

MOL Campus acél tartószerkezeti elemeinek tervezése – A toronyház tetőteraszát körülölelő 24 méter magas homlokzati acélváz, a „Korona” szerkezeti ismertetése

MOL Campus steel structure design - Structural description of the 24 m high steel frame "Crown" surrounding the roof terrace of the tower building

SZABÓ László, KOCSIS Attila

HydraStat Mérnöki Iroda Kft.
4029 Debrecen, Maróthi György u. 4.
E-mail: hydrastat@hydrastat.hu; Tel.: +36-52-453-413; www.hydrastat.hu

Abstract

Presentation of the supporting structure of the 24-metre high steel wall structure on the 29th floor of the MOL Campus. Comparison of the wind tunnel simulation of the structure with the standard wind load. Description of the steel "ski-rail" between the tower and podium buildings and the steel structures at the dilatation of the building sections. Presentation of the design of the glass roof over the podium section.

Keywords: steel structure, wind load, design of structural joints, glass roof, movement joint

Kivonat

A MOL Campus 29. emeletére tervezett 24 méter magas acél falvázszerkezet tartószerkezete, erőjátékának bemutatása. A szerkezet szélcsatornás szimulációjának összehasonlítása a szabvány szerinti szélterheléssel. A torony és pódium épületek között kialakított acél „sísánc” és az épületrészek dilatációjánál kialakított acélszerkezetek ismertetése. Pódium épületrész feletti üvegtető kialakításának bemutatása.

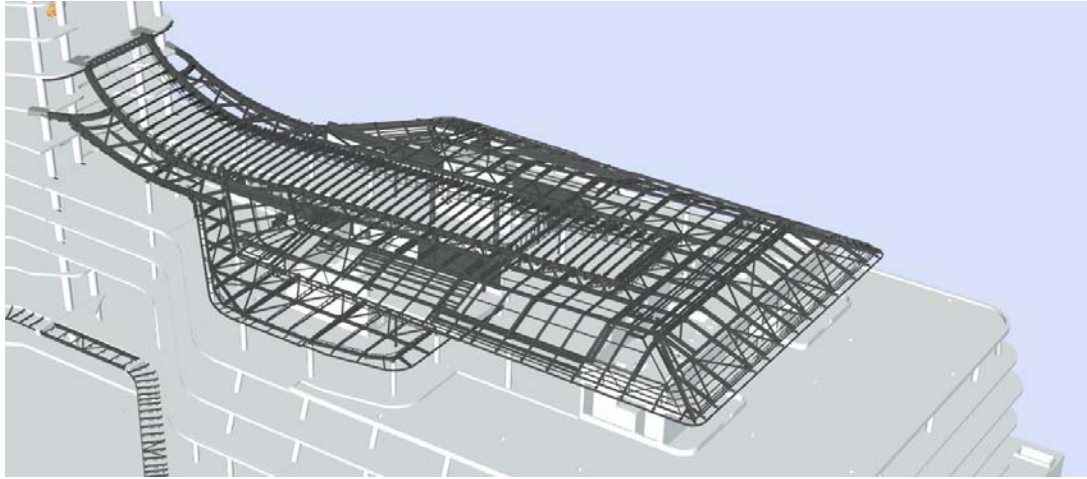
Kulcsszavak: acélszerkezet, szél teher, csomóponttervezés, üvegtető, dilatáció

1. BEVEZETÉS

A MOL Campus tartószerkezetének több –az épület formavilágát meghatározó- épületrésze is acélszerkezetből lett kialakítva. Ilyen domináns elem többek között az épület legtetején kialakított látogatói teraszt körül ölelő -legmagasabb pontján 24 méter magas- üvegszerkezetet tartó acélváz, de ide sorolható a pódium aulaterét, illetve gépészeti tereit lefedő több ezer négyzetméter alapterületű tetőszerkezet is. Ez az acélszerkezet a toronyépülethez egy úgynevezett két emelet magas „sísánccal” csatlakozik, mely egy minimális mozgástoleranciával kialakított üvegburkolatot hord.



1. ábra. Korona acélszerkezete



2. ábra. Pódium acélszerkezete

Az említett két nagyméretű tartószerkezeti rész mellett, több az épület belső terét meghatározó acélszerkezeti elem is készült. Ezek közül az egyik leglátványosabb a toronyház általános irodaszintjein helyet foglaló úgynevezett trippletekben kialakított két szint magas spirállépcső.



3. ábra. Spirállépcső

2. A KORONA ACÉLSZERKEZETÉNEK TERVEZÉSE

A toronyépület zárófödémén, mely 120 méterrel magasodik a földfelszín fölé, az építész munkatársak egy látványos kilátót álmodtak meg, melyet a jövőben bárki látogathat. Annak érdekében, hogy az épület félmagasságában ne kelljen egy gépészeti szintet kialakítani, az épületgépészeti berendezések egy részét a tetőn kialakított gépészeti terekbe helyezték el. Ez praktikusán a merevítőmagok 144 méter magasságig történő megnyújtását jelentette, melyeken belül három szinten gépészeti terek lettek kialakítva, így rejtve el azokat a tetőteraszra látogatók előtt. A tartószerkezettervezők számára kitűzött feladat volt egy olyan megjelenésében légi acélvázat tervezni a 144 méter magasságig felnyúló magok köré, melyre a kilátóteret a szélhatásoktól védő üvegszerkezet kerül.

A tervezés első és egyik legfontosabb feladata a tervezendő szerkezetet érő szélterhelés meghatározása volt. A tervezési idő rövidege miatt az előtervezés a szabvány adta képletekkel meghatározott terhekkel lett elvégezve. Ezzel párhuzamosan azonban az angliai székhelyű RWDI a szél dinamikus hatásait a szerkezet merevségével együtt figyelembe vevő szélszimulációs tesztet végzett, melynek eredményeit későbbiekben felhasználtuk a méretezés további fázisaiban.

Ez a munkafolyamat egyben jó lehetőséget biztosított arra is, hogy a szabvány által meghatározott terminológiával számolt terheket a szélcsartornás eredményekkel összehasonlítsuk.



4. ábra. Korona acélszerkezete szerelési állapotban

2.1. A szerkezet ismertetése

A korona acélszerkezete az épület homlokzati kontúrához igazodva egy egyszerűen szimmetrikus elkeskenyedő szerkezet, mely felülről nyitott. A szerkezet tetején egy bumerángformájú vierendel tartó kapott helyet, melynek nyugati vége csuklós kapcsolattal csatlakozik a merevítőmagokhoz. A tartó a végpontján túl egy további ponton csatlakozik húzott-nyomott rúd közbeiktatásával a vasbetonmagok oldalfalához. E két megfogási pont biztosítja a vierendel tartók befogását a magokba, mely a korona felső megtámasztásához szükséges tárcsamerevséget biztosítja. Az alakváltozások korlátozása végett a korona keleti homlokán a vierendelek végpontjában további két 900x500-as zártszelvény található. A zártszelvények a 27. és 28. emeleti födémekbe elhelyezett szerelvényekhez csatlakoznak. E két szint biztosítja a hajlításra befogott, konzolos kialakítását a 24 méter magas íves zártszelvénynek, mely ez által vízszintes támaszául szolgál a már említett vierendel tartónak. A 24 méter magas homlokzat burkolása 5 sorban átlagosan 4,5 méter magas üvegtáblákkal

történt, melyek számára rögzítési pontként szolgáló gyűrűket kellett kialakítani. A légies hatás elérése céljából a lehető legkisebb keresztmetszetű tartók meghatározása és alkalmazása volt a feladat. A gyűrűkre az üvegpnelek súlyán túl dominánsan szélterhelés hat, mely a gyűrűket a homlokzati üvegfal síkjára merőleges síkban hajlítja. A gyűrűk méretének minimalizálása céljából a teraszokon acél köroszlopokat alakítottunk ki, melyek alul részleges befogással a födémhez, felső pontjukon pedig csuklós kapcsolattal a vierendel tartóhoz csatlakoznak. Az oszlopokhoz a falvázgyűrűk magasságában „V” alakban húzott-nyomott rudak csatlakoznak, melyek gyűrűk számára négy közbenső vízszintes megfogási pontot biztosítanak. Ennek köszönhetően az RHS 250x150x12.5 –es fektetett zártszelvényből kialakított gyűrűk, mint folytatólagos átlagosan 5 méter fesztávolságú, többtámaszú tartóként viselkednek, melyek közbenső támaszául az alul-felül megfogott 24 méter magas köroszlopok, illetve azokon kialakított könyökök szolgálnak. A köroszlopok, melyek végső soron felveszik a gyűrűket érő szélnyomást, mint hajlított szerkezet 559 mm átmérőjű, 60 mm falvastagságú csőszelvényekből lettek kialakítva. A korona acélszerkezete a térben fentről lefele keskenyedik, így a belső oszlopok térben döntöttek, a gyűrűk geometriája is ennek megfelelően szintenként eltérő. A gyártmánytervezés megkönnyítése érdekében az acélszerkezet geometriája, a csomópontképzés illetve a homlokzati elemrögzítési pontok mind parametrizálva kerültek a gyártmánytervezés során feldolgozásra.

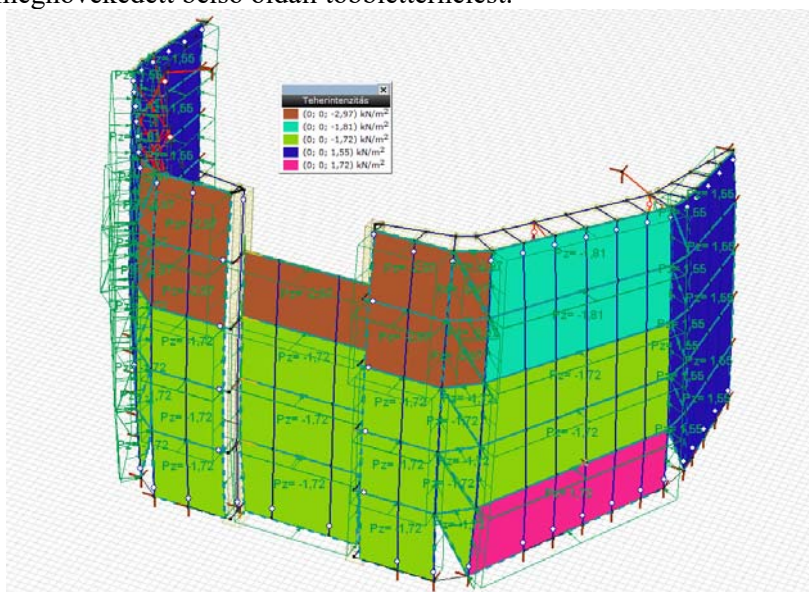


5. ábra. 900x500-as zártszelvény födémcsatlakozási csomópontja

Az ismertetett statikai vázzal kialakítva sikerült egy –az építészeti kívánalmakat kielégítő- acélvázat létrehozni, amely minimális mértékben takarja ki az üveghomlokzat biztosította körpanorámát.

2.2. Szélteher számítás

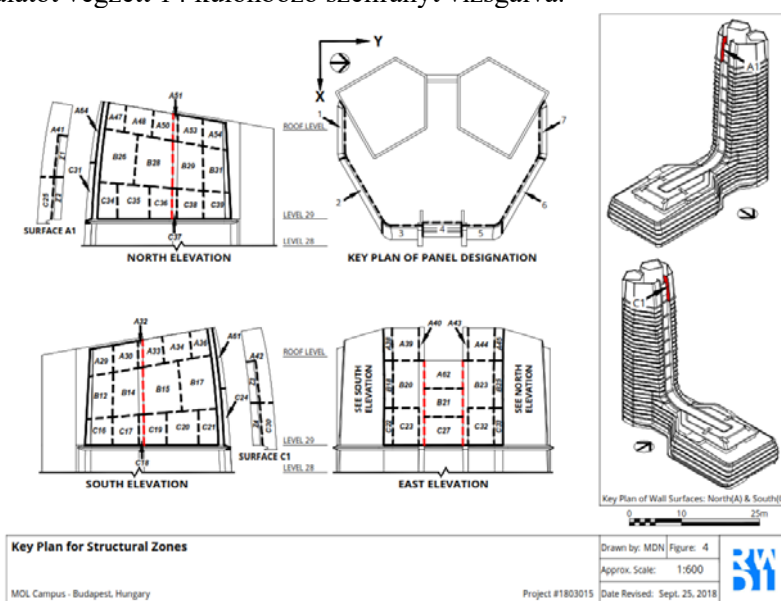
A koronára ható szabvány szerinti szélteher meghatározása több okból is nehézségekbe ütközött. Egyrészt a korona szegmentáltan tört ívű formája nehezen kategorizálható a szabvány által definiált formák közé. Másfelől a szerkezet felülről nyitott, kvázi kürtöt formál. A koronát lezáró vierendel tartók a vízszinteshez képest döntöttek, magasságuk változó, aminek következtében a keleti oldal hozzávetőlegesen 1 méterrel magasabb a nyugat oldalnál. Fennállt tehát a veszélye, hogy a korona felett átfújó légtömeg a magasabbra emelkedő oldalfalba belekaphat, így felerősítve a szél hatását. A korona felső szakasza kvázi – szabvány szerinti elnevezéssel élve- szabadon álló falként működik, melyhez igen magas alaki tényezőket rendel a szabvány. Nehezen becsülhető volt azonban, hogy a „szabadon álló falhatás” mekkora magasságon okoz adott esetben megnövekedett belső oldali többletterhelést.



6. ábra. EC szabvány szerint számított szélterhelés

Az MSZ-EN 1991-1-4 szabvány szerint számolt szélnyomás értékei 1,55-2,97 kN/m² értékek között adódtak, melyek széliránytól függően különböző teherállásokban lettek a szerkezeten működtetve.

Az előtervezés során a szabvány szerinti szélterhekre méretezett tartószerkezetnek, meghatározásra kerültek a természetes frekvenciái, melynek segítségével -amint azt már korábban említettük- az RWDI szélcsatornás vizsgálatot végzett 14 különböző szélirányt vizsgálva.



7. ábra. Korona zónakiosztása (RWDI vizsgálat)

A vizsgálathoz a korona szerkezete zónákra lett osztva, mely zónákban a széliránytól függően mért maximális terhelések meghatározásra kerültek. A vizsgálat eredményei alapján a mért szélterhelés sehol nem haladja meg az $1,5 \text{ kN/m}^2$ értéket. Továbbá a feltételezett szabadon álló falhatást az eredmények nem igazolták vissza. A korona felső peremén a szimuláció nem mutatott ki jelentős igénybevétel többletet, ellenben a lekerekített áramvonalas forma jelentősen csökkentette mind a legnagyobb szélnyomás, mind pedig a szélszívás mértékét. Végeredményben elmondható, hogy a mért szélnyomásértékek közel fele akkora adódtak, mint a szabvány szerint számolt szélterhek.

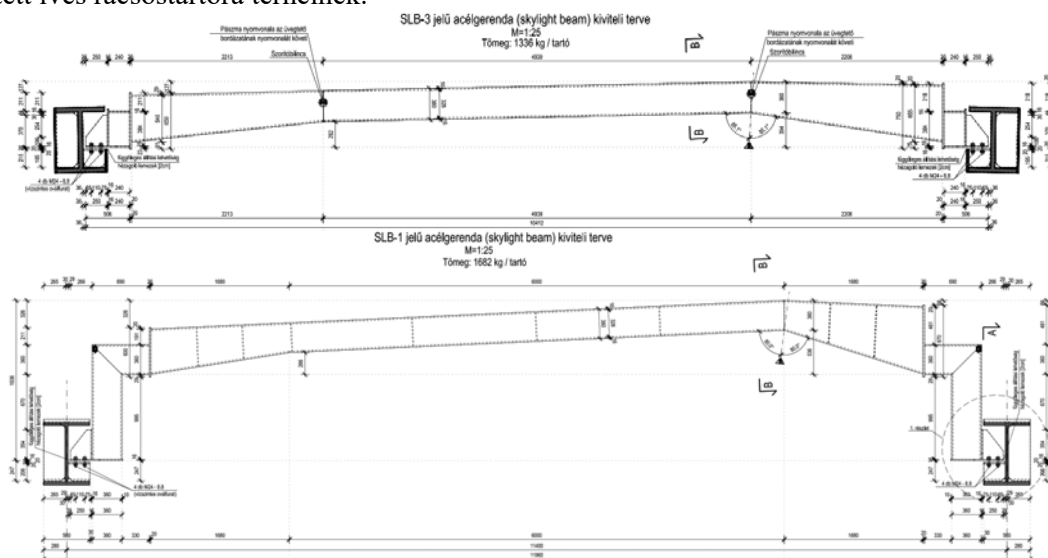
3. ÁTRIUM ÜVEGTETŐ

A toronyépület mellett található pódium épületrész középső traktusa több szint magas átriumrésznek ad helyet. Az átriumnak része az a bizonyos sísánc is, mely funkcionálisan összekapcsolja a két épületrészt és a biztosítja, hogy a pódium üvegtető borítása a közel vízszintes pozíciójából íves nyomvonalat követve felfusson a toronyépületre, ahol aztán, mint homlokzati üvegfal látja el funkcióját. Az üvegtető rálátást biztosít az átriumban tartózkodók számára a torony magasba ívelő szerkezetére.

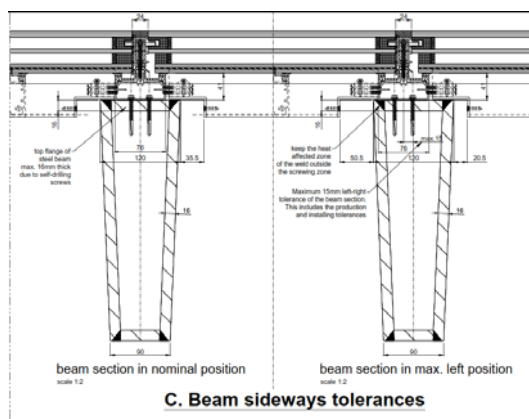


8. ábra. Torony épület alaprajz

A korona szerkezetéhez hasonlóan az átrium üveglefedésénél is az volt az építészeti elvárás, hogy az üveglefedést olyan tartószerkezet gyámolítsa, mely a panorámát a lehető legkisebb mértékben korlátozza. Az üvegtetővel párhuzamosan két íves rácstartó egymástól 11 méteres távolságra biztosítja a középső üvegtartó bordák fogadószerkezetét. Az üvegtáblák $1,35$ méterenként kiosztott, trapézkeresztmetszetű, mezőközépen 36 cm magas, míg szélein kivastagított tartókra fekszenek. A tbordák felső öve 12 cm, míg alsó övük csupán 9 cm széles. A gerendák az átrium hátsó szakaszán az épület vasbetonszerkezetére, a nyaktagi részen pedig a már említett íves rácstartóra terhelnek.



9. ábra. Átrium lefedés acélgerendáinak oldalnézete

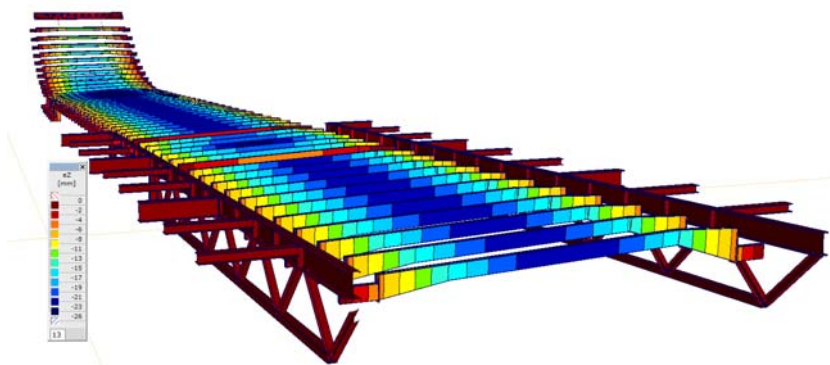


10. ábra. Átrium lefedés acélgerendáinak keresztmetszete

A feladat műszaki különlegességét az adta, hogy a homlokzati koncepció szerint az üvegtáblákat a tartó felső övére rögzített szerelvényvel fogatták le közvetlenül a tartószerkezethez. A szerelvénynek függőleges értelemben egyáltalán nem volt építési pontatlanságot kiküszöbölő állíthatósága, oldalirányban pedig a gyártási pontatlanság és a tartó terhelés okozta üveg síkjába eső -oldal irányú- kihalasodásának összértéke mindösszesen 7 mm lehetett. Tekintettel arra, hogy az építészek ragaszkodtak a trapéz keresztmetszetű egyedi tartóformához, melyet csak egyedi hegesztett keresztmetszetként lehet előállítani, így már az is komoly kihívást jelentett, hogy a 11 méteren a hegesztés ne húzza meg annyira a tartószerkezetet, amely önmagában kimerítené a megadott 7 mm-es határértéket.

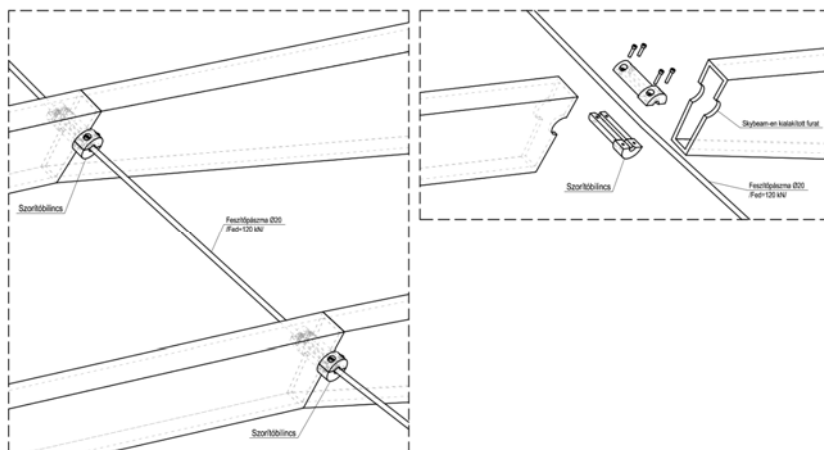
Függőleges értelemben két szomszédos tartóborda maximálisan 10 mm-t térhetett el a tervezett pozíciójától a ráfogott üvegtábla károsodása nélkül, mely érték magában foglalja a megengedett gyártási pontatlanságot, az elhelyezési pontatlanság, és a lokális terhek okozta lehajláskülönbséget két tartó között. Tartószerkezettervezőként ez utóbbit kellett minimalizálnunk. A feladatot nehezítette, hogy a közel 70 méter hosszú átrium tetőn egyes tartók a teljesen merevnek tekinthető vasbeton oszlopokra, míg más tartók 12-14 méter fesztávolságú acélgerendákra támaszkodnak, így megtámasztási merevségük változó. A bordák magassági helyzete a fogadószerkezethez képest folyamatosan változó, így a bordák kialakítása, ezáltal a tartó geometriája / merevsége sem volt azonos a teljes hosszon. Az üvegtetőn a tisztítást lehetővé tevő üvegtartó bordákra függesztett karbantartóhid közlekedését kellett biztosítani, mely helyzetétől függően más-más tartót terhel több száz kilogrammal. Az üvegtető sísáncra eső szakaszán a bordák a függőleges pozíciójukból a sísáncal együtt fokozatosan fordulnak el a tartó tengelye körül a függőlegeshez képest 45 fokban megdőntött pozícióba. Így a toronyhoz közeledve a tartók egyre dominánsabban a gyenge tengelyük körüli hajlítást szenvednek, mely a 9 cm széles tartók miatt jelentős üvegtábla síkjában jelentkező oldalirányú kihajlítást eredményezett, mely messze meghaladja az üvegtáblák által tönkremenetel nélkül elviselni képes 7 mm-t.

Annak érdekében, hogy lokalizálni lehessen az átrium alakváltozás szempontjából leggyengébb pontját, héjelemből felépített végeelemmodell készült az átriumlefedésről, mely a gerenda megtámasztások merevségétől kezdve, a csomópontok merevségén át, mindent a lehető legpontosabban vett figyelembe lévén hogy milliméter pontos eredmény elérése volt a cél annak érdekében, hogy a gyártási és szerelési pontatlanságnak minél nagyobb tartalékot képezzünk.



11. ábra. Átrium lefedés acélgerendáinak végeelemes héj modellje

A nyaktagi szakaszon a tartók gyenge tengely körüli hajlásából adódó határértéken belüli alakváltozását vonórudak beiktatásával sikerült biztosítani, mely rudak a torony épület egyik homlokzati dekorációs elemébe elrejtett doboztartóra lettek felkötve. A helyszíni elhelyezési pontatlanság minimalizálását a lehető legtöbb irányban állítható csomópontok megkonstruálásával igyekeztük elérni. Köszönhetően a részletes számításokkal detektált gyengepontok megfelelő megerősítésének, sikerült a homlokzati kritériumokat kielégítő tartószerkezetet tervezni.



12. ábra. Átrium lefedés acélgerenda és felkötő vonórúd csomóponti kialakítása

4. HOMLOKZATI ELEMÉK TARTÓSZERKEZETE AZ ÉPÜLETDILATÁCIÓ MELLETT

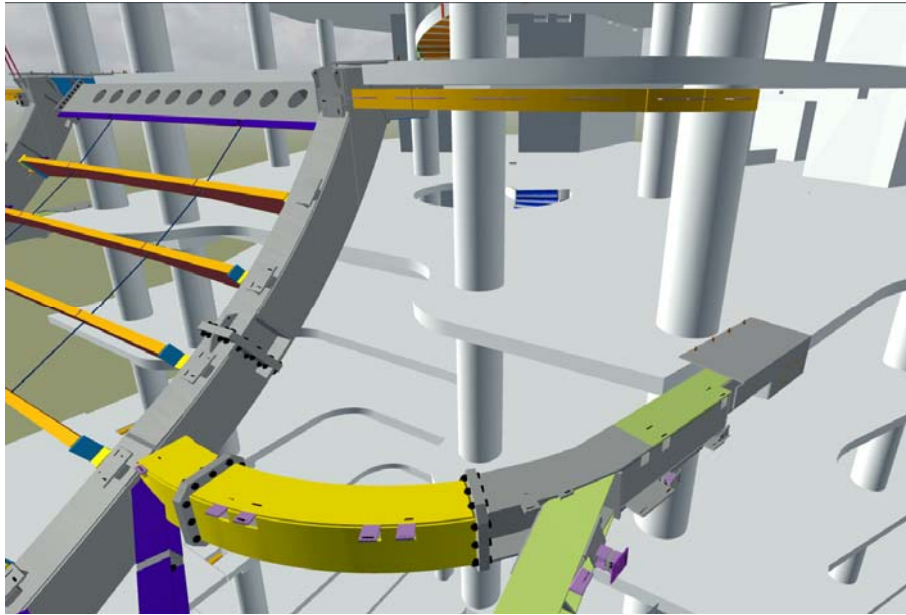
A torony és pódium épület felszerkezete egymástól dilatálva került kialakításra, A függőleges tartószerkezeti elemek duplázása nélkül, így a toronyépület függőleges támaszt biztosít a csatlakozó pódium szerkezete számára, azonban a két épület eltérő vízszintes mozgásait csúszólappal kialakított kvázi „görgős” kapcsolatok biztosítják.

Szél hatására a két épület között a legnagyobb elmozdulás különbség a legmagasabb csatlakozási ponton (7. emelet) 20 mm, míg szeizmikus terhek hatására a legnagyobb elmozdulás különbség kb. 130 mm. A dilatálást természetesen az elsődleges tartószerkezeten túl a pódiumról a toronyra feljutó „fluid felületet” képző homlokzati üvegtáblák esetén is el kellett végezni.



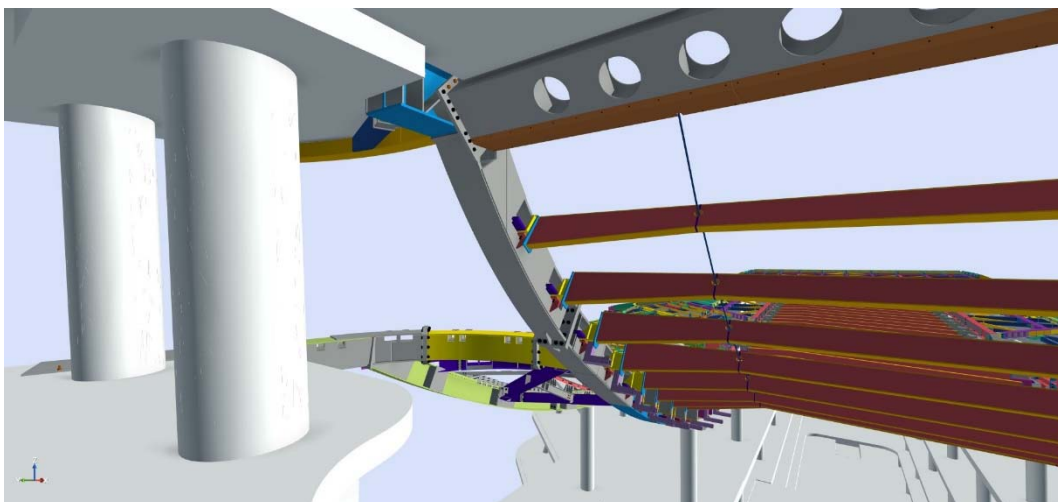
13. ábra. Torony és a pódium közötti homlokzati dilatáció

A dilatációs vonalon található üvegtáblák számára biztosítani kellett, hogy az üvegtáblák alsó és felső éleik mentén egyazon dilatációhoz tartozó szerkezeti elemhez csatlakozhassanak. Ennek biztosítására speciális álmennyezetbe, ill. homlokzat burkolati elemekbe rejtett acél keretet készítettünk.



14. ábra. A felfutó „sísánc” acélszerkezete és torony épület kapcsolata

A keret felső éle – mely szerkezeti szempontból a pódium épülethez tartozik- a torony csatlakozó vasbeton födeme alatt pár centiméterrel fut. Itt tehát a homlokzaton függőlegesen felfutó dilatációs vonal átfordul egy vízszintes vonalvezetésre, mely keresztbe vágja a homlokzatot. A mozgási hézag alatt található kettős görbületű íves panel a keret felső födém alá rejtett ívének köszönhetően mind az alsó élén, mind pedig a felső élén a pódiumhoz csatlakozik és azzal együtt mozog. E vízszintes dilatáció felett az üvegtábláknak már mind a felső, mind pedig az alsó éle a toronyépület szerkezetéhez csatlakozik. Az íves keretsarok –mely szerkezetileg a pódium tartószerkezetének része- a merevítőmagoktól több mint 40 méterre található, így a keret vízszintes terhekkel szembeni tárcsamerevsége alacsony. Ezért tervezés során vizsgálni kellett, hogy a sarki üvegtáblákat érő turbulens légáramlatok előidézhetik-e a homlokzat bevibrálását. Ennek már csak azért is nagy volt a jelentősége, mert a 7. emeleten található a MOL vezetőségének irodarésze.



15. ábra. Az acélszerkezet összekötését és az üvegtartó gerendák felkötését biztosító merev „doboztartó”

A vizsgálatok eredményeként az északi és déli oldalon található keret –azok kimerevítése érdekében– összekötésre került egy doboztartóval, mely összekötés egyben az üvegtartó gerendák felkötését is biztosította. Ezen túlmenően a sísánc öveit alkotó I tartók egyes szakaszait a csavarási merevség növelése érdekében szükségessé vált bedobozolni. Az erősítésekkel sikerült a szerkezet megerősítését kellő mértékben elvégezni.

Az acélszerkezetek közel két évig tartó kiviteli tervezését követően egy évnyi gyártmánytervezés vette kezdetét, melyet a BIM Design Kft. munkatársai végeztek szorosán együttműködve a Hydrastat Kft mérnökeivel, továbbá a holland homlokzatgyártó (SBV) mérnökkollégáival. Az együttműködésnek köszönhetően 2021-ben sikeresen megépült az egyedi üveghomlokzatot gyámolító acélszerkezet, melyre azóta az üveg homlokzati elemek is felkerültek.