



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU  
GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA



# INTEGRISANI SISTEMI PREMERA

## Geotehnički senzori

Doc. dr Mehmed Batilović, mast. inž. geodez.

Novi Sad, 2023/2024

1

## Senzori

---

- Senzori su uređaji koji mogu meriti različite fizičke veličine i dati merljiv prikaz te veličine u obliku električnog signala ili promene u električnim karakteristikama električne komponente.
- Senzori se mogu podeliti u dve grupe:
  - geodetski senzori;
  - geotehnički senzori.
- Geotehnički senzor može biti bilo koji pretvarač sa izlazom u vidu analogne ili digitalne mehaničke ili električne veličine.
- Geotehnički senzori su značajno unapređeni razvojem mikroelektronike, bežičnih i računarskih tehnologija.
- MEMS (mikro-elektro-mehanički sistemi) tehnologija – podrazumeva uređaje ili sisteme veoma malih dimenzija koji kombinuju električne i mehaničke komponente.

2

## Geotehnički senzori

---

➤ U geotehničke senzore spadaju:

- inklinometri;
- ekstenzometri;
- akcelerometri;
- fiber optički senzori;
- piezometri;
- žiroskopi;
- magnetometri;
- merne trake;
- ...

3

## Inklinometri

---

➤ Inklinometri su senzori koji mere ugaoni nagib (odstupanja) u odnosu na veštački uspostavljenu horizontalnu ravan.

➤ Inklinometri se mogu podeliti na:

- jednoosne;
- dvoosne ili biaksijalne.

➤ Tačnost merenja u terenskim uslovima iznosi  $\pm 0.1$  mm/m.



4

## Ekstenzometri

---

- Ekstenzometri su namenjeni za merenje relativnog pomeranja između dve tačke postavljene na objektu.
- Ekstenzometar se sastoji od čelične pantljike ili žice, nosača pantljike ili žice, uređaja za zatezanje i očitavanje.
- Tačnost merenja je 0,1 mm ili veća.
- Glavni nedostatak je to što tačnost merenja zavisi od uticaja vetra i temperature.



5

## Akcelerometri

---

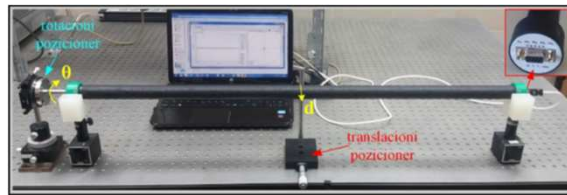
- Akcelerometar – uređaj koji meri ubrzanja strukture ili njenih pojedinih elemenata u jednoj, dve ili tri ose.
- Rezultat merenja akcelerometra je dijagram ubrzanje-vreme.
- Dijagram brzina-vreme dobija se jednostrukom integracijom dijagrama ubrzanje-vreme, dok se dijagram pomeraj-vreme dobija dvostrukom integracijom.



6

## Fiber optički senzori

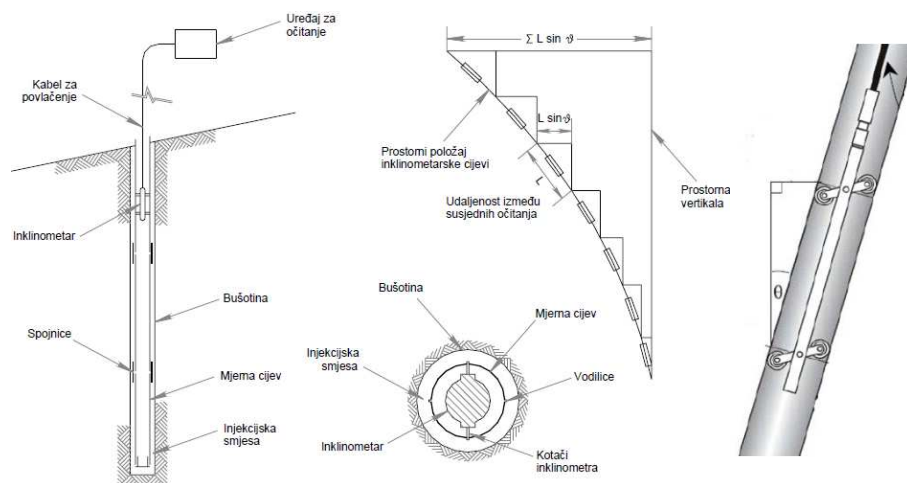
- Fiber optički senzor je uređaj koji koristi tehnologiju optičkih vlakana za merenje fizičkih veličina kao što su temperatura, pritisak, naprezanje, pomeranja, naponi i ubrzanje.
- Ovi senzori koriste optičko vlakno kao senzorski element, nazvan unutrašnji senzor, ili ga koriste za transport signala od udaljenog senzora do modula za obradu signala (spoljni senzor).
- Glavne prednosti su otpornost na elektromagnetne smetnje i koroziju, male dimenzije i visoka osetljivost.



7

## Primena inklinometara u monitoringu pomeranja tla

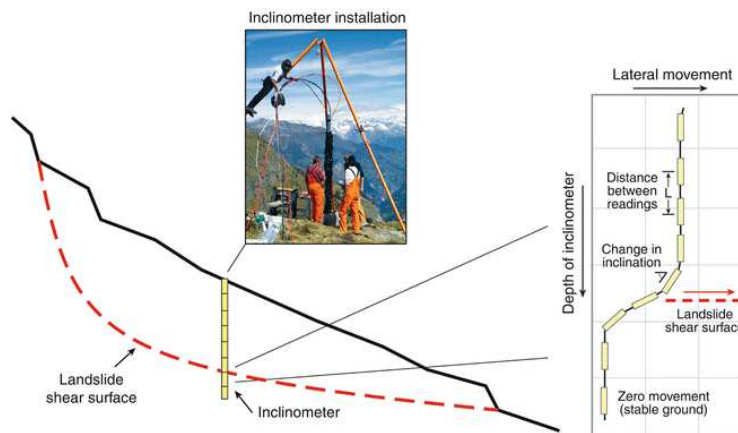
- Inklinometri se koriste za merenje horizontalnih pomeranja tla.



8

## Primena inklinometara u monitoringu pomeranja tla

- Pomoću inklinometraskih kolona mogu se veoma precizno odrediti pomeranja tla u zonama klizišta.



9

## Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

- Savremeni trendovi u visokogradnji su izgradnja veoma visokih i tankih konstrukcija koje je moguće realizovati zahvaljujući razvoju novih materijala i tehnologija gradnje.



Burj Khalifa, visina 829 m.



Lahta Center, visina 462 m.



Tapei, visina 508 m.

10

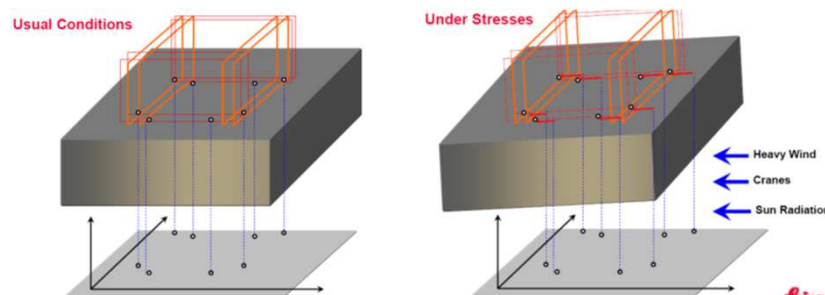
## Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

- Geodetska mreža je neophodna osnova u zadacima inženjerske geodezije:
  - izrada geodetskih podloga za projektovanje objekata;
  - obeležavanje geometrije objekata;
  - praćenje građenja;
  - kontrola geometrije objekata;
  - monitoring pomeranja i deformacija objekata i tla.
- Kod visokih zgrada obeležavanje geometrije objekta na većim visinama predstavlja izazov zbog permanentnog pomeranja konstrukcije usled različitih uticaja (vetar, temperatura i sl.).
- Uspostavljanje geodetske mreže sa dinamičkim koordinatama.

11

## Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

- Zadatak geodetske struke jeste detektovanje i eliminisanje uticaja vetra i pomeranja konstrukcije koja nastaju usled brojnih uticaja, poput pomeranja kрана sa različitim vrednostima tereta koji se podiže i montira na asimetričnim pozicijama na platformi aktuelnog nivoa gradnje.



12

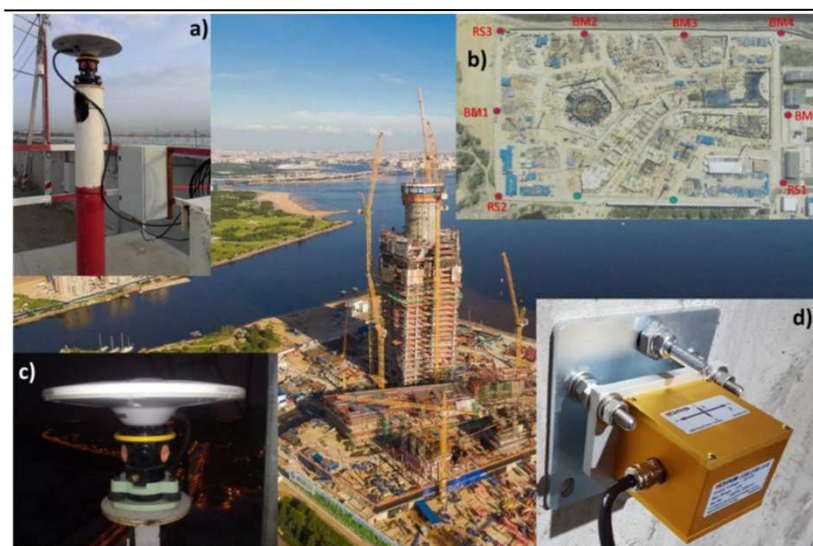
## Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

- Osnovni problem – određivanje odstupanja projektovane vertikalne ose objekta od vertikale u trenutku opažanja.
- Integrirani sistem koji uključuje sledeće senzore:
  - GNSS prijemnike;
  - robotizovanu totalnu stanicu;
  - biaksijalne inklinometre.



13

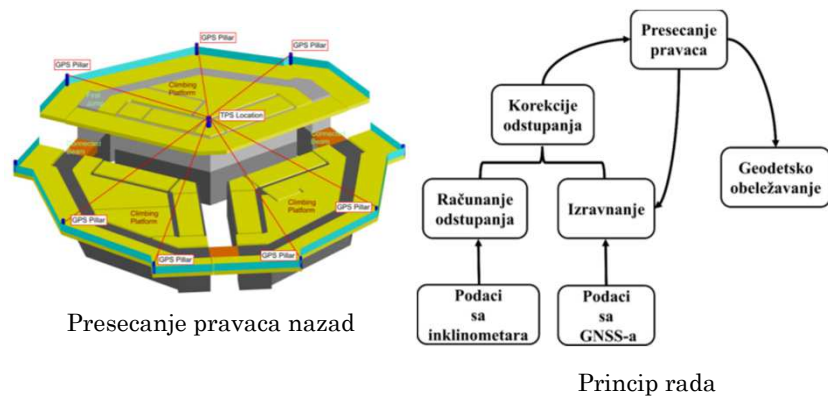
## Monitoring sistem – Lahta centar



14

## Monitoring sistem – Lahta centar

- Integracija senzora u jedinstven sistem izvršena je pomoću *Trimble 4D Control* softvera.



15

## Automatizovani sistem za monitoring deformacija mosta Apollo u Bratislavi

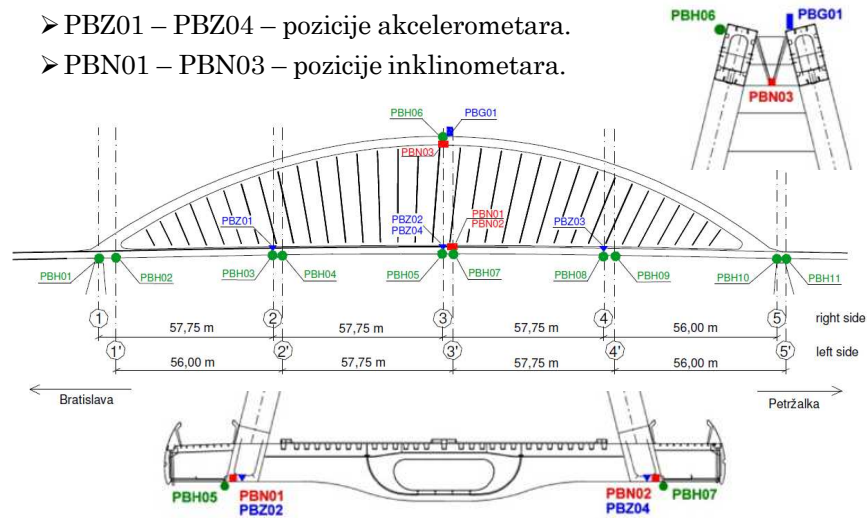
- Automatizovani sistem za monitoring pomeranja i deformacija mosta Apollo sastoji se geodetskog i geotehničkog podsistema.
- Geotehnički podsistem sastoji se od:
- četiri biaksijalna inklinometra Leica Nivel 220;
  - četiri akcelerometra HBM B12/200;
  - meteorološka stanica Reinhardt DFT-1.

16



## Automatizovani sistem za monitoring deformacija mosta Apollo u Bratislavi

- PBZ01 – PBZ04 – pozicije akcelometara.
- PBN01 – PBN03 – pozicije inklinometara.



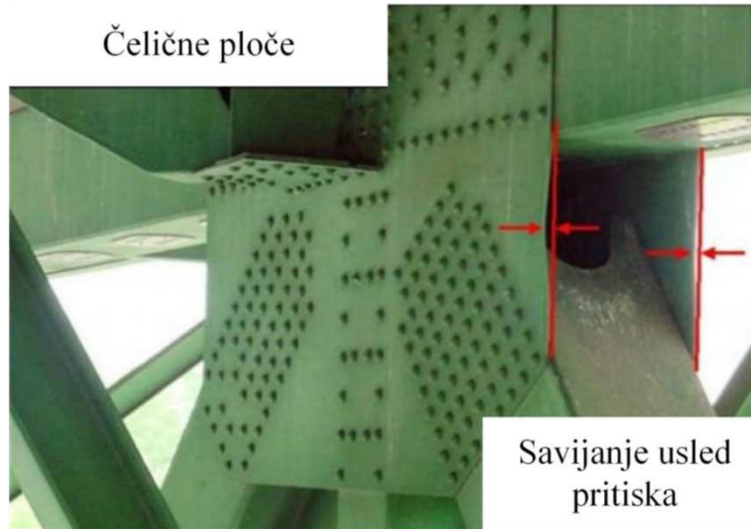
17

## Automatizovani sistem za monitoring mosta I-35W St. Anthony Falls

- Most I-35W autoputa preko reke Misisipi u Mineapolisu u Minesoti srušio se 2007. godine.
- Inspekcije mosta vršene u skladu sa nacionalnim standardima za inspekciju mostova (engl. *National Bridge Inspection Standards*).
- Most je ocenjen od strane nadležne inspekcije kao strukturalno deficitaran još 16 godina pre kolapsa.
- Nacionalni odbor za zaštitu saobraćaja (engl. *National Transportation Safety Board*) kao verovatan uzrok kolapsa navodi povećan kapacitet zbog čega je došlo do pucanja čeličnih ploča koje služe za povezivanje nosećih stubova.

18

## Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*



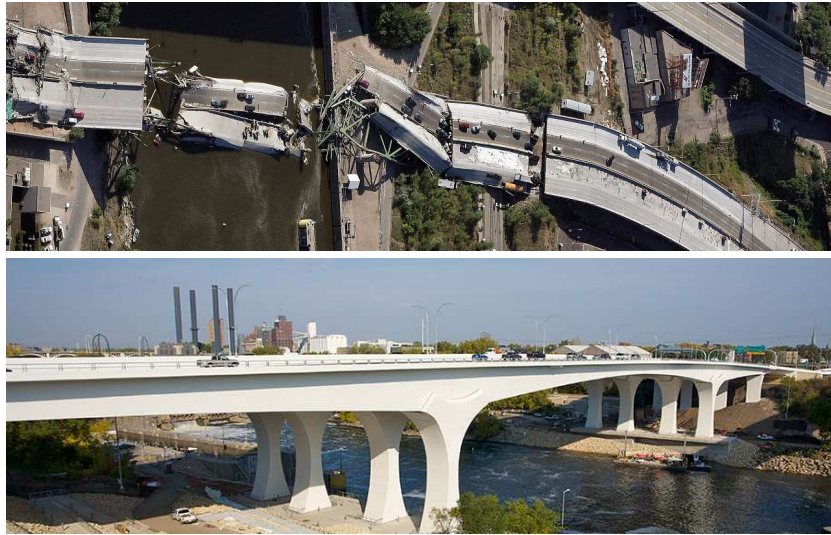
19

## Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*

- Most nije bio opremljen sistemom za monitoring u periodu pre rušenja.
- Periodično je vršena vizuelna inspekcija mosta.
- Na istom mestu kao zamena izgrađen je novi most *I-35W St. Anthony Falls*, koji se zapravo sastoji od dva nezavisna susedna mosta.
- Svaki od mostova se sastoji od 4 raspona od kojih glavni raspon predstavlja prelaz preko cele širine reke Misispi.
- Novoizgrađeni most je opremljen „pametnim“ instrumentima i senzorima koji predstavljaju savremena tehnološka dostignuća u monitoringu mostova.

20

## Automatizovani sistem za monitoring *I-35W St. Anthony Falls* mosta



21

## Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*

- Sistem za monitoring novog mosta uključuje više od 500 senzora koji prikupljaju podatke vezane za ponašanje mosta u zavisnosti od opterećenja izazvanog saobraćajem, temperaturnim promenama, pojavama pukotina i slično.
- Most je opremljen i sistemom za automatsko sprečavanje zaleđivanja kolovoznih traka i osvetljenje mosta.
- Podaci prikupljeni ovim senzorskim sistemom mogu poslužiti kao osnova za poboljšanje dizajna novih mostova kako bi bili u stanju da se suoče sa svim mogućim izazovima.

22

## Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*

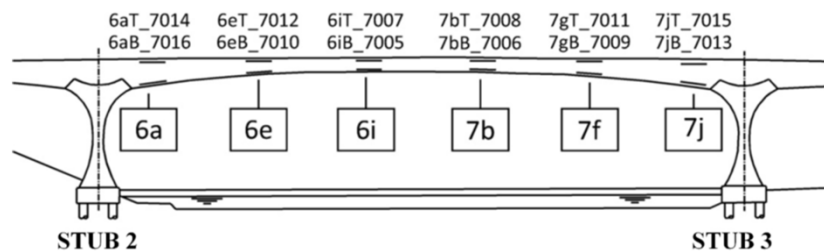
➤ Automatizovani sistem za monitoring *I-35W St. Anthony Falls* sastoji se od:

- senzori naprezanja u vidu vibrirajućih žica;
- rezistivni senzori za merenje naprezanja;
- linearnim potencimetrima za merenja deformacija mosta na dilatacijama;
- fiber optičkim sensorima za merenje deformacija;
- akcelerometrima;
- termistorima za merenje temperature;
- sensorima za merenje elektrohemijske aktivnosti i otpornosti materijala na koroziju.

23

## Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*

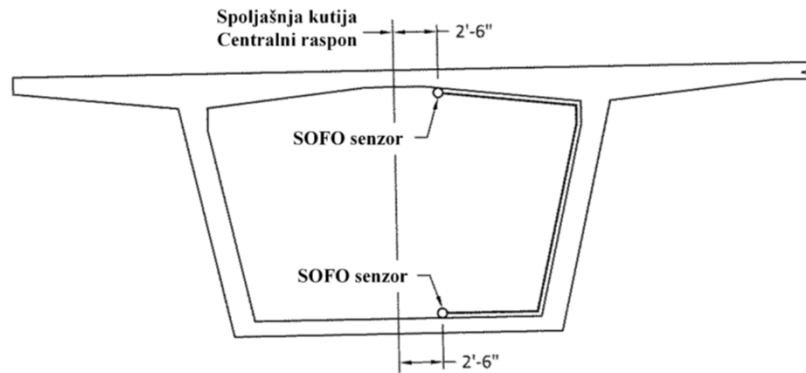
➤ Na spoljašnjem delu južnog mosta duž centralnog raspona postavljeno je ukupno 12 fiber optičkih senzora za praćenje globalnih naprezanja i krivina spoljašnjeg dela mosta.



24

## Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*

- Fiber optički senzori su postavljenu u parovima, jedan na vrhu i jedan na dnu konstrukcijske „kutije“ mosta, na šest lokacija duž dužine centralnog raspona između stubova.



25

PITANJA?

26

## Literatura

---

- M. Marković: Metoda određivanja deformacija građevinskih struktura primenom fiber optičkih senzora, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2018. [LINK](#)
- M. Vrtunski: Model geosenzorske mreže za monitoring terena i objekata u realnom vremenu, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2018. [LINK](#)
- A. Kopáček, P. Kyrinovic, I. Lipták, J. Erdély: *Automated Monitoring of the Danube Bridge Apollo in Bratislava*, FIG Working Week 2011, 18-22 May 2011, Marrakech, Morocco. [LINK](#)
- M. Marković, D. Vasić, T. Ninkov, M. Petković, N. Janković: Primena savremenih geodetskih metoda tokom izgradnje visokih zgrada, 4. Međunarodna konferencija Savremena dostignuća u građevinarstvu, 22 April, Subotica, Srbija. [LINK](#)