

Consolidarea Edificiilor Existente Utilizând Tiranți Metalici*

Existing Monuments Rehabilitation Using Steel Tie Rods

Mădălin COMAN¹, Mircea CRIȘAN², Dragoș MARCU³,
Mihai A. GANEA⁴

¹Dr. Ing., Director Tehnic, Popp & Asociații, mcoman@p-a.ro, Romania

²Prof. Dr. Ing., Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, prof.mirceacrisan@gmail.com, Romania

³Ing., Director General, Popp & Asociații, dragos.marcu@p-a.ro, Romania

⁴Ing., Popp & Asociații, mihai.ganea@p-a.ro, Romania

Rezumat: *Prezentul articol reprezintă un studiu de caz asupra utilizării tiranților metalici pentru sporirea proprietăților de ansamblu ale zidărilor vechi. Pentru aceasta sunt trecute în revistă lucrări reprezentative de consolidare la care au fost utilizați în regim de pionierat tiranți metalici. Imobilele analizate au structura preponderent din zidărie, ajungând ca la începutul lucrărilor aceasta să se afle într-o severă stare de degradare. Edificiile studiate sunt Biserica Evanghelică din Sibiu, Biserica Sfinții Arhangheli din satul Cicău, Mănăstirea din satul Sadova, Palatul de Justiție din București și Palatul Patriarhiei. Tiranții metalici au fost folosiți în toate aceste cazuri pentru consolidarea bolților, asigurarea efectului de șaibă semi-rigidă și pentru sporirea ductilității pereților, reprezentând o metodă de consolidare ce merită însușită de întregul corp profesional specializat.*

Cuvinte cheie: reabilitare, consolidare, patrimoniu, monument, bolți, tiranți metalici, foraje zidărie;

Abstract: *This paper represents a case-study upon the usage and implementation of steel tie rods for the strengthening and rehabilitation of old masonry structures. The review focuses on four representative structural strengthening projects that used tie rods as a pioneering approach to building strengthening. All buildings are based on masonry structures, which were severely affected when restoration projects commenced. The analysed structures are the Lutheran Cathedral of Sibiu, the Saint Michael & Gabriel Church of Cicău, the Sadova Monastery, the Bucharest Palace of Justice and the Patriarchate Palace. For each of these cases, tie rods were used for vault strengthening, for enhancing the overall structural seismic response, and for increasing the ductility of masonry walls. Such a rehabilitation technique is worth being considered and grasped by any member of the professional body.*

Keywords: monument building, rehabilitation, strengthening, steel tie rods, masonry drilling;

* Lucrare inclusa in programul conferintei Ingineria cladirilor 2015

1. Introducere

Articolul curent propune realizarea unui studiu de caz înclinat asupra lucrărilor de consolidare a edificiilor existente ce au în comun utilizarea tiranților metalici pentru sporirea proprietăților de ansamblu ale zidărilor vechi. Se urmărește astfel exemplificarea viabilității acestei soluții de consolidare, și totodată, canalizarea atenției publice de specialitate către ea. Deși în țările europene cu o bogată tradiție în domeniul consolidărilor soluția se aplică deja pe scară largă, în România ea a fost până în prezent aplicată aproape în exclusivitate la reabilitarea edificiilor de cult, pentru stabilizarea bolților din zidărie. Există totuși exemple de mare însemnătate care dovedesc viabilitatea soluției și în cazul monumentelor clasice, fiind vorba de propuneri date atât înainte de 1990 cât și din perioada actuală.



Figura 1. Palatul de Justiție – București



Figura 2. Biserica Evanghelică – Sibiu



Figura 3. Biserica Sfinții Arhangheli – Cicău



Figura 4. Palatul Patriarhiei – București

Implementarea tiranților metalici în cadrul proiectelor de consolidare a clădirilor istorice prezintă multiple avantaje, aceștia fiind instrumente versatile ce pot fi utilizate atât la exteriorul elementelor structurale existente, cât și la interiorul acestora, permițând mascarea lor în foraje executate prin zidării. În situația în care tiranții metalici sunt dispuși la exteriorul elementelor existente, ei sunt de regulă utilizați pentru fixarea bolților din zidărie sau pentru împiedicarea deplasării pereților, putând totodată asigura și un efect de șaibă. În cazul în care este necesară stoparea tendinței de fisurare a pereților sau sporirea ductilității acestora, cerându-se și păstrarea fețelor zidurilor nemodificată, tiranții metalici introduși în foraje reprezintă o metodă elegantă, capabilă de a întruni respectivele cerințe.

2. Palatul de Justiție – București

2.1 Descrierea generală a monumentului

Palatul de Justiție din București a fost ridicat la finalul secolului XIX reprezentând unul dintre cele mai ample edificii clădite până la momentul respectiv pe teritoriul Regatului României. Monumentul a fost utilizat neîntrerupt vreme de peste un secol, funcțiunea de bază rămânând neschimbată. Edificiul Palatului de Justiție are formă dreptunghiulară, extinsă în plan, fiind format din mai multe tronsoane ce includ 7 curți de lumină putându-se încadra într-un perimetru de aproximativ 150 x 90m. Clădirea este relativ joasă în înălțime, de regim D+P+M+E. Secțiunile imobilului formează o structură unitară, nefiind separate între ele prin rosturi. Din punct de vedere constructiv, aceasta este ridicată din

pereți portanți masivi de zidărie, planșeele nereușind să asigure o șabă rigidă, fiind confecționate din grinzi metalice și bolțișoare de zidărie.

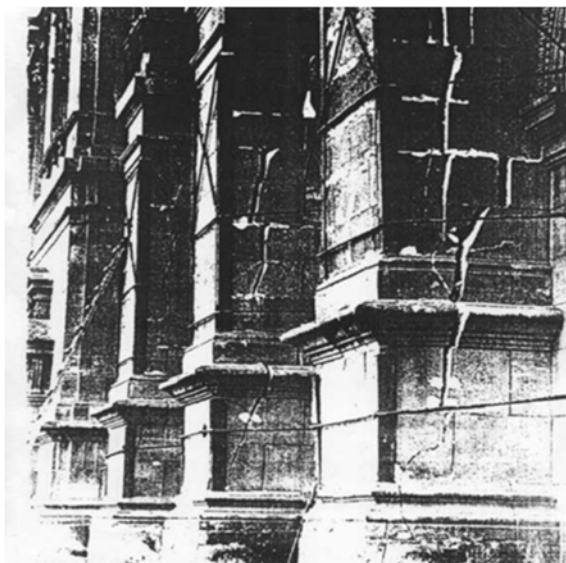


Figura 5. Fisurarea pilaștrilor frontale în urma seismului din 1977

Ca urmare a seismului din Martie 1977, ansamblul Palatului de Justiție a suferit degradări semnificative, diferențiate pe zone. Cele mai însemnate avarieri s-au petrecut în zona Sălii Pașilor Pierduți, unde anumite elemente au ajuns în stadiu de precolaps. Pilaștrii fațadei dinspre Splaiul Independenței au suferit fracturări extinse în dreptul parterului, ce au condus la deplasări maxime de circa 17 cm către râul Dâmbovița. Deteriorarea pilaștrilor a determinat deformări suplimentare ale elementelor superioare, înregistrându-se și în acest caz deplasări ridicate, de ordinul a 10 – 17 cm, ce au condus până la curbarea cornișei de piatră de la cota +16.00m. Ca urmare a seismului din Martie 1977 imobilul Palatului de Justiție a fost supus unei intervenții de consolidare, care însă nu a fost vreodată dusă la bun sfârșit.

2.2 Propuneri de implementare a sistemului de consolidare cu tiranți

Lucrările puse în operă după 1977 au avut caracter local, limitându-se la elementele afectate și la zonele adiacente, fără existența unei viziuni de ansamblu asupra întregului edificiu. Cea mai mare atenție a fost îndreptată către zona Sălii Pașilor Pierduți. Soluția prevedea realizarea unor foraje verticale pe întreaga înălțime a clădirii, inclusiv în subsol și fundații, ce urmau a fi armate și betonate. Forajele erau prevăzute pentru realizare în coloanele monumentale puternic afectate dinspre cheiul Dâmboviței. S-a optat pentru varianta forării lor și a utilizării tiranților metalici pentru a se evita deteriorarea aspectului acestora, tiranții nefiind la vedere. Tehnologia de forare folosită a fost preluată de la un institut de mine. Răcirea capului de forare a fost realizată cu apă, motiv pentru care finisajele coloanelor au fost până la urmă deteriorate. Forajele au fost executate doar vertical în coloane, iar în anii 2000 au mai fost introduși tiranți orizontali fixați la ambele capete cu flanșe.

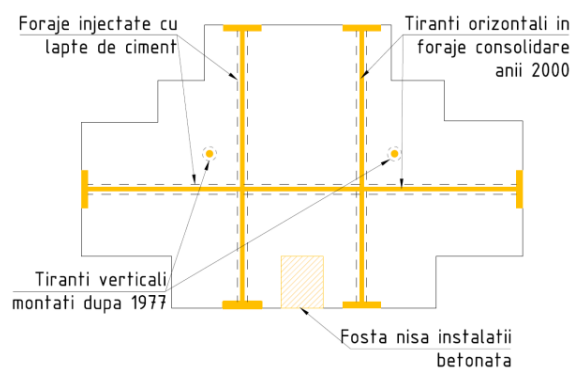


Figura 6. Amplasare tiranți în coloane monumentale

În afara prevederilor pentru consolidarea zonei Sălii Pașilor Pierduți, a mai fost prevăzută montarea unui ansamblu de tiranți metalici (platbande 60x10), dispuși pe una sau pe două direcții pentru consolidarea pereților ce delimitau biblioteca Tribunalului Suprem. Soluțiile propuse nu au fost finalizate în totalitate conform proiectului inițial, lucrările fiind sistate în anul 1981. În anul 1990 s-a reluat inițiativa consolidării edificiului, întocmindu-se un nou proiect de către S.C. PRODOMUS S.A.. Acesta specifica utilizarea tiranților metalici pentru rigidizarea unor elemente din zidărie situate în corpul estic al imobilului. În același timp, a fost indicată introducerea de tiranți în grosimea planșelor de peste parter și etaj pentru îmbunătățirea conlucrării spațiale a edificiului, și pentru realizarea efectului de șaibă rigidă la respectivul nivel. Nici acest proiect nu a fost însă dus la bun sfârșit, consolidarea monumentului fiind de fapt executată în prima parte a anilor 2000. Succesiunea propunerilor de folosire a tiranților metalici pentru consolidarea Palatului de Justiție demonstrează atât aplecarea personalului de specialitate către noi sisteme de consolidare, cât și validitatea metodei în sine.

3. Biserica Evanghelică – Sibiu

3.1 Descrierea generală a monumentului

Biserica Evanghelică din Sibiu reprezintă cel mai de seamă lăcaș de cult al comunității săsești, ce a fost ridicat vreme de aproximativ două secole, începând cu veacul al XIII-lea, ajungând în prezent un monument simbolic al orașului transilvănean. Din punct de vedere structural, edificiul este ridicat din pereți groși din zidărie, chiar și de aproximativ 2m în cazul pereților turnului clopotniței. Clădirea se încheie la partea superioară cu multiple bolți din cărămidă, acoperite cu cea mai veche șarpantă încă existentă din România. Monumentul este unul dintre cele mai reprezentative de acest tip din țară. Vârful turnului bisericii se ridică până la 73m înălțime, iar în plan edificiul poate fi încadrat într-un dreptunghi de aproximativ 80 x 40m. Pe parcursul timpului imobilul a suferit numeroase avarii structurale, datorate fie activității seismice, fie concepției defectuoase inițiale. În cadrul unor lucrări de consolidare desfășurate în secolul XIX, a fost identificată situația precară a bolților din zidărie și faptul că pereții se deplasaseră deja la extremitatea lor superioară.

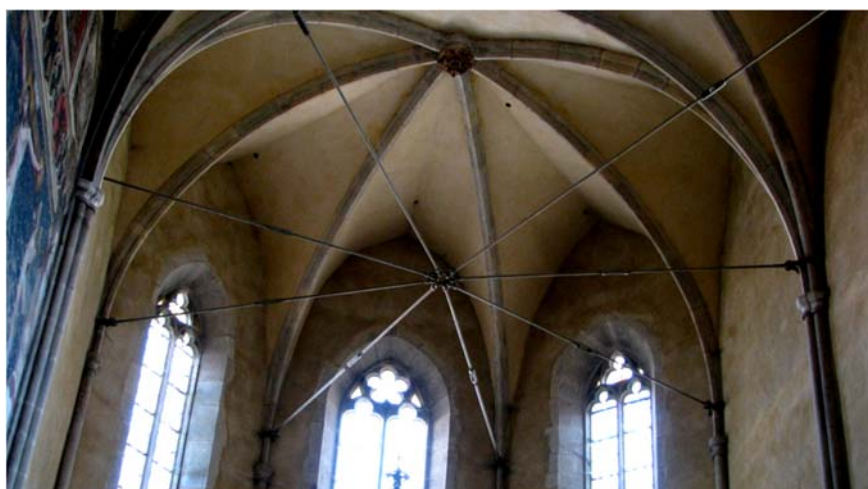


Figura 7. Tiranți metalici montați în secolul XIX

Drept urmare, au fost montați încă de atunci tiranți meniți să contracareze avansarea degradărilor constatate, fărădecare existența ulterioară a clădirii ar fi fost periclitată. Sistemul și-a dovedit eficacitatea, fiind în continuare în uz. La începutul anilor 2000, imobilul prezenta avarii semnificative la zona bolților, pereții laterali erau deformați către exterior, iar colțurile imobilului erau puternic fisurate. În urma mai multor evaluări structurale, consolidarea și reabilitarea monumentului a demarat cu un proiect tehnic alcătuit în anul 2009, fiind prevăzute trei faze de intervenție. În cadrul primei etape de execuție s-a urmărit stabilizarea bolților clădirii.

3.2 *Propuneri de implementare a sistemului de consolidare cu tiranți*

În situația consolidării Bisericii Evanghelice din Sibiu tiranții metalici au fost utilizați în mod extensiv, atât în cadrul proiectului curent de reabilitare, cât și în cazul intervențiilor precedente asupra imobilului. Proiectul curent de reabilitare a monumentului propune utilizarea tiranților metalici, atât pentru stabilizarea și punerea în siguranță a bolților clădirii, cât și pentru consolidarea și ductilizarea pereților. Astfel, în cadrul primei faze de execuție, au fost propuși tiranți dispuși în interiorul bisericii la nașterile bolților, iar la partea superioară a clădirii, peste arcele gotice, au fost introduse, alături de centuri din beton armat, baterii de tiranți metalici ce au rolul de a crea efectul unei șaibe semi-rigide. În cadrul celei de-a doua faze de intervenție, la nivelul pereților perimetrali ai bisericii, lucrările constau în principal în introducerea de bare din oțel în foraje prin zidărie, executate atât orizontal, cât și vertical, pe întreaga înălțime a pereților. Forajele vor fi umplute cu rășini epoxidice, ce vor conferi aderență ansamblului. Forajele realizate orizontal sunt fie grupate la baza bisericii, având rol de centură, fie perimetral turnului, în trei fascicule distincte. Forajele verticale vor fi grupate mai dens în zonele de intersecție a pereților, fiind dispuse în fascicule de minim 3 bucăți. Ancorarea barelor se realizează practic pe întreaga lor lungime, prin aderența dintre mortar și pereții existenți. Prin introducerea barelor metalice se îmbunătățește capacitatea pereților la încovoiere, abilitatea lor de a prelua forțe tăietoare, și realizarea transferului eforturilor de la șaiba semirigidă de la nivelul superior către fundații și teren.

3.3 Particularități de punere în operă

Lucrările de consolidare a Catedralei Evanghelice din Sibiu se desfășoară etapizat, în funcție de urgența fiecărei intervenții în parte. Până în prezent a fost finalizată prima etapă a lucrărilor, și anume punerea în siguranță a bolților, reabilitarea șarpantei și realizarea unei șaibe semi-rigide.

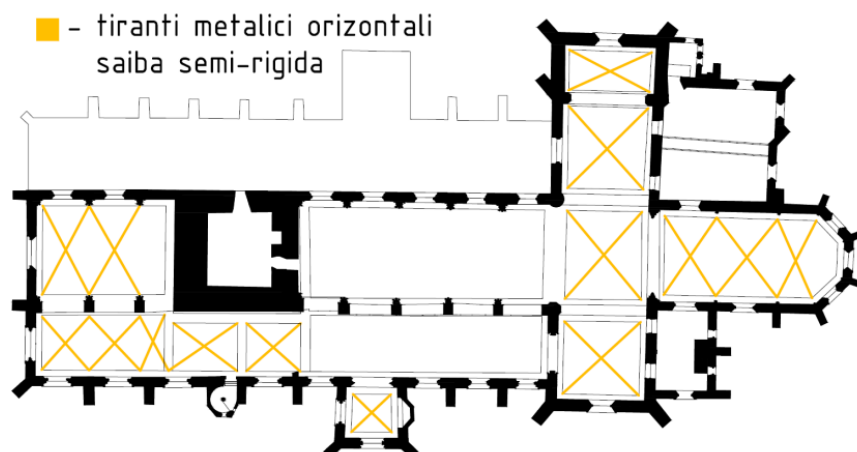


Figura 8. Dispunerea tiranților orizontali

Tiranții orizontali montați la nivelul superior al pereților au fost post-tensionați manual după ce au fost fixați la poziție. Aceștia au fost conectați de restul structurii cu dispozitive metalice înglobate în centura din beton armat nou introdusă. Ansamblul tiranților este vizibil doar de la nivelul podului, fără să încarce vizual aspectul edificiului. A doua etapă de intervenție presupune finalizarea lucrărilor la partea superioară a monumentului și, în paralel, crearea unui mijloc de transfer al eforturilor de la șaiba superioară către fundații. Transferul se va realiza prin intermediul unor bare $\varnothing 28$ din oțel BSt500 ce vor fi montate în găuri forate de diametru $\varnothing 40$, umplute cu rășină epoxidică. Barele se vor introduce pe toată înălțimea peretelui, până la aproximativ 15cm deasupra nivelului fundațiilor. În zonele de plin ale pereților, barele vor fi grupate minimum câte trei. Ancorarea barelor de pereții de zidărie se va face practic pe toată lungimea lor, prin intermediul rășinilor epoxidice. Tijele metalice vor prelua sarcini ridicate în eventualitatea unui seism, îmbunătățind totodată ductilitatea zidăriei.



Figura 9. Tensionare manuală tiranți șaibă semi-rigidă

Și la nivelul tiranților din pereți lucrările se vor desfășura etapizat, începându-se cu elementele verticale puternic degradate de pe latura de Nord. Ulterior se va interveni asupra pereților turnului, se vor monta centuri perimetrice din tiranți metalici în foraje la nivelul fundațiilor și la nivelul planșeelor de peste parter.

4. Biserica Sfântul Nicolae, Sadova – Dolj



Figura 10. Execuție foraje



Figura 11. Betonare



Figura 12. Foraje tiranți la nașteri bolti

În perioada 2005-2009 s-a realizat consolidarea bisericii Sfântul Nicolae a Mănăstirii Sadova din județul Dolj. Edificiul a fost ridicat la începutul secolului XVII, suferind în timp o serie de restaurări și reabilitări. Cea mai amplă lucrare anterioară a avut loc la începutul secolului XX; când biserica a fost complet restaurată. Imobilul bisericii are pereții realizați din zidărie de cărămidă sprijiniți pe un soclu de piatră, construcția ajungând până la aproximativ 20m înălțime. Ultima lucrare de consolidare a implicat un cumul de tehnici, incluzând atât metode tradiționale precum uniformizarea răspunsului seismic prin adăugarea unei centuri din beton armat peste nivelul pereților, cât și tehnici mai puțin întâlnite. Pentru consolidarea pereților bisericii s-au utilizat tehnica tiranților metalici montați în foraje executate în zidărie. Practic au fost executate 74 de foraje Ø35 în care au fost introduși tiranți metalici Ø25, umplute cu mortar de ciment și aracet.

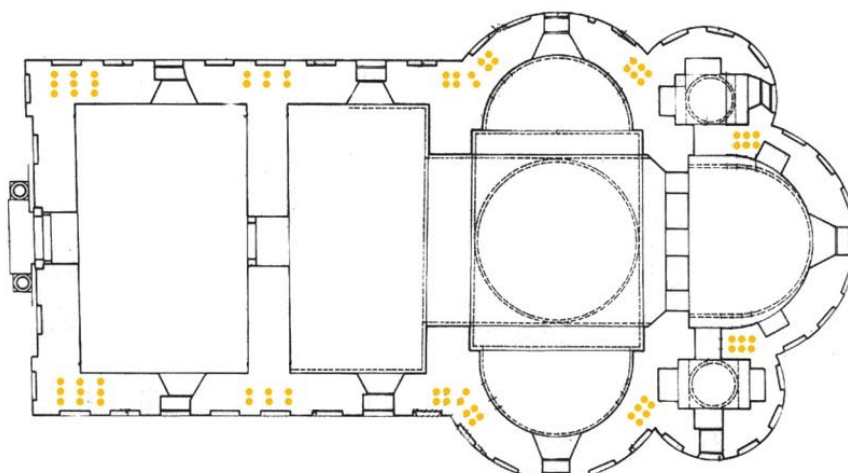


Figura 13. Poziție amplasare foraje

5. Biserica Sfinții Arhangheli, Cicău – Alba

Edificiul construit în secolul XV are, în pofida dimensiunilor restrânse, o deosebită semnificație pentru comunitatea locală, *fiind printre cele mai vechi lăcașe de cult ortodoxe din zidărie existente în regiunea Transilvania*. La momentul expertizării monumentului, acesta prezenta numeroase degradări, parțial datorate îndelungatei perioade de întrebuințare, dar mai ales datorate conformării improprii a elementelor construcției. Fundațiile necorespunzător realizate, la cote diferite, au condus la apariția unor fisuri pronunțate în pereții perimetrali. Totodată s-a constatat starea puternică de fisurare a bolții. Aceasta prezenta multiple și extinse fisuri centrale longitudinale, semn că pereții laterali au suferit deplasări la vârf. Corelat cu acestea, peretele din zidărie de cărămidă care departajează naosul de altar s-a fisurat la rândul său puternic pe contur. Consolidarea și reabilitarea bisericii Sfinții Arhangheli se bazează aproape în exclusivitate pe utilizarea tiranților sau a barelor din oțel. Pe de-o parte a fost necesară consolidarea bolților din zidărie, acestea prezentând la cheie pronunțate fisuri longitudinale. Astfel, au fost propuși 10 tiranți Ø10 la interval de 70cm unul de celălalt peste bolta naosului și peste bolta altarului. Rolul lor este de a stopa mărirea fisurilor bolții, și prevenirea unui eventual colaps al acesteia. Pentru îmbunătățirea transferului de sarcină între tiranți și bolți, aceștia vor fi așezați pe un pat de mortar menit să niveleze extradadosul bolților, iar capetele lor se vor fixa în foraje Ø20 executate în pereții imobilului. Pentru asigurarea comportării unitare structurale, s-a stabilit necesitatea creerii unei șaibe semirigide la nivelul superior al pereților. Aceasta va fi realizată prin completarea centurii perimetrice existente din beton armat cu tiranți orizontali fixați de ea.

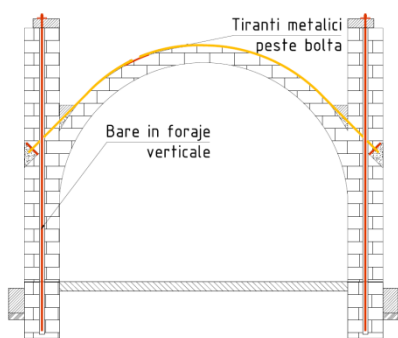


Figura 14. Amplasare tiranți peste bolți

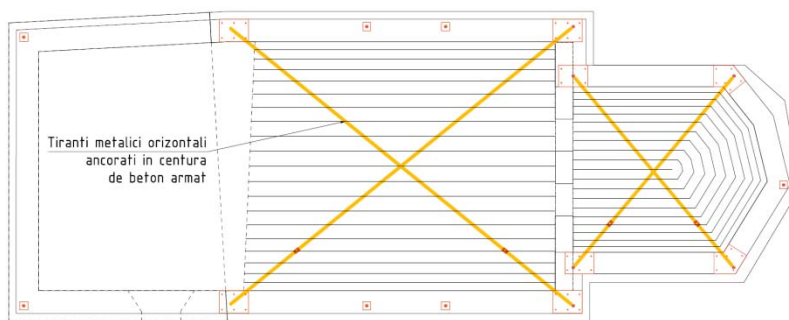


Figura 15. Amplasare tiranți peste bolți

A treia modalitate de folosire a barelor metalice pentru consolidarea micului monument de patrimoniu a fost determinată de necesitatea minimizării intervențiilor asupra fețelor zidurilor bisericii. S-a stabilit deci, că pentru îmbunătățirea comportării structurale a pereților din zidărie să se recomande introducerea a 13 bare din oțel Ø25, în foraje executate vertical, până în fundație.

6. Palatul Patriarhiei – București

6.1 Descriere generală a monumentului

Palatul Patriarhiei din București este unul dintre marile edificii administrative ale țării, ridicat la începutul secolului XX drept sediu al Parlamentului României. Construcția simbol a fost clădită încă de la început utilizând concepte inovatoare. Astfel, s-au folosit elemente din beton armat pentru realizarea unor forme dificile (inel perimetral, arce) sau a unor planșee, și alcătuirea și dimensionarea fundațiilor într-un mod corespunzător, ce încerca să ia în calcul conformarea nefavorabilă a terenului. Edificiul a fost realizat în etape distincte, pe un plan puternic înclinat, fiind centrat în jurul unei aule impunătoare. Sistemul structural folosit este reprezentat de pereți verticali masivi din zidărie, ce se desfășoară din subsol până la cota superioară a clădirii, dar care prezintă totodată multiple goluri. Aula centrală are o înălțime interioară de aproximativ 16m și este fixată la partea de sus printr-un inel masiv din beton armat, ce împiedică „desfacerea” acesteia. Închiderea superioară a aulei este realizată printr-un vitraliu, deasupra căruia se află șarpanta din ferme metalice și învelitoarea. Acoperișul celorlalte corpuri ale clădirii este în prezent realizat din ferme de beton armat, iar învelitoarea dintr-o placă subțire din beton armat. Pentru execuția planșeelor s-a adoptat un număr bogat de sisteme constructive, printre care plăci din beton armat, bolțișoare de zidărie, sau grinzi metalice cu beton simplu.

În urma seismului din 1977 a fost identificată tendința tronsonului de nord (din vârful pantei) de a se desprinde de restul clădirii, în timp ce corpurile mai grele dinspre baza Dealului Mitropoliei sufereau efecte ale tasărilor diferențiate. În prezent, Palatul Patriarhiei trece printr-un amplu proces de consolidare și reabilitare, demarat cu o expertiză tehnică realizată în anul 2010. Proiectul implică un grad ridicat de

complexitate și un număr mare de tehnici de consolidare implementate, menite să îi asigure o comportare de ansamblu unitară.

6.2 Propuneri de implementare a sistemului de consolidare cu tiranți

Reabilitarea Palatului Patriarhiei reprezintă o lucrare deosebit de însemnată, atât în sine, cât și din punctul de vedere al utilizării tiranților metalici. În cadrul lucrărilor a fost implementată pe scară largă metoda consolidării cu tiranți metalici post-tensionați, dispuși pe ambele direcții, orizontal și vertical, atât în pereți, cât și la nivelul pardoselilor. Rolul tiranților este de a îmbunătăți ductilitatea zidăriei, caracterizată în mod natural de cedări fragile, nefavorabile în cazul unui seism. Totodată, barele din oțel au rolul și de a lega tronsoanele clădirii între ele, stopând tendința lor de a se depărta unele de altele. Tiranții au fost realizați din bare Ø32 introduse în cele mai lungi foraje de acest tip executate până acum în România.

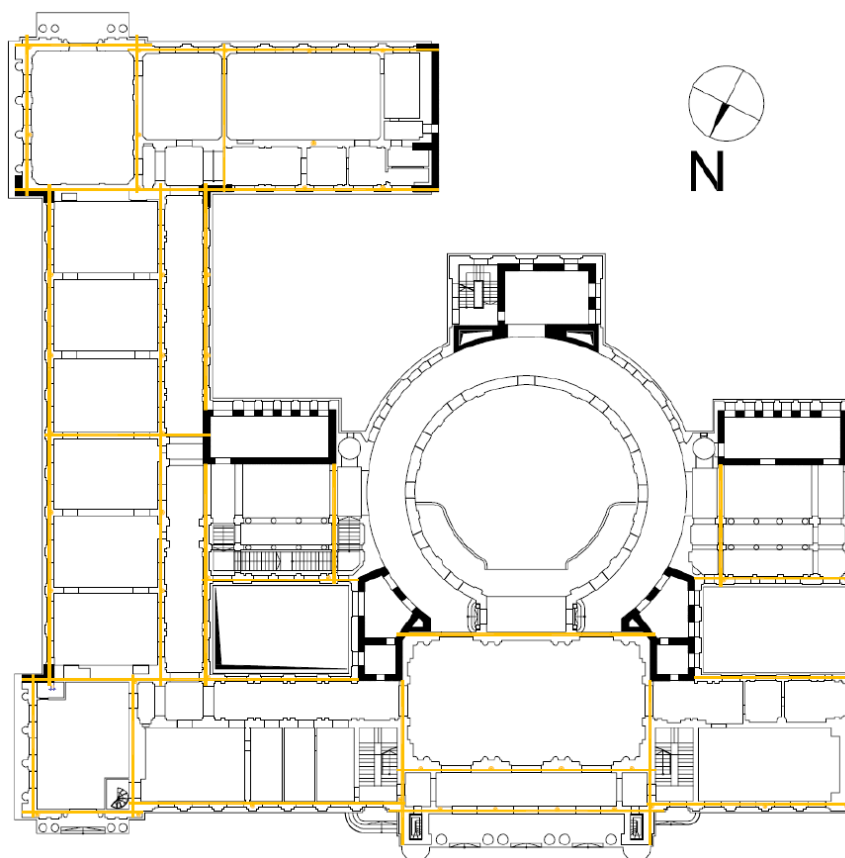


Figura 16. Amplasare tiranți în dreptul pardoselii

6.3 Particularități de punere în operă

Punerea în operă a soluției de consolidare agreată a reprezentat o deosebită reușită. În timpul execuției, s-au obținut abateri extrem de scăzute pentru lungimea excepțională a forajelor, de aproximativ 45m și pentru lipsa de omogenitate a zidăriei. În rare și izolate instanțe abaterile au urcat până în jurul valorii de 20cm, în principal datorită

interceptării materialelor de durități diferite pe traseul de forare, situații ce au condus de regulă la deteriorarea rapidă a capului diamantat al frezei. Pentru realizarea fiecărui foraj în parte, proiectantul a solicitat sondaje, ce au fost apoi folosite pentru definirea parcursului forajelor, astfel încât să se evite intersectarea cu eventuale piese metalice nedescoperite încă.



Figura 17. Amplasare tiranți metalici

Diametrul forajelor este de 80mm, executarea lor fiind un proces de o înaltă dificultate. Astfel, pentru protejarea elementelor arhitecturale de la fața pereților s-a optat pentru răcirea frezei cu aer comprimat, variantă mai complexă și mai costisitoare față de opțiunea standard de răcire cu apă. Totodată, datorită lungimii excepționale a forajelor, a fost necesară identificarea unei modalități de a înlătura materialul excesiv din canale. Pentru aceasta, s-au realizat foraje secundare din metru în metru, perpendiculare pe direcția de forare, prin care a fost aspirat materialul rezultat. După execuția forajelor au fost introduși tiranții Ø32 ce au fost strânși cu cheia până la realizarea contactului intim între piesele metalice de capăt și peretele din zidărie. Găurile forajelor au fost umplute ulterior cu mortar.

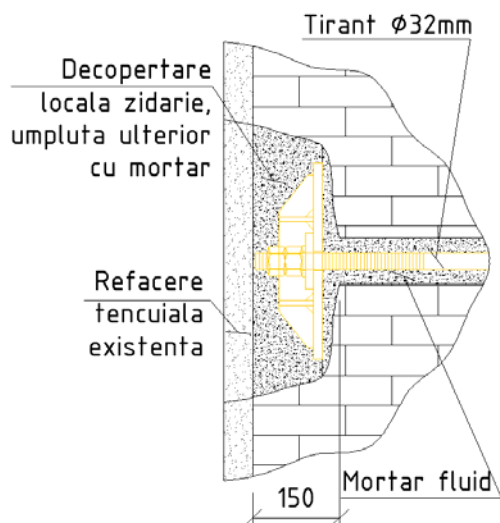


Figura 18. Diagramă fixare tiranți



Figura 19. Fixare tiranți în zidărie

Pentru tiranți s-au utilizat bare de oțel PC52, fixate la extremități în dispozitive speciale, ce au rămas înglobate în pereții imobilului. Barele metalice au fost protejate anticoroziv cu o vopsea ce are rol de amorsă pentru mortar. De-a lungul tiranților, aceștia au fost prevăzuți cu patine metalice (distanțieri) pentru centrarea lor în foraje, iar la capetele tronsoanelor de bare acestea au fost prevăzute cu filet pentru folosirea cuplelor mecanice la îmbinarea lor. Folosirea cuplelor a fost aleasă în detrimentul sudurii pentru a facilita o montare mai rapidă. Tiranții verticali au fost puși în operă într-o manieră similară, la partea inferioară însă aceștia au fost fixați în cuzineți masivi din beton armat, nou introduși.

7. Concluzii

Soluția dezvoltată în articol prezintă multiple avantaje cu privire la conservarea elementelor însemnate din punct de vedere patrimonial. În comparație cu tehnici mai uzuale de consolidare, folosirea elementelor metalice întinse pentru îmbunătățirea caracteristicilor zidăriilor vechi poate aduce beneficii deosebite, în special cu privire la limitarea intervențiilor asupra fațadelor. În egală măsură, chiar și în situațiile în care tiranții metalici nu pot fi mascați, aceștia se pot îmbina în mod iscusit cu vechile elemente, reprezentând o soluție elegantă de consolidare. Totuși, metoda de consolidare a zidăriilor cu bare întinse, sau cu bare metalice introduse în foraje executate în pereți se află într-un stadiu incipient de utilizare, ea meritând a fi investigată, detaliată și însușită de către întregul corp profesional specializat.