

Merevítőfalak kapcsológerendáinak megerősítése acéllemezek alkalmazásával

Strengthening of shear walls' coupling beams using steel plates

Dr. NAGY-GYÖRGY Tamás¹, Dr. DĂESCU Alexandru Cosmin², CĂLBAS Cătălin³

¹Temesvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

²Daccons S.R.L., Temesvár, daccons@gmail.com

³Plan Design S.R.L., Temesvár, catalin.calbas@plan-design.ro

Abstract

The paper presents a specialized seismic strengthening solution applied to the Hotel Continental in Timișoara: the strengthening of reinforced concrete shear wall coupling beams using steel plates. Structural assessment revealed that the shear capacity of several structural elements did not meet current requirements, therefore an innovative strengthening method was implemented. Steel plates mechanically anchored on one or both sides of the coupling beams significantly increase the load-bearing capacity and ductility of the structure, while allowing fast and high-quality execution.

Keywords: RC shear walls, coupling beams, seismic strengthening, steel plates

Kivonat

A cikk a temesvári Continental szálloda szeizmikus megerősítésének egy speciális megoldását mutatja be: a vasbeton merevítőfalak kapcsológerendáinak acéllemezes megerősítését. A vizsgálatok alapján több szerkezeti elem nyírási teherbírása nem felelt meg a jelenlegi követelményeknek, ezért egy innovatív megerősítési módszer került alkalmazásra. A kapcsológerendák egy- vagy kétoldalára mechanikusan rögzített acéllemezek jelentősen növelik a szerkezet teherbírását és duktilitását, miközben a kivitelezés gyorsan és jó minőségben valósulhat meg.

Kulcsszavak: vasbeton merevítőfalak, kapcsológerendák, szeizmikus megerősítés, acéllemezek

1. BEVEZETŐ

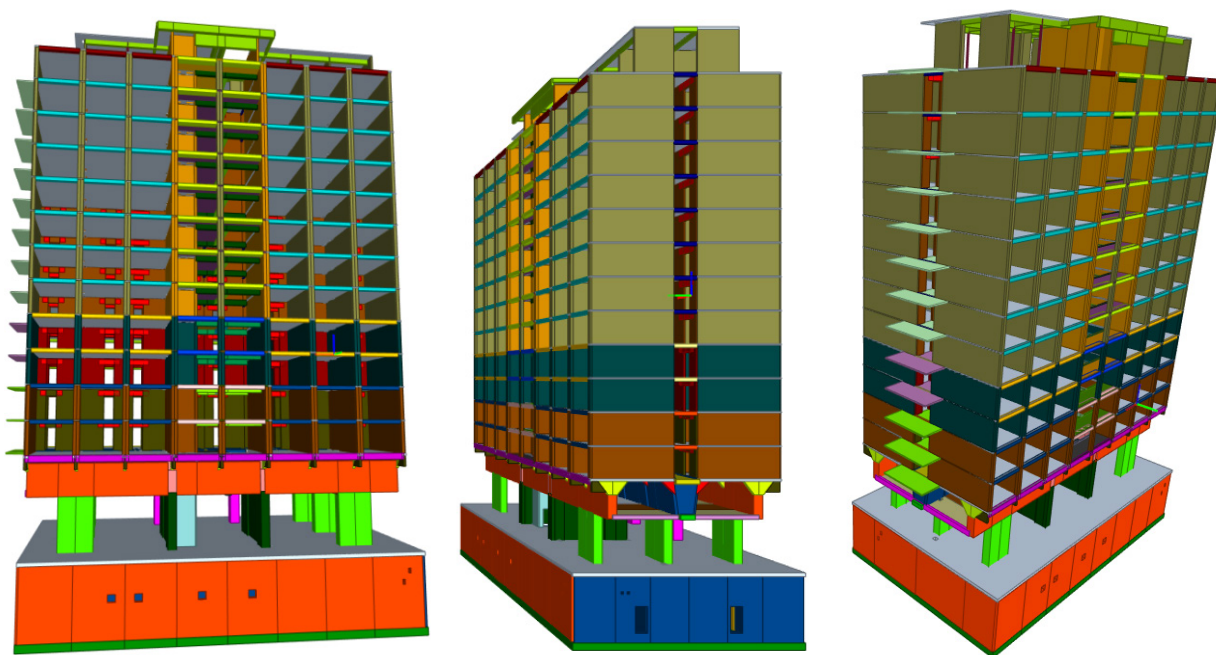
A Continental szálloda Temesvár egyik ikonikus épülete. 1969-ben tervezték Gârleanu Gheorghe építész tervei alapján, modernista stílusban, tiszta vonalakkal, vertikális tömegformálással és funkcionális megjelenéssel. A szerkezet statikai tervezője Anastasescu Decebal mérnök volt. Az 1971-ben átadott épületet a kezdettől fogva a városrész meghatározó jelképének szánták, amely egy olyan korszak történetét meséli el, amikor a város elkezdett felfelé növekedni és a modernitás által meghatározni önmagát. Az alagsor – földszint – magasföldszint – 12 emelet – félemelet szintkialakítás lehetővé tette, hogy az épület a környék volumetriai hierarchiájában kiemelkedő szerepet töltsön be. Az előregyártott homlokzati beton elemek pontosságának és ritmusának köszönhetően az épületet jól illeszkedik az általános környezetbe. 1975-ben sor került a szálloda bővítésére: ekkor beépítették a hátsó teraszt és az ellátóudvart, majd később ezt a teraszt lezárták annak érdekében, hogy növeljék a belső terek alapterületét. Ebben a cikkben csak a főépület megerősítésének néhány érdekesebb részlete kerül bemutatásra.

A temesvári kereskedelmi tereket magukban foglaló épületek műszaki szakértői vizsgálatának kötelezettségét országos és helyi szinten szabályozzák, különös tekintettel a szeizmikus kockázat és a teherbírás felmérésére. A földrengésre érzékenynek minősített épületek tulajdonosai műszaki szakértőket kell megbízniuk az épület szeizmikus kockázati osztályba sorolására. A szakvélemény alapján a tulajdonosoknak vagy a tulajdonosi társulásoknak szerkezet-megerősítési intézkedéseket kell foganatosítaniuk. Ebben a helyzetben volt a tárgyalt szálloda is. A megerősítés szükségessége egyértelmű volt, hisz az épület az 1977-es nagy földrengés előtt épült, ezt követően ugyanis a szabványokban lényeges változások következtek be (lásd a P100-1978/1992/2006/2013/2019).

A szerkezet vasbeton bordázott alaplemeze épült, az alagsorban vasbeton falakkal, fölötté vasbeton födémmel. A földszint szerkezete oszlopokból és merevítőfalakból áll, a magasföldszinten egy hosszanti központi maggal és egy nagyon érdekes erőátadó gerendarendszerrel. A felső szinteken a szerkezet vasbeton merevítőfalakból áll, 9 keresztirányú és 2, a központi folyosó mentén elhelyezett, kapcsológerendákkal összekötött vasbeton merevítőfal adja az épület szerkezeti vázát. Minden szinten felbetonnal ellátott előregyártott vasbetonfödém található. A még meglévő szerkezeti kivitelezési terveket a tulajdonos a szakértői csapat rendelkezésére bocsátotta.

2. A SZERKEZETI FELMÉRÉS EREDMÉNYEI

A szakvélemény 2024-ben készült [1]. Az épület I. osztályú besorolása a földrengésállósági fontossági és kitétségi szempontok alapján (így a $\gamma_{Ie} = 1.40$ – a lehető legmagasabb). A méretezési szeizmikus zóna paraméterei: $a_g = 0,20g$ és $T_C = 0,7s$ a P100-1/2013 szabvány szerint. A biztonsági tényezők alapján korlátozott ismereti szint (KL3) került megállapításra. A helyszíni felmérések és vizsgálatok nem találtak semmilyen jelentős szerkezeti hibák. A számítások alapján a meglévő épület (megerősítés nélküli) általános biztonsági foka Rs II (azok épületek, amelyeknél 100 éves visszatérési periódussal számolva, a tervezési határállapotban figyelembe vett földrengés hatására a szerkezet súlyos károsodása várható, veszélyeztetve a felhasználók biztonságát, de amelyeknél a teljes vagy részleges összeomlás valószínűsége kicsi), míg a megerősítés utáni Rs III (amelyeknél 100 éves visszatérési periódussal számolva, a tervezési határállapotban figyelembe vett földrengés hatására mérsékelt károsodás várható, de ami veszélyeztetheti a használók biztonságát). A felújítási periódusra, azaz az átmeneti/ideiglenes tervezési állapotra számolva, a megerősítési munkálatok időtartamára a biztonsági fok Rs III szintűnek lett megállapítva.



1. ábra. A szerkezet térbeli modellje (nézetek - AxisVM)

A számítások alapján a talaj kihasználtsági foka teherbírési határállapotban 29%, míg biztonsági szintje 282%, földrengési teherkombinációban pedig 35% a kihasználtság és 282% a biztonsági szint. Ezért nem volt szükség beavatkozásra.

Az alaplemez nyomatóki kihasználtsági foka 183%, biztonsági szintje 55% volt, így lokális megerősítésekre volt szükség. Ugyanakkor az alaplemez bordáinak biztonsági szintje megfelelő volt.

A földszint feletti födém 2 tartógerendájának biztonsági szintje 15%, illetve 31% volt. Ezek is megerősítésre szorultak.

A fölszíni oszlopok nyírási (135-306%) és nyomatóki (179-213%), valamint a merevítőfalak nyomatóki (238%) biztonsági foka megfelelőnek bizonyult, viszont a falak nyírási kihasználtsága 243% volt, ami 41%-os biztonsági szintnek felelt meg. Tehát itt nyírási megerősítésre volt szükség.

A magasföldszint teherátadó gerendáinak nyomatóki teherbírása rendben volt, viszont a nyírási teherbírési biztonsági szintje 59-88% között mozgott. A nyírási megerősítés itt is szükséges volt.

Az emeletek keresztirányú merevítőfalainak úgy a nyírási, mint a nyomatéki teherbírása még az elfogadott értékek határán volt, viszont a hosszanti falak nyírási teherbírásának biztonsági szintje 31% volt, míg ezek kapcsológerendáié alig érte el a 6%! Itt komoly megerősítésekre volt szükség.

A födémek minden szinten rendelkeztek a szükséges teherbíró képességgel.

3. A JAVASOLT SZERKEZETMEGERŐSÍTÉSEK

Az alaplemez bizonyos részeinek megerősítése ennek megvastagításával történt, a szükséges vasalás alkalmazásával, valamint a régi és új réteg együttdolgozását elősegítő kapcsolatok kialakításával.

A földszint feletti födém két tartógerendájának megerősítésére a gerendák alsó felületéhez, valamint az oldalsó betonfalakhoz rögzített acélprofilokkal történik.

A földszinti merevítőfalak nyírási megerősítése vízszintesen felragasztott szénszálerősítésű kompozitok felhasználásával lett megoldva, a lehorgonyzási zónában egy saját fejlesztésű rendszert alkalmazva.

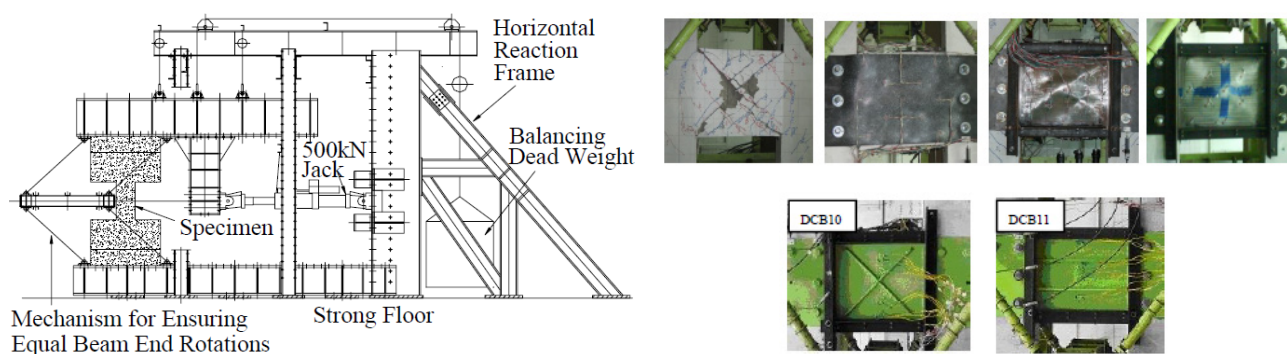
A hosszanti merevítőfalak nyírási teherbírásának növelésére felületközeleli megerősítési módszer (NSM) lett alkalmazva, melyeknél a fal felületébe vágott hornyokba acélbetétek kerültek beragasztásra epoxigyanta felhasználásával. Előnye az volt, hogy egy rövidebb lehorgonyzásnak is maradt hely.

A hosszanti falak kapcsológerendáinak megerősítésére egy kevésbé ismert vagy használt megoldás került alkalmazásra, éspedig acéllemezek segítségével, úgy, hogy azok a falon keresztül mechanikusan rögzített csavarok segítségével a fal egyik vagy mindkét oldalára lettek felhelyezve.

4. AZ ACÉLLEMEZES MEGERŐSÍTÉS RÉSZLETEI

Kapcsológerendákat nyírófalas szerkezeti rendszereknél találhatunk, melyeknek összetett funkciójuk van. Elsődleges feladatuk a két függőleges falrész összekapcsolása volna, vagyis a falak együttdolgozásának biztosítása. Ugyanakkor ezen keresztül valósul meg a falak között a nyíróerők átvitele, földrengés esetén energiadisszipációval védve a fő tartószerkezetet. Az így összekötött falak nő az együttes merevsége is, javítva az épület stabilitását, földrengésbiztonságát.

Így érthető, hogy a vasbeton merevítőfalak kapcsológerendáinak megerősítése egy igen összetett feladat. Általában, ha gond van velük, akkor mind nyírási, mind nyomatéki megerősítésük szükséges. Vagy másként tekintve a problémára, a nyomott és húzott átlók teherbírás-növelésére van szükség. Ezt általában a kapcsológerenda és ezáltal a falak keresztmetszetének jelentős növelésével és nagymennyiségű acélbetét alkalmazásával lehet elérni.

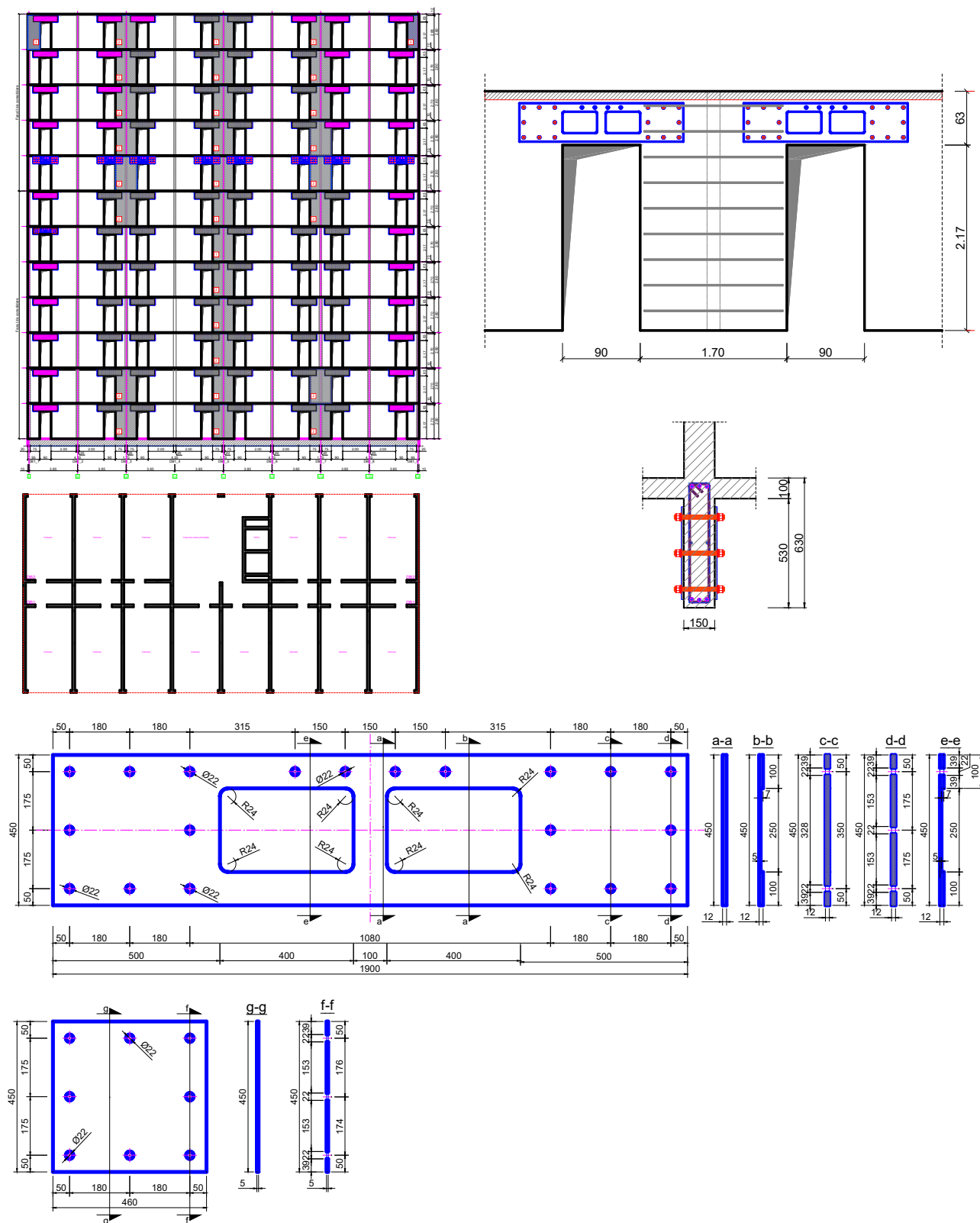


2. ábra. Kísérleti elrendezés és a tönkremeneteli mechanizmusok a [2], [6] alapján

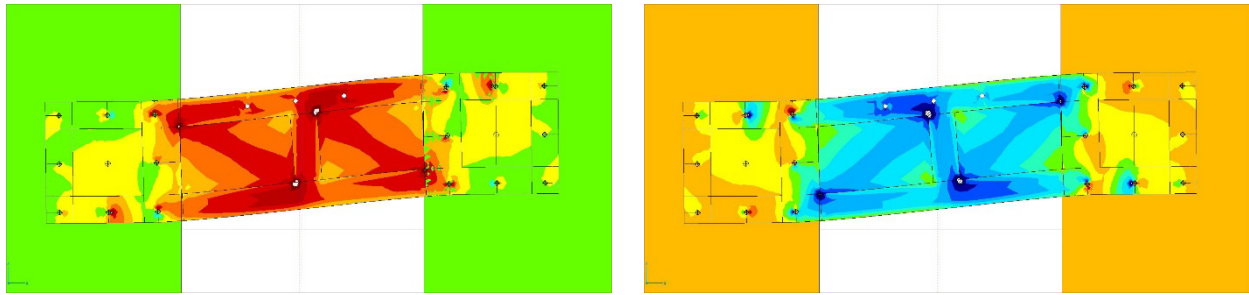
2005-ben Su és Zhu [2] publikált kutatássorozatukban valósleptékű falelemek és kapcsológerendáik acéllemezes megerősítését tanulmányozták. Kísérletsorozattal, numerikus módszerekkel és analitikusan is bebizonyították, hogy az általuk alkalmazott módszer nagyon jól használható a kapcsológerendák megerősítésére, mely által egyszerűen, de lényegesen növelhető az elemek teherbírása és egyidőben duktilitása is. A rendszert fejlesztették, finomították, és az eredményeket publikálták is [3], [4], [5], [6], [7].

A módszer lényege röviden az, hogy a kapcsológerenda egy olyan acéllemezrel lesz helyettesítve (áthidalva), amelynek befogatása csavarokkal történik a merevítőfalba, úgy méretezve, hogy a tönkremenetel ne a kapcsolatokban, hanem lehetőleg a lemez közepén, húzásra történjen. Tulajdonképpen a megerősítési lemez három részre osztható. A két szélén, azaz a kapcsolati részen, a teherbírása túlméretezett (esetünkben 12mm-es tábla, 20mm-es gr. 8.8-as menetelt szár), míg a középső részen a lemezvastagság csökkentésével (esetünkben 5mm) vagy a szélek merevítésével aktiválódik a kívánt mechanizmus és a húzott átlókon

keresztül történik az erőátvitel. Acélelemek hasonló elven működő kapcsolati megoldásaival, ezek kísérleti és analitikus vizsgálatával Stratan és tsai. foglalkoztak még [8], [9].



3. ábra. A szerkezet alaprajza, az egyik hosszanti merevítőfal, feltüntetve a nyírásra megerősítendő falakat, valamint a megerősítésre szoruló kapcsológerendákat, néhány részletrajzzal



4. ábra. A főfeszültségek eloszlása a kapcsológerendák megerősítésére szolgáló acéllemezekben (AxisVM)



5. ábra. A dinamikusan terhelt csavaroknál használandó speciális alátétek [10]

A 3. ábrán látható a hosszanti falakon végzendő megerősítések száma és pozíciója. A kapcsológerenda igénybevételének mértékétől függően a lemezek egy- illetve kétoldalon lettek alkalmazva.

A kivitelezés kulcsa a menetelt száraz furatokba történő rögzítése, lehetőleg tökéletesen, úgy, hogy terhelés alatt elmozdulásmentesek legyenek. Ezt egy speciális szeizmikus kitt segítségével [10] lehet megvalósítani, éspedig a csavarok megszorítását követően, az alátétben kialakított lyukon keresztül injektált gyanta segítségével. A kapcsológerendákban fellépő igénybevételek AxisVM modellekből lettek kinyerve (4. ábra). A kapcsológerendák teherbírási számításai a román CR 2-1-1.1/2022 szabvány alapján történt. Az acéllemez és a betonfal kapcsolata az IDEA StatiCa programmal lett méretezve és ellenőrizve (táblavastagság, a csavarok és a beton teherbírása).



6. ábra. A megerősített kapcsológerenda néhány részlete kivitelezés közben/után

5. EDDIGI TAPASZTALATOK

A megerősítések kivitelezése 2025 végén kezdődtek. Ami igazán pozitív meglepetést okozott, hogy a kellően át gondolt lépések, valamint a feladattal előtt felkészített kivitelezői csapatnak már az első megerősítés is problémamentesen sikerült. Négy emelet teljes megerősítése már megtörtént (2026 májusa), kiváló minőségben!

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Dăescu A. C., *Expertiză tehnică, Evaluare și încadrare în clasă de risc seismic structură existentă - Hotel Continental Timișoara - corp înalt, Bulevardul Revoluției 1989, nr. 2A, Timișoara, 2024.* (in Romanian)
- [2] Su R.K.L., Zhu Y., *Experimental and numerical studies of external steel plate strengthened reinforced concrete coupling beams*, Engineering Structures, 27(10), 2005.
- [3] Zhu, Y., Su R.K.L., Zhou F.L., *Seismic behavior of strengthened reinforced concrete coupling beams by bolted steel plates, Part 1: Experimental study*, Structural Engineering and Mechanics 27(2), 2007.
- [4] Zhu, Y., Su R.K.L., *Behavior of strengthened reinforced concrete coupling beams by bolted steel plates, Part 2: Evaluation of theoretical strength*, Structural Engineering and Mechanics 34(5), 2010.
- [5] Su R.K.L., Cheng B., *Plate-strengthened deep reinforced concrete coupling beams*, Structures and Buildings 164 (SB1), 2011.
- [6] Su R.K.L., Cheng B., Wang L., Siu W.H., Zhu Y., *Use of bolted steel plates for strengthening of reinforced concrete beams and columns*, The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering 4(2), 2011.
- [7] Cheng B., Shi C., Shi C.H., Zhou M.J., *Seismic Retrofitting of Concrete Coupling Beams by Steel Plate with or without Stiffeners*, Proceedings of the Tenth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Pacific, Sydney, Australia, 2015.
- [8] Ioan A., Stratan A., Dubină D., Poljanšek M., Molina F.J., Taucer F., Pegon P., Sabău G., *Experimental validation of re-centring capability of eccentrically braced frames with removable links*, Engineering Structures 111, 2016.
- [9] Chesoa A., Stratan A., Dubina D., *Design implementation of re-centring dual eccentrically braced frames with removable links*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 112, 2018.
- [10] Hilti Dynamic Set/ Hilti Filling Set, <https://www.hilti.ro> (utolsó elérés dátuma 2026 május).