

UDK : 624.04:001.89.5

## EKSPERIMENTALNA METODA NAUČNOG SAZNANJA

Ivan Nešović<sup>1</sup>, Jelena Stojiljković<sup>1</sup>, Miloš Milić<sup>1</sup>, Predrag Lukić<sup>1</sup>, Andrija Zorić<sup>2</sup>

**Rezime:** Eksperimentalna metoda spada u red najvažnijih i najstarijih opštih metoda naučnih saznanja. Služi za otkrivanje svojstava i povezanosti pojedinih pojava i stvari [5]. Kao takva često se služi indukcijom, polazeći od pojedinačnog ka opštem. Iz tih razoga njena primena gotovo je nezaobilazna u inženjerskim naukama. U građevinarstvu se primenjuje pri razvoju i istraživanju novih materijala, delova konstrukcije pa čak i celih konstruktivnih sistema. U ovom radu je prikazan teorijski osnov eksperimentalne metode saznanja kroz istorijski razvoj i osnovne podele iste. Njena primena je takodje ukratko pokazana kroz dva naučna rada koja su se bavila ispitivanjem konstrukcije.

**Ključne reči:** naučna metoda, prirodni i veštački eksperiment, ispitivanje konstrukcije

**Summary:** The Experimental method belongs to the most important and oldest general methods of scientific knowledge. It serves to discover the properties and connections of particular phenomena and things [5]. As such, it is often used by induction, starting from the individual to the general. For these reasons, its application is almost indispensable in engineering sciences. In construction it is applied in the development and research of new materials, parts of the construction and even all constructive systems. In this paper is present the theoretical basis of the basic experimental methods of acquaintance through the historical development and the basic division. Its application was also briefly demonstrated through two scientific works that examined the design of the structure.

**Key words:** scientific method, natural and artificial experiment, testing of the structure

---

<sup>1</sup> Mast. inž. građ, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

<sup>2</sup> Asistent, mast. inž. građ, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

## 1 UVOD

Istorijski posmatrano, prvi koji su se služili metodom eksperimenta bili su alhemičari. Oni su preteče eksperimentalne metode i stalno su je usavršavali. U srednjem veku poznati naučnik Rodžer Bekon je značaj eksperimenta opisao sledećim rečima: „Nauke se mogu razviti uspešno samo primenom eksperimenta“ [1]. Savremeni razvoj nauke čiji je tvorac Galileo Galilej je u velikoj meri zasnovan na eksperimentima, tako da neki naučnici smatraju da se sve mora dokazati eksperimentom i da samo eksperiment predstavlja naučni metod istraživanja.

Eksperimentalne metode u oblasti građevinarstva razvijale su se uglavnom paralelno sa razvojem nekih pratećih naučnih i tehničkih disciplina: matematike, fizike, tehnologije, savremene optike i kibernetike. Teorijski osnov većine eksperimentalnih metoda postavljen je tokom 19. i u prvoj polovini 20. veka. Taj istraživački rad odvijao se pretežno u području teorijske i eksperimentalne fizike, ali mnogi postignuti rezultati i saznanja nisu bili odmah spremni za praktično tehničke primene [3].

Razvoj eksperimentalnih metoda intenzivnije je počeo uglavnom u razdoblju između dva svetska rata, a punim intenzitetom one su se razvijale u posleratnom periodu, paralelno sa savremenim razvojem odgovarajućih naučnih i tehničkih disciplina, posebno vazduhoplovstva, brodogradnje, vasionke i nuklearne tehnike, vojne tehnike, mašinstva i građevinarstva uopšte. To se posebno odnosi na masovnu izgradnju tipiziranih objekata u građevinarstvu, mnogih oblasti savremenog mašinstva, rudarstva i saobraćaja, kao i na razvoj savremene hemijske tehnologije i vojne tehnike. U vremenu posleratne obnove i izgradnje, naročito obnove mostova, saobraćajnica industrijskih postrojenja i mašina, hidrotehničkih objekata i stambenih naselja razvila se i tehnika eksperimentalne analize: najpre mehanički uređaji za merenje deformacijskih veličina i napona, a istovremeno se počinje nabavljati oprema i započinje rad u područjima nekih savremenih naponsko optičkih metoda, veoma intenzivna primena mernih traka kao i rad na dinamičkim ispitivanjima u raznim oblastima građevinarstva. Današnji veliki trend ka primeni savremenih računarskih softvera, posebno metode konačnih elemenata, otvara u saradnji sa

eksperimentalnim metodama nove, velike mogućnosti [3].

Medjutim i pored toga što je nesporno da eksperiment ima ključnu ulogu u tome da iz niza pojedinačnih činjenica utvrdi ono što je zajedničko, opšte, da se utvrdi zakonitost, verifikuje određena hipoteza, nije ga uvek moguće organizovati kao što je slučaj u astronomiji, istoriji i sl. Iz tog razloga se na bazi zapažanja i logike razradjuju hipoteze, koje se po analogiji s drugim sličnim pojavama dokazuju ili oslanjaju na neki krucijalni eksperiment, a razvojem eksperimentalne tehnike i novih okrića verifikuju i dalje razvijaju.

## 2 DEFINICIJA, STUKTURE I PODELE EKSPERIMENTALNE METODE

Svakako jednu od najopštijih definicija naučnog eksperimenta dao je Bogdan Šešić: „Eksperiment je plansko, organizovano i metodsko proizvodjenje ili samo menjanje realnih pojava u cilju otkrića nepoznatih predmeta ili njihovih svojstava, procesa i odnosa ili u cilju verifikacije hipoteza o ovim predmetnim odredbama“. Druga definicija kaže da je eksperiment plansko, organizovano i metodsko stvaranje realnih pojava čiji se tok želi proučavati [1].

Naučni eksperiment je jedan od osnovnih oblika, odnosno, metoda jedinstvenog praktično-teorijskog naučnog saznanja [2]. Glavna prednost leži u činjenici da se iz kompleksa prirodnih i psihičkih pojava mogu izdvojiti one koje imaju presudnu važnost za određeni naučni cilj. Takođe, željene pojave se mogu proizvoditi koliko god je to puta potrebno, a uslove eksperimenta je moguće menjati ukoliko je to potrebno s obzirom na postavljene zadatke.

Pre stvaranja operativnog plana za eksperimentalni program, istraživač treba da raspolaze osnovnim razumevanjem prirode problema i poznavanjem postojećih teorija (čak i nepotpuna hipoteza je prihvatljivija od potpuno nepoznatog). No kako eksperimentalno istraživanje zahteva veliki broj podataka, a s tim skopčana i sredstva i vreme, preporučljivo je da se u samom početku predvide ograničeni, tzv. odlučujući ili krucijalni opiti, kojima će se proveriti sama egzistencija hipoteze [4].

Iz tih razloga naučni eksperimenti su veoma različiti po svojoj složenosti kao i po svrsi, ali ipak svaki naučni eksperiment ima jednu osnovnu strukturu čiji su glavni sastavni delovi odnosno činiooci [2]:

- *eksperimentator*, pojedinac ili grupa, kolektiv istraživača koji vrše ogled;
- *predmet* ili *predmeti ispitivanja*, to su pojave i procesi stvarnosti bilo koje vrste, naročito njihovi kvaliteti, kvantiteti, mere, načini nastanka, promene i razvoja;
- *sredstva* i *oruđa* eksperimenta, u koje spadaju kako materijali eksperimenta, tako i merni instrumenti, mašine i eventualno celi kompleksi mašina;
- *niz operacija* koje vrši eksperimentator i to:
  - a) odabiranje predmeta ogleda,
  - b) izdvajanje ogledne grupe A od kontrolne grupe B,
  - c) niz teorijsko-praktičnih operacija, počevši od rukovanja oruđima i sredstvima eksperimenta, pa do posmatranja i merenja rezultata eksperimenta,
  - d) postavljanje hipoteze i njihova provera,
- sam *objektivni eksperimentalni proces* fizički, hemijski, fiziološki itd.;
- *činjenički rezultati eksperimenta* izraženi nizom raznovrsnih podataka o ponašanju predmeta eksperimenta, tj. pojave koja se istražuje;
- *interpretacija činjeničkih rezultata eksperimenta* i izvođenja naučnih postavki, teorija ili zakona, odnosno korektura hipoteza ili postavljanje nove hipoteze i vršenje novog ili ponovljenog eksperimenta.

Samo eksperimentalno ispitivanje se sastoji iz sledećih faza:

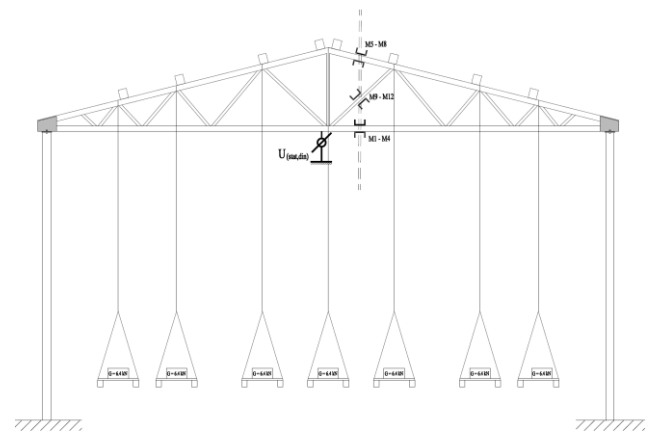
- planiranje eksperimenta – podrazumeva sve radnje koje prethode eksperimentu;
- izvođenje eksperimenta – sve radnje u okviru eksperimenta: izbor i upotreba instrumenta, samo izvođenje eksperimenta, beleženje i sređivanje rezultata;
- obrada rezultata i prikazivanje dobijenih podataka.

U pripremi eksperimenta vrši se pored sagledavanja i proučavanja svih mogućih uticajnih okolnosti u odnosu na ispitivanu pojavu i organizovanje i aranžiranje ogleda. Sve uticajne okolnosti na određeni način treba kvalifikovati i kontrolisati za vreme trajanja eksperimenta [1].

*Primer 1:* Odredjivanje kapaciteta nosivosti rešetkastog nosača “in situ” i računskim putem (Master rad) [6]

Hipoteza: Nosivost i naponsko stanje rešetkastog nosača sračunato analitičkim putem i uz pomoć softvera Tower treba da se poklopi sa rezultatima dobijenim merenjem na terenu.

Eksperiment: Odredjuju se dimenzije (raspon i tip nosača), bira se materijal od koga će se napraviti nosač. Takav nosač se dimenzioniše za sve slučajeve opterećenja prema nacionalnim standardima prema najnepovoljnijem naponskom stanju u štapovima gornjeg i donjeg pojasa, kao i štapovima ispune. Zatim se pravi program i šema eksperimentalnog ispitivanja (Sl. 1), nakon čega se realan nosač opterećuje silama prema analitičkoj šemi opterećenja u odnosu na koju je nosač i dimenzionisan (Sl. 2). Mere se dilatacije u karakterističnim štapovima kao i statički i dinamički ugib.



Slika 1 – Programska šema ispitivanja [6]



Slika2 – Aplikiranje realnog opterećenja – in situ [6]

Obrada i interpretacija rezultata eksperimenta:

Dobijeni rezultati ispitivanja se obradjuju i porede sa kontrolnim rezultatima (dobijenim računskim putem), tj utvrđuje se procentualna tačnost postavljene hipoteze. Na taj način eksperimentalni rezultati mogu da potvrde hipotezu ili pak da stvore uslove za stvaranje nove koja je bliža objektivnoj stvarnosti.

Eksperimentalne metode u raznim naukama su različite i raznovrsne, jer su podešene prema osobinama predmeta odgovarajućih nauka. Bitna sazajna uloga svih tih metoda je četvorostruka [1], [2] i sastoji se u:

- proveriti hipoteza, činjenica i zakona i njihovom odbacivanju, korekciji ili pretvaranju u zakone i naučne teorije;
- postavljanju novih, pravilnih hipoteza bližih kasnijim zakonima;
- proveriti ranije utvrđenih zakona i teorija;
- otkriću novih činjenica i novih zakona.

Organizacija eksperimenta zavisi od predmeta ispitivanja, pa prema tome eksperiment može biti:

- *prirodni*, koji se sastoji u naučnom posmatranju pojave koja nastaje u prirodnim okolnostima, njeno merenje i registrovanje odgovarajućim aparatima i uređajima;
- *veštački*, gde se veštački proizvodi pojava koja je predmet istraživanja. Veštački eksperiment se može vršiti i na modelu sa umanjenim dimenzijama u odnosu na original, tada se zove *modelski* eksperiment.

## 2.1 PRIRODNI EKSPERIMENT

Većina pojava koje se žele eksperimentalno proučiti su prirodne i odvijaju se spontano i u prirodnim okolnostima. Prirodni eksperiment nije nista drugo nego pristustvovanje pojavi u vremenu njenog nastanka bez mogućnosti da se na nju utiče. Eksperimentatoru za prikupljanje činjenica ostaje kao mogućnost receptivno naučno posmatranje i merenje. U svakom slučaju treba utvrditi sve relevantne okolnosti na posmatranu pojavu. Za činjenice koje se konstatuju naučnim posmatranjem ne može se reći da predstavljaju objektivnu stvarnost i pored obezbeđenih uslova za adekvatno opažanje. Pri posmatranju potrebno je sledeće: aktivna koncentracija pažnje, prethodno znanje i iskustvo, realnost očekivanih rezultata, objektivnost [1].

Pored naučnog posmatranja u prirodnom eksperimentu može se primeniti i merenje nekih elemenata posmatrane pojave. Merenje je u stvari označavanje iskustvenih opažajnih objekata pomoću brojeva ili drugih specijalnih simbola matematike. Značaj merenja je u tome što se omogućava maksimalno precizno, konkretno i objektivno određivanje činjenica i što dobijeni rezultati omogućuju preimenu matematičke analize iz koje se na posredan način može doći do novih saznanja o određenom činiocu i pojava na koje ti činioci deluju.

## 2.2 VEŠTAČKI EKSPERIMENT

Veštački eksperiment se planira, pri čemu se podrazumeva ne samo podešavanje pojava (aktivni odnos) tako da eksperimentalni proces odgovori na određena pitanja, već i organizovanje i aranžiranje oglada uopšte [5]. Veštački eksperiment ima višestruke prednosti u odnosu na prirodni, a to su:

- veštačkim eksperimentom se iz kompleksa prirodnih ili društvenih pojava izdvajaju one pojave čije posmatranje ima presudnu važnost za određeni naučni cilj, kao što je otkrivanje novih činjenica ili provera određenih hipoteza;
- veštačkim eksperimentom proizvode se željene pojave koliko god puta je to neophodno ili proizvoljan broj puta;
- u veštačkom eksperimentu mogu se menjati uslovi oglada u cilju ostvarenja postavljenog naučnog zadatka; izvesne pojave se mogu menjati kvalitativno i kvantitativno, a ovo omogućuje proveru pretpostavljenih zakona.

Specijalni slučaj veštačkog eksperimenta koji je u potpunosti zamenjuje prirodni je modelni eksperiment. Modelni eksperiment se izvodi na modelu koji se definiše kao “sistem određenih suštinskih struktura i odnosa analognih predmetu istraživanja, sistem čija se primena u istraživanju određenih predmetnih oblasti oslanja na naučnu osnovanost zaključivanja po analogiji” [1].

Eksperimentalna metoda saznanja koristi indukciju da bi se otkrile određene relacije među stvarima i pojavama. Polazi se od određenih hipoteza o pojavama i njihovim uzrocima i pokušava da se eksperimentom potvrde i dokažu ili stvori prostor za utemeljenje nove hipoteze koja će biti bliska objektivnoj stvarnosti. Za proveru hipoteze postoje više metoda, a jedna od njih je i empirijska metoda na osnovu rezultata dobijenih eksperimentalnim

putem. Tako dobijeni rezultati se upoređuju sa unapred očekivanim posledicama iz opisa date hipoteze, pa ako se u višestrukom ponovljenom eksperimentu dobiju očekivani rezultati smatraće se da je data hipoteza potvrđena. Rezultati primene eksperimentalne metode imaju karakter verovatnoće neke hipoteze ili teorije, odnosno hipoteza se ne dokazuje već potvrđuje u manjem ili većem stepenu. Stepent potvrđenosti se dobija iz računa verovatnoće, te se zato svi rezultati eksperimentalnih istraživanja treba obraditi po teoriji verovatnoće i matematičke statistike [5].

### 3 EKSPERIMENTALNA METODA U ISPITIVANJU KONSTRUKCIJA

Eksperimentalno ispitivanje konstrukcija ili njihovih modela je jedna dopunska mogućnost da se dodje do puzdanih podataka o stanju napona, deformacija ili pomeranja, kao podataka koji su neophodni za analizu konstrukcije. Smisao primene eksperimentalnih metoda je u iznalaženju jedne od tri pomenute veličine, komponenata napona, komponenata deformacije i komponenata pomeranja u proizvoljnoj tački tela eksperimentalnim putem [3].

Na taj način metodama eksperimentalne analize omogućava se dobijanje niza podataka vezanih za analizu konstrukcije, za ocenu njene nosivosti ili stabilnosti, posebno u odnosu na dejstvo lokalnih koncentracija napona, stvaranje plastičnih područja, mehanizam loma kao i na uticaj promene mehaničkih karakteristika materijala zavisno od vremena i temperaturnih promena. Metode eksperimentalne analize mogu se primenjivati na originalnim konstrukcijama ("in situ") ili na njihovim modelima u laboratorijskim uslovima [3].

Eksperimentalno ispitivanje konstrukcija je interdisciplinarna oblast, gde se traži široko teorijsko znanje o konstrukcijama i materijalima, osećaj za ponašanje konstrukcija pod opterećenjem, a pored toga su potrebni i dobri laboratorijski uslovi.

*Primer 2:* Primena eksperimentalne metode u dokazivanju da se FRP (Fiber Reinforced Polymer) kompozitna vlakna mogu uspešno koristiti u sanaciji betonskih preseka opterećenih prvenstveno na čisto savijanje. Ispitivanja je radio dr Slobodan Rankovic u svojoj doktorskoj disertaciji: "Eksperimentalno teorijska analiza graničnih stanja armirano betonskih linijskih nosača ojačanih sprežanjem sa NSM vlaknastim kompozitima" [7].

Eksperiment je realizovan delom u građevinskom preduzeću "Gradjevinar" gde su izradjeni uzorci i

uradjeno delimično instrumentiranje merne opreme i uradjena eksperimentom predviđena ojačanja sprežanjem sa NSM vlaknastim kompozitima. Ispitivanje grednih AB nosača izloženih uticaju čistog savijanja izvršeno je na test mašini laboratorije za mehatroniku Mašinskog fakulteta u Nišu.

Program ispitivanja obuhvatao je sedam grednih AB nosača poprečnog preseka 15/25 cm, ukupne dužine 2,95 m, statičkog sistema "prosta greda", sa osovinskim rasponom oslonaca 2,7m. Gredni nosači su opterećeni na savijanje dejstvom dve koncentrisane sile u trećinama raspona do loma, pri različitim uslovima ojačanja FRP elementima. Merene su deformacije u funkciji kratkotrajnog opterećenja i praćene karakteristične faze (prve prsline, tečenje armature, lom) za različite uslove ojačanja uz poredjenje sa kontrolnim (neojačanim) nosačem. Za ispitivanje su odabrane sledeće varijante grednih nosača:

- 1) B-con: Kontrolna (neojačana) greda;
- 2) B-G1 (Beam-Glass 1): Greda ojačana GFRP<sup>2</sup> armaturnom šipkom Ø10 mm po celoj dužini (bez prekida);
- 3) B-G2 (Beam-Glass 2): Greda ojačana GFRP armaturnom šipkom sa prekidom u polovini raspona (bez premošćenja nastavka – "bajpas");
- 4) B-G3 (Beam-Glass 3): Greda ojačana GFRP armaturnom šipkom sa prekidom u polovini raspona i premošćenjem (nastavkom) putem dodatne armature (2 GFRP šipke dužine po 20 Ø);
- 5) B-G4 (Beam-Glass 4): Greda ojačana GFRP armaturnom šipkom sa prekidom u polovini raspona i premošćenjem (nastavkom) putem dodatne armature (2 GFRP šipke dužine po 40 Ø);
- 6) B-C1 (Beam-Carbon 1): Greda ojačana CFRP<sup>3</sup> armaturnom šipkom Ø8 mm po celoj dužini (bez prekida)
- 7) B-EC (Beam-External Carbon): Greda ojačana CFRP laminatom 33x1,4x2600 mm.

Uporedna analiza eksperimentalno dobijenih rezultata sprovedena je po osnovu dva bitna kriterijuma. Najpre je izvršeno upoređivanje merenih veličina (ugiba i dilatacije) u zavisnosti od načina ojačanja, a zatim je analiza sprovedena radi

<sup>2</sup> GFRP – glass fibre reinforced polymer (polimeri na bazi staklastih vlakana)

<sup>3</sup> CFRP – carbon fibre reinforced polymer (polimeri na bazi karbonsko ugljenicnih vlakana)

uporedjenja rezultata dobijenih pri različitim varijantama nastavka dodatne GFRP armature.

Na osnovu dobijenih rezultata uradjeni su i uporedni dijagrami po pitanju maksimalnih napona, ugiba i dilatacija, uz analizu procentualnog odnosa dobijenih vrednosti. Uspostavljanjem korelacione zavisnosti dobijenih rezultata kod greda sa i bez ojačanja, autor je došao do impozantnih rezultata da grede sa GFRP i CFRP ojačanjima imaju čak 78% odnosno 89% povećanu nosivost na savijanje čime je dokazao postavljenu hipotezu.

#### 4 ZAKLJUČAK:

Eksperimentalna metoda saznanja se veoma uspešno i gotovo uvek koristi u istraživanjima u građevinarstvu. Prvenstveno se izvode veštački eksperimenti u kojima se vrši podešavanje i kontrolisanje pojava tako da eksperimentalni proces odgovori na određena pitanja koja su od važnosti za dalja proučavanja. Daleko je lakše ispitivati na materijalima i doći do novih saznanja u odnosu na konstrukcije koje su zbog svoje složenosti daleko komplikovanije za proučavanje. Pored toga ispitivanje konstrukcija iziskuje daleko veće materijalne i finansijske troškove, veću eksperimentalnu ekipu ljudi, daleko veći broj mernih instrumenata, povoljne klimatske uslove na terenu i dr. Zbog svih tih razloga istraživači se veoma često

opredeljuju za ispitivanje uzoraka i maljih modela u laboratorijskim uslovima, a zatim odredjenom modelskom tehnikom i metodama rezultate sa modela prenose na konstrukciju. Svakako najpouzdaniji eksperimenti su na realnim objektima "in situ" jer na taj način dobijamo najtačniji uvid u stvarno stanje i ponašanje izvedene građevine.

#### LITERATURA

- [1] *Metodologija naučno istraživačkog rada*, D. Damjanović, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš (2006)
- [2] *Opšta metodologija*, B. Šešić, Naučna knjiga, Beograd (1980)
- [3] *Eksperimentalne metode u projektovanju konstrukcija*, V. Brčić, R. Čukić, Građevinska knjiga, Beograd (1988)
- [4] *Metod i organizacija naučnoistraživačkog rada*, V. Šolaja, Mašinski fakultet, Niš (1988)
- [5] *Metodologija naučno istraživačkog rada*, R. Folić, skripta za Doktorske studije, FTN, Novi Sad (2007)
- [6] *Master rad*, I. Nešović, Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Niš (2013)
- [7] *Doktorska disertacija*, S. Ranković, Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Niš (2010)