

XII МЕЂУНАРОДНА НАУЧНО-СТРУЧНА КОНФЕРЕНЦИЈА

САВРЕМЕНА ТЕОРИЈА
И ПРАКСА У ГРАДИТЕЉСТВУ

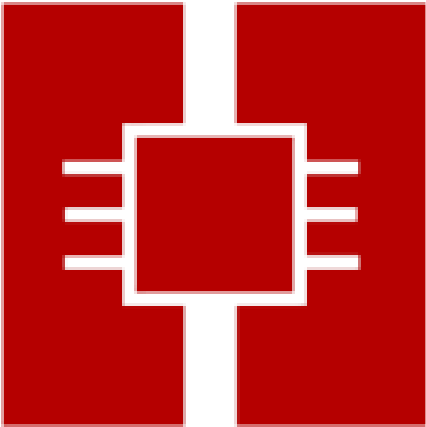
ЗБОРНИК РАДОВА

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL CONFERENCE ON

CONTEMPORARY THEORY
AND PRACTICE IN CONSTRUCTION

BOOK OF PROCEEDINGS





**XII МЕЂУНАРОДНА НАУЧНО-СТРУЧНА КОНФЕРЕНЦИЈА
САВРЕМЕНА ТЕОРИЈА И ПРАКСА У ГРАДИТЕЉСТВУ**

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL
CONFERENCE ON CONTEMPORARY THEORY AND
PRACTICE IN CONSTRUCTION

**ЗБОРНИК РАДОВА
BOOK OF PROCEEDINGS**

Издавач Универзитет у Бањој Луци
Publisher Архитектонско-грађевинско-геодетски
факултет

University of Banja Luka
Faculty of Architecture, Civil Engineering and
Geodesy

За издавача др Бранкица Милојевић, ванр. професор
On behalf of publisher Brankica Milojević, PhD, associate professor

Уредник др Биљана Антуновић, ванр. професор
Editor Biljana Antunović, PhD, associate professor

**ЕЛЕКТРОНСКО ИЗДАЊЕ –
ДИСТРИБУЦИЈА ПУТЕМ ПРЕНΟΣНЕ
УСБ МЕМОРИЈЕ И ИНТЕРНЕТ
СТРАНИЦЕ КОНФЕРЕНЦИЈЕ:
stepgrad16.aggfbl.org
DIGITAL PUBLICATION – DISTRIBUTION
THROUGH REMOVABLE USB MEMORY
AND CONFERENCE WEB SITE:
stepgrad16.aggfbl.org**

Бања Лука, 2016.
Banja Luka, 2016

ISBN 978-99976-663-3-8
UDK 69:71/72(082)(0.034.2)
624(082)(0.034.2)
COBISS.RS-ID 6240024

ISBN 9789997666338





**XII МЕЂУНАРОДНА НАУЧНО-
СТРУЧНА КОНФЕРЕНЦИЈА
САВРЕМЕНА ТЕОРИЈА И
ПРАКСА У ГРАДИТЕЉСТВУ**

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
PROFESSIONAL CONFERENCE ON
CONTEMPORARY THEORY AND
PRACTICE IN CONSTRUCTION

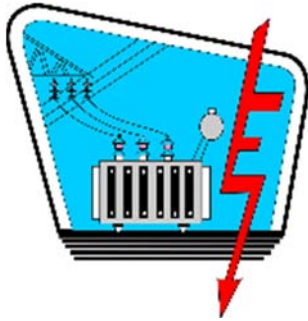
**ЗБОРНИК РАДОВА
BOOK OF PROCEEDINGS**

Бања Лука, 7-8. децембар 2016.
Banja Luka, December 7-8, 2016

ПАРТНЕРИ PARTNERS



Републичка управа
за геодетске и имовинско-правне послове



ЗЛАТНИ СПОНЗОР GOLDEN SPONSOR



СРЕБРНИ СПОНЗОРИ SILVER SPONSORS



БРОНЗАНИ СПОНЗОРИ BRONZE SPONSORS



ОРГАНИЗАТОР ORGANISER

Универзитет у Бањој Луци
Архитектонско-грађевинско-геодетски
факултет
University of Banja Luka
Faculty of Architecture, Civil Engineering and
Geodesy



СУОРГАНИЗАТОРИ CO-ORGANISERS

Министарство за просторно уређење,
грађевинарство и екологију
Републике Српске
Ministry of Spatial Planning, Civil Engineering
and Ecology of the Republic of Srpska



Министарство просвјете и културе
Републике Српске
Ministry of Education and Culture of the
Republic of Srpska



Град Бања Лука
The City of Banja Luka



ГРАД БАЊА ЛУКА
CITY OF BANJA LUKA

Инжењерска комора Републике Српске
Chamber of Engineers of the
Republic of Srpska



Привредна комора Републике Српске
Chamber of Commerce and Industry of the
Republic of Srpska



ЈУ Институт за урбанизам,
грађевинарство и екологију
Републике Српске
PI Institute for Urbanism, Civil Engineering
and Ecology of the Republic of Srpska



Архитектонски факултет,
Универзитет у Београду
Faculty of Architecture, University of Belgrade



**ОРГАНИЗАЦИОНИ
ОДБОР** **ORGANISING
COMMITTEE**

Проф. др Биљана Антуновић,
Архитектонско-грађевинско-
геодетски факултет,
Универзитет у Бањој Луци,
предсједник

Prof. Biljana Antunović, PhD,
Faculty of Architecture, Civil
Engineering and Geodesy,
University of Banja Luka, chair

Миладин Гаћановић,
Министарство за просторно
уређење, грађевинарство и
екологију Републике Српске

Miladin Gaćanović, Ministry of
Spatial Planning, Civil Engineering
and Ecology of the
Republic of Srpska

Радмила Пејић, Министарство
просвјете и културе Републике
Српске

Radmila Pejić, Ministry of
Education and Culture of the
Republic of Srpska

Зоран Ињац, Инжењерска
комора Републике Српске

Zoran Injac, Chamber of Engineers
of the Republic of Srpska

Мр Борко Ђурић, Привредна
комора Републике Српске

Borko Đurić, M.Sc., Chamber of
Commerce and Industry of the
Republic of Srpska

Стеван Јовановић, ЈУ Институт
за урбанизам, грађевинарство и
екологију Републике Српске

Stevan Jovanović, PI Institute for
Urbanism, Civil Engineering and
Ecology of the Republic of Srpska

НАУЧНИ ОДБОР

Проф. др Бранкица Милојевић,
Универзитет у Бањој Луци, БиХ, председник

Проф. др Јусуке Обучи, Универзитет у Токију, Јапан

Проф. др Миленко Станковић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ

Проф. др Миленко Пржуљ, Словенија

Проф. др Маркус Швај, НТНУ Трондхејм, Норвешка

Проф. др Александра Крстић-Фурунџић,
Универзитет у Београду, Србија

Проф. др Драган Благојевић, Универзитет у Београду, Србија

Проф. др Звонко Томановић, Универзитет Црне Горе, Црна Гора

Проф. др Карел Павелка, Технички универзитет у Прагу, Чешка

Проф. др Андреј Зајц, Институт за испитивање материјала и
примјену, Словенија

Проф. др Чедо Максимовић, Имperiјал колеџ, Велика Британија

Проф. др Мато Уљаревић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ

Проф. др Драган Милашиновић, Универзитет у Новом Саду, Србија

Проф. др Љубиша Прерадовић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ

Проф. др Амир Пашић, Комисија за очување
националних споменика БиХ

Проф. др Хуан Луис Ривас Наваро, Универзитет у Гранади, Шпанија

Проф. др Миро Говедарица, Универзитет у Новом Саду, Србија

Проф. др Биљана Антуновић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ

Проф. др Жељко Бачић, Свеучилиште у Загребу, Хрватска

Проф. др Петар Гверо, Универзитет у Бањој Луци, БиХ

Проф. др Мила Пуцар, Институт за архитектуру и урбанизам, Србија

Проф. др Драгослав Стојић, Универзитет у Нишу, Србија

Др Јакоб Шуштершич, Институт за испитивање материјала и
примјену, Словенија

Др Петер Нигст, Корушки универзитет
примијењених наука, Аустрија

SCIENTIFIC COMMITTEE

- Prof. Brankica Milojević, PhD, University of Banja Luka, BiH, chair
- Prof. Yusuke Obuchi, PhD, University of Tokyo, Japan
- Prof. Milenko Stanković, PhD, University of Banja Luka, BiH
- Prof. Milenko Pržulj, PhD, Slovenia
- Prof. Markus Schwai, PhD, NTNU Trondheim, Norway
- Prof. Aleksandra Krstić-Furundžić, PhD, University of Belgrade, Serbia
- Prof. Dragan Blagojević, PhD, University of Belgrade, Serbia
- Prof. Zvonko Tomanović, PhD, University of Montenegro, Montenegro
- Prof. Karel Pavelka, PhD, Technical University in Prague, Czech Republic
- Prof. Andrej Zajc, PhD, Institute for Research in Materials and Applications, Slovenia
- Prof. Čedo Maksimović, PhD, Imperial College, UK
- Prof. Mato Uljarević, PhD, University of Banja Luka, BiH
- Prof. Dragan Milašinović, PhD, University of Novi Sad, Serbia
- Prof. Ljubiša Preradović, PhD, University of Banja Luka, BiH
- Prof. Amir Pašić, PhD, Commission to Preserve National Monuments of Bosnia and Herzegovina
- Prof. Juan Luis Rivas Navarro, PhD, University of Granada, Spain
- Prof. Miro Govedarica, PhD, University of Novi Sad, Serbia
- Prof. Biljana Antunović, PhD, University of Banja Luka, BiH
- Prof. Željko Bačić, PhD, University of Zagreb, Croatia
- Prof. Petar Gvero, PhD, University of Banja Luka, BiH
- Prof. Mila Pucar, PhD, Institute of Architecture and Urban and Spatial Planning, Serbia
- Prof. Dragoslav Stojić, PhD, University of Niš, Serbia
- Jakob Šušteršič, PhD, Institute for Research in Materials and Applications, Slovenia
- Arch. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Nigst,
Carinthia University of Applied Sciences, Austria

ПОЧАСНИ ОДБОР

Милорад Додик, председник Републике Српске

Жељка Цвијановић, премијер, Влада Републике Српске

Проф. др Рајко Кузмановић, председник Академије наука и умјетности Републике Српске

Сребренка Голић, министар, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске

**Др Дане Малешевић, министар,
Министарство просвјете и културе Републике Српске**

**Проф. др Јасмин Комић, министар,
Министарство науке и технологије Републике Српске**

Мр Игор Радојичић, градоначелник, град Бања Лука

Проф. др Милан Матаруга, ректор, Универзитет у Бањој Луци

**Проф. др Владимир Лукић, проф. емеритус,
Универзитет у Бањој Луци**

**Проф. др Владан Ђокић, декан, Архитектонски факултет,
Универзитет у Београду**

**Проф. др Бранко Божић, декан, Грађевински факултет,
Универзитет у Београду**

**Проф. др Раде Дорословачки, декан, Факултет техничких наука,
Универзитет у Новом Саду**

HONORARY COMMITTEE

Milorad Dodik, President of the Republic of Srpska

Željka Cvijanović, Prime Minister, The Government of the Republic of Srpska

Prof. Rajko Kuzmanović, PhD, President of the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska

Srebrenka Golić, Minister, Ministry of Spatial Planning, Civil Engineering and Ecology

Dane Malešević, PhD, Minister, Ministry of Education and Culture of the Republic of Srpska

Prof. Jasmin Komić, PhD, Minister, Ministry of Science and Technology of the Republic of Srpska

Mr. Sci. Igor Radojičić, Mayor of the City of Banja Luka

Prof. Milan Mataruga, PhD, Rector, University of Banja Luka

Prof. Emeritus Vladimir Lukić, PhD, University of Banja Luka

Prof. Vladan Đokić, PhD, Dean, Faculty of Architecture, University of Belgrade

Prof. Branko Božić, PhD, Dean, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade

Prof. Rade Doroslavački, PhD, Dean, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad

РЕЦЕНЗЕНТИ

Проф. др Биљана Антуновић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Бранкица Милојевић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Миодраг Регодић, Универзитет одбране, Београд, Србија
Проф. др Хуан Луис Ривас Наваро, Универзитет у Гранади, Шпанија
Проф. др Мато Уљаревић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Владан Ђокић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Жељко Бачић, Свеучилиште у Загребу, Хрватска
Проф. др Александра Ђукић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Миленко Станковић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Драгољуб Секуловић, Универзитет одбране, Београд, Србија
Проф. др Петар Гверо, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Драган Благојевић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Мила Пуцар, Институт за архитектуру и урбанизам, Србија
Проф. др Љубиша Прерадовић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Маркус Швај, НТНУ Трондхејм, Норвешка
Проф. др Миро Говедарица, Универзитет у Новом Саду, Србија
Проф. др Карел Павелка, Технички универзитет у Прагу, Чешка
Проф. др Драган Милашиновић, Универзитет у Новом Саду, Србија
Проф. др Александра Крстић-Фурунџић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Звонко Томановић, Универзитет Црне Горе, Црна Гора
Проф. др Драгослав Стојић, Универзитет у Нишу, Србија
Проф. др Бранко Божић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Манојло Миладиновић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Загорка Госпавић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Тина Дашић, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Љиљана Дошенивић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Снежана Митровић, ВГГШ, Београд, Србија
Проф. др Љиља Вукић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Јаћимовић Ненад, Универзитет у Београду, Србија
Проф. др Љубомир Мајданџић, Универзитет у Осиеку, Хрватска
Проф. др Ратко Дејановић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Проф. др Сашо Медвед, Универзитет у Љубљани, Словенија
Проф. др Снежана Петровић, Институт за кукуруз “Земун Поље“, Србија
Доц. др Љиљана Милић-Марковић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Доц. др Игор Јокановић, Универзитет у Новом Саду, Србија
Доц. др Тања Тркуља, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Доц. др Александар Борковић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Доц. др Дарија Гајић, Универзитет у Бањој Луци, БиХ
Др Петер Нигст, Корушки универзитет примијењених наука, Аустрија

REVIEWERS

Prof. Biljana Antunović, PhD, University of Banja Luka, BiH
Prof. Brankica Milojević, PhD, University of Banja Luka, BiH
Prof. Miodrag Regodić, PhD, University of Defence, Serbia
Prof. Juan Luis Rivas Navarro, PhD, University of Granada, Spain
Prof. Mato Uljarević, PhD, University of Banja Luka, BiH
Prof. Vladan Đokić, PhD, University of Belgrade, Serbia
Prof. Željko Bačić, PhD, University of Zagreb, Croatia
Prof. Aleksandra Đukić, University of Belgrade, Serbia
Prof. Milenko Stanković, PhD, University of Banja Luka, BiH
Prof. Dragoljub Sekulović, University of Defence, Serbia
Prof. Petar Gvero, PhD, University of Banja Luka, BiH
Prof. Dragan Blagojević, PhD, University of Belgrade, Serbia
Prof. Mila Pucar, PhD, Institute of Architecture and Urban and Spatial Planning, Serbia
Prof. Ljubiša Preradović, PhD, University of Banja Luka, BiH
Prof. Markus Schwai, PhD, NTNU Trondheim, Norway
Prof. Miro Govedarica, PhD, University of Novi Sad, Serbia
Prof. Karel Pavelka, PhD, Technical University in Prague, Czech Republic
Prof. Dragan Milašinović, PhD, University of Novi Sad, Serbia
Prof. Aleksandra Krstić-Furundžić, PhD, University of Belgrade, Serbia
Prof. Zvonko Tomanović, PhD, University of Montenegro, Montenegro
Prof. Dragoslav Stojić, PhD, University of Niš, Serbia
Prof. Branko Božić, University of Belgrade, Serbia
Prof. Manojlo Miladinović, University of Belgrade, Serbia
Prof. Zagorka Gospavić, University of Belgrade, Serbia
Prof. Tina Dašić, University of Belgrade, Serbia
Prof. Ljiljana Došenović, University of Banja Luka, BiH
Prof. Snežana Mitrović, College of Applied Sciences of Civil Engineering and Geodesy in Belgrade, Serbia
Prof. Ljilja Vukić, University of Banja Luka, BiH
Prof. Jaćimović Nenad, University of Belgrade, Serbia
Prof. Ljubomir Majdandžić, University of Osijek, Croatia
Prof. Ratko Dejanović, University of Banja Luka, BiH
Prof. Sašo Medved, University of Ljubljana, Slovenia
Prof. Snežana Petrović, Maize research institute “Zemun Polje“, Serbia
Assistant Prof. Ljiljana Milić-Marković, PhD, University of Banja Luka, BiH
Assistant Prof. Igor Jokanović, University of Novi Sad, Serbia
Assistant Prof. Tanja Trkulja, University of Banja Luka, BiH
Assistant Prof. Aleksandar Borković, University of Banja Luka, BiH
Assistant Prof. Darija Gajić, University of Banja Luka, BiH
Arch. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Nigst, Carinthia University of Applied Sciences, Austria

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

проф. др Бранкица Милојевић

доц. др Малина Чворо

доц. др Александар Борковић

проф. др Мато Уљаревић

доц. др Драган Мацановић

доц. др Тања Тркуља

EDITORIAL COMMITTEE

Prof. Brankica Milojević, PhD

Assistant Prof. Malina Čvoro, PhD

Assistant Prof. Aleksandar Borković, PhD

Prof. Mato Uljarević, PhD

Assistant Prof. Dragan Macanović, PhD

Assistant Prof. Tanja Trkulja, PhD

ТЕХНИЧКО УРЕДНИШТВО

Мирослав Малиновић

Уна Умићевић

Дијана Мајсторовић

Драгана Зељић

Младен Амовић

Славко Васиљевић

Дејан Васић

Александар Јанковић

Гордана Јаковљевић

Слађана Јанковић

Стаменко Мијатовић

Дизајн корица: Уна Умићевић

Прелом и техничка обрада: Мирослав Малиновић

TECHNICAL EDITORIAL

Miroslav Malinović

Una Umićević

Dijana Majstorović

Dragana Zeljić

Mladen Amović

Slavko Vasiljević

Dejan Vasić

Aleksandar Janković

Gordana Jakovljević

Slađana Janković

Stamenko Mijatović

Cover page design: Una Umićević

Graphic design and prepress: Miroslav Malinović

37 |

прегледни научни рад
scientific review

АНАЛИЗА НАГИБА НА БРАНИ „БАЈИНА БАШТА“ ПРИМЕНОМ ИНСТРУМЕНТА - КЛИНОМЕТАР

Јована Јосиповић, josipovicjovanabb@gmail.com, Грађевински факултет, Универзитет у Београду

Марина Ашкрабић, amarina@grf.bg.ac.rs, Грађевински факултет, Универзитет у Београду

Горан Тодоровић, todor@grf.bg.ac.rs, Грађевински факултет, Универзитет у Београду

Радован Госпавић, gospavic@grf.bg.ac.rs, Грађевински факултет, Универзитет у Београду

Љиљана Брајовић, brajovic@grf.bg.ac.rs, Грађевински факултет, Универзитет у Београду

Резиме:

У раду се анализира начин мерења нагиба и могућност предвиђања његове вредности на брани „Бајина Башта“ применом клинометара. У обзир су узети резултати мерења нагиба током периода од 10 година. Укратко је објашњен принцип рада и начин примене клинометара. Приказана је статистичка обрада мерених података која обухвата регресиону анализу ради установљавања зависности нагиба од различитих узрочних величина и формирање одговарајућих серија са очекиваним вредностима мерења у зависности од спољашњих параметара.

Кључне ријечи: клинометар, мерење нагиба, регресиона анализа, брана

ANALYSIS OF INCLINATION ON DAM „BAJINA BAŠTA“ USING INCLINOMETERS

Abstract:

The paper analyses a method of inclination measurements and possibility of its prediction on the dam „Bajina Bašta“ using inclinometers. The data were taken during the ten years period. The working principle and application of the inclinometers are shortly explained. The statistical analysis of measurement data is presented. It is consisted of performed regression analysis in order to investigate the relationship between the inclination and other environmental variables and of forming the corresponding series with the expected measurement values depending on environmental conditions.

Keywords: inclinometer, inclination measurements, regression analysis, dam

1. УВОД

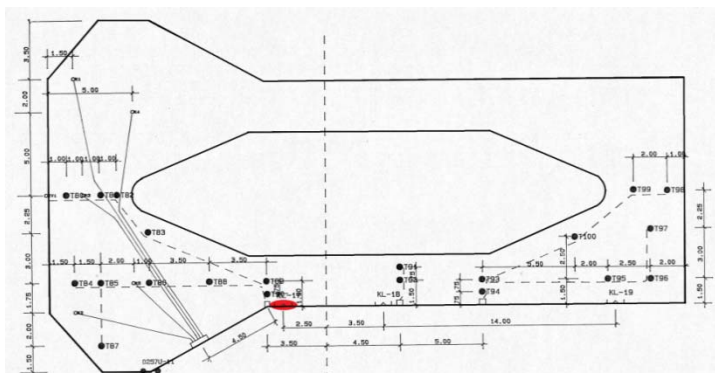
Оцене стања бране поред геодетских и визуелних метода осматрања заснива се и на мерењу величина које карактеришу њено понашање. Анализа мерених података и њихово поређење са резултатима физичких и математичких модела омогућавају процену стања објекта. Употреба статистичких модела, попут вишеструке линеарне регресије у анализи понашања бране омогућава предвиђање њеног стања, као и проверу да ли је оно слично претходном понашању под истим оптерећењем.

За оцену стања бране при деловању спољашњих утицаја, првенствено хидростатичког оптерећења и температуре, служи величина и карактер деформација појединих места на спољашњој површини или у унутрашњости бране. За мерење угаоних деформација тј. ротација бране користе се инструменти – клинометри. На брани „Бајина Башта“ клинометри се налазе у ламели 11 и распоређени у четири хоризонтална пресека.



Слика 1. Брана и ХЕ „Бајина Башта“

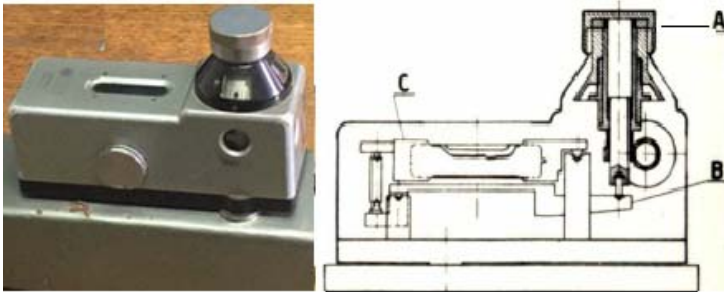
За анализу у овом раду коришћен је клинометар са ознаком кл-17, који се налази на коти 258 mnm. На Слици 2. приказан је хоризонтални пресек ламеле 11 на коти 258 mnm и положај кл-17.



Слика 2. Хоризонтални пресек ламеле 11 на коти 258 mnm и положај клинометра

2. ОПИС КОРИШЋЕНОГ КЛИНОМЕТРА

Клинометри на брани „Бајина Башта“ су фирме „Galileo“ и њихов главни саставни део је осетљива либела. То су преносни инструменти којима се врше мерења на свим мерним местима чији је положај одређен сталним, непомерљивим реперима уграђеним у тело бране. Њима се мере ротације (у вертикалној равни) дужи која је дефинисана својим крајњим тачкама, круто везаним за брану. Сам мерни уређај се фиксира за призматичан штап. Попречни пресек овог штапа има знатан моменат инерције да би био недеформабилан. Штап са доње стране има посебне лежишне делове који омогућавају да се фиксира између репера уграђених у бетон бране. Лежишни делови и репери омогућавају да клинометар при сваком мерењу дође у исти положај.



Слика 3. Изглед и шематски приказ клинометара на брани „Бајина Башта“

На слици 3. су представљени слика и шематски приказ коришћеног клинометра.

Приликом мерења врши се померање микрометарског завртња окретањем дугмета А са слике 3. Ово померање најпре се преносе на прву полуугу (В), а затим на другу полуугу (С) која носи либелу. Читање на инструменту врши се системом призми које слику мехура деле на два дела. Либела је у положају равнотеже када се две половине мехура споје у целину. Угао се очитава помоћу две кружне скале микрометарског завртња.

Основне мерне карактеристике клинометра су:

- опсег мерења – 1°
- тачност очитавња - $2''$
- осетљивост - $2''$
- тежина инструмента – 2,25 kg

3. СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА

Статистичка анализа је метод који омогућава истовремено коришћење великог броја података осматрања стварајући функционалне везе између узрочних величина и осматраних. Предности ове методе су релативно једноставно коришћење, брзо добијање предикторских функција, као и

могућност примене на било које величине између којих постоји корелација осматраних и зависних параметара. Основни недостатак ове методе је што добијени параметри немају одређено физичко значење. Циљ статистичког модела и регресионе анализе је да се на основу података о ранијем понашању објекта, за кога је направљен статистички модел, предвиди понашање објекта при „нормалним“ условима рада бране у наредном периоду [1].

3.1. ЛИНЕАРНА РЕГРЕСИЈА

Линеарна регресија је статистички приступ моделирању и заснива се на линеарној вези између зависне променљиве и једне или више независних променљивих. У овом раду је за зависну променљиву усвојена промена нагиба ламеле ($\Delta\alpha$), док су за независне променљиве изабране: кота горње воде (Z_{gv}), кота доње воде (Z_{dv}), температура ваздуха (T_{vaz}), температура бетона (T_b), доба године (s) и укупно време осматрања (d). Обрађени подаци су за период од 10 година, али се за детаљнију анализу могу користити и веће серије података, с обзиром да се мерења нагиба на брани врше једном месечно.

Помоћу вишеструке линеарне регресије промена нагиба ($\Delta\alpha$) се може апроксимирати једначином [2]:

$$\Delta\alpha = E_{Z_{gv}} + E_{Z_{dv}} + E_{\theta} + E_d + E_b + E_{vaz} \quad (1)$$

где чланови са десне стране израза (1) представљају утицаје појединачних независних променљивих и то:

$E_{Z_{gv}}$ - утицај нивоа горње воде, $E_{Z_{dv}}$ - утицај нивоа доње воде, E_{θ} - утицај доба године, E_b - утицај температуре бетона, E_d - укупно време осматрања и E_{vaz} - утицај температуре ваздуха.

Утицај нивоа горње и доње воде, као хидростатичког оптерећења представљен је полиномима другог, односно трећег реда.

$$E_{Z_{gv}} = A_1 Z_{gv} + A_2 Z_{gv}^2 \quad (2)$$

$$E_{Z_{dv}} = A_3 Z_{dv} + A_4 Z_{dv}^2 + A_5 Z_{dv}^3 \quad (3)$$

На основу литературе [3], моделовање утицаја горње воде је довољно представити полономом другог реда јер су мале варијације ове променљиве. Температура ваздуха се периодично мења у току године, али се и њена средња вредност мења од године до године. Периодични утицај доба године може се представити као линеарна комбинација простопериодичних функција. Оне зависе од редног броја дана у току једне године m , који се преводи у променљиву s преко израза $s = 2\pi m / 365$, на опсег вредности од 0 до 2π .

$$E_{\theta}(s) = A_6 \sin(s) + A_7 \cos(s) + A_8 \sin(2s) + A_9 \cos(2s) + A_{10} \sin(3s) + A_{11} \cos(3s) + A_{12} \sin(4s) \quad (4)$$

Вишегодишњи утицај на понашање бране може се апроксимирати изразом:

$$E_d(d) = A_{13}d \quad (5)$$

где је:

d - број протеклих дана од почетка мерења.

Линеарни утицаји температуре ваздуха и бетона су моделовани изразима:

$$E_{vaz} = A_{14}T_{vaz} \quad (6)$$

$$E_b = A_{15}T_b. \quad (7)$$

Коначан израз за промену нагиба постаје:

$$\Delta \alpha = A_1 Z_{gv} + A_2 Z_{gv}^2 + A_3 Z_{dv} + A_4 Z_{dv}^2 + A_5 Z_{dv}^3 + A_6 \sin(s) + \\ A_7 \cos(s) + A_8 \sin(2s) + A_9 \cos(2s) + A_{10} \sin(3s) + \\ A_{11} \cos(3s) + A_{12} \sin(4s) + A_{13}d + A_{14}T_{vaz} + A_{15}T_b + A_0 \quad (8)$$

где је:

A_0 - слободни члан

4. РЕЗУЛТАТИ РЕГРЕСИОНЕ АНАЛИЗЕ

Анализа нагиба ламеле на брани „Бајина Башта“ рађена је за период од 10 година, почевши од 1. јануара 2006. до 31. децембра 2015. године. За статистичку анализу података примењен је програм „Excel“. Циљ је да се провери да ли за последње три године осматрања, (од 2012. до 2015.), а на основу формираног статистичког модела коришћењем података за претходних неколико година, можемо предвидети промене нагиба ламеле бране, при њеном нормалном раду. Проверава се и колико је претходних година потребно узети у статистичкој анализи да би очекивања за наредни период била у границама за које објекат остаје у нормалном режиму понашања. Контрола понашања објекта се у случају статистичких модела заснива на поређењу мерених и израчунатих вредности. Као мера квалитета модела узета је стандардна девијација σ_{mm} разлике мерених и моделованих вредности за посматрани период. Као мера предвиђања на основу моделованих резултата узета је стандардна девијација σ_{pm} разлике мерених вредности и моделованих за период предвиђања од три године .

Коефицијенти A_0 до A_{15} добијени применом регресионе анализе за различите посматране периоде (4, 5, 6, и 7 година) приказани су у Табели 1. Описне стандардне девијације σ_{mm} , σ_{pm} за различите посматране периоде приказани су у Табели 2.

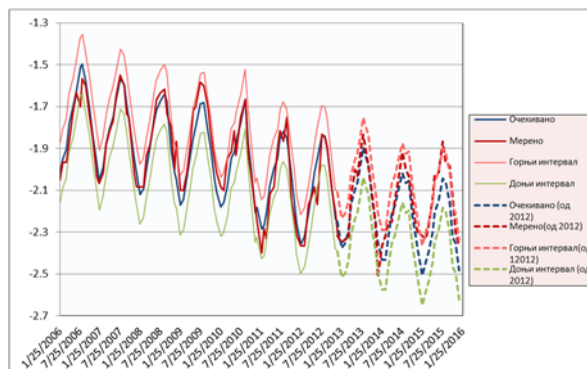
Из Табеле 2 се види да је стандардна девијација σ_{mm} сличних вредности за периоде 5, 6 и 7 година, а значајно је већа за период посматрања од 4 године. Такође, разлике стандардних девијација између σ_{mm} и σ_{pm} се повећавају са смањењем броја посматраних година. Стандардене девијације σ_{pm} , у односу на σ_{mm} , се повећавају са смањењем броја година.

Табела 1. Вредности коефицијената уз предикторске функције за различите периоде посматрања

	Клинометар 17			
	7 година	6 година	5 година	4 године
A0	0.2100	0.2105	0.1851	0.1186
A1	-0.0063	-0.0082	-0.0121	-0.0039
A2	-0.0001	0.0000	0.0002	-0.0001
A3	0.0333	0.0230	0.0397	0.0113
A4	-0.0065	0.0002	-0.0069	0.0005
A5	0.0000	-0.0007	0.0000	-0.0006
A6	-0.0812	-0.0969	-0.1093	-0.0842
A7	-0.1324	-0.1294	-0.0992	-0.1146
A8	0.0074	0.0137	0.0126	0.0179
A9	-0.0255	-0.0238	-0.0245	-0.0328
A10	-0.0109	-0.0167	-0.0233	-0.0232
A11	0.0138	0.0171	0.0198	0.0288
A12	-0.0034	0.0054	0.0023	-0.0021
A13	0.0021	0.0031	0.0052	0.0036
A14	0.0089	0.0078	0.0079	0.0110
A15	-0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0003

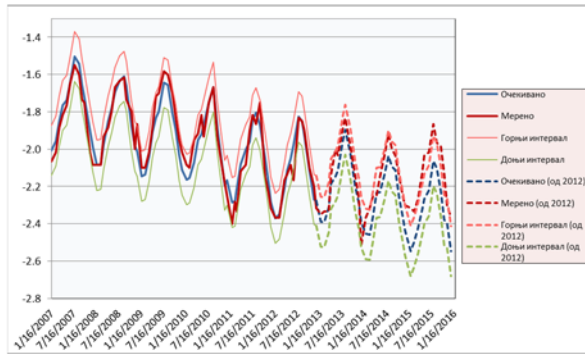
Табела 2. Вредности стандардних девијација разлика мерених и моделованих нагиба за период посматрања и период предвиђања

Станд.девијација	Клинометар 17			
	7 година	6 година	5 година	4 године
σ_{mm}	0.0710	0.0671	0.0679	0.0940
σ_{pp}	0.0750	0.0802	0.0935	0.1109

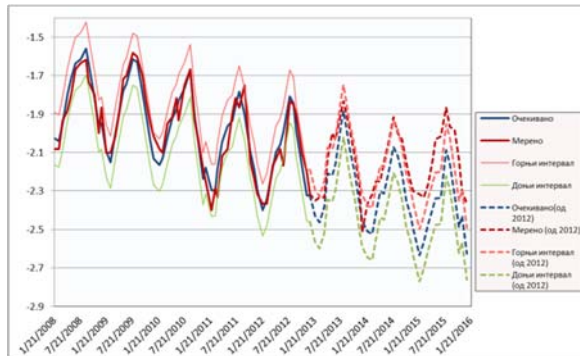


Слика 4. Дијаграм очекиваних и мерених вредности обртања за статистички модел од 7 година на кл-17

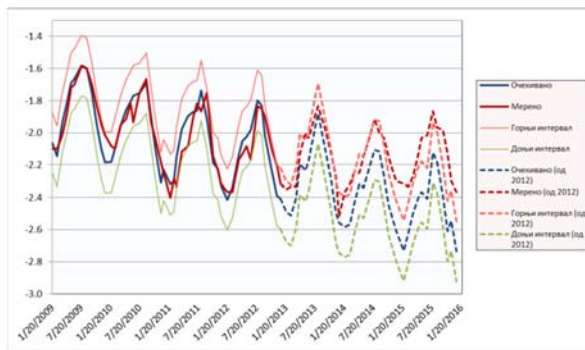
На дијаграму на Слици 4. приказани су резултати регресионе анализе обртања на клинометру кл-17 и то на основу мерених података за претходних 7 година (2006-2012). Пуним линијама су приказане мерене (црвена) и вредности добијене применом модела у том периоду (плава). На дијаграму су приказане и граничне вредности изван којих не би требало да се налазе осматрани подаци (зелена и розе линија). Оне су добијене додавањем односно одузимањем две стандардне девијације σ_{mm} на моделовану вредност [3].



Слика 5. Дијаграм очекиваних и мерених вредности обртања за статистички модел од 6 година на кл-17



Слика 6. Дијаграм очекиваних и мерених вредности обртања за статистички модел од 5 година на кл-17



Слика 7. Дијаграм очекиваних и мерених вредности обртања за статистички модел од 4 година на кл-17

Испрекиданим линијама, (од 2012. до 2015. године) приказани су резултати мерења на брани (црвена), али и очекиване вредности (плава) добијене на основу предикторских коефицијената регресионе анализе претходних 7 година. Такође су приказани и претходно описани гранични интервали до

којих се могу толерисати одступања вредности обртања при нормалном раду (зелена и розе линија).

На дијаграмима на сл. 5, 6, и 7 на исти начин, су приказани резултати регресионе анализе за претходних 6, 5 и 4 године редом. На основу дијаграма се види да су предвиђени резултати за претходних 6 и 7 година у оквиру граничних интервала за понашање у нормалним условима. Такође, анализом вредности стандардних девијација из Табеле 2., али и на основу дијаграма, утврђено је да је потребно моделовање вршити на резултатима за период од најмање 6 претходних година да би очекивања за наредне три била у границама предвиђеног нормалног понашања.

5. ЗАКЉУЧАК

Мерење нагиба је део поступка осматрања код свих значајнијих хидротехничких објеката. У овом раду анализирана су обртања на брани за десетогодишњи период од 2006. до 2015. године, применом регресионе анализе. Дата је функција очекивања промене нагиба у току времена у зависности од узрочних величина и гранични опсег вредности у којима та мерења треба да се налазе. На бази података за претходних 5,6 и 7 година показује се да су разлике мерених и моделованих вредности нагиба са сличном стандардном девијацијом, а да је слагање моделованих и мерених резултата на бази података од 4 године знатно лошија. Предвиђене вредности нагиба за наредне 3 године, а на бази података за претходних 6 и 7 година су у оквиру граничних интервала за нормално понашање бране. За посматрани период од 5, а нарочито 4 године предвиђене вредности излазе изван очекиваних интервала. С обзиром да се читавања врше једном месечно може се закључити да је потребно користити податке бар за 6 претходних година да би моделовање и предвиђање било поуздно. Квалитет моделовања на бази регресионе анализе могао би се побољшати чешћим читавањем резултата на клинометрима, недељним, а најбоље дневним. Значајно је напоменути да коте горње и доње воде мало осцилују, па као такве немају велики утицај на промену нагиба, за разлику од температуре ваздуха чији утицај је доминантан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] De Sortis A., Paoliani P., „Statistical Analysis and structural identification in concrete dam monitoring“, *Engineering structures*, vol. 29, 2007, pp 110-120
- [2] Mata J., „Interpretation of concrete dam behaviour with artificial neural network and multiple linear regression models“, *Engineering structures*, vol. 33, 2011, pp 903-910
- [3] Radovanović S., Brajović Lj., Pavić M., Đurić S., Randelović S., Milivojević V., „Merenje nagiba kod gravitacionih betonskih brana primenom instrumenta tiltmetar“, *Tehnika*, vol. 69, no. 3, 2015, pp 415-423