

# MODELIRANJE POSTOJEĆEG STANJA KONSTRUKCIJE BIVŠE LANSIRNE STANICE TORPEDA U RIJECI

## Modelling Current State of Ex Torpedo Launch Pad Structure in Rijeka

**Petar Topić, Paulo Šćulac, Nino Krvavica, Daniela Ferenčić,  
Martina Komparić, Miran Tuhtan, Adriana Bjelanović,  
Davor Grandić, Gordan Jelenić\***  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, Hrvatska

### Sažetak

*Postupci pri procjeni oštećenja konstrukcije bivše lansirne stanice bili su polazištem za razmatranje stanja njezine oštećenosti, kao i za inženjersku simulaciju ponašanja oštećene konstrukcije sa stajališta njezine otpornosti na utjecaje kojima je izložena. U ovome radu zato nastojimo predstaviti modele postojećeg stanja konstrukcije, armiranobetonskog kostura i drvenog krovišta te postupke proračuna njihove mehaničke otpornosti i stabilnosti. Razloga za takav pristup, kao međukorak u odabiru postupaka sanacije, imamo nekoliko: posljedice dugogodišnjeg neodržavanja su vidljive, a starost objekta i izloženost agresivnim uvjetima morskog okolišta i atmosferilija pridonijeli su degradaciji svojstava materijala, a time i poprečnih presjeka nosivih elemenata. Korozija armature dodatno je prouzročila vidno propadanja presjeka, a gubitak zaštitnih slojeva betonskih presjeka i prionljivosti armature i betona dodatno su pridonijeli smanjenoj otpornosti. Konstrukcija je sama po sebi prilično složena, iz današnje perspektive atipična i nepravilna, pa je za postupak modeliranja trebalo proučiti i njezinu povijesnu funkciju.*

*Statički model postojećeg stanja generiran je programskim paketom STAAD:pro 2006, kao prostorni štapni sustav. Za drvenu smo visulju krovišta koje je nešto "mlađe i očuvanije" od ostatka konstrukcije koristili ravninski model, a reakcije takvoga statičkog sustava prenijeli na betonsku potkonstrukciju. Geometrija konstrukcije i dimenzije poprečnih presjeka određeni su nakon dorade i dopune raspoložive dokumentacije aktualnim podacima, zapažanjima i mjerenjima s terena. Svojstva de-*

\* [www.gradri.hr](http://www.gradri.hr)

gradiranog materijala, betona i betonskog čelika, određena su ispitivanjem uzoraka izvađenih iz konstrukcije (moduli elastičnosti, čvrstoća, plinopropusnost, količina kloridnih iona).

Analiza djelovanja provedena je za postojeće uporabno stanje, izloženost i oštećenost pa je razumljiva niža razina opterećenosti koju smo u proračunu mehaničke otpornosti i stabilnosti usvojili, radi li se usporedba s razinom opterećenosti u vrijeme eksploatacije lansirne stanice. Trenutačno je prevladavajuće opterećenje konstrukcije upravo njezina vlastita težina. Promjenjivim djelovanjima snijega na krovnu konstrukciju i vjetra na djelomično otvoreni objekt pridodana su današnja uporabna opterećenja, ljudi i lakši tereti. S obzirom na seizmičku aktivnost ovog područja, nismo zaobišli djelovanje potresa na ostatak armiranobetonske konstrukcije. Poseban je trud uložen u pronalaženje načina simulacije/prevenције djelovanja morskih valova, s obzirom na poteškoće pronalaženja egzaktnih postupaka proračuna otpornosti konstrukcije na takva djelovanja. Tog su problema očito bili svjesni i projektanti izvorne konstrukcije pa su konstruktorska rješenja podne ploče i temelja konstrukcije dijelom rezultat prevencije njihova razornog učinka. Dobiveni rezultati potvrdili su početne pretpostavke narušenog stanja nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije bivše lansirne stanice Torpeda, a poslužit će nam kao polazište u daljnjim aktivnostima vezanim za ocjenu izvedivosti sanacije s konstruktorskog stajališta i sa stajališta troškova. Promišljanja postupaka sanacije, u kontekstu neupitnosti spomeničke vrijednosti građevine, odnosit će se na odabir materijala sanacije tako da on po svome geološkom sastavu odgovara izvornom materijalu iz vremena gradnje, a po svojim je svojstvima otporan na agresivne uvjete okoliša, zatim na simulaciju ponašanja konstrukcije tijekom popravka/zamjene oštećenih elemenata te, na kraju, i na modeliranje sanirane konstrukcije, kao i na vrednovanje učinka poboljšanja njezine mehaničke otpornosti i stabilnosti.

**Ključne riječi:** armiranobetonska konstrukcija, drveno krovšte, smanjenje nosivosti, 3D osni računski model

### Summary

The overall state of damage of the ex torpedo launch pad in Rijeka and an engineering model of the structure, needed to determine its resistance to the various effects it is subject to, have been defined based on the damage estimate procedures presented in a separate work. In this work we present the computational model for the current condition of the structure, i.e. its reinforced concrete spatial frame and the timber roof truss, as well as the procedures to calculate its mechanical resistance and stability. There are several reasons for making this intermediate step before setting up the final repair plan. To start with, the effects of the decades long lack of maintenance are highly obvious. The age of the building and its exposure to aggressive atmospheric and maritime conditions have greatly contributed to deterioration of the material properties of concrete and reinforcement, which in turn has led to a reduction of the load-bearing capacity of the structural elements. Aside from the corrosion-induced reduction of the effective cross-sectional area of the reinforcement bars, the corrosion has also detrimentally affected the concrete-steel adhesion properties as well as a

*progressive damage and often a complete destruction of the concrete reinforcement protection layer.*

*The structure itself is geometrically rather involved and quite untypical. The reinforced concrete part of the structure is statically modelled as a space frame, while the timber roof structure is modelled as a set of planar trusses which are supported by the space frame underneath. The geometrical properties of the structure including the dimensions of the beam and column cross sections have been eventually defined after the original documentation had been amended with the field measurements. The material properties of the concrete and steel (Young's moduli, strength, permeability, amount of chloride ions) have been determined from the laboratory tests conducted on the specimens taken from the building. In the analysis of the load-bearing capacity and stability of the structure, the current exposure to self-weight and external influences as well as a nominal live loading for public utilities have been taken into account. This is in sharp contrast to the industrial loading the structure was designed to support in the days of its original application. Nowadays, self-weight of the building makes the bulk of its loading. Current payload due to people and smaller weights have been added to the actions of snow on the roofing and wind on the partially opened building. Seismic activity of the area has also been considered and appropriate static loading due to earthquake has been duly accounted for. Special attention has been paid to the definition of the quasistatic loading caused by the sea waves. This is a non-trivial problem owing to the lack of suitable analytical procedures. Apparently, this was recognised as a considerable problem by the designer of the original structure, as the building itself is rich in solutions obviously meant to prevent the destructive effect of the waves.*

*The results of the present analysis are going to be taken as a starting point for our future activities, which include proposing a suitable repair procedure in terms of its structural and technological viability as well as its economic sustainability. The procedure should take into consideration the unquestionable historical and technological importance of the launch pad and pay particular attention to an appropriate selection of the repair material which should geologically resemble the original material of the building as much as possible, while being sufficiently resistant to the aggressive environmental conditions. The procedure should also computationally predict the behaviour of the structure during the process of retrofit and replacement of the damaged elements and eventually model the repaired structure and assess the effect of its improved resistance and stability.*

**Key words:** reinforced concrete structure, timber roof structure, reduced bearing capacity, 3D space frame model