



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU
UPRAVLJANJE RIZIKOM OD KATASTROFALNIH
DOGAĐAJA I POŽARA



MAPIRANJE HAZARDA I PROCENA RIZIKA

SENZORI

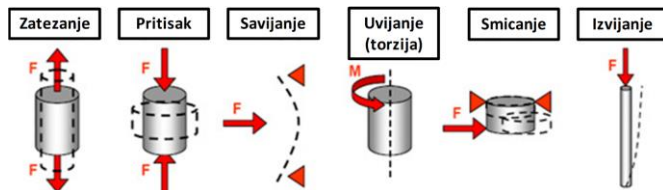
Vanr. prof. Marko Marković, master inž. geodez.

Novi Sad, 2024/2025

1

Praćenje stanja struktura

- Strukture od posebnog interesa su takode i najopasnije po okolinu, a to su: mostovi, tuneli, brane, nasipi, klizišta, elektrane, morske platforme, okeanske konstrukcije, cevovodi, visoke zgrade, železnice, istorijski spomenici, muzeji, itd.
- Praćenje stanja struktura i njihovog okruženja zahteva pažljivo prikupljanje i analizu merenja sledećih parametara:
 - fizički parametri: ugib, nagib, torzija, položaj, naprezanje, sila, pritisak, ubrzanje i vibracije.



3

Geometrija građevinskih struktura

- Geometrija građevinskih struktura se tokom vremena menja usled različitih spoljašnjih uticaja. Rezultat promene geometrije ogleda se u promeni položaja određenih tačaka strukture i promena vrednosti naprezanja i deformacija.
- Promena položaja određenih tačaka, naprezanje i deformacije reprezentuju trenutno stanje strukture i stepen njene funkcionalnosti.
- Deformacije predstavljaju promenu rastojanja između dve tačke na strukturi (relativne deformacije) ili između jedne tačke na strukturi i jedne fiksne tačke u okolini strukture (apsolutne deformacije).
- Da bi se utvrdilo stanje strukture neophodno je pratiti vrednosti najrelevantnijih parametara koji utiču i od kojih zavisi njihova funkcionalnost.

2

Praćenje stanja struktura

- meteorološki parametri: temperatura i relativna vlažnost vazduha, pritisak, brzina i pravac vetra, globalna sunčeva radijacija, pritisak podzemnih voda, količina padavina, akumulacija snega, koncentracija zagađenosti, zatim, u slučaju vodenih površina: temperatura, nivo i protok vode, morske struje, plima i oseka, smer i veličina površinskih talasa, kao i talasa plime i oseke.
- hemijski parametri: ph-vrednosti, količina hlora, količina sulfata, oksidacija čelika, oksidacija armature, propadanje drvene građe itd.

4

Podela instrumenata-senzora

- Podela instrumenata-senzora može da se izvrši na osnovu više različitih kriterijuma:
 - na osnovu tipova deformacija koje se mere: geodetski (merenje apsolutnih deformacija) ili geotehnički (merenje relativnih deformacija),
 - na osnovu dimenzija deformacija koje se mere: senzori za merenje 1D, 2D ili 3D deformacija,
 - na osnovu metode/tehnologije koja se primenjuje pri merenju: optički, laserski, fotogrametrijski, satelitski, fiber optički senzori ili mikro-elektro-mehanički senzori (MEMS) ili
 - vrste parametara koji se mere: deformacioni, meteorološki ili hemijski.

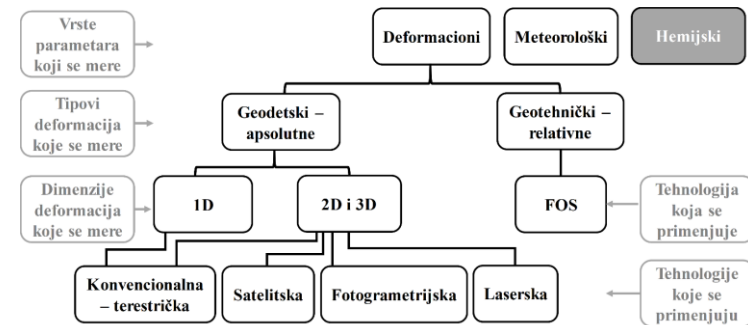
5

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 sensor 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.

7

Podela instrumenata-senzora



6

Geotehnički senzori

- U geotehničke senzore spadaju:
 - inklinometri;
 - ekstenziometri,
 - akcelerometri;
 - fiber optički senzori;
 - piezometri;
 - žiroskopi;
 - magnetometri;
 - merne trake.

8

Inklinometri

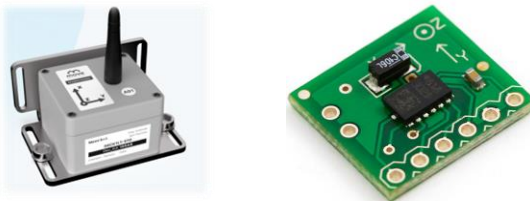
- Inklinometri su senzori koji mere ugaoni nagib (odstupanja) u odnosu na veštački uspostavljenu horizontalnu ravan.
- Inklinometri se mogu podeliti na:
 - jednoosne;
 - dvoosne ili biaksijalne.
- Tačnost merenja u terenskim uslovima iznosi ± 0.1 mm/m.



9

Akcelerometri

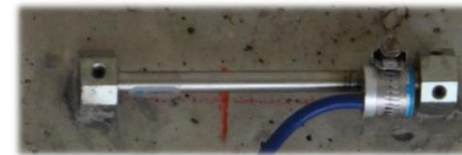
- Akcelerometar – uređaj koji meri ubrzanja strukture ili njenih pojedinih elemenata u jednoj, dve ili tri ose.
- Rezultat merenja akcelerometra je dijagram ubrzanje-vreme.
- Dijagram brzina-vreme dobija se jednostrukom integracijom dijagrama ubrzanje-vreme, dok se dijagram pomeraj-vreme dobija dvostrukom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



11

Ekstenziometri

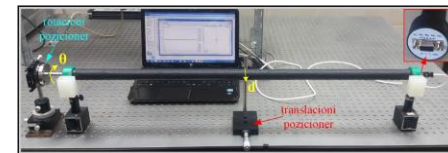
- Ekstenziometri su namenjeni za merenje relativnog pomeranja između dve tačke postavljene na objektu.
- Ekstenziometar se sastoji od čelične pantljike ili žice, nosača pantljike ili žice, uređaja za zatezanje i očitavanje.
- Tačnost merenja je 0,1 mm ili veća.
- Glavni nedostatak je to što tačnost merenja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



10

Fiber optički senzori

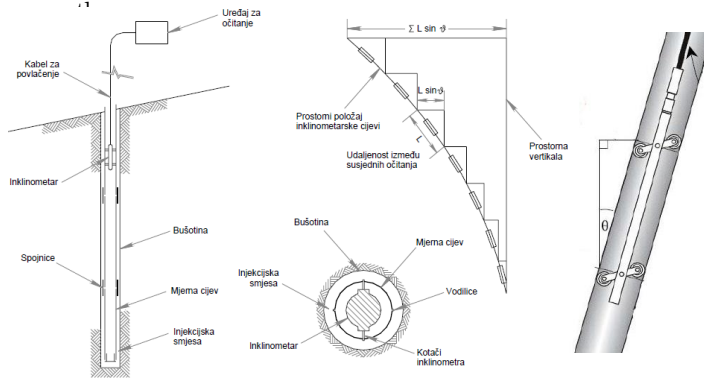
- Fiber optički senzor je uređaj koji koristi tehnologiju optičkih vlakana za merenje fizičkih veličina kao što su temperatura, pritisak, naprezanje, pomeranja, naponi i ubrzanje.
- Ovi senzori koriste optičko vlakno kao senzorski element, nazvan unutrašnji senzor, ili ga koriste za transport signala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



12

Primena inklinometara u monitoringu pomeranja tla

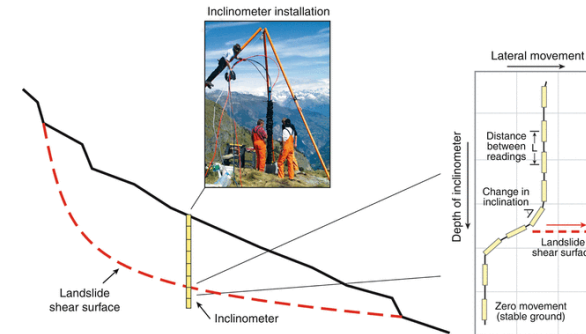
- Inklinometri se koriste za merenje horizontalnih pomeranja



13

Primena inklinometara u monitoringu pomeranja tla

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



14

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.



Lahti Center, visina 462 m.



Tapei, visina 508 m.

15

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 gradnje;
 - 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.

16

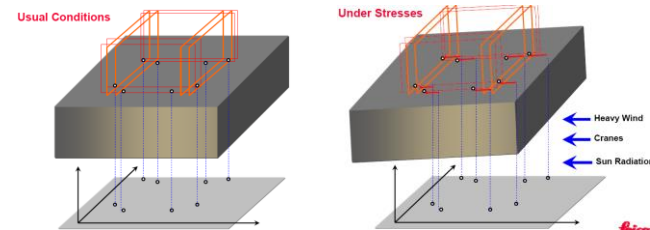
Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

- 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.

17

Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

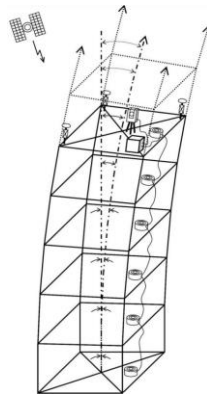
- Zadatak geodetske struke jeste detektovanje i eliminisanje uticaja vetra i pomeranja konstrukcije koja nastaju usled brojnih uticaja, poput pomeranja kрана sa različitim vrednostima tereta koji se podiže i montira na asimetričnim pozicijama na platformi aktuelnog nivoa gradnje.



18

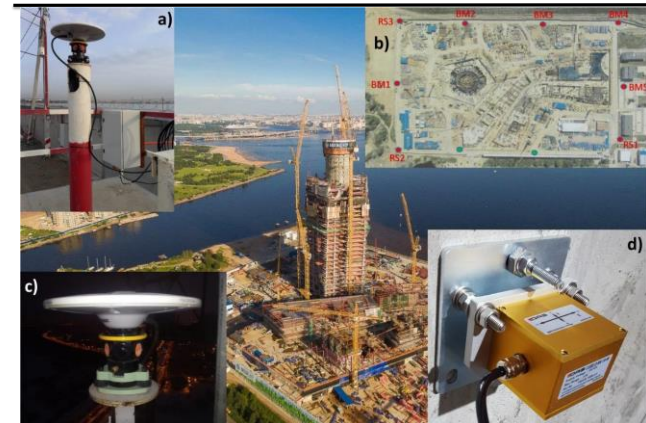
Integrirani sistemi u izgradnji visokih zgrada

- 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.



19

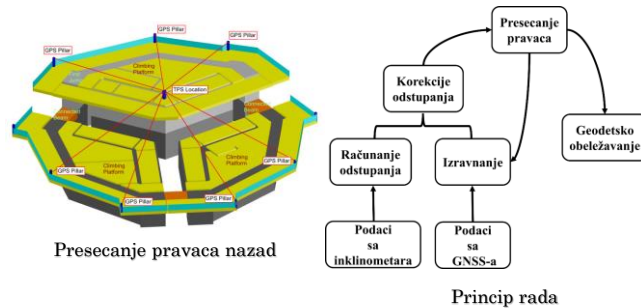
Monitoring sistem – Lahta centar



20

Monitoring sistem – Lahta centar

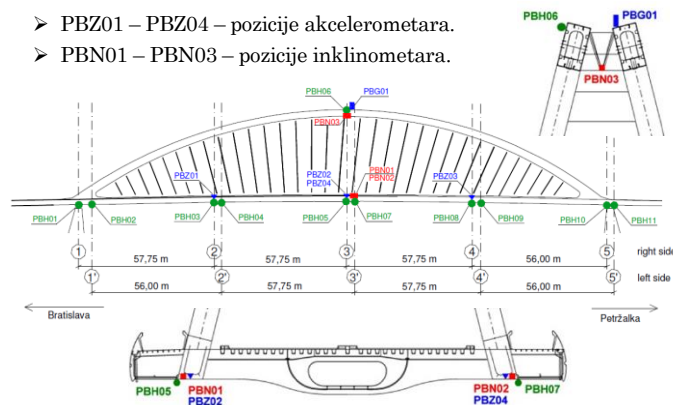
- Integracija senzora u jedinstven sistem izvršena je pomoću *Trimble 4D Control* softvera.



21

Automatizovani sistem za monitoring deformacija mosta Apollo u Bratislavi

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



23

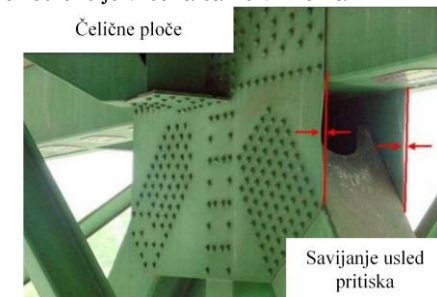
Automatizovani sistem za monitoring deformacija mosta Apollo u Bratislavi

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

22

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

- Most *I-35W Highway Bridge* preko reke Misisipi u Mineapolisu u Minesoti srušio se 2007. godine.
- Most nije bio opremljen sistemom za monitoring i u periodu pre rušenja periodično je vršena samo vizuelna inspekcija mosta.



24

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

- Most *I-35W Highway Bridge* preko reke Misisipi u Mineapolisu u Minesoti srušio se 2007. godine.
- Most nije bio opremljen sistemom za monitoring i u periodu pre rušenja periodično je vršena samo 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.
- Novoizgrađeni most je opremljen „pametnim“ instrumentima i senzorima koji predstavljaju savremena tehnološka dostignuća u monitoringu mostova.

25

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.

27

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



26

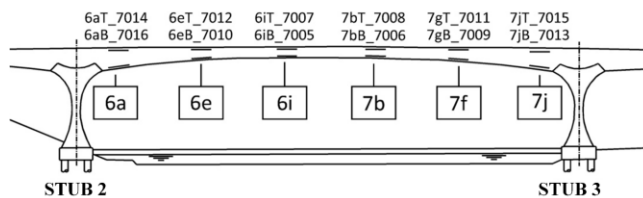
Automatizovani sistem za monitoring mosta *I-35W St. Anthony Falls*

- Automatizovani sistem za monitoring *I-35W St. Anthony Falls* sastoji se od:
 - senzori naprežanja u vidu vibrirajućih žica;
 - rezistivni senzori za merenje naprežanja;
 - linearnim potencimetrima za merenje deformacija mosta na dilatacijama;
 - fiber optičkim senzorima za merenje deformacija;
 - akcelerometrima;
 - termistorima za merenje temperature;
 - senzorima za merenje elektrohemijske aktivnosti i otpornosti materijala na koroziju.

28

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.



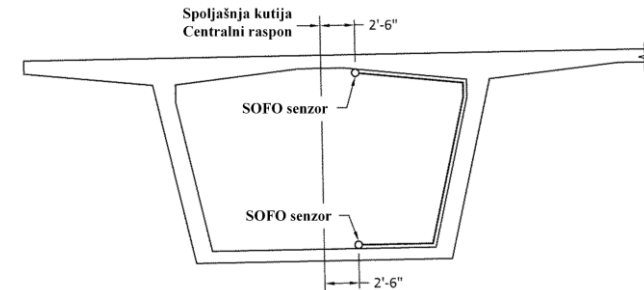
29

PITANJA?

31

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.



30

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](#)

32