

**FUNCIONALNOSTI LIMITA U GEOSENZORSKIM MREŽAMA****FUNCTIONALITY OF LIMITS IN GEOSENSOR NETWORKS**Nedeljka Čupić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA**

**Kratak sadržaj** – U radu je opisana primjena permanentnog monitoringa u okviru geosenzorskih mreža. Objasnjen je postupak realizacije geosenzorske mreže kao i podešavanja parametara pri detekciji alarma u procesu praćenja deformacija objekata. Eksperimentalni dio rada odnosi se na mjerenja pomoću geodetskih i geotehničkih senzora sa ciljem ispitivanja alarmnog sistema u softveru Leica GeoMos.

**Cljučne reči:** *permanentni monitoring, geosenzorska mreža, limiti, detekcija alarma, Leica GeoMos*

**Abstract** – *This paper describes process of permanent monitoring and geosensor networks. The process of realization of the geosensor network is explained, as well as parameter adjustments in the detection of alarms in the process of monitoring deformation of objects. The experimental part refers to measurements using geodetic and geotechnical sensors with the aim of testing the alarm system in the Leica GeoMos software.*

**Keywords:** *permanent monitoring, geosensor networks, limits, Alarm detection, Leica GeoMos*

**1. UVOD**

Na stabilnost i funkcionalnost svakog izgrađenog objekta utiče mnogo faktora kao što su: greške u projektovanju, propusti u izgradnji i održavanju, atmosferski uticaji, fizički uticaji okoline u kojoj se objekat nalazi i slično. Međutim, uloga objekata kao što su brane, mostovi i tuneli je presudna za normalno funkcionisanje društva u cjelini, te je neophodno osigurati njihovu sigurnost korištenja, upotrebljivost i trajnost. Da bi se ispunili ovi zahtjevi, inženjeri se bave održavanjem objekata u vidu periodičnog ili stalnog osmatranja deformacija i opšteg stanja navedenih objekata. Monitoring ili praćenje objekata u svrhu pravovremenog otkrivanja deformacija i pomjeraja predstavlja jedno cijelo polje aktivnosti i izazova u savremenoj inženjerskoj geodeziji. Tradicionalne metode osmatranja sa vremenom se sve manje koriste zbog činjenice da je za evidentiranje kretanja ovakvih objekata potrebno vršiti stalna mjerenja, i dugoročna praćenja vanjskih i unutrašnjih uticaja. Takođe, neophodno je stalno evidentiranje i analiziranje svih uticaja kako bi se nakon određenog perioda moglo razlikovati tipično i netipično ponašanje u svrhu otkrivanja slabljenja konstrukcija i mogućeg izbjegavanja većih oštećenja. S toga, se danas realizuje novi i savremeni pristup monitoringu, odnosno permanentni monitoring.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Aleksandar Ristić.**

Sistem permanentnog monitoringa omogućava praćenje stanja i deformacija objekata u realnom vremenu uz funkciju detekcije alarma. Granične vrijednosti (*Limits*) čine zadate vrijednosti ključnih parametara od strane korisnika, čijim prekoračenjem se uključuje alarm, ili šalje obavještenje za određenu lokaciju. Definisane parametara pri detekciji alarma se vrši u okviru softvera za permanentni monitoring. Jedan takav softver namjenjen za praćenje i analizu deformacija objekata jeste LeicaGeoMos.

Laboratorijske i teoretske analize u okviru rada izvedene su u svrhu ispitivanja funkcionalnosti detekcije alarma u sistemu permanentnog monitoringa primjenom softverskog paketa Leica GeoMos. Na osnovu eksperimentalnih mjerenja u laboratoriji definisane su dobre i loše osobine ovakvog načina osmatranja objekta.

**2. DEFORMACIONI MONITORING**

Vibracije i deformacije građevina su uzrokovane vjetrom, pomjeranjem zemljišta, i drugim vanjskim faktorima. Prevelik broj deformacija može ugroziti normalno funkcionisanje ali i oštetiti ili uništiti građevinu. [1].

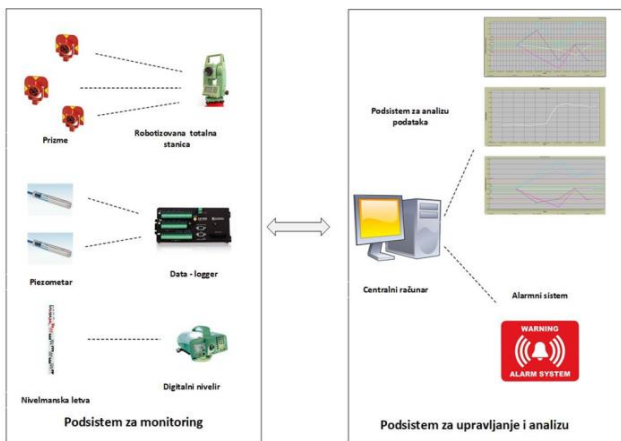
**2.1. Tradicionalni pristup deformacionog monitoringa**

Tradicionalni pristup u monitoringu deformacija podrazumjeva mjerenje položaja tačaka koje najefikasnije predstavljaju objekat u određenim vremenskim intervalima, sa ciljem praćenja vremenske evolucije pokreta same konstrukcije [2]. Praćenje objekata se obavlja bez dublje analize uzroka nastanka deformacije objekta.

**2.2. Savremeni pristup deformacionog monitoringa**

Kod savremenog pristupa monitoringa deformacija, svaki objekat se posmatra kao jedan dinamički sistem koji pod uticajem spoljašnjih sila mijenja svoju geometrijsku strukturu i položaju u prostoru [1,2]. S toga je potrebno ne samo utvrditi veličinu pomjeraja nego i odrediti uzrok nastanka deformacija. Fizičke veličine koje se osmatraju u navedenim sistemima su najčešće sila (naprezanje), pritisak, vlaga, temperatura, promena pozicije karakterističnih tačaka itd.

Da bi se izveo adekvatan zaključak o stanju objekta neophodno je, u procesu stalnog praćenja navedenih parametara izvršiti korelaciju rezultata mjerenja u realnom vremenu. Sistem geosenzorske mreže sastoji se od dva podsistema (Slika br 1): podsistem za monitoring u okviru kog se vrši prikupljanje podataka sa mjernih uređaja i podsistem za upravljanje i analizu podataka u okviru kog se vrše analize izmjerenih podataka.



Slika 1. Sistem senzorske mreže

### 3. SENZORSKE MREŽE

#### 3.1. Bežične senzorske mreže

Bežična senzorska mreža (*Wireless Sensor Network*) predstavlja sistem koji se sastoji od prostorno raspoređenih uređaja (senzora) koji prate stanje nekog određenog procesa ili fizičkog objekta. Informacije koje se prikupljaju zavise od namjene bežične senzorske mreže kao i od vrste senzora (npr. pritisak, temperatura, zvuk, sila...) [3].

#### 3.2. Geosenzorske mreže

Geosenzorske mreže predstavljaju primjenu bežičnih (ili žičnih) senzorskih mreža u svrhu praćenja geoprostornih podataka [3]. Primjenom ovih mreža možemo da pratimo kretanje objekata na mnogo većim površinama i udaljenostima (saobraćaj, klišišta). Ključna mogućnost ovih mreža je praćenje prirodnih fenomena koji egzistiraju na širem području, njihovih karakteristika u vremenu i prostoru, obrada podataka u samoj mreži u realnom vremenu, programiranje u mreži u svrhu efikasnijeg i jeftinijeg prikupljanja podataka, adaptacija i samoorganizovanje mreže u zavisnosti od događaja.

#### 3.3. Primjena senzora u geosenzorskim mrežama

Sa ciljem kvalitetnijeg i bržeg prikupljanja podataka u geosenzorskim mrežama se povezuje više vrsta senzora u jednu cijelinu. Osim pažljivog odabira vrste senzora potrebno je i voditi računa o načinu ugradnje senzora na objekat koji se osmatra. Senzori koji se koriste u sistemima za permanentni monitoring se dijele u tri grupe [3]:

- Geodetski senzori;
- Geotehnički senzori;
- Ostali senzori.

Odabir vrste senzora zavisi u mnogome od karakteristike objekta/površi koja se prati. Geodetski senzori omogućuju praćenje trodimenzionalnih pomjeraja, dok geotehnički i ostali senzori omogućuju praćenje dvodimenzionalnih pomjeraja. Kombinacija ovih senzora ugrađenih na strateške lokacije pružaju osnovu za deformacioni monitoring. U grupu geodetskih senzora spadaju elektronski geodetski senzori koji se priključuju na spoljno napajanje ili posjeduju sopstveno napajanje. Većina ovih senzora daje trodimenzionalne podatke o nekoj pojavi, tj. imaju mogućnost mjerenja u tri ose (totalna stanica, GNSS prijemnici). U sistemima za permanentni monitoring

koriste se isključivo instrumenti koji mogu obavljati mjerenja samostalno, bez prisustva stručnog lica. U geodetske senzore spadaju: robotizovane totalne stanice, GNSS prijemnici, digitalni niveliri, terestrički laserski skeneri. U grupu geotehničkih senzora spadaju: inklinometri, piezometri, ekstenzometri, mjerne trake/mjerne ćelije, krekmetri, termistori. Osnovna karakteristika upotrebe ovih senzora je što su u mogućnosti da se postave na nepristupačna mjesta (unutar samog objekta, ispod površine zemlje), velika preciznost mjerenja i učestalost mjerenja.

U grupu ostalih senzora spadaju meteorološki senzori, senzori vazduha, senzori pokreta, elektronski brojači, kamere itd [3]. Većina ovih senzora se koristi u kombinaciji sa nekim drugim senzorom, tj. kao pomoć u radu ostalih senzora, a sve za potrebe pribavljanja što detaljnih mjerenja.

#### 3.4. Realizacija sistema za deformacioni monitoring

Za branu Sermo koja se nalazi na ostrvu Java i koja je pretrpjela deformacije uzrokovane zemljotresom, je kao jedan od najsigurnijih sistema za osmatranje odabran sistem permanentnog monitoringa upotrebom više vrsta senzora ugrađenih u blizini i na tjele brane [5]. Dizajn sistema je postavljen tako da postoje dvije bazne stanice koje se nalaze van zone deformacija, i sa kojih se konstantno osmatraju tačke stabilizovane na brani. U bazne stanice su ugrađeni: GPS prijemnik, totalna stanica i automatski mjerač nivoa vode (Slika 3). Sva mjerenja prosleđuju se u baznu stanicu, u kojoj se u realnom vremenu vrši analiza mjerenja i izrada izvještaja o trenutnom stanju.



Slika 3. Dizajn bazne stanice-brana Sermo [5].

### 4. MEHANIZAM DETEKCIJE ALARMA (LIMITS)

Primjena sistema za monitoring sa integrisanim alarmnim sistemom (mehanizam limita) omogućava pravovremnu detekciju i sanaciju kritičnih događaja. Sistem za monitoring deformacija funkcioniše u okviru više faza koje su međusobno povezane određenim relacijama. Svaki sistem za monitoring realizuje se u nekoliko osnovnih koraka;

- izvršavanje mjerenja na sensorima;
- transfer mjerenih podataka u bazu;
- obrada i analiza mjerenih podataka;
- ispitivanje limita/graničnih vrijednosti
- slanje izvještaja.

Mehanizmom limita (detekcijom nedozvoljenih odstupanja) u mnogom se povećava pouzdanost i kvalitet sistema za monitoring, a samim tim i sigurnost čovjeka, prirode, građevina i drugih objekata. Jedan od softvera za monitoring deformacija koji omogućava funkciju mehanizma limita jeste Leica GeoMos.

#### 4.1. Leica GeoMos

Leica GeoMos (Geodetic MONitoring Sistem) predstavlja automatizovani sistem namjenjen za praćenje i analizu deformacija na objektima kao što su visoke zgrade, brane i klizišta [3,6]. Sistem ima mogućnost poređenja mjerenih veličina sa unapred definisanim veličinama na osnovu čega obavještava korisnika o stanju na objektu i eventualnom prekoračenju razlike između mjerenih veličina odnosno postavljenih limita.

#### 4.2. Limiti u GeoMos-u

Sistem za monitoring Leica GeoMoS upotrebom mjerenja sa više vrsta senzora koji su raspoređeni na određenim tačkama na objektu omogućava alarmni sistem koji predstavlja detektor kritičnih događaja.

Indikator za uključivanje alarma mogu da budu relativna promjena položaja, promjena pritiska, povećanje temperature, nivoa vode itd., u zavisnosti od osobina objekta koji se osmatra.

Ukoliko vrijednost mjerenja prelazi definisanu toleranciju limita, pojavljuje se upozorenje/alarm u vidu SMS poruke, email-a, signalnog svjetla i dr [6]. Sistem takođe, ima mogućnost testiranja četiri klase limita u tri nivoa. Klase limita su:

- Apsolutni (razlika trenutnog i nultog mjerenja);
- *Short-time* (razlika trenutnog i prethodnog mjerenja);
- *Long-time* (razlika trenutnog i jednog od predhodnih mjerenja);
- *Regression* (odstupanja trenutnog mjerenja od očekivane vrijednosti).

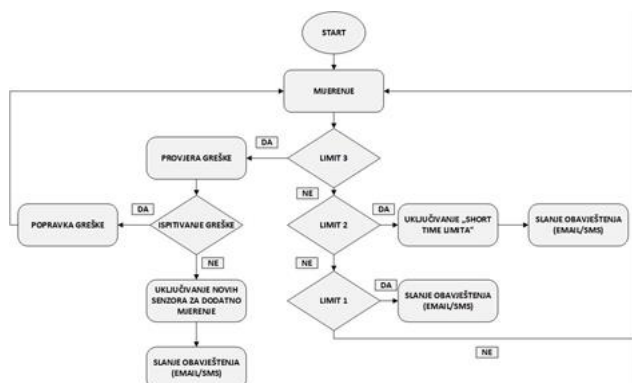
Svako od ove četiri klase mogu se pridružiti i vrijednosti u tri nivoa limita (od manje ka većoj) što predstavlja dodatni elemenat upozorenja korisniku.

#### 4.3. Model postavke limita

Za definisanje modela limita potrebno je prije svega izvršiti detaljnu analizu objekta koji se osmatra kao i faktora koji utiču na stanje objekta.

Međutim, može se definisati osnovni model postavke sistema limita u nekoliko faza: analiza konstrukcije i spoljašnosti objekta koji se osmatra, selekcija i odabir lokacije za ugradnju senzora, definisanje mjerenih veličina i vremenskog intervala, instalacija senzora i početno mjerenje.

Primjer postavke modela limita koji omogućava provjeru greške u mjerenju, samanjenje vremenskog intervala nakon detekcije nedozvoljenog mjerenja, kombinacije više klasa limita, te obavještavanje korisnika putem sms/email poruke prikazan je na Slici 4.



Slika 4. Model postavke sistema limita

### 5. EKSPERIMENT ISPITIVANJA MEHANIZMA LIMITA U PROGRAMU GEOMOS

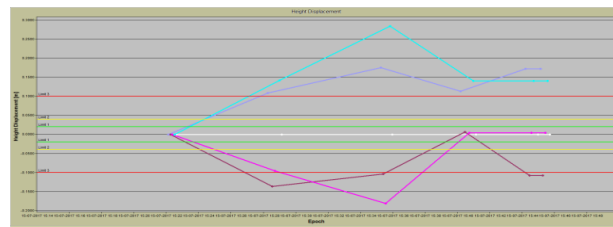
U cilju ispitivanja mehanizma limita u okviru programskog paketa GeoMos izvršena su mjerenja sa tri grupe senzora: geodetskih, geotehničkih i temperaturnih. Sva mjerenja su rađena u laboratorijskim uslovima. Postavljanjem senzora i povezivanjem na softver formirana je geosenzorska mreža u svrhu testiranja alarmnog sistema na većem broju različitih senzora.

#### 5.1. Postavka eksperimenta

Robotizovana totalna stanica stanica *Leica TCRP 1201+* je postavljena na stativ i povezivana na COM server Moxa koji predstavlja spregu senzora sa računarom. Totalnom stanicom osmatrana je grupa prizmi u šest serija. Nakon svake serije mjerenja, fizički su pomjerane prizme u svrhu izazivanja pojave graničnih vrednosti merenih veličina. Digitalni nivelir *Leica DNA 03* je postavljen na stativ i povezan na COM server Moxa. Ispred nivelira je postavljena bar-kod letva koja je postupno visinski pomjerana. Za mjerenje malih vrijednosti nagiba, odnosno otklona pravca od vertikale u dva upravna smijera korišten je biaksijalni inklinometar *Tilt 6160* proizvođača Geokon. Inklinometar je postepeno pomjeran u dvije ose, kako bih se dobila vrijednost otklona od vertikale. U svrhu dobijanja mjerenih podataka o pritisku vode piezometar je uronjen u kofu sa vodom. Temperatura u prostoriji je mjerena sa tri senzora: termopar, meteo senzor i virtualni senzor. Virtualni senzor određuje veličinu koja je direktno nemjerljiva, u ovom slučaju virtualnim senzorom mjerena je razlika temperature izmjerena termoparom i meteo senzorom.

#### 5.2. Analiza rezultati mjerenja.

Nakon završenih mjerenja, u okviru modula GeoMos Analyzer koji služi za analizu mjerenih podataka formiran je grafički prikaz rezultata mjerenja sensorima. Za mjerenja totalnom stanicom prikazani su pomjeraji svih 5 prizmi u tro-osnom koordinatnom sistemu (Easting, Northing i Height), i vrijednost pomjeraja po sve tri ose u odnosu na prvo mjerenje - Absolute limits (Long, Transv, Height Disp.) (Grafik 1). Analizom poruka obavještenja, program nije bio u mogućnosti da izračuna sve četiri klase limita zbog nedovoljnog broja mjerenja i malog vremenskog intervala, te je slao poruke obavještenja samo za prelazak dvije klase limita. (Absolute i Shorttime limit). Da bih se izračunao regresion limit i longtime limit, potrebno je da prođe najmanje 24h od početka mjerenja.

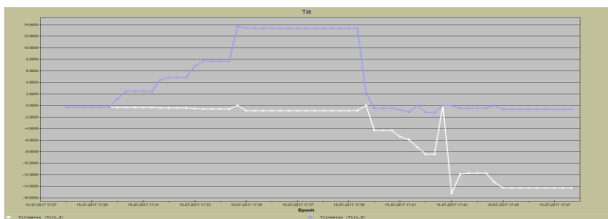


Grafik 1. Prikaz poprečnog pomjeraja prizmi.

Analizom mjerenja izvršenim biaksijalnim inklinometrom u cilju ispitivanja mehanizma limita u GeoMosu, pokazala su da je program pravovremeno obavještavao o prelasku definisanog nivoa limita. Na Grafiku 2 se vidi da se nagib prvo mjenjao u pozitivnom smijeru B-ose do vrijednosti od 14°. U toku promjene otklona u pravcu B-ose, otklon u

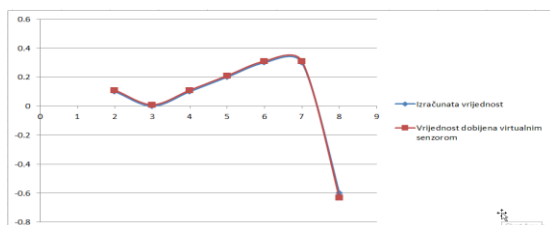


pravcu A-ose nije imao značajne promjene, do trenutka kada je on počeo da se povećava u negativnom smjeru do vrijednosti od 14°.



Grafik 2. Prikaz vrijednosti mjerenja inklinometrom

Temperatura vazduha je mjerena upotrebom tri senzora (termopar, metosenzor i virtualni senzor) za koja su definisani različiti nivoi limita. Analizom izmjerenih podataka i grafika zaključuje se da mjerenja temperature termo parom nisu veća od definisanih granica te program nije prijavio promjene. Radi kontrole mjerenja, upoređena je vrijednost dobijena virtualnim senzorom sa vrijednošću izračunatom iz direktnih mjerenja. Na grafiku se vidi da su te dvije vrijednosti iste, odnosno, da su virtualnim senzorom ispravno određene vrijednosti razlike temperature.



Grafik 3. Razlika izračunate i vrijednosti dobijene virtualnim senzorom

Poređenjem mjerenja nivoa vode upotrebom piezometra sa grafičkim prikazom kao i mjerenih vrijednosti sa porukama obavještenja nisu pronađena neslaganja u obavještenjima. Analizom poruka obavještenja za mjerenja vršena upotrebom digitalnog nivelira, utvrđeno je da je program istovremeno reagovao na prelazke limita, i slao poruke obavještenja.

## 5.2. Diskusija rezultata eksperimenta.

U okviru eksperimenta izvršeni su svi koraci u realizaciji alarmnog sistema u svrhu ispitivanja funkcionalnosti limita u toku monitoringa objekta. Na osnovu rezultata eksperimenta, može se zaključiti da je softver u kom je realizovan sistem limita reagovao na sva mjerenja čije su vrijednosti prelazile dozvoljenu graničnu vrijednost. Odnosno, za svako kritično mjerenje stiglo je obavještenja o prelasku određenog nivoa limita. Obavještenja o prelasku limita, prekidu mjerenja, nemogućnosti slanja poruke na definisanu email adresu i sl. su stizala u vidu poruke na kartici „Messages“ u okviru softvera. U porukama obavještenja osim poruka o prelasku određenog nivoa limita, sistem je i obavještao o nemogućnosti računanja longtime i regression limita zbog nedostatka vremena koje je potrebno za određivanje te vrste limita. Jedine nepravilnosti u funkcionisanju sistema u okviru eksperimenta jesu nastale zbog nedostatka mjerenja u veoma kratkom vremenskom periodu. Eksperimentom je utvrđeno da sistem limita može da izvršava sve definisane uslove, i kao takav može da se koristi u realnim projektima.

## 6. ZAKLJUČAK

Kod velikih građevina veoma je važna informacija o stanju u samom tijelu konstrukcije, konstantno praćenje određenih parametara, pravovremena obavještenja o nastalim deformacijama, kao i dodatna analiza u pogledu previđanja stanja konstrukcije. Na sve ove zahtjeve može da odgovori primjena permanentnog monitoringa sa integriranim alarmnim sistemom upotrebom limita. Osnovna svrha limita je da na vrijeme i na što jednostavniji način obavjesti korisnika o izmjerenim vrednostima kao i mogućim kritičnim i alarmantnim situacijama. Mogućnost definisanja četiri klase limita u tri nivoa, omogućava širok spektar praćenja stanja na objektima kao i pravovremeno obavještenje o nastanku deformacija. Na osnovu analize izmjerenih vrijednosti i ponašanja sofvera zaključuje se da je softver realizovao sve definisane uslove, odnosno obezbjedio sva mjerenja u unapred definisanim rokovima.

Iz svega opisanog može se zaključiti da sistem za permanentni monitoring u kombinaciji sa alarmnim sistemom ima prednosti u odnosu na tradicionalne metode osmatranja: široka mogućnost postavljanja zahtjeva i načina alarmiranja u više nivoa, detekcija alarma sa vizuelnom i zvučnom indikacijom alarma, mogućnost skladištenja podataka i pregled historije alarmiranja kao predviđanje ponašanja objekta, prezentacija podataka grafički, vođenje dnevnika o događajima i alarmima, mogućnost definisanja načina obavještenja, i prije svega pravovremena detekcija određenih stanja koja bi mogla dovesti do kritičnih situacija.

## 7. LITERATURA

- [1] Slobodan Ašanin, Branko Božić, “*Dinamičko praćenje deformacionih struktura u realnom vremenu*”, Građevinski fakultet Beograd.
- [2] Toša Ninkov, Zoran Sušić, Marko Marković, Đorđe Ninkov, Petar Maksimović, “*Tradicionalni i savremeni pristup geodetskog osmatranja inženjerskih objekata*”.
- [3] dr Aleksandar Ristić, “*Geosenzorske mreže: Materijal za predavanja iz predmeta Geosenzorske mreže*”, Novi Sad 2017.
- [4] Mladen Šarić, “*Kontinuirano praćenje mostova*”, Zagreb 2016.
- [5] Sunantyo Tarsisius, “*Design and installation for Dam Monitoring Using Multi sensors: A Case Study at Sermo Dam*”, Indonesia
- [6] <https://softrock.com.au/download/46/-software.geomos/1547/geomos-manual-v5-1.pdf>. (Datum pristupa 10.07.2017)

### Kratka biografija:



**Nedeljka Čupić** rođena je u Banja Luci 1992. god. Diplomski rad na temu „Održavanje premjera i katastra nepokretnosti“ na Arhitektonsko-građevinsko - geodetskom fakultetu u Banja Luci odbranila je 2016.godine.

kontakt: nedeljka.cupic@gmail.com