



Tudományos és Művészeti Diákkör Dolgozat

**Adatátviteli Lehetőségek BIM Környezetben az
Építészeti és Tartószerkezeti Modellek Között**

Grubits Péter S0AVSU

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Irodalomkutatás eredményei.....	4
2.1 BIM rendszerről általánosan	4
2.2 BIM rendszer felhasználása	5
2.3 Adatátvitel a BIM rendszerben	6
2.4 Archicad és AxisVM közötti adatcsere	7
3. Esettanulmány	9
3.1 A választott épület ismertetése	9
3.2 A választott épület szerkezete	10
3.3 Vázlattevé készítés menete	12
3.4 Archicad és AxisVM szoftverek közötti adatcsere I.	16
3.5 Archicad és AxisVM szoftverek közötti adatcsere II.	22
3.6 Az épület méretezése	31
3.6.1 Támaszok és belső csuklók definiálása	32
3.6.2 Teherszámítás	32
3.6.3 Lineáris statikai számítás lefuttatása	38
3.6.4 Acélszerkezet méretezése	39
3.6.5 Vasbeton elemek méretezése	43
3.7 Adatok visszatáplálása Archicad szoftverbe	48
3.8 Az adatok visszatáplálásának eredményei	50
4. Kiegészítő esettanulmányok	52
4.1 Rúdvégi kényszerek és támasz beállítása Archicad-ben	52
4.2 Előregyártott vasbeton körüreges palló.....	53
4.3 Változó magasságú előregyártott vasbeton gerenda és kapcsolatai	54
5. Összefoglalás.....	56
Irodalomjegyzék.....	58
Ábrajegyzék.....	59

1. Bevezetés

A Széchenyi István Egyetem Építőmérnöki szak utolsó éves hallgatójaként a tanulmányaim során már többször találkoztam a Building Information Modelling (BIM) módszertannal. A koncepció számomra egy újfajta megközelítést nyújtott az építőipari tervezés világában, ami személyes véleményem alapján számos előnnyel rendelkezik. Ennek okán ebben a témakörben választottam meg a Tudományos és Művészeti Diákkör dolgozatom alapját.

Az építőiparban elengedhetetlen a hatékony munka elvégzéséhez a két fő szakág, az építész és építőmérnök közötti megfelelő kommunikáció és összhang, mely már természetesen a tervezés során elkezdődik. Ennek az együttműködésnek a megkönnyítésére szolgál a számítástechnika fejlődésének köszönhetően létrejött BIM rendszer, azaz „Building Information Modelling”, mely magyar nyelvre lefordítva Épület Információs Modellezést jelent. Ezen alapuló tervezés lényege, hogy egy virtuális modellen belül, illetve az alapján tudnak a különböző építőiparban szereplő szakágak képviselői dolgozni.

A témám során az építész és építőmérnök szoftverek közötti adatátvitel lehetőségeit vizsgáltam, mely a két fél munkáját nagyban megkönnyítheti. A dolgozatom első részében az általam végzett irodalomkutatás eredményeit fejtem ki, mely a BIM rendszer lényegét, és az adatsere mögötti hátteret, valamint annak lehetőségeit tartalmazza. Ezt követően egy komplex esettanulmányt mutatok be, ami során az Archicad és AxisVM szoftverek közötti mindkét irányban történő modellinformáció importálásával és exportálásával foglalkozom, különböző formátumokon keresztül. Ehhez hasonlóan kiegészítő esettanulmányokat is megvizsgálok a továbbiakban. A munkám végén ezen folyamatok eredményeit és az általam gyűjtött tapasztalatokat foglalom össze.

A dolgozatom célja, hogy hozzájáruljak a BIM rendszer fejlődéséhez, a fejezetekben feldolgozott problémák megfogalmazásával, illetve azokra való esetleges javaslatok tételével. Bízom benne, hogy munkámmal megfelelően tudom szolgálni ennek a rendszernek a pozitív irányú előremenetét, és később ennek köszönhetően az érintett szakágban dolgozók munkája is könnyebb és hatékonyabb lesz.

2. Irodalomkutatás eredményei

2.1 BIM rendszerről általánosan

Az utóbbi években a technológia fejlődése, főként a számítástechnikáé, lehetővé tette az egyre magasabb fokú, precízebb, kifinomultabb tervezést az egyes mérnöki területeken, így az építőiparban is. (Sampaio, et al., 2021, p. 189) Ennek első lépcsőfoka a „Computer Aided Design” (CAD). A CAD rendszerrel végzett munka nagy hátránya, hogy a kapott végeredményeket tartalmazó DWG (Drawing) és DXF (Drawing eXchange Format) fájlok főként 2D-s, illetve 3D-s objektumokból épülnek fel, nem tartalmaznak anyag, keresztmetszet stb. jellemzőket, így nem alkalmasak komplett tartószerkezetként való kezelésre. Az építőmérnöki számításokhoz csak háttérként lehet felhasználni őket, a tartószerkezeti modellt külön a méretező szoftverben kell létrehozni manuális eszközökkel. (Dr. Hortobágyi, 2021, p. 34)

A következő állomás a „Building Information Modelling” (BIM) megjelenése volt. Az eljárás lényege, hogy az épület tervezéséhez, egy az azt reprezentáló virtuális modellt hozunk létre, melyhez különböző, az életciklusa során lényeges információkat rendelünk hozzá. (Sampaio, et al., 2021, p. 190) A 3D-s objektumokhoz párosítani tudunk különböző paramétereket, mint például egy adott keresztmetszettel és hosszúsággal rendelkező oszlophoz az építőanyagot és tartószerkezeti funkciót. Így létre tudunk hozni egy modelladatbázist, mely segítségével a BIM dimenzióinak nevezett feladat elvégezhető: kivitelezés tervezése (4D BIM), költségvetés (5D BIM), energiaelemzés (6D BIM), épületmenedzsment és karbantartás (7D BIM). (Sampaio, et al., 2021, p. 191)

A BIM alapján végzett tervezés továbbá lehetővé teszi az egyes építőipari szakágak hatékonyabb együttműködését, a reprezentatív modellt képesek felhasználni az egyes tervezők, és ezen belül elvégezni a feladataikat. Ez a BIM rendszer egyik előnye, mely kedvező az építész- és építőmérnökök közötti munka szempontjából is, lehetőség van az építész modell felhasználására a méretező szoftverekben. Ennek köszönhetően a két fél közötti kommunikációval és a megfelelő beállítások alkalmazásával, az építőmérnöknek nem kell külön tartószerkezeti modellt alkotnia. A jelenlegi tapasztalatok azt mutatják, hogy ez a fajta eljárás még nem tökéletes, ugyanis az adatátvitel során számos hiba keletkezik, melyeket az esettanulmány kidolgozása során én is tapasztaltam, amit részletesebben is ki fogok fejteni a későbbiekben.

2.2 BIM rendszer felhasználása

A BIM egyik sajátossága, a modell információtartalma, mely a rendszer széles felhasználási területét teszi lehetővé.

Az egyik ilyen az adatgyűjtés, mely során a vizsgált létesítményről szerzett információt rendszerezhetjük és rögzíthetjük a BIM rendszer segítségével. Ez alapján különböző osztályozásokat és mennyiség kigyűjtéseket tudunk létrehozni, például tartószerkezeti funkció vagy építőanyag alapján. Ezen kívül alkalmas valós idejű teljesítményadatok nyomon követésére, azaz monitoring eljárások segítésére is. (Kreider & Messener, 2013 szeptember, pp. 9, 10)

A következő felhasználási cél az információ létrehozása a vizsgált létesítményről. Ebbe beletartozik magának a komplexum elemeinek a követelményszerű meghatározása, valamint ezek egymáshoz való helyzetének és kapcsolatának megadása. Ezen kívül a szerkezeti méretezés is ehhez a feladatkörhöz tartozik. (Kreider & Messener, 2013 szeptember, pp. 10, 11)

További lehetőség a BIM rendszeren belül az analízis, mely során a vizsgált épület megvalósíthatóságának meghatározása történik. Ide tartozik a koordináció, ami a különböző elemek egymással való kapcsolatát elemezi, leggyakoribb formája az ütközésvizsgálat, illetve az ellenőrzés, melyen belül elemzésre kerül a létesítménnyel szemben támasztott követelmények megvalósulása. Az egyik legfontosabb ennél a résznél a különböző előrejelzések alkalmazása. Ennek köszönhetően vizsgálhatók a létesítmény életciklusa alatt bekövetkező teljesítményváltozások, mint például állapotleromlás. (Kreider & Messener, 2013 szeptember, pp. 11, 12)

A BIM rendszer további kiemelten fontos felhasználási területe az információ közlés, más néven a BIM kommunikáció, melynek célja a létesítményről szóló adatok megosztása, illetve cseréje, ami a dolgozatnak a fő témája. Ide tartozik a vizuális megjelenítés, dokumentálás, és az adatcsere különböző programok között. Példaképp megemlíthető az épület 3 dimenziós modelljének megjelenítése, valamint az ebből generálható 2 dimenziós tervek készítése. Ez a BIM azon területe, mely talán az összes közül a leggyakrabban alkalmazott. (Kreider & Messener, 2013 szeptember, pp. 13, 14)

Az utolsó felhasználási cél a fizikai megvalósítás BIM rendszer által szolgáltatott információ alapján. Ezen belül megkülönböztethetünk gyártást, összeszerelést, irányítási feladatokat, és szabályozást. (Kreider & Messener, 2013 szeptember, pp. 14, 15)

2.3 Adatátvitel a BIM rendszerben

A BIM rendszeren belül beszélhetünk az úgynevezett „OpenBIM” megközelítésről, mely a korábbi fejezetben említett szakági együttműködést, és platformok közötti áthidalást segítő kezdeményezés. A mozgalmat a Graphisoft és Tekla indította, célja pedig egy olyan munkakörnyezet megteremtése, mely különböző platformok számára hozzáférhető, és megfelelően koordinálható. Ennek következtében a különböző szoftvergyártók arra törekednek, hogy egységes paraméterkészletet használjanak, melynek egyik alappillére az IFC formátum. (Zagorác & Szabó, 2018, p. 15)

Az IFC (Industrial Foundation Classes) egy „független és nyílt 3D-objektum-alapú szabvány és fájlformátum”. (Zagorác & Szabó, 2018, p. 34) Lehetővé teszi számunkra a különböző szakági szoftverek közötti adatcserét, annak köszönhetően, hogy képes úgy jellemezni az egyes építészelemeket, hogy azok tartószerkezeti funkciója, és tulajdonságai az importálás során megmaradjanak, ezen kívül pedig alkalmas adattárolásra és archiválásra is. (Dr. Hortobágyi, 2021, p. 34) A virtuális modell IFC-objektumokból épül fel, melyek lehetnek fizikai elemek, mint például oszlopok, falak, födémek, helységek, illetve további kiegészítő elemek (rasztervonalak, feliratok). Ezek egymáshoz viszonyított helyzete, elhelyezkedése is nagyon fontos, melyet IFC-pozíciónak nevezünk. Az építőmérnökök szempontjából viszont a legfontosabb az IFC-szerkezeti funkció, mely azt határozza meg, hogy az adott elem tartószerkezeti célt szolgál vagy sem. (Zagorác & Szabó, 2018, p. 35) Az IFC formátum egyik legnagyobb előnye, hogy képes az adott elemekhez rendelt információt megtartani, és más szoftverkörnyezetben felhasználni, megfelelő beállítások mellett, így megkönnyítve a szakágak közötti munkát.

Az IFC formátumon kívül létezik az úgynevezett SAF (Structural Analysis Format) szerkezet elemzési formátum, mely a Nemetschek Csoport kezdeményezése, és kifejezetten a tartószerkezetekre összpontosít, így leginkább érinti az építész és építőmérnök közös munkáját. A SAF egy „Excel alapú, nyílt forráskódú és globális séma, amelyet a szerkezetelemzési modell adatainak tárolására, valamint a szerkezeti modellezők és a szerkezetelemzési programok közötti megosztásra optimalizáltak” olvasható az Archicad24 kézikönyvében. (Graphisoft, 2020, p. 2547) A szabványosított táblák tárolják a tartószerkezeti elemek információit, melyek a táblázatkezelő segítségével megnyithatók, valamint módosíthatók. Alkalmas kétirányú együttműködésre a programok között, és minden olyan külső szoftverben felhasználható, ami végelelemes (FEM) alapú eljárással működik, így például az AxisVM is képes feldolgozni. (Graphisoft, 2020, p. 2547)

2.4 Archicad és AxisVM közötti adatcsere

A dolgozatomban két programot alkalmaztam az adatcsere vizsgálatára, a Magyarországon széles körben alkalmazott Archicad építész tervező szoftver 24-es verzióját, és az AxisVM méretező szoftver X6 verzióját. Mindkét programhoz hallgatói jogosultsággal fértem hozzá, és korábbi tapasztalataimat, valamint a használati kézikönyveket felhasználva készítettem el az esettanulmányom gerincét képező épületet.

Az Archicad24-en belül lehetőség van IFC és SAF formátumú mentésére is. Mindkét fájltypus beolvasása lehetséges AxisVM szoftverbe, viszont a sikeres importálásnak több feltétele is van. Az egyik ilyen az Archicad modell helyes megalkotása annak érdekében, hogy a méretező program megfelelően tudja dekódolni a tartószerkezeti elemeket, ezért a rúdszerkezetek (oszlop, gerenda) súlyvonallal és keresztmetszettel, a felületszerkezeteket (födémek, falak) pedig középsíkjukkal és vastagságukkal kell azonosítani. (Dr. Hortobágyi, 2021, p. 34) Kulcsfontosságú az elemek helyzete: a súlyvonalaknak és középsíkoknak csatlakozniuk kell egymáshoz. Az adatátviteli hibák elkerülése érdekében többféle modellezési megoldás, javaslat létezik, melyek közül az egyik lehetőség az Archicad-en belül a szerkezetelemzési modell generálási szabályainak megfelelő beállítása. Ebbe beletartoznak a különböző igazítási szabályok (nyújtás, visszavágás, eltolás), melyekkel az 1D és 2D elemek csomópontjai közötti folytonosság biztosítható. Ezen kívül a kapcsolattal nem rendelkező csomópontok és élek kényszereinek kezelésével, és az áttörések szűrésével a kis méretű áttörések és nagyon keskeny 2D objektumok figyelmen kívül hagyhatók. (Graphisoft, 2020, p. 2480)

Helyes szerkezeti modell esetén, amennyiben SAF formátumban szeretnénk elvégezni az adatcserét, szükséges a megfelelő beállításokat eszközölni, melyet az SAF exportáló/importáló fordítóban kell végrehajtani. Lehetőség van anyagmegfeleltetésre, mely segítségével az egyes (tartószerkezeti) elemekhez olyan építőanyagot rendelhetünk, melyet a méretező szoftver képes felismerni. (Graphisoft, 2020, p. 2554) Ehhez hasonló a profilmegfeleltetés, ami az összetett profilokat pontos megfelelőjükre képezi. Megválasztható az 1D elemek lokális koordináta-rendszere a fogadó szoftvernek megfelelően, illetve a szegmentálás funkció is alkalmazható, ami az íves szerkezetek exportálását segíti elő. (Graphisoft, 2020, pp. 2568, 2569, 2575) A SAF importáló fordítóban az anyagmegfeleltetés és profilmegfeleltetés egyaránt megtalálható, ezen felül pedig egy egyéb beállítások funkcióval is el lett látva, ami az elemek alapértelmezett eszközbeállításait határozza meg.

A SAF-en kívül az Archicad-ben IFC formátum által is lehet exportálást és importálást végezni, melynél két lehetőség is rendelkezésre áll a felhasználók számára. Az egyik az úgynevezett „hagyományos” IFC formátum és fordítóinak használata, ahol számos beállítást lehet alkalmazni a különböző IFC tulajdonságokra vonatkozóan. A másik a nemrég létrehozott IFC szerkezetelemzési formátum, mely a dolgozat írása alatt, a felhasználói kézikönyv alapján, még kísérleti stádiumban van. (Graphisoft, 2020, p. 2583) Ezt az opciót a munkakörnyezet panel további lehetőségeinél lehet aktiválni. Ebben az esetben csak ezt a beállítást kell elvégezni az adatcseréhez, ezután a program exportálás esetén az elemeket azok aktuális beállításával menti, importálásnál pedig hasonlóan a szoftver automatikusan felismeri, és konvertálja őket, azok anyag, illetve profil tulajdonságaikkal. (Graphisoft, 2020, pp. 2583, 2584)

A sikeres Archicad adatexportálás után a következő lépés az AxisVM szoftverrel történő beolvasás. Az AxisVM X6 verzió rendelkezik SAF modullal, mely az ilyen formátumú fájlok feldolgozására alkalmas, képes felismerni és azonosítani a rúd- és felületelemeket, támaszokat, kapcsolati elemeket, keresztmetszeteket, anyagokat, és terheket, teherkombinációkat is. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 137) Az exportálás során kiválaszthatjuk, hogy az egész modell, vagy csak a kijelölt elemek kerüljenek átvitelre.

AxisVM esetén is lehetőség van IFC formátumú fájlok fogadására és kimentésére is. Ehhez az IFC modul szükséges, mely szintén megtalálható az X6-os verzióban, képes felismerni a 3D-s objektumokat és anyaggal ellátni őket. A betöltés során két opció áll rendelkezésre, az egyik a statikai váz generálása, ami akkor lehetséges, ha a szükséges paraméterek definiálva vannak az IFC fájlban belül. Ennek hiányában az építész objektumok beolvasása lehetséges, majd ebből a statikai váz létrehozása. Ezen kívül AxisVM adatok exportálhatók IFC formátumban is, ráadásul az 13R1 verziótól kezdve az elhelyezett vasalás átvitelére is lehetőség van. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 128)

Az esettanulmányom készítése során az előzőekben felsorolt elveket követtem, és mindkét formátumú adatcserét elvégeztem az Archicad és AxisVM között, amelyek eredményeit a későbbiekben fejtem ki bővebben.

3. Esettanulmány

A dolgozat fő célja az Archicad és AxisVM szoftverek közötti adatcsere vizsgálata. Ennek a folyamatnak a bemutatását és elemzését egy általam választott épületen keresztül mutatom be, ami a fő esettanulmányom alapjául szolgál.

Elsőként az épületről összegyűjtött információk segítségével mutatom be a létesítményt tartószerkezeti és építészeti szempontok szerint. Ennek megfelelően alkotom meg az építészeti modellt Archicad szoftverrel, a program kézikönyvét és saját korábbi tapasztalataimat felhasználva. Ennek befejeztével hajtom végre az adatcsere első részét, mely az SAF és IFC formátumokon keresztül történő Archicad exportból és AxisVM importból tevődik össze. Következő lépésként elvégzem az épület választott tartószerkezeti elemeinek méretezését, és a kapott eredményeknek megfelelően az imént említett folyamat fordítottját hajtom végre, szintén a két említett formátumon keresztül. A fő esettanulmány ennek elemzésével zárul, a levont következtetéseket és tapasztalatokat, pedig az „Összefoglalás” című fejezet tartalmazza.

3.1 A választott épület ismertetése

A munkám alapjául szolgáló létesítmény a Győr-Moson-Sopron megyei Vének településénél található Mosoni-Duna folyó új zsiliprendszerének üzemeltetési épülete, mely a dolgozat írásának ideje alatt is kivitelezési fázisban van. A komplexummal lehetőségem volt egyetemi szakmai gyakorlatom során részletesen megismerkedni, így többször is a helyszínen tartózkodtam az építés ideje alatt. Első sorban azért erre a létesítményre esett a választásom, mivel véleményem szerint a szerkezete és annak komplexitása kiválóan alkalmas szakági programok közötti adatcsere folyamatának bemutatására és értékelésére. Az épület megismeréséhez a Térhálózat Design Kft. által készített Műszaki leírást tanulmányoztam (felelős építész tervező: Korompay Attila).

A létesítmény földrajzilag Győr-Gönyű kikötő területén a Torda-szigeten található, mely: „körülkerítetlen, üres, vízparti növényzettel benőtt ártér”, így a tervezési koncepciója során a Szigetköz természeti tájára jellemző vad szépségre való reflektálás és ezzel való összhang volt a fő szempont. Ennek megfelelően az épületen található nagy üvegfelületek a helyiségek természetes fénnel való ellátásán kívül, a „természeti környezet tükörfelületeiként” is működnek. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 11)

Az épület rendeltetése 3 fő funkcionális egységre osztható, melyek ellátására külön helyiségek szolgálnak. Ezek: a torkolati műtárgy és berendezésének üzemeltetését és karbantartását kiszolgáló (műhely, raktár, öltöző, tartózkodási helyiségek), a hajózó zsilipek kezelésére létesített, és a dolgozók elszállásolására kialakított terek. A földszinten került elhelyezésre a technikai blokk, ahol megtalálható az irányítással kapcsolatos elektromos szekrények, szerelvények, az emeleten van a pihenő egység, amely az egyidejűleg itt tartózkodó 12 fő kapacitására alkalmas, valamint szintén ezen a szinten a komplexum legfontosabb feladatát ellátó irányító terem, tárgyalóval kiegészítve. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 14)

Az itt felsorolt funkcionális egységeknek biztosítaniuk kell az épület fő feladatköreinek ellátását, melyek közül a legfontosabbak: az árvízvédelmi létesítmények üzemeltetése és fenntartása, árvíz elleni védekezés, árvízmentesítés, védekezés területi szervezése, vízhiány és vízminőség kárelhárítás, vízrajzi észlelőhálózat üzemeltetése és fenntartása. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 13)

A létesítmény tájolását tekintve észak-déli, és közvetlenül a hajózsilip mellett, annak déli oldalán kerül telepítésre. Az elhelyezés elsődleges szempontja a műtárgyra való rálátás biztosítása annak érdekében, hogy működését megfelelően lehessen koordinálni. A kialakításnál fontos volt továbbá a megközelíthetőség és a műtárgy ürszelvénye. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 12)

A Műszaki Leírás alapján a beépítésre szánt telek vízgazdálkodási övezet (VF01/S/50/5-150), nagysága 20,97 ha. Az épület teljes területe összesen 645,50 m², melyből a földszint 333,20 m², az emelet pedig 312,30 m². (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 14)

3.2 A választott épület szerkezete

A létesítmény épületszerkezeti leírásával a Műszaki Leírás „Épületszerkezetek” című 10. fejezete foglalkozik. Ebben a részben olvashatók az egyes épületszerkezeti megoldások, melyek közül a dolgozatomban a fő tartószerkezeti elemeket emeltem ki.

Az üzemviteli épület homokos kavicsfeltöltésre épül, így az alkalmazott alapozás típusa vasbeton gerendarács, mely a szükséges helyeken vasbeton réselt alappillérekkel kerül kiegészítésre. A tervezést nehezítette, hogy az építés helyszínén található hajózsilip oldalfalának horgonyrúdjai befolyásolják az alappillérek helyzetét, így azok tetejére teherelosztó vasbeton gerendákat kell telepíteni. Ezek felett kerül kiépítésre a 20 cm vastag

vasbeton aljzatlemez, amelyet megfelelő víz elleni szigeteléssel látnak el. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 19)

Az épület statikai rendszere jellemzően pillérváz, helyszíni monolit betonozással kivitelezve. A függőleges tartószerkezet nagy részét a főként 25x25 cm keresztmetszetű pillérek alkotják, egyes részeken pedig további vasbeton falak is ellátják az alátámasztás szerepét. Természetesen az épület a szükséges helyeken a szerkezeti elemek között hőhídmegegyenlítő elemekkel is rendelkezik, annak érdekében, hogy a lehető legjobb hatásfokkal védve legyen a létesítmény belseje az időjárási körülményektől. A vasbeton elemek egy része látszóbeton felülettel készül, így ezek kivitelezésére különös figyelmet kellett fektetni az építés során. A pillérek közötti részeken Porotherm 30N+F Profi Dryfix kitöltő falazatokat alkalmaznak, melyet száraz kitöltési technológiával építenek. (Térhálózat Design Kft., 2020, pp. 19, 20)

A létesítményen belül különböző földemlékek találhatók. A földszint feletti közbenő monolit vasbeton szerkezetként kerül kialakításra, melynél nagy figyelmet kell fektetni a különböző szerelvények elhelyezésére, mivel ezen belül épületgépészeti és elektromos eszközök lesznek telepítve. Ezen kívül az emelet feletti földem egy 22 cm vastagságú vasbeton, az irányítóterem acélkonzoljának földemje pedig trapézlemez szerkezetű. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 20)

A helyszíni betonozással készített pillérvázhoz csatlakozik az épület fő funkcióját betöltő irányítóterem acélszerkezete, ami konzolosan kinyúló rácsostartóként kerül kivitelezésre. A két egymással párhuzamos helyzetű rácsostartó az emeleti szinten található monolit vasbetonfalakra ül fel, melyet a földszinten található 40x60 cm-es téglalap keresztmetszetű vasbeton pillérek támasztanak alá. Oldalirányban fióktartó gerendákkal van összekötve a két rész, a mezőkben pedig további merevítőrudak találhatók a vízszintes irányú erők felvételére. A gyártmányterv alapján az alkalmazott szerelvények: a rácsostartó öve HEB320, a rácsrudak SHS250/10, a fióktartók HEB240, a merevítőrudak pedig SHS100/10. A vázlatterv készítése során ezeket a keresztmetszeteket alkalmaztam. Az elemek közötti kapcsolatok nagy része csavarozott, a rácsrudak bekötése pedig hegesztett. Az acélt legalább 60 µm korróziógátló alapozóval és a tűzvédelmi előírásoknak megfelelő EI45 Polylack W, hőre habosodó tűzvédő festékkel kell ellátni. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 20)

További, az épülethez tartozó tartószerkezet a négy darab lépcső, amelyek közül kettő vasbeton szerkezetű és az egyik fedett kültéren található. A másik két lépcső előregyártott acél szerkezetű, a teraszra való kijutást, valamint az emeleti födém és acélkonzol közötti szintkülönbség áthidalását szolgálja. (Térhálózat Design Kft., 2020, p. 21)

3.3 Vázlatervv készítés menete

A korábbi fejezetekben már olvasható volt, hogy az esettanulmány elkészítéséhez az Archicad szoftvert 24-es verzióját alkalmaztam, melynek segítségével létrehoztam a választott épületem virtuális modelljét, így ebben a fejezetben ennek a folyamatnak a leírása olvasható. A kidolgozás során a korábban szerzett tapasztalataimat és az Archicad24 felhasználói kézikönyvét használtam.

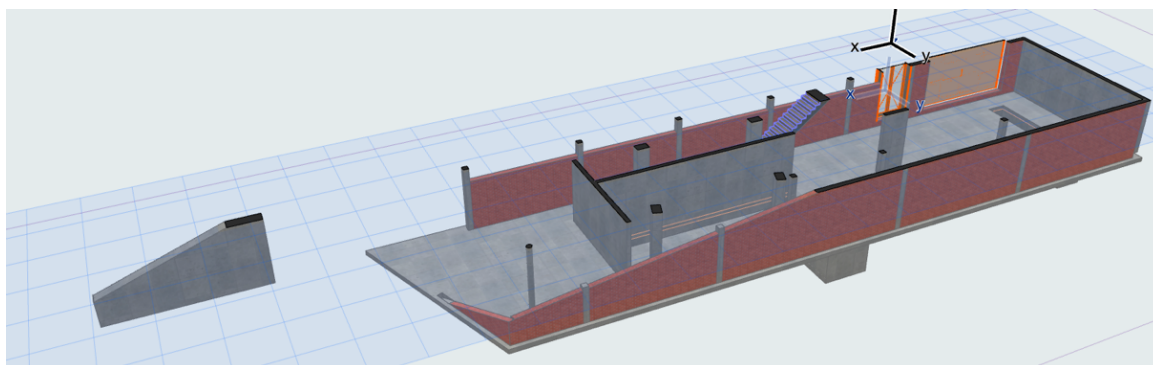
A vázlattervek készítésénél elsősorban a rendelkezésemre álló építész tervrajzokat vizsgáltam meg, amelyeket Koromapy Attila okleveles építészmérnök hozzájárulásával vettem alapként. Fontos megemlíteni, hogy az eredeti tervekhez képest némi változtatást eszközöltem a saját modellemben, így az nem teljesen azonos az eredetivel. A legfőbb cél természetesen egy olyan modell megalkotása volt, mely a szakágak közötti adatcserére alkalmas, és szerkezetileg nem található benne ellentmondás.

A vázlatervv kidolgozásához a „ARCHICAD 24 sablon.tpl” sablon fájlt használtam, ami tartalmazza a terv és az eszközök alapbeállításait. (Graphisoft, 2020, p. 250). Ezt követően a szintbeállításoknál 3 szintet definiáltam: 0. Alapozás (-5,000-0,000), 1. Földszint (0,000-3,000), 2. Emelet (3,000-10,000). A modellkészítés előtt a főlíák rendszerezését is elvégeztem, ahol különböző elemeknek külön-külön létrehoztam a megfelelőt.

Az alapbeállítások elvégzése után a földszint megrajzolásával kezdtem a kidolgozást. Megrajoltam elsőként az épület jellemző rasztervonalait, és ezek segítségével elhelyeztem a 25x25 cm keresztmetszetű vasbeton tartóoszlopokat. Ezt a tervezési fül „oszlop” parancsával a szinteknek és anyagnak (vasbeton) megfelelően definiáltam. Ugyanezen módon alkottam meg a további keresztmetszetű pilléreket is. A földszinten 20 cm vastagságú vasbeton falak is találhatók, így ezeket a tervezés panel „fal” parancsával helyeztem el réteges szerkezetként.

Ezt követően a 20 cm vastag alaplemezt készítettem el, a „födém” parancs segítségével, amit szintén réteges szerkezetként határoztam meg a tervrajzoknak megfelelő -0,270 m-es magasságon. A földszinten továbbá megtalálható egy, a gépkocsi szerelésére szolgáló akna,

melyet létrehoztam a modellben. Elsőként a méreteknek megfelelően kialakítottam az alaplemezen egy áttörést az „áttörés” paranccsal, majd a szinteknek (-1,930) megfelelően ez alá elhelyeztem a 20 cm vastagságú elemet réteges szerkezetként. A két lemez csatlakozását falakkal hoztam létre. Ezen kívül még egy akna található az épületen belül, illetve egy padló süllyesztés is az épületgépészeti eszközöknek kialakítva, melyeket ugyan ezen módon és eszközökkel készítettem el, így a földszint tartószerkezetei definiálásra kerültek, látható az 1. ábrán.



1. ábra: Földszinti tartószerkezetek 3D metszősíkkal elmetszve (Archicad24)

Az emeleten található vasbeton szerkezeteket az említett elvek mentén hoztam létre. A „födém” paranccsal megalkottam a szintközi födémét 28 cm-es vastagsággal a tervrajzokon szereplő kontúrnak megfelelően. Ezt követően elhelyeztem a felső szinten található acélkonzol alátámasztására szolgáló falat, magasságok helyes beállításával. Ezek vastagsága 40 cm, így külön réteges szerkezetként hoztam létre őket. Ezen kívül még a zárófödémhez csatlakozó vasbeton falakat is elhelyeztem az előbb említett módon.

Az első komolyabb feladatot a vázlattevé készítésén belül az 5,20°-ban lejtő zárófödém jelentette. Ezt a tervezés fül „tető” parancsának segítségével alkottam meg, melynél elsőként beállítottam a 22 cm vastagságú vasbeton anyagú elemet, majd a megfelelő szint és lejtés meghatározása után a tervrajzoknak megfelelő geometriával rajzoltam meg.

Az emeleti függőleges tartószerkezeteket, azaz a pilléreket és egy falszakaszt a zárófödém lejtése miatt a „szilárdtest-műveletek” segítségével oldottam meg, annak érdekében, hogy az elemek összemetszése megfelelő legyen. A tartószerkezeteket a már részletezett módon megrajzoltam, ezután pedig a paranccsal kijelöltem a cél és operátor objektumokat és végrehajtottam a kivonást a felette lévő rész törlésével.

Az épületen belül a vázlattevé készítése során két lépcsőt helyeztem el. Az egyik a földszint és az emelet közötti szintkülönbség áthidalására szolgál, szerkezete monolit

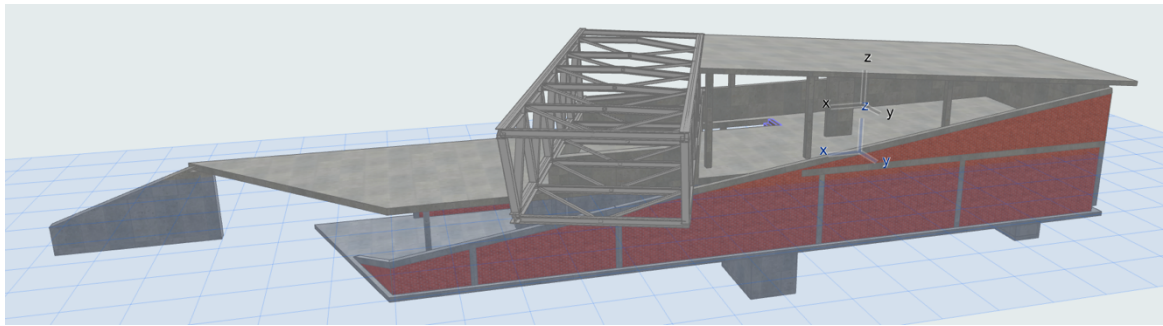
vasbeton. A másik egy előregyártott acélszerkezetű. Mindkét elemet az Archicad „lépcső” moduljával alkottam meg a szinteknek megfelelően.

Az acélszerkezet készítésénél elsőként az egyes elemeket tárgyként hoztam létre, viszont az AxisVM szoftver nem képes ezeket tartószerkezeti elemként észlelni, mint ahogy az ellenőrző importálás során kiderült. Ennek következtében az „elemattribútumok” -nál található „profilkezelő” -t alkalmaztam. Ezzel a paranccsal létrehoztam az acélszerkezet gyártmánytervének megfelelő keresztmetszeteket (HEB320, HEB240, SHS250/10, SHS100/5), melyek később a méretezés kiindulószelvényei lettek. Elsőként megrajoltam a HEB320 és HEB240 keresztmetszet kontúrjait a NEN-EN 10025-1/2 szabványnak megfelelően, internetes forrás alapján. (Werner Sölken , 2022) Körvonalaikat a „kitöltés” paranccsal „tartószerkezeti acél” anyaggal töltöttem ki, így létrehozva az Archicad szoftverben a kívánt szelvényeket. Az SHS250/10 szelvények esetén az elnevezésnek megfelelően alkottam meg a szelvényt (250x250mm, 10mm falvastagsággal), így ehhez külön forrást nem alkalmaztam.

Az acélszerkezet kialakítását az építész metszetek és alaprajzok alapján készítettem el a megfelelő magasságokkal. A „gerenda” parancson belül átállítottam, hogy a keresztmetszet profil eszköz legyen, és a korábban definiált szelvényeket alkalmaztam. A rácsostartó érdekessége, hogy az épülethez csatlakozó oldalán, annak felső öve lejt, így ennek megfelelően a felső összekötő gerendákban törés található a szerkezet szélességének felénél.

Az épület tartószerkezetét képezik a Porothersm kitöltő falak is, amelyeket 25 cm vastag réteges szerkezetként definiáltam. Az északi oldalon, a felső síkjukon egy 25x25 cm keresztmetszetű vasbeton koszorú található, amit a gerenda paranccsal hoztam létre, a szükséges szögben, és a szilárdtest művelet segítségével alkottam meg a fal felső síkjának lejtését.

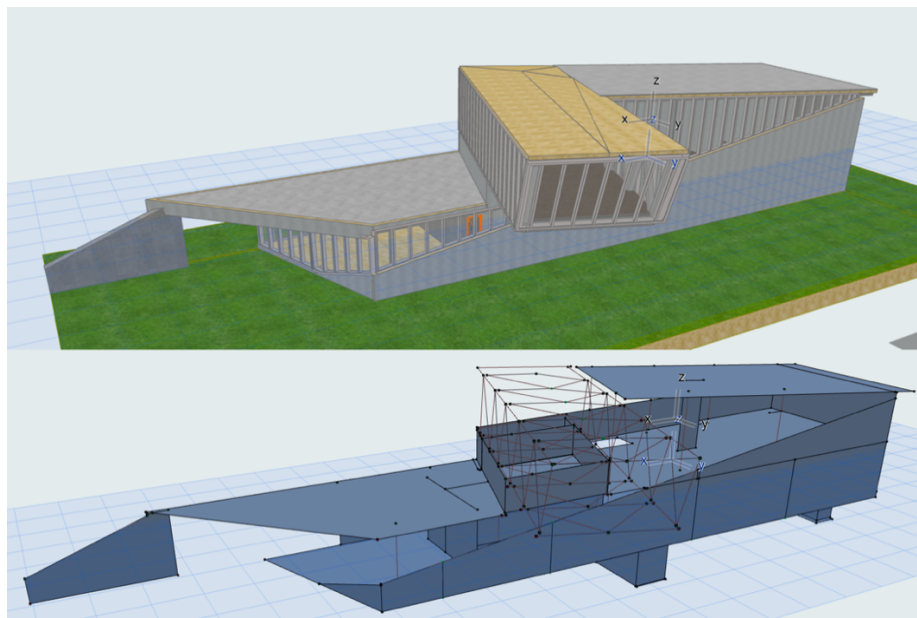
Az utolsó statikai szerepet betöltő elem, egy a kültéren található és közbenső födém alátámasztó monolit vasbeton szerkezet, melyet geometriai bonyolultsága miatt egyszerűsítettem és a „fal”, valamint „gerenda” parancsok segítségével hoztam létre, hasonlóan a kitöltő falak esetén végzett szilárdtest művelet alkalmazásával. Ezzel az épület tartószerkezeti váza elkészült, látható 2. ábrán.



2. ábra: Az épület tartószerkezeti elemei (Archicad24)

Fontos megemlíteni, hogy mivel a fő cél a modell AxisVM programba való importálása, ezért a létrehozott elemek beállításainál az „osztályozások és tulajdonságok” fülön található „szerkezeti funkció” -t „tartószerkezeti elem” -re állítottam, így az átvitelnél képes a méretező szoftver érzékelni, hogy az adott elem statikai célt szolgál. A modellezés közben az Archicad „szerkezet elemzés” funkciójával és annak beállításával többször is ellenőriztem a 3D térben a statikai vázat, így próbáltam törekedni a helyes illeszkedésekre.

A tartószerkezet definiálását követően további rétegrendekkel, nyílászárókkal, válaszfalakkal és kitöltő falakkal egészítettem ki a modellem az építésztervek és Műszaki Leírás alapján, annak érdekében, hogy építészeti megjelenéssel is rendelkezzen. Az elkészült modell és annak szerkezetelemzési nézete a 3. ábrán látható. A generált tervek a dolgozat mellékletében megtalálhatók.

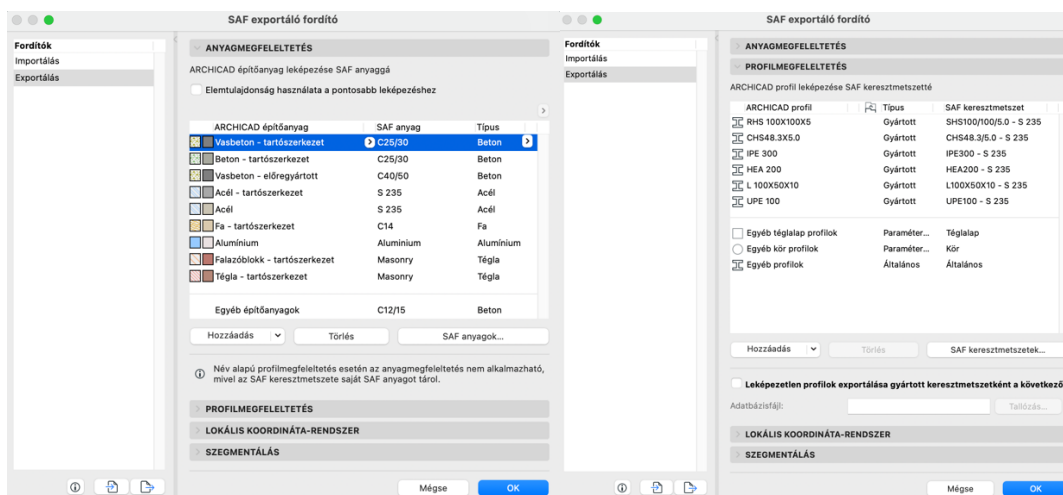


3. ábra: A teljes Archicad modell 3D megjelenítése (Archicad24)

3.4 Archicad és AxisVM szoftverek közötti adatcsere I.

Az Archicad és AxisVM szoftverek közötti kapcsolati lehetőségeiről és beállításairól az „Archicad és AxisVM közötti adatcsere” című részben a korábbiakban részletesebb leírást adtam, így ebben a fejezetben magát az adatcsere folyamatát lehet nyomon követni lépésről lépésre, melyet SAF és IFC formátumok használatával is végrehajtottam.

Elsőként az Archicad modell exportálásával kezdtem, SAF fordító segítségével. Az együttműködés fül alatt található „SAF exportáló fordító” -n belül ellenőriztem az anyagmegfeleltetést, ahol az Archicad-ben használatos anyagok listája volt látható. Itt lehetőség van külön egyéb anyagok definiálására, viszont jelen esetben ezt nem alkalmaztam, látható a 4. ábra bal oldalán. Ezek után megvizsgáltam a profilmegfeleltetést, itt sem hajtottam végre változtatást, mint ahogy azt a 4. ábra szintén mutatja, továbbá a keresztmetsvények lokális koordináta rendszerét az alapértelmezett „LCS 0 +X, +Y, +Z” beállításon hagytam. (Graphisoft, 2020, pp. 2562, 2568) Végezetül, mivel a modellemben nem található íves szerkezet, ezért a „nincs szegmentálás” státuszt alkalmaztam a „szegmentálás” című panelen. (Graphisoft, 2020, p. 2569) Ahogy a leírásból olvasható, nem hajtottam végre különösebb változtatást a SAF exportáló fordító alapbeállításaihoz képest, annak érdekében, hogy megvizsgáljam így az Archicad mennyire hatékonyan képes a modellt és az ahhoz tartozó információkat kimenteni.

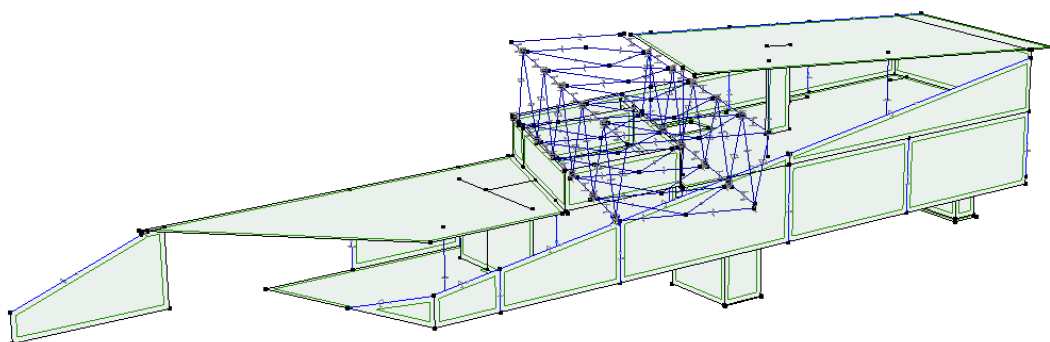


4. ábra: SAF export fordító anyagmegfeleltetés és profilmegfeleltetés (Archicad24)

A folyamat következő lépése a mentés szerkezetilemezési formátumban, aminek végeredménye egy „xlsx” kiterjesztésű Excel fájl, ami tartalmazza a modell különböző adatait. A dokumentumban található külön munkafüzet a projekt és modell információival ellátva, amelyek közül a legfontosabbak a globális és keresztmetszetek lokális koordinátarendszereinek típusa, SAF verziója és a mértékegység. Ezen kívül láthatók az

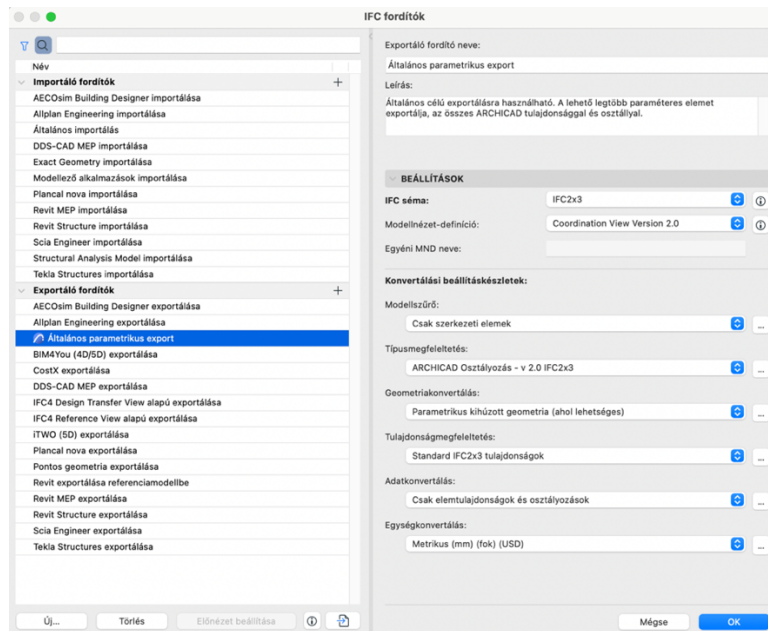
exportált anyagok, keresztmetszetek, szelvények, az elemek definiálásához szükséges koordináták és paraméterek. Ahogy az már korábban olvasható volt, itt is lehetőség van az egyes adatok manuális átírásával változtatások eszközölésére.

Az adatcsere folyamatának utolsó lépése az AxisVM szoftverbe való importálás. A program esetén csak az importálás opciót kell alkalmazni, ahol a formátumot „SAF import file (*.xlsx, *.xls)” lehetőségre kell állítani, így képes lesz felismerni a tartószerkezeti elemeket. (Inter-CAD Kft., 2021, pp. 137, 138) Az exportált Archicad modell importálása sikeres is volt, ugyanis az összes tartószerkezetként definiált elem megjelent, mint ahogy az 5. ábrán látható.



5. ábra: SAF forrású AxisVM modell (AxisVM X6)

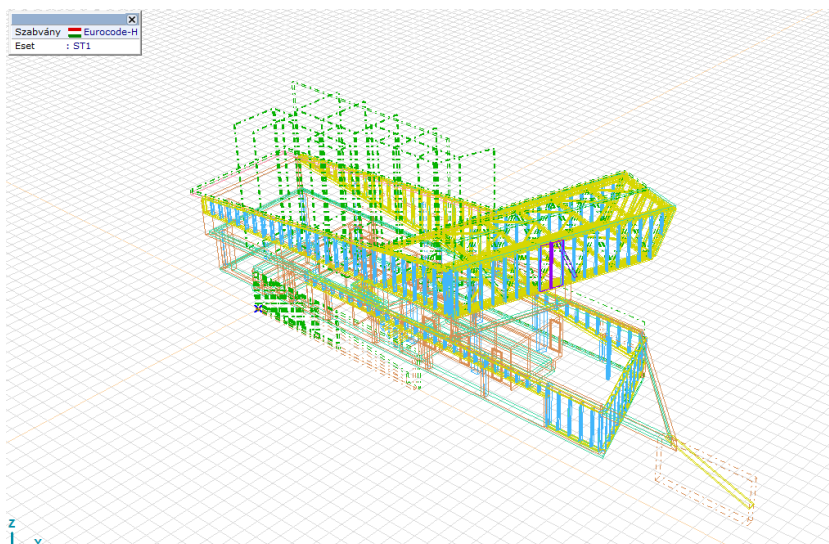
Az SAF adatcserét követően IFC formátumban is végrehajtottam az exportálást. Elsőként a már korábban említett „hagyományos” IFC formátumú adatcserét vizsgáltam meg, melynél az Archicad programon belül többfelé importálásra és exportálásra alkalmas IFC fordítót lehet alkalmazni az „IFC fordítók” című modulon. Itt lehetőség van az IFC séma, a modell-nézet definíció beállítására, illetve konvertálási beállításkészletek változtatására. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 3035) A 6. ábrán látható, hogy milyen lehetőségeket alkalmaztam az első IFC alapú mentés során. Ez a szoftverben már előre definiált fordító, ami egy általános exportra vonatkozik.



6. ábra: Első IFC fordító beállításai (Archicad 24)

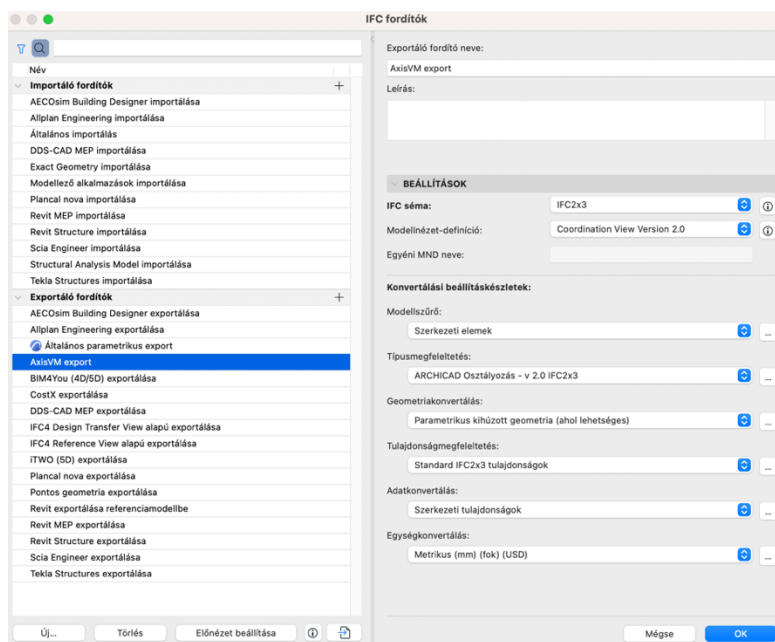
Ezt követően az exportáláshoz kiválasztottam az IFC formátumot, illetve az előre definiált fordítót, majd a mentés során az Archicad egy figyelmeztetést generált: „néhány elem exportja hiányzó geometria miatt sikertelen”. Az érintett elemek száma egy darab volt, az üzenet részletesebb elemzése során az azonosítóját is megtaláltam. Ez alapján készítettem egy tartószerkezeti elemek IFC azonosítóját tartalmazó listát Archicad konszignációk segítségével, viszont az elemet nem találtam benne. Ennek ellenére sikerült egy IFC formátumú fájlt kimenteni, melyet AxisVM szoftverbe szintén importáltam.

Hasonlóan a SAF esetén itt is Axis-ban a megfelelő „.ifc” formátumot kellett kiválasztani az „importálás” fül alatt, ahol ezen IFC beállítások mellett a betöltés lehetőségét csak „építész modell objektumok” opcióval tudtam meghatározni, ami újabb hibaüzenetekhez vezetett. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 128) Ennek ellenére létrejött az épület építészeti modellje AxisVM-ben, a hozzá tartozó összes Archicad-ben definiált nem csak statikai szerepet betöltő elemmel, látható a 7. ábrán. Ezek az objektumok nem alkalmasak tartószerkezeti modellezésre, a statikai vázat az „elemek” fül alatt található „építész modell” paranccsal kell generálni, amit külön szerkezeti típusokra lebontva hajtottam végre. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 304) Bizonyos esetekben viszont ez a folyamat nem működött teljesen jól, így ez az IFC formátumú adatsere nem vezetett megfelelő statikai modellhez.



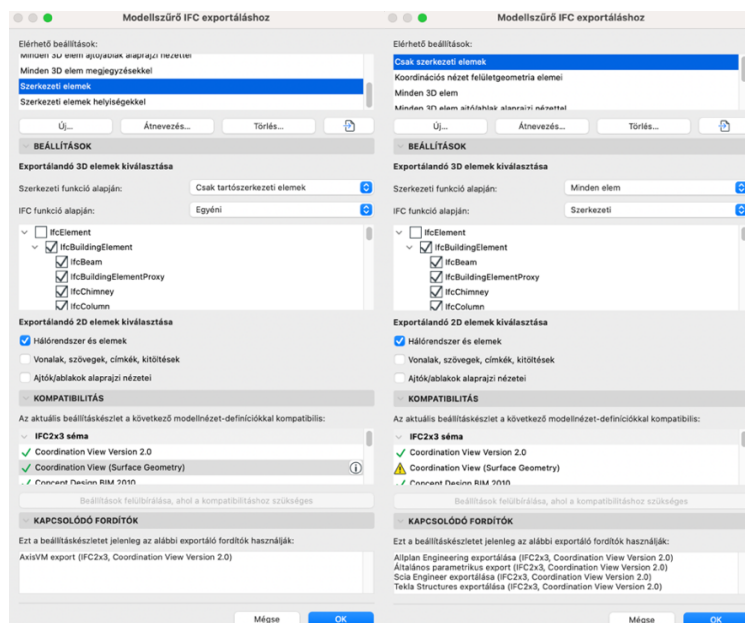
7. ábra: Első IFC fordítóval exportált AxisVM modell (AxisVM X6)

Ezután készítettem még egy IFC formátumú mentést, ahol egy olyan fordítót alkalmaztam, amit saját magam hoztam létre, látható a 8. ábrán. A célom ezzel az volt, hogy a lehető legjobban tudjam importálni az épület tartószerkezeti elemeit.



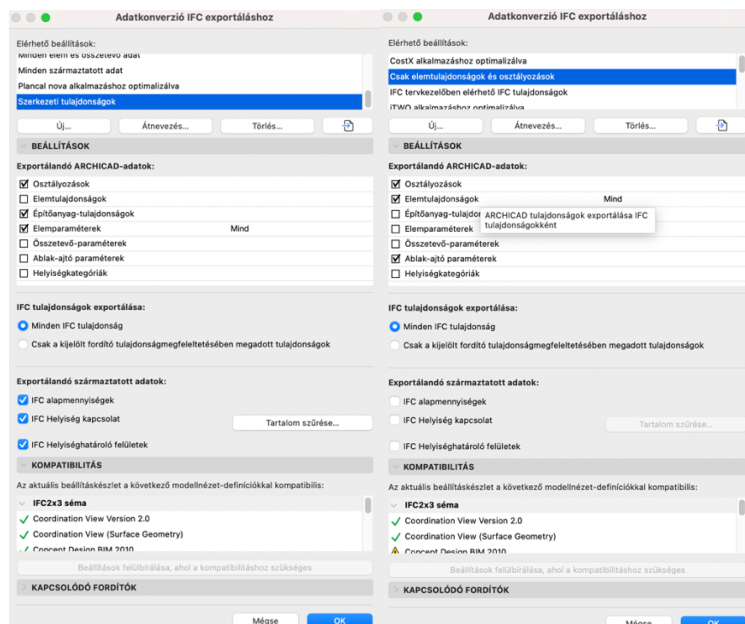
8. ábra: Második IFC fordító beállításai (Arcicad24)

Létrehoztam „Szerkezeti elemek” névvel egy külön modellszűrőt néhány módosító eljárással. Az exportálandó 3D elemek kiválasztásánál a szerkezeti funkciót „csak tartószerkezeti elemek” -re állítottam, az IFC funkciót pedig egyénire. A 9. ábrán látható a két fordító modellszűrő beállításai.



9. ábra: IFC modellszűrő beállítások (Archicad24)

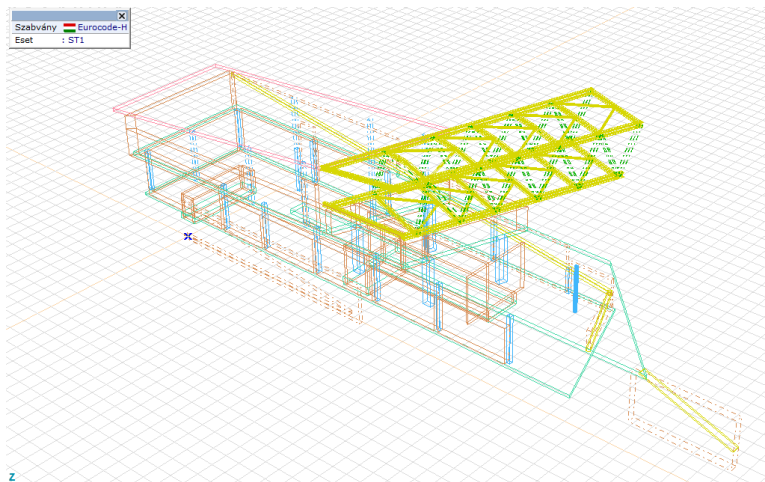
További változtatást a „Adatkonverzió” című beállításnál eszközöltem, létrehoztam itt is egy külön opciót „Szerkezeti tulajdonságok” néven, látható a 10. ábra bal oldalán. Az előző IFC fordító esetén a „Csak elemtulajdonságok és osztályozások” -hoz képest (8. ábra jobb oldal) az „Exportálendő Archicad-adatok” -nál az építőanyagokat és elemparamétereket választottam ki, valamint az ablak- és ajtóparamétereket elhagytam. Ezen kívül még az „Exportálendő származtatott adatok” -at is hozzárendeltem az adatkonverzióhoz.



10. ábra: IFC adatkonverzió beállítások (Archicad24)

Ezt követően végrehajtottam az exportot és az AxisVM szoftverbe való importot is, melynek eredménye az első IFC fordítótól eltérő volt, látható a 11. ábrán. Sikerült csak a

tartószerkezeti elemeket átvinni, amiket a program szintén csak építész modellként tudott azonosítani, így a statikai vázat ebben az esetben is külön definiáltam.

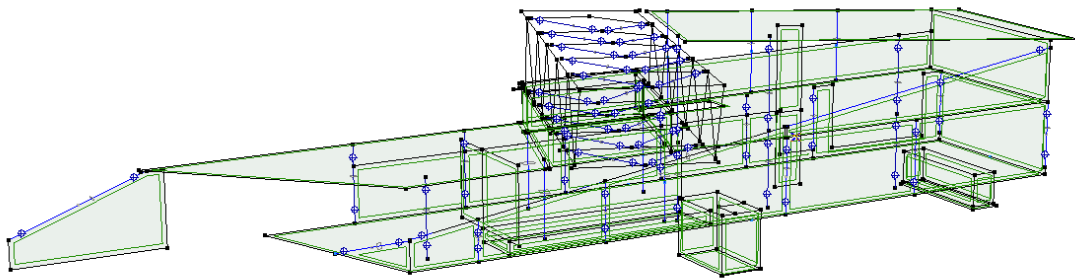


11. ábra: Saját IFC fordítóval exportált AxisVM modell (AxisVM X6)

A „hagyományos” IFC formátum vizsgálatát követően az IFC szerkezetelemzési modell mentést próbáltam meg, ami, ahogy az a korábbi fejezetben olvasható, kísérleti stádiumban van, így ennek használatát a munkakörnyezet fül kísérleti funkciók paneljén alkalmaztam. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 2583) További beállításokra ennél a típusnál nincs is lehetőség, így a következő lépés maga a mentés volt, viszont a „IFC szerkezetelemzési modell” kiválasztását követően „A kimentési állomány nem írható” hibaüzenetet tapasztaltam. A problémára egy olyan megoldást sikerült alkalmazni, melynél elsőként az építész modellt SAF formátumban exportáltam. Ezt újra behívva az Archicad szoftverbe sikerült az IFC szerkezetelemzési formátumú mentés.

Az AxisVM programba való importálás során, a betöltési módnál csak a „statikai váz” opciót lehetett alkalmazni a korábbi „hagyományos” IFC alapú adatcserékkel ellentétben. A folyamat sikeres volt, az összes tartószerkezeti elem azonosításra került. A kapott statikai váz a 12. ábrán látható.

Ezzel a két program közötti adatcsere első lépcsőfoka meg is történt, a következő fejezetben pedig ennek a folyamatnak az eredményeit elemzem részletesebben.



12. ábra: IFC szerkezetelemzési formátum forrású AxisVM modell (AxisVM X6)

3.5 Archicad és AxisVM szoftverek közötti adatcsere II.

Ennek a fejezetnek a középpontjában az SAF és IFC adatcsere eredményeinek vizsgálata áll, a két formátum összehasonlításának segítségével, mely a dolgozatom egyik fókuszpontja.

Elsőként az SAF formátumú export és import eredményeit elemeztem, ami igen hatékonynak bizonyult. A tartószerkezeti elemek közül mindegyiket képes volt a program felismerni és a helyes léptékkal és modellezési típussal leképezni, így a felületszerkezetek (födémek és falak) héjként, a rúdszerkezetek rúdként kerültek definiálásra.

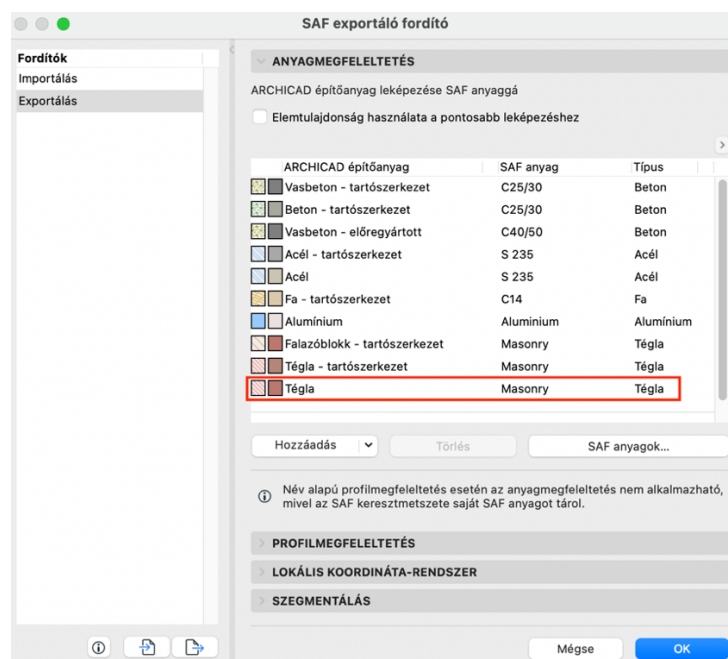
Ezután ellenőriztem az anyagfelismerést, ami tartalmazott némi eltérést a valósághoz képest. Az Archicad-ben „Vasbeton – tartószerkezet” -ként meghatározott szerkezeteket az AxisVM C20/25 minőségű betonként azonosította, az acél szerkezeteknél megadott „Acél – tartószerkezet” -et pedig S235 szilárdságúnak. A téglafal esetén viszont az AxisVM C12/15 minőségű betont definiált, ami természetesen hibás, ahogy a 13. ábrán látható, mely a kimentett „xlsx” fájlból származik. Ennek oka, ahogy azt utólag kiderítettem az volt, hogy az érintett falak anyagát „tégla” megnevezésű anyaggal láttam el, ami külön nem szerepelt az anyagmegfeleltetési listában, így az Archicad „egyéb anyag” -ként definiálta, amit a program C12/15 betonnak feleltetett meg.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Name	Type	Subtype	Quality	Unit mass [kg/m3]	E modulus [MPa]	G modulus [MPa]	Poisson Coefficient	Thermal expansion [1/K]	Design properties	Id
2	S 235	Steel		S 235	7850	210000	80769,23077	0,3	0,000012		
3	C25/30	Concrete		C25/30	2500	31500	13125	0,2	0,00001		
4	C12/15	Concrete		C12/15	2500	27100	11291,66667	0,2	0,00001		
5											
6											

13. ábra: Archicad SAF exportáló fordítója által azonosított anyagok (Excel)

A hiba javítására, illetve abban az esetben, ha magasabb anyagminőségeket szeretnénk megadni, több lehetőség is rendelkezésre áll. Az egyik ilyen az Archicad-en belüli SAF

exportáló fordítón lévő anyagmegfeleltetés beállításainak megváltoztatása, a másik pedig a kimentett Excel fájl adatainak módosítása. Az utóbbi megoldás némileg körülményesebb, ugyanis itt szükséges tudni az anyag pontos megnevezését és hozzátartozó paramétereit a megfelelő változtatáshoz. Ezen kívül még akár megoldás lehet az AxisVM szoftverben az elem anyagának megváltoztatása. Én a probléma kezelésére az első javaslatot alkalmaztam, és az Archicad SAF exportáló fordító beállításainál hozzárendeltem az anyagmegfeleltetés modulon a „tégla” megnevezésű anyagot a listához, majd elláttam a megfelelő paraméterekkel, látható a 14. ábrán.



14. ábra: Megváltoztatott anyaglista az SAF exportáló fordítóban (Archicad24)

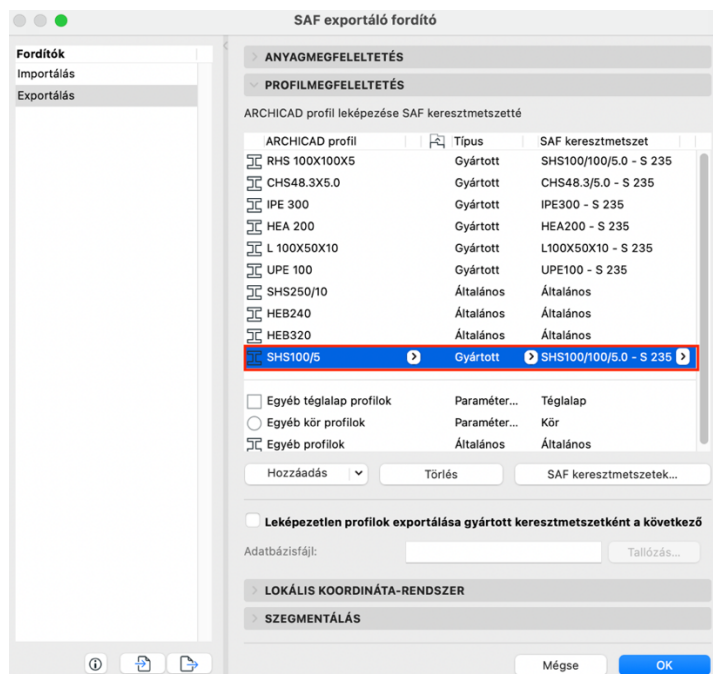
Az anyagok felismerésének vizsgálatát követően, a rúdelemekhez rendelt profilokat tanulmányoztam, amik közül egyedül az SHS100/5 jelent meg hibásan, ugyanis ezt a program tömör szelvényként azonosította, mint ahogy az a 15. ábrán látható.

Név	Rajz	Gyártás	Alak	h [cm]	b [cm]	tw [cm]	tf [cm]	r ₁ [cm]	r ₂ [cm]	r ₃ [cm]	A _x [cm ²]	A _y [cm ²]	A _z [cm ²]	I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	I _{yz} [cm ⁴]
1 SHS100/5		Más	Egyedi	10,0	10,0	0	0	0	0	0	100,00	83,33	83,33	1405,8	833,3	833,3	0
2 HEB240		Más	Egyedi	24,0	24,0	0	0	0	0	0	107,37	74,39	23,06	110,3	11384,7	3923,3	0
3 SHS250/10		Más	Egyedi	25,0	25,0	0	0	0	0	0	96,00	40,83	40,83	14107,1	9232,0	9232,0	0
4 CS4		Más	Kör	25,0	25,0	0	0	0	0	0	490,77	420,66	420,66	38349,5	19167,0	19167,0	0
5 CS5		Más	Tgl.	25,0	25,0	0	0	0	0	0	625,00	520,83	520,83	54912,7	32552,1	32552,1	0
6 CS6		Más	Tgl.	40,0	60,0	0	0	0	0	0	2400,00	2000,00	2000,00	751717,7	320000,0	720000,1	0
7 HEB320		Más	Egyedi	32,0	30,0	0	0	0	0	0	163,63	112,52	36,64	245,6	31206,8	9246,0	0

15. ábra: AxisVM által azonosított keresztmetszetek (AxisVM X6)

Ezt a problémát hatékonyan az Archicad-en belül szintén az SAF exportáló fordító segítségével lehet megoldani, méghozzá a profilmegfeleltetés modullal, a megfelelő

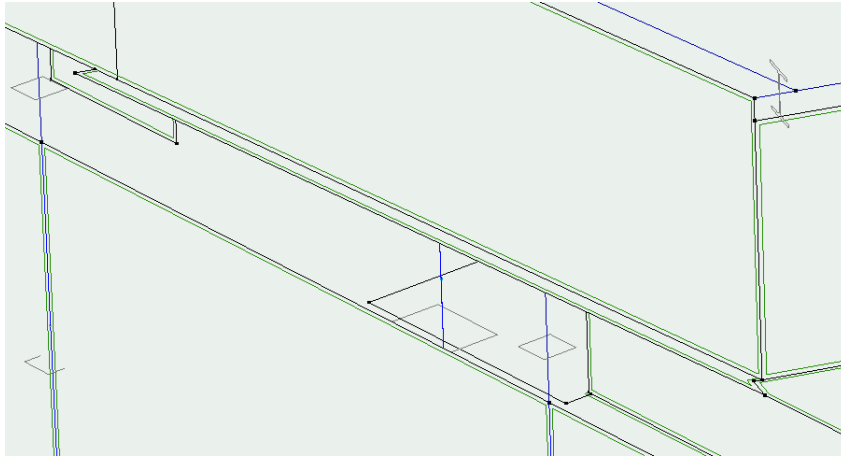
szelvények definiálása által. Ezzel az eljárással sikerült hozzárendelnem a szelvényt a többihez, mint ahogy az a 16. ábrán látható. Az AxisVM-be történő importálás során a program felajánlotta a keresztmetszet megfeleltetését, amit kiválasztva már helyesen jelent meg.



16. ábra: Megváltoztatott profillista az SAF exportáló fordítóban (Archicad24)

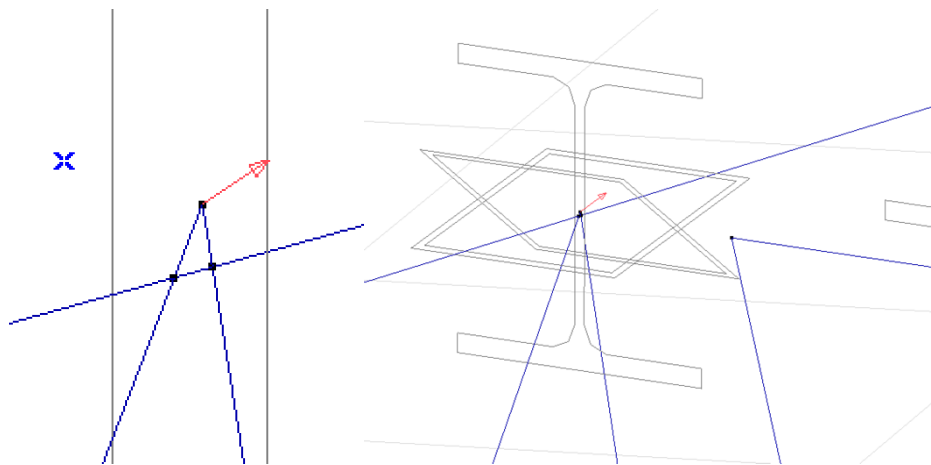
Az Excel fájlban is lehetséges a Profil koordinátáinak manuális átírásával változtatást eszközölni, viszont ez nagyon körülményes, ugyanis nehéz átlátni megjelenítés nélkül, hogy melyek a megfelelő értékek. Ezen kívül AxisVM szoftverben szintén lehetséges a profil átrajzolása.

A következő vizsgálati szempont az egyes elemek kapcsolata, valamint egymáshoz való viszonya volt, ahol szintén elmondható, hogy a SAF formátumú adatcsere jól működött. A vasbeton szerkezetek esetén az egyes rúdelemek egymással súlyvonalaik által, a felületelemekkel pedig középvonaluknál lettek csatlakoztatva, aminek köszönhetően megfelelően sikerült a statikai váz nagy részét előállítani. Egy helyen viszont, a közbenő földemen, némi problémát tapasztaltam, ugyanis itt több csomópont generálódott a szükségesnél, ezzel megváltoztatva némileg a szerkezet alakját, látható a 17. ábrán. A méretezés során ez nagy problémát nem okoz, ugyanis a statikai váz ettől függetlenül működőképes. A megoldást vagy az Archicad modell ellenőrzése jelentheti, és ez alapján új szerkezetelemzési modell generálási szabály létrehozása, vagy AxisVM szoftverben a csomópontok koordinátáinak átírása.



17. ábra: Vasbeton födém modellezési hibája (AxisVM X6)

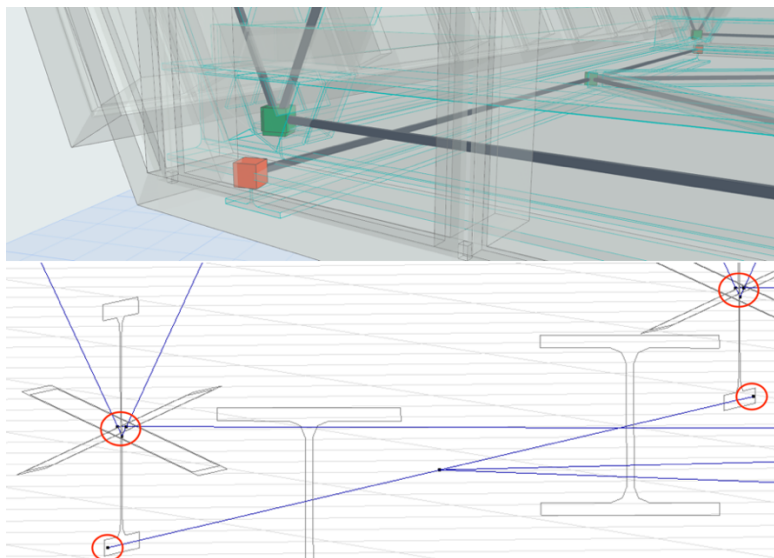
Az acélszerkezetnél is voltak hasonló csomóponti problémák, ugyanis a rácsrudak találkozáspontjai nem estek egy vonalba a rácsostartó öveivel, ami befolyásolhatja a statikai váz helyességét. Ezen kívül található volt a modellben olyan fióktartó gerenda is, ami nem csatlakozott egyik végénél másik elemhez, így konzolosan viselkedett, ami nem felelt meg a valóságnak. A 18. ábra bal, illetve jobb oldalán láthatók ezek a problémák. Ennek megoldására vagy az Archicad modellig kell visszanyúlni, és a szerkezetelemzési modell generálási szabályai segítségével javítani, vagy manuálisan AxisVM programban a csomópontok koordinátáit átírni, hasonlóan, mint a vasbeton födémnél.



18. ábra: AxisVM acélszerkezeti modellezési hibák (AxisVM X6)

Az acélszerkezet estén viszont a legnagyobb kihívás az egyes elemek külpontosságából fakadó hibák megoldása volt. Az alsó fióktartó gerendák a rácsostartók alsó öveihez úgy csatlakoztak, hogy a rúdelemek súlyvonalai nem metszték egymást, így nem jött létre kapcsolat, mint ahogy ez a 19. ábrán látható. Ezen probléma kiküszöbölésére először az érintett elemek súlyvonalának helymegváltoztatását próbáltam meg, amivel az acélelemek

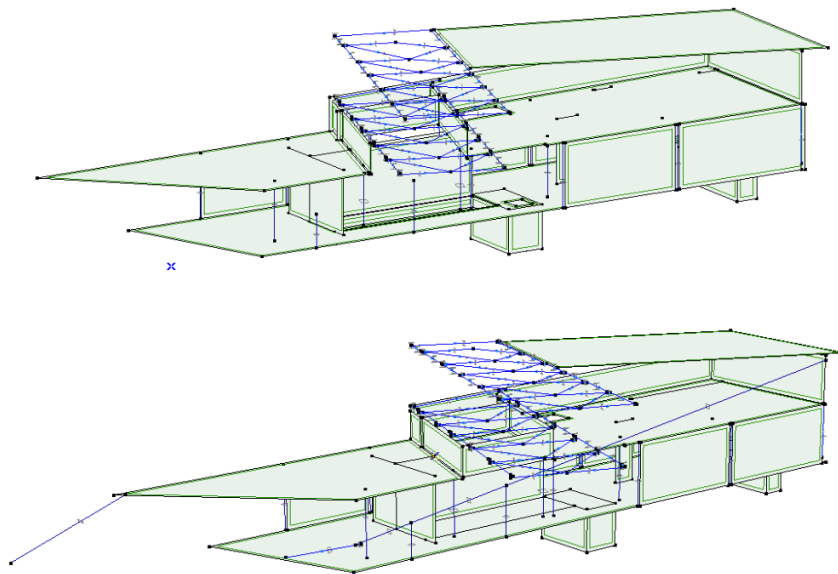
között létre is jött kapcsolat, viszont ebben az esetben az alátámasztó vasbeton falhoz nem csatlakoztak.



19. ábra: Külpontosság megjelenése ArchiCAD és AxisVM szoftverben (ArchiCAD24, AxisXM X6)

A tényleges megoldást egy kapcsolatteremtő elem definiálása jelentette ArchiCAD vagy AxisVM szoftverben. Ennek megfelelően találtam AxisVM-ben erre alkalmas eszközt, az elemek fülön lévő „merev test” parancsot, mely alkalmas excentrikus rúdkapcsolatok létrehozására. Az elem nem deformálódik, így képes megfelelően igénybevételeket és elmozdulásokat közvetíteni. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 291) Több hibával az SAF esetén nem találkoztam, így ezt követően az IFC adatcserét is elemeztem ugyan ezen pontok mentén.

Mint ahogy az az előző fejezetben olvasható volt, a „hagyományos” IFC formátumú adatsere némileg eltérő és bonyolultabb folyamat volt, mint az SAF. A részletezett két IFC fordító közötti különbség az átvitt elemek mennyiségében mutatkozott meg, ugyanis a másodikonál sikerült csak a tartószerkezeti elemeket átvinni, viszont ugyan úgy csak építészeti modellként tudtam generálni. Ebből adódóan mindkét esetben elvégeztem a statikai vázzá való átkonvertálást, melyek eredménye hasonló volt, látható a 20. ábrán, így ezeket közösen, egy esetként fogom vizsgálni.

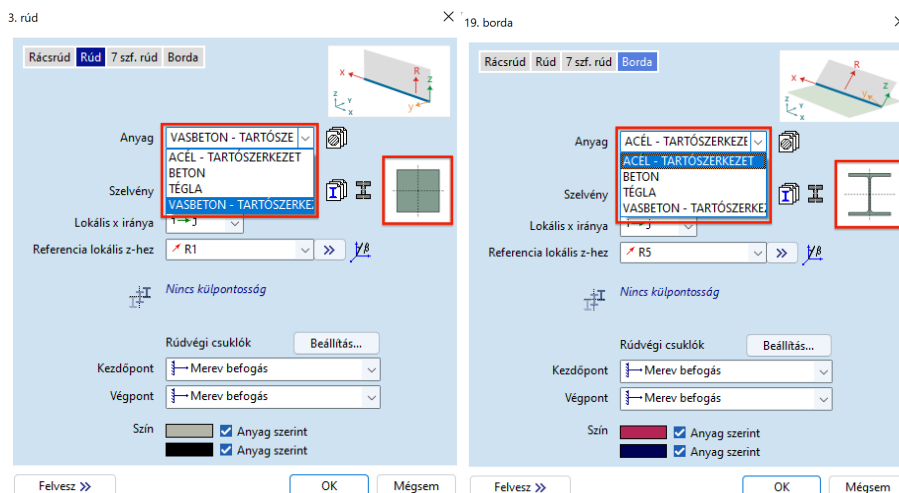


20. ábra: Első és második „hagyományos” IFC fordítóval exportált AxisVM modellek (AxisVM X6)

A legnagyobb problémát IFC formátumú adatcsere esetén az okozta, hogy egyes szerkezeteket nem tudott az AxisVM szoftver statikai elemmé konvertálni az építész modellből. Ezek főként a ferde tengellyel rendelkező rudak voltak, így a rácsostartó rácsrudakat külön kellett megrajzolni, illetve az Archicad-ben szilárdtest műveletekkel létrehozott elemeket sem definiálta a program, így az emeleten található oszlopok, és ferde felső síkú falak is kimaradtak a statikai vázból.

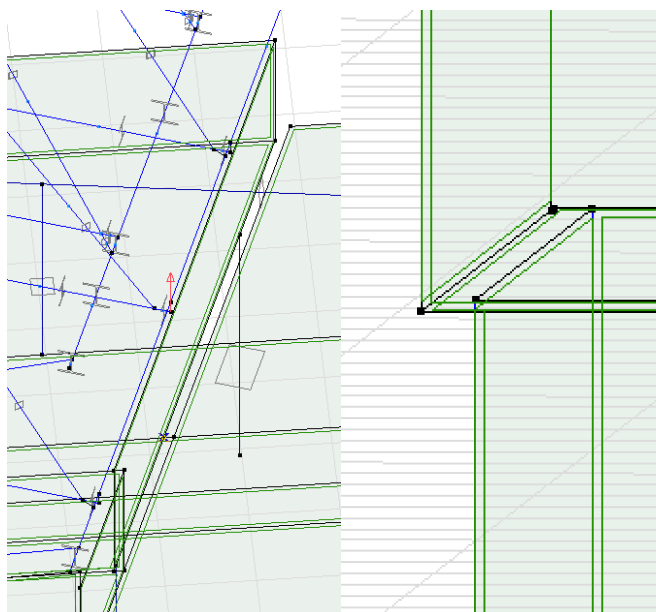
A következő lépésként az IFC esetén is elvégeztem az építőanyagok felismerésének elemzését, ami nem egészen megfelelően történt, ugyanis az elemek tulajdonságaiban az Archicad elnevezések szerepeltek, mint ahogy a 21. ábrán látható, ami két véletlenszerűen kiválasztott rúd információit mutatja. Az ezekhez társított anyagparaméterek az acél esetén megegyezők voltak az S235 minőséggel, viszont beton esetén nem feleltek meg a C25/30-nak. Ennek kezelésére egyedül az AxisVM-ben találtam megoldást, még hozzá a megfelelő anyag beállításával, ami körülményes, mivel minden egyes elemnek egyenként meg kell változtatni.

A profilok felismerésében az IFC esetén nem volt probléma, ugyanis minden keresztmetszetet képes volt az AxisVM megfelelően azonosítani, látható a 21. ábrán, a két véletlenszerűen kiválasztott rúdnál. Érdekes még megemlíteni, hogy az első IFC fordítónál a függőfalprofilokat is szelvényekként ismerte fel az AxisVM, viszont ezek a statikai számításokat, mivel a függőfalak nem lettek tartószerkezetként definiálva, nem befolyásolták.



21. ábra: AxisVM rúdelemek beállításai az „hagyományos” IFC formátumú adatcsere esetén

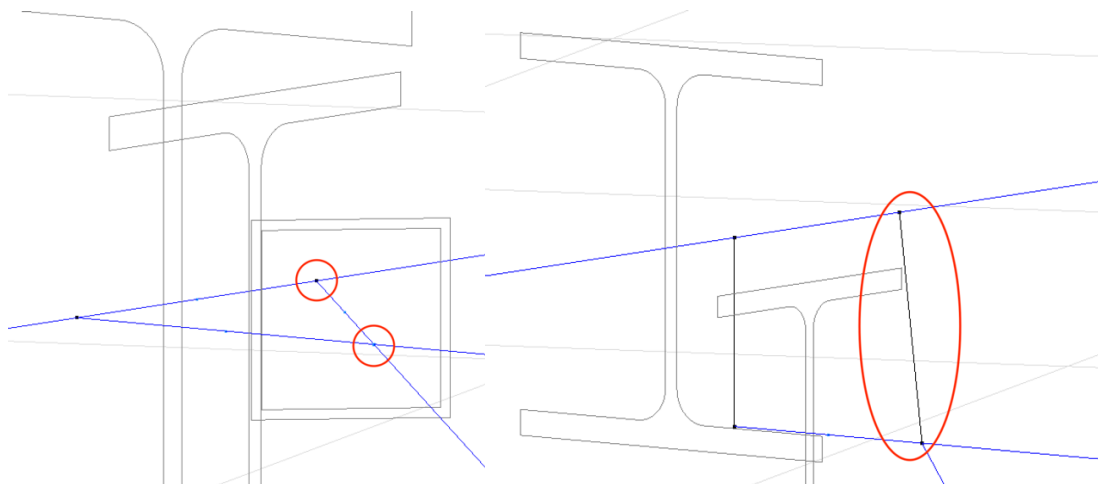
Az SAF esetén megjelent csomópont kapcsolati problémák a „hagyományos” IFC formátumú mentések esetén is jelentkeztek, természetesen csak azoknál az elemeknél, melyeket az AxisVM tartószerkezetként létre tudott hozni. A vasbeton felületek esetében a födémek egy helyen nem csatlakoztak egymáshoz, mint ahogy azt a 22. ábra bal oldala mutatja. Ezen kívül találkoztam olyan problémával is, hogy a födém nem ott csatlakozott a többi szerkezethez, mint az építészmodellben, ezáltal a mérete és a szerkezeti kialakítása is helytelen, látható szintén a 22. ábrán, jobb oldalon.



22. ábra: „Hagyományos” IFC fordítók esetén létrejött kapcsolati hibák (AxisVM X6)

Az acélszerkezet rácsrudjait nem tudtam megvizsgálni, mivel azok nem kerültek generálásra az Archicad modellből, viszont a fióktartó gerendáknál és hozzájuk csatlakozó merevítőrudaknál voltak csomópontbéli eltérések. A merevítőrudak a rácsostartó öveihez is csatlakoztak, ami a valóságnak nem felelt meg, mint ahogy azt a 23. ábra bal oldala mutatja.

Ami az IFC formátumú mentésnél nem okozott problémát, az a fióktartó gerendák külpontossága, ugyanis az AxisVM az érintett helyeken automatikusan elhelyezett közvetítő merev testeket, viszont sajnos olyanokat is, amelyekre nem volt szükség, látható a 23. ábra jobb oldalán.



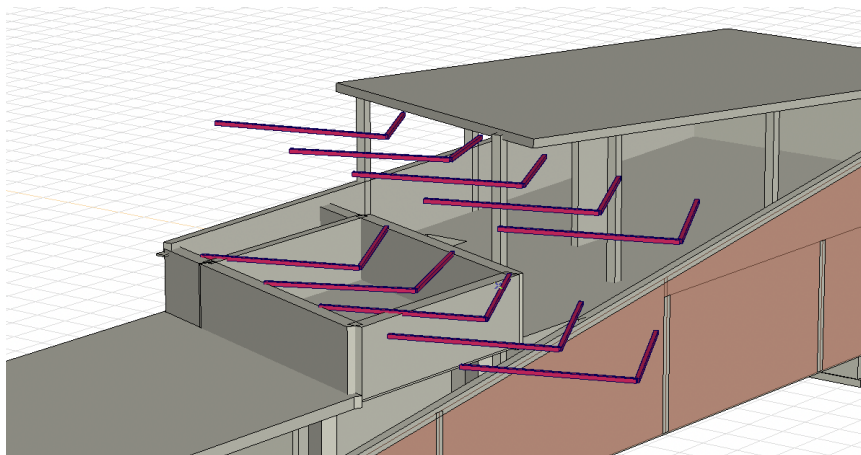
23. ábra: Acélszerkezet csomóponti hibák (AxisVM X6)

Ezt követően az IFC szerkezetelemzési formátummal létrehozott modellt is megvizsgáltam, ami bizonyos hasonlóságokat mutatott az SAF esetével. A főbb különbségek az anyag- és profilmegfeleltetésnél keletkeztek. Az AxisVM képes volt sikeresen azonosítani mindhárom építőanyagot (beton, acél, tégl), és a megfelelő szerkezetekhez társítani. Ezek listája a 24. ábrán látható.

Anyagok							
	Név	Típus	Nemzeti szabvány	Anyagszabvány	Modell	E_x [kN/cm ²]	E_y [kN/cm ²]
1	VASBETON - TARTÓSZERKEZET	Beton	Eurocode	EN 206	Lineáris	3000	3000
2	ACÉL - TARTÓSZERKEZET	Acél	Eurocode	10025-2	Lineáris	21000	21000
3	TÉGLA - TARTÓSZERKEZET	Falazat	SIA 26x (Svájci)	SIA 266	Lineáris	220	700

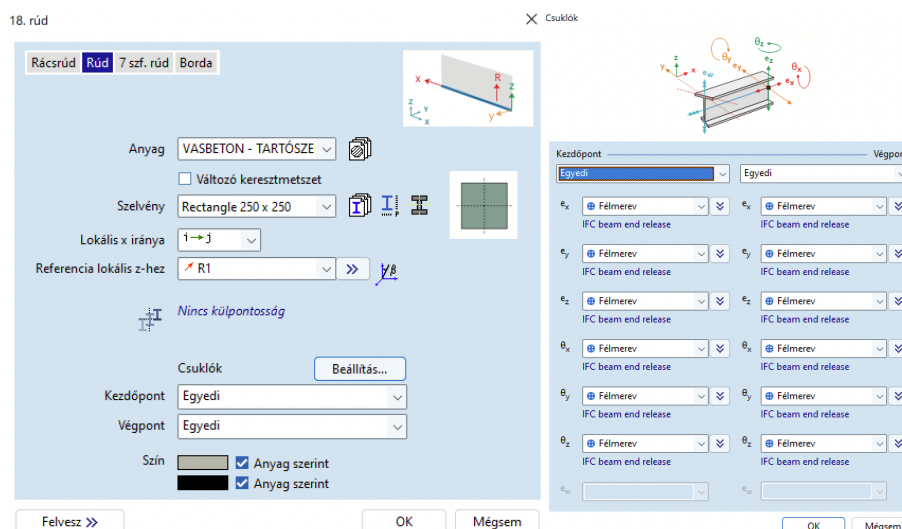
24. ábra: IFC szerkezetelemzési formátumú adatcserénél azonosított építőanyagok (AxisVM X6)

A profilmegfeleltetésnél viszont problémákat tapasztaltam az acélszerkezetnél, ugyanis az AxisVM nem volt képes felismerni az alkalmazott szelvényeket, így az elemek közül csak a merevítőrudak lettek helyesen definiálva. A többi rúdelem keresztmetszet nélkül jelent meg, így ebből adódóan ezek csak geometriai vonalként szerepeltek a modellben, méretezésre nem alkalmasak, látható a 25 ábrán. Megoldásként ezekhez hozzá lehet rendelni a megfelelő szelvényeket, amennyiben az AxisVM szoftverben létrehozzuk őket, vagy a már definiált profillistából kiválasztjuk.



25. ábra: Hiányzó acélszerkezeti rúdelemek IFC szerkezetelemzési formátum esetén (AxisVM X6)

Az IFC szerkezetelemzési formátummal létrehozott modellnél is jelentkeztek csomóponti kapcsolati problémák, melyek azonosak voltak az SAF estével, ezek a korábbi bekezdésekben olvashatók. Ami különbség az eddigi modellekhez képest, hogy a rúdelemek nagy része egyedi csuklóvégekkel kerültek definiálásra, ahol az összes elmozdulási és elfordulási kényszer félmerev volt. Ez a 26. ábrán látható, ami egy véletlenszerűen kiválasztott vasbeton pillér csuklóbeállításait mutatja. Más egyéb hibát, érdekességet az IFC szerkezetelemzési formátum importálásával létrehozott AxisVM modellnél nem tapasztaltam.



26. ábra: IFC szerkezetelemzési formátum esetében definiált rúdvégi csuklók (AxisVM X6)

SAF és IFC formátumú adatcsere esetén kiderül a leírásból, hogy viszonylag sok eltérést tartalmaz a két típusú mentés eredménye. A legnagyobb, és egyben az IFC fő hátránya is, hogy az AxisVM nem volt képes minden egyes tartószerkezeti elemet felismerni és definiálni, az SAF formátummal szemben. Ehhez hozzájön még, hogy magának a statikai váznak az előállítása is bonyolultabb folyamat volt IFC-nél.

Az anyagfelismerés esetén is az SAF jobban teljesített a „hagyományos” IFC alapú adatszerénél, ugyanis egy hibát leszámítva, mely tulajdonképpen az SAF fordító nem megfelelő beállításának eredménye volt, mindent sikerült megfelelően azonosítani. Az IFC szerkezetelemzés ebből a szempontból tökéletesen működött.

A profilmegfeleltetés területén a „hagyományos” IFC hiba nélkül azonosította az alkalmazott keresztmetszeteket. SAF esetén ugyan volt egy eltérés, viszont ez is tulajdonképpen megfelelő beállítással orvosolható volt. A IFC szerkezetelemzési viszont ezt a szempontot vizsgálva nem teljesített jól, ugyanis az acélszelvények közül csak egyet ismert fel.

Az elemek egymáshoz való kapcsolódásának vizsgálatában SAF és IFC formátumoknál egyaránt volt probléma, amiket megfelelő eszközökkel ki lehetett javítani. Amiben viszont eltérés volt a formátumok között, az a külpontosság kezelése, amit a „hagyományos” IFC automatikusan megoldott merev testek alkalmazásával, igaz nem mindenhol helyesen, az SAF és IFC szerkezetelemzési esetében pedig külön kellett őket definiálni. Ezen kívül, ami még eltérés volt a többihez képest az IFC szerkezetelemzés formátumánál, hogy félmerev csuklóbeállítások jöttek létre a rúdelemeknél.

Ezen pontok alapján összességében az SAF formátumú adatátvitel Archicad-ből AxisVM szoftverbe hatékonyabbnak bizonyult, ennek köszönhetően az így előállított modellt alkalmaztam további munkám során.

3.6 Az épület méretezése

A dolgozatom első részében az Archicad modell exportálása és AxisVM szoftverbe való behívása volt a középpontban, viszont az adatszere kétirányban lehetséges, így ezt a lehetőséget is megvizsgáltam. Ennek érdekében elvégeztem az épület kiválasztott elemeinek a méretezését, és a kapott eredményeket visszatápláltam Archicad programba. Fontos kiemelni, hogy a dolgozat fő témája nem a statikai tervezés, ezért a méretezés helyenként egyszerűsítéseket tartalmaz. Az egyes elemek statikai tervezését AxisVM programmal és kézi számításokkal egyaránt elvégeztem.

3.6.1 Támaszok és belső csuklók definiálása

Természetesen a statikai számítások lefuttatásának végrehajtásához az épület megtámasztását biztosítani szükséges AxisVM szoftverben, így az alaplemezhez és aknalemezekhez felületmenti támaszt definiáltam. Ez Winkler típusú rugalmas megtámasztás, melynél az eltolódási merevséget (K_x , K_y , K_z) kell megadni. A támaszmerevségét az alapértékre ($1E+4 \text{ kN/m}^2$) állítottam be.

Ezen kívül az acélszerkezet merevítő rudjainak csomóponti beállításait is megváltoztattam, ahol a lokális „y” és „z” tengelyek körüli elfordulást (Θ_y , Θ_z) szabadra állítottam, így modellezve a valós körülményeket, mivel a program az elemeket automatikusan befogottra határozta meg. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 271)

3.6.2 Teherszámítás

A méretezés helyes elvégzésének egyik alapvető eleme az épületre ható terhek és hatások megfelelő meghatározása és felvétele. A dolgozatom készítése során ezen feladat elvégzéséhez a „Tartószerkezeti Tervezés Alapjai Terhek és Hatások: Tervezés az Eurocode alapján” című könyv 2. kiadást használtam fel segédletként.

A tervezéshez az épület élettartama alatt fellépő hatásokat határoztam meg elsőként, illetve ez alapján hoztam létre a tehercsoportokat. A terhek időbeli változásai alapján 3 fő csoportot képeztem, melyekhez különböző parciális és kombinációs tényezők tartoznak a teherbírási és használhatósági határállapot kombinációiban. (Dr. Kollár, et al., 2017 január, pp. 33, 3-1 táblázat) A tehereseteket ezeken belül definiáltam, ahol a vizsgált szempont az eredetük volt, amit az 1. táblázat foglal össze.

1. táblázat: Tehercsoportok és tehereseteik

Hatások csoportosítása			
Időbeli változás	Állandó	Esetleges	Rendkívüli
Eredet	Önsúly	Hasznos teher	Rendkívüli hőteher
	Rétegrendi teher	Hőteher	Földrengés teher
		Szélteher	
		Válaszfal teher	

A tehercsoportokat az AxisVM programban az 1. táblázatnak megfelelően definiáltam, és ezeken belül hoztam létre az alábbi tehereseteket:

Önsúly:

Az önsúly számítását az AxisVM az elem geometriai méretei és anyagsűrűség alapján automatikusan meghatározza. Ezt alkalmaztam, így létrehozva az „önsúly” című tehercsoportot, mely állandó jellegű teher.

Rétegrendi terhek:

Az egyes szerkezetekhez tartozó rétegrendeket, a Műszaki Leírás alapján vettem fel, és súlyértékeiket az itt leírt anyagok és hozzájuk tartozó vastagságok alapján számítottam.

A 2. táblázatban láthatók az egyes szerkezetekre lebontott, műszaki leírásban szereplő rétegrendek megnevezései, és hozzájuk tartozó teherértékek.

2. táblázat: Alkalmazott rétegrendek és hozzájuk tartozó értékek

Szerkezet	Rétegrend megnevezés	Érték	
Alaplemez	RP_01_földszint_általános hidegburkolatú helyiség	2,58	kN/m ²
Szerelőakna lemez	RP_06_földszint_gépkocsi tároló szerelőakna	1,44	kN/m ²
Hydrofor akna lemez	RP_05_földszint_hydrofor akna	6,40	kN/m ²
Padlósüllyesztés	RP_04_földszint_elektromos helyiség süllyeszték	2,14	kN/m ²
Közbenső födém (beltér)	RP_02_általános szintközi födém	1,36	kN/m ²
Közbenső födém (búvótér)	RP_11_emelet_búvótér fölött	1,63	kN/m ²
Közbenső födém (kültér)	RT_01_tetőfödém rétegrend	1,63	kN/m ²
Zárfödém	RT_01_tetőfödém rétegrend	1,63	kN/m ²
Acélszerkezet födém	RP_03_emelet_épületkonzol	0,66	kN/m ²
Acélszerkezet zárfödém	RT_03_emelet fölötti épületkonzol tető rétegrendje	1,39	kN/m ²

Hasznos teher:

A hasznos teher számításánál a Funkció szerinti besorolás alapján határoztam meg az értékeket. Külön vizsgáltam a közbenső szinteket és a tetőt, melyet lapostetőként vettem figyelembe az 5,20°-os dőlésszög miatt. A kapott eredmények a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat: Közbenső szintek és lapostető hasznos terhei

Közbenső szintek hasznos teher		
Eurocode alapján a használati osztály:		A
$q_{\text{hasznos.közb}}$	2,00	kN/m ²
Lapostető hasznos teher		
Eurocode alapján a használati osztály:		H
$q_{\text{hasznos.lapost}}$	0,40	kN/m ²

Az így kapott értékeknek megfelelően vettem fel ezt a teheresetet az AxisVM szoftverben az esetleges tehercsoportban.

Hóteher:

A hóteher számítását elvégeztem tartós tervezési állapotra és rendkívüli tervezési állapotra egyaránt, majd külön teheresetként hoztam őket létre AxisVM szoftveren belül, előbbit az esetleges, utóbbit pedig a rendkívüli tehercsoportban.

A számítás egyik legfőbb kiindulási paramétere az épület tengerszint feletti magassága, melyet Magyarország magassági koordináta térképéről 110 mBf értéknek határoztam meg. Az Eurocode alapján, mivel ez az érték 400 mBf alatt van, a felszíni hóteher karakterisztikus értéke $s_k=1,25 \text{ kN/m}^2$.

Ezt a tartós tervezési állapot esetén, mint ahogy az 1. egyenlet mutatja, megszoroztam a szélhatást figyelembe vevő tényezővel ($C_e=1,00$), a hőmérsékleti tényezővel ($C_t=1,00$) és az alaki tényezővel (μ_i), így megkapva a tető hóterhének karakterisztikus értékét (s_t). Az alaki tényező értékét a tető hajlásának függvényében határoztam meg, ami jelen esetben 5,20°, így ez 0,80.

1. egyenlet: Hóteher karakterisztikus értéke

$$s_t = C_e * C_t * \mu_i * s_k = 1,00 * 1,00 * 0,80 * 1,25 \text{ kN/m}^2 = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

A rendkívüli tervezési állapot esetén az imént kiszámított s_t karakterisztikus értéket szoroztam meg a rendkívüli hőteher tényezőjével (C_{est}), melynek értéke 2,00, ahogy a 2. egyenletben látható.

2. egyenlet: Rendkívüli hőteher karakterisztikus értéke

$$s_{Ad} = C_{est} * s_k = 2,00 * 1,00 \text{ kN/m}^2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

A kiszámított értékeket megoszló teherként definiáltam AxisVM szoftverben, és helyeztem el a megfelelő helyeken.

Szélteher:

A szélteher számítását két külön részre osztottam, így meghatároztam a függőleges felületekre és tetőszerkezetekre, az utóbbinál pedig vizsgáltam az Eurocode-nak megfelelő szélnyomást és szélszívást. Ez alapján definiáltam az AxisVM programban a tehereseteket az esetleges tehercsoporton belül.

Az egyik legfontosabb kiindulási adat a számításhoz, az épület beépítettségi osztálya, mely I. besorolású, azaz nyílt terepű. A másik az épület terepszint feletti magassága, ami az építésztervek alapján 9,22 m. Ezen két adat ismeretében „A szél torlónyomásának értékei Magyarországon” című táblázatból kiválasztottam a megfelelő szél torlónyomásának értékét ($q_p(z)_{\text{táblázati}}$), ami így $0,964 \text{ kN/m}^2$. Ezután megszoroztam az iránytényezővel (c_{dir}), évszaktényezővel (c_{season}) és domborzati tényezővel (c_0), melyek értéke egyaránt 1,00, így a módosított torlónyomás értéke ugyan úgy $0,964 \text{ kN/m}^2$, látható a 3. egyenletben.

3. egyenlet: Módosított torlónyomás értéke

$$\begin{aligned} q_p(z)_{\text{módosított}} &= c_{dir}^2 * c_{season}^2 * c_0^2 * q_p(z)_{\text{táblázat}} \\ &= 1,00^2 * 1,00^2 * 1,00^2 * 0,964 \text{ kN/m}^2 = 0,964 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Ezután az szerkezetekre ható szélnyomás számításánál a módosított torlónyomás értékét szoroztam meg az egyes szélzónák külső felületi tényezőivel. Elsőként a függőleges felületekre ható értékeket határoztam meg, az épület oldalára merőleges szélirány esetén. Ebből adódóan 5 zóna alakul ki a homlokzat mentén, egy a széltámadta (D), egy a szélárnyékos (E), és három a széllal párhuzamos oldalon (A, B, C). Az ezekhez tartozó külső nyomási tényezőket az épület homlokzatának legmagasabb pontja (h), és a széliránnyal merőleges oldal hosszának (d) aránya alapján választottam ki és az egyes zónák hosszait számítottam. Ebben az esetben a $h=9,22 \text{ m}$ a $d=8 \text{ m}$, így a $h/b=1,15$, ezért a tényezőket

interpoláltam a $h/d=0,25$ és $h/d=1,00$ -hez tartozó értékek között. Fontos kiemelni, hogy ezek a tényezők a $10,00 \text{ m}^2$ -nél nagyobb felületekre vonatkoznak, ami az épület minden oldalán teljesül. Az így kapott tényezőkkel szoroztam a torlónyomás módosított értékét, melynek eredményeit az 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat: Függőleges felületek ható szélnyomás

Zóna	Külső nyomási tényező értéke	Szálnyomás értéke		Zóna hossza	
A	-1,20	-0,96	kN/m^2	1,6	m
B	-0,80	-0,58	kN/m^2	6,4	m
C	-0,50	-0,29	kN/m^2	0	m
D	0,80	0,96	kN/m^2	Felület teljes hossza	
E	-0,51	-0,30	kN/m^2	Felület teljes hossza	

A biztonság javára való eltérés miatt, a szélteher felvételét az AxisVM-ben egyszerűsítettem, és a függőleges felületek estén a széllal párhuzamos oldalon végig az „A” zónához tartozó maximális értéket vettem fel. Ezen kívül létrehoztam teherhordó felületeket, a teherpanel parancs segítségével, amik az erőjátékot nem befolyásolják, a teher szétosztására alkalmasak. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 330) Ezeken helyeztem el a szélhatást felületen megoszló teherként, ezzel szimulálva a valós körülményeket.

A tetőszerkezetre ható szélteher számítása is hasonlóképp történik, mint a függőleges felületeknél. A tetőszerkezet típusa alapján, ami lapostető, két esetet különböztet meg az Eurocode, a szálnyomást és szélszívást, melyek egyenlő nagyságúak és ellentétes irányúak.

A külső nyomási tényezők kiválasztásához fontos kiindulási adat a tetőperem típusa, ami attikafalas, és magassága (h_p) az építésztervek alapján kerekítve 30 cm. Ennek és a homlokzat legnagyobb magasságának az aránya alapján kiválasztottam a különböző terhelési zónákhoz tartozó nyomási tényezőket. Ebben az esetben ez a szám $h_p/h=0,03$, ami miatt ismét a $h_p/h=0,025$ és $h_p/h=0,05$ értékek között kellett interpolálni. Itt is a $10,00 \text{ m}^2$ -nél nagyobb felületre vonatkozó értékeket vizsgáltam, ugyanis a tető minden esetben ennél nagyobb. A nyomási tényezők számítása után a módosított torlónyomás értékével szoroztam meg őket, az eredményeket az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat: A tetőszerkezetre ható szélhatás értékei

Zóna	Külső nyomási tényező értéke	Szelhatás értéke	
F	-1,49	1,63	kN/m ²
G	-1,29	1,44	kN/m ²
H	-0,7	0,87	kN/m ²
I	-0,20	0,39	kN/m ²
J	-0,20	0,19	kN/m ²

Ebben az esetben is hasonlóan a függőleges felületekhez, a biztonság javára való egyszerűsítést végeztem el, és a teljes tetőszerkezetre a „F” zónához tartozó legnagyobb értéket határoztam meg. A terhelést felületen megoszlóként vettem fel az egyes szerkezetekre, az acélkonzolnál pedig külön létrehoztam teherpaneleket, a megfelelő elhelyezés céljából.

Válaszfal teher:

Az Eurocode lehetőséget ad arra, hogy bizonyos folyóméter súlyig a válaszfalakat egy az azokat helyettesítő megoszló teherrel vegyük fel. A Műszaki Leírás rétegrendjei alapján 12,5 cm vastag gipszkarton válaszfalakat határoztam meg a vázlattervhez, melyek folyómétersúlya 2,30 kN/m. Ez az érték az Eurocode alapján „átlagos” fajtának felel meg, így a helyettesítő megoszló teher értéke: $q_k=0,80$ kN/m². Ezt teheresetet az esetleges tehercsoportban hoztam létre az AxisVM szoftverben.

Földrengés teher:

A földrengések hatására a talajban gyorsulások és elmozdulások jönnek létre, amik a szerkezetekben többletigénybevételekhez vezetnek, így ezt a rendkívüli teheresetet is figyelembe kell venni a méretezés során. A legfontosabb számításhoz szükséges paraméter az építés helyszínétől függő talajgyorsulás referencia értéke (a_{gR}), mely a földrengés hatására keletkező vízszintes gyorsulások számításba vételének kiindulási alapja. Ezt az adatot a Magyarország szeizmikus zónatérképe alapján határoztam meg, amin Győr és környéke a 3. és 4. zóna határán helyezkedik el, így a biztonság javára az építés területét 4.-hez soroltam. Ennek megfelelően az a_{gR} értéke 0,14g, ami azt jelenti, hogy a talajban figyelembe vehető

vízszintes gyorsulás a nehézségi gyorsulás 0,14-szeresével egyenértékű, ahogy ezt a 4. egyenlet mutatja.

4. egyenlet: Talajgyorsulás referencia értéke

$$a_{gR} = 0,14 * g = 0,14 * 9,81m/s^2 = 1,37m/s^2$$

A továbbiakban a földrengéstéher meghatározásához az AxisVM szoftver SE1 modulját használtam, mely képes a szerkezetekre jutó földrengésből származó igénybevételeket a Modális Válaszspektrum Analízis (MVSA) alapján kiszámítani. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 357) Ehhez a programban elsőként létrehoztam manuálisan egy a szeizmikus tervezési állapothoz tartozó kombinációt az Eurocode alapján, amiben az állandó terheket karakterisztikus értékükkel, az esetleges terheket pedig kvázi-állandó értékükkel vettem számításba.

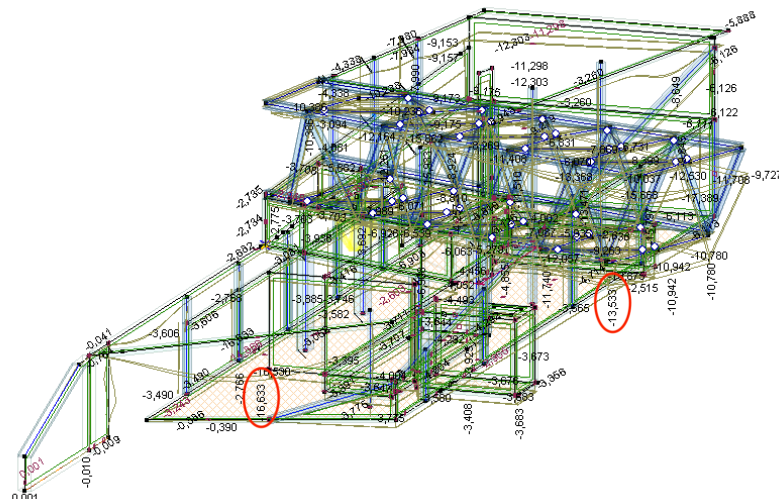
Ezt követően a rezgés panelen található „rezgésvizsgálat” paranccsal létrehoztam a legkisebb szabad rezgési frekvenciát és a hozzá tartozó rezgésalakokat, az előbbieken meghatározott szeizmikus teherkombinációhoz. Összesen 20db rezgésalakot vizsgáltam annak érdekében, hogy a tömegrészesedés az Eurocode-nak megfelelő 90% környékén keletkezzen.

A tehercsoportoknál létrehoztam egy földrengés teheresetet, és ehhez generáltam a földrengésből származó terheket a szeizmikus hatás jellemzőinek megadásával. A legfontosabb paraméterek a már meghatározott talajgyorsulás referenciaértéke (a_{gR}) és a talajtípus, ami a talajvizsgálati jelentés alapján „C” osztályú. (Furcskó, et al., 2018, p. 9) Ezzel sikerült meghatározni a földrengésből származó tehereseteket.

3.6.3 Lineáris statikai számítás lefuttatása

A modell megfelelő támasz és rúdvégi csuklóbeállításait követően elhelyeztem a terheket, majd lefuttattam a lineáris statikai számítást és megvizsgáltam a mértékadó teherkombinációban kapott függőleges elmozdulási eredményeket. A kapott értékek a megfelelő tartományban keletkeztek, a várható helyeken (acélkonzol végén, nagy födémfeszítávoknál), látható a 27. ábrán.

Ezt követően a keletkező igénybevételek értékelését végeztem el, ahol nem találtam kiugróan magasat, így a modellezés feltehetőleg a valóságos körülményeknek megfelelő, ebből adódóan a méretezést végre lehet hajtani.



27. ábra: A mértékadó keletkező függőleges elmozdulások az elsőrendű analízis alapján (AxisVM X6)

3.6.4 Acélszerkezet méretezése

Elsőként az acélszerkezet méretezését végeztem el, melynél megvizsgáltam az egyes elemek kihasználtságát teherbírási és használhatósági határállapotokban egyaránt. Fontos megemlíteni, hogy a kézi számításokat az „Acélszerkezetek: Tervezés az Eurocode alapján-Általános eljárások” című könyvben található elvek mentén végeztem el, az egyes képletek felhasználva.

A teherbírási ellenőrzés előtt, a használhatósági határállapothoz tartozó alakváltozásokat értékeltem. Az Eurocode alapján lehajlás esetén a megengedhető határérték $w_{\max} = L/250$, ahol „L” az elméleti támaszköz, vízszintes eltolódás esetén pedig $u_{\max} = H/300$, ahol „H” a vizsgált szint magassága. Az acélelemek közül a rácsostartó övgerendáinak és fióktartóinak elmozdulásait vizsgáltam meg, ugyanis ezek adják a szerkezet szempontjából a mértékadó értékeket, még hozzá a várható helyen, azaz a konzolkinyúlás végén. Az övek esetén az elméleti támaszköznek a konzulkinyúlás értékét vettem fel, melyet a biztonság javára 9,00 m-re kerekítettem, a fióktartó esetén pedig az $L = 5,72$ m. A szerkezet legmagasabb pontja 8,60 m így ezzel azonosítottam a „H”-t. A kapott elmozdulási értékeket SLS használhatósági kombinációkban az elsőrendű analízis eredményei alapján vizsgáltam. Fontos megjegyzés az értékelésénél, hogy a fióktartó gerendák lehajlásába beleszámít a rácsostartó alsó öveinek lehajlása is, így a tényleges eredményhez ezt kivontam az AxisVM által jelzett értékből. Az eredményeket a 6. táblázat foglalja össze, és látható, hogy mindkét elem megfelel használhatósági határállapot szempontjából.

6. táblázat: Acélszerkezet alakváltozásának értékelése

HEB320			HEB240		
Lehajlás			Lehajlás		
w	13,53	mm	w	0,34	mm
L	9000,00	mm	L	5720,00	mm
w _{max}	36,00	mm	w _{max}	22,88	mm
Lehajlásra megfelel			Lehajlásra megfelel		
Vízszintes elmozdulás			Vízszintes elmozdulás		
u	2,55	mm	u	2,55	mm
H	8600,00	mm	H	8600,00	mm
u _{max}	28,67	mm	u _{max}	28,67	mm
Vízszintes elmozdulásra megfelel			Vízszintes elmozdulásra megfelel		

Ezt követően a szelvények teherbírási ellenőrzését végeztem el az AxisVM szoftver acéltervező moduljával és kézi számításokkal egyaránt. Az igénybevételek alapján minden szerkezeti típusból (rácsrúd, rácsostartó öv, fióktartó gerenda, merevítő rúd) kiválasztottam a mértékadó terhelésűt, és ezeket vizsgáltam.

Elsőként a kézi számítást hajtottam végre, azon belül is a nyírást. Meghatároztam az elemek tiszta nyírási ellenállásának tervezési értékét, amit a nyírási keresztmetszeti terület (A_v) és az acél szilárdsága (f_y) alapján számoltam, látható az 5. egyenletben. (Ádány, et al., 2016, pp. 42, 5.3 táblázat)

5. egyenlet: Keresztmetszet nyírási ellenállásának tervezési értéke

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

A nyírási keresztmetszet meghatározása „H” profilok és zártszelvények esetén eltérő, mint ahogy azt a 6. és a 7. egyenlet mutatja, és a bennük szereplő jelölések a profilok egyes keresztmetszeti paraméterei.

6. egyenlet: „H” profilok nyírási keresztmetszete

$$A_v = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_w$$

7. egyenlet: *Négyszög keresztmetszetű zártszelvény nyírási keresztmetszete*

$$A_v = \frac{A * b}{b + h}$$

Az épület AxisVM modelljéből megnéztem az egyes keresztmetszetekhez tartozó lineáris statikai számítás során kapott nyírási igénybevételeket, és összehasonlítottam a nyírási ellenállásokkal. Az összes szelvény megfelelt tiszta nyírásra, az eredmények pedig láthatók a 8. táblázatban. A kihasználtságok igen alacsonyak, így valószínűsíthető, hogy a szerkezet szempontjából nem ez lesz a mértékadó.

7. táblázat: *Nyírási vizsgálat eredményei*

Szelvény	Nyírási igénybevétel (V_{Ed})		Nyírási ellenállás ($V_{c,Rd}$)		Kihasználtság
HEB320	41,78	kN	702,37	kN	5,95%
HEB240	70,11	kN	450,86	kN	15,55%
SHS250/10	12,23	kN	643,99	kN	1,90%
ShS100/5	16,71	kN	127,06	kN	13,15%

Ezt követően megnéztem a nyírás és hajlítás kölcsönhatását, amit az Eurocode alapján akkor kell figyelembe venni, ha a $V_{Ed} \geq 0,50 * V_{c,Rd}$. Ez egy szelvény esetén sem teljesült, ebből adódóan a továbbiakban az egyes szerkezeteket nyomott hajlított elemekként méreteztem teherbírási határállapotban.

Meghatároztam a keresztmetszetek folyási ellenállásait a 8. egyenlet segítségével, majd utána vizsgáltam, hogy a normálerő csökkenti a szelvény „y” és „z” tengelye körüli nyomatéki ellenállást, látható a 9. és 10. egyenletben.

8. egyenlet: *A teljes keresztmetszet folyási ellenállása*

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

9. egyenlet: *Normálerő miatt csökkentett „y” tengelyi nyomatéki ellenállási feltétele*

$$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd} \text{ és } N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}}$$

10. egyenlet: *Normálerő miatt csökkentett „z” tengelyi nyomatéki ellenállási feltétele*

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Abban az esetben, ha a 8. és 9. feltételek teljesülnek, akkor a profiltípusnak megfelelő csökkentett $M_{Ny,Rd}$ és $M_{Nz,Rd}$ nyomatéki ellenállásokat kell figyelembe venni, melyek számításait a „H” keresztmetszetekhez tartozó 12. egyenlet, és a zártszelvényekre vonatkozó 13. egyenlet mutat. (Ádány, et al., 2016, pp. 44, 5.4 táblázat) Ellenkező esetben a képlékeny hajlítási ellenállások értékeit lehet alkalmazni ($M_{pl,y,Rd}$ és $M_{pl,z,Rd}$), a 11. egyenlet alapján. (Ádány, et al., 2016, pp. 41, 5.15 képlet)

11. egyenlet: A keresztmetszet képlékeny hajlítási ellenállásai

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}}, \quad M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

12. egyenlet: „H” profilok csökkentett nyomatéki ellenállásai

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5 * a}, \quad M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} * \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \text{ ha } n \leq a$$

13. egyenlet: Zártszelvény profilok csökkentett nyomatéki ellenállásai

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5 * a_w}, \quad M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5 * a_f}$$

A különböző keresztmetszeteknél elvégeztem a vizsgálatot, és a megfelelő értékekkel számoltam a kihasználtságokat a 14. egyenletben foglalt feltételnek megfelelően.

14. egyenlet: Hajlított nyomott elem megfelelőségi feltétele

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right) + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Ny,Rd}} \right) + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Nz,Rd}} \right) \leq 1$$

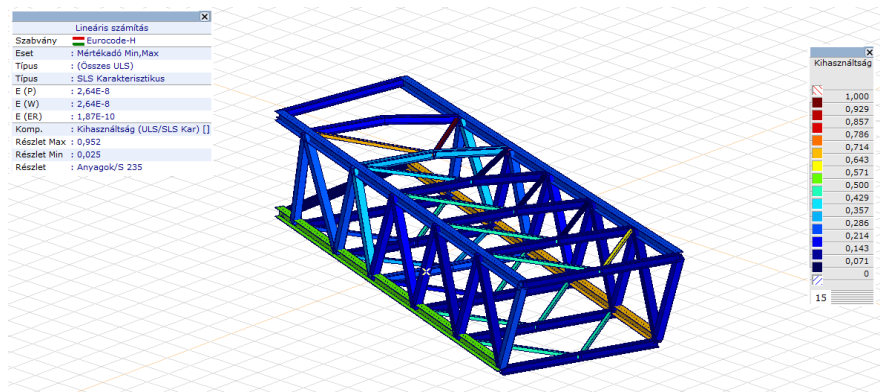
Ez alapján kiderült, hogy az SHS100/5 elemek nem felelnek meg teherbírási szempontból, ezért keresztmetszetet növelni szükséges, melynek eredménye SHS120/10 szelvény lett. Az eredményeket a 9. táblázat foglalja össze.

8. táblázat: Nyomott hajlított elemek kihasználtsága

Szelvény	N_{Ed} (kN)	$N_{pl,Rd}$ (kN)	$M_{y,Ed}$ (kNm)	$M_{y,Rd}$ (kNm)	$M_{z,Ed}$ (kNm)	$M_{z,Rd}$ (kNm)	Kihasználtság
HEB320	400,70	3791,49	125,67	505,02	32,80	214,08	50,77%
HEB240	64,09	2490,77	71,92	247,46	11,08	108,87	41,81%
SHS250/10	306,53	2230,86	34,17	199,91	31,28	199,91	46,48%
SHS120/10	30,09	1008,86	22,98	41,17	9,09	41,17	80,88%

Ezt követően az AxisVM szoftver acéltervezés moduljával ellenőriztem a szelvények megfelelőségét, ahol a teljes szerkezetet vizsgáltam globálisan. A megfelelő beállítások után

a mértékdő acélvizsgálat eredménye maximális 15,3%-os eltéréssel igazolta a kézi számítást, aminek oka az lehet, hogy az igénybevételeknél, a legnagyobb értékeket választottam ki elemtől függetlenül, és úgy vizsgáltam, mintha egy ugyanazon rúdban keletkeztek volna. Természetesen itt is beigazolódt az SHS100/5 merevítőrudak túl nagy kihasználtsága, így ezt a kézi számítások során megfelelt SHS120/10 szelvényre cseréltem, melynek maximális kihasználtsága 95% lett. A szerkezet kihasználtságát a mértékdő vizsgálatok alapján a 28. ábra mutatja.

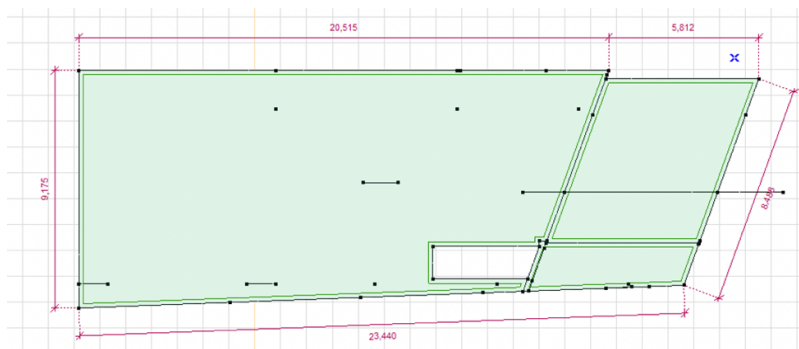


28. ábra: Acélszerkezet kihasználtsága (AxisVM X6)

A kapott eredményeket később visszatápláltam Archicad szoftverbe, amit részletesen a 3.7 és 3.8 fejezetekben mutatok be.

3.6.5 Vasbeton elemek méretezése

A vasbetonszerkezeteknél egy felületelemet és egy rúdelemet méreteztem, így vizsgálatra került: a közbenső födém beltéri része, melyet a 29. ábra mutat, és egy 25x25 cm, valamint egy 40x60 cm keresztmetszetű oszlop. A méretezést elsődlegesen az AxisVM vasbeton tervező moduljával hajtottam végre, ami az Eurocode 2 EN 1992-1-1:2004 szabvány alapján végzi el a számításokat. (Deák, et al., 2018, p. 504) A kapott eredményeket továbbá kézi számításokkal ellenőriztem.



29. ábra: Méretezendő födémrészlet (AxisVM)

Elsőként a lemez vasalásának meghatározását végeztem el. A vasbeton tervezés fölön megadtam a vasalási paramétereket, ahol az anyagbeállításoknál a betonminőséget C20/25-re, a betonacélminőséget B500B-re, a környezeti osztályt pedig különösebb vizsgálat nélkül XC1-re állítottam. A vaslás fölön megadtam, hogy a minimális betonfedés legyen figyelembe véve, illetve, hogy a földém típusa kétirányba teherhordó. Ezután lefuttattam a számítást, és megkaptam az igénybevételek alapján szükséges vasmennyiségeket.

Ezen eredmények által határoztam meg a földemben alkalmazott vasalást, melynél elsőként egy kisebb átmérővel rendelkező úgynevezett alapvasalást helyeztem el, majd ahol továbbra is vasalási különbség állt fent kiegészítő vasakat alkalmaztam. Ennek megfelelően az alapvasalás 10mm átmérőjű egymástól 150 mm-re elhelyezkedő betonacélokból áll „x” és „y” irányban, a kiegészítők pedig a különböző igénybevételek miatt eltérő paraméterekkel rendelkeznek. A kapott eredmények a 11. táblázatban láthatók.

Ezt követően a kézi számítással ellenőriztem a vasalás megfelelőségét, ugyan úgy „x” és „y” irányban alul és felül, amit egy $b=1,00$ m széles és $h=28$ cm magas téglalap keresztmetszetű hajlított gerendaként vizsgáltam. Fontos kiemelni, hogy a méretezést III. feszültségi állapotnak megfelelően végeztem el. Elsőként a 25 mm nagyságú betontakarás (c_{nom}) és alkalmazott betonacélátmérő ($\emptyset$) ismeretében számítottam a betonacél tengelye és a legközelebbi betonfelület közötti távolságot (a), látható 15. egyenletben.

15. egyenlet: A betonacél tengelye és a legközelebbi betonfelület közötti távolság

$$a = c_{nom} + \emptyset/2$$

A 16. egyenlet alapján a lemezvasasából kivonva az „a” -t megkaptam hatásos magasságot (d), mellyel már a semleges tengely távolsága a nyomott szélső száltól (x_{III}) számítható III. feszültségi állapotban, a mértékadó hajlítói igénybevétel (M_{Ed}) segítségével. Ennek képletét a 16. egyenlet tartalmazza. (Deák, et al., 2018, pp. 27, 6.1 fejezet)

16. egyenlet: Hatásos magasság

$$d = h - a$$

17. egyenlet: Semleges tengely távolsága a nyomott szélső száltól

$$x_{III} = d - \left(d^2 - 2 * \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b * f_{cd}}} \right)$$

A nyomott betonzóna magasságának ismeretében a 18. egyenlet alapján már a szükséges betonacélmennyiség ($A_{s,szüks}$) is meghatározható.

18. egyenlet: Szükséges betonacélmennyiség

$$A_{s,szüks} = \frac{b * x_{III} * f_{cd}}{f_{yd}}$$

A betonacél átmérőjéből és a kiosztási távolságból számítottam az alkalmazott vasalás mennyiségét, melynek értékeit a 11. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: Alkalmazott vasalások a közbenső födémekben

	Szükséges vasmennyiség (AxisVM)		Szükséges vasmennyiség (kézi számítás)		Alkalmazott vasmennyiség			
x irány alul	1075	mm ² /m	977	mm ² /m	Φ10/150	Φ16/300	1194	mm ² /m
x irány felül	1264	mm ² /m	1176	mm ² /m	Φ10/150	Φ16/200	1529	mm ² /m
y irány alul	1174	mm ² /m	993	mm ² /m	Φ10/150	Φ16/300	1194	mm ² /m
y irányfelül	1430	mm ² /m	1233	mm ² /m	Φ10/150	Φ16/200	1529	mm ² /m

A kapott eredményeket nyomatéki teherbírásra ellenőriztem, a nyomott betonzóna magasságának (x_c) segítségével, a 19. és 20. egyenlet alapján. Az ellenőrzés során kapott eredményeket a 12. táblázat foglalja össze.

19. egyenlet: Nyomott betonzóna magassága

$$x_c = \frac{A_{s,alk} * f_{yd}}{b * f_{cd}}$$

20. egyenlet: Nyomatéki ellenállás tervezési értéke

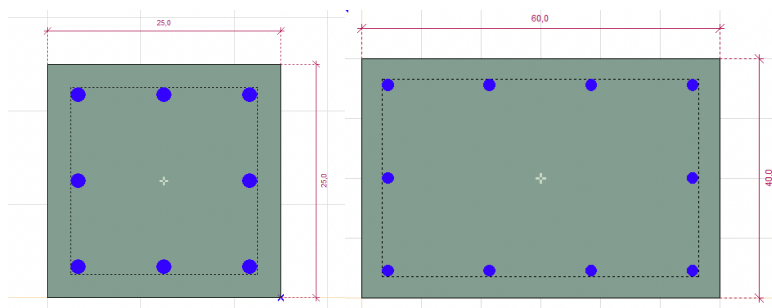
$$M_{Rd} = b * x_c * f_{cd} * \left(d - \frac{x_c}{2}\right)$$

10. táblázat: Födém nyomatéki kihasználtsága

	Hajlítónyomaték tervezési értéke (M_{Ed})		Nyomatéki teherbírás tervezési értéke (M_{Rd})		Kihasználtság
x irány alul	99,54	kNm	141,53	kNm	70,33%
x irány felül	118,51	kNm	171,49	kNm	69,11%
y irány alul	101,13	kNm	141,53	kNm	71,45%
y irányfelül	123,87	kNm	171,49	kNm	72,23%

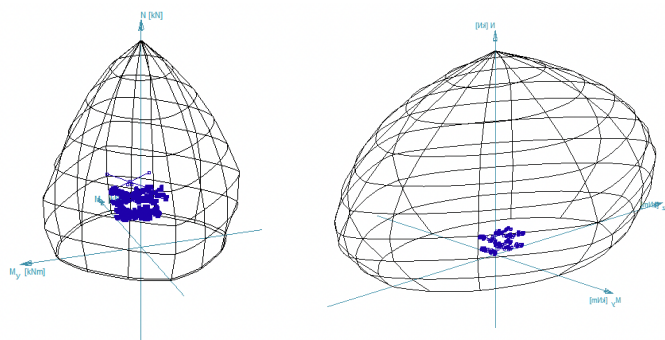
A lemez esetében megváltoztattam az anyagminőséget C30/37-re, amit csupán a későbbi Archicad-be való visszatáplálás vizsgálata érdekében tettem meg.

A földem statikai tervezését követően a két különböző keresztmetszetű oszlopot méreteztem, elsőként szintén AxisVM szoftverrel. A „vasbeton oszlop ellenőrzése” című parancsot lefuttatva beállítottam a legfőbb paramétereket, így az alkalmazott anyagok minőségét (beton: C20/25, betonacél: B500B), és a kengyelek adatait, ami 10 mm átmérőjű és 200 mm kiosztású lett. Ezt követően elhelyeztem kisebb keresztmetszetű oszlop esetén 16 mm-es, nagyobb esetén pedig 20 mm-es hosszvasakat, a 30. ábrán látható módokon.



30. ábra: 25x25cm és 40x60cm oszlopok hosszvasalásai (AxisVM X6)

A továbbiakban ellenőriztem az alkalmazott vasalás megfelelőségét, mely mindkét esetben a kívánt tartományban mozgott, azaz a terhelési értékek a teherbírási felületen belül voltak, ahogy ezt a 31. ábra mutatja.



31. ábra: 25x25cm és 40x60cm oszlop teherbírási felületei (AxisVM X6)

Az oszlopok kézi számítással való ellenőrzését az egyszerűsített teherbírási görbe segítségével végeztem el, a keresztmetszet lokális „y” és „x” tengelye körül létrejövő nyomaték miatt mindkét irányban. A keresztmetszetet 3 törési állapotában számított normálerő-nyomaték ellenállási párokkal jellemeztem, ennek megfelelően a teherbírási vonal: 1. az elvi központos nyomás esete ($M=0$), 2. a kis és nagy külpontosság határa, és a 3. pont a tiszta hajlítás ($N=0$).

Az első pontban a keresztmetszet nyomási teherbírásának határértékét számítottam, látható a 21. egyenletben, amihez a tiszta nyomásnál figyelembe vehető betonacél feszültséget határoztam meg (σ_s). Mivel a keresztmetszet törési állapotban van, ezért ezt a B500B acél folyáshatárának tervezési értékére (435,00 N/mm²) vettem fel. A nyomatéki teherbírás tervezési értéke ebben az esetben 0 ($M_{Rd,1}=0$).

21. egyenlet: Keresztmetszet nyomási teherbírása (teherbírési görbe 1. pont)

$$N_{Rd,1} = b * h * f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) * \sigma_s$$

A második pontban a maximális pozitív nyomaték keletkezik. Mivel a keresztmetszet törési állapotban van, ezért a nyomott betonzóna magassága egyenlő lesz annak határhelyzetében vett értékével ($x_c=x_{c0}$), és a betonacélok megfolyznak ($\sigma_s=f_{yd}$). Ennek megfelelően nyomási és hajlítási teherbírás tervezési értékeit a 22. és 23. egyenletek alapján számítottam.

22. egyenlet: Keresztmetszet nyomási teherbírása (teherbírési görbe 2. pont)

$$N_{Rd,2} = b * x_{c0} * f_{cd} + A_{s1} * f_{yd} - A_{s2} * f_{yd}$$

23. egyenlet: Keresztmetszet hajlítási teherbírása (teherbírési görbe 2. pont)

$$M_{Rd,2} = b * x_{c0} * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{c0}}{2}\right) + A_{s2} * f_{yd} * \left(\frac{h}{2} - d_2\right) + A_{s1} * f_{yd} * \left(d_1 - \frac{h}{2}\right)$$

A harmadik pontban a tiszta hajlítás érvényesül, így az $N_{Rd,3}=0$, a betonacélok pedig szintén folyási állapotban vannak. Ennek megfelelően a nyomott betonzóna magasságának értéke (x_c) a vetületi egyenletek alapján a 24. egyenlet segítségével számítható, valamint a keresztmetszet hajlítási teherbírása is a 25. egyenlet alapján.

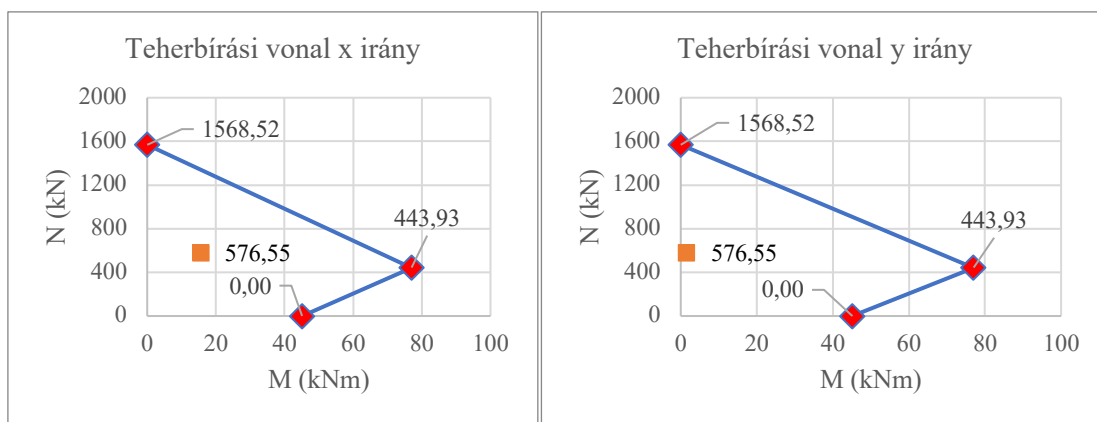
24. egyenlet: Nyomott betonzóna magassága (teherbírési görbe 3. pont)

$$x_c = \frac{(A_{s1} - A_{s2}) * f_{yd}}{b * f_{cd}}$$

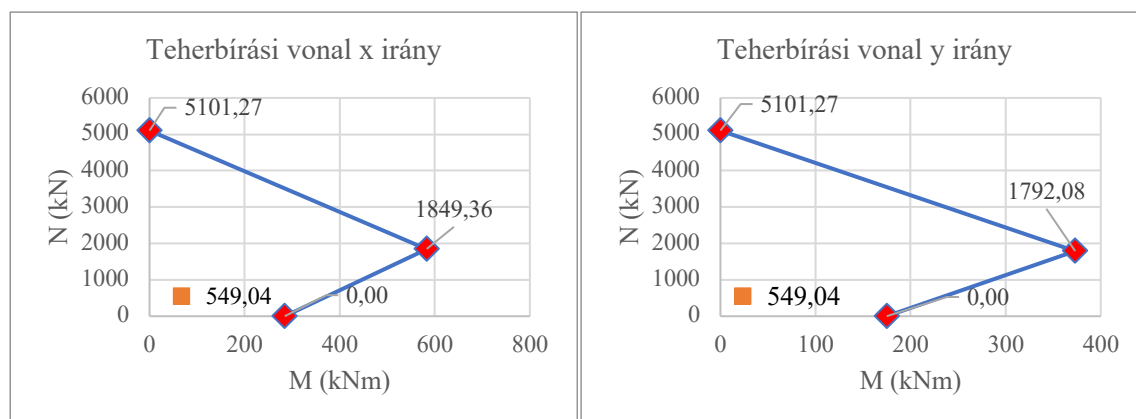
25. egyenlet: Keresztmetszet hajlítási teherbírása (teherbírési görbe 3. pont)

$$M_{Rd,3} = b * x_c * f_{cd} * \left(\frac{h}{2} - \frac{x_c}{2}\right) + A_{s2} * f_{yd} * \left(\frac{h}{2} - d_2\right) + A_{s1} * f_{yd} * \left(d_1 - \frac{h}{2}\right)$$

Ezen pontok segítségével felrajzoltam az egyszerűsített teherbírési görbét, és grafikus úton vizsgáltam a keletkező igénybevétel párokat, hogy a megfelelő tartományban helyezkednek-e el. A kapott eredményeket a 32. és a 33. ábra foglalja össze.



32. ábra: 25x25cm keresztmetszetű oszlop teherbírési vonalai (Excel)



33. ábra: 40x60cm keresztmetszetű oszlop teherbírési vonalai (Excel)

A kézi számítással kapott értékek igazolták, hogy az oszlopokban elhelyezett vasalás megfelelő, így a vasbeton elemek méretezése ezzel lezárult.

A következő lépésben a méretezés eredményeinek megfelelő változtatásokkal kiegészített AxisVM modell exportálását, és Archicad szoftverbe való importálását hajtottam végre.

3.7 Adatok visszatáplálása Archicad szoftverbe

Az „Archicad és AxisVM közötti adatcsere” című fejezetben már olvasható volt, hogy a folyamat kétirányban lehetséges, azaz az AxisVM által végzett statikai tervezés eredményeit vissza lehet táplálni Archicad szoftverbe. A korábban említett és részletezett

SAF és IFC formátumokon keresztül kíséreltem meg a visszafele irányú adatcserét, ami nem minden esetben volt sikeres.

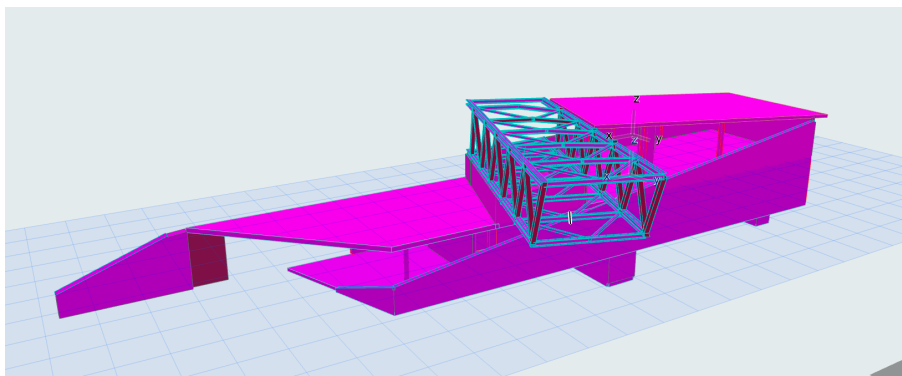
Elsőként az SAF exportot próbáltam végrehajtani AxisVM szoftverben. A folyamat maga egyszerű, ugyanis a fájl menüpontra található „Export” panel alatt kell kiválasztani a „SAF export (.xlsx)” típust, és ebben menteni a modellt. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 126) Ezt meg is tettem, viszont minden egyes alkalommal az „SAF interfész fájl létrehozása” közben a program megakadt és leállt, aminek következtében a mentési folyamat nem jött létre. A probléma eredete feltehetőleg szoftveres, amit későbbi frissítések megoldhatnak, viszont a dolgozat írása alatt ez nem következett be.

Ezt követően az IFC formátumú exportot is megvizsgáltam, ami az előzőhöz hasonlóan egyszerű folyamat. Ebben az esetben az export panelen az „IFC2x3 (*.ifc)” fájltypust kell megadni, ahol lehetőség van építészeti modellként vagy statikai vázként való mentésre. (Inter-CAD Kft., 2021, p. 120) Mindkét esetet kipróbáltam, illetve ezen kívül az elhelyezett vasalás mentésére is van lehetőség, amit alkalmaztam is.

Elsőként a modell statikai vázként való IFC exportálását hajtottam végre, ami sikeres is volt, létrejött a megfelelő IFC formátumú fájl. Az Archicad-ben lehetőség van IFC esetén „megnyitás” -ra és „összefűzés” -re egyaránt, melynél az első esetben a program új tervként hozza létre egy üres fájlba az importálni kívánt részeket, míg a másodikon az IFC modell beillesztése történik a futó tervbe. (Graphisoft, 2020, p. 2972) Én elsőként a „megnyitás” funkciót használtam, és mivel statikai vázként lettek mentve az egyes elemek, ezért a fájltypusnál Archicad-ben az „IFC szerkezetelemzés” című opciót választottam ki. Ez a folyamat viszont szintén nem volt eredményes, mivel a behívás közben inkonzisztencia lépett fel, és egy elem importálása sem történt meg. Az összefűzés esetén is ellentmondás alakult ki így ez sem sikerült. A probléma oka feltehetőleg a kísérleti stádium miatt lehetséges, és a dolgozat írása alatt sajnos ezt sem sikerült megoldanom, így ezt a típusú adatcserét sem tudtam vizsgálni.

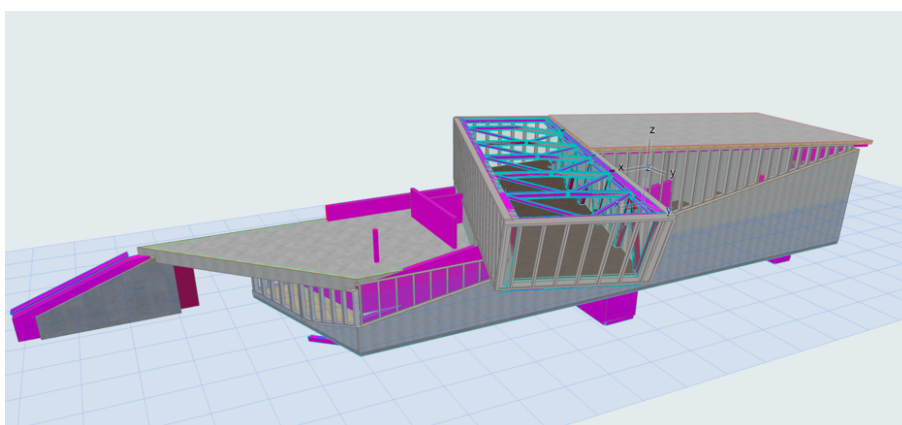
Ezt követően az építész modellként való exportot és „hagyományos” IFC importot vizsgáltam meg, azon belül is a „megnyitás” funkciót először. Ugyan úgy, mint az exportnál itt is találhatók különböző IFC fordítók. Elsőként az általános importálást alkalmaztam, amivel sikerült is az összes AxisVM modellben szereplő elemet behívni, viszont mindegyiket alakzatként ismert fel a program. Ezután a „Structural Analysis Modell” című

fordítót használtam, mellyel sikerült a megfelelő azonosítás, látható a 34. ábrán. Az adatcsere pontosabb eredményei a következő fejezetben részletesebben kifejtem



34. ábra: IFC „megnyitás” paranccsal létrehozott Archicad modell (Archicad24)

Utolsóként a meglévő modellhez történő új IFC adatok hozzárendelését teszteltem az „összefűzés” opcióval. Ez a művelet bizonyos értelemben sikerült, mivel az elemek megjelentek a modellben, viszont egyesek közülük rossz helyen, látható a 35. ábrán. Ezek részletesebb elemzése is a következő fejezetben olvasható.



35. ábra: IFC „összefűzés” paranccsal létrehozott Archicad modell (Archicad 24)

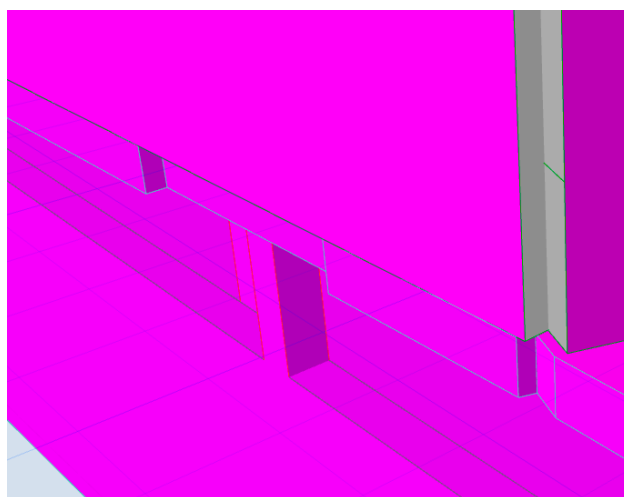
3.8 Az adatok visszatáplálásának eredményei

A megfelelő adatcserét egyedül „hagyományos” IFC formátumon keresztül sikerült végrehajtanom, így ezek során kapott eredményeket fogom ebben a fejezetben elemezni.

Elsőként az új modellként létrehozott esetet vizsgáltam. Ennek nagy hátránya, hogy az építészelemeket nem tartalmazza, csak a tartószerkezeteket, mivel az AxisVM modellben a statikai váz szerepel. Ennek okán a gyakorlat szempontjából ez a megoldás nem biztos, hogy a legkézenfekvőbb, mivel ebben az esetben a tartószerkezeti vázat ki kell egészíteni további

elemekkel a megfelelő építésztervekhez. Ettől eltekintve megvizsgáltam, hogy az adatcsere mennyire volt hatékony.

A folyamat során sikerült az összes elemet adatvesztés nélkül átimportálni, és a szerkezeti típusnak megfelelően azonosítani. A hozzárendelt anyagok tekintetében is jól működött az IFC fordító, ugyanis mindegyik szerkezethez az AxisVM szoftverben definiált lett társítva, beleértve például a födém esetén végrehajtott betonminőségváltoztatást is. Az acélrudaknál végrehajtott keresztmetszet növelés is megtörtént, az Archicad a valóságnak megfelelő paraméterekkel határozta meg automatikusan az SHS120/10 szelvényt. Az elemek geometriai méreteinek szempontjából, viszont voltak problémák, ugyanis egyes helyeken a szerkezet nem megfelelően jelent meg, mint ahogy azt 36. ábra is mutatja. Ezen kívül az elhelyezett vasalást sem sikerült AxisVM programból importálni.



36. ábra: Adatcsere során keletkezett geometriai eltérések (Archicad 24)

Ezt követően az összefűzéssel létrehozott modellt is megvizsgáltam, mely az előzőhöz képest annyi eltérést tartalmazott, hogy a méretezés előtti és utáni elemek egyaránt megjelentek, viszont helyenként, mint azt ahogy azt az előző fejezetben lehetett olvasni rossz pozícióban. Ennek oka, hogy a program a szinteket nem megfelelően egyeztette össze.

Ezzel a lépéssel a fő esettanulmány vizsgálata megtörtént, az ebből levont következtetések összegzése az „Összefoglalás” című fejezetben olvasható. Ezt a fő fejezetet követően további kiegészítő, egy-egy elemet tartalmazó esettanulmányokat is megvizsgáltam, így a következő részben erről lesz szó röviden.

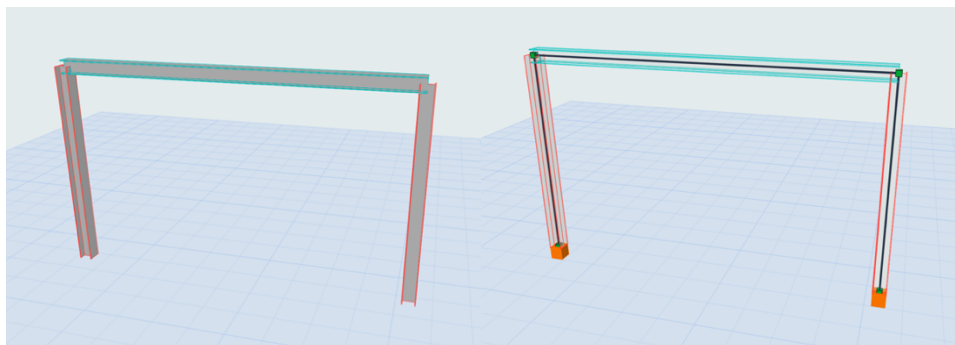
4. Kiegészítő esettanulmányok

A fő esettanulmányban egy valós épületen keresztül levezetett kétirányú adatcserét vizsgáltam meg. Ennek keretein belül exportálásra és importálásra kerültek monolit vasbeton rúd és felület elemek, valamint acél rúdelemek. Ebben a részben további az adatcserével kapcsolatos lehetőségeket fogok elemezni, és egy-egy példán keresztül bemutatni. Ez a rész méretezést nem tartalmaz, csupán az Archicad és AxisVM szoftverek közötti információ cserére összpontosít. A kiegészítő esettanulmányoknál is alkalmaztam a „hagyományos” IFC és SAF formátumú adatcserét, viszont itt csak Archicad-ből AxisVM irányába vittem végig a folyamatot.

4.1 Rúdvégi kényszerek és támasz beállítása Archicad-ben

Az első kiegészítő esettanulmánynál az Archicad-en belüli rúdvégi kényszerek beállítását, támaszok definiálását vizsgáltam meg. Az építész programon belül lehetőség van az 1D és 2D elemek csomóponti kényszereinek megváltoztatására, amik a lokális „x”, „y” és „z” tengely irányú eltolódásokból (U) és ezek körüli elfordulásokból (Fi) tevődnek össze. Ezen kívül a támaszokat is lehet definiálni, melynél szintén állíthatók az egyes elmozdulási és elfordulási merevségek. (Graphisoft, 2020, p. 2465)

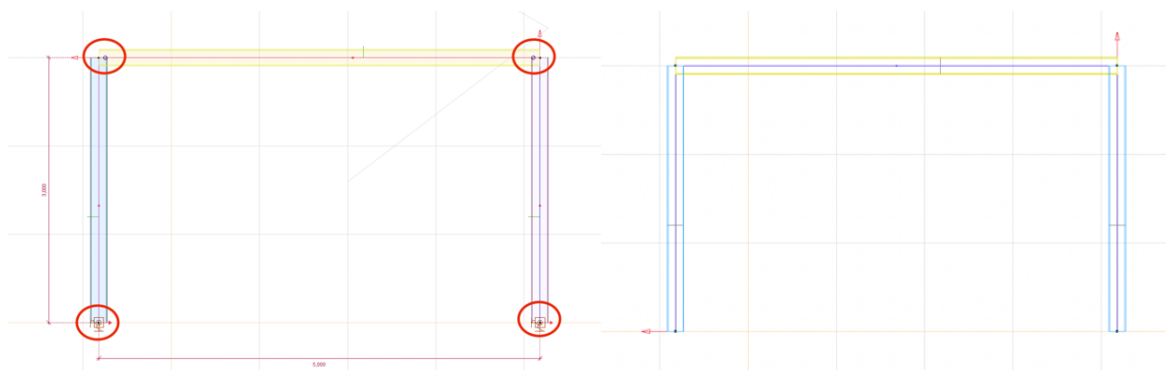
A vizsgálathoz egy acélelemből álló alul befogott, csuklós keretállást készítettem, aminek szélessége 5,19 m, magassága pedig 3,10 m. A felhasznált gerendák mindegyike az Archicad-ben található HEA200-as szelvénnel és S235 acélminőséggel lett ellátva. Alsó megtámasztásként az összes elmozdulást és elfordulást gátló befogást definiáltam, a gerenda végén pedig a lokális „z” és „y” tengely körüli elfordulást szabadra állítottam, így modellezve csuklós kapcsolatot. A létrehozott acélkeret Archicad modellje a 37. ábrán látható.



37. ábra: Acélkeret Archicad modellje (Archicad 24)

Az SAF formátumú csere során az anyagok és szelvények sikeres azonosítása mellett az AxisVM a támaszokat és rúdvégi csuklókat is sikeresen felismerte. Az Archicadben beállított kényszerkorlátozásoknak megfelelően lett mindkét elem definiálva, így ez a folyamat teljes mértékben sikeresnek tekinthető. Az így létrehozott AxisVM statikai váz a 38. ábra bal oldalán látható.

A „hagyományos” IFC adatcsere viszont nem volt ennyire hatékony, ugyanis az építészmodell generálása során nem volt képes a program felismerni se a támaszokat, se a megváltoztatott rúdvégi kényszereket. Ebből adódóan ez a folyamat a vizsgálat szempontjából nem értékelhető sikeresnek. A kapott AxisVM modell a 38. ábra jobb oldalán látható.



38. ábra: Acélkeret AxisVM modelljei SAF és IFC esetén (AxisVM X6)

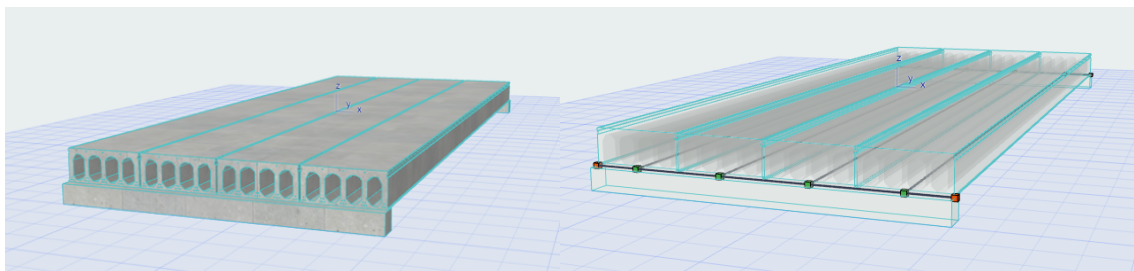
Az első kiegészítő esettanulmánynál összességében elmondható, hogy ezt a funkciót érdemes használni, amennyiben SAF formátumú adatcserét hajtunk végre. A támaszok és kényszerek Archicad-ben történő definiálása nagyban megkönnyítheti a szakágak közötti munkát, ugyanis AxisVM-ben nem szükséges ezek utólagos beállítása.

4.2 Előregyártott vasbeton körüreges palló

A második kiegészítő esettanulmánynál előregyártott körüreges palló adatcseréjét vizsgáltam meg, miként képes a két program kezelni az ilyen kialakítású szerkezetet.

Az Archicad-ben elsőként a profilkezelő eszközzel hoztam létre egy Leier Lűf 50 jelű üreges födém-palló keresztmetszetét, a kontúr megrajzolásával és a megfelelő kitöltéssel. A definiált anyagoknál a betonacélokat is elhelyeztem, így tulajdonképpen egy inhomogén szerkezetet alkottam meg. A 12,00 m hosszú pallókat két 30x30 cm-es vasbeton gerendákra támasztottam fel, melyeknél meghatároztam azt is, hogy a felső síkjukon legyen a súlyvonal

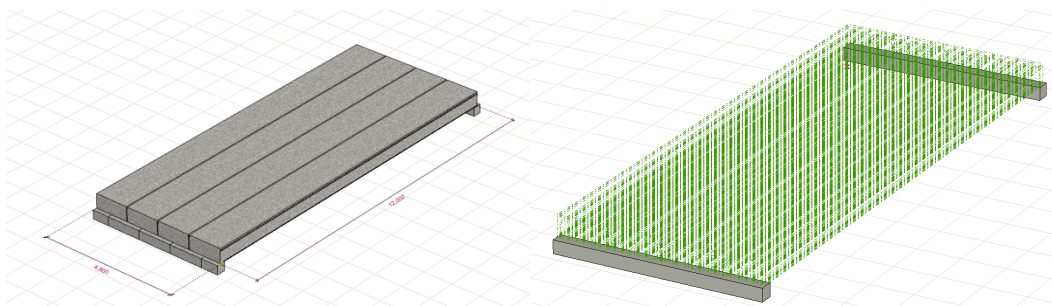
elhelyezve, a megfelelő kapcsolat érdekében. Az így létrehozott szerkezet a 39. ábrán látható.



39. ábra: Előregyártott körüreges vasbeton palló Archicad modellje (Archicad24)

SAF formátumú adatsere során az AxisVM hibát jelzett, ugyanis a keresztmetszet inhomogenitását nem volt képes kezelni. Ebből adódóan a födémpalló külső kontúrja jelent csak meg, a benne található üregek és betonvasak az importálás során elvesztek. Ezen kívül az elemek csatlakozása megfelelő volt, látható a 40. ábra bal oldalán.

IFC formátum esetén is sikertelen volt az adatsere, ugyanis az építészmodell generálásánál az AxisVM nem ismerte fel a pallókat, így csak a feltámaszkodásra szolgáló gerendákat definiálta a statikai vázhoz. Az így kapott modellt a 40. ábra jobb oldala mutatja.



40. ábra: az Előregyártott körüreges födémpalló AxisVM modelljei SAF és IFC formátum esetén (AxisVM X6)

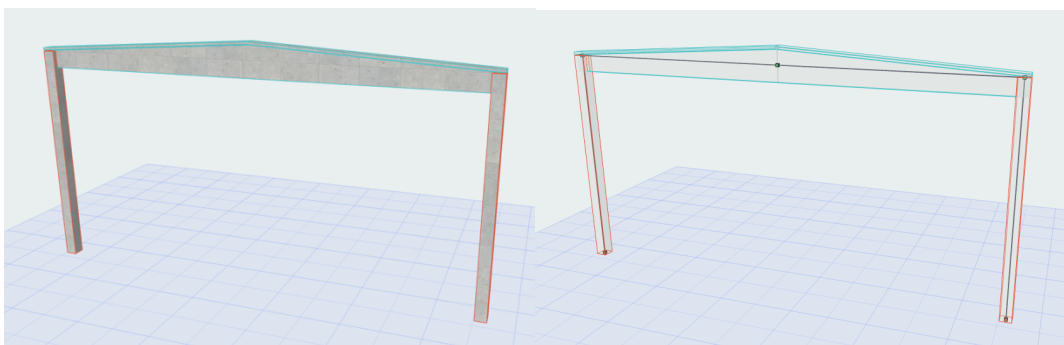
A kiegészítő esettanulmányból kiderült, hogy a födémpallókat, illetve ehhez hasonló inhomogén szerkezeteket az SAF és IFC sem képes helyesen kezelni. Egyiknél sem jelent meg a palló megfelelően, így elmondható, hogy ebben az esetben nem érdemes az adatcserét alkalmazni, helyette megoldás lehet az AxisVM szoftver „üreges tartomány” parancsa.

4.3 Változó magasságú előregyártott vasbeton gerenda és kapcsolatai

Az utolsó kiegészítő esettanulmányként előregyártott vasbeton elemeket és azok kapcsolatát vizsgáltam. Ebben az esetben is egy keretállást készítettem, mely egy változó magasságú „T” típusú gerendából és ennek fogadására alkalmas villás véggel ellátott

oszlopokból áll. Ebben az esetben azt elemeztem, hogy az adatcsere során miképp jelenik meg az AxisVM programban ez a fajta csomóponti kialakítás, illetve a változó magasság.

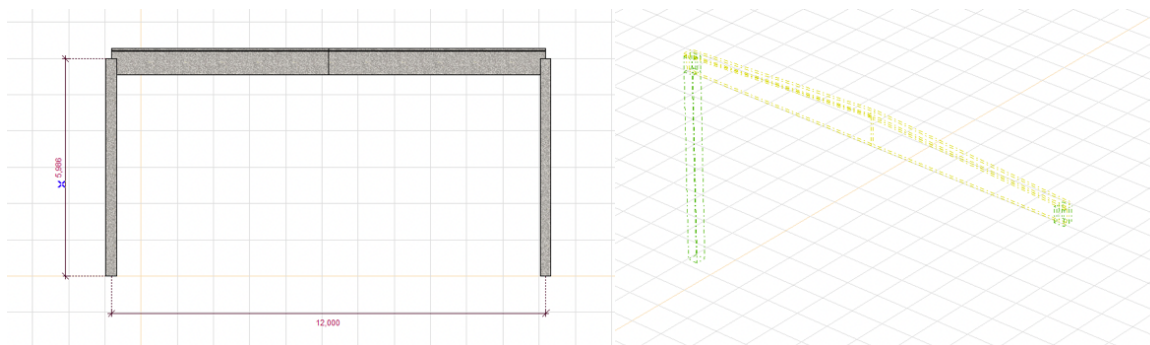
A keretállás szélessége 12,30 m, legnagyobb magassága pedig 6,47 m. Az oszlopok 30x30 cm keresztmetszetűek, anyag megnevezésük Archicad alapján „vasbeton – előregyártott”, ami C50/60 betonminőségnek felel meg. Ugyan ezzel az anyaggal rendelkezik a gerenda is, aminek hossza szintén 12,30 m, felső síkjuk 3,00%-os lejtéssel rendelkezik, az alsó pedig vízszintes. Az így megalkotott Archicad modell a 41. ábrán látható.



41. ábra: Előregyártott vasbeton keret Archicad modellje (Archicad24)

Az SAF adatcsere során az összes elemet sikerült a programnak azonosítania a megfelelő anyaggal, viszont a profilmegfeleltetés nem működött ilyen hatékonyan. Az oszlopoknál a villás vég nem jelent meg, ami tulajdonképpen nem probléma, mivel a statikai vázban a gerendához megfelelően csatlakozott, igaz mereven befogott csomóponttal, viszont ezt külön nem definiáltam Archicad-ben. Ami gondot okozott az a gerenda változó keresztmetszetének figyelmen kívül hagyása. Az AxisVM a legnagyobb szerkezeti magassággal azonosította őket, illetve alsó és felső síkja egyaránt sík maradt, ahogy azt a 42. ábrán látható bal oldalon.

A „hagyományos” IFC formátumú adatcsere sem működött megfelelően, ugyanis az építészmodell generálása nem sikerült az AxisVM szoftverrel. Az egyes elemeket nem tudta azonosítani a program, így nem jött létre a méretezéshez használható statikai váz, ráadásul az egyik oszlop még építész elemként sem jelent meg, így ez a folyamat teljesen működésképtelennek tekinthető. Az így kapott eredményeket a 42. ábra jobb oldala mutatja.



42. ábra: Előregyártott vasbeton keret AxisVM modelljei SAF és IFC esetén (AxisVM X6)

Az utolsó kiegészítő esettanulmány megmutatta, hogy az IFC és SAF formátum még nem megfelelően tudja kezelni a változó keresztmetszetű szerkezeteket, így ebben az esetben is érdemes lehet más lehetőséget használni az adatcsere eljárás helyett. Erre megoldás az AxisVM szoftverben a rúdelemek közvetlen rajzolásánál található „változó keresztmetszet” opció alkalmazása, mellyel létrehozható a gerenda változó magassága.

5. Összefoglalás

A dolgozat befejezéseként az adatcsere eredményeinek összefoglalását, értékelését és a tapasztalatok leírását fogom kifejezni ebben a fejezetben, amelyek a fő és kiegészítő esettanulmányokhoz egyaránt tartoznak.

Összeségében elmondható, hogy a fő esettanulmány esetében az adatcsere sikeres volt, ugyanis az Archicad-ben készített építészmodellt exportáltam, majd AxisVM szoftverbe importáltam, amin belül a javításokat végrehajtva a valós körülményeknek megfelelően lefuttattam a lineáris statikai számításokat. A keletkezett igénybevételek alapján végrehajtottam a méretezést, majd a kapott eredményeket visszajuttattam Archicad-be. A kiegészítő esettanulmányokkal továbbá kibővítettem, mely más lehetőségeket tartalmaz még az adatcsere, illetve ezek mennyire használatképesek.

A munkám során keletkezett tapasztalatok azt mutatták, hogy a folyamat még nem tökéletes. Sok problémám volt főként az IFC területén a helyes beállításokkal és a tartószerkezeti modell létrehozásával. A „hagyományos” IFC fordítók beállításainak átlátása és az ezen alapuló adatcserevel létrehozott helyes statikai váz megalkotása bonyolult. Az IFC szerkezetelemzési formátumú export szintén igen körülményes, ugyanis közvetlenül nem sikerül alkalmaznom. Ezzel szemben az SAF formátum alkalmazása egyrészt egyszerűbb volt, másrészt pedig az eredménye is használhatóbb, bár nem tökéletes.

Olvasható volt, hogy minden esetben létrejöttek modellezési problémák anyag-, profilfelismerés és csomóponti kapcsolatok területén, de ezek javíthatók voltak különböző eljárásokkal. Ennek megfelelően időt és energiát spóroltam az Archicadból való export és AxisVM-be történő import kihasználásával.

Az adatcsere második része, melynél a kapott méretezési eredmények visszajuttatása volt a cél Archicad szoftverbe, személyes véleményem szerint kevésbé célravezető eljárás, ugyanis sok veszteséggel, illetve hibával járt ez a folyamat. Ebben az esetben, egyszerűbb a változtatásokat Archicad-en belül manuálisan végrehajtani.

A kiegészítő esettanulmányoknál bemutattam milyen lehetőségeket lehet alkalmazni az adatcserén belül. Ezek közül a támaszok és rúdvégi csuklók exportálását és importálását szeretném kiemelni, ami tökéletesen működött SAF formátum esetén. A további két vizsgálatból viszont azon következtetéseket szűrtem le, hogy nem minden esetben érdemes az adatcserés eljárást alkalmazni.

A dolgozathoz látható, hogy monolit vasbeton- és egyszerűbb acélszerszerkezetek alkalmasak az adatcserére. Ezzel szemben viszont a kiegészítő esettanulmányok azt mutatták, hogy bonyolultabb kialakításokat (pl.: körüreges födempalló, változó keresztmetszetű gerenda) nem képes még jól feldolgozni sem az SAF sem az IFC, így ezek méretezésére érdemes más alternatívát keresni.

Végérvényesen a dolgozatom során gyűjtött tapasztalatok azt mutatták, hogy adatcserén alapuló tervezés nagyon sok előnnyel rendelkezik, és érdemes alkalmazni bizonyos esetekben, annak ellenére, hogy a folyamat nem tökéletes. Személyes véleményem alapján időt és energiát lehet vele megspórolni amellet, hogy a statikai és építész modell megfelelő viszonyban van egymással.

A dolgozatom által tudástáram nagyban bővült a benne olvasható tapasztalatokkal és azok elemzésével. Bízom benne, hogy az olvasók számára is hasonlóan hasznos az általam végzett munka, melyet fel is tudnak használni az építőipari tervezés során.

Irodalomjegyzék

T. D. K., 2020. *Mosoni-Duna Vízszint Rehabilitációja Projekt Üzemviteli Épület: Műszaki Leírás.*

Zagorác , M. & Szabó, B., 2018. *BIM-kézikönyv: Bevezetés az Épületinformációs Modellezésbe.* Budapest: Lechner Nonprofit Kft..

Sampaio, A. Z., Augusto M., G. & Farinha, T., 2021. BIM Methodology Applied in Structural Design: Analysis of Interoperability in ArchiCAD/ ETABS Process.. *Journal of Software Engineering and Applications*, június.

Deák, G. és mtsai., 2018. *Vasbeton Szerkezetek: Tervezés az Eurocode alapján - 4. bővített kiadás.* június szerk. Budapest: Artifex Kiadó Kft..

Dr. Hortobágyi, Z., 2021. Adatcsere és együttműködés az Archicad és az AxisVM program között, Integrált szerkezettervezés. *Mérnök Újság.*

Dr. Kollár , L., Dr. Visnovitz , G. & Erdélyi , T., 2017 január. *A Tartószerkezeti Tervezés Alapjai Terhek és Hatások: Tervezés az Eurocode alapján.* Budapest

Graphisoft, 2020. *Archicad 24 felhasználói kézikönyv.*

Furcskó , K., Turi , D. & Dr. Pusztai, J., 2018. *Talajvizsgálati Jelentés: Mosoni-Duna Torkolati Műtárgy és Csatlakozó Létesítményei.* június 1. szerk.

I.-C. K., 2021. *AxisVM X6 Felhasználói Kézikönyv.*

Kreider, R. G. & Messener, J. I., 2013 szeptember. *"The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses" Version 0,9.* The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.: s.n.

Ádány, S. és mtsai., 2016. *Acélszerkezetek: Tervezés az Eurocode alapján-Általános eljárások.* szeptember szerk. Budapest: Artifex Kiadó Kft..

W. S., 2022. *Dimensions of Steel Beams HEB NEN-EN 10025-1/2.* [Online] Available at: https://www.wermac.org/steel/dim_heb.html [Hozzáférés dátuma: 25 február 2022].

Ábrajegyzék

1. ábra: Földszinti tartószerkezetek 3D metszősíkkal elmetszve (Archicad24).....	13
2. ábra: Az épület tartószerkezeti elemei (Archicad24)	15
3. ábra: A teljes Archicad modell 3D megjelenítése (Archicad24)	15
4. ábra: SAF export fordító anyagmegfeleltetés és profilmegfeleltetés (Archicad24).....	16
5. ábra: SAF forrású AxisVM modell (AxisVM X6)	17
6. ábra: Első IFC fordító beállításai (Archicad 24)	18
7. ábra: Első IFC fordítóval exportált AxisVM modell (AxisVM X6).....	19
8. ábra: Második IFC fordító beállításai (Archicad24)	19
9. ábra: IFC modellszűrő beállítások (Archicad24)	20
10. ábra: IFC adatkonverzió beállítások (Archicad24)	20
11. ábra: Saját IFC fordítóval exportált AxisVM modell (AxisVM X6).....	21
12. ábra: IFC szerkezetelemzési formátum forrású AxisVM modell (AxisVM X6).....	22
13. ábra: Archicad SAF exportáló fordítója által azonosított anyagok (Excel)	22
14. ábra: Megváltoztatott anyaglista az SAF exportáló fordítóban (Archicad24)	23
15. ábra: AxisVM által azonosított keresztmetszetek (AxisVM X6)	23
16. ábra: Megváltoztatott profillista az SAF exportáló fordítóban (Archicad24).....	24
17. ábra: Vasbeton födém modellezési hibája (AxisVM X6)	25
18. ábra: AxisVM acélszerkezeti modellezési hibák (AxisVM X6).....	25
19. ábra: Külpontosság megjelenése Archicad és AxisVM szoftverben (Archicad24, AxisVM X6).....	26
20. ábra: Első és második „hagyományos” IFC fordítóval exportált AxisVM modellek (AxisVM X6)	27
21. ábra: AxisVM rúdelemek beállításai az „hagyományos” IFC formátumú adatsere esetén	28
22. ábra: „Hagyományos” IFC fordítók esetén létrejött kapcsolati hibák (AxisVM X6)....	28
23. ábra: Acélszerkezet csomóponti hibák (AxisVM X6)	29

24. ábra: IFC szerkezetelemzési formátumú adatcserénél azonosított építőanyagok (AxisVM X6).....	29
25. ábra: Hiányzó acélszerkezeti rúdelemek IFC szerkezetelemzési formátum esetén (AxisVM X6)	30
26. ábra: IFC szerkezetelemzési formátum esetében definiált rúdvégi csuklók (AxisVM X6)	30
27. ábra: A mértékadó keletkező függőleges elmozdulások az elsőrendű analízis alapján (AxisVM X6)	39
28. ábra: Acélszerkezet kihasználtsága (AxisVM X6)	43
29. ábra: Méretezendő födémrészlet (AxisVM).....	43
30. ábra: 25x25cm és 40x60cm oszlopok hosszvasalásai (AxisVM X6)	46
31. ábra: 25x25cm és 40x60cm oszlop teherbírási felületei (AxisVM X6)	46
32. ábra: 25x25cm keresztmetszetű oszlop teherbírási vonalai (Excel)	48
33. ábra: 40x60cm keresztmetszetű oszlop teherbírási vonalai (Excel)	48
34. ábra: IFC „megnyitás” parancssal létrehozott Archicad modell (Archicad24)	50
35. ábra: IFC „összefűzés” parancssal létrehozott Archicad modell (Archicad 24).....	50
36. ábra: Adatcsere során keletkezett geometriai eltérések (Archicad 24)	51
37. ábra: Acélkeret Archicad modellje (Archicad 24)	52
38. ábra: Acélkeret AxisVM modelljei SAF és IFC esetén (AxisVM X6).....	53
39. ábra: Előregyártott körüreges vasbeton palló Archicad modellje (Archicad24).....	54
40. ábra: az Előregyártott körüreges födémpalló AxisVM modelljei SAF és IFC formátum esetén (AxisVM X6)	54
41. ábra: Előregyártott vasbeton keret Archicad modellje (Archicad24)	55
42. ábra: Előregyártott vasbeton keret AxisVM modelljei SAF és IFC esetén (AxisVM X6)	56