Golf, 7. – 8. Oktober 2010. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev: str. 233-240.

Cerovšek, T. 2010b. V tujini investitorji že uporabljajo BIM. Finance 026/2010b, objavljeno 9.2.2010.
<http://www.finance.si/270866/Intervju-V-tujini-investitorji-%C5%BEE-zahtevajo-uporabo-BIM>
(Pridobljeno 11. 9. 2011.)

CSi Computers&Structures, Inc. Tekla Structures / SAP2000. 2011.
<http://www.csiberkeley.com/sap2000/tekla-structures> (Pridobljeno 29. 9. 2011.)

Juhola, V. 2011. Supreme 7 trendsets of BIM and construction. BIMSight Blog, objavljeno 21.7.2011.
<http://www.bimsightblog.com/supreme-7-trendsets-of-bim-and-construction/> (Pridobljeno 7.10.2011.)

Khemlani, L. Tekla Structures 16, AECbytes Product Review, objavljeno 17. 6. 2010.
<http://www.aecbytes.com/review/2010/TeklaStructures16.html> (Pridobljeno 10. 10. 2011.)

Khemlani, L. The CIS/2 Format: Another AEC Interoperability Standard, objavljeno 27. 7. 2005.
<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2005/CIS2format.html> (Pridobljeno 6. 11. 2011.)

Kraba Flis, B. 2011. V: Glasilo inženirske zbornice slovenije 14, 69: 4-6.

Penko, M., Schrott, M., Markovič, J., Lah, M., Lagonder T. 2010. Optimizacija gradnje v podjetju SCT d.d. V: Lopatič, J., Markelj, V. in Saje, F. (ur.). Zbornik 32. Zborovanje gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, hotel Golf, 7.–8. Oktober 2010. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev: str. 241-248

Tekla, Tekla Structures 16.0. 2011.

www.tekla.com (Pridobljeno 26.9 2011.)

Wang, F. Tekla Structures Model and MS SQL Serverf Synchronization. 2011.

<http://frank-lijan-wang.blogspot.com/> (Pridobljeno 2. 11. 2011.)

Wikipedia. 2011. Industry Foundation Classes.

http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes. (Pridobljeno 6. 11. 2011.)

Wikipedia. 2011. Interoperability.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Interoperability> (Pridobljeno 8. 9. 2011.)

Wilker, S. Tekla BIMsight 1.2. AEC Magazine, objavljeno 26. 7. 2011.

http://aecmag.com/index.php?option=com_content&task=view&id=439&Itemid=99999999

(Pridobljeno 8. 10. 2011.)

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

PRILOGE

PRILOGA A: Načrti celotne konstrukcije

- 3D načrt celotne konstrukcije
- Tloris celotne konstrukcije
- Vzdolžni prerez celotne konstrukcije

PRILOGA B: Načrti jeklenega dela konstrukcije

- Načrt jeklene konstrukcije v pritličju – pogled
- Načrt jeklene konstrukcije v pritličju – tloris
- Načrt jeklene konstrukcije v pritličju – prerez
- Delavniški načrt spajanja jeklenih elementov

PRILOGA C: Armaturni načrti

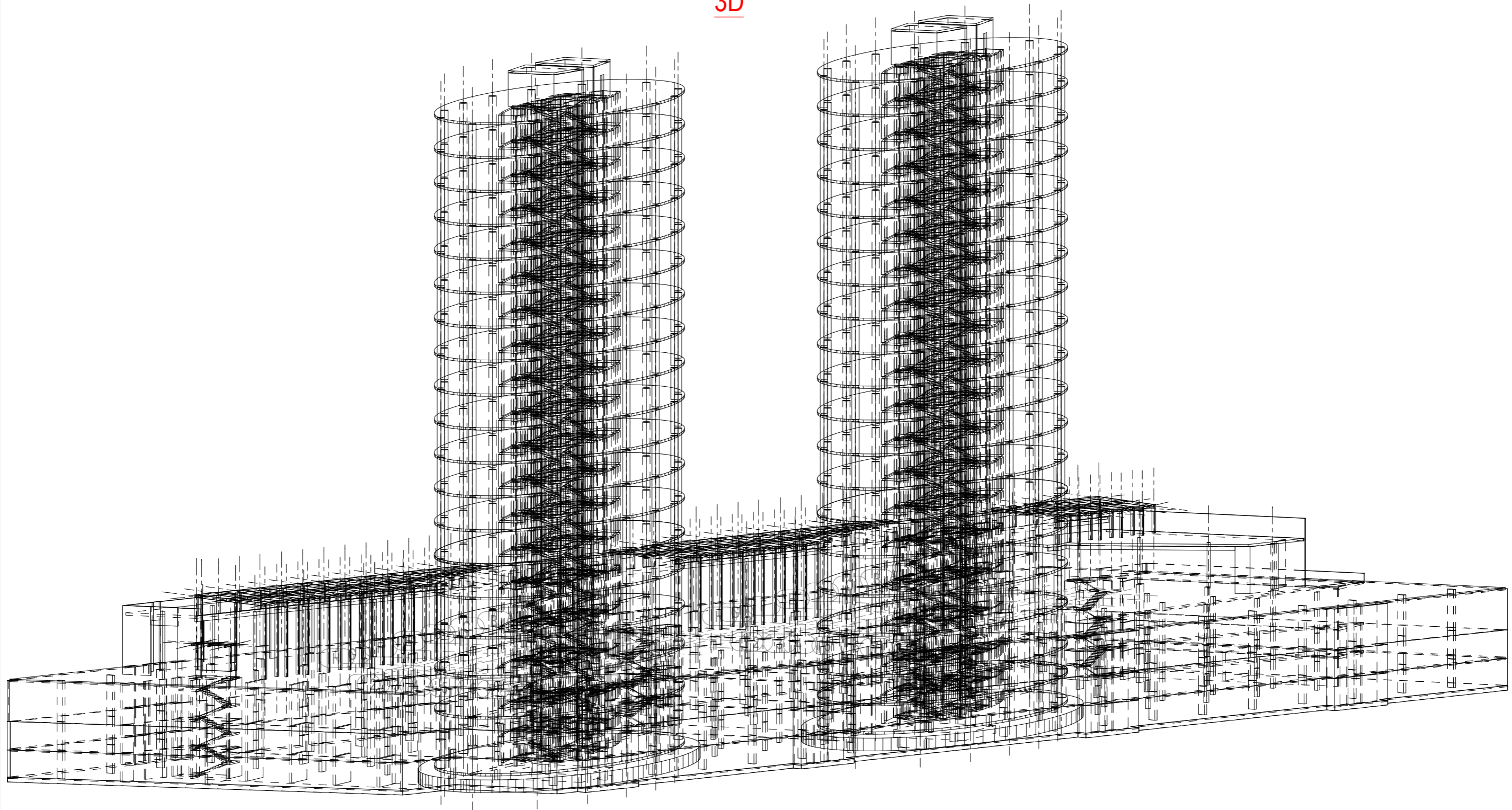
- Armaturni načrt stene z odprtino
- Armaturni načrt okroglega stebra
- Armaturni načrt pravokotnega stebra
- Armaturni načrt temelja


PRILOGA D: Informacijski model zgradbe

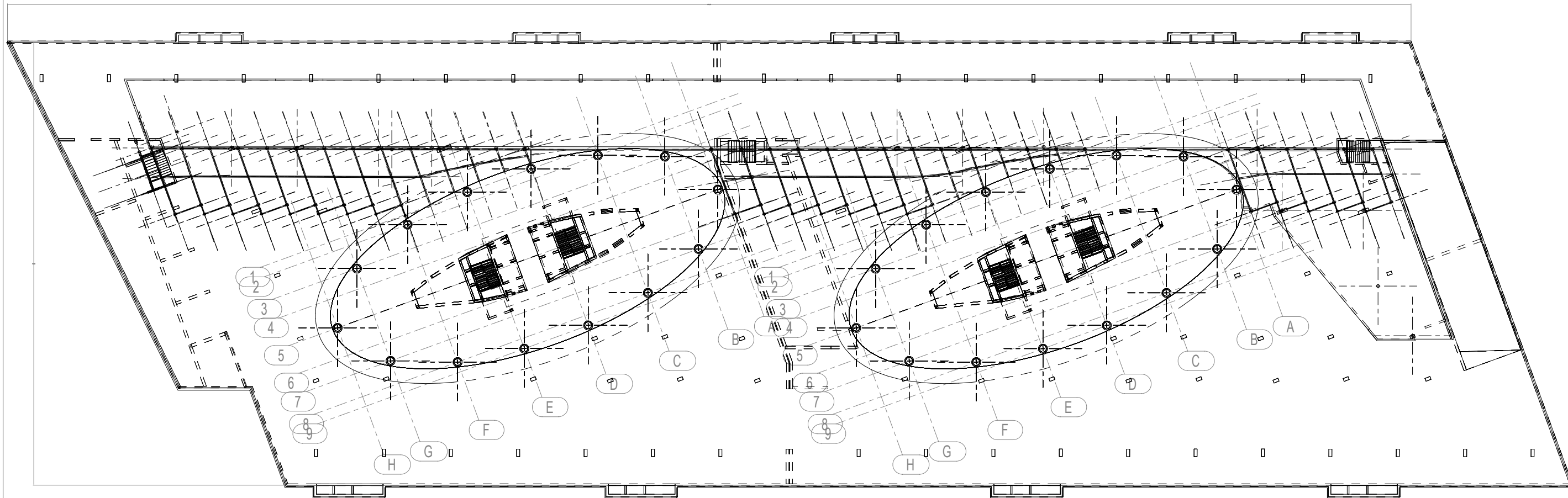
Vsebina zgoščenke:


- Informacijski model zgradbe (Tekla BIMsight)
- Informacijski model zgradbe (Tekla Web Viewer)

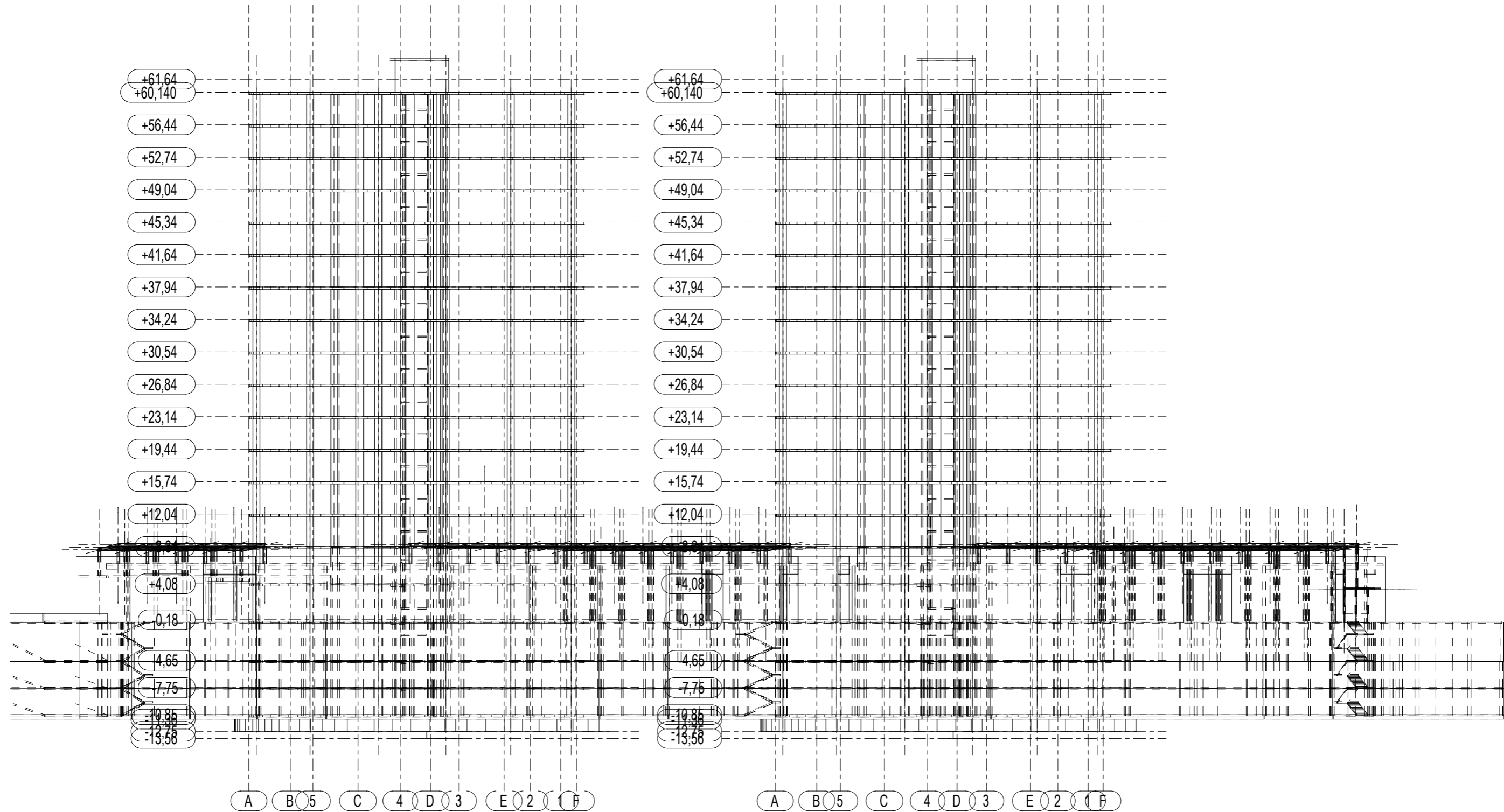
3D




Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt: Gemini BTC			Št. projekta: 12/2011
Šifra elementa:	Del objekta: 3D pogled Gemini		Datum izdelave: 23.11.2011
Št. načrta: [1]	Izdelal: Luka Arko	Revidiral:	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			



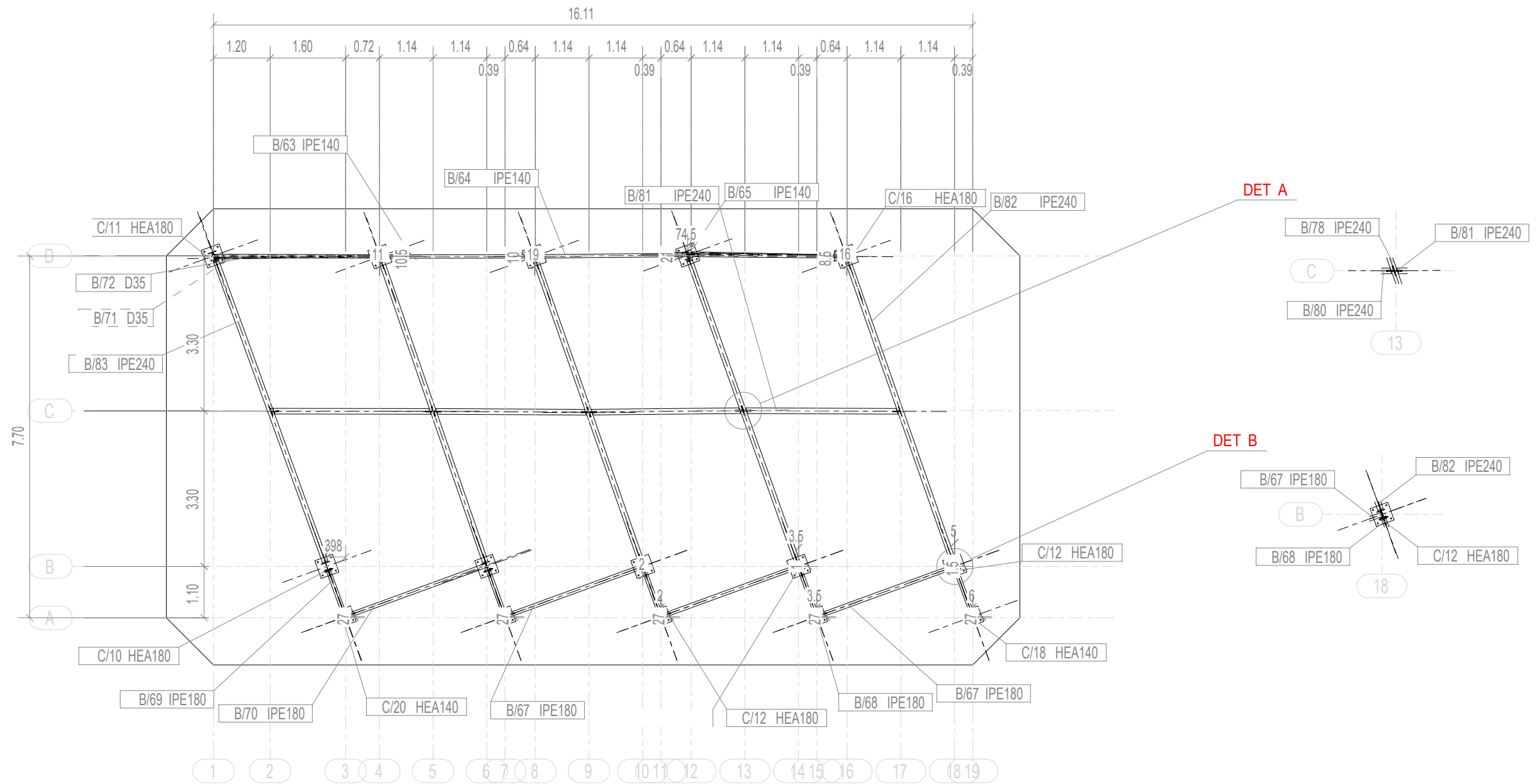
Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt:	Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011
Šifra elementa:	Del objekta: Tloris		Datum izdelave: 23.11.2011
Št. načrta: [2]	Izdelal: Luka Arko		Revidiral:
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			



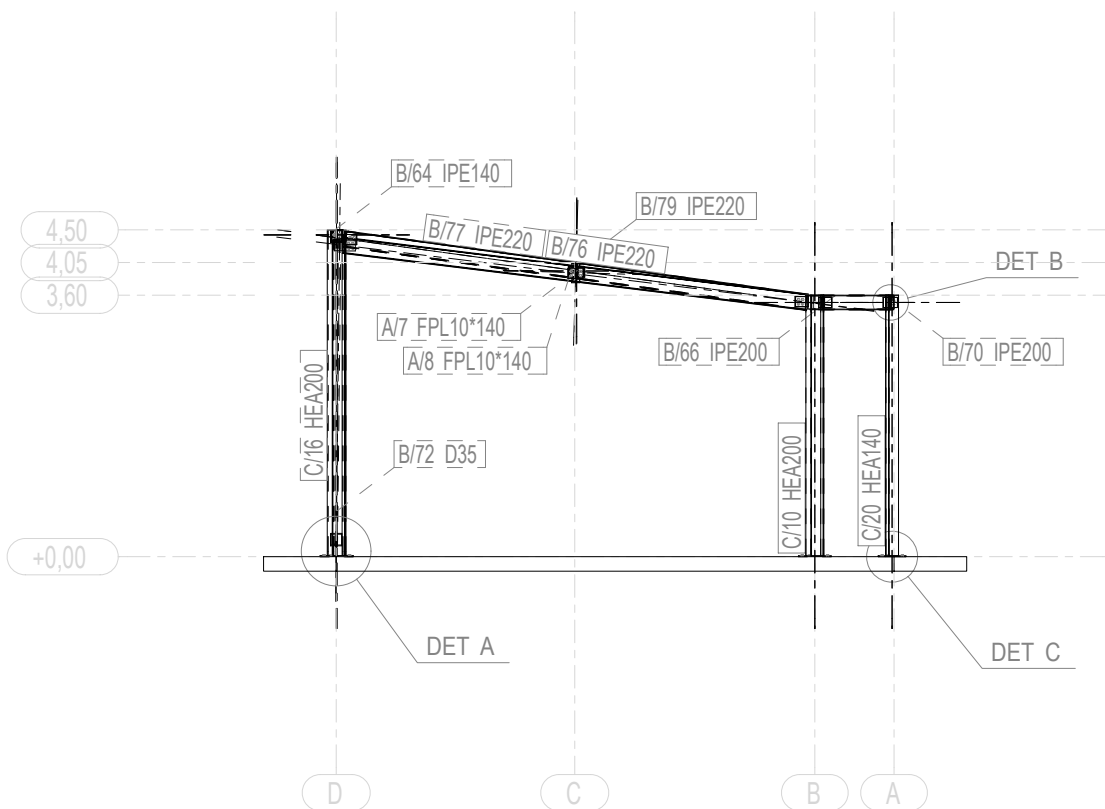
Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt:	Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011
Šifra elementa:	Del objekta: Vzdolžni prerez		Datum izdelave: 23.11.2011
Št. načrta: [3]	Izdelał: Luka Arko		Revidiral:
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			

IZVLEČEK MATERIALA

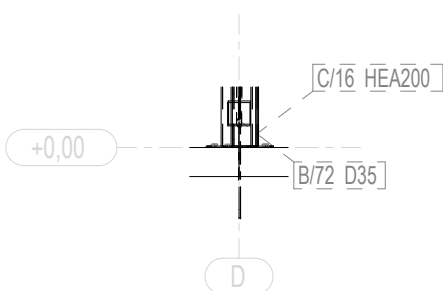
AB Plošča	Količina	Material	Teža elementa (kg)	Volumen elementa (m³)
S/1	1	C25/30	83175.5	34.66
PLOŠČA	1	C25/30	83175.5	34.66
Jekleni elementi	Količina	Glavni material stebra	Teža elementa (kg)	Volumen elementa (m³)
KOTNIKI	16	S235	2.9	45.1
PREČKA	26	S235	43.3	2173.9
STEBER	15	S355	174.1	2067.5
			Skupna teža jekla (kg):	4286.6
				Skupna teža (kg): 86176.1



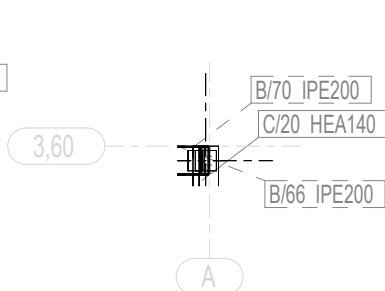
Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt: Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011	Količina: [1]
Šifra elementa:	Del objekta: Tloris jeklene konstrukcije	Datum izdelave: 23.11.2011	
Št. načrta: [5]	Izdelač: Luka Arko	Revidiral:	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			



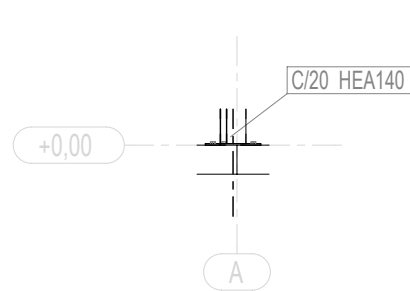
DETAIL A
1:50



DETAIL B
1:50



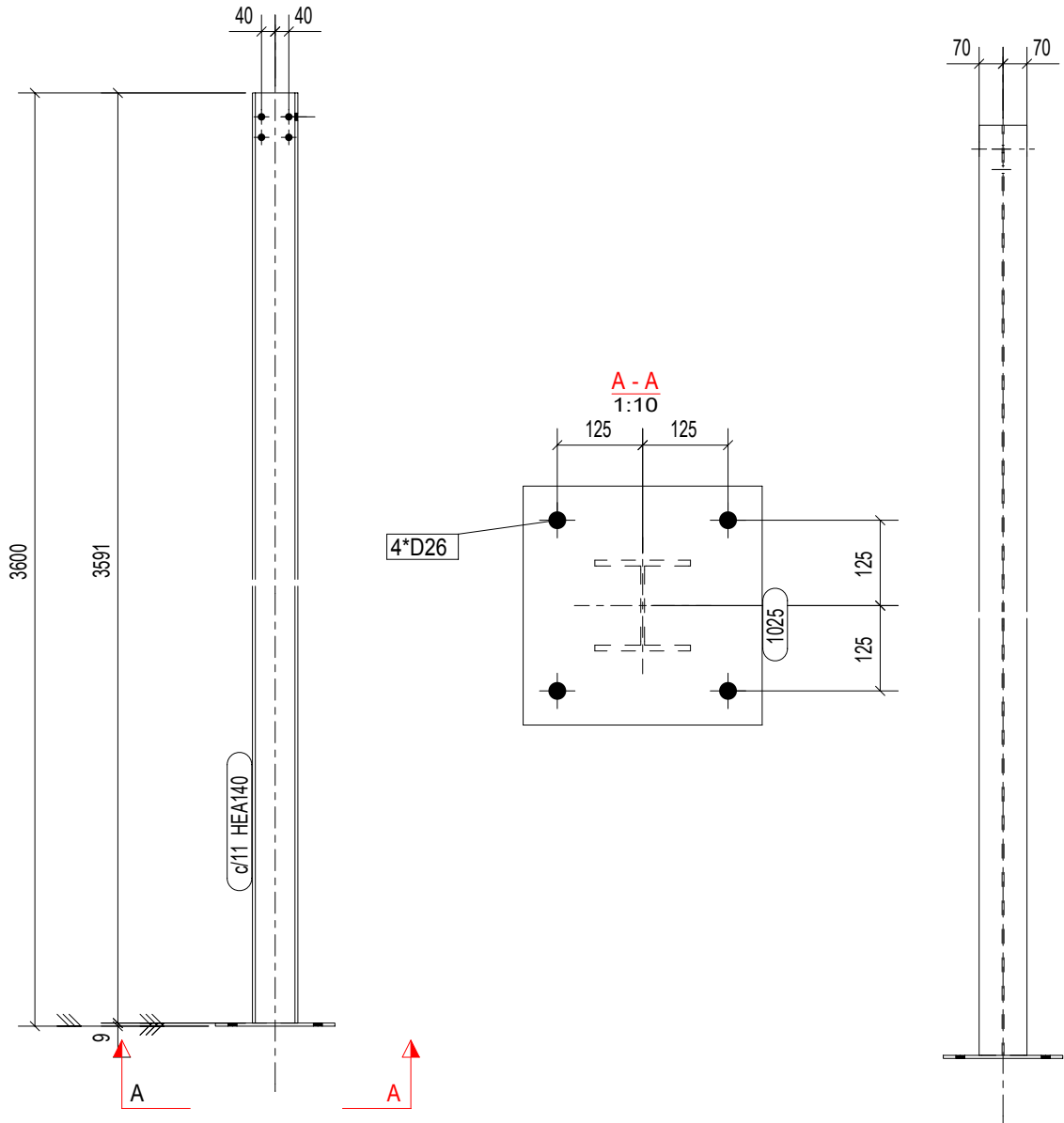
DETAIL C
1:50



Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt: Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011	Merilo: 1:350
Šifra elementa:	Del objekta: Prečni prerez jeklene konstrukcije	Datum izdelave: 23.11.2011	
Št. načrta: [6]	Izdelał: Luka Arko	Revidiral:	

GRID LOCATION	
C/19	11/A
C/19	15/A

C/19		Št. 2		STEBER			
OSNOVNI PODATKI:		ALL HOLES ARE	22.0	mm UNLESS NOTED			
		ALL WELDS ARE	6.5	mm F.W UNLESS NOTED			
ELEMENTI		C/19		2		No. Required	
Oznaka	Profil	Material	No.	Dolžina [mm]	Površina [m2]	Teža [kg]	
c/11	HEA140	S355J0	1	3591	2.9	88.6	
1025	PL9*350	S235JR	1	350	0.3	8.7	
Vsota:					3.1	97.2	



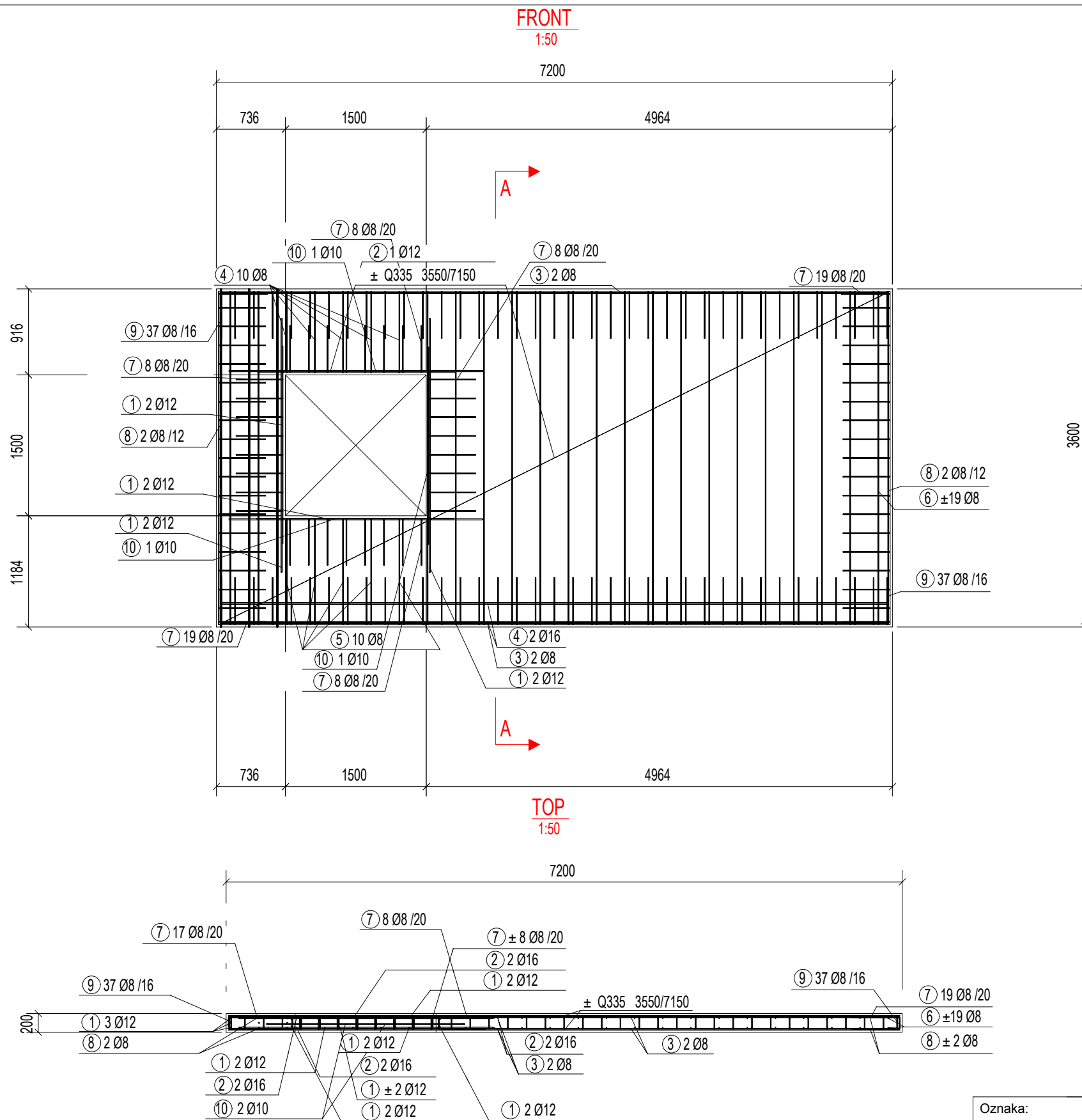
PHASE	QUANTITY
3	2

Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt:	Gemini BTC		Št. projekta:
			12/2011
Šifra elementa:	Del objekta:	Datum izdelave: 23.11.2011	
[C.19]	Delavniški načrt jeklenega stebra		
Št. načrta:	Izdela:	Revidiral:	
[7]	Luka Arko		

Tekla Structures

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *gradbeništvo in geodezijo*

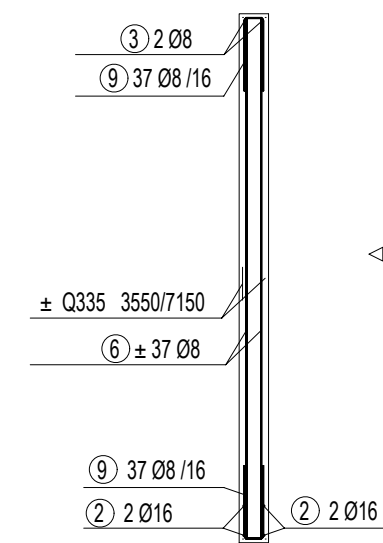
 **TEKLA**® Structures



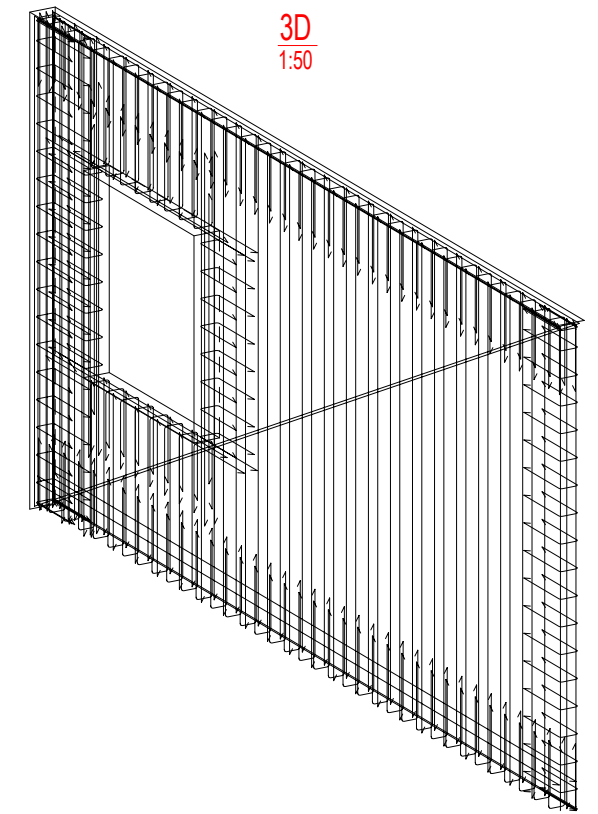
IZVLEČEK ARMATURE

Pozicija	Ø [mm]	Št. palic	Material	Dolžina [mm]	Kg/p	Teža [kg]	Oblika palice
1	12	8	S500	2700	2.40	19.2	2700
2	16	4	S500	7100	11.22	44.9	7100
3	8	4	S500	7120	2.81	11.2	7120
4	8	10	S500	860	0.34	3.4	865
5	8	10	S500	1130	0.45	4.5	1134
6	8	38	S500	3550	1.40	53.3	3550
10	10	4	S500	2100	1.30	5.2	2100
7	8	70	S500	1110	0.44	30.7	150 500
8	8	4	S500	4470	1.77	7.1	3504 504
9	8	74	S500	1100	0.43	32.2	134 500
Total:					211.5		

A - A
1:50
TOP



3D
1:50

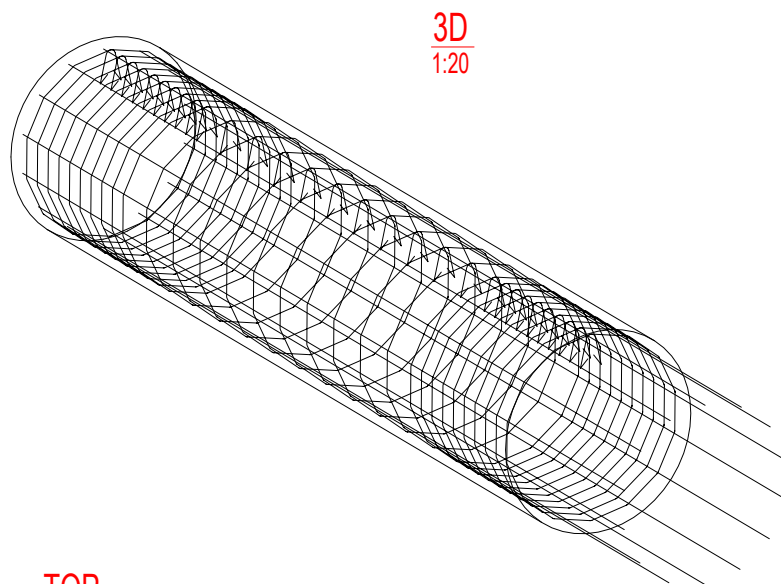
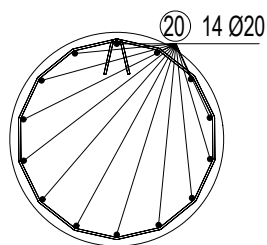


Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt:	Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011
Šifra elementa: W1	Del objekta: Stena W1	Datum izdelave: 23.11.2011	
Št. načrta: [8]	Izdelal: Luka Arko	Revidiral:	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			TEKLA ® Structures

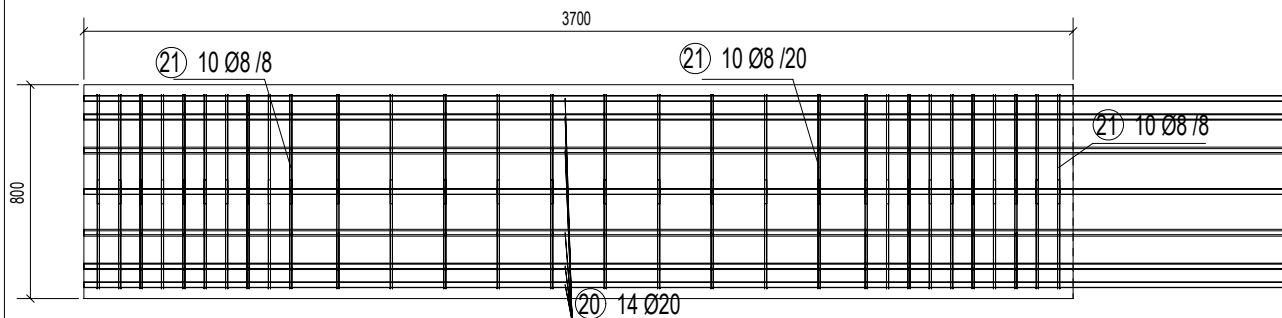
IZVLEČEK ARMATURE

Steber	Količina	Glavni material stebra	Teža elementa (kg)	Volumen elementa (m³)
C/5	1	C40/50	4450.8	1.85
Steber 80	1	C40/50	4450.8	1.85

Armatura:																
Tip	Pozicija	Količina	Material	Ø [mm]	L	a	b	c	d	e	u	v	D	kg/one	kg/all	
A	20	14	S500	20	4500	4500								11.1	155.4	
Y	21	30	S500	8	2590	139	180	169	169	162	26	26	32	1.0	30.8	
														Skupna teža armature (kg):		186.1
														Skupna teža elementa (kg):		4581.1

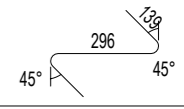
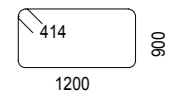


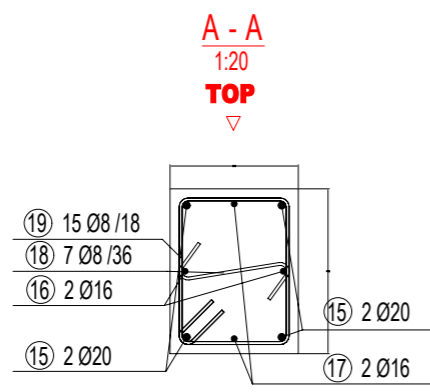
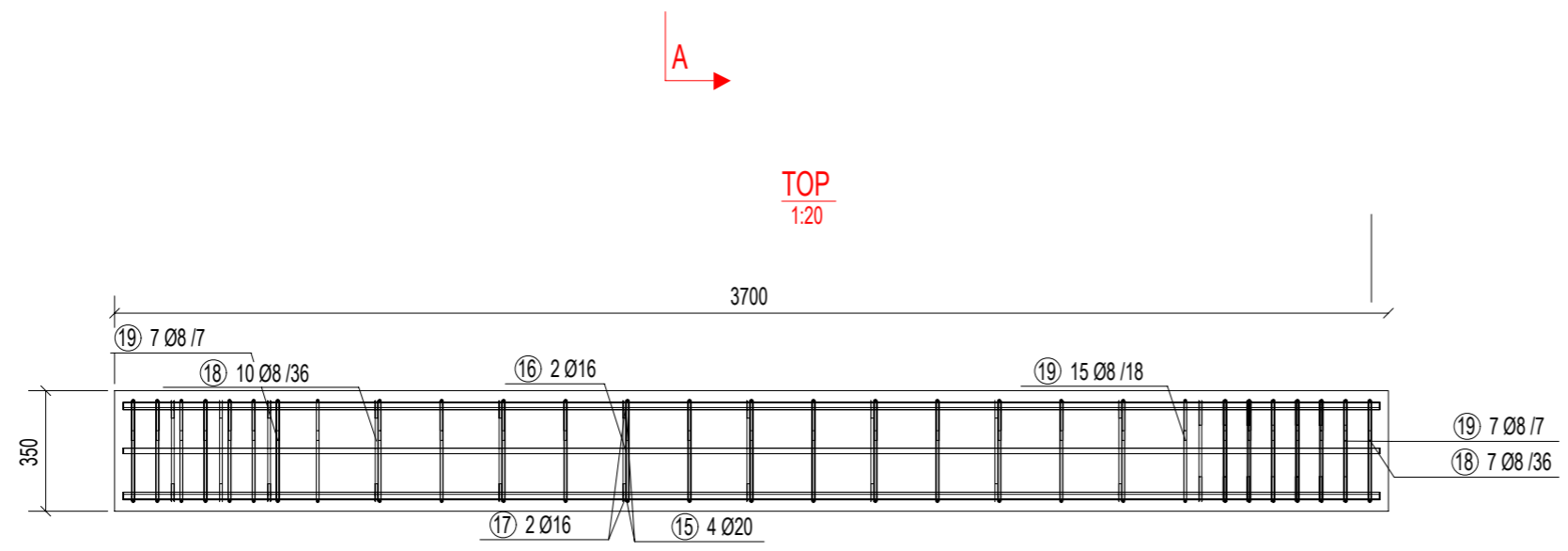
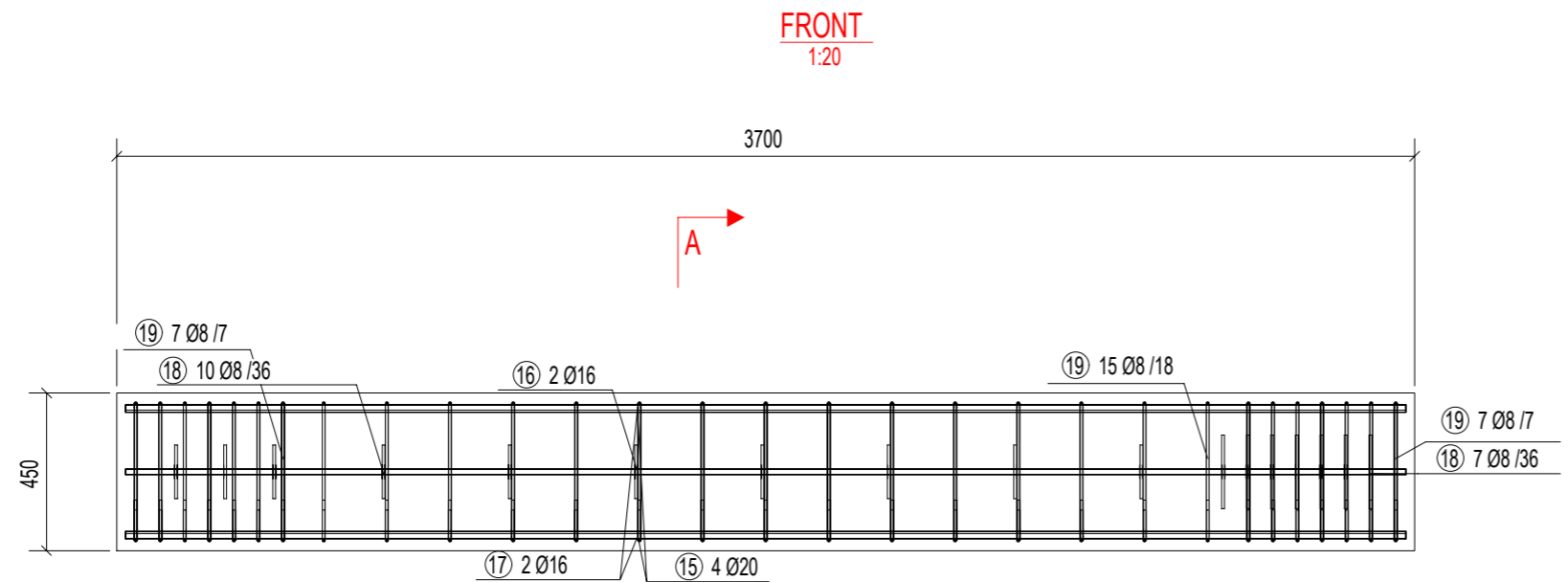
TOP
1:20



Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt: Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011	Količina: [1]
Šifra elementa: C/7	Del objekta: Okrogel steber Ø80 cm		Datum izdelave: 23.11.2011
Št. načrta: [9]	Izdelal: Luka Arko		Revidiral:

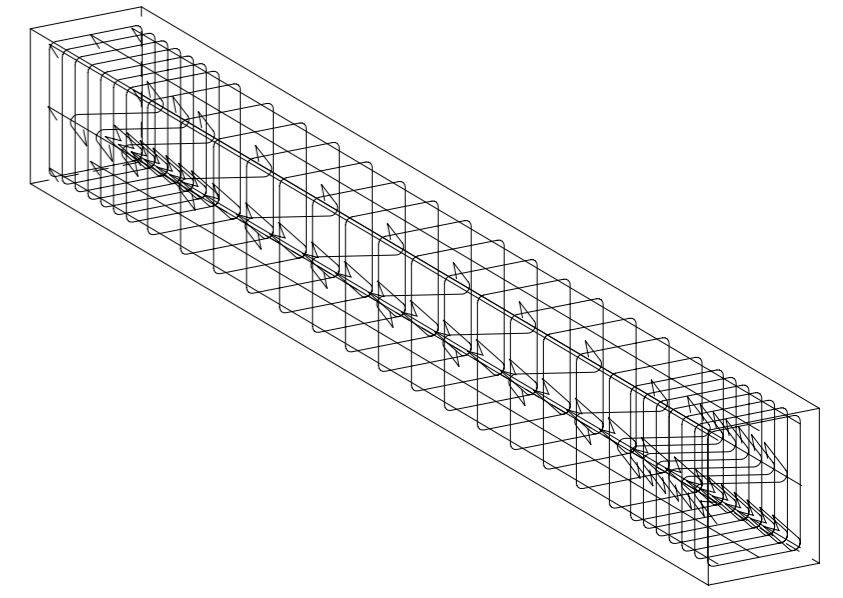
IZVLEČEK ARMATURE


Pozicija	Ø [mm]	Št. palic	Material	Dolžina [mm]	Kg/p	Teža [kg]	Oblika palice
15	20	4	S500	3650	9.00	36.0	3650
16	16	2	S500	3650	5.76	11.5	3650
17	16	2	S500	3650	5.76	11.5	3650
18	8	17	S500	570	0.23	1.6	
19	8	29	S500	1620	0.64	18.6	
						Total:	81.2

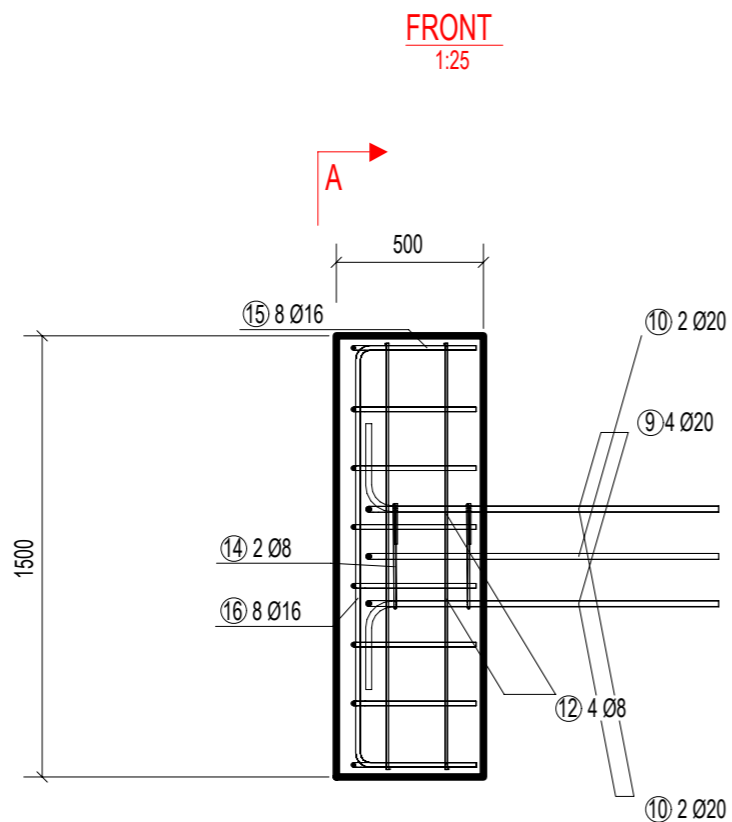
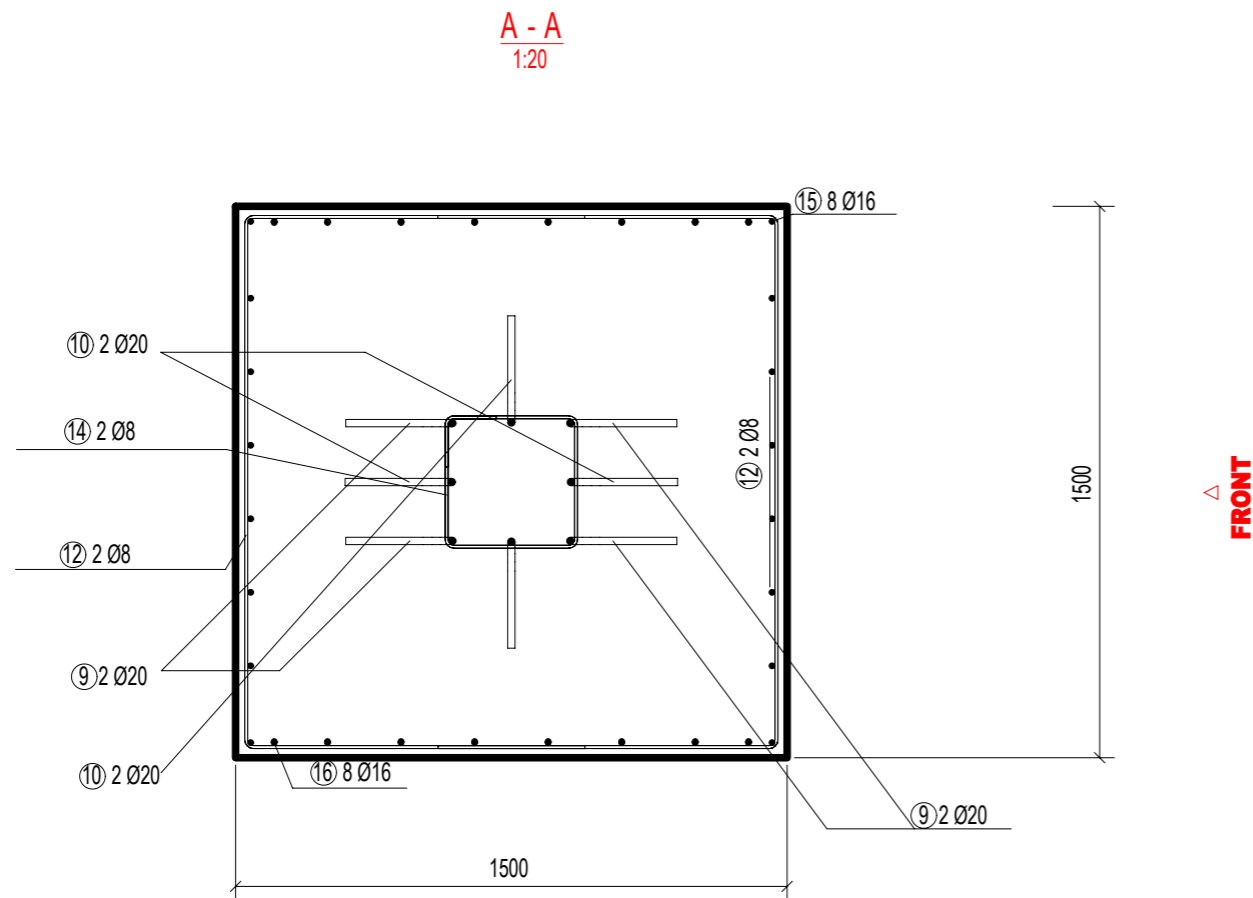


FRONT

3D
1:20



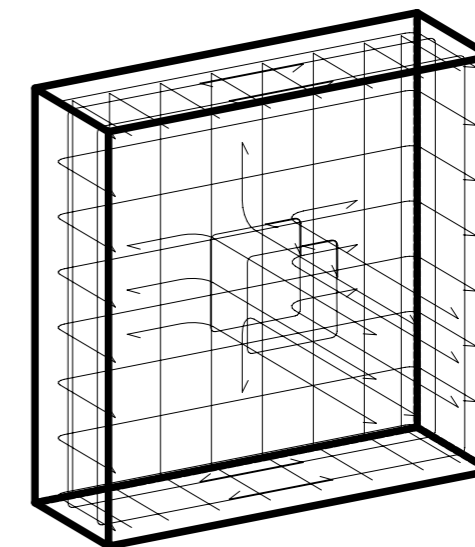
Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt: Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011	Količina: [1]
Šifra elementa: C/7	Del objekta: Steber 45 x 35 cm	Datum izdelave: 23.11.2011	
Št. načrta: [10]	Izdelač: Luka Arko	Revidiral:	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			



IZVLEČEK ARMATURE

Pozicija	Ø [mm]	Št. palic	Material	Dolžina [mm]	Kg/p	Teža [kg]	Oblika palice
9	20	4	S500	1440	3.55	14.2	
10	20	4	S500	1440	3.55	14.2	
12	8	4	S500	3260	1.29	5.2	
14	8	2	S500	1630	0.64	1.3	
15	16	8	S500	2210	3.49	27.9	
16	16	8	S500	2180	3.44	27.5	
Total:						90.3	

3D
1:25



Oznaka:	Rev. št.:	Opis revizije:	Datum revizije:
Projekt: Gemini BTC		Št. projekta: 12/2011	Količina: [1]
Šifra elementa: FP/1	Del objekta: Točkovni temelj	Datum izdelave: 23.11.2011	
Št. načrta: [11]	Izdelal: Luka Arko	Revidiral:	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>			