



2012.
GODINA
LV



GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

2

BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

ČASOPIS ZA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA
JOURNAL FOR RESEARCH OF MATERIALS AND STRUCTURES



DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE
SOCIETY FOR MATERIALS AND STRUCTURES TESTING OF SERBIA

Odlukom Skupštine ***Društva za ispitivanje materijala i konstrukcija***, održane 19. aprila 2011. godine u Beogradu, promenjeno je ime časopisa **Materijali i konstrukcije** i od sada će se časopis publikovati pod imenom **Građevinski materijali i konstrukcije**.

According to the decision of the Assembly of the ***Society for Testing Materials and Structures***, at the meeting held on 19 April 2011 in Belgrade the name of the Journal **Materijali i konstrukcije** (Materials and Structures) is changed into **Building Materials and Structures**.

Professor Radomir Folic
Editor-in-Chief

GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

ČASOPIS ZA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA
JOURNAL FOR RESEARCH IN THE FIELD OF MATERIALS AND STRUCTURES

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Professor **Radomir Folić**, Editor in-Chief
Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Serbia
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
e-mail: folic@uns.ac.rs

Assoc. professor **Mirjana Malešev**, Deputy editor
Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad,
Serbia
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
e-mail: miram@uns.ac.rs

Dr **Ksenija Janković**
Institute for Testing Materials, Belgrade, Serbia
Institut za ispitivanje materijala, Beograd, Srbija

Dr **Jose Adam, ICITECH**
Department of Construction Engineering, Valencia,
Spain.

Professor **Radu Banchila**
Dep. of Civil Eng. „Politehnica“ University of
Timisoara, Romania

Professor **Dubravka Bjegović**
Civil Engineering Institute of Croatia, Zagreb, Croatia

Assoc. professor **Meri Cvetkovska**
Faculty of Civil Eng. University "St Kiril and Metodij",
Skopje, Macedonia

Professor **Michael Forde**
University of Edinburgh, Dep. of Environmental Eng.
UK

Dr **Vladimir Gocevski**
Hydro-Quebec, Motreal, Canada

Professor **Miklos Ivanyi**
University of Pecs, Faculty of Engineering, Hungary.

Professor **Asterios Liolios**
Democratous University of Trace, Faculty of Civil Eng.,
Greece

Predrag Popović
Wiss, Janney, Elstner Associates, Northbrook, Illinois,
USA.

Professor **Tom Schanz**
Ruhr University of Bochum, Germany

Professor **Valeriu Stoin**
Dep. of Civil Eng. „Poloitehnica“ University of
Timisoara, Romania

Acad. Professor **Miha Tomazević**, SNB and CEI,
Slovenian Academy of Sciences and Arts,

Professor **Mihailo Trifunac**, Civil Eng.
Department University of Southern California, Los
Angeles, USA

Lektori za srpski jezik: Mr **Miloš Zubac**, profesor

Proofreader: **Aleksandra Borojev**, profesor
Prof. **Jelisaveta Šafranj**, Ph D

Technical editor: **Stoja Todorovic**, e-mail: saska@imk.grf.bg.ac.rs

PUBLISHER

Society for Materials and Structures Testing of Serbia, 11000 Belgrade, Kneza Milosa 9
Telephone: 381 11/3242-589; e-mail: dimk@ptt.rs, veb sajt: www.dimk.rs

REVIEWERS: All papers were reviewed

COVER: Probno opterećenje čelične prostorne rešetkaste konstrukcije - Sportska hala u Senti
Testing Load of Steel Truss Space Structure - Sport Hall in Senta

Financial supports: Ministry of Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia

DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE
SOCIETY FOR MATERIALS AND STRUCTURES TESTING OF SERBIA

GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

ČASOPIS ZA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA
JOURNAL FOR RESEARCH IN THE FIELD OF MATERIALS AND STRUCTURES

SADRŽAJ

Elefterija ZLATANOVIĆ Dragan LUKIĆ Aleksandar PROKIĆ FIZIČKI MODELI TUNELSKIH OBJEKATA U EKSPERIMENTALNIM ISTRAŽIVANJIMA – II Deo: Metode modeliranja i merenja reakcije tla na iskop tunelskih objekata Pregledni rad	3
Branislav POPKONSTANTINOVIĆ Sonja KRASIĆ Ana PERIŠIĆ FLY-THROUGH ANIMACIJA KAO VID SAVREMENE PREZENTACIJE U GRAĐEVINARSTVU I ARHITEKTURI Stručni rad	11
Vladimir MUČENSKI Igor PEŠKO Milan TRIVUNIĆ Jasmina DRAŽIĆ Goran ČIROVIĆ OPTIMIZACIJA NEURONSKE MREŽE ZA PROCENU POTREBNIH KOLIČINA BETONA I ARMATURE U VIŠESPRATNIM OBJEKTIMA Originalni naučni rad	27
Anja TERZIĆ Ljubica PAVLOVIĆ Ljiljana MILIČIĆ Zagorka RADOJEVIĆ SVOJSTVA VATROSTALNOG VEZIVA NA BAZI OTPADNOG MATERIJALA Originalni naučni rad	47
Uputstvo autorima	58

CONTENTS

Elefterija ZLATANOVIĆ Dragan LUKIĆ Aleksandar PROKIĆ PHYSICAL MODELING OF TUNNEL STRUCTURES IN EXPERIMENTAL TESTS – Part II: Modeling and measuring approaches of ground response to tunneling Review paper	3
Branislav POPKONSTANTINOVIĆ Sonja KRASIĆ Ana PERISIC FLY-THROUGH ANIMATION AS A WAY OF MODERN PRESENTATION IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE Professionnal paper	11
Vladimir MUCENSKI Igor PESKO Milan TRIVUNIC Jasmina DRAZIC Goran CIROVIC OPTIMIZATION FOR ESTIMATING THE AMOUNT OF CONCRETE AND REINFORCEMENT REQUIRED FOR MULTI-STORY BUILDINGS Original scientific paper	27
Anja TERZIC Ljubica PAVLOVIC Ljiljana MILICIC Zagorka RADOJEVIC PROPERTIES OF REFRACTORY BONDING AGENT BASED ON WASTE MATERIAL Original scientific paper	47
Preview report	58

СГР - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

620.1

GRAĐEVINSKI materijali i konstrukcije :
časopis za istraživanja u oblasti materijala
i konstrukcija = Building Materials and
Structures : journal for research of
materials and structures / editor-in-chief
Radomir Folić. - God. 54, br. 1 (2011)-
- Beograd (Kneza Miloša 9) : Društvo za
ispitivanje i istraživanje materijala i
konstrukcija Srbije, 2011- (Novi Beograd :
Hektor print). - 30 cm

Tromesečno. - Je nastavak: Materijali i
konstrukcije = ISSN 0543-0798
ISSN 2217-8139 = Građevinski materijali i
konstrukcije
COBISS.SR-ID 188695820



FIZIČKI MODELI TUNELSKIH OBJEKATA U EKSPERIMENTALNIM ISTRAŽIVANJIMA – II Deo: Metode modeliranja i merenja reakcije tla na iskop tunelskih objekata

PHYSICAL MODELING OF TUNNEL STRUCTURES IN EXPERIMENTAL TESTS – Part II: Modeling and measuring approaches of ground response to tunneling

Elefterija ZLATANOVIĆ
Dragan LUKIĆ
Aleksandar PROKIĆ

PREGLEDNI RAD
UDK: 624.191.042.1 = 861

1 UVOD

Iako su se s razvojem kompjuterske tehnike pojavile mnogobrojne numeričke i analitičke metode istraživanja u tunelogradnji, inženjeri geotehnike i istraživači ipak pretežno pribegavaju ispitivanjima na fizičkim modelima, s ciljem razumevanja različitih fenomena u izgradnji tunelskih objekata, pre svega načina nastajanja deformacija i mehanizma loma.

Najpristupačnije i najekonomičnije izučavanje odgovora tla kao posledice izgradnje tunela upravo jeste na bazi redukovanih fizičkih modela. Naime, laboratorijska ispitivanja na modelima u uslovima gravitacione sile Zemlje ili u centrifugi omogućuju istraživanje najrelevantnijih faktora koji utiču na ponašanje tunelskih objekata. Rezultati tih testiranja takođe mogu obezbediti neprocenjivo važne podatke koji će doprineti poboljšanju i nadogradnji izabranog numeričkog modela.

Metode koje su bile opisane u prvom delu ovog rada ne predstavljaju sveobuhvatni prikaz svih tehnika fizičkog modeliranja tunelskih objekata. Pre je reč o sažetom prikazu najrelevantnijih metoda koje uključuju najrazličitije operativne mehanizme i ispituju najrazličitije aspekte efekata iskopa i izgradnje tunelskih objekata.

1 INTRODUCTION

Although the advances in computational techniques have led to the development of extensive numerical and analytical tunnelling research methodology, geotechnical engineering researchers depend heavily on physical modelling to understand different phenomena related to tunnelling, such as deformation patterns and failure mechanisms.

The most suitable and efficient investigation on ground response to tunnelling is based exactly on reduced physical models. Namely, laboratory model tests conducted under gravity or in a centrifuge allow investigation of the most relevant factors influencing the tunnel behaviour. Testing results also provide valuable data for refining the chosen numerical model.

The methods discussed in the first part of this paper lack comprehensive review of all physical tunnel modelling techniques. They represent a brief description of selected methods that involve a distinct operating mechanism or investigate different aspects of tunnelling.

Elefterija Zlatanović, assistant, grad.civ.eng., Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš, Serbia
e-mail: elefterija2006@yahoo.com
Dragan Lukić, full professor, grad.civ.eng., Faculty of Civil Engineering, Subotica, University of Novi Sad, Serbia
e-mail: drlukic.lukic@gmail.com
Aleksandar Prokić, full professor, grad.civ.eng., Faculty of Civil Engineering, Subotica, University of Novi Sad, Serbia
e-mail: aprokic@Eunet.rs

Elefterija Zlatanović, assistant, grad.civ.eng., Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš, Serbia
e-mail: elefterija2006@yahoo.com
Dragan Lukić, full professor, grad.civ.eng., Faculty of Civil Engineering, Subotica, University of Novi Sad, Serbia
e-mail: drlukic.lukic@gmail.com
Aleksandar Prokić, full professor, grad.civ.eng., Faculty of Civil Engineering, Subotica, University of Novi Sad, Serbia
e-mail: aprokic@Eunet.rs

Pored metoda modeliranja iskopa tunelskih objekata, koje koriste različite operative mehanizme i ispituju različite aspekte izgradnje tunela, veoma značajne u geotehničkom građevinarstvu jesu i metode koje simuliraju reakciju okolnog medijuma (tlo, stena) na iskop tunelskog otvora.

2 METODE MODELIRANJA REAKCIJE TLA NA ISKOP TUNELA

Jedna od metoda kojima se simulira reakcija tla na iskop tunela jeste metoda koja se bazira na principu sile trenja. Ova metoda je prvi put primenjena s ciljem reprodukcije efekta gravitacione sile i vizuelizacije pomeranja u 2D modelima tunela, ugrađenih u stenski materijal. Gravitacija je simulirana kočenjem pogonskog remena koji se pomera duž osnove modela (Hoek, 1971; Goodman, 1972; Whyte, 1973; Egger and Gindroz, 1979; Bray and Goodman, 1981; etc.). Metod omogućuje vizuelnu opservaciju pomeranja i mehanizma loma tla, kao rezultat iskopa tunelskog otvora.

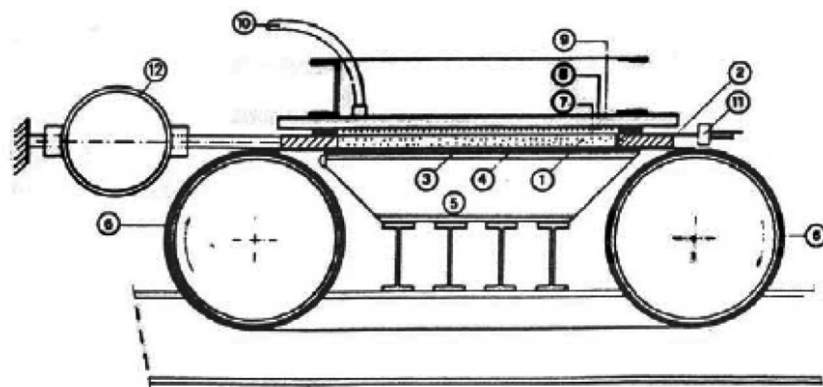
Poprečni presek mašine za simulaciju sile trenja i šablon nastanka loma u okolini plitko položenih tunelskih objekata ilustrovani su na slici 1.

Besides the tunnel excavation modeling techniques that use a distinct operating mechanism or investigate different aspects of tunneling, methods to simulate ground (soil/rock) response to tunneling are also of interest to geotechnical engineers.

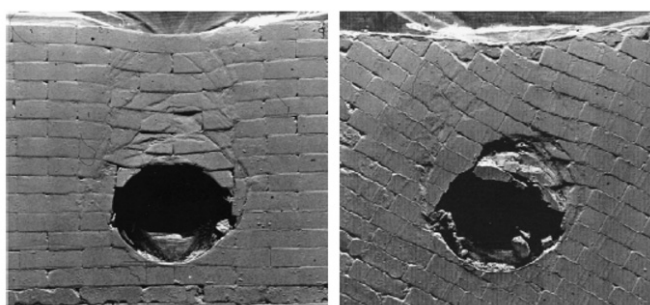
2 MODELING TECHNIQUES OF GROUND RESPONSE TO TUNNEL EXCAVATION

The base friction method has been used to reproduce the effect of gravity and visualize displacements in 2D physical models of mainly rock tunnels. Gravity is simulated by the drag of a belt moving along the model base (e.g. Hoek, 1971; Goodman, 1972; Whyte, 1973; Egger and Gindroz, 1979; Bray and Goodman, 1981; etc.). The method allows one to visually observe the ground movement and the failure mechanisms resulting from tunnel excavation.

A cross section of the base friction machine and an example demonstrating the failure pattern around shallow tunnels are shown in Fig. 1.



A cross section of the base friction machine: (1) model, (2) steel frame, (3) moving belt, (4) Teflon sheet, (5) steel table, (6) drums, (7) thin plastic sheet, (8) pressurized space, (9) Perspex plate, (10) air duct, (11) pressure cells, (12) dynamometer rings.



Failure mechanism of shallow tunnels in rock tested using the base friction method

Slika 1. Model po metodi baznog trenja (Egger and Gindroz, 1979)
Figure 1. Model in base friction method (Egger and Gindroz, 1979)

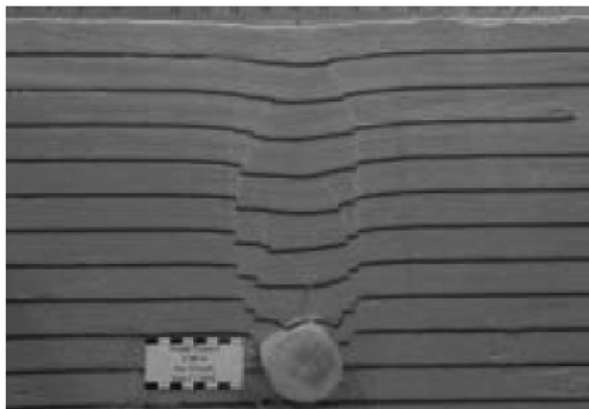
3 VIZUELIZACIJA I MERENJE REAKCIJE TLA NA ISKOP TUNELA

Jedan od načina merenja odgovora tla na iskop tunela jeste instaliranje konvencionalnih LVDT transdjusera (linear variable differential transformers) na površini modela terena, kojima je omogućeno snimanje sleganja tla, izazvanih radovima na iskopu tunela. Po ovoj metodi, sleganja tla mere se u određenim tačkama na površini modela tla, a posledica toga jesu nepotpuni podaci o pomeranjima u bilo kom drugom području oko tunelskog iskopa. Stoga, proteklih decenija akcenat je bio na razvoju tehnika merenja deformacija pomeranja i unutar modela tla, kako tokom iskopa, tako i nakon iskopa tunelskog profila.

U daljem tekstu kratko su opisane neke od najčešće primenjivanih tehnika vizuelizacije i merenja reakcije tla na iskop tunelskih profila.

3.1 Slojevi u boji

Chambon i Corte (1994) prvi put su primenili slojeve od obojenog peska za snimanje pojave i razvoja loma tla. Naime, u fazi ugrađivanja modela tla, slojevi od obojenog peska postavljaju se u izvesnim intervalima, tj. na izvesnom međusobnom razmaku. Nakon završetka testiranja, model tla se preseca vertikalnim ravnima na više mesta. Deformacija slojeva obojenog peska daje vizuelni uvid u mehanizam loma (slika 2). Primena slojeva tla u boji omogućuje jedinstveni uvid u razvoj deformacija tla sve do pojave loma.



Slika 2. Slojevi obojenog peska (Lee et al., 2004)
Figure 2. Layers of colored sand (Lee et al., 2004)

3.2 Obojeni špageti

Wu i Lee 2003. godine upotreбили su špageti u boji radi vizuelizacije procesa sleganja tla, od početka testiranja pa do samog loma. Serija špageta bila je smeštena u tlu. Naime, špageti apsorbiraju vodu iz tla i deformišu se zajedno s tlom. Nakon završetka eksperimenta, zaključci o deformacijama tla izvode se na osnovu pozicije svake od špageta. Ovaj metod pokazao je veoma dobre rezultate.

3 VISUALISATION AND MEASUREMENT OF GROUND RESPONSE TO TUNNEL EXCAVATION

One approach to measure ground response to tunnelling is to install conventional LVDT (linear variable differential transformers) transducers at the soil surface to record the induced settlement trough. This method allows measuring particular points at the surface and lack comprehensive data on displacements elsewhere around the tunnel. Methods have been developed to measure displacements inside the soil medium during and after tunnel excavation.

Some of the techniques of visualisation and measurements of ground response to tunnel excavation are described below.

3.1 Colored layers

Chambon and Corte (1994) used layers of colored sand to record the development of the failure mechanism. During the soil placement, layers of colored sand were inserted at known intervals. After completion of the test, the sand was cut into different vertical planes. The deformation of the colored sand layers allowed one to visually observe the failure mechanism (Fig. 2). The use of colored layers of soil provides a unique view of the soil deformation up to failure.

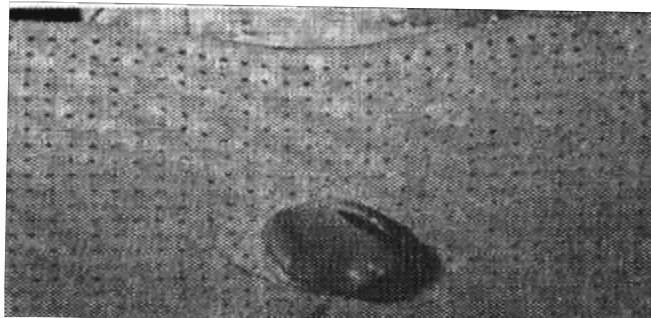
3.2 Colored spaghetti

Wu and Lee (2003) used colored spaghetti noodles to visualize the soil movement from the beginning of the test throughout failure. A series of marked spaghetti were placed in the soil. The spaghetti absorbs water from the soil and deforms along with it. After completion of the test, soil displacement was obtained by digging out the spaghetti and carefully recording the post-test position of each one of them. This method is innovative and is reported to have produced satisfactory results.

3.3 Olovne kuglice i profilisane letvice

Ova tehnika primenjuje se za merenje veličine pomeranja u modelima s depozitom od peska (Roscoe et al., 1963). Pokazala se veoma uspešnom u u određivanju kontura smičućih i zapreminskih deformacija, s preciznošću od čak 0,1 % u modelima velikih dimenzija – 2,0 x 5,0 m. Tokom formiranja modela tla, postavlja se mreža olovnih kuglica u ravni koja je upravna na tunelsku osu. Izlaganjem radiografa olovnim kuglicama u pravilnim intervalima i posmatranjem njihovih pokreta, dobijaju se snimci koji omogućavaju merenje veličine pomeranja i deformacije tla. Metoda ima ograničenje u svojoj primeni, a ono se ogleda u činjenici da samo jedan presek može biti ispitivan u datom trenutku. Takođe, nedostatak predstavlja i to što je za izlaganje radiografa olovnim kuglicama potrebno izvesno vreme (od 7 do 10 minuta). Primenu metode sa olovnim kuglicama za ekperimente u centrifugi teško je zamisliti, zbog velike brzine rotiranja i nedovoljno vremena za izlaganje radiografa kuglicama.

Veoma slična prethodno opisanoj metodi jeste i metoda (Atkinson et al., 1977) po kojoj se markeri u vidu profilisanih letvica postavljaju u tlo, tako da ostanu vidljivi (slika 3). Postupak rada gotovo je isti kao i u metodi sa olovnim kuglicama, s tim što primena markera u vidu profilisanih letvica ima i dodatni nedostatak, a to je činjenica da usled deformacije tla one gube svoj prvobitni položaj i postaju nejasne, pa se stoga koriste samo na vidljivoj površini (kao što je čeona površina tunela). Prednost metode jeste to što pozicija markera može biti snimljena običnom kamerom, tako da je ekonomična u pogledu operativnog vremena, za razliku od slučaja sa olovnim kuglicama. Međutim, postoji bojazan da ovakva oprema, u neku ruku, može da utiče na merene deformacije. Ukoliko je mreža letvica suviše gusta, onda one i te kako mogu da utiču na odgovor tla na iskop tunelskog otvora; međutim, s druge strane, ređi raspored mernih sprava daje ograničen broj podataka.



Slika 3. Olovni markeri položeni u modelu peska (Higawara et al., 1999)
Figure 3. Lead markers in sand (Higawara et al., 1999)

3.4 Fotogrametrija tla

Fotogrametrija predstavlja veoma popularnu tehniku merenja deformacija tla na površini modela terena i oko tunelskog iskopa, koja ne zahteva lociranje na model ili u model. Pre svega, reč je o PIV tehnici (*particle image velocimetry*), na čijem razvoju i primeni su radili brojni istraživači (Allersma, 1996; White and Take, 2002). Ova

3.3 Lead shots and marker beads

The lead shots technique has been widely used to measure displacement pattern in sand models (Roscoe et al., 1963). The technique was successfully used to produce contours of shear and volumetric strain with a precision of 0.1 % in large (2.0 m x 0.5 m) models (James, 1965). During soil placement, a grid of lead shots is placed in a plane perpendicular to the tunnel axis. By exposing radiographs to the lead shots at regular intervals and when observing their movements, the resulting images allow measuring displacement and strain fields in the soil. This is limited by the fact that only one plane can be examined at a time. It also takes a significant amount of time (7–10 min) to fully expose the radiographs to the lead shots.

A similar method is to place visible markers (Atkinson et al., 1977) in the soil over the front plane of the box against a clear wall (Fig. 3). This works in much the same way as the lead shot method, with the position of the markers observed repeatedly over the progress of the test. Using marker beads has the added disadvantage that they can become obscured by the soil during deformation and can only be used on a visible plane (i.e. the face). Visible markers therefore have many of the same disadvantages as the lead shot method, on the other hand since the position of visible markers can be recorded by a normal camera they do not require exposure time nearly as long as lead shot. When using marker beads or lead shots placed in the soil, there is a concern that the presence of the beads or the lead shots in the soil affects the measured deformation. Using too dense grid of marker beads may influence the soil deformation; on the other hand using a sparse grid of markers will only provide limited data.

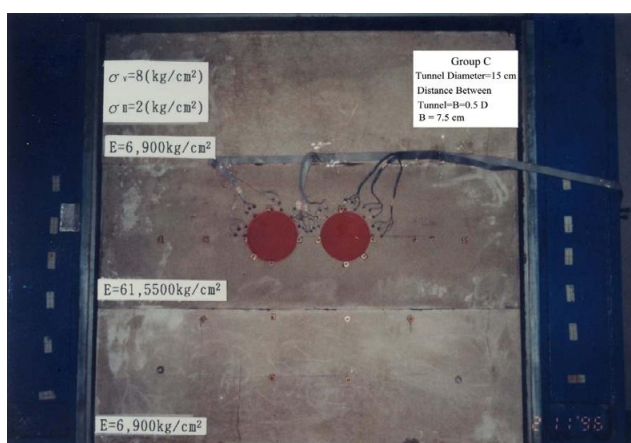
3.4 Soil photogrammetry

Photogrammetry has become a popular non-intrusive means by which ground displacement at the surface and around an excavated tunnel can be measured. Several investigators (e.g. Allersma, 1996; White and Take, 2002) have reported the usefulness of applying the particle image velocimetry (PIV) technique to geotechnical

tehnika se karakteriše određivanjem teksture na snimku tla putem serije snimanja. Početna slika podeljena je mrežom na fragmente. Da bi se našla izmeštena pozicija fragmenta na narednoj slici, procenjuje se korelacija između fragmenta s prvog snimka i šireg opsega sa istog dela na drugoj slici. Lokacija na kojoj je postignuta najveća korelacija daje informacije o izmeštenoj poziciji posmatranog fragmenta. Kako se PIV primenjuje na snimcima, stoga merni uređaji ili markeri ne moraju biti instalirani u model posmatranog tla.

3.5 Merne trake

Jedan od eksperimenata na modelu dva paralelna bliska tunela (Bin-lin Chu et al., 2007), rađen je s ciljem proučavanja mehaničkih karakteristika para tunelskih objekata, u modelu slojevite stenske mase i pod različitim naponskim stanjima. Eksperimentalni model dva paralelna bliska tunelska iskopa, s postavljenim instrumentima pre i posle iskopa, prikazan je na slici 4.



a



b

Slika 4. Model za ispitivanje dva paralelna bliska tunelska iskopa sa instrumentima:
a – pre iskopa; b – posle iskopa

Figure 4. Model test of twin tunnels with instrumentations:
a – before excavation; b – after excavation

Merenja u blizini dva tunelska iskopa obuhvataju promene praćene deformacijama, kao i relativna pomeranja u radialnom smislu. Ove veličine se mere pre i posle iskopa tunela. Za svaki tunel instalirano je po pet mernih traka za merenja u tri pravca (0° , 45° i 90°), raspoređenih na gornjem delu tunela. Na osnovu čitanja mernih vrednosti s mernih traka, moguće je sračunati radialne i tangencijalne dilatacije. Rastojanje između mernih traka i tunela iznosi 1 cm (slika 5).

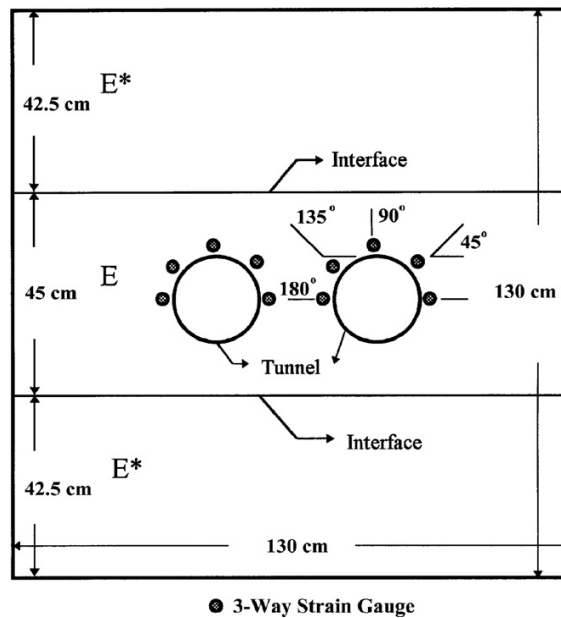
Oko svakog od dva tunelska iskopa obeležena je serija fiksiranih tačaka radi merenja relativnih radialnih pomeranja oko tunelskih otvora nakon njihovog iskopa. Za slučaj dvoslojne formacije, za svaki od tunela obeleženo je po 16 tačaka (slika 6a), dok je u slučaju homogenih ili troslojnih formacija taj broj tačaka manji (11), jer je ponašanje stenske mase simetrično i u horizontalnom i u vertikalnom smislu (slika 6b).

Utvrđen je i izvestan broj repernih tačaka u graničnoj zoni, takođe za merenje relativnih radialnih pomeranja (slika 6).

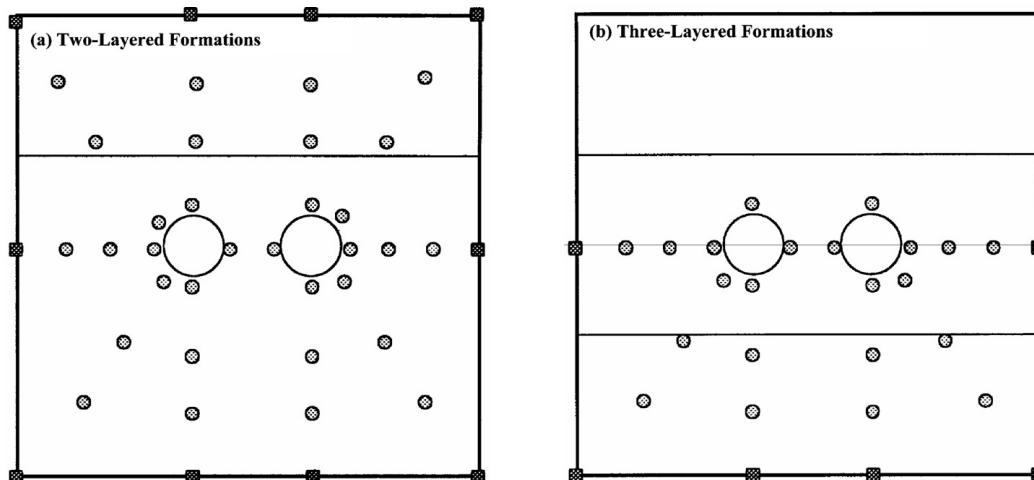
Measurements around the twin-tunnel include the changes of strains and relative radial displacements. These changes are measured before and after the tunnel excavation. For each tunnel, 5 three-way strain gauges (can measure strains at 0° , 45° , and 90°) are installed around the upper portion of the tunnel, shown in Fig. 5. Therefore, the tangential and radial strains can be calculated from the readings of the strain gauges. The distance between each strain gauge and the tunnel is 1 cm.

A series of fixed points are placed around each tunnel to measure the relative radial displacements around the tunnel after opening. For two-layered formations as shown in Fig. 6a, 16 fixed points are designed for each tunnel. For a homogeneous body and three-layered formations, shown in Fig. 6b, only 11 fixed points are planned for each tunnel since the behavior of the rock body is symmetrical in the vertical and horizontal directions.

Several benchmark points are also selected at the boundaries for measurement of relative radial displacements, as shown in Fig. 6.



Slika 5. Merne trake sa tri merna pravca oko tunelskih otvora
 Figure 5. Three-way strain gauges around the upper portion of the twin tunnels



Slika 6. Raspored tačaka fiksiranih za merenje pomeranja oko tunelskih iskopa u:
 a – dvoslojnoj formaciji; b – troslojnoj formaciji
 Figure 6. Fixed points for displacement measurements around twin tunnels in:
 a – two-layered formation; b – three-layered formation

4 ZAKLJUČAK

Tunelski objekti imaju veoma važnu ulogu u saobraćajnoj infrastruktornoj mreži. Takođe, zbog sve češće lociranosti ispod gusto naseljenih urbanih zona i izgradnje u seizmički aktivnim područjima [13],[15], bezbednosni standardi tunelskih objekata moraju biti izrazito visoki. Veoma često u radu na tunelskim objektima inženjeri se oslanjaju na empirijske metode, zasnovane na limitiranom broju podataka s terena, naročito kada je reč o sleganjima površine terena [12],[14]. Te metode polaze od pretpostavke ravnog stanja deformacija i često zanemaruju trodimenzionalnu sliku procesa izgradnje tunela.

4 CONCLUSION

Tunnel structures play an important role in the traffic infrastructure network. Also, because more often being located below densely populated urban areas and constructed in seismically active areas [13],[15], tunnel safety standards must be very high. Very often in the work on the tunnel facilities engineers rely on empirical methods, which are based on the limited number of field data, especially when it comes to the ground surface settlement [12],[14]. These methods assume plane strain conditions and often ignore three-dimensional image of the process of tunnel construction.

Na osnovu svih prethodno navedenih činjenica, nameće se zaključak da je najpristupačnije i najekonomičnije izučavanje odgovora tla kao posledice izgradnje tunela upravo na bazi redukovanih fizičkih modela. Naime, laboratorijska ispitivanja na modelima u uslovima gravitacione sile Zemlje ili u centrifugi omogućuju istraživanje najrelevantnijih faktora koji utiču na ponašanje tunelskih objekata. Rezultati tih testiranja takođe mogu obezbediti neprocenljivo važne podatke koji će doprineti poboljšanju i nadogradnji izabranog numeričkog modela.

S ciljem eksperimentalnih istraživanja različitih aspekata reakcije tla na izgradnju tunelskih objekata, razvijeno je nekoliko pristupa u modeliranju. Postoje brojne tehnike vizuelizacije i merenja reakcije tla na iskop tunelskog profila, čija primena zavisi prvenstveno od vrste tla. Kada je reč o vizuelizaciji reakcije tla na iskop tunelskih objekata, tu pre svega treba pomenuti primenu obojenih špageta ili slojeva tla u boji, dok od tehnika za merenje odgovora tla na iskop tunelskih profila posebno treba istaći primenu olovnih markera u vidu kuglica ili profilisanih letvica, zatim tehniku fotogrametrije tla, kao i primenu LVDT (*linear variable differential transformers*) transdjusera i mernih traka.

Radi poboljšanja postojećih tehnika, kao i razvoja novih metoda koji bi omogućili što realniju simulaciju i merenja reakcije okolnog medijuma (tlo, stena) na iskop tunelskog otvora, neophodna su dalja istraživanja.

Based on all of the above facts, it could be concluded that the most accessible and cost-effective study on the soil response as a result of construction of the tunnel is exactly on the basis of reduced physical models. In fact, laboratory tests on the models in terms of gravity or in a centrifuge make it possible to explore the most relevant factors that influence the behavior of tunnel facilities. The results of these tests can also provide invaluable information that will contribute to improvement and upgrading of selected numerical model.

For the purpose of experimental research on various aspects of soil reaction on the process of building tunnel facilities, several modelling approaches are developed. There are numerous techniques of visualization and measurement of soil reaction on the process of excavation of the tunnel profile, the application of which depends primarily on the type of soil. As for the visualization of soil response on the excavation of tunnel structures, there should be mentioned the use of coloured spaghetti or coloured layers of soil, while from the techniques of measuring the response of soil in the process of tunnel excavation most notable are the application of lead-acid markers in the form of shots or beads, then the technique of ground photogrammetry and LVDT transducers as well as the application of strain gauges.

Further research is necessary to improve existing techniques and develop new methods that would allow the realistic simulation and measurement of the response of the surrounding medium (soil/rock) on the tunnel excavation.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje podržalo je Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, u okviru naučnoistraživačkih projekata TR 36028 i TR 36043.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is supported by Ministry of Education and Science of Republic of Serbia, in the scope of the scientific-research projects TR 36028 and TR 36043.

5 LITERATURA REFERENCES

- [1] Meguid M.A., Saada O., Nunes M.A., Mattar J.: *Physical modeling of tunnels in soft ground: A review*, Tunneling and Underground Space Technology 23 (2008), pp.185-198
- [2] Bin-Lin Chu, Sung-Chi Hsu, Yi-Long Chang, Yeong-Shyang Lin: *Mechanical behaviour of a twin-tunnel in multi-layered formations*, Tunneling and Underground Space Technology 22 (2007), pp.351-362
- [3] Augarde C.E. et al.: Some experiences of modeling tunneling in soft ground using three-dimensional finite elements (10 pages)
- [4] Augarde C.E. et al.: *A three-dimensional finite element model of tunneling*, Numerical models in geomechanics NUMOG V, Rotterdam, 1995, pp.457-462
- [5] Karakus M.: Appraising the methods accounting for 3D tunneling effects in 2D plane strain FE analysis, Tunneling and Underground Space Technology 22 (2007), pp.47-56
- [6] Zlatanović E., Lukić D., Prokić A.: *Eksperimentalna istraživanja u geotehničkom zemljotresnom inženjerstvu*, Zbornik radova sa prvog nacionalnog simpozijuma sa međunarodnim učešćem "Teorijska i eksperimentalna istraživanja konstrukcija i njihova primena u građevinarstvu - TEIK 2010", Niš, Srbija, 18.-19. mart 2010, str.D-49 - D-60 (knjiga 3)
- [7] Zlatanovic E., Lukic D., Prokic A.: *Measuring methods and equipment in construction and serviceability period of tunnel structures*, III Symposium of Macedonian Association for Geotechnics, Struga, Republic of Macedonia, June 24-26, 2010, pp.31-38
- [8] Zlatanović E.: *Jet Grouting*, Materijali i konstrukcije 52, br. 1, Beograd, 2009, str. 82-90
- [9] Tomanović Z.: Očvršćavanje meke stijene nakon dugotrajnog pritiska i omekšanje pod dejstvom cikličnog opterećenja, Materijali i konstrukcije 52, br.2, Beograd, 2009, str. 3-15

- [10] Vukićević M.: Primena numeričke integracije napona kod elastoplastičnih modela za tlo u analizi geotehničkih konstrukcija MKE, Materijali i konstrukcije 51, br.4, Beograd, 2008, str. 81-87
- [11] Tomanović Z.: *Reološki model puzanja matriksa meke stijene*, Materijali i konstrukcije 50, br.1-2, Beograd, 2007, str. 3-19
- [12] Lukić D., Prokić A., Zlatanović E.: *Analiza interakcije tunela, tla i šipa*, Zbornik radova četvrtog naučno-stručnog savetovanja: Geotehnički aspekti građevinarstva, Zlatibor, 2011, str.407-413
- [13] Zlatanović E., Lukić D.: *Važni aspekti seizmičke analize dva paralelna bliska tunnelska objekta na vibro-platforni*, Časopis Izgradnja 64, 2010, No. 5-6/2010, str. 372-382
- [14] Lukić D., Zlatanović E.: *Ruling parameters for seismic analysis of twin-tunnels*, International conference on earthquake engineering BE40CE, Book: Planning, design, construction and rehabilitation of buildings and other engineering facilities in seismically active areas, Banja Luka 2009, pp. 395-406
- [15] Zlatanović E., Lukić D.: *Numerical study of a shield tunnel driven in soft saturated soil with respect to earthquake loading*, 14th European Conference on Earthquake Engineering - 14ECEE, Macedonian Association for Earthquake Engineering (MAEE) & European Association for Earthquake Engineering (EAEE), List of reviewed and accepted papers (page 47 of 48), RegID 500, Ohrid, 2010, AbsID 725

REZIME

FIZIČKI MODELI TUNELSKIH OBJEKATA U EKSPERIMENTALNIM ISTRAŽIVANJIMA – II deo: Metode modeliranja i merenja reakcije tla na iskop tunnelskih objekata

Elefterija ZLATANOVIĆ
 Dragan LUKIĆ
 Aleksandar PROKIĆ

Iako su se s razvojem kompjuterske tehnike pojavile mnogobrojne numeričke i analitičke metode istraživanja u tunelogradnji, inženjeri geotehnike i istraživači ipak pretežno pribegavaju ispitivanjima na fizičkim modelima, s ciljem razumevanja različitih fenomena u izgradnji tunnelskih objekata, pre svega načina nastajanja deformacija i mehanizma loma. Ova ispitivanja mogu biti sprovedena ili u uslovima 1g ubrzanja ili u centrifugi. Dok su u prvom delu ovog rada bile prikazane tehnike modeliranja iskopa tunnelskih objekata, u ovom delu akcenat je na metodama modeliranja i merenja reakcije tla na iskop tunnelskog objekta.

Ključne reči: tunelogradnja, fizički modeli, reakcija tla na iskop tunela, metode modeliranja i merenja

SUMMARY

PHYSICAL MODELING OF TUNNEL STRUCTURES IN EXPERIMENTAL TESTS – Part II: Modeling and measuring approaches of ground response to tunneling

Elefterija ZLATANOVIĆ
 Dragan LUKIĆ
 Aleksandar PROKIĆ

Although the advances in computational techniques have led to the development of extensive numerical and analytical tunnelling research methodology, geotechnical engineering researchers depend heavily on physical modelling to understand different phenomena related to tunnelling, such as deformation patterns and failure mechanisms. Tests are usually conducted under 1g conditions or in a centrifuge. Whereas in the first part of the paper a variety of modelling techniques of tunnel excavation had been proposed, in this part several modelling and measuring approaches of ground response to tunnelling are emphasized.

Keywords: tunneling, physical modeling, ground response to tunneling, modeling and measuring approaches

FLY-THROUGH ANIMACIJA KAO VID SAVREMENE PREZENTACIJE U GRAĐEVINARSTVU I ARHITEKTURI

FLY-THROUGH ANIMATION AS A WAY OF MODERN PRESENTATION IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Branislav POPKONSTANTINOVIĆ
Sonja KRASIĆ
Ana PERIŠIĆ

STRUČNI RAD
UDK: 004.928:[69+72 = 861

1 FLY-THROUGH ANIMACIJA

Animacija u građevinarstvu i arhitekturi jeste prezentaciona tehnika. Prezentacija može biti veoma značajna spona između arhitektonske ideje i sprovođenja te ideje u delo, to jest izgradnje objekta. Građevinski inženjeri i arhitekti oduvek su težili ka tome da svoj objekat objasne i približe javnosti, a posebno investitorima bez čije podrške se objekat ne može izgraditi.

Načini prezentacije projekata menjali su se kroz istoriju, od crteža, preko impresivnih maketa do multimedijalnih prikaza objekata u elektronskoj formi. Cilj svih vidova prezentacije jeste da se pruži što više informacija o projektu. Te informacije bi trebalo da budu što čitljivije kako za stručnjake, tako i za osobe koje nisu iz građevinsko-arhitektonske ili bilo koje druge struke koja se bavi oblikovanjem prostora. Prezentacija je na veoma visokom nivou ako projekat i osnovnu ideju projekta može da pročita i razume svako, bez obzira na stručnost i stepen obrazovanja. Takođe, ne treba zanemariti činjenicu da cilj prezentacije jeste da impresionira potencijalnog naručioca projekta.

Branislav Popkonstantinović, dr, vanredni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije
16, 11120 Beograd,
Srbija, bariton@afrodita.rcub.bg.ac.rs
Sonja Krasić, dr, docent, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-
arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000
Niš, Srbija, sonjak@gaf.ni.ac.rs
Ana Perišić, asistent, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet
tehničkih nauka, Trg D. Obradovića 6, 21121 Novi Sad,
Srbija, arhitektum@windowslive.com

1 FLY-THROUGH ANIMATION

Animation is used as a presentation technique in civil engineering and architecture. When it comes to presentation, it can be an important link between architectural idea and implementation i.e. construction of a facility. Civil engineers and architects have always tried to explain their ideas to the public, especially to investors, because facilities cannot be built without investors support.

The modes of project presentation have changed through history, from drawings and impressive models to multimedia object renders in electronic form. The aim of all forms of presentation is to provide as much information about the project as possible. This information should be readable not only for expert architects, but for wider public, which are not from this profession. Quality of presentation is very high if the basic idea of the project can be understood by everyone, regardless of expertise and level of education. In addition, it should be noted that the goal of presentation is to impress a client.

Branislav Popkonstantinović, PhD, Associate Professor,
University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering,
Kraljice Marije 16, 11120 Belgrade, Serbia,
Email: bariton@afrodita.rcub.bg.ac.rs
Sonja Krasić, PhD, Assistant Professor, University of Niš,
Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia,
sonjak@gaf.ni.ac.rs
Ana Perišić, Assistant, University of Novi Sad, Faculty of
Technical Sciences, Trg D. Obradovića 6,
21121 Novi Sad, Serbia, arhitektum@windowslive.com

U *Fly Through* animacijama, pored arhitektonskih objekata, često se prikazuju i automobili, priroda ili ljudi (Nikolić i Obradović, 2010).

Danas najrasprostranjeniji i najpopularniji vid prezentacije u građevinarstvu i arhitekturi radi se putem digitalnih tehnologija. Postoji veliki broj raznih programa za modelovanje, kao što su *Autodesk 3ds MAX*, *AutoCAD*, *ArchiCAD*, *Solid Works*, *Sketchup*, *Autodesk Maya*, *Blender LightWave 3D*, *Autodesk Softimage*, *CATIA* itd. Cilj svih ovih programa, pored toga što omogućavaju lakše projektovanje i oblikovanje različitih objekata, jeste da se oni prikažu što detaljnije, što realističnije i da budu razumljivi i sagledivi posmatraču. Sve su impresivniji renderi – fotorealistični prikazi projekata, sve su veće mogućnosti digitalnog dočaravanja arhitektonskih projekata. Jedan od najpopularnijih programa za to svakako jeste *Autodesk 3ds MAX*. On je i najčešće korišćen program u svetskim biroima za finalnu prezentaciju projekata. Autori ovog programa već 90-tih godina napravili su verziju 3D studija. Taj program bio je među prvim programima koji su u sebi intergrirali modelovanje, renderovanje i animaciju [26]. Samim tim, popločan je put za povezivanje građevinsko-arhitektonske prezentacije s novim medijumom – animacijom.

1.1 Primena animacije u građevinarstvu i arhitekturi

Animacija je veoma brzo postala *mainstream* način prezentovanja projekata svetski poznatih arhitektonskih biroa, kao što su Herzog & de Meuron, OMA, MVRDV itd. Vodeći svetski arhitekti Zaha Hadid, Eric Owen Moss, Santiago Calatrava i mnogi drugi koriste animaciju kao novi vid prikazivanja projektantskog dela.

Poznati teoretičar arhitekture danas, prof. Greg Lynn, jedan od zagovornika animacije kao vida prezentacije u arhitekturi, tvrdi: „Arhitektura je suviše statična i ne koristi još uvek dovoljno mogućnosti animacije-pokreta, rasta i promena... – da bi formulisala svoje prostore.”(Rottenbury, Bevan, Long, 2004) Greg Lynn smatra da arhitektura treba što više da iskoristi razvoj različitih medijuma za prezentovanje i čak da ih integriše ne samo u finalnu prezentaciju, već i u samo projektovanje. Postoje sve više animacija koje prikazuju i konceptualnu ideju i koje kasnije utiču i na projektovanje.

U standardnom tipu prezentacije (crtež projekta, slike rendera objekta na papiru), prema rečima arhitekta Kinoto Miyakoda, projektanti imaju običaj da prikažu slike samo postojećeg i modifikovanog stanja nakon projektovanja. Takav pristup nam ne daje informaciju i o razvoju ideje i koncepta objekta, ali ako bi se i oni prikazali na papiru zajedno s projektom, to bi zauzimalo previše mesta na njemu. Animacija može da ponudi rešenje za to. Integrisanjem prostornih modela u multimedijalnu prezentaciju, publika može da doživi prostor preko *walk-through* ili *fly-through* animacije kroz 3D prostor, koji se kreira u 3D modeling softveru. Prikazivanjem više sekvenci, povezivanjem više slika, tako da se dobije osećaj kretanja kroz prostor, dobija se veći broj informacija od jedne slike na papiru, a samim tim, posmatraču se omogućava da lakše razume prostor (Miyakoda, 2005).

Animacija ne pruža samo mogućnost ilustracije ideje, već može da pokaže kakvu će ljudi imati interakciju s

Fly-Through animations often show cars, nature or people, in addition to architectural objects (Nikolić and Obradović, 2010.).

The most common way to represent models in civil engineering and architecture is carried out through digital technology. There is a wide range of software for 3D modeling: Autodesk 3DS MAX, AutoCAD, ArchiCAD, Solid Works, Sketchup, Autodesk Maya, Blender, LightWave 3D, Autodesk Softimage, CATIA, etc. The goal of all these software is to model 3D objects with ease and render them with high level of details as real objects, which will be understandable to observers. Today it is possible to represent models in photorealistic-looking level and possibilities of digital 3D model rendering get higher in time. One of the most popular software is Autodesk 3DS MAX. It is mostly used software in the world studios for final project presentations. This software was among the first software which comes with packages for modeling, rendering and animation tools [26]. This synergy of tools enables a new architectural media – animation.

1.1 Application of Animation in Civil Engineering and Architecture

Animation has suddenly become a mainstream in project presentation in the greatest studios for architectural projects, such as Herzog & de Meuron, OMA, MVRDV, etc. The world's leading architects use animation as new form of project rendering, such as Zaha Hadid, Eric Owen Moss, Santiago Calatrava, etc.

The famous architectural theorist, Professor Greg Lynn, one of the promoters of animation as presentation form in architecture, says: "Architecture is too static and does not use enough the possibilities of the animation – movement, growth and change... - to formulate its own spaces." (Rottenbury, Bevan, Long, 2004). He believes that architecture should use more various presentation media and not only to integrate them in final presentation but in development process as well. There are more and more animations which show conceptual idea and make an influence on design and development.

In standard presentation type (project drawings, object renderings on the paper), according to architect Kinoto Miyakoda, designer tends to show only images of existing and modified state after project realization. This presentation type fails to provide information about idea development and object concepts, because it occupies too much space if they are on the same paper with the project. Animation can provide a solution for it. Integrating 3D models into a multimedia presentation, the audience can experience 3D space using walk-through or fly-through animation. This can be done in 3D modeling software. By connecting multiple image sequences, viewer gets a sense of movement through the space. This provides more information than single image, and the viewer understands the space much better (Miyakoda, 2005).

Animation not only illustrates some ideas, but shows interaction between people and designed environment as well. By using a sound in animations, viewer can

projektovanim okruženjem. Mogućnost ubacivanja zvuka još više doprinosi tom doživljaju [25].

Arhitekti i građevinski inženjeri ne samo da teže da realistično prikažu svoje objekte, već se objašnjavaju i njihove funkcije, konstrukcija i namena određenih prostorija. Primer za to jeste projekat železničke stanice u Liježu (Liège) u Belgiji [28], gde je prikazan način funkcionisanja stanice (Devetaković, 2008). Po svojim realističnim renderima, poznati su biro Herzog & de Meuron i veoma popularan projekat za konkurs Gazprom Kule u St. Petersburgu u Rusiji [27]. Takođe, animacija se može upotrebiti kako bi se prikazao i objasnio već postojeći objekat, kao što je na primer objekat Therme Vals, arhitekta Petera Zumthora, dobitnika Plitzkerove nagrade 2010. godine. Postoji veliki broj animacija koje se bave konceptom, kao i samim unutrašnjim prostorom tog objekta [30].

Animacija može da posluži za prezentaciju u slučaju rekonstrukcije građevinsko-arhitektonskih objekata koji su srušeni odnosno o kojima postoji malo materijalnih podataka. Pomoću modelovanja na osnovu postojećih podataka, a zatim animacije, mogu se prikazati određene namene objekta i kako se odvijao život u njima. Primer toga jeste i animacija života u Pompeji, koju je načinio MiraLab iz Ženeve, kao i mnogi drugi primeri [29].

Na osnovu primera, može se zaključiti da se animacija u građevini i arhitekturi koristi uglavnom u četiri svrhe:

1. Za prikazivanje funkcionisanja pokretnih delova objekta i konstrukcije.
2. Za prikazivanje ili objašnjavanje koncepta, načina na koji se došlo do idejnog rešenja.
3. Za prikazivanje građevina iz istorije arhitekture.
4. Za konkurse i prezentaciju finalnog rada, gde se uglavnom prikazuje *fly-through* animacija (preletanje scene).

Fly-through i *walk through* (može i *flyby*) jeste najčešći vid animacije u prezentaciji arhitektonskog dela. To je takođe i najjednostavniji oblik animacije, u kom je sve što se prikazuje statično, izuzev kamere (Parent, 2002).

Potrebno je odrediti putanju koju će posmatrač da prati, zajedno sa informacijama koje će olakšati orijentaciju. Putanja se specificira njenom interpolacijom između ključnih frejmova (*keyframes*) koji se žele prikazati posmatraču. Postoje različiti načini kako da se usmeri pogled ka bitnim delovima objekta. Na primer, centar interesovanja može biti konstantno primetan u svakom frejmu dok se posmatrač pomera duž krive (pravac pogleda je vektor između pozicije posmatrača i centra interesovanja). Ovo je korisna opcija kada posmatrač „preleće” preko određenog područja ili zgrade, ili samog unutrašnjeg prostora. Putanja se takođe može konstruisati tako što će pratiti seriju objekata – zgrada u okruženju. U tom slučaju, animator će najčešće centar interesovanja zadržati na jednoj zgradi, u trajanju od više frejmova, pre nego što pređe na sledeću zgradu. Centar interesovanja može biti čak i vezan za određeni objekat u animaciji, na primer, praćenje nekog objekta kao što je strelica.

Pri podešavanju *fly through* animacije, potrebno je voditi računa i o pravilno određenom uglu posmatrača (*observer tilt*). On može u velikoj meri uticati na to kako će publika doživeti prikazani prostor. Jedna od opcija

have even a better experience [25].

Architects and civil engineers not only render their designs realistically but explain object's functions, structure and purpose of certain rooms or facilities. For example, the project of the train station in Liège (Belgium) [28] shows how designed station will be operating (Devetaković, 2008). Herzog & de Meuron Studio is well known by photorealistic renders, especially for very popular competition for Gazprom Tower in Saint Petersburg, Russia [27]. Animation can be also used to describe the existing building, such as Therme Vals, designed by architect Peter Zumthor, 2010, Pritzker Award winner. There are large number of animations which show concept and building interior [30].

Animation can be used to show reconstruction of buildings which were destroyed or when there is a little substantive information about them. For example, MiraLab Studio in Geneva made animation of life in Pompeii [29].

Based on this example, it can be concluded that animation in architecture can be used for four purposes:

1. animation of moving building parts and constructions,
2. animation of concept development,
3. animation of architecture history, and
4. animation of final design, usually a fly-through animation (scene flyover).

Fly-through (or Flyby) and walk-through is the most common form of animation of architectural works. It is also the simplest form of animation with only a camera animated (Parent, 2002).

It is necessary to define the path that viewer will follow, and to define information which will help viewer's orientation. The path is interpolated among key frames which will be shown to the viewer. There are different ways how to aim viewer's attention to important building's elements. For example, center of interest can be constantly presented in every frame while the viewer follows the path (point of view is direction vector between the position of the viewer and the center of interest). This is useful option when the viewer “flies” over certain area or building, or inside interior. The path can also be constructed to follow series of buildings in the area. In this case, animator usually keeps the center of view on one building for couple of frames, before it moves to the next building. Center of the view can be even pointed to some particular object, for example: following an arrow in animation.

During fly-through animation setting, it is necessary to properly set observer tilt. It can greatly affect how the audience will experience architectural space. One option is to interpolate direction of view and then set to head-up orientation and apply observer tilt to all. This means to set camera to eye position (this is usually 170-180cm in architecture projects) and to head angle (head right, head looking up or head looking down). All settings depend on the way how project designer wants to show the project to the audience or investors.

jeste da se interpolira pravac posmatranja, zatim se dimenzioniše *head-up* orijentacija, a zatim ugao aplicira na sve to. Dakle, odredi se visina oka posmatrača (u arhitektonskim projektima *walk through* uglavnom je 170-180 cm) i položaj glave (glava pravo, glava ka gore – pogled u visinu, ili spuštenu glava – pogled nadole). Sva podešavanja zavise od toga kako projektant želi publici ili investitorima da prikaže svoj projekat.

2 FLY-THROUGH ANIMACIJA U NOVOM SADU

2.1 Gimnazija „Jovan Jovanović Zmaj”

Srpska velika pravoslavna gimnazija osnovana je na Svetog Savu 1810. godine u Novom Sadu, gradu koji je od 1748. godine uživao status slobodnog grada u austrijskoj monarhiji i bio najznačajniji ekonomski i kulturni centar Srba na ovim prostorima. Novosadska gimnazija imala je veliki značaj za srpski narod u južnoj Ugarskoj, kao čuvar srpskog jezika i pisma, nacionalnog duha, kulture i umetnosti. Zgrada gimnazije podeljena je u blokove A, B, C i D, a svaki od blokova ima prizemlje, sprat i potkrovlje. Unutrašnjost obiluje mnoštvom gipsanih gravura, od ulaza pa sve do svečane sale. Svečana sala je posebno remek-delo, u potpunosti sačuvano, kao i najveći deo objekta. Od materijala, ako se izuzmu okrečene površine, najviše dominiraju drvo i mermer.

Uvidom u postojeće projekte, ustanovljeno je da usled mnogobrojnih renoviranja nedostaju projekti poprečnih preseka, koji su ključni za određivanje mera koje se odnose na visinu pojedinačnih segmenata objekta. Zbog tih otežavajućih okolnosti, bilo je više etapa u prikupljanju informacija:

- analiza i određivanje mera na osnovu postojećih građevinskih projekata;
- dodatna merenja na terenu;
- fotografisanje unutrašnjosti objekta;
- analiza prikupljenih informacija i njihova dopuna u slučaju nedostatka.

Potrebno je napomenuti da se sve mere i fotografije prikupljaju samo na onim segmentima objekta koji su planirani za obradu u ovom projektu, a to je centralni deo gimnazije.

Drugi deo realizacije projekta odnosi se na modelovanje i mapiranje dobijenog 3D enterijera Gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj”. Realizacija ovog dela projekta rađena je po segmentima (Divljanović i Obradović, 2009). To podrazumeva modelovanje osnove centralnog dela (zid, pod i plafon) u koju bi se naknadno uvozili gotovi segmenti navedenog objekta (prozori, vrata, klupe). Pod pojmom „gotov objekat” podrazumeva se i primena materijala, a ne samo modelovanje. Ove operacije odvijaju se sledećim redom:

- priprema mapa i definisanje materijala koji se primenjuju;
- modelovanje osnove centralnog dela gimnazije i mapiranje;
- modelovanje i mapiranje pojedinačnih segmenata objekta;
- uvoz 3D modela u osnovu i njihovo pozicioniranje.

2 FLY-THROUGH ANIMATION IN NOVI SAD

2.1 Novi Sad Grammar School Jovan Jovanovic Zmaj

This is large Serbian Orthodox Grammar School, established on Saint Sava's day, in 1810. It was established in Novi Sad, a city which gained Free City Status in the Austrian Empire, in 1748. Novi Sad was the most important Serbian economic and cultural center in the region. This Grammar School has a great significance for Serbs in Southern Hungary; it was a guardian of Serbian language, national spirit, culture and art. The building is divided into blocks: A, B, C and D. Each block has a ground floor, first floor and attic. The interior has many plaster decorations, which are placed from main entrance up to the Great Hall. Great Hall is exceptional masterpiece that is full preserved, as the most of the building. Wood and marble is the most dominant materials.

After examining the existing projects, it was found that cross-section projects are missing, because of many renovations. These cross-sections are crucial for the determination of measures and heights of individual segments of the building. Due to the difficulties, collecting information was done in several stages:

- analysis and determination of measures based on existing construction projects,
- additional measurements on the site,
- taking interior photographs,
- analysis of collected information and additional measurements if necessary.

It should be noted that all the measurements and photographs are collected only for those segments of the building which are required for this project, in this case the centre of the building.

The second stage of the project was modeling and mapping 3D model of Grammar School Jovan Jovanovic Zmaj. This was done in segments (Divljanović and Obradović, 2009). Central Grammar School segment (walls, floor and ceiling) were done first, and finished segments (windows, doors, benches) were imported after it. The term “finished segments” means 3D models with applied materials. These operations were done in the following order:

- map preparation and required materials definition,
- modelling of central building segment and mapping,
- modelling and mapping of individual segments of the building, and
- import 3D models into central segment and positioning.



Slika 1. Ulaz u Gimnaziju „Jovan Jovanović Zmaj”
Figure 1. Entrance of Grammar School Jovan Jovanović Zmaj



Slika 2. Prizemlje
Figure 2. Basic Floor

Ovo je svakako najbitniji deo projekta koji umnogome diktira kvalitet rezultata. Poslednji, ali ne manje važan deo, odnosi se na podešavanje osvetljenja dobijenog 3D modela, renderovanje i dobijanje slika i filma u odgovarajućem formatu. Operacije se odvijaju sledećim redom:

- definisanje parametara osvetljenja;
- podešavanje kamere (putanja, trajanje kretanja, ključni kadrovi...);
- finalno renderovanje;
- dodatna obrada slika i filma (u slučaju potrebe).

Za sve navedene operacije potrebno je definisati dostupne resurse i njihovu namenu u projektu. Pod navedenim se podrazumevaju hardverske i softverske komponente.

This is the most important part of the project, which largely affect the quality of final results. The last but not the least important part was brightness adjustment of 3D models, rendering and receiving pictures and movies in the proper format. Operations are conducted in the following order:

- setting lights,
- setting camera (path, moving timings, key frames, etc.),
- final rendering, and
- additional post-processing of images and movies (if it is necessary).

For all operations it is necessary to define available resources and their purpose. This means hardware and software components.



Slika 3. Stepenice
Figure 3. Stairs



Slika 4. Drugi sprat
Figure 4. Second floor

2.2 Fakultet tehničkih nauka

U ovom delu modelovan je prostorni model četvrtog sprata bloka za nastavu na Fakultetu tehničkih nauka (Rauš i Obradović, 2010). Za modelovanje ovog prostora korišćen je grafički paket Autodesk 3ds MAX 2009. Prikazan je ovaj sprat, na osnovu originalne projektne dokumentacije koja postoji na Fakultetu tehničkih nauka, kao i svih detalja i elemenata koji se nalaze unutar ovog objekta, poput stolova, stolica, klupa i slično. Po završetku računarskog modelovanja, radi realističnijeg prikaza, dodate su odgovarajuće teksture i mape modelovanim elementima i zatim je postavljeno osvetljenje. Potom je izvršeno renderovanje i napravljene su fotografije karakterističnih scena. Napravljene fotografije obrađene su u nekom od paketa predviđenih za obradu fotografija. Na kraju, postavljena je kamera na zadatu putanju i napravljen kratak animirani film na kome su prikazani karakteristični elementi i celine Departmana za arhitekturu i urbanizam.

Pod modelovanjem osnovnih vidljivih površina podrazumeva se kreiranje zidova, podova, plafona i stepenica. Pojedinačne segmente koji se pojavljuju u ovom objektu najlakše je modelovati i mapirati van glavne scene, a potom ih – po završetku rada – uvoditi u scenu kao zasebne fajlove. Takav način rada zahteva veće hardverske resurse, ali se pokazao kao jednostavnije rešenje.



Slika 5. Perspektivna slika osnove hodnika

Figure 5. Hallway base in perspective view

Modelovanje treba započeti sa segmentima koji se ponavljaju. U ovom slučaju postoji dosta segmenata koji se ponavljaju, jer su učionice opremljene na gotovo identičan način. Najpre su modelovana vrata, prozori, stolice, stolovi, table, a zatim i svi ostali delovi (Obradović i drugi, 2009).

2.2.1 Mapiranje

Mapiranje je izvršeno nakon modelovanja osnove i svih pojedinačnih elemenata. Plafon se razlikuje u hodniku i učionicama, jer je jedan deo plafona u učionicama prekriven stolarijom. Takođe, zidovi se

2.2 Faculty of Technical Sciences

In this part, a computational model of fourth floor of Faculty of technical science is presented (Rauš and Obradović, 2010). For project realization Autodesk 3D Studio MAX 2009 is used. This work represents all elements of architecture visualization, based on original project documentation which exists on Faculty of Technical Sciences, and also all the details and elements which exist inside this object, like desks, chairs, banks etc. After finishing computer modeling for realistic representation, appropriate captions and maps were added to the created elements, illumination was set, and pictures of characteristic scenes were made. Those pictures, if needed, may be treated in software prepared for that. At the end, the camera was set on path constraint and short animated movie was shot with characteristic elements and parts of the Department for Architecture and Urban Planning.

Modeling basic visible surfaces means creating walls, floors, ceilings and stairs. Segments which are used in this project are easy to model and the maps were separated from the main scene, and then imported in the main scene as separated files. This workflow requires more hardware resources, but it is proven as a simpler solution.



Slika 6. 3D modeli stolova i stolica
(renderovane slike)

Figure 6. 3D models of tables and chairs
(rendered images)

Modeling should be started with segments that are repeated. In this case, there are a lot of repeated segments because the classrooms are equipped in almost identical way. Doors, windows, chairs, tables, blackboards are modeled first, and then all other segments (Obradović at all, 2009).

2.2.1 Mapping

Mapping is done after modeling basics and all individual elements. The ceiling is different in hallway and classrooms, because one part of the ceiling in the

razlikuju kako u učionicama, tako i u hodniku. Korišćen je isti materijal, ali različite mape. Stepenice su definisane sa dva materijala, jedan materijal je isti kao za zidove u hodniku, dok je drugi mermer. Spiralne stepenice definisane su jednim materijalom – drvetom.

2.2.2 Osvetljenje

Poslednji deo projekta odnosi se na podešavanje osvetljenja dobijenog modela, renderovanje gotovog modela i dobijanje fotografija celog sprata, kao i dobijanje filma u odgovarajućem formatu. Da bi se verno prikazali 3D objekti, neophodna je upotreba svetlosnih izvora na sceni. Pod svetlosnim izvorom podrazumevamo svaki objekat koji emituje svetlosnu energiju. Broj svetlosnih izvora povećava osvetljenost scene, pri čemu se s velikim brojem različitih izvora stvara izgled prirodnog osvetljenja. Da bi objekat bio dobro vidljiv i da bi se stvorio realističan prikaz, potrebno je pravilno odabrati i rasporediti svetlosne izvore, zatim podesiti intenzitet svetlosnih izvora, kao i pravac i difuziju svetla. Pre podešavanja osvetljenja, potrebno je opredeliti se koja vrsta osvetljenja će biti dominantna u objektu. Pri renderovanju smo se opredelili za veštačko svetlo.

2.2.3 Podešavanje kamere

Korišćenjem kamera korisnik određuje način na koji će publika posmatrati scenu. Metod po kome se postavlja kamera zasnovana se na tome da se prvo napravi putanja po kojoj će se kamera kretati, a zatim se za nju vezuje kamera. Na ovu putanju se stavlja dosta kontrolnih tačaka kako bi se moglo manipulirati kamerom dok se ne dobiju kvalitetni rezultati. U projektu je korišćena usmerena kamera, a kako bi se obezbedilo pravilno kretanje kamere, potrebno je na putanju postaviti i određene kamere, odnosno njen pogled, tokom animacije. Ovo je komplikovaniji način, u odnosu na rad s neusmerenom kamerom, ali i znatno bolji jer se može ostvariti veća kontrola snimanja scene. Na slici 7 prikazana je putanja na koju je zakačena kamera.

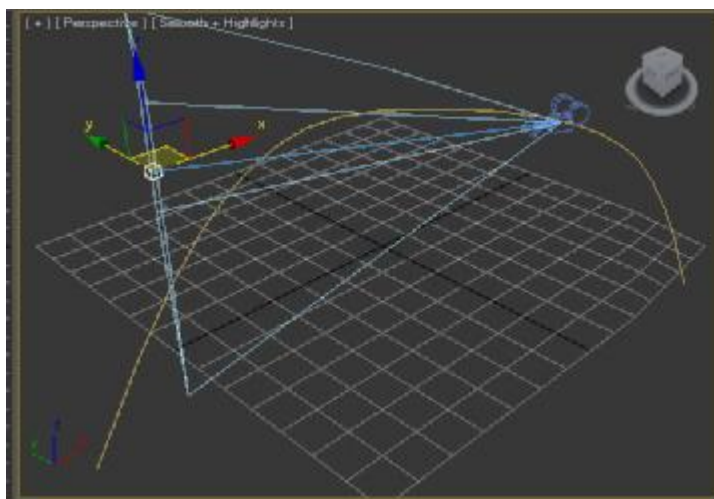
classrooms is covered with wood. There are some differences between walls in different classrooms, and in the hallway also. The same material were used, but with different maps. The stairways were defined with two materials, one the same as for walls in the hallway and the other with marble texture. The spiral stairs were done in only one material (wood).

2.2.2 Lighting

The last part of the project was lighting adjustments for scene, rendering and saving images of complete floor and saving the movie in proper format. It is necessary to use light sources in the scene to get realistic 3D objects renders. Light source is any object which emits the light energy. Number of light sources increases brightness of the scene, a large number of various light sources create the image of natural light. To make an object visible and create realistic render it is necessary to set light's type properly and set positions of light sources, then adjust intensity of lights, directions and light diffusions. Before setting the lighting it is necessary to decide which kind of lightning type will be dominant in the scene. For this scene we choose artificial light.

2.2.3 Camera Settings

Camera settings define how audience will see the scene. Camera movements are done by making a path which camera follows and then connecting a camera to this path. A lot of control points are placed on this path, to gain better control over camera and get better quality results. Target camera was used in this project. Due to ensure proper movement of the camera it is necessary to place camera target to path and set camera view during animation. This is more complex technique than working with free camera but it provides better control. Figure 7 shows the path with camera attached to it.



Slika 7. Putanja po kojoj se kamera kreće
Figure 7. Camera tracking the path

Za veličinu objektiva uzeta je vrednost od 24 mm. Ovo sočivo daje najbolji odnos distorzije i prostora koji se prikazuje. U ovoj fazi rada definišu se sledeći parametri u vezi sa animacijom. Veoma bitni parametri jesu brzina i dužina animacije. Kako se zna da broj frejmova određuje dužinu animacije, a broj frejmova po sekundi brzinu, potrebno je te parametre dobro uskladiti, jer u suprotnom može doći do nekontinualnog kretanja tokom animacije, pa čak i do njenog zaustavljanja.

2.2.4 Finalno renderovanje

Renderovanje je proces stvaranja slika na osnovu grafičkih modela. Predstavlja veoma kompleksnu oblast koja se i dan-danas intenzivno istražuje. Alati za rendering, pored geometrije modela, u izlaznu sliku ugrađuju i osvetljenje, senke, boje, teksture, prozirnost, kao i neke napredne mogućnosti pojedinih programskih paketa.

Renderovanja predstavlja transformaciju četiri dimenzije u dve, ako uzmemo da četiri dimenzije predstavljaju tri dimenzije prostora X,Y,Z i vreme kao četvrtu, dok dve dimenzije na izlazu (V,W koordinata), predstavljaju koordinate *bitmap* slike. Sve to zahteva računar koji poseduje dobre hardverske karakteristike – brz procesor i veliku količinu *RAM* memorije.

Pre finalnog renderovanja radi se probni render, gde se detalji i rezolucija smanjuju na neku nisku vrednost, kako bi računar što brže obradio podatke i prikazao rezultate. Izlazni format renderovanja jeste JPEG, to jest *bitmap* slika. Slika kao izlazni format, umesto video formata, primenjuje se radi zaštite procesa renderovanja u slučaju da dođe do njegovog neželjenog prekida, pogotovo ako treba dosta vremena da se renderuje animacija. Kada bi se video odabrao kao izlazni format, i kada bi došlo do prekida procesa, morao bi se ponoviti ceo proces renderovanja. U ovom slučaju, kada dođe do prekida, proces se samo nastavlja tamo gde je stao. Na kraju, sve slike povežu se u jednu celinu koja predstavlja animaciju.

Kada se završi renderovanje, dobijene slike se analiziraju. Ako neka slika odstupa od drugih slika (na primer, ako su joj neki delovi preosvetljeni ili zatamljeni, ili možda ima neki drugi nedostatak), pristupa se obradi slika u *Adobe Photoshop*-u.

Postoji mnogo alata za rendering, a jedan od njih jeste i *3D Studio MAX* koji omogućava animaciju i renderovanje, kao i kreiranje efekata za igrice. U slučaju finalnog renderovanja, za sliku 800x600 s podešenim osvetljenjem bilo je potrebno od 30 do 120 minuta, u zavisnosti od scene. Razlog za to jesu mnogobrojni detalji na sceni, što je znatno otežalo renderovanje.

2.2.5 Pravljenje animacije

Prema jednoj definiciji, animacija predstavlja „slike u pokretu”. Naime, upotrebom vremenske ose, slike se smenjuju. Svaka slika se zadržava na ekranu određeno vreme. Na animatorima je da sami odrede koliko će se koja slika zadržati i u odnosu na to se dobijaju određeni efekti. Slike se međusobno malo razlikuju, tako da se pri projekciji stapaju u miran i neprekidan pokret.

Lens size is set to 24 mm. This lens gives the best ratio of distortion and viewed space. In this stage of workflow, it is necessary to define additional parameters for animation. Speed and animation length are very important parameters. It is well known that animation length is defined with number of frames, and speed with number of frames per second. It is necessary to adjust these parameters well because it may come to noncontinuous camera movement, even to stop the camera.

2.2.4 Final Rendering

Rendering is a process of creating images based on graphical models. It represents very complex area which is under intensive research today. Rendering tools, in addition to model geometry calculate also lighting, shadows, colors, textures, transparency as well as some advanced features of some software packages.

Rendering process turns four space dimensions into two, if we take X, Y, Z as three dimensions and a time as fourth, while we have 2 dimensions as output (V,W coordinates), which are bitmap coordinates. This process requires computer with high hardware performances, strong CPU and greater amount of RAM.

Some test renderings are done on lower resolution before final rendering. Thus, computer runs calculations faster and creates renders. Rendering output is JPEG, a bitmap format image. Image as output format, instead video format, is used as safety measure if rendering process crashes, especially for long rendering times. If video is chosen for output format, after rendering process crash whole rendering process must be re-done from the beginning. If image is used as output format, after rendering process crash, process can be continued where it was stopped. At the end, image sequence can be connected in animation.

After rendering, the control of image sequence is needed. If some image is different from the sequence, or it has some irregularities it can be edited in some image editing software, like Adobe Photoshop.

There are many rendering tools; one of them is 3D Studio MAX, which enables animation, rendering and game elements development. In the case of final rendering at resolution 800x600 px, with lightning, 30–120 min was needed, depending on the scene. Slow rendering is due to the great amount of details in the scene.

2.2.5 Creating of Animation

According to one definition, animation is images in “motion”. Using timeline, images replace one with another. Every image stays on the screen some amount of time. Animators have to decide how long each image will be held and it produces specific effects. Images differ slightly and that is the way how they join in peaceful and steady movement.



Slika 8. Učionica
Figure 8. Classroom



Slika 9. Spiralne stepenice
Figure 9. Spiral Stairs



Slika 10. Nastavni blok na Fakultetu tehničkih nauka
Figure 10. Forth floor at the Faculty of Technical Sciences



Slika 11. Hodnik
Figure 11. Corridor

Utisak pokretnih slika bazira se na fizičkoj osobini ljudskog oka. Ako vidimo nekoliko statičnih slika koje se brzo smenjuju, prethodna slika nam se „stapa” sa sledećom i u slučaju filmskog zapisa imamo iluziju kontinuiranog kretanja. Pri reprodukciji od minimum 24 slike u sekundi, nastaje iluzija kretanja za posmatrača.

2.3 Gradska kuća u Novom Sadu

Da bi se nastavio projekat popularizacije znamenitosti u Novom Sadu, odabrana je građevina stara više od jednog veka (Poznanović i Obradović, 2010). Model je reprezentativna neorenesansna palata s tornjem, pod nazivom Gradska kuća.

Izgradnja Gradske kuće počela je 1893. godine, na mestu porušene „Ferencijane” po projektu Đerđa Molnara. Završena je 1895. godine. Na sva četiri ugla palate nalaze se kupole. Na zgradi dominira visoki toranj s balkonom na kojem je 1907. postavljeno zvono „Matilda” (pretopljeno u ratu), koje je oglašavalo požare u gradu. Čeona fasada poseduje istureni rizalit sa snažnim stubovima i arkadom u prizemlju. Na fasadi se ističu i prelepe alegorijske figure grčkih boginja. U

The impression of motion pictures is based on physical properties of the human eye. If the viewer sees sequence of images in short time interval, previous picture joins with the next one and, in the case of movies, there is the illusion of continuous movement. The viewer perceives smooth illusion of movement under reproduction of at least 24 pictures per second.

2.3 City Hall in Novi Sad

Over one century old building (Poznanović and Obradović, 2010) was chosen for further promotion of important buildings in Novi Sad. It is a City Hall - representative neo-Renaissance palace with a tower.

Construction of the City Hall was started in 1893 on the place of “Ferenciane” ruins, based on the project by Georg (Djordj) Molnar. It was finished in 1895. There are domes over all four corner of the palace. Tall tower with a balcony dominate the building; the bell “Matilda” was placed in it, in 1907 (melted in the war) which was a fire alarm in the city. Building's front has strong columns and arcades on the ground floor. Facade has beautiful allegorical sculptures of Greek goddesses. Inside the

svečanoj sali na prvom spratu, slikar Pavle Ružička simbolički je predočio obeležja radinosti, zanata i trgovine.

Postupak izrade animacije detaljno je objašnjen na primerima gimnazije i Fakulteta tehničkih nauka, a Gradska kuća prikazana je na slikama 12-15.



Slika 12. Gradska kuća u Novom Sadu
Figure 12. Novi Sad City Hall entrance



Slika 13. Svodovi
Figure 13. Arcade



Slika 14. Vitraž na međuspratu
Figure 14. Basement stained glass



Slika 15. Svečana sala
Figure 15. Conference Hall

3 ANIMACIJA MOSTOVA

Savremeni trendovi u građevinarstvu donose nam kvalitetne softvere, poput *AxisVM® 10* (Kovačević, 2011), koje su inženjeri dizajnirali za inženjere, gde je svaka promena na crtežu konstrukcije (na primer, mosta) rezultat promene na nekim karakteristikama konstrukcije (statičkim ili dinamičkim ili drugim). Kao rezultat dobijaju se slike, a kada bismo ih spojili u film, ne bismo dobili animaciju tog procesa promene konstrukcije.

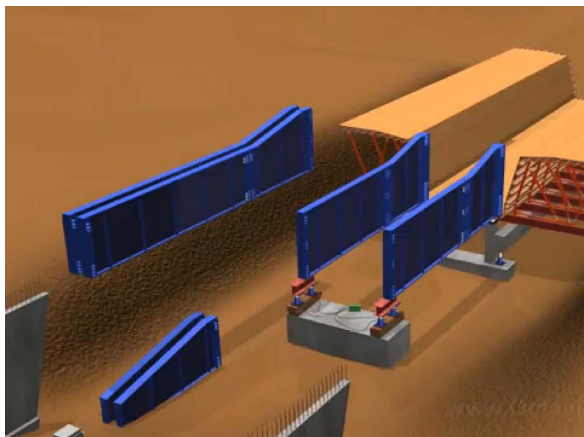
U radu (Cvetković i drugi, 2008) dat je pregled radova na projektovanju i ojačavanju mosta Puente Duarte u Santo Domingu. Ceo proces ilustrovan je prikazima 2D i 3D strukturnih modela konstrukcije mosta.

3 BRIDGE ANIMATION

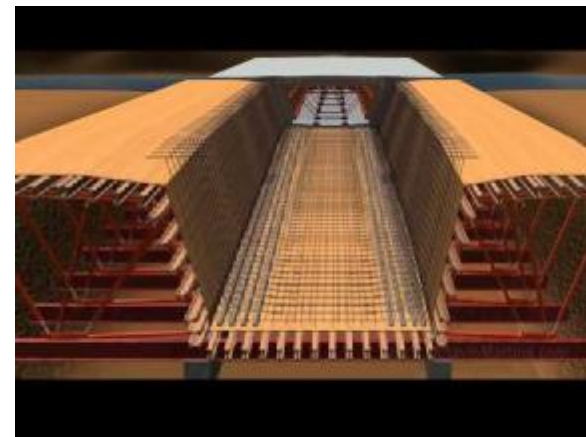
Modern trends in civil engineering provide quality software as *AxisVM® 10* (Kovačević, 2011), which are designed for engineers by engineers, where each change on construction drawing (as bridge construction) is the result of construction's characteristics change (static, dynamic or others). Pictures result from this process and if the film is shot from these pictures it is not computer animation of this changing process.

In their paper Cvetković at all, 2008, describe the design and execution of the strengthening works of the Puente Duarte Suspension Bridge in Santo Domingo. The whole process is described by 2D and 3D drawings of bridge's construction structural model.

U radu [31] (Octavio Martins, 2009) prikazana je vizuelna simulacija građenja mosta *lansiranjem*. Animacija traje sedam minuta i rađena je, prema tvrdnji autora, dve godine. Korišćeni su softveri *Auto CAD* i *3D Studio MAX*. Animacija ima izuzetne edukativne karakteristike, sa detaljnim prikazom 3D konstrukcije, redosledom montaže segmenata mosta, prikazom tehnike premošćavanja između nosećih stubova. Tajming animacije je izvrstan i zbog toga može da se koristi u obrazovanju građevinskih inženjera (slike 16-19).



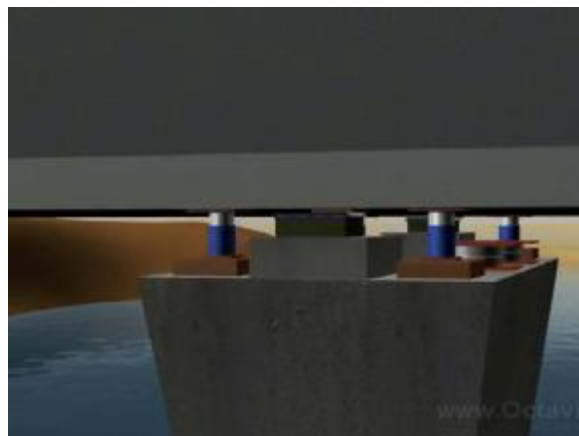
Slika 16. Segmenti mosta
Figure 16. Bridge segments



Slika 17. Pogled duž ose mosta
Figure 17. Along the axis Bridge view



Slika 18. Mehanizam za pomeranje konstrukcije
Figure 18. Incremental Launching mechanism



Slika 19. Prikaz ležišta mosta
Figure 19. Bridge bearing

Sledeći primer je desetominutna *Angola Bridge Engineer* animacija [32], za most preko reke *Cunene* u Angoli. Originalni most srušen je tokom građanskog rata u Angoli. Novi most, koji je prikazan na animaciji, biće dugačak 880 metara, a širok 13 m. Prikazano je više projekata: u projektu „A” most ima jedan pylon i sistem kosih kablova; u projektu „B” reč je o lučnom mostu; u projektu „C” most je s pylonima i kosim kablovima; u projektu „D” most je gredni (slike 20-23).

The next example is ten-minutes *Angola Bridge Engineer* animation [32], bridge over the river *Cunene* in Angola. Original bridge was destroyed during the civil war in Angola. The new bridge which is presented in animation will be 880 meters long and 13 m wide.

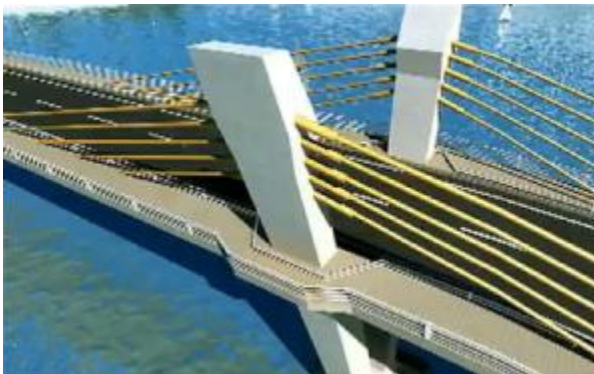
There are four projects: bridge with pylon is shown in project "A", arched bridge is created in project "B", the bridge with pylon and cable stayed is shown in project "C", and finally in project "D" the girder bridge is animated (Figures 20 - 23).



Slika 20. Angola Bridge – most s pilonom
Figure 20. Angola Bridge – Pylon bridge



Slika 21. Angola Bridge – lučni most
Figure 21. Angola Bridge – arched bridge



Slika 22. Angola Bridge – most s pilonima i kosim
kablovima
Figure 22. Angola Bridge–Pylon and Cable Stayed bridge



Slika 23. Angola Bridge – gredni most
Figure 23. Angola Bridge – girder bridge

Incheon Grand Bridge otvoren je u oktobru 2009. godine u Južnoj Koreji [33]. To je najduži most s kosim kablovima (*Cable-Stayed*) u Južnoj Koreji, a sedmi po dužini u svetu (dužine je 21.38 km, širine 33.4 m, visine pilona 230.5 m, s najvećim rasponom od 800 m, građen od 2005. do 2009. godine. Povezuje *Songdo* i *Incheon International Airport*.

Incheon Grand Bridge is opened in October 2009 in South Korea [33]. It is South Korea's longest spanning cable-stayed bridge and the world's seventh longest cable-stayed bridge (length is 21.38 km, width 33.4m, height 230.5m, longest span 800m, construction begun 2005 and finished 2009; it provides direct access between *Songdo* and *Incheon International Airport*.



Slika 24. Most Incheon
Figure 24. Incheon bridge



Slika 25. Prilaz za Incheon
Figure 25. Approach road for Incheon bridge

Gardinovački i Obradović, 2010, kao deo animacije kretanja automobila marke *Ford Mustang Shelby*, uradili su i model mosta *Golden Gate* u San Francisku, slika 26.

As a part of animation of a car *Ford Mustang Shelby* race, a 3D model of *Golden Gate* bridge in San Francisco was created by Gardinovački i Obradović, 2010, Figure 26.



Slika 26. Golden Gate Bridge u San Francisku
Figure 26. San Francisco Golden Gate Bridge

4 ANIMACIJA KARAKTERA

Animacija karaktera (lika) specijalizovana je oblast procesa animacije u vezi sa animacijom jednog ili više karaktera sadržanih u animiranom delu. To je obično jedan aspekt velike proizvodnje i često je pravljena da dopuni glas (kao reklame na televiziji, koje su prvobitno bile samo glasovi na radiju).

4 CHARACTER ANIMATION

Character animation is specific part in animation and refers to animation of one or more subjects – characters. This is a part of complex production and it is often used for appendix of sound (voice) i.e. TV commercial.

U savremenim *Fly-Through* animacijama, pored standardnih animacija građevinsko-arhitektonskih objekata, rade se i animacije karaktera, to jest životinja i ljudi koji se nalaze u tim prostorima, hodaju pored tih objekata, voze biciklove ili automobile, sede u restoranima. Na taj način, upotpunjuje se slika i svakako se pruža realističniji prikaz (Nikolić i Obradović, 2010).

Na slici 27 prikazan je profesor Max kao primer modelovanja karaktera, a na slici 28 profesor Max u svom prirodnom okruženju, u učionici. Na slici 29 prikazan je Master centar u Novom Sadu (Đuran i Obradović, 2011), a na slici 30 par pasa ispred tog centra.

In modern fly-through animations for civil engineering and architecture, actually character animation are people and animals which are in these ambiances, people walking through the objects, driving bicycles or cars, sitting in restaurants. Thus, it provides more realistic daily life representation (Nikolić i Obradović, 2010).

In Figure 27 professor Max is shown as an example of character modeling and in Figure 28 the professor is in his classroom. In Figure 29 Novi Sad Master Center is presented (Đuran i Obradović, 2011) and in Figure 30 couple dogs in front of the Master Center.



Slika 27. Profesor Max
Figure 27. Professor Max



Slika 28. Profesor Max u učionici
Figure 28. Professor Max in classroom



Slika 29. Master centar u Novom Sadu
Figure 29. Novi Sad Master Center



Slika 30. Muški i ženski pas ispred Master centra
Figure 30. Male and female dog in front of Master Centre

5 ZAKLJUČAK

Animacija, kao vid prezentacije građevinsko-arhitektonskih projekata, postaje sve popularnija u svetu. Ona je odličan alat kojim se može „ispričati priča” o jednom objektu i impresionirati posmatrač. Dakle, njena funkcija je narativna.

Njen cilj jeste da se objasni koncept, prikaže funkcionisanje prostora, kao i moguće interakcije između korisnika i projektovanog okruženja. Tek nedavno, animacija je postala jedan od omiljenih načina multimedijalnog prikazivanja projekata u građevinarstvu i arhitekturi. Samim tim, postoji veliki potencijal za razvoj i istraživanje na tom polju.

5 CONCLUSION

Animation, as a form of civil engineering and architectural project presentation, is becoming more popular worldwide. It is an impressive tool for telling a story about single object and strikes the viewer. This means that its function is narrative.

Animation goal is to describe a concept, show function of space and possible interaction between users and designed space. It has recently become one of the favorite forms of multimedia presentation of projects in civil engineering and architecture. Therefore, there is a great potential for development and research in this field.

Animacija ima potencijal, smatraju pojedini inženjeri, da postane čak deo dizajnerskih metoda, deo procesa kreativnog mišljenja pri projektovanju, ne samo način prezentacije, već i deo završenog projekta. U tome većina stručnjaka vidi budućnost animacije u građevinarstvu i arhitekturi.

6 LITERATURA REFERENCE

- [1] Byrne M.: *The Art of Layout and Storyboarding*, A. Mark T. Byrne Publication, Leixlip, Co. Kildare, Ireland, 1999.
- [2] Cvetković Slobodan, Kolundžija Branislav, Kolundžija Stanislav: *Projekat rehabilitacije mosta Puente Duarto u Santo Domingu (Puente Duarte Rehabilitation Project in Santo Domingo)*, Materijali i konstrukcije, No. 3, 2008, pp. 3-23, ISSN 0543-0798.
- [3] Devetaković M.: *Communicating Generic Process- Some Issues of Representation Related to Architectural Design*, School of Architecture, UNITEC Institute of Technology, Auckland, New Zealand, 2008, pp.4
- [4] Divljanović Borjan, Obradović Ratko: *Prostorni model enterijera novosadske Gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj”*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, No 7, 2009, pp. 2354-2356, , ISSN 0350-428X.
- [5] Đuran Dušica, Obradović Ratko: *Fly Through animacija sa animacijom karaktera*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, 6/2011, str. 1495-1498.
- [6] Foley, van Dam, Feiner, Hughes: *Computer Graphics principles and Practice*, Addison-Wesley, 1997.
- [7] Gardinovački Vladimir, Obradović Ratko: *Vizuelizacija modela automobila FORD Mustang Shelby GT 500 KS i animacija njegovog kretanja*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, 7/2010, str. 1479-1482. ISSN 0350-428X.
- [8] Itten J.: *Umetnost boje*, Univerzitet Umetnosti, Beograd, 1973.
- [9] Kerlow I.: *The Art of 3D Computer Animation and Effects*, Wiley, USA, 2009.
- [10] Kovačević Dušan: *AxisVM® 10 - Usavršeni CASA alat za MKE modeliranje u analizi konstrukcija (AxisVM® 10 – Enhanced CASA Tool for FEM Modeling in Structural Analysis)*, Građevinski materijali i konstrukcije, No 3, 2011, pp. 3-18, ISSN 0543-0798.
- [11] Miyakoda K.: *thesis Four Dimensional Presentations as a new Representation Method: a oposal for the Use of Interactive Multimedia Representation in Landscape Architecture*, Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, The School of Landscape Architecture, M.S., Miyagi University, May, 2005, pp. 18-19.
- [12] Nikolić Kristina, Obradović Ratko: *Animacija pokreta 3D karaktera*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, No 7, 2010, pp. 1495-1498. ISSN 0350-428X.
- [13] Obradović Ratko, Pinčjer Ivan, Nikolić Ivica, Vladić Gojko: *Dizajn prostornih oblika – odabrani primeri*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [14] Parent R.: *Computer Animation Algorithms & Techniques*, Elsevier, 2008.
- [15] Parent R.: *Computer Animation: Algorithms and techniques*, Ohio-state.edu.books, 2002.
- [16] Pardew L.: *Character Emotion in 2D and 3D animation*, Thomson Course Technology, USA, 2008.
- [17] Poznanović Nenad, Obradović Ratko: *Vizuelizacija enterijera Gradske kuće u Novom Sadu*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, No 15, 2010, pp. 3360-3363, ISSN 0350-428X.
- [18] Rauš Zorica, Obradović Ratko: *Računarska vizuelizacija Departmana za arhitekturu i urbanizam Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, No 4, 2010, pp. 737-740, ISSN 0350-428X.
- [19] Rottenbury K., Bevan R., Long K.: *Architects today*, volume 2004, Laurence King Publishing Ltd, London, 2004, pp. 1987
- [20] Simble S.: *Anatomy for the Artist*, Dorling Kindersley Book, London, 2001.
- [21] Stanchfield W.: *Gesture Drawing Animation*, Leo Brodie, Washington, 2007.
- [22] Watt A.: *3D Computer Graphics*, Addison-Wesley, USA, 2000.
- [23] Watt A., Policarpo F.: *3D Games Real-Time rendering and Software Technology*, Pearson, Addison Wesley, England, 2001.
- [24] Watkins A.: *3D Animation From Models to Movies*, Charles River Media, USA, 2001.
- [25] Curriculum of Computer Graphics- Animation in Engineering www.racunarska-grafika.com
- [26] <http://area.autodesk.com/maxturns20/history> (19.06.2011)
- [27] <http://archpaper.com/news/articles.asp?id=4128> (20.06.2011)
- [28] http://www.youtube.com/watch?v=ot2mGZe_pgU&NR=1 (20.06.2011)
- [29] <http://www.youtube.com/watch?v=hVMzp0QjCJ4&feature=related> (21.06.2011)
- [30] http://www.youtube.com/watch?v=vrF5D_SByFQ (31.03.2012)
- [31] Visual Simulation of the Bridge Construction by the Incremental Launching, Portugal, 2009. <http://www.youtube.com/watch?v=S3Kf9e6JgF4> (30.3.2012)
- [32] Angola Bridge Engineer Animation, <http://www.youtube.com/watch?v=vb4BqyzOVpc&feature=related> (30.3.2012)
- [33] The Incheon Bridge, South Korea, http://en.wikipedia.org/wiki/Incheon_Bridge <http://www.youtube.com/watch?v=aT3jcMBIKrs&feature=related> (30.3.2012)

REZIME

FLY-THROUGH ANIMACIJA KAO VID SAVREMENE PREZENTACIJE U GRAĐEVINARSTVU I ARHITEKTURI

Branislav POPKONSTANTINOVIĆ
Sonja KRASIĆ
Ana PERIŠIĆ

U ovom radu dat je pregled korišćenja *Fly Through* animacije, posebno u građevinarstvu i arhitekturi. Prikazana su tri istorijski značajna objekta – Gimnazija „Jovan Jovanović Zmaj”, Departman za arhitekturu i urbanizam i Gradska kuća u Novom Sadu – na čijim modelima su urađene animacije. Takođe, prikazane su animacije nekoliko mostova različitih konstrukcija. Predstavljena je i animacija karaktera koja se može koristiti za realističniji prikaz objekata u građevinarstvu i arhitekturi. Ovaj rad takođe pruža opis modelovanja i animacije 3D karaktera. Postupak izrade ovih animacija opisan je detaljno, redom – kako su objekti i animacije napravljeni.

Ključne reči: računarska grafika, animacija, prezentacija

SUMMARY

FLY-THROUGH ANIMATION AS A WAY OF MODERN PRESENTATION IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Branislav POPKONSTANTINOVIĆ
Sonja KRASIĆ
Ana PERIŠIĆ

This article describes application of Fly-Through animation, especially in civil engineering and architecture. Three historically significant buildings have been modeled and animated: Grammar School Jovan Jovanovic Zmaj, Department of Architecture and Urban Planning and a City Hall in Novi Sad. Furthermore, animations of couple bridges with different constructions are shown. In addition, this paper presents a description of the modeling procedure and animation of 3D characters. Development process of these models and animations are described in details, step by step.

Key words: computer graphics, animation, presentation

OPTIMIZACIJA NEURONSKE MREŽE ZA PROCENU POTREBNIH KOLIČINA BETONA I ARMATURE U VIŠESPRATNIM OBJEKTIMA

OPTIMIZATION FOR ESTIMATING THE AMOUNT OF CONCRETE AND REINFORCEMENT REQUIRED FOR MULTI-STOREY BUILDINGS

Vladimir MUČENSKI
Igor PEŠKO
Milan TRIVUNIĆ
Jasmina DRAŽIĆ
Goran ČIROVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 004.032.26:691.32 = 861

1 UVOD

Inicijalne faze građevinskih projekata praćene su visokim rizicima koji proizlaze iz potencijalnih grešaka u vezi sa izborom tipa i dimenzija elemenata konstrukcije. Projektovanje u seizmički aktivnim područjima obavezuje na primenu arhitektonskih i konstruktivnih karakteristika zgrada, koje omogućavaju odgovarajuću seizmičku otpornost. [6] Odluke koje je neophodno doneti u inicijalnim fazama izgradnje imaju uticaj prvenstveno na finansijske parametre projekta, ali i na ponašanje konstrukcije izložene efektima zemljotresa. Uzimajući u obzir činjenicu da troškovi izgradnje armiranobetonske skeletne konstrukcije čine i do 50% troškova građevinskih radova, mogućnost predikcije količine materijala bila bi značajna prilikom odlučivanja o karakteristikama objekta i njegove konstrukcije. S obzirom na nedostatak projektne dokumentacije odnosno na njen slab kvalitet u početnim fazama realizacije projekta, neophodno je

Vladimir Mučenski, dipl.inž.građ.– master, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: mucenskiv@uns.ac.rs
Igor Peško, dipl.inž.građ. – master, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: igorbp@uns.ac.rs
Prof. dr Milan Trivunić, dipl.inž.građ., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: trule@uns.ac.rs
Prof. dr Jasmina Dražić, dipl.inž.građ., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: igorbp@uns.ac.rs
Prof. dr Goran Čirović, dipl.inž.građ., Univerzitet u Beogradu, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, e -mail: cirovic@sezampro.rs

1 INTRODUCTION

As it is known, initial phases of construction projects are marked by high risks involved in making possible mistakes regarding the choice of types and dimensions of construction elements. Design in seismically active areas committed to compliance of architectural and structural characteristics of buildings, which makes an adequate seismic resistance. [6] Decisions that need to be made in the initial phases regarding the construction have an impact primarily on the financial parameters of a project, but also define and structure behaviour exposed to the effects of earthquakes. Considering the fact that the production costs of a reinforced concrete skeleton influence the costs of construction works up to 50%, the ability to predict the amount of material would be of considerable assistance in deciding on the characteristics of the building and its structure. In view of the lack of project documentation or its poor quality in the

Vladimir Mučenski, civ.eng.-master, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: mucenskiv@uns.ac.rs
Igor Peško, civ.eng.-master, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: igorbp@uns.ac.rs
Prof. Milan Trivunić, PhD, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: trule@uns.ac.rs
Prof. Goran Čirović, PhD, University of Belgrade, College of Applied Studies in Civil Engineering and Geodesy, Belgrade, e -mail: cirovic@sezampro.rs
Prof. Jasmina Dražić, PhD, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e -mail: igorbp@uns.ac.rs

formirati alate ili primeniti određene matematičke metode radi rešavanja posmatranog problema.

Kako su jedini izvor preciznih informacija pređašnji projekti izgradnje, opravdano je formirati baze podataka koje sadrže potrebne informacije o objektima, kao i informacije o njihovoj izgradnji. Tako formirane baze mogu poslužiti i za sistematizovano prikupljanje podataka o postojećim objektima i za ocenu kvaliteta njihove konstrukcije.

S razvijanjem softvera za rešavanje matematičkih problema, kao i novog koncepta programiranja i proračuna nazvanog „meko računanje“ (eng. *soft computing*), pružena je mogućnost primene određenih matematičkih konceptata čija je realizacija do tog momenta bila neopravdana za veoma složene probleme.

Jedan od konceptata jesu veštačke neuronske mreže kojima se pokušava simulirati rad ljudskog mozga kako bi se rešili određeni matematički problemi. Kako se povećavao broj istraživanja neuronskih mreža, tako se povećavao i broj pokušaja njihove primene u građevinskoj industriji, na osnovu kojih se može tvrditi da je njihova primena u građevinarstvu i te kako opravdana.

Zato je realizovano istraživanje primene veštačkih neuronskih mreža na problem predikcije količina betona i armature, potrebnih za izradu skeletne konstrukcije stambenih objekata. Predikcija potrebnih količina materijala izvršena je na osnovu baze podataka formirane za potrebe istraživanja, koja je sadržala devet parametara (složenost objekta, ukupna bruto površina objekta, prosečna bruto površina etaža, visina objekta, broj zidova za ukrućenje, podužni i poprečni rasteri konstrukcije, tip međuspratne konstrukcije i tip oslanjanja međuspratne konstrukcije) koji su dostupni ili ih je lako definisati u početnim fazama izrade projektne dokumentacije tj. u fazama izrade idejnih rešenja. Pored devet navedenih parametara, izlazne vrednosti baze podataka jesu projektovane količine betona i armature.

Količine materijala izabrane su za izlazne vrednosti zbog njihove univerzalnosti bez obzira na vreme, za razliku od troškova koji direktno zavise od tržišne vrednosti posmatranih materijala u posmatranom periodu.

U okviru rada dat je kratak prikaz koncepta veštačkih neuronskih mreža, kao i trenutnog stanja u oblasti njihove primene na posmatrani problem. Pored toga, detaljno je prikazana metodologija realizacije istraživanja predikcije potrebnih količina materijala, koja obuhvata formiranje baze podataka, iznalaženje optimalne arhitekture mreže u odnosu na kombinaciju ulaznih parametara, iznalaženje optimalnog algoritma za obučavanje, kao i analizu osetljivosti mreže na ulazne podatke.

early phases of the project, it is necessary to establish tools or apply particular mathematical methods with the purpose of solving the given problem.

Since the only source of precise information is previous construction projects, it is reasonable to form a database containing information about both the buildings and the processes involved in their construction. Such databases can be used to systemize the collection of data regarding existing buildings and evaluate the quality of their construction.

With the development of software for solving mathematical problems, but also with the development of a totally new concept of programming and calculation within the same, known as “soft computing”, the opportunity became available for using particular mathematical concepts, the realization of which, up to that point, had been unjustifiable for very complex problems.

One of these concepts is that of artificial neural networks, which attempts to simulate the working of the human brain in order to solve particular mathematical problems. As the amount of research using neural networks has increased, so has the number of attempts to apply them in the construction industry, on the basis of which it can be confirmed that their use is more than justified.

For this reason, research was carried out into the use of artificial neural networks for predicting the amount of concrete and reinforcement needed for constructing the skeletal structure of residential buildings. Predicting the amount of materials required was done on the basis of the database formed for the purposes of this research which included 9 parameters (complexity of the building, total gross area of the building, the average gross floor area, the height of the building, the number of stiffening walls, the longitudinal and transverse raster of the construction, the type of floor structure and the type of floor support structure) which are available or can be easily defined in the preliminary stages of preparing the project documentation i.e. in the phases of conceptual solutions. Besides the nine parameters mentioned, the output values of the database are the projected amounts of concrete and reinforcement.

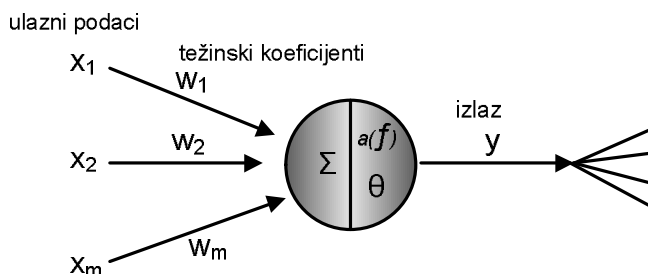
The quantities of these materials were chosen as the output values because of their universality in time, as opposed to cost, which directly depends on the market values of the observed materials at that particular point in time.

In this paper, a brief overview of the concept of artificial neural networks is given, as well as an overview of the current situation regarding their application in solving a given problem. Additionally, a detailed methodology is given for the implementation of research into predicting the amount of materials required, which includes: the process of forming the database, the process of finding the optimal network architecture in relation to the combination of input parameters, the process of finding an optimal training algorithm and the process of sensitivity analysis of the network on the input data.

2 OSNOVE VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA

Osnovne logičke postavke oponašanja biološkog nervnog sistema formirali su McCulloch i Pitts, definišući matematička načela koja su omogućila formiranje veštačkih neuronskih mreža [17]. Princip rada veštačkih neuronskih mreža baziran je na pokušaju oponašanja biološkog nervnog sistema, pri čemu veštačke neuronske mreže podržavaju prepoznavanje određenih pravilnosti i njihovo memorisanje. Pored toga, njihovom primenom omogućeno je i postepeno učenje tj. menjanje već utvrđenih pravilnosti u okviru posmatrane mreže. Zbog svoje fleksibilnosti prilikom iznalaženja zavisnosti, veštačke neuronske mreže pogodne su za analize problema kod kojih ne postoji jasno matematički opisiva zavisnost. Postoji mnogo definicija veštačkih neuronskih mreža. Hajkin ih definiše kao ogromne paralelno distribuisane procesore [10], Zurada ih posmatra kao fizičke celularne sisteme koji mogu da uče, memorišu i koriste eksperimentalno znanje [13], dok ih Nigrin definiše kao sisteme koji se sastoje od velikog broja jednostavnih elemenata za procesiranje informacija [18].

Da bi se formirao matematički model biološkog neurona, mora se voditi računa, pre svega, o njegovoj strukturi. Moraju se formirati dendriti, telo neurona i akson. Na slici 1. prikazan je opšti model matematičkog neurona (McCulloch i Pitts) – tzv. M-P neuron – koji je korišćen za potrebe ovog istraživanja [12]. Ulazni deo neurona s težinama predstavlja dendrite. U okviru tela neurona radi se sumiranje signala, na osnovu čega dolazi ili ne dolazi do aktivacije neurona. Ukoliko postoji aktivacija, signal se prosleđuje putem izlaza (aksona) ka neuronima s kojima je posmatrani povezan.



Slika 1. McCulloch-Pitts model veštačkog neurona
Fig. 1. The McCulloch-Pitts model of an artificial neuron

U okviru ulaznog dela neurona radi se kombinovanje i sumiranje ulaznih podataka i težinskih koeficijenata. Izlazni deo neurona definisan je aktivacionom funkcijom „a“, koja aktivira posmatrani neuron ili sprečava njegovo aktiviranje, u zavisnosti od izlazne vrednosti funkcije. U slučaju kada je aktivaciona funkcija u obliku ponderisane sume, neuroni se aktiviraju kada je vrednost funkcije iznad usvojene vrednosti praga aktivacije θ . Upotrebom većeg broja međusobno povezanih neurona formira se neuronska mreža koja sadrži jedan sloj ili više slojeva neurona. Za potrebe istraživanja korišćene su dve vrste aktivacione funkcije: *hyperbolic tangent sigmoid transfer function* i *linear transfer function*.

2 THE FUNDAMENTALS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The basic logical scheme for the imitation of the biological nervous system was formed by McCulloch and Pitts who defined the mathematical principles which enabled the formation of artificial neural networks. [17] The principle of artificial neural networks is based on the attempt to imitate the biological nervous system in which artificial neural networks support the recognition of particular regularities and their memorization. In addition, gradual learning is possible during their application, i.e. adapting already established rules within the given network. Because of their flexibility in finding dependence, artificial neural networks are suitable for analyzing problems for which there is no clear describable mathematical dependence. There are many definitions of artificial neural networks. Hajkin defines them as huge distributed parallel processors [10], Zurada regards them as physical cellular systems which can learn, memorize and use experimental knowledge [13], while Nigrin defines them as systems which consist of a large number of simple elements for processing information [18].

If one wants to form a mathematical model of a biological neuron, above all, particular respect must be paid to its structure. Dendrites, the body of the neuron and the axon must be formed. Figure 1 shows the McCulloch-Pitts general model of mathematical neuron, the so-called M-P neuron, which has been used for the purpose of this research [12]. The weighted input section of the neuron represents the dendrites. In the body of the neuron, summing of the signal occurs, on the basis of which the neuron is activated or not. If activation occurs, a signal is sent via the output (axon) to the neurons with which it is connected.

Combining and summing of the input data and the weight coefficient occur in the input of the neuron. The output of the neuron is defined by the activation function „a“ which activates or prevents activation of the observed neuron depending on the output value of the function. In the case where the activation function is in the form of a weighted sum, activation of the neuron is carried out when the value of the function is above the adopted threshold activation value θ . By using a larger number of interconnected neurons a neural network is formed which contains 1 or more layers of neurons. For research purposes, two types of activation functions were used: *hyperbolic tangent sigmoid transfer function* and *linear transfer function*.

3 PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

Dosadašnja istraživanja bazirana su na primeni statističkih metoda i ANN prilikom uspostavljanja zavisnosti između parametara koji opisuju građevinski objekat i troškova izgradnje. Knežević i Zejak formirali su model veštačke neuronske mreže za analizu armiranobetonskih vitkih stubova [15]. Kim i ostali [13] poredili su efikasnost primene regresione analize i neuronskih mreža na problem predikcije troškova izgradnje i zaključili da ANN pružaju precizniju procenu traženih podataka. Wang i Gibson [25] realizovali su slično istraživanje, poredeći uspešnost primene neuronskih mreža i regresione analize prilikom predikcije uspešnosti realizacije građevinskih projekata, pri čemu je jedan od parametara uspešnosti bio i budžet projekta. Gunaydin i Dogan [9] analizirali su primenu ANN prilikom procene troškova izgradnje AB konstrukcije, pri čemu su troškovi definisani za m^2 površine objekta. Analiza je realizovana na bazi 30 projekata u Turskoj. Pri tome je prosečna greška iznosila 7%.

Pored toga, realizovano je mnogo analiza primene hibridnih modela ANN i fazi logike i/ili genetskih algoritama. Yu i Skibniewski [24] formirali su hibridni neuro-fazi model za potrebe iznalaženja optimalne tehnologije građenja objekata, koji je baziran na oceni tehnološkičnosti. Kim i ostali [14] analizirali su primenu ANN uz njenu optimizaciju pomoću genetskog algoritma prilikom procene troškova izgradnje. Pri tome su koristili bazu koja je sadržala podatke o 530 stambenih objekata. Rezultat primene hibridnog modela bio je da se 80% podataka za validaciju mreže nalazilo u intervalu greške do 5%. Cheng i ostali [4] analizirali su primenu evolucionih fuzzy ANN prilikom predviđanja konceptualnih troškova građenja, pri čemu su procenjivali značajnost 47 parametara građevinskih objekata. Istraživanje je rezultiralo prosečnom greškom procene od 5,9%. S druge strane, Cheng et al. [5] formirali su hibridni model procene troškova (EWCCE), koji je obuhvatio internet, genetske algoritme, neuronske mreže i fazi logiku, radi procene troškova građenja u ranim fazama realizacije projekta. Pri tome, tačnost formiranog modela bila je veća od 75%. Potrebno je napomenuti da su istraživanja koja se bave predikcijom potrebnih količina materijala retka. U želji da se formira jednostavan i lako primenjiv model predikcije potrebnih količina materijala, u okviru ovog istraživanja nisu korišćeni hibridni modeli.

4 PRIKUPLJANJE PODATAKA I FORMIRANJE BAZE PODATAKA

U okviru rada prikazano je istraživanje problema procene potrebnih količina betona i armature za izradu AB skeleta, primenom veštačkih neuronskih mreža. Kvalitet neuronske mreže prvenstveno zavisi od broja i kvaliteta podataka na osnovu kojih se ona obučava. Zbog toga je za potrebe istraživanja formirana baza podataka koja sadrži informacije iz glavnih projekata stambenih objekata s teritorije grada Novog Sada, u Republici Srbiji. Podaci su slučajnim odabirom podeljeni u dva skupa: skup podataka za obučavanje neuronskih mreža (100 projekata) i skup podataka za evaluaciju kvaliteta analiziranih mreža (15 projekata). Parametri koji su izabrani za opisivanje karakteristika objekta prikazani

3 REVIEW OF RELEVANT LITERATURE

Research up to now has been based on the use of both statistical models and ANN when establishing dependence between parameters which describe a building construction and the building costs or building behaviour. Knezevic and Zejak formed an ANN for analysis of reinforced concrete of thin columns. [15] Kim et al. [13] compared the efficiency of regression analysis and ANN when faced with the problem of predicting building costs, and concluded that ANNs offer a more precise estimation of the required data. Wang and Gibson [25] carried out similar research by comparing the effectiveness of applying neural networks with regression analysis when predicting the success of a construction project in which one of the parameters of success was the project budget. Gunaydin and Dogan [9] analyzed the application of ANN in estimating the cost of building an RC construction in which costs were defined per m^2 of the area of the building. The analysis was conducted on the basis of 30 projects completed in Turkey, and the average error was 7%.

In addition, a large number of analyses were carried out using hybrid ANN models and fuzzy logic and/or genetic algorithms. Yu and Skibniewski [24] formed a hybrid neuro-fuzzy model for finding the optimal technology for constructing buildings based on technology. Kim et al. [14] analyzed the use of ANN with optimization of the same using genetic algorithms during the estimation of construction costs. For this they used a database containing information on 530 residential buildings. The result of using a hybrid model was that 80% of the data for validating the network was found in the error interval of up to 5%. Cheng et al. [4] analyzed the application of fuzzy ANN for predicting conceptual construction costs, whereby they evaluated the significance of 47 building parameters. The research resulted in an average error estimate of 5.9%. On the other hand, Cheng et al. [5] formed the Evolutionary Web-based Conceptual Cost Estimator (EWCCE), a hybrid model including WWW, genetic algorithms, neural networks and fuzzy logic with the purpose of estimating construction costs in the early stages of a project. The accuracy of the model was greater than 75%. It should be noted that research dealing with the prediction of the quantities of materials necessary is rare. In order to establish a simple and easily applied model for predicting the required amounts of materials, hybrid models were not used in this research.

4 DATA COLLECTION AND DATABASE CREATION

The scope of the study is assessment of necessary amounts of concrete and reinforcement for the production of an RC skeleton using artificial neural networks. Above all, the quality of the neural network depends on the amount and quality of the data on the basis of which the neural network is trained. Therefore, for the purposes of this research, a database was established containing information from major residential building construction projects in Novi Sad, Republic of Serbia. The data was randomly divided into two groups, namely: a data set for training the neural network (100 projects) and a data set for assessment of the quality of the analyzed network (15 projects). The Parameters

su u Tabeli 1. i obuhvataju geometrijske i konstruktivne karakteristike objekata.

Potrebno je napomenuti da svi analizirani objekti imaju oslanjanje putem temeljne ploče. Pored navedenog, u okviru baze podataka obuhvaćeni su objekti samo s jednom dilatacijom ili bez dilatacija, budući da je to slučaj u preko 95% stambenih objekata na analiziranom području.

chosen for describing the characteristics of the structure are shown in Table 1 and include the geometric and structural characteristics of the building.

It should be noticed that all the analyzed buildings have base slab support. In addition to the above, the database also includes buildings with one dilation or without any dilation since this is the case in over 95% of residential buildings in the analysed area.

Tabela 1. Opis ulaznih i izlaznih parametara objekta korišćenih za obučavanje veštačke NN
Table 1. Description of input and output parameters of the building used for training the ANN

Tip (Type)	Parametar objekta (Building parameter)		Tip parametra (Parameter type)	Interval parametra ili način definisanja (Interval or parameter definition)
Ulazni podaci (Input data)	x_1	Složenost objekta (Complexity of the building)	Logički (Logic)	Prosta (1), srednja (2), složena (3), veoma složena (4) (Simple (1), medium (2), complex (3), very complex (4))
	x_2	Ukupna površina objekta (Total area)	Numerički (Numeric)	1000 m ² - 8000 m ²
	x_3	Prosečna površina etaža (Average floor area)	Numerički (Numeric)	200 m ² - 2000 m ²
	x_4	Visina objekta (Building height)	Numerički (Numeric)	13 m - 27 m
	x_5	Broj zidova za ukrućenje (Number of stiffening walls)	Numerički (Numeric)	0- 13
	x_6	Podužni raster (Longitudinal raster)	Logički (Logic)	1,00 m-1,99 m (1); 2,00 m-2,99 m (2); 3,00 m-3,99 m (3); 4,00 m-4,99 m (4);
	x_7	Poprečni raster (Transverse raster)	Logički (Logic)	5,00 m-5,99 m (5); 6,00 m-6,99 m (6); 7,00 m-7,99 m (7)
	x_8	Tip međuspratne konstrukcije (Type of floor structure)	Logički (Logic)	Puna AB ploča (1), Poluprefabrikovana tavanica tipa „FERT“ (2) (Full RC slab (1), Semi-prefabricated ceiling type "FERT" (2))
	x_9	Tip oslanjanja međuspratne konstrukcije (Type of supporting floor support)	Logički (Logic)	Direktno oslanjanje (1), oslanjanje putem gređa (2) (Direct support(1), girder support (2))
Izlazni podaci (Output data)	y_1	Količina betona (Quantity of concrete)	Numerički (Numeric)	420 m ³ - 4500 m ³
	y_2	Količina armature (Quantity of reinforcement)	Numerički (Numeric)	28500 kg - 310000 kg

Složenost objekta usvojena je zbog pokušaja definisanja uticaja karakteristika objekta na izlazne veličine iz aspekta kompleksnosti konstrukcije i oblika objekta. Poznato je da oblik osnove objekta i vertikalna podela utiču na ponašanje objekta prilikom zemljotresa [2,16]. Pod prostim objektima obuhvaćeni su objekti pravougaone osnove i bez ikakvih promena u konstrukciji kroz etaže. Srednje složene objekte karakteriše pravougaona osnova uz određene izmene konstrukcije kroz etaže ili približno pravougaona osnova s manjim odstupanjima (L osnova). Pod složenim objektima podrazumevaju se objekti s razuđenom osnovom (Π osnova, H osnova itd.), dok veoma složene objekte odlikuje razuđenost osnove i/ili atipične promene konstrukcije kroz etaže, kao što je smanjenje površine etaža s porastom visine, kao i atipičan oblik skeleta konstrukcije.

Ukupna površina objekta je parametar za koji se očekuje da će najviše uticati na količine materijala. Pri tome, imaju se u vidu veličine bruto površina zbog lakše predikcije u inicijalnoj fazi izrade projektne dokumentacije, kada je teško proceniti neto površine.

Površinom etaža pokušava se dodatno uspostaviti zavisnost između oblika tj. gabarita objekta i izlaznih

Complexity of building was selected for the reason of defining the impact of building characteristics from the aspect of structure complexity and building form on the output values. It is also known that the shape of the building base and a vertical section influence earthquake building behaviour. [2,16] Medium complex buildings are characterized by particular changes in the construction of the floor or an approximately rectangular base with fewer deviations (L base). In the category of complex buildings are those with an indented base (Π base, H base and so on.), while very complex buildings are characterized by an indented base and/or atypical changes in the floor construction such as reduction in the floor area with a growth in its height and an atypical shape of the skeletal construction.

The total area of the building is a parameter which is expected to have a great influence on the quantity of materials. Here, the gross area was taken into account to make prediction easier in the initial phase of preparing the project documentation when it is difficult to estimate the net area.

Including the floor area there is an additional attempt to establish a correlation between the shape i.e. footprint of the building and the output values. Thus, the gross

veličina. Pri tome su takođe usvojene bruto površine etaža.

Prilikom definisanja visine objekta, usvojena su rastojanja od površine terena tj. trotoara do najviše tačke objekta.

S obzirom na to što aseizmičnost objekta, a samim tim i količine betona i armature, zavisi pre svega od broja i rasporeda zidova za ukrućenje (aseizmičkih zidova), usvojen je njegov uticaj na izlazne veličine [6]. Obezbeđujući seizmičku otpornost objekta, projektovanjem potrebnog broja, kao i dimenzija zidova za ukrućenje, direktno se utiče na izlazne podatke, potrebnu količinu betona i armature. Veličine poduznog i poprečnog rastera skeletne konstrukcije direktno utiču na raspone greda i tavanica. Intervali raspona i usvojeni parametri prikazani su u Tabeli 1.

Prilikom prikupljanja podataka, utvrđeno je da se dominantno u okviru projekata pojavljuju dva tipa međuspratne konstrukcije i dva tipa oslanjanja međuspratne konstrukcije, kako je prikazano u Tabeli 1. U okviru Tabele 2, prikazani su segmenti baze podataka na osnovu koje su izvršeni treniranje i validacija ANN.

floor area was also adopted.

The definition adopted for the height of the building was the distance from the ground surface i.e. the pavement to the highest point of the building.

Given that the seismic resistance of the building (and thus, the amount of concrete and reinforcement) above all depends on the number and the distribution of stiffening walls (aseismatic walls), the influence of the same on the output values was adopted. [6] Providing seismic resistance of building through design of required number of share walls and their dimension directly affects the output data, the amount of concrete and rebar. The size of the longitudinal and transverse raster skeletal structure has a direct influence on the span of the girders and the ceiling. The interval range and adopted parameters are shown in Table 1.

During data collection, two types of floor structure and two types of supporting floor structure were dominant within the project, as shown in Table 1. Table 2. Shows the segments of the data base on the basis of which training and validation of the ANN was carried out.

Tabela 2. Prikaz segmenata skupova ulaznih i izlaznih podataka za obuku i validaciju neuronskih mreža
Table 2. Segments of the input and output data sets for the training and validation of neural networks

Ulazni podaci (Input data)									Izlazni podaci (Output data)	
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Y ₁	Y ₂
3	2000	250	23	5	5	3	1	1	800	86000
2	4700	790	17	6	4	5	1	1	1870	148000
2	4350	830	18	8	5	5	1	1	2100	152000
2	2250	340	22	5	3	3	2	2	1050	66500

Ukoliko posmatramo ograničenja baze podataka, potrebno je napomenuti da su njom obuhvaćeni objekti koji su isključivo sa skeletnim sistemom od betona. Pored navedenog, ograničenje formirane baze predstavljaju minimalne i maksimalne vrednosti podataka na osnovu kojih je ANN trenirana. Drugim rečima, prilikom procene količina materijala za nove objekte, vrednosti parametara moraju se nalaziti u intervalu prikupljenih podataka, pri čemu je moguće analizirati samo opcije sa analiziranim tipovima temeljne konstrukcije, međuspratne konstrukcije i oslanjanja konstrukcije.

5 OPTIMIZACIJA ANN ZA PREDIKCIJU KOLIČINA MATERIJALA

U okviru ovog dela rada, detaljno su prikazani postupci primene neuronskih mreža prilikom predikcije količina betona i armature potrebnih za izradu skeletne konstrukcije objekta. Pri tome, prikazan je postupak iznalaženja optimalne arhitekture mreže uz analizu četiri kombinacije ulaznih parametara za koje je pretpostavljeno da će pružiti najpreciznije izlazne vrednosti. Zatim, data je analiza uticaja algoritma za obučavanje mreža, kao i analiza osetljivosti mreža na ulazne podatke korišćene za obučavanje mreže.

When considering the limitations of the database, it should be noted that it includes only buildings which have a concrete skeletal system. In addition to the above, the limits of the established base represent the minimum and maximum data values according to which the ANN is trained. Namely, when carrying out an estimate of the amount of materials for a new building, the parameter values must be found within the interval of the data collected so that it is possible to analyze only the options with the analyzed types of base structure, floor structure and the support of the same.

5 ANN OPTIMIZATION FOR PREDICTING THE QUANTITY OF MATERIAL

This part of the study shows a detailed overview of the process of using neural networks for predicting the quantity of concrete and reinforcement necessary for the skeletal structure of building. The process is presented for finding the optimal network architecture with the analysis of the four combinations of input parameters which are presumed to provide the most accurate output values. Then, an analysis of the effect of algorithms for training the network is given, along with sensitivity analysis of the network on the input data used for training the network.

5.1 Formiranje optimalne arhitekture mreže u zavisnosti od kombinacije ulaznih podataka i treniranje mreža

Tip i struktura neuronskih mreža imaju značajan uticaj na kvalitet i efikasnost mreže. ANN čine neuroni grupisani u slojeve, čiji broj prvenstveno zavisi od problema koji treba da se reši mrežom. Istraživanja su pokazala da mreže s malim brojem neurona, u odnosu na optimalan broj neurona za postavljen problem, pružaju rešenja sa grubom aproksimacijom tj. s velikim odstupanjima. S druge strane, prevelik broj neurona daje previše preciznu aproksimaciju, uzimajući u obzir i mala odstupanja prilikom iznalaženja zavisnosti [1].

Pored broja neurona, značajan je i način njihovog grupisanja u tzv. slojeve neurona. Tako razlikujemo jednoslojne mreže i višeslojne mreže. Bitna karakteristika neuronskih mreža, pored broja neurona i slojeva, jeste i način obrade podataka tj. tok prenosa informacija između neurona. Tako razlikujemo mreže orijentisane unapred (prenos informacija vrši se u jednom smeru, unapred) i mreže orijentisane unazad (prenos informacija vrši se u oba smera, unapred i unazad). Pri tome, u najvećoj meri korišćene su mreže sa algoritmom s propagiranjem greške unazad, gde se signal prenosi unapred, dok se prenos greške – s ciljem njene minimizacije – prenosi unazad, pri čemu se kompletan proces ponavlja dok greška ne dostigne svoj minimum [3,9,14,20-22]. S obzirom na prethodno, algoritam s propagiranjem greške unazad korišćen je i za potrebe realizacije ovog istraživanja.

Proces iznalaženja optimalne strukture neuronske mreže u osnovi se svodi na ispitivanje različitih struktura na osnovu istog skupa podataka, pri čemu se pod ispitivanjem podrazumeva variranje broja slojeva i broja neurona u okviru mreže. Utvrđivanje kvaliteta strukture mreže na posmatranom problemu bazirano je na utvrđivanju veličine greške koja se dobija kao izlazni rezultat nakon procesa obučavanja mreže. Primena neuronskih mreža na posmatrani problem realizovana je uz upotrebu softverskog paketa Matlab R2007b, u okviru kog su urađeni analiza strukture, obučavanje mreža, kao i simulacija njihovog rada. Variranje tipa mreže nije rađeno, jer se pokazalo da su mreže sa algoritmom propagiranja greške unazad optimalne za probleme predikcije [3,9,13,14,25].

Pored definisanja tipa mreže, broja slojeva i broja neurona, potrebno je definisati i transfer funkcije u neuronima, koje definišu način prenosa podataka između njih. Transferi funkcije nazivaju se još i aktivacionim funkcijama. Za posmatrane mreže, u okviru skrivenih slojeva korišćena je *hyperbolic tangent sigmoid transfer function* izuzev neurona u izlaznim slojevima mreža za koje je korišćena *linear transfer function*.

Variranje strukture mreže primenjeno je na različite kombinacije ulaznih podataka kako bi se sagledalo da li pojedini parametri u okviru skupa imaju manji značaj, da li njihova upotreba prilikom obučavanja mreže negativno utiče na njen kvalitet. Analizom su obuhvaćene četiri kombinacije ulaznih podataka za koje je smatrano da će pružiti najbolje rezultate. Prikaz ulaznih parametara koji odgovaraju posmatranoj kombinaciji prikazan je u okviru Tabele 3.

5.1 Establishing the optimal network architecture depending on the combination of input data and network training

The type and the structure of a neural network have a significant effect on the quality and efficiency of the network. ANNs consist of neurons in layers, the numbers of which depends primarily on the problem solved by the network. Based on research, a conclusion was drawn that networks with a small number of neurons (in relation to the optimal number of neurons for the given problem) offer solutions with a rough approximation i.e. with large deviations. On the other hand, exceedingly large number of neurons provides exceedingly precise approximation taking into account the small deviation when searching for dependence. [1]

In addition to the number of neurons, the manner of grouping them in so-called layers of neurons is also significant. Therefore, we distinguish between single- and multi-layered networks. An important characteristic of neural networks, in addition to the number of neurons and layers, is the method of data processing i.e. the transfer flow of information between neurons. So, we distinguish between forward oriented networks (the transfer of information takes place in one direction, forwards) and networks oriented backwards (transfer of information takes place in both directions, forwards and backwards). Herein, the mostly used networks are those with back propagation of errors where the signal is transmitted forwards, while the error is transmitted backwards in order to minimize it, and the whole process is repeated until the error reaches its minimum. [3,9,14, 20-22] In view of the above, an algorithm with error back propagation was used for the purposes of this research.

The process of finding the optimal structure of neural networks in its essence examines different structures on the basis of the same set of data where the investigation involves varying the number of layers and the number of neurons in the network. The process of determining the quality of the network structure in relation to the given problem is based on determining the size of the error which is obtained as an output result after the network training process. Neural networks were applied to the given problem using the Matlab R2007b software package in which analysis of the structure, training of the network and its simulation were carried out. The network type was not varied, since it was shown that networks with error back propagation were optimal for the problem of prediction. [3,9,13,14,25]

Besides defining the network type, it is necessary to define the number of layers and the number of neurons along with the transfer function in the neurons, which define the method of data transmission between the same. Transfer functions are also called activation functionS.

For the observed network, the hyperbolic tangent sigmoid transfer function was used in the hidden layers except for in the output layers of the network for which a linear transfer function was used.

The structure of the network was varied for different combinations of entry data in order to see whether individual parameters within the set are of less importance i.e. whether their use when training the network has a negative effect on the quality of the same. By means of analysis, four combinations of entry data

Tabela 3. Prikaz analiziranih kombinacija ulaznih podataka
Table 3. A presentation of the analyzed combinations of input data

Kombinacija. (Combination)	Ulazni parametri (Input parameters)								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
I	+	+	+	+	+	+	+	+	+
II		+	+		+	+	+	+	
III	+	+		+	+	+	+		
IV		+		+	+				

Prilikom simulacije rada neuronskih mreža, odabrane su po tri varijante strukture koje su rezultirale najmanjim greškama za svaku kombinaciju ulaznih podataka. Izabrane varijacije strukture, kao i njihovi usvojeni nazivi prikazani su u Tabeli 4.

which are considered to provide the best results were included. The input parameters which correspond with the observed combination are shown in Table 3.

During the simulation of the working of a neural network, three variants of the structure were chosen which resulted in the fewest errors for each combination of input data. The selected variations in the structure, along with their names are shown in Table 4.

Tabela 4. Prikaz varijanti mreža na kojima je izvršena simulacija
Table 4. The network variants on which simulation was carried out

Kombinacija ulaznih param. (Combination of input parameters)	Analizirane varijante strukture (The analyzed variant of structure)		
	Var1	Var2	Var3
I	3 sloja (3 layers) - 20,25,2	4 sloja (4 layers) - 20,25,25,2	3 sloja (3 layers) - 10,15,2
II	3 sloja (3 layers) - 10,15,2	4 sloja (4 layers) - 10,15,15,2	5 slojeva (5 layers) - 10,15,15,10,2
III	3 sloja (3 layers) - 10,15,2	4 sloja (4 layers) - 10,15,15,2	5 slojeva (5 layers) - 10,15,15,10,2
IV	3 sloja (3 layers) - 10,15,2	4 sloja (4 layers) - 10,15,15,2	5 slojeva (5 layers) - 10,15,15,10,2

Na osnovu Tabele 4, može se uočiti da je simulacija izvršena na mrežama sa tri sloja, četiri sloja i s pet slojeva, jer se pokazalo da mreže s manje od tri sloja već prilikom obučavanja posle 1000 epoha ne mogu da obezbede zadovoljavajuću grešku (manju od 10^1). Potrebno je napomenuti da poslednji izlazni sloj mora da ima dva neurona s obzirom na to što je izlazni vektor dvodimenzionalan. U ovoj fazi analize teško je sagledati koja kombinacija ulaznih parametara i koja varijanta strukture mreže mogu dati dovoljno precizne rezultate, jer je greška u svim analiziranim slučajevima bila zadovoljavajuća (manja od 10^1).

As can be seen in Table 4, the simulation was carried out on networks with 3, 4 and 5 layers since it has been shown that during the training process, networks with fewer than 3 layers cannot secure satisfactory error (lower than 10^1) after 1000 epochs. It should be mentioned that the last output layer must have 2 neurons given that the output vector is two-dimensional. In this phase of the analysis, it is hard to perceive which combinations of entry parameters and which variant of the network structure will give precise enough results, since the margin of error in all cases analysed was satisfactory, i.e. less than 10^1 .

Pored definisanja strukture mreže i broja neurona, neophodno je odabrati način obučavanja mreže. Ono je bazirano na iznalaženju pravilnosti od strane mreže na osnovu dovoljno velikog broja zadatah podataka, pri čemu se moraju definisati i ulazne i izlazne veličine da bi se utvrdile zavisnosti. Rezultat procesa obučavanja mreže jesu vrednosti težinskih koeficijenata koji opisuju veze između neurona kako je ranije objašnjeno, i/ili izmena strukture neuronske mreže. Pre započinjanja procesa obučavanja, obrađeni su ulazni podaci primenom analize ključnih komponenti (PCA), kako bi se minimalizovao uticaj veličina ulaznih podataka tj. kako bi se uravnotežila značajnost ulaznih parametara. *Principal component* može se objasniti kao linearna kombinacija optimalno uravnoteženih posmatranih promenljivih. Koristi se s ciljem uočavanja pravilnosti unutar grupe

In addition to defining the structure of the network and the number of neurons, it is necessary to select the method for training the network. Training the network is based on its ability to find regularity based on a sufficiently large amount of given data, for which the input and output values must be defined in order to determine the dependence. The result of the network training process is weight coefficient values which describe the connection between the neurons as already described, and/or changes in the structure of the neural network. Prior to the training process, the input data is processed using Principal component analysis (PCA) in order to minimize the effect of the quantity of the input data i.e. in order to balance the importance of the input parameters. The principal component can be explained as the linear combination of the optimally balanced

podataka. Na taj način, moguće je smanjiti broj ulaznih promenljivih bez gubitka kvaliteta ulaznih informacija [11].

Prilikom rešavanja problema predikcije, formirano je devet *principal components*, što je jednako broju ulaznih parametara, jer cilj primene PCA nije bio smanjenje broja parametara, već davanje adekvatne značajnosti parametrima s malim vrednostima u odnosu na npr. površinu objekta.

Rezultati (Tabela 5) na osnovu kojih su birane optimalne strukture mreže u okviru posmatrane kombinacije ulaznih parametara dobijeni su primenom Levenberg-Marquardt algoritma. Levenberg-Marquardt algoritam jedan je od najčešće korišćenih algoritama za obučavanje neuronskih mreža [7,19]. Ranija istraživanja ukazala su na prednosti primene pomenutog algoritma [8]. Veličine grešaka prikazanih u Tabeli 5. određene su na osnovu procentualne greške (1).

observed variables. It is used to observe regularities in data sets. Thus, it is possible to reduce the number of input variables without losing the quality of the input information. [11]

When solving the problem of prediction, nine principal components were formed, equal to the number of input parameters since the goal of applying PCA was not to reduce the number of parameters, but to give adequate significance to the parameters with smaller values in relation to, for example, the area of the building.

The results (see Table 5), according to which the optimal network structure was selected within the observed combinations of input parameters, were obtained using the Levenberg - Marquardt algorithm. The Levenberg - Marquardt algorithm is one of the most commonly used algorithms for training a neural network. [7,19]. Earlier research has proved the advantages of using this algorithm. [8] The error size in Table 5 was determined on the basis of percent error Eq. (1).

$$PE = \frac{|simulirano_i - stvarno_i|}{stvarno_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

Tabela 5. Prikaz grešaka varijanti mreža koje su pružile minimalne greške u okviru posmatrane kombinacije
Table 5 A presentation of the error of the network variants which gave minimum error in the observed combinations

	I Comb. - Var1		II Comb. - Var3		III Comb. - Var3		IV Comb. - Var1	
	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)
1	21,86%	32,51%	65,48%	3,31%	18,89%	6,42%	15,62%	35,75%
2	18,85%	3,78%	26,97%	64,41%	57,03%	33,55%	11,31%	8,11%
3	9,87%	24,57%	8,22%	29,05%	8,76%	11,23%	23,22%	22,54%
4	25,16%	15,31%	11,07%	9,12%	23,52%	15,82%	1,05%	61,18%
5	5,97%	0,53%	60,72%	79,81%	32,03%	92,69%	73,10%	8,98%
6	68,12%	93,30%	3,96%	28,55%	34,17%	20,07%	57,44%	39,48%
7	36,80%	54,70%	10,19%	40,17%	14,56%	18,39%	36,86%	125,62%
8	16,46%	3,43%	8,29%	11,86%	64,32%	23,57%	28,29%	12,10%
9	23,90%	24,66%	2,02%	26,08%	9,31%	21,90%	20,76%	119,97%
10	65,58%	38,81%	12,83%	31,48%	38,12%	18,33%	16,10%	24,75%
11	40,85%	37,58%	1,07%	0,72%	5,66%	10,38%	81,99%	17,82%
12	94,75%	17,23%	1,82%	44,17%	42,57%	30,65%	30,32%	52,14%
13	4,48%	10,00%	2,46%	8,78%	5,64%	4,20%	28,91%	33,11%
14	26,00%	6,78%	6,17%	52,52%	73,58%	108,77%	40,36%	38,81%
15	24,64%	10,59%	5,27%	3,95%	1,87%	17,33%	19,07%	10,19%
Min greška (Min error) [%]	4,48%	0,53%	1,07%	0,72%	1,87%	4,20%	1,05%	8,11%
Max greška (Max error) [%]	94,75%	93,30%	65,48%	79,81%	73,58%	108,77%	81,99%	125,62%
Prosečna greška (Average error) [%]	32,22%	24,92%	15,10%	28,93%	28,67%	28,89%	32,29%	40,70%

Ukoliko nakon celokupne analize uporedimo rezultate svih analiziranih varijanti strukture mreže za sve četiri kombinacije ulaznih parametara, moguće je zaključiti da greške mogu znatno oscilovati i to od 1% pa sve do 120%, što je verovatno posledica nedovoljnog broja podataka prilikom obučavanja mreže.

Kao optimalno rešenje, nametnula se varijanta 3 neuronske mreže u okviru II kombinacije ulaznih parametara (Tabela 3) s greškama od 15,10% i 28,93% za simuliranje potrebnih količina betona i armature respektivno (Tabela 5). Ova varijanta mreže usvojena je zbog minimalne sume prosečnih grešaka simulacije količina dvaju posmatranih materijala. Interval greške simulacije količine betona kreće se od 1,07% do 64,48%, dok se greška simulacije količine armature kreće u intervalu od 0,72% do 79,81%.

5.2 Analiza i odabir optimalnog algoritma za obučavanje neuronske mreže

S obzirom na veliku prosečnu grešku procene potrebne količine armature i radi njenog smanjenja, urađeni su analiza i iznalaženje optimalnog algoritma za obučavanje mreže, pri čemu je korišćena optimalna kombinacije ulaznih podataka (kombinacija II), kao i optimalna strukture mreže (varijanta 3) za posmatranu kombinaciju. S obzirom na velik broj algoritama za obučavanje, analiza je realizovana za sledećih pet algoritama:

1. quasi-Newton backpropagation (BFGS);
2. Levenberg-Marquardt backpropagation (LM);
3. Gradient descent with adaptive lr backpropagation, algoritam s promenljivim koeficijentom za obučavanje (GDA);
4. gradient descent with momentum and adaptive lr backpropagation algoritam s promenljivim koeficijentom za obučavanje bez momenta (GDX);
5. resilient backpropagation, fleksibilni algoritam s propagiranjem greške unazad (RP).

Kako bi se kvalitetnije sagledala preciznost primenjenih algoritama, formirana je Tabela 6. u kojoj su prikazani podaci o odstupanjima izlaznih vrednosti, u odnosu na željene, izraženi u procentima. Klasifikacija

If after completing the whole analysis we compare the results of all the analyses of all the network structure variants for all four combinations of input parameters, it is possible to conclude that error can oscillate significantly, even from 1% all the way to 120%, which is probably the consequence of an insufficient amount of data when training the network.

The third neural network variant was assigned as the optimal solution in combination II of the input parameters (see Table 3) with an error of 15.10% and 28.93% for simulating the required quantity of concrete and reinforcement respectively (see Table 5). This network variant was adopted due to its minimum sum of average error simulation for the quantities of the two observed materials. The error interval for the simulation of the quantity of concrete ranges from 1.07% to 64.48% while the error simulation for the quantity of reinforcement ranges in intervals from 0.72% to 79.81%.

5.2 Analysis and selection of the optimal algorithm for training the neural network

Given the high average error of the estimate for the amount of reinforcement and in order to reduce it, an analysis was carried out to find the optimal algorithm for training the network in which the optimal combination of input data is used (combination II) and also the optimal network structure (variant 3) for that combination. Given the large number of training algorithms, the analysis was carried out for the following five algorithms:

1. quasi-Newton back propagation (BFGS),
2. Levenberg-Marquardt back propagation (LM),
3. Gradient descent with adaptive lr back propagation, an algorithm with a variable training coefficient (GDA),
4. gradient descent with momentum and adaptive lr back propagation, an algorithm with a variable training coefficient without moment (GDX) and
5. resilient backpropagation, a flexible algorithm with error back propagation (RP).

In order to see more clearly the accuracy of the algorithms applied, Table 6 was made, which shows data on the deviations of the output values, in relation to

Tabela 6. Greške simulacije nakon variranja algoritama za obučavanje mreže
Table 6 Simulation errors after varying the algorithm for training the network

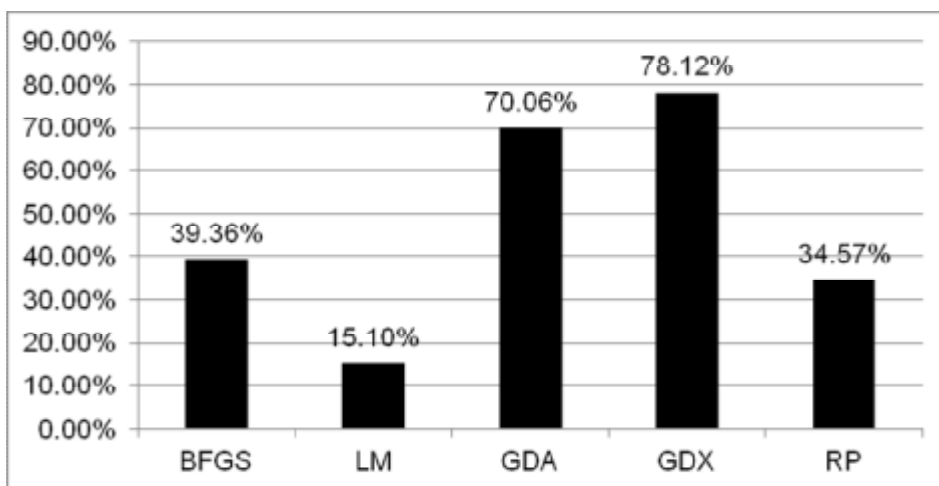
	BFGS		LM		GDA		GDX		RP	
	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)	Beton (Concrete)	Armatura (Reinforcement)
Min. greška (Min. error)	14,06%	0,65%	1,07%	0,72%	3,28%	0,11%	5,94%	0,20%	4,49%	0,88%
Maks. greška (Max. error)	62,68%	36,32%	65,48%	79,81%	174,20%	62,21%	353,96%	43,93%	276,62%	383,93%
Prosečna greška (Average error)	39,36%	12,49%	15,10%	28,93%	70,06%	21,87%	78,12%	14,77%	34,57%	37,98%
Klasifikacija (Classification)	C-3	R-1	C-1	R-4	C-5	R-3	C-4	R-2	C-2	R-5

kvaliteta algoritama za posmatrani problem urađena je na osnovu vrednosti prosečne greške, pri čemu su rezultati klasifikovani oznakama od C-1 do C-5 (concrete) i od R-1 do R-5 (reinforcement) tj. od najboljih do najgorih rezultata respektivno.

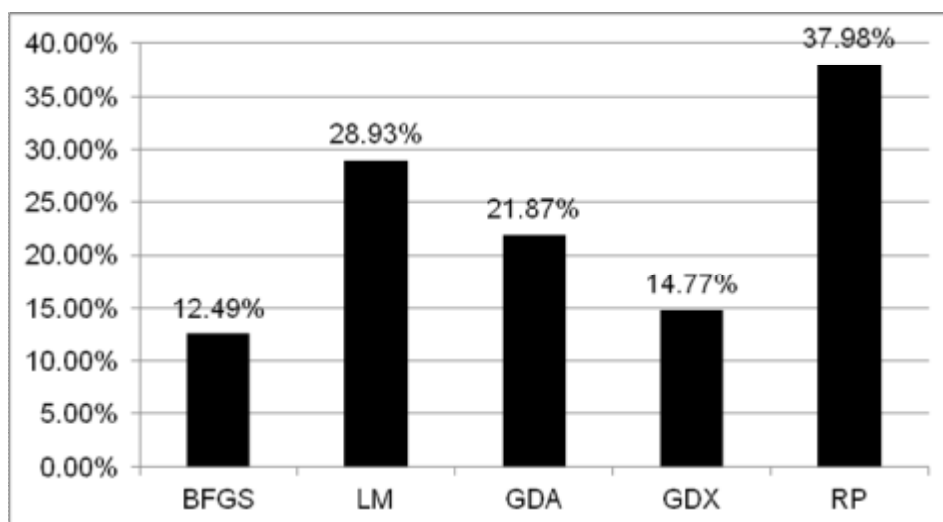
Izlazni podaci za procenu količine betona (Tabela 6 i Slika 2) govore da je najbolje rezultate ponudio u startu primenjen Levenberg-Marquardt algoritam, pri čemu svi ostali primenjeni algoritmi pružaju duplo veću grešku, grešku veću od 30%. U slučaju procene količina potrebne armature, prvobitno analiziran Levenberg-Marquardt algoritam daje rezultate koji su četvrti po preciznosti. (Tabela 6 i Slika 3). Najbolje rezultate pružio je quasi-Newton algoritam s dvostruko manjom greškom u odnosu na Levenberg-Marquardt algoritam.

those desired, in percentages. Classification of the quality of the algorithm for the given problem was carried out on the basis of the average error values in which the results were classified by labelling them from C-1 to C-5 (concrete) and R-1 to R-5 (reinforcement) i.e. from the best to the worst results respectively.

If we consider the output data for estimating the amount of concrete (see Table 6 and Fig. 2), from the beginning, the best results were given by the Levenberg - Marquardt algorithm. All other algorithms applied gave twice the amount of error i.e. error greater than 30%. When estimating the amount of reinforcement required, the originally analyzed Levenberg - Marquardt algorithm gave data results which were fourth in terms of their accuracy. (see Table 6 and Fig. 3) The best results were offered by the quasi Newton algorithm, which gave half as much error than the Levenberg - Marquardt algorithm.



Slika 2. Dijagram prosečnih grešaka simuliranih količina betona za analizirane algoritama za obučavanje
Fig. 2. Diagram of the average error for the simulated quantities of concrete for the analyzed training algorithms



Slika 3. Dijagram prosečnih grešaka simuliranih količina armature za analizirane algoritme za obučavanje
Fig. 3. Diagram of the average error of the simulated quantity of reinforcement for the analyzed training algorithms

Prosečena greška od 15,10% za količine betona i 12,49% za količine armature može se smatrati prihvatljivom u fazama pokretanja projekta. Međutim, potrebno je obratiti pažnju na veličine maksimalne greške koje iznose 36,32% i 65,48% za posmatrane materijale, što može da ukazuje na potrebu za većom količinom ulaznih podataka radi preciznije procene, ali i na veliku disperziju podataka koja direktno prozlazi iz različitih pristupa projektovanju konstrukcije ili nepreciznih podataka unutar posmatranih projekata.

5.3 Analiza osetljivosti usvojene neuronske mreže u odnosu na ulazne podatke

U okviru istraživanja, analizirana je osetljivost neuronskih mreža za dva algoritma obučavanja (quasi-Newton i Levenberg-Marquardt), radi uočavanja uzroka velikih odstupanja tj. velikih vrednosti maksimalne greške. Nakon analize strukture ulaznih podataka, za parametar ukupne bruto površine objekta formirana je Tabela 7, koja prikazuje broj podataka na osnovu kojih je rađeno obučavanje mreže u odnosu na intervale vrednosti posmatranih parametara. Usvojen parametar posmatran je zbog velikog uticaja na izlazne podatke, što je zaključeno na osnovu realizovane *Principal component analysis*.

An average error of 15.10% for the quantity of concrete and 12.49% for the quantity of reinforcement can be considered as acceptable in the initial stages of the project. However, it is necessary to pay attention to the size of the maximum errors which are 36.32% and 65.48% for the observed materials, which may indicate the need for a greater amount of input data to give a more accurate estimate, but also the great dispersion of the data which stems directly from different approaches to construction design or imprecise data from the projects in question.

5.3 Sensitivity analysis of the adopted neural network in relation to the input data

As part of the research, a sensitivity analysis was carried out on the neural network for two training algorithms (quasi Newton and Levenberg - Marquardt) with the purpose of finding the cause of the large deviations, i.e. the large values of the maximum error. After analyzing the structure of the input data for the parameter total gross area of the building, Table 7 was formed, showing the data on the basis of which the network was trained in relation to the interval values for the given parameter. The adopted parameter was observed due to its large impact on the output data which was concluded after Principal component analysis was carried out.

Tabela 7. Struktura podataka za obučavanje za parametar ukupne bruto površine objekta
Table 7. Structure of the training data for the parameter total gross area of the building

Interval površine objekta (Interval of building area)	Br. slučajeva prilikom obučavanja (Number of cases during training)	%
1000-1499	9	9,00%
1500-1999	11	11,00%
2000-2499	14	14,00%
2500-2999	14	14,00%
3000-3499	11	11,00%
3500-3999	6	6,00%
4000-4499	9	9,00%
4500-4999	9	9,00%
5000-5499	5	5,00%
5500-5999	5	5,00%
6000-6499	3	3,00%
6500-6999	2	2,00%
7000-7499	1	1,00%
7500-7999	1	1,00%
Ukupno (Total)	100	100,00%

Kako bi se lakše sagledali i uočili intervale površina za koje su se javile maksimalne greške, formirana je Tabela 8. koja pruža uvid u uporednu analizu grešaka, ulaznih veličina, izlaznih veličina i željenih vrednosti.

Uočljivo je da oni intervale površina objekta, za koje su se desile maksimalne greške u vezi s količinom betona, jesu interval od 2000 m² do 2499 m² i interval od 2500 m² do 2999 m², dok su u slučaju armature intervale od 1000 m² do 1499 m² i od 3000 m² do 3499 m² oni s najvećim greškama.

Ukoliko dobijene informacije uporedimo s Tabelom 7,

In order to observe more easily the intervals for area which gave the maximum error, Table 8 was formed, which offers insight into the comparison analysis of the errors, input data, output data and the desired values.

As can be seen, the intervals for the area of the building which gave the maximum errors connected with the amount of concrete were intervals from 2000 m² to 2499m² and intervals from 2500 m² to 2999m², while for the case of reinforcement the intervals from 1000 m² to 1499m² and from 3000 m² to 3499m² were those with the greatest errors.

moгуće je uoči ti da se najveće greške javljaju u intervalima površina objekta s najvećim brojem ulaznih podataka. U slučaju betona, broj odgovarajućih ulaznih podataka jeste 28, dok je u slučaju armature taj broj 15.

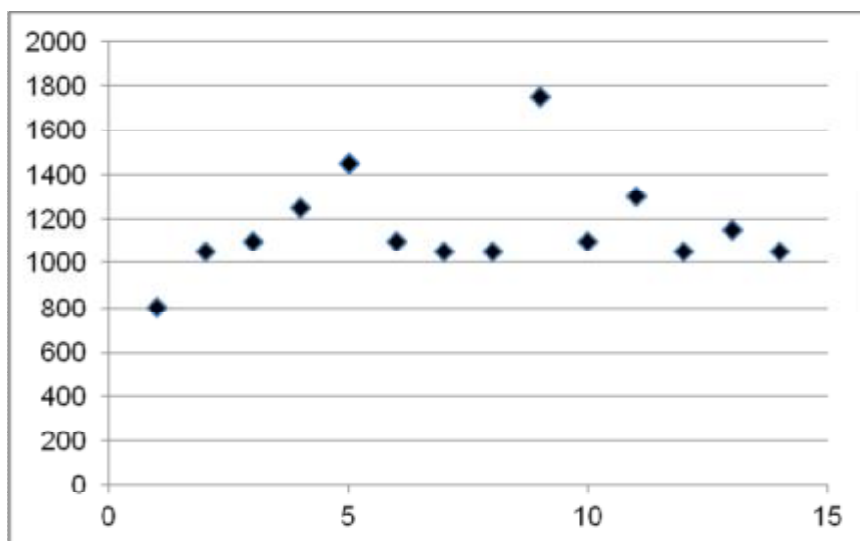
S obzirom na uočenu kontradiktornost, neophodno je sagledati kakva je struktura projektovanih vrednosti količina betona i armature na osnovu kojih je izvršeno obučavanje mreže. Ona je formirana u obliku „skater“ dijagrama i prikazana na slikama 4-7.

If we compare the information obtained with Table 7, it can be seen that the largest errors occur in intervals for the building area with the highest amount of input data. In the case of concrete, an adequate number of inputs are 28, while in the case of reinforcement it is 15.

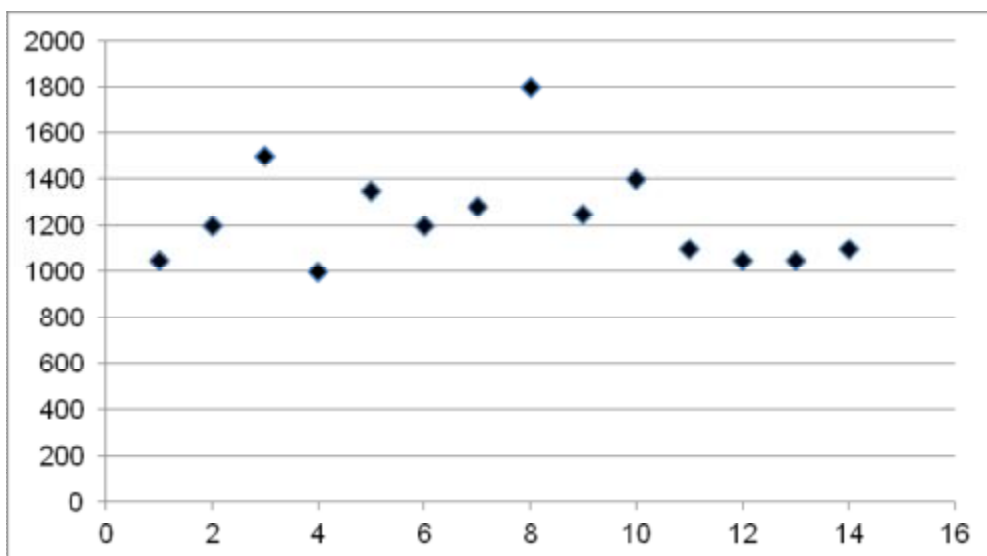
Considering the perceived contradiction, it is necessary to look at what the structure of the projected values is like for the amount of concrete and reinforcement on the basis of which the network is trained. This was achieved in the form of a “scatter” diagram and is shown in Fig. 4-7.

Tabela 8. Usporedna analiza ulaznih podataka, izlaznih podataka, željenih vrednosti i grešaka
Table 8. A comparison analysis of the input data, the output data, the desired values and the errors

ULAZNI PARAMETRI SIMULACIJE MREŽE (INPUT PARAMETERS FOR THE NETWORK SIMULATION)						ŽELJENE VREDNOSTI (DESIRED VALUES)		VREDNOSTI DOBIJENE SIMULACIJOM RADA MREŽE (VALUES OBTAINED BY SIMULATING THE NETWORK)		GREŠKE SIMULACIJE RADA MREŽE (ERRORS IN THE NETWORK SIMULATION)	
X ₂	X ₃	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	y ₁	y ₂	y ₁	y ₂	y ₁	y ₂
2450	600	8	4	4	1	1280	71000	442	79.267	65,48%	11,64%
3480	700	10	5	6	1	1550	107000	1.968	129.746	26,97%	21,26%
4800	1200	12	6	5	1	2000	160000	1.836	142.684	8,22%	10,82%
6200	1400	11	5	5	1	2800	210000	3.110	191.370	11,07%	8,87%
2650	1000	6	4	4	1	1100	87000	1.768	76.077	60,72%	12,56%
3200	1100	8	5	5	1	1720	110000	1.788	95.754	3,96%	12,95%
5900	1200	12	4	6	1	2850	165000	3.140	163.934	10,19%	0,65%
4100	800	8	5	5	2	1500	115000	1.624	108.872	8,29%	5,33%
5400	1000	6	4	6	1	2500	161000	2.551	185.149	2,02%	15,00%
1500	500	4	4	4	2	750	46000	846	42.310	12,83%	8,02%
1800	550	5	5	5	1	850	59000	841	54.298	1,07%	7,97%
1150	400	3	5	5	2	600	33000	611	21.016	1,82%	36,32%
2700	500	8	6	4	1	1750	118000	1.707	96.900	2,46%	17,88%
2800	700	6	5	5	1	1250	75000	1.327	84.486	6,17%	12,65%
3600	850	8	4	4	1	1850	100000	1.753	105.498	5,27%	5,50%
Minimalna greška (Minimum error)										1,07%	0,65%
Maksimalna greška (Maximum error)										65,48%	36,32%
Prosečna greška (Average error)										15,10%	12,49%



Slika 4. Disperzija količina betona za interval bruto površine objekta 2000 m²-2499 m²
 Fig. 4. Dispersion for the amount of concrete for the interval of gross building area of 2000 m²-2499 m²



Slika 5. Disperzija količina betona za interval bruto površine objekta 2500 m²-2999 m²
 Fig. 5. Dispersion for the amount of concrete for the interval of gross building area of 2500 m²-2999 m²

Ukoliko posmatramo disperzije količina betona prikazane na slikama 4 i 5, lako je uočiti velika odstupanja graničnih vrednosti. U slučaju intervala površina od 2000 m² do 2499 m², vrednost količine betona varira od 800 m³ pa sve do 1750 m³, što je više od 100% u odnosu na prvu posmatranu količinu.

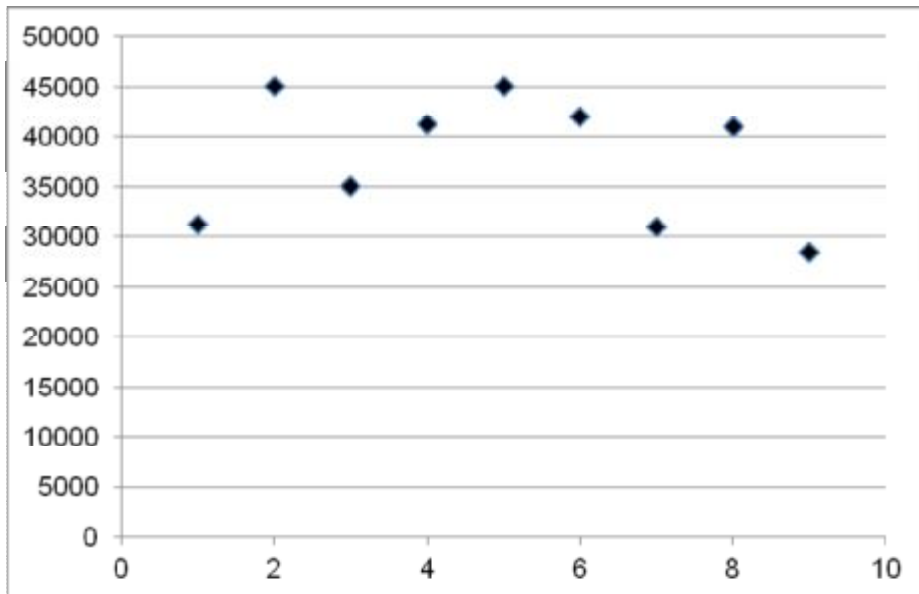
U okviru intervala površina 2500 m² do 2999 m², količine betona, na osnovu kojih je izvršeno obučavanje mreže, variraju od 1000 m³ do 1800 m³, što takođe predstavlja veliku disperziju.

U slučaju količina armature (slike 6 i 7), situacija je skoro identična. U okviru intervala površina od 1000 m² do 1499 m², količina armature se kreće u granicama od 28500 kg do 45000 kg, dok se u okviru intervala površina od 3000 m² do 3499 m² kreće u granicama od 54900 kg do 110000 kg.

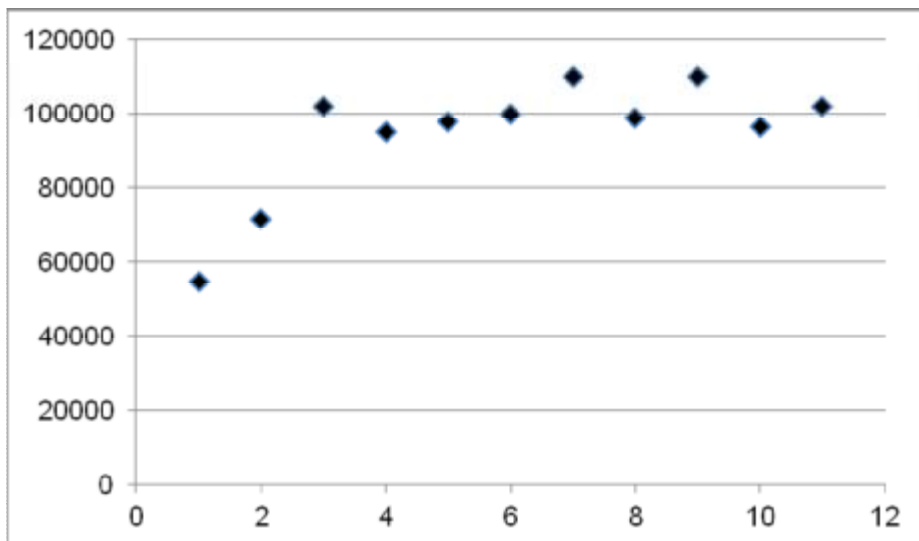
If we consider the dispersion of the amount of concrete shown in Fig. 4 and Fig. 5, it is easy to see the large deviations in the value limits. In the case of the intervals for the area of 2000m² to 2499m² the value for the amount of concrete varies from 800m³ all the way to 1750m³ which is greater than 100% in relation to the first quantity mentioned.

In the case of the interval for the area of 2500m² to 2999m² the amounts of concrete on the basis of which the network was trained range from 1000m³ to 1800m³, which also represents a large dispersion.

In the case of the amount of reinforcement (Fig. 6 and 7), the situation is almost identical. In the interval for the area of 1000-1499m² the amount of reinforcement ranges between 28500kg and 45000kg while for the interval for the area of 3000-3499m² ranges between 54900 and 110000kg.



Slika 6. Disperzija količina armature za interval bruto površine objekta 1000 m^2 - 1499 m^2
 Fig. 6. Dispersion of the amount of reinforcement for the interval of gross building area of 1000 m^2 - 1499 m^2



Slika 7. Disperzija količina armature za interval bruto površine objekta 3000 m^2 - 3499 m^2
 Fig. 7. Dispersion for the amount of reinforcement for the interval gross area of the building 3000 m^2 - 3499 m^2

U daljoj analizi, urađena je korekcija skupa podataka korišćenog za obučavanje mreže, gde su izuzete uočene granične vrednosti. Nakon izvršenog novog procesa obučavanja na neuronskoj mreži nepromenjene strukture i kombinacije ulaznih podataka za dva usvojena algoritma za obučavanje (quasi-Newton i Levenberg-Marquardt), kao i nakon simulacije njihovog rada, dobijeni su novi rezultati i oni su prikazani u Tabeli 9.

Na osnovu Tabele 9, moguće je zaključiti da nije značajno promenjena veličina prosečne greške, štaviše, ona je povećana. Međutim, ukoliko posmatramo maksimalne greške, primećuje se značajan napredak u slučaju simulacije količina betona pomoću *Levenberg-Marquardt* algoritma, pri čemu je veličina maksimalne greške smanjena za 50%, dok je za slučaj simulacije

In further analysis, correction was carried out for the data set used for training the network, where the perceived limit values were excluded. After carrying out the new process of training on the neural network, the unchanged structure and combination of input data for the two adopted training algorithms (quasi-Newton and Levenberg-Marquardt) along with the new results obtained after simulation of the network are shown in Table 9.

Based on Table 9 it can be concluded that there was no significant change in the size of the average error, moreover, there was an increase in it. However, if we consider the maximum error, significant progress is noticed in the case of the simulation of the amount of concrete using the *Levenberg-Marquardt* algorithm,

armature došlo do neznatnog povećanja prosečne greške.

whereby the size of the maximum error was reduced by 50%, while in the case of the simulation for reinforcement, there was a slight increase in the average error.

Tabela 9. Uporedna tabela željenih i simuliranih vrednosti pre i nakon korekcije skupa podataka za obučavanje
Table 9. Comparative Table of the desired and simulated values before and after correction of the data set for training

ŽELJENE VREDNOSTI (DESIRED VALUES)		II KOMBINACIJA ULAZNIH PARAMETARA (COMBINATION II FOR INPUT PARAMETERS)								
		PRE KOREKCIJE SKUPA ULAZNIH PODATAKA (PRE-CORRECTION SET OF INPUT DATA)				NAKON KOREKCIJE SKUPA ULAZNIH PODATAKA (SET OF INPUT DATA AFTER CORRECTION)				
		LM		BFGS		LM		BFGS		
Projekt. količina betona (Project. amount of concrete)	Projekt. količina armature (Project. amount of reinforcement)	Simul. količina betona (Simul. amount of concrete)	Greška (Error)	Simul. količina armature (Simul. amount of reinforcement)	Greška (Error)	Simul. količina betona (Simul. amount of concrete)	Greška (Error)	Simul. količina armature (Simul. amount of reinforcement)	Greška (Error)	
1	1.280	71.000	442	65,48%	79.267	11,64%	1.055	17,56%	70.289	1,00%
2	1.550	107.000	1.968	26,97%	129.746	21,26%	1.557	0,47%	136.472	27,54%
3	2.000	160.000	1.836	8,22%	142.684	10,82%	1.383	30,87%	143.317	10,43%
4	2.800	210.000	3.110	11,07%	191.370	8,87%	2.210	21,07%	195.069	7,11%
5	1.100	87.000	1.768	60,72%	76.077	12,56%	1.319	19,92%	86.451	0,63%
6	1.720	110.000	1.788	3,96%	95.754	12,95%	1.973	14,74%	114.628	4,21%
7	2.850	165.000	3.140	10,19%	163.934	0,65%	2.458	13,75%	191.016	15,77%
8	1.500	115.000	1.624	8,29%	108.872	5,33%	1.913	27,51%	111.408	3,12%
9	2.500	161.000	2.551	2,02%	185.149	15,00%	3.015	20,58%	207.946	29,16%
10	750	46.000	846	12,83%	42.310	8,02%	797	6,32%	46.322	0,70%
11	850	59.000	841	1,07%	54.298	7,97%	859	1,07%	59.542	0,92%
12	600	33.000	611	1,82%	21.016	36,32%	557	7,11%	20.162	38,90%
13	1.750	118.000	1.707	2,46%	96.900	17,88%	1.376	21,38%	83.115	29,56%
14	1.250	75.000	1.327	6,17%	84.486	12,65%	1.533	22,67%	89.663	19,55%
15	1.850	100.000	1.753	5,27%	105.498	5,50%	1.809	2,22%	103.836	3,84%
Minimalna greška (Minimum error)			1,07%		0,65%		0,47%		0,63%	
Maksimalna greška (Maximum error)			65,48%		36,32%		30,87%		38,90%	
Prosečna greška (Average error)			15,10%		12,49%		15,21%		13,65%	

6 DISKUSIJA REZULTATA

Prilikom istraživanja primenljivosti ANN na problem predikcije potrebnih količina betona i armature u predinvesticionim fazama projekta, formirana je baza od 115 projekata stambenih objekata s devet ulaznih parametara i sa dva izlazna parametra. U fazi iznalaženja optimalne strukture neuronske mreže, primenjen je *Levenberg-Marquardt* algoritam, pri čemu je zaključeno da mreže s jednim slojem i s dva sloja već u fazi treniranja ne pružaju dovoljnu tačnost. Zato su detaljnije analizirane mreže s tri sloja, četiri sloja i s pet slojeva. Pri tome, mreža sa strukturom od pet slojeva (broj neurona po slojevima 10,15,15,10,2) pružila je najbolje rezultate za II kombinaciju ulaznih podataka, gde su uzeti u obzir ukupna bruto površina objekta, bruto površina etaža, broj zidova za ukrućenje, podužni raster,

6 DISCUSSION OF THE RESULTS

During research into the applicability of ANN to the problem of predicting the required quantities of concrete and reinforcement in the pre-investment phases of a project, a database of 115 residential building projects was created with 9 input parameters and 2 output parameters. In the phase of finding the optimal structure of the neural network the *Levenberg-Marquardt* algorithm was used, by means of which a conclusion was drawn that networks with one or two layers already in the training phase are not accurate enough. Therefore, networks with 3, 4 and 5 layers were analyzed in more detail. It was the network with a structure of 5 layers (no. of neurons in layers: 10,15,15,10,2) that gave the best results for combination

poprečni raster i tip međuspratne konstrukcije. Na osnovu navedenog, moguće je zaključiti da se povećanjem broja ulaznih parametara koji opisuju objekat ne obezbeđuje nužno i povećanje kvaliteta predikcije izlaznih podataka. Zato je potrebno pažljivo analizirati značaj ulaznih parametara na prediktovane podatke. S druge strane, povećanje složenosti mreže za posmatrani problem pokazalo se kao dobro rešenje, što je najverovatnije posledica složenog uticaja ulaznih parametara na tražene količine materijala. Prilikom procene količina betona, prosečna greška iznosila je 15,10%, dok je za procenu količine armature iznosila 28,93%.

Kako veličina prosečne greške procene količine armature iznosi skoro 30%, izvršena je varijacija pet trening funkcija (*quasi-Newton backpropagation* [BFGS], *Levenberg-Marquardt backpropagation* [LM], *Gradient descent with adaptive lr backpropagation* – algoritam s promenljivim koeficijentom za obučavanje [GDA], *gradient descent with momentum and adaptive lr backpropagation* – algoritam s promenljivim koeficijentom za obučavanje bez momenta [GDJ] i *resilient backpropagation* – fleksibilni algoritam s propagiranjem greške unazad [RP]) s ciljem iznalaženja ANN koja će pružiti veću preciznost predikcije. Variranje trening funkcija realizovano je za II kombinaciju ulaznih podataka i varijantu ANN broj 3. Prilikom variranja trening funkcija, najbolje rezultate za predikciju količina betona pružio je inicijalno korišćen *Levenberg-Marquardt backpropagation algoritam* (prosečna greška 15,10%), dok je najbolju procenu potrebne količine armature pružio *quasi-Newton backpropagation algoritam* (prosečna greška 12,49%). Na osnovu prethodnog, može se zaključiti da je opravdano posmatrani problem rešavati s dve odvojene ANN, jer su dva različita algoritma obučavanja pružila najpreciznije podatke. Pri tome, procenu potrebnih količina betona treba raditi pomoću *Levenberg-Marquardt backpropagation* algoritma, dok procenu potrebne količine armature treba raditi pomoću *quasi-Newton backpropagation* algoritma.

Iako je dobijena vrednost prosečne greške zadovoljavajuća, uočene su velike vrednosti maksimalne greške predikcije kako količina betona (65,48%) tako i količina armature (36,32%) i to za intervale bruto površina objekta za koje je korišćen najveći broj podataka za treniranje. U slučaju procene količine betona, maksimalne greške javile su se za interval bruto površine objekta od 2000 m² do 2499 m² i interval bruto površine objekta od 2500 m² do 2999 m². U slučaju procene količine armature, maksimalne greške javile su se za intervale bruto površine objekta od 1000 m² do 1499 m² i od 3000 m² do 3499 m². Nakon detaljnije analize disperzije vrednosti količina betona i armature korišćenih za treniranje mreže, uočena su velika odstupanja minimalnih i maksimalnih vrednosti koja su iznosila 119% u slučaju količine betona i 100% u slučaju količine armature. Nakon izuzimanja ekstremnih vrednosti u okviru skupa za treniranje, izvršena je nova analiza koja je rezultirala dvostrukim smanjenjem maksimalne greške procene količine betona i neznatnim povećanjem maksimalne greška procene količine armature. Na osnovu prethodno iznetog, moguće je zaključiti da neuronske mreže mogu biti veoma osetljive na kvalitet i disperziju ulaznih podataka kao i njihov ukupan broj. Zato je opravdana analiza disperzije

II of the input data where the total gross building area, gross floor area, number of stiffening walls, longitudinal raster, transverse raster and type of floor structure were taken into account. From the above it is possible to conclude that by increasing the number of input parameters which describe the building, there is not necessarily an increase in the desired quality of the prediction of the output data. For this reason it is necessary to carefully analyze the significance of the input parameters to the predicted data. On the other hand, an increase in the complexity of the network for the given problem proved itself to be a good solution, which is most likely a consequence of the complex effect of the input parameters on the required quantities of materials. When estimating the amount of concrete, the average error was 15.10% while for estimating the amount of reinforcement, it was 28.93%.

Since the average error for estimating the amount of reinforcement was almost 30%, variation was carried out for 5 training functions [*quasi-Newton back propagation* (BFGS), *Levenberg-Marquardt back propagation* (LM), *gradient descent with adaptive lr back propagation*, an algorithm with a variable training coefficient (GDA), *gradient descent with momentum and adaptive lr back propagation*, an algorithm with a variable training coefficient without moment (GDJ) and *resilient back propagation*, a flexible algorithm with error back propagation (RP)] in order to find the ANN which offers a greater accuracy of prediction. The training function was varied for combination II of the input data and ANN variant number 3. During variation of the training function, the best results for predicting the required amount of concrete were offered by the *Levenberg-Marquardt back propagation algorithm* (average error 15.10%), while the best estimate for the required amount of reinforcement were offered by the *quasi-Newton back propagation algorithm* (average error 12.49%). On the basis of the above, it can be concluded that it is justified for the given problem to be solved using two separate ANN since two different training algorithms offered the most precise data. Therefore, estimation of the required amount of concrete should be carried out using the *Levenberg-Marquardt back propagation algorithm*, while estimation of the required amount of reinforcement should be carried out using the *quasi-Newton back propagation algorithm*.

Although the average error value was satisfactory, high values were noted for the maximum prediction error both for the amount of concrete (65.48%) and the amount of reinforcement (36.32%) for the intervals of gross area of the building, for which the largest amount of training data was used. In the case of estimating the amount of concrete, the maximum errors occurred for the interval of gross area of the building from 2000m² to 2499m² and the interval of gross area of the building from 2500m² to 2999m². In the case of estimating the amount of reinforcement, the maximum error occurred for the gross area of the building from 1000m² to 1499m² and from 3000m² to 3499m². After a detailed analysis of the dispersion values for the amount of concrete and reinforcement used for training the network, large deviations for the minimum and maximum values were observed, which amounted to 119% in the case of concrete and 100% in the case of the quantity of reinforcement. After excluding the extreme values from

ulaznih podataka za obučavanje mreže i – ukoliko je potrebno – isključivanje graničnih vrednosti.

7 ZAKLJUČCI I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

U okviru rada, prikazani su analiza i formiranja optimalne mreže za potrebe predikcije potrebnih količina betona i armature na osnovu baze formirane za potrebe istraživanja, koja sadrži podatke iz 115 glavnih projekata stambenih objekata. Pri tome, zaključeno je da za posmatranu bazu podataka najbolje rezultate pruža mreža s propagiranjem greške unazad s pet slojeva (raspored neurona po slojevima: 10,15,15,10, 2), pri čemu je prilikom njenog obučavanja, od ukupno devet ulaznih parametara, u obzir uzeto šest: ukupna bruto površina objekta, prosečna bruto površina etaža, broj zidova za ukrućenje, podužni raster, poprečni raster i tip međuspratne konstrukcije.

Definisana mreža u kombinaciji s quasi-Newton algoritmom pruža najbolje rezultate u pogledu simulacije količina armature, dok ona u kombinaciji s Levenberg-Marquardt algoritmom obuke pruža najbolje rezultate u slučaju predikcije potrebnih količina betona. Na osnovu navedenog, opravdano je analizirati opciju odvojenog posmatranja problema predikcije količina materijala s dve neuronske mreže različitih struktura i algoritama obučavanja, ali na osnovu iste baze podataka.

Dalja istraživanja trebalo bi da se kreću u pravcu formiranja dve različite neuronske mreže, s ciljem poboljšanja kvaliteta baze podataka u pogledu broja podataka, ali i uvođenja drugih tipova konstruktivnih sistema, kao što su masivni konstruktivni sistem i montažni konstruktivni sistemi od AB prefabrikovanih elemenata.

ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, u okviru tehnološkog projekta TR 36043 pod nazivom „Razvoj i primena sveobuhvatnog pristupa projektovanja novih i procena sigurnosti postojećih konstrukcija za smanjenje seizmičkog rizika”.

the data set for training, a new analysis was carried out which resulted in two times the reduction of the maximum error for estimating the amount of concrete and a slight increase in the maximum error for estimating the amount of reinforcement. Based on the above, it is possible to conclude that neural networks can be very sensitive both to the quality and dispersion of the input data and to its total. Therefore, analysis of the dispersion of the input data for training the network is justified, and if necessary the value limits could be excluded.

7 CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH

This study presents the analysis and formation of optimal networks for the purpose of predicting the required amounts of concrete and reinforcement based on a database formed for the purposes of this research, which contains data from 115 major residential building projects. It was concluded that for the given database, the best results are offered by the network with error back propagation, and with five layers (distribution of neurons in layers: 10,15,15,10, 2); during the process of base training, 6 input parameters were taken into account out of 9, such as: total gross area of the building, average gross floor area, number of stiffening walls, longitudinal raster, transverse raster and type of floor construction.

A defined network in combination with the quasi-Newton algorithm offers the best results in terms of simulating the amount of reinforcement, while the same in combination with the Levenberg – Marquardt training algorithm gives the best results in the case of predicting the required amount of concrete. Consequently, it is justified to analyze the option of separate observations for predicting the amounts of materials with two different neural network structures and training algorithms, but on the basis of the same database.

Further research should go in the direction of forming two different neural networks in order to improve the quality of the database in terms of the amount of data but also in terms of introducing other types of structural systems such as a massive structural system and pre-fabricated structural system of RC pre-fabricated elements.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was done within the scientific research project TR 36043 "Development and application of a comprehensive approach to the design of new and safety assessment of existing structures for seismic risk reduction in Serbia", supported by the Ministry for Science and Technology, Republic of Serbia. This support is gratefully acknowledged.

8 LITERATURA REFERENCE

- [1] Adeli, H., Wu, M., Regularization neural network for construction cost estimation, *Journal of Construction Engineering and Management*, January/February, 1998, 18-24
- [2] Arnold, C., Reitherman, R., *Building Configuration and Seismic Design*, John Wiley & Sons, 1982
- [3] Bhokha, S., Ogunlana, S., Application of artificial neural network to forecast construction duration of buildings at the predesign stage *Engineering, Construction and Architectural Management*, 6/2, 1999, 133–144
- [4] Cheng, M.Z., Tsai, H.C., Sudjono, E., Conceptual cost estimates using evolutionary fuzzy hybrid neural network for projects in construction industry, *Expert Systems with Applications*, 37, 2010, 4224–4231
- [5] Cheng, M.Y., Tsai, H.C., Hseih, W.S., Web-based conceptual cost estimates for construction projects using Evolutionary Fuzzy Neural Inference Model, *Automation in Construction*, 18, 2009, 164–172
- [6] Dražić, J., Conceptual designing of aseismic structures-evaluation of design solution, *Materijali i konstrukcije*, vol. 52, br. 3-4, 2009, 21-34
- [7] Dreyfus, G., *Neural Networks: Methodology and Application*, Springer-Verlag, Berlin, 2005, 193-194
- [8] Golić, K., Resource planning in construction using ANN and integrated fuzzy-neural systems, PhD thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 2007 (in Serbian).
- [9] Gunaydin, H.M., Dogan, S.Z., A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings, *International Journal of Project Management*, 22, 2004, 595–602
- [10] Haykin, S., *Neural Networks*, Prentice Hall, New Jersey, 2005.
- [11] Jolliffe, I.T., *Principal Component Analysis*, Second Edition, Springer-Verlag, New York, 2002, 1-6
- [12] Kawaguchi, K., The McCulloch-Pitts Model of Neuron, <http://wwwold.ece.utep.edu/research/webfuzzy/docs/kk-thesis/kk-thesis-html/node12.html> (last visited on Feb., 15, 2011)
- [13] Kim, G.H., An, S.H., Kang, K.I., Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning, *Building and Environment*, 39, 2004, 1235–1242
- [14] Kim, G.H., Yoon, J.E., An, S.H., Cho, H.H., Kang, K.I., Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs, *Building and Environment*, 39, 2004, 1333 – 1340
- [15] Knežević, M., Zejak, R., Neuronske mreže – primjena za izradu prognoznog modela eksperimentalnog istraživanja za vitke armirano-betonske stubove, *Materijali i konstrukcije*, vol. 51, br. 1, 2008, 41-56
- [16] Lađinović, Đ., Savremene metode seizmičke analize konstrukcije zgrada, *Materijali i konstrukcije*, vol. 51, br. 2, 2008, 25-39
- [17] Marković Lj., Atanasković P., Milić Marković Lj., Sajfert D., Stanković M., Investment Decision Management: Prediction of the Cost and Period of Commercial Building Construction Using Artificial Neural Network, *Technics technologies education management*, Vol. 6., Number 4, 2011, Sarajevo, 1309-1320
- [18] McCulloch, W., Pitts, W., A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol.5, 1943, 115-133 <http://www.cse.chalmers.se/~coquand/AUTOMATA/mcp.pdf> (last visited on Oct., 17. 2011)
- [19] Nigrin, A., *Neural Networks for Pattern Recognition*, Cambridge MA: The MIT Press, 1993
- [20] Palit, A.K., Popović, D., *Computational Intelligence in Time Series Forecasting: Theory and Engineering Application*, Springer-Verlag, London, 2005, 239
- [21] Rebano-Edwards, S., Modelling perceptions of building quality—A neural network approach, *Building and Environment*, 42, 2007, 2762–2777
- [22] Rohas, R., *Neural Networks, A Systematic Introduction*, Springer-Verlag, Berlin, 1996, 151-184
- [23] Tatari, O., Kucukvar, M., Cost premium prediction of certified green buildings: A neural network approach, *Building and Environment*, 46, 2011, 1081-1086
- [24] Zurada, J.M., *Introduction to Neural Systems*, West Publishing Company, St. Paul, 1992
- [25] Yu, W., Skibniewski, M.J., A neuro-fuzzy computational approach to constructability knowledge acquisition for construction technology evaluation, *Automation in Construction*, 8, 1999, 539–552
- [26] Wang, Y.R., Gibson, E. Jr., A study of preproject planning and project success using ANNs and regression models, *Automation in Construction*, 19, 2010, 341–346

REZIME

OPTIMIZACIJA ANN ZA PROCENU POTREBNIH KOLIČINA BETONA I ARMATURE U VIŠESPRATNIM OBJEKTIMA

Vladimir MUČENSKI
Milan TRIVUNIĆ
Igor PEŠKO
Jasmina DRAŽIĆ
Goran ĆIROVIĆ

Ovaj rad daje prikaz procesa optimizacije veštačkih neuronskih mreža (ANN) radi predikcije količina betona i armature potrebnih za izgradnju konstrukcije stambenih objekata. Optimizacijom su obuhvaćene sledeće analize: analiza uticaja ulaznih parametara koji opisuju objekat, analiza optimalne strukture mreže, analiza uticaja algoritma za obučavanje mreže, kao i analiza osetljivosti mreže na disperziju ulaznih podataka. Analiza uticaja ulaznih parametara kombinovana je sa analizom optimalne strukture mreže, pri čemu su analizirane četiri kombinacije ulaznih parametara i tri tipa ANN za svaku kombinaciju, ukupno 12 ANN. Analizom uticaja algoritma za obučavanje ANN na njen kvalitet obuhvaćeno je pet algoritama: quasi-Newton backpropagation (BFGS), Levenberg-Marquardt backpropagation (LM), Gradient descent with adaptive lr backpropagation (GDA), gradient descent with momentum and adaptive lr (GDX) i resilient backpropagation (RP). Analiza osetljivosti mreže realizovana je za parametar ukupne bruto površine objekta, čiji je značaj najveći. Sprovedeno istraživanje realizovano je s ciljem uočavanja ANN koje će brzo i precizno pružiti podatke o potrebnim količinama materijala u fazama pokretanja projekta.

Ključne reči: Optimizacija ANN, predikcija količina materijala, struktura mreže, algoritam za obučavanje, analiza osetljivosti

SUMMARY

OPTIMIZATION FOR ESTIMATING THE AMOUNT OF CONCRETE AND REINFORCEMENT REQUIRED FOR MULTI-STORY BUILDINGS

Vladimir MUČENSKI
Milan TRIVUNIĆ
Igor PEŠKO
Jasmina DRAŽIĆ
Goran ĆIROVIĆ

This paper provides an outline of the optimization process for artificial neural networks (ANN) for predicting the amount of concrete and reinforcement required for the construction of residential buildings. The following analyses are included in the optimization process: an analysis of the effect of the input parameters which describe the building, an analysis of the optimal network structure, an analysis of the effect of training algorithms and a network sensitivity analysis on the dispersion of the input data. The analysis of the effect of the input parameters is combined with the analysis of the optimal network structure, whereby four combinations of input parameters and three types of ANN for each combination are analysed, making a total of twelve ANN. Impact analysis of the ANN training algorithm on the quality of that algorithm is covered by five algorithms, namely: quasi-Newton back propagation (BFGS), Levenberg-Marquardt back propagation (LM), Gradient descent with adaptive lr back propagation, (GDA), gradient descent with momentum and adaptive lr (GDX) and resilient back propagation, (RP). A sensitivity analysis of the network was conducted for the parameter of total gross area of the building, as it was the most significant. The research was carried out with the purpose of observing ANN which will quickly and with adequate precision provide information regarding the required amounts of materials in different project phases.

Keywords: ANN Optimization, prediction of the quantity of material, network structure, training algorithm, sensitivity analysis

SVOJSTVA VATROSTALNOG VEZIVA NA BAZI OTPADNOG MATERIJALA

PROPERTIES OF REFRACTORY BONDING AGENT BASED ON WASTE MATERIAL

Anja TERZIĆ
Ljubica PAVLOVIĆ
Ljiljana MILIČIĆ
Zagorka RADOJEVIĆ
Zagorka AČIMOVIĆ PAVLOVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 666.974.2:628.4 = 861

1 UVOD

Industrija građevinskih materijala i sveukupno građevinarstvo nisu u potpunosti prilagođeni očuvanju životne sredine, jer konstantno smanjuju zalihe prirodnih resursa sirovinskih materijala. Na drugoj strani, građevinska industrija stvara ogromne količine otpadnog materijala koji se mora pravilno skladištiti kako bi se izbeglo zagađenje, ali i narušavanje izgleda prirodnog okruženja. Trebalo bi naći obostrano prihvatljivo rešenje, kako bi se stvorila ravnoteža između primene otpadnog materijala iz drugih ogranaka industrije i smanjenja količine otpada koji stvara građevinska industrija. Zato je princip „tri-R” (redukcija, reaplikacija i reciklaža) usvojen širom sveta [1-4].

Pepeo nastao sagorevanjem uglja smatra se jednim od najopasnijih zagađivača životne sredine. Procenjuje se da je globalna godišnja produkcija letećeg pepela bila više od 600 miliona tona u prehodnih deset godina [5]. Nastanak i odlaganje nusprodukata sagorevanja jeste globalni problem sa ozbiljnim posledicama za prirodnu sredinu: toksični elementi se mogu izlučiti kroz tlo i prodreti do podzemne vode; pepeo može da prouzrokuje zagađenje vazduha ukoliko je ostavljen nestabilizovan na otvorenim deponijama, itd. Norme Evropske unije

dr Anja Terzić, Institut IMS, Beograd,
anja.terzic@institutims.rs
dr Ljubica Pavlović, Institut ITNMS, Beograd,
ljubica.pavlovic1@gmail.com
Ljiljana Miličić, Institut IMS, Beograd,
liljana.milicic@institutims.rs
dr Zagorka Radojević, Institut IMS, Beograd,
zagorka.radojevic@institutims.rs
dr Zagorka Aćimović Pavlović, TMF, Beogradski univerzitet,
zagorka@tmf.bg.ac.rs

1 INTRODUCTION

The building materials production and over-all civil engineering fail to be environmentally friendly because it is constantly depleting natural resources. On the contrary, construction industry is generating large amount of waste that needs to be properly managed in order to avoid pollution and deterioration of landscape. A mutually satisfactory solution should be found in order to create equilibrium between application of the waste material from other industrial branches and reduction of the waste material that construction industry creates. Therefore, the ‘three-R’ principle (reduction, reuse and recycle) has to be adopted worldwide [1-4].

Ash from coal combustion is considered as one of the most hazardous environmental polluters. According to estimation, the annual global fly ash production was more than 600 million tons in past 10 years [5]. The generation and landfilling of combustion by-products is a global problem with severe implications for the environment: elements may leach through the soil to the groundwater; ash might cause air pollution if left on open landfills, etc. EU regulations are focused on the recycling of the coal combustion fly ash and reusing it as a component of added-value products – usually building

corresponding author:

dr Anja Terzić, Institute IMS, Belgrade,
anja.terzic@institutims.rs
dr Ljubica Pavlović, Institute ITNMS, Belgrade,
ljubica.pavlovic1@gmail.com
Ljiljana Miličić, Institute IMS, Belgrade,
liljana.milicic@institutims.rs
dr Zagorka Radojević, Institute IMS, Belgrade,
zagorka.radojevic@institutims.rs
dr Zagorka Aćimović Pavlović, TMF, University of
Belgrade, zagorka@tmf.bg.ac.rs

fokusiraju se na recikliranje letećeg pepela nastalog sagorevanjem uglja i na njegovu primenu kao komponente u proizvodima od upotrebne vrednosti – najčešće građevinskim materijalima [6]. Međutim, prilikom procesiranja letećeg pepela i njegove ponovne primene u recikliranim proizvodima, treba obratiti pažnju i evaluirati uticaj koji re aplikacija pepela može imati na prirodno okruženje. Naime, kada je leteći pepeo primenjen kao komponenta građevinskog materijala upotrebljenog u delu konstrukcije, postoji realna mogućnost izlučivanja toksičnih metala koji tada mogu prodrći do tla. Leteći pepeo neretko u svom sastavu sadrži ekološki „nepoželjne“ elemente kao što su arsen, barijum, hrom, kadmijum, živa ili selen, koji mogu ograničiti njegovu mogućnost upotrebe [7-10].

Nova mogućnost za re aplikaciju letećeg pepela jeste da se koristi kao komponenta u vezivima koja imaju primenu na visokim temperaturama – u termoizolacionim ili vatroostalnim materijalima. Kao takav, pepeo mora adekvatno da odgovori na zahteve mehaničke i termičke stabilnosti. Jedan od načina za unapređivanje svojstava pepela jeste primena mehaničke aktivacije. Leteći pepeo ponaša se kao aditiv superplastifikator, jer pomaže u „pakovanju“ mikrostrukture građevinskog kompozita [11]. Superplastifikujuće svojstvo vodi ka smanjenju količine vode neophodne za postizanje optimalne konzistencije, a time se smanjuje poroznost i poboljšavaju mehaničke karakteristike. Ta svojstva su dalje unapređivana postupkom mehaničke aktivacije. Iako taj postupak čini proizvodnju skupljom, svojstva materijala na bazi mehano-aktiviranog pepela umnogome su poboljšana. Važan aspekt ovih konstrukcionih kompozitnih materijala jeste njihovo ponašanje na povišenim temperaturama: njihova termoizolaciona svojstva, otpornost na požar i vatrostalnost. Primena letećeg pepela u takvim kompozitima može pozitivno da utiče na ponašanje kompozitnog materijala kada je izložen povišenoj temperaturi [12]. Materijali koji sadrže veću količinu vode poželniji su u smislu zaštite od požara i uticaja visokih temperatura. Naime, kada su ovi materijali izloženi dejstvu izvora toplote, deo vode isparava i biva transportovan iz toploti izložene površinske zone ka unutrašnjosti materijala, gde se voda hladi i ponovo kondenzuje. Potom se formira tečni film koji štiti toploti neizloženu stranu. Neki komercijalni proizvodi koji se koriste kao termoizolatori ili za pasivnu zaštitu od požara u zgradama i industrijskim instalacijama, imaju hemijski sastav i svojstva slična kompozitima na bazi letećeg pepela [13].

2 PRIMENJENI MATERIJALI I METODOLOGIJA EKSPERIMENTA

Leteći pepeo nastao sagorevanjem uglja, koji je primenjen u eksperimentu, uzorkovan je direktno sa filter-sistema termoelektre „Kolubara“ u Srbiji. Nakon uzorkovanja, leteći pepeo je direktno transportovan u odložen u specijalni zatvoreni silos na deponovanje.

Mehanička aktivacija letećeg pepela sprovedena je pomoću laboratorijskog mehano-aktivatora – planetarnog mlina tipa *Retsch-PM4*. Za mlevenje su korišćene kuglice ukupne mase 2 kg. Odnos materijala prema kuglicama bio je 1:35. Takav odnos održavan je u toku čitavog postupka mlevenja. Mlevenje letećeg pepela trajalo je 60 minuta. Maksimalna veličina zrna

materials [6]. In addition to the fly ash processing and reapplication in new recycled products, there is also an environmental impact that needs to be evaluated before fly ash reapplication. Namely, there is a possibility of toxic metals leaching which could pass through the soil, especially when fly ash is used as a construction material. Fly ash may contain some elements of environmental concern, such as arsenic, barium, chromium, cadmium, lead, selenium and mercury, which can limit the potential applications [7-10].

A new possibility for fly ash application could be as raw material for high-temperature application: in thermal insulators or/and refractory material products. As such, fly ash has to adequately answer on mechanical and thermal stability criteria. One of the ways of achieving it is by applying mechanical activation procedure on fly ash. Fly ash acts as superplasticizing additive helping the “packing” of composite micro-structure [11]. Superplasticizing ability leads to reduction of water content needed for optimal mixture consistency, decreasing porosity and increasing mechanical strength. These properties are only being further enhanced by mechanical activation. Although mechanical activation is much more cost effective than application of original sized fly ash results are by far better.

Important aspect of construction materials is its behaviour at elevated temperatures: its thermo-insulation properties, fire resistance and finally possible refractoriness. The use of fly ash additions in building composites can affect the material behaviour when subjected to elevated temperature [12]. Materials that retain a large quantity of water are more desirable for fire protection and thermal exposure. Namely, when these materials are exposed to a thermal source, part of the water evaporates and it is transported from the exposed surface to the interior of the material where the water cools and condenses again. Afterwards, a liquid film forms which is displaced towards the unexposed side. Some commercial products, used as thermal insulation or passive fire protection in buildings and industrial installations, have a chemical composition and properties similar to fly ash mixtures [13].

2 APPLIED MATERIALS AND EXPERIMENTAL METHODS

The fly ash used in the investigation originates from the filter systems of coal-fired power plant in Serbia - “Kolubara”. The fly ash was collected directly from the filter of the power plant. Afterwards the fly ash was transported to a special closed silo for storing.

Mechanical activation of the fly ash was performed by means of laboratory mechanical activator - planetary ball mill type “Retsch-PM4”. 2 kg batch (steel balls) size was used for milling. Material to media ratio of 1:35 was maintained during milling. The fly ash samples were milled for 60 min. Maximal grain size of fly ash was reduced to 0.83 mm by mechanical activation.

High-aluminate cement - HAC (Secar 70/71, Lafarge) was used in the investigation. The composite – investigated bonding agent (labelled as HAC-FA) contained 30 % of fly ash and 70 % of cement.

X-ray fluorescence (XRF) technique was used to conduct chemical analysis in composites. Analysis was

letećeg pepela postignuta mehaničkom aktivacijom redukovana je na 0,83 mm.

U eksperimentu je primenjen visokoaluminatni cement – HAC (Secar 70/71, Lafarge). Kompozitno vezivo, to jest visoko-temperaturno vezivo (označeno kao HAC-FA) sadržalo je 30 % letećeg pepela i 70 % HAC cementa.

Metoda X-ray fluorescencije (XRF) primenjena je za analizu hemijskog sastava kompozita. Analiza je izvršena pomoću XRF spektrofotometra ED 2000 - Oxford.

Diferencijalna termijska analiza (DTA) kompozita sprovedena je pomoću Shimadzu DTA – 50 uređaja. Uzorak je zagrevan u atmosferi vazduha od sobne temperature, to jest 20 °C do 1100 °C, s brzinom zagrevanja 10 °C/min.

X-ray difrakcija praha (XRD) izvršena je pomoću Philips PW-1710 automatskog difraktometra sa Cu-cevi pod naponom 40 kV i 30 mA. Sva XRD merenja obavljena su na sobnoj temperaturi u standardnom nepokretnom držaču uzorka.

Potencijalna mobilnost elemenata iz kompozita određena je metodom luženja (procedura sprovedena u skladu sa srpskim standardom SRPS EN 12457 (1-4); standard ekvivalentan sa EN 12457 (1-4)). Test luženja obavljen je pri odnosu tečne i čvrste materije 10 l/kg, s vremenom luženja 24 h i dejonizovanom vodom kao lužiteljem.

Mikrostruktura kompozitnog veziva analizirana je metodom skenirajuće mikroskopije (SEM) na uređaju JEOL JSM-6390 Lv.

3 REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati hemijske analize sastava veziva HAC-FA, tj. detektovani glavni oksidi, prikazani su u Tabeli 1, gde su prikazani i elementi u tragovima. Analiza je pokazala da se kompozit sastoji uglavnom od oksida silicijuma, aluminijuma i kalcijuma. Zamena dela HAC cementa letećim pepelom uticala je na povećanje udela SiO₂ u sastavu u odnosu na sastav polaznog cementa.

*Tabela 1. Hemijska analiza kompozita HAC-FA – glavni elementi i elementi u tragovima.
Table 1. Chemical analysis of the composite HAC-FA – major and trace elements.*

Oksid, wt.% Oxides, wt.%	HAC-FA	Elementi u tragovima, mg/kg Trace elements, mg/kg	HAC-FA
SiO ₂	16.08		
Al ₂ O ₃	55.30	Pb	22.9
Fe ₂ O ₃	1.91	Zr	12.8
TiO ₂	0.16	Zn	23.3
CaO	22.93	Cu	6.7
MgO	0.92	Ni	16.3
P ₂ O ₅	-	Cr	64.4
SO ₃	0.17	Co	16.0
Na ₂ O	0.35	Sr	61.8
K ₂ O	0.345	Ba	33.0
MnO	-	Sb	0.013
CO ₂	-	Se	1.0
LOI	1.74	V	45.4

performed by means of XRF spectrophotometer ED 2000 - Oxford.

The differential thermal analysis (DTA) of the composites was performed with a Shimadzu DTA – 50 apparatus. The sample was heated under an air atmosphere from 20 up to 1100 °C at heating rate of 10 °C/min.

X-ray powder diffraction (XRD) patterns were obtained on a Philips PW-1710 automated diffractometer using a Cu tube operated at 40 kV and 30 mA. All the measurements were performed at room temperature in a stationary sample holder.

Potential mobility of trace elements from the composite was determined by means of the batch leaching test, procedure conducted according to Serbian Standard SRPS EN 12457 (1-4) (EN 12457 (1-4)). The leaching test was performed at a liquid/solid ratio of 10 l/kg with a stirring time of 24 h and deionized water as the leachant.

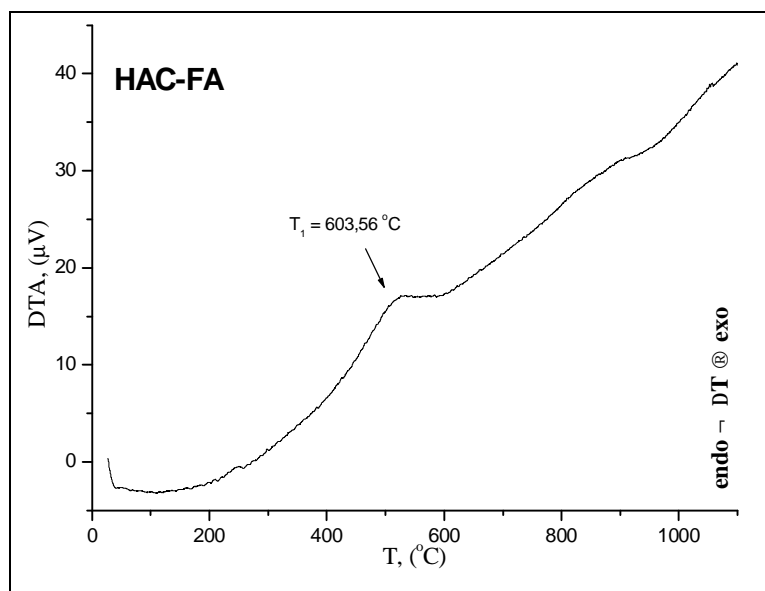
The microstructure of the composite was characterized by scanning electron microscopy (SEM) using a JEOL JSM-6390 Lv microscope.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The chemical composition analysis of the – major and minor oxides of the investigated composite HAC-FA is presented in Table 1. Trace elements found in the composite are also given in Table 1. The investigation showed that composite consists mainly of silica, alumina and calcium oxides. Application of fly ash increased SiO₂ content in the composite in comparison with starting composition of applied cement.

Procesi koji se, u ispitivanom kompozitnom vezivnom materijalu, javljaju usled povećanja temperature od 20 do 1100 °C praćeni su DTA metodom (Slika 1.).

Processes taking place during composite thermal treatment from 20 up to 1100 °C were identified by means of DTA method (Fig. 1).



Slika 1. DTA kriva HAC-FA kompozita.
Figure 1. DTA curve of the HAC-FA composite.

Prilikom termičkog tretmana letećeg pepela, obično se javljaju tri karakteristična „dela”, od kojih je svaki određen svojim individualnim pikom. Prvi pik koji se javlja na temperaturi nižoj od 200 °C posledica je isparavanja vlage. Takav pik obično odgovara oslobađanju vode koja je mehanički vezana u formi H₂O molekula [14]. Drugi deo dijagrama odnosi se na temperaturni interval od 400 do 700 °C i vezuje se za polimorfnu transformaciju. Pik koji se javlja na aproksimativno 500 °C egzotermnog je tipa i odgovara transformaciji organskih materija, razlaganju CaCO₃ ili sagorevanju uglja preostalog u letećem pepelu. Takođe, poznato je da se β-kvarc transformiše u svoju kristalnu modifikaciju α-kvarc na 573 °C, pa se slab endotermni efekat koji sledi nakon egzotermnog pika može pripisati prisustvu kvarca u letećem pepelu. Treći deo predstavlja uvodnu fazu topljenja letećeg pepela. Endotermni pik koji se javlja na aproksimativno 900 °C indukovano je aluminatima u sastavu pepela.

Detaljniju interpretaciju rezultata DTA analize cementa vrlo je teško sprovesti zbog kompleksnosti sastava ispitivanog materijala. Procesi dehidracije pojedinačnih komponenti se preklapaju. U slučaju HAC-a, početna količina vode koja je vezana u strukturi cementa veća je nego u slučaju običnog Portland cementa, tako da se veća količina ove vode zadržava na povišenim temperaturama (naročito do 300 °C). Dehidracija kalcijum-aluminata i aluminijum-hidrata gotovo je završena na temperaturama između 500 i 600 °C, što je na DTA dijagramu označeno endotermnim pikom. Alumina-gel prolazi kroz nekoliko različitih modifikacija dok se konačno na temperaturi 1000 °C ne transformiše u α-aluminu. CAH₁₀ se konačno dehidracijom transformiše u CA, ali ostali heksagonalni hidrati stvaraju kalcijum-oksidi i C₁₂A₇ na temperaturama od 600 do 1000 °C. U tom temperaturnom intervalu, dolazi do reakcija u čvrstom

The thermal treatment of fly ash normally comprises three separate “regions” that are monitored by three individual peaks. The first peak below 200 °C is attributed to the evaporation of moisture. Such peak normally corresponds to the volatilization of the water mechanically bonded in form of H₂O molecule [14]. The second “region” occurring within the temperature range 400–700 °C incarnates polymorphic transition. Peak showing at approximately 500 °C is exothermic, corresponding to the transformation of organic matter, the decomposition of CaCO₃ and the burning of residual coal present in the fly ash. Also, it is known that β-quartz undergoes transformation to α-quartz at 573 °C, thus a weak endothermic effect that follows exothermic peak can be assigned to the presence of quartz in fly ash. The third “region” represents the beginning of the fusion of fly ash. The endothermic peak at approximately 900 °C is induced by presence of aluminosilicates.

Detailed interpretation of results obtained for cements is difficult because of complexity of composition of studied samples. The processes of dehydration of individual compounds overlap. In the case of HAC the initial amount of water combined with cement is greater than in the case of normal Portland cement and a larger amount of this water is retained at elevated temperatures, particularly up to 300 °C. Dehydration of the calcium aluminate and the alumina hydrates is near completion at 500-600°C which is marked by endothermic peak on DTA curve. The alumina gel passes through several modifications until it is finally transformed at about 1000 °C into α-alumina. CAH₁₀ can be finally dehydrated to CA but other hexagonal hydrates produce calcium oxide and C₁₂A₇ at temperatures from 600-1000 °C. In this temperature range, solid state reactions between calcium aluminates, alumina and lime are induced. This leads to increase in

stanju između kalcijum-aluminata, alumine i kreča. Te reakcije povećavaju mehaničku čvrstoću HAC-a, što je na DTA krivoj prikazano nizom sitnih endotermnih pikova.

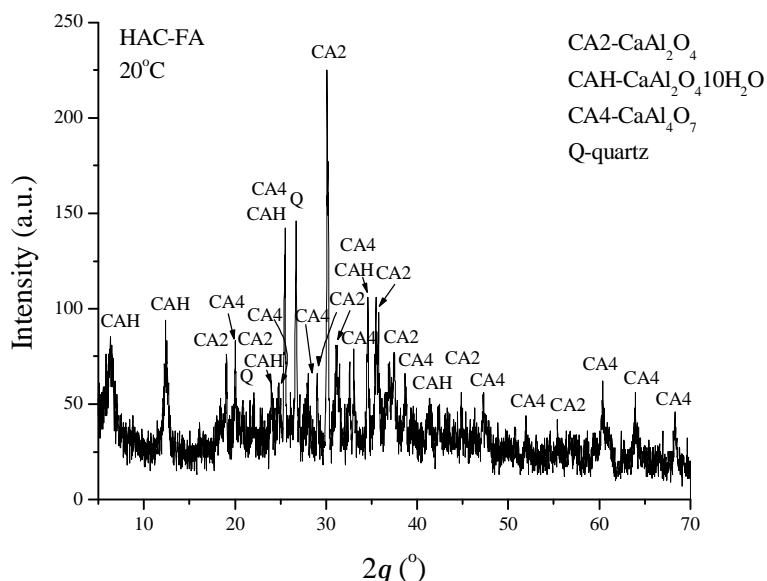
Uočene su izvesne, ali ne preterano značajne kvalitativne promene u sistemu hidratacije ispitivanog veziva koje se javljaju usled zamene 30 % cementa letećim pepelom. Naime, razlike u kvalitetu i kvantitetu produkata hidratacije prouzrokuju male razlike u DTA dijagramima cementa i cement-leteći pepeo baziranog kompozita. Prvi endotermni efekat na DTA krivoj blago je pomeren ka 120 °C kao posledica dodatka letećeg pepela. Na višim temperaturama dodatak letećeg pepela ne prouzrokuje nikakvu značajnu razliku u mehanizmu hidratacije HAC cementne paste. Na taj način, može se zaključiti da novodobijena veziva na bazi otpadnog materijala imaju podjednako dobra termička svojstva kao i standardni visoko-aluminatni cement. Topljenje nije zabeleženo ni do temperature 1100 °C, što govori u prilog dobrim vatrostalnim svojstvima ispitivanog veziva.

XRD difraktogrami ispitivanog kompozitnog veziva kao rezultat mineraloške analize prikazani su na Slikama od 2. do 5. Glavne faze koje su prisutne u HAC-u (bez dodatka) jesu monokalcijum-aluminat i monokalcijum-dialuminat. Leteći pepeo obično sadrži alumosilikatnu staklastu fazu, kvarc i mulit. Magnetit, hematite, fluorit i anhidrit su prisutni u zanemarljivim količinama.

mechanical strength of HAC due to these reactions, which is represented by small endotherms on DTA curve.

Certain, but not significant quality changes in hydrating system of investigated bonding agent are caused by the addition of 30 % of fly ash. Namely, differences in quantity and quality of hydration products cause small differences in recorded DTA curves of cement and cement-fly ash composite. The first endothermic effect on DTA is slightly shifted towards 120 °C as a consequence of fly ash addition. At higher temperatures addition of fly ash does not cause significant differences in quality composition of high-aluminate cement pastes. In this way a new binders based on waste material with equally good thermal properties are obtained. Melting is not recorded at the temperature 1100 °C which attributes to good refractory characteristics of the investigated bonding agent.

XRD diffractograms of investigated composite as result of the mineralogical analysis are given in Figures 2.-5. Major phases normally present in HAC are: monocalcium aluminate and monocalcium dialuminat. Fly ash samples contain aluminosilicate glass, quartz and mullite. Magnetite, hematite, fluorite and anhydrite are usually present in relatively negligible amounts.



Slika 2. XRD difraktogram HAC-FA nakon očvršćavanja na 20 °C
Figure 2. XRD diffractogram of HAC-FA after curing at 20 °C

Na temperaturi 20 °C, fazni sastav vezivnog kompozita HAC-FA jeste sledeći: monokalcijum-aluminat, grosit (CaAl_4O_7), kalcijum-aluminat dekahidrat ($\text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kvarc i amorfna faza. Najzastupljenija faza je CaAl_2O_4 . Faza CaAl_4O_7 nešto manje je zastupljena. $\text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ i kvarc su prisutni u malim količinama. Stepennost kristaliniteta svih prisutnih faza vrlo je nizak.

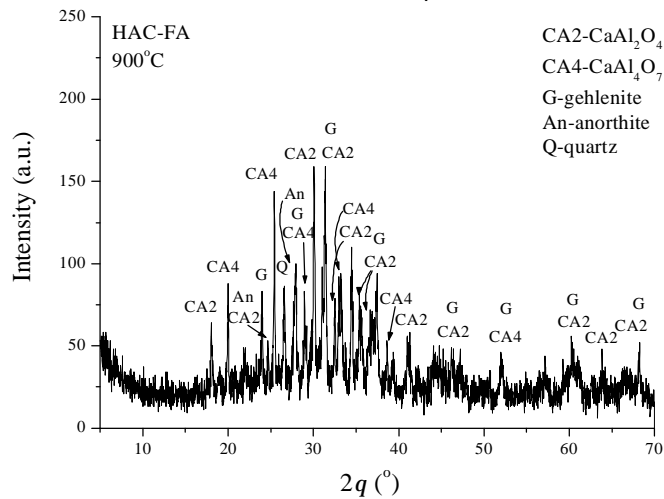
Na temperaturi 900 °C analiza je pokazala sledeći mineraloški sastav: CaAl_2O_4 , CaAl_4O_7 , gelenit, anortit, kvarc i amorfna faza. Fazni sastav na ovoj temperaturi karakteriše početak kristalizacije gelenita i anortita. Osim toga, faze CaAl_2O_4 i CaAl_4O_7 primetne su u gotovo

Phase composition of the analyzed sample of the composite HAC-FA (at $T=20$ °C) is as follows: monocalcium aluminate (CaAl_2O_4), grossite (CaAl_4O_7), calcium aluminium decahydrate ($\text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), quartz and amorphous matter. The most abundant phase is CaAl_2O_4 , CaAl_4O_7 is less abundant, $\text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ and quartz are present in the smallest amounts in the sample. Crystallinity degree of all present phases is very low.

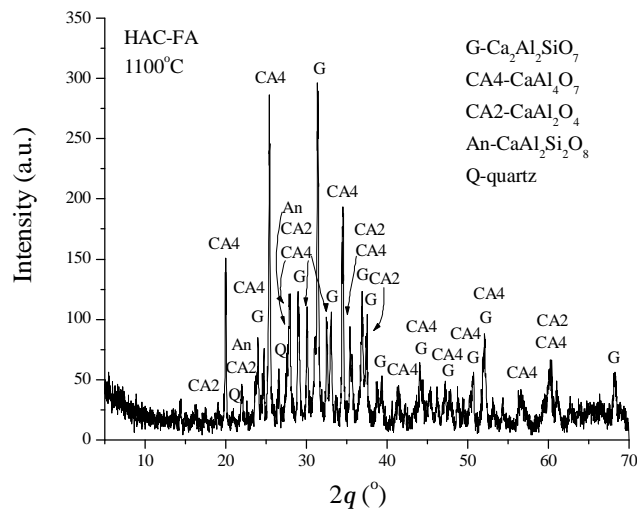
Same sample at $T = 900$ °C shows following phase composition: CaAl_2O_4 , CaAl_4O_7 , gehlenite, anorthite, quartz, and amorphous matter. Phase composition of the

jednakim količinama, dok je gelenit manje zastupljen. Step en kristaliniteta svih pomenutih faza niži je u poređenju s prethodnim uzorkom.

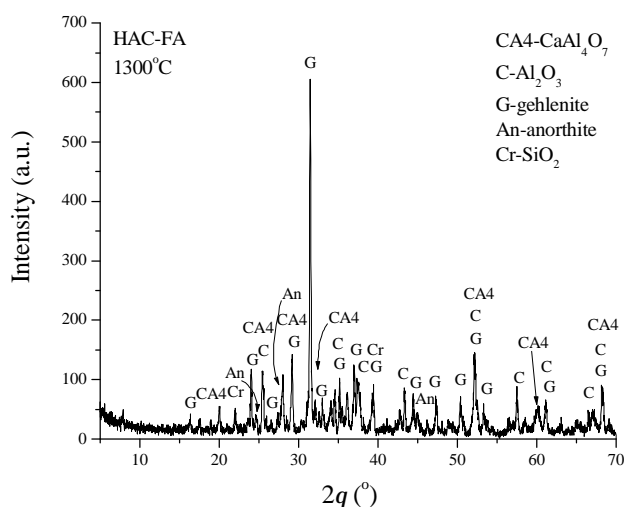
sample characterizes beginning of crystallization of gehlenite and anorthite. Moreover, CaAl_2O_4 and CaAl_4O_7 are present in nearly equal amounts, while gehlenite is lesser abundant. Crystallinity degree of all present phases is even lower in comparison with the previous sample.



Slika 3. XRD difraktogram HAC-FA nakon termičkog tretmana na 900 °C
Figure 3. XRD diffractogram of HAC-FA after thermal treatment at 900 °C



Slika 4. XRD difraktogram HAC-FA nakon termičkog tretmana na 1100 °C
Figure 4. XRD diffractogram of HAC-FA after thermal treatment at 1100 °C



Slika 5. XRD difraktogram HAC-FA nakon termičkog tretmana na 1300 °C
Figure 5. XRD diffractogram of HAC-FA after thermal treatment at 1300 °C

Na temperaturi $T = 1100$ °C analizom je ustanovljen sledeći fazni sastav: CaAl_2O_4 , CaAl_4O_7 , gelenit, anortit, kvarc i amorfna materija. Međutim, u ovom uzorku faze CaAl_4O_7 i gelenit su najzastupljenije, dok je učešće faze CaAl_2O_4 mnogo manje. Stepenn kristaliniteta je znatno viši u poređenju s prethodna dva uzorka, a količina amorfne faze je značajno redukovana.

Na konačnoj temperaturi ($T = 1300$ °C) zabeležen je sledeći fazni sastav: gelenit, Al_2O_3 (korund), CaAl_4O_7 , anortit, SiO_2 (kristobalit). Najzastupljenija faza je gelenit, dok su faze CaAl_4O_7 , korund i anortit znatno manje prisutne. Moguće je prisustvo kristobalita u izrazito maloj količini. U poređenju s prethodno ispitanim uzorcima, stepenn kristaliniteta je najviši.

XRD analiza kompozitnog veziva pokazala je da se s povećanjem temperature menja i fazni sastav uzoraka. XRD spektar je u svim slučajevima bio veoma kompleksan i obično je pokazivao od 40 do 60 pikova. XRD difraktogrami pokazali su da se s povećanjem temperature formiraju sve kompleksnije aluminosilikatne faze. Moguće je da jednostavniji minerali bivaju postepeno inkorporirani u strukturu složenih aluminosilikata pod uticajem povećane temperature. Prvobitni uzorak letećeg pepela sadržao je značajnu količinu silikatne staklaste faze, zajedno s takođe prisutnim kristalnim fazama – kvarcom, hematitom i mulitom. Sinterovanje je smanjilo količinu staklaste faze i kvarca, a s druge strane, uticalo je na povećanje količine mulita i hematita i novoformiranih faza anortita i kristobalita. Difrakcioni pikovi većine pomenutih komponentnih faza javljaju se i u sinterivanim uzorcima veziva, ali su bili ili široki ili slabo izraženi, a u nekim slučajevima su se i preklapali. Primećeno je da se intenzitet pikova navedenih faza s povećanjem temperature takođe povećava, a stepenn kristaliniteta poboljšava. Formiranje faza – rankinita, gelenita, anortita i kristobalita u kompozitima je značajno, jer su termički stabilni – naimе, ove faze imaju visoku tačku topljenja čime ujedno utiču i na termičku stabilnost veziva. Iako je intenzitet pikova većine faza slab, njihovo sumiranje i kombinovanje s pikovima minerala prisutnih u vatrostalnim agregatima utiče na formiranje jednog kompozita koji je otporan na visoke temperature [15, 16]. Takav fazni

At $T = 1100$ °C following phase composition was detected: CaAl_2O_4 , CaAl_4O_7 , gehlenite, anorthite, quartz, and amorphous matter. However, in this sample CaAl_4O_7 and gehlenite are most abundant, while presence of CaAl_2O_4 is much less. Crystallinity degree is notably higher in comparison to the previous two samples and amorphous matter is less present.

At final temperature ($T = 1300$ °C) phase composition is: gehlenite, Al_2O_3 (corundum), CaAl_4O_7 , anorthite, SiO_2 (cristobalite). The most abundant phase is gehlenite, while less present phases are CaAl_4O_7 , corundum and anorthite. There is also possibility of presence of cristobalite but in very small amounts. Crystallinity degree is the highest in comparison with the all previous samples.

XRD analysis of the composite pointed out to certain phase changes occurring with increasing temperature. The XRD spectra in all cases were very complex, usually containing 40–60 peaks. The XRD patterns revealed that with an increase of sintering temperature, more complex aluminosilicates were newly formed. It is possible that simple minerals were gradually incorporated into the complex aluminosilicates when the sintering temperature increased. The original ash contains a significant amount of siliceous glass together with the crystalline phases - quartz, hematite and mullite. Sintering reduces the amount of glassy phase and quartz, and promotes formation of anorthite, mullite, hematite and cristobalite. However, the diffraction peaks of these compounds in sintered samples were broad or poorly developed and in some cases overlap. It was observed that, the peak intensities of these compounds slightly increase and their crystallinity improves with increasing temperature. The formation of rankinite, gehlenite, anorthite and cristobalite in the composites is important because they are thermally stable (i.e. have high melting point) and therefore they contribute to the thermal stability of the composite mixtures. Although most of the peak intensities of these compounds are relatively small - when gathered and combined with peaks of refractory aggregate minerals they influence creating heat enduring material [15, 16]. These results are in good

sastav veziva omogućava dobre mehaničke karakteristike kompozita, prvenstveno visoku pritisku čvrstoću nakon izlaganja visokim temperaturama.

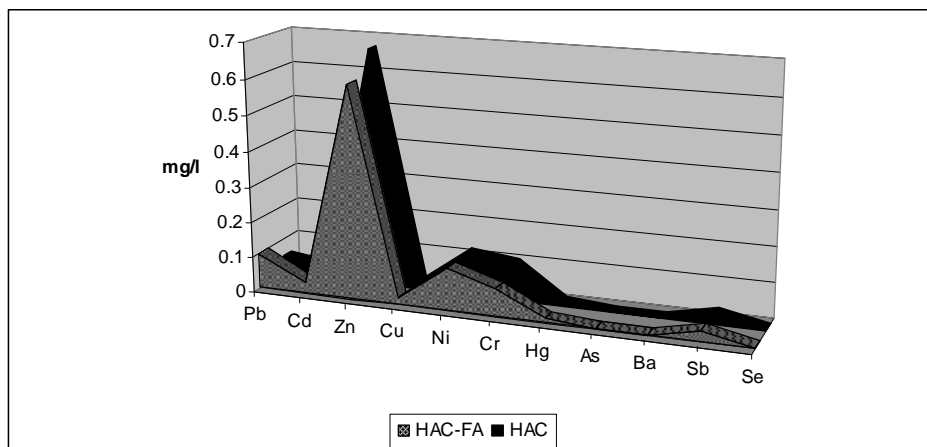
Rezultati luženja, koje je analizirano na uzorku vezivnog kompozita i upoređeno sa uzorkom visokoaluminatnog cementa bez dodatka letećeg pepela, prikazani su na Slici 6. Može se zapaziti da je nivo toksičnih elemenata – Cu, Zn, Se i Cr – niži u kompozitima nego u cementu. Dodatak pepela uticao je na povećanje količine Pb, Ni i As, dok se nivo Sb nije promenio.

SEM mikrofotografije kompozita HAC-FA nakon očvršćavanja na 20 °C i posle termičkog tretmana na T=1300 °C, prikazane su na Slikama 7. i 8. Sa snimaka se može uočiti da poroznost uzorka s povećanjem temperature opada, što objašnjava povećanje pritiska čvrstoće s temperaturom (do promene dolazi iznad 900 °C) [17, 18]. Smanjenje poroznosti i povećanje čvrstoće obično ukazuju na početak sinterovanja i mikrostrukturne promene u smislu zgušnjavanja materijala. Mehanička aktivacija uticala je na promenu izgleda zrna letećeg pepela: postala su sferičnija i staklastija, srednji prečnik zrna je smanjen, sferična zrna su mnogo lakše ispunila prazan prostor zaostao slaganjem cementnih zrna nepravilnog oblika.

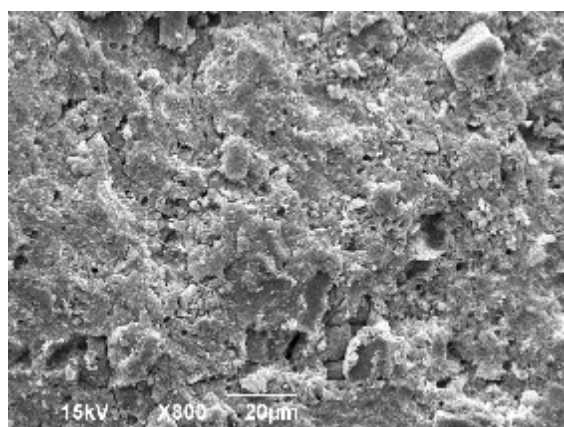
agreement with the retained compressive strength after exposure to high temperatures.

The results of the leaching test performed on the composite and comparison with cement sample without addition of fly ash is given in Figure 6. It can be seen that level of toxic elements – Cu, Zn, Se and Cr is lower in the composite than in cement. Addition of fly ash increased level of Pb, Ni and As, while the level of Sb did not change.

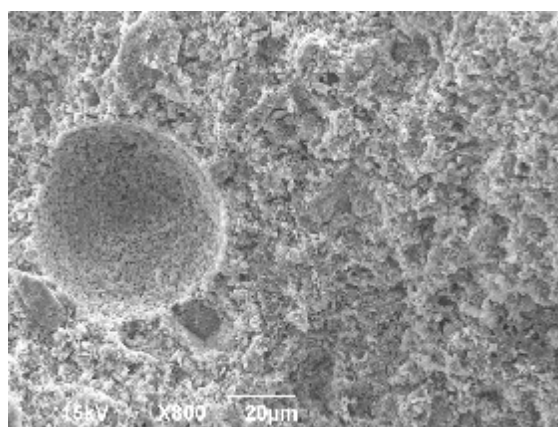
The SEM microphotographs of composite HAC-FA recorded before and after sample firing at T = 1300 °C, are given in Figs. 7 and 8. SEM microphotograph shows that the porosity of the HAC-FA is evidently decreasing with increasing temperature, which explains the increase of compressive strength (above 900 °C) [17, 18]. Decreasing porosity and increasing strength of material usually points out on initiation of sintering process. Mechanical activation destroyed original fly ash particle structure and increased the available surface area. Mechanical activation contributed in the following manner: original fly ash particles gained more spherical and glassy appearance, with particle diameter decreasing and, thus, more easily filling in the voids left behind cement non-spherical particles.



Slika 6. Rezultati luženja HAC-FA i cementa.
Figure 6. Results of leaching test performed on HAC-FA and cement.



Slika 7. SEM mikrofotografija HAC-FA snimljena nakon očvršćavanja na 20 °C.
Figure 7. SEM microphotograph of HAC-FA recorded at 20 °C.



Slika 8. SEM mikrofotografija HAC-FA snimljena nakon tretmana na 1300 °C.
Figure 8. SEM microphotograph of HAC-FA recorded at 1300 °C.

4 ZAKLJUČAK

Ispitivani vezivni kompoziti na bazi visokoaluminatnog cementa i letećeg pepela svojim svojstvima ukazuju na izgledne mogućnosti primene kao termoizolatora i materijala otpornog na visoke temperature. Ovakvo vezivo može se koristiti u betonima ili malterima za primenu u konstrukcijama ili delovima konstrukcija koji će biti izloženi visokim temperaturama ili čak vatri. Ispitivanje je ukazalo na sledeće činjenice:

- Mehanička aktivacija pepela utiče na poboljšanje čvrstoće materijala i unapređenje mehaničkih performansi građevinskih kompozita što se postiže smanjenjem hemijskih i mikrostrukturnih nekompatibilnosti pepela na minimum i otvaranjem mogućnosti upotrebe ovog materijala kao superplastifikatora. Mikrostrukturno-hemijske analize su ukazale na promene koje se javljaju u kompozitima, a konkretna ispitivanja mehaničkih svojstava (pritisnih i savojnih čvrstoće, dimenzionih promena, poroznosti, itd.) biće predmet nastavka i ispitivanja i budućih publikacija.

- Leteći pepeo, kao sirovina, je pokazao pozitivna termička svojstva, kao i zadovoljavajuće termičko ponašanje u vezivnom kompozitu. Naime, kompozit sa dodatkom pepela, pri izlaganju temperaturama do 1300 °C ne pokazuje znake topljenja. Dalja istraživanja baviće se ponašanjem ispitivanih kompozita pod povišenom temperaturom i zadatim opterećenjem (creep).

- DTA analiza je ukazala na blago pomeranje visokotemperaturnih pikova (od 1000 na 900 °C), što znači da je mehanička aktivacija uticala na smanjenje temperature sinterovanja letećeg pepela. Topljenje materijala nije zabeleženo na temperaturama do 1300 °C, što govori u prilog dobrim refraktornim karakteristikama ispitivanog kompozita.

- XRD analiza je ukazala na povećanje kristaliniteta uzoraka kompozita s povećanjem temperature. Formiranje rankinita, gelenita, anortita i kristobalita u kompozitima jeste značajno, jer su te faze termički stabilne i samim tim doprinose termičkoj stabilnosti kompozita.

- Iako u svom sastavu leteći pepeo sadrži određeni nivo toksičnih elemenata, sasvim je bezbedno upotrebiti ovaj nusprodukt kao komponentu u građevinskim materijalima. Pokazano je da su potencijalno toksični elementi/elementi koji su skloni izluživanju u vezivnim kompozitima na bazi letećeg pepela daleko ispod gornjih granica dozvoljenih vrednosti, koje je propisala oficijalna regulativa. Količina polutanta Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As, Ba, Sb i Se dobijena laboratorijskim testom luženja s vodom, koji je poslužio kao aproksimacija realnog normalnog okruženja, ne pokazuje zabrinjavajuće vrednosti.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje sprovedeno je pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke i obrazovanja Republike Srbije, u okviru naučnoistraživačkih projekata 172057 i 45008.

4 CONCLUSION

The developed fly ash-cement composite seems to be a promising thermal-insulation and high temperature resistant material which can be used as bonding agent in concretes or mortars for structures and structural elements that are exposed to high temperatures. The investigation highlighted the following:

- Mechano-activation promoted long-term strength enhancement and improved over-all performances of construction composites by minimizing the chemical and microstructural incompatibility of fly ashes and employing it as superplasticizer. Microstructural-chemical analyses pointed out on certain changes occurring in the composites, however the actual mechanical properties testing (compressive and flexural strength, dimensional change/shrinkage, porosity, etc.) will be conducted in future researches and analyzed in following publications.

- Fly ash, as raw material, showed positive thermal insulation or temperature protection properties and behavior in the cementitious composite. Namely, the composite based on fly ash, does not show any sign of melting when exposed to temperatures up to 1300 °C. In further investigations, thermal behavior of the composite during exposure to the elevated temperature and constant load (i.e. creep) will be tested.

- DTA pointed to the slight shifting of the high temperature peaks (above 900 °C) which means that mechanical activation influenced the decrease of fly ash sintering temperature. Melting of the material is not recorded at the temperature 1300 °C which attributes to good refractory characteristics investigated composite.

- XRD showed that crystallinity of the composite improved with increasing temperature. The formation of rankinite, gehlenite, anorthite and cristobalite in the composites is important because they are thermally stable and therefore they contribute to the thermal stability of the composites.

- Despite the level of toxic elements in fly ash composition it is safe to reapply this side product in building materials. Potentially toxic and/or leachable elements of fly ash based building composite were under upper value limit assigned by official regulative. The following potential pollutants – Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As, Ba, Sb and Se are proved to be of low concern when fly ash is exposed to standard environmental conditions approximated by laboratory batch water leaching test.

ACKNOWLEDGEMENTS

This investigation was supported by Serbian Ministry of Science and Education and it was conducted under the following projects: 172057 and 45008.

5 LITERATURA REFERENCES

- [1] Gomes, C.F.S., Nunes, K.R.A., Xavier, L.H., Cardoso, R., Valle: Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. *Omega* 36, 395–404, 2008.
- [2] Arenas, C.G., Marrero M., Leiva C., Solís-Guzmán J., Vilches Arenas, L.: High fire resistance in blocks containing coal combustion fly ashes and bottom ash *Waste Management* 31, 1783–1789, 2011.
- [3] Čenejac, A., Radonjanin, V., Malešev M., Bjelaković R.: Poboljšanje energetske efikasnosti građevinskih objekata upotrebom zemlje kao obnovljivog izvora, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 54, br. 1, str. 28-40, 2011
- [4] Todorović, M., Ećim, O., Martinović, I.: Izbor prilaza unapređenju energetske efikasnosti i održivosti zidanih zgrada, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 53, br. 4, str. 5-27, 2010
- [5] Medina A., Gamero P., Querol X., Moreno N., De León B., Almanza M., Vargas G., Izquierdo M., Font O.: Fly ash from a Mexican mineral coal I: Mineralogical and chemical Characterization, *J. Hazard. Mater.* 181, 82–90, 2010.
- [6] Wahlstrom M.: Nordic recommendation for leaching tests for granular waste materials, *Sci.Total Environment* 178, 95-102, 1996.
- [7] Vitkova M., Ettler V., Sebek O., Mihaljevic M., Grygar T., Rohovec J.: The pH-dependent leaching of inorganic contaminants from secondary lead smelter fly ash, *Journal of Hazardous Materials* 167, 427–433, 2009.
- [8] van der Sloot H.A., Comans R.N.J., Hjelmar O.: Similarities in the leaching behaviour of trace contaminants from waste, stabilized waste, construction materials and soils, *Sci. Total Environment* 178, 111-126, 1996.
- [9] Quevauviller P., van der Sloot H.A., Ure A., Muntau H., Gomez A., Rauret G.: Conclusions of the workshop: harmonization of leaching/extraction tests for environmental risk assessment, *Sci. Total Environment* 178, 133-139, 1996.
- [10] Rozière E., Loukili A., El Hachem R., Grondin F.: Durability of concrete exposed to leaching and external sulphate attacks, *Cement and Concrete Research* 39, 1188–1198, 2009.
- [11] Paya J, Monzo J, Borrachero MV, Peris-Mora E, Amahjour F. Mechanical treatment of fly ashes. Part IV. Strength development of ground fly ash-cement mortars cured at different temperatures. *Cem Concr Res*, 30:543–51, 2000.
- [12] C. Leiva, L.F. Vilches, C. Fernández-Pereira, J. Vale, Influence of the type of ash on the fire resistance characteristics of ash-enriched mortars. *Fuel* 84, 1433–1439, 2005.
- [13] C. Leiva, L.F. Vilches, X. Querol, J. Vale, C. Pereira Fernandez, C., Use of zeolitized fly ashes in fire resistant plates. In: *Proceedings of the World of Coal Ash: Science, Applications and Sustainability*, Covington, KY, United States, 2007.
- [14] Radulović, R., Muravljev M., Denisenko I.: Kvalitet cementne košuljice pri njenom izvođenju na klasičan način, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 53, br. 1, str. 52-60, 2010
- [15] Terzić, A., Pavlović, Lj., Radojević Z.: Veza između mehaničkih svojstava i mikrostrukture vatrostalnih kompozita određena nedestruktivnim metodama ispitivanja, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 52, br. 3-4, str. 35-46, 2009
- [16] Jevtić, D., Zakić D.: Eksperimentalna ispitivanja određenih termo-fizičkih i mehaničkih svojstava EPS betona, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 52, br. 2, str. 35-45, 2009
- [17] Janković, K., Nikolić, D., Bojović, D., Lončar Lj.: Neka svojstva betona ultra visokih čvrstoća, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 53, br. 1, str. 43-51, 2010
- [18] Radeka, M.: Karakterizacija mikrostrukture tranzitne zone betona na bazi agregata od recikliranog betona pomoću SEM-a, *Građevinski materijali i konstrukcije*, vol. 52, br. 1, str. 74-81, 2009.

REZIME

SVOJSTVA VATROSTALNOG VEZIVA NA BAZI OTPADNOG MATERIJALA

Anja TERZIĆ
Ljubica PAVLOVIĆ
Ljiljana MILIČIĆ
Zagorka RADOJEVIĆ
Zagorka AČIMOVIĆ PAVLOVIĆ

Leteći pepeo koji je deponovan na otvorenom predstavlja veliki rizik za prirodno okruženje. Održivo rešenje za sprečavanje zagađenja jeste primena letećeg pepela u građevinskim materijalima. Građevinski kompoziti – visokotemperaturna veziva, u kojima je leteći pepeo kombinovan s vatrostalnim komponentama, jesu nova mogućnost za re aplikaciju ovog otpadnog materijala. U ovom istraživanju, ispitivano vezivo dobijeno je na bazi letećeg pepela u kombinaciji s visokoaluminatnim cementom. Leteći pepeo je prethodno bio podvrgnut mehaničkoj aktivaciji. Analiza mineralnih faza pomoću XRD metode naglašena je zbog promena koje u materijalu nastaju s povećanjem temperature. Procesi koji se dešavaju u kompozitu u toku termičkog tretmana od 20 do 1100 °C identifikovani su DTA metodom. Analizirano je luženje i potencijalni uticaj na prirodnu sredinu. Ispitivani kompozit na bazi pepela i cementa pokazao je visoke fizičko-mehaničke performanse i dobra termoizolaciona svojstva. Sveukupni rezultati pokazali su da primena letećeg pepela za dobijanje visokotemperaturnih veziva predstavlja održivo rešenje za problem odlaganja i reciklaže ovog opasnog otpadnog materijala.

Ključne reči: građevinski kompoziti, leteći pepeo, vezivo, toksični elementi, re aplikacija, visokoaluminatni cement.

SUMMARY

PROPERTIES OF REFRACTORY BONDING AGENT BASED ON WASTE MATERIAL

Anja TERZIC
Ljubica PAVLOVIC
Ljiljana MILICIC
Zagorka RADOJEVIC
Zagorka ACIMOVIC PAVLOVIC

The fly ash disposal on open landfills poses significant risk to the environment. Sustainable solution for the pollution-prevention is reuse of fly ash in building materials. Building composites – high temperature bonding agents, in which fly ash is combined with refractory components is new option for re application of this waste material. In this study, investigated bonding agent was based on fly ash mixed with high-aluminate cement. Fly ash previously underwent mechanical activation. Mineral phase analysis of the composite by means of XRD was accentuated due to the changes occurring with increasing temperature. Processes taking place during composite thermal treatment from 20 up to 1100 °C were identified by means of DTA method. The leaching behaviour and potential environmental impact of hazardous elements were analyzed. Investigated fly ash-cement composite proved to have high physical and mechanical performances, but also good thermo-insulation characteristics. The overall results showed that application of the fly ash in high-temperature bonding agents is sustainable solution for managing this environmentally hazardous waste material.

Keywords: building composites fly ash, thermo-insulation, toxic elements, re application, building composites.

UPUTSTVO AUTORIMA*

Prihvatanje radova i vrste priloga

U časopisu Materijali i konstrukcije štampaće se neobjavljeni radovi ili članci i konferencijska saopštenja sa određenim dopunama ili bez dopuna, prema odluci Redakcionog odbora, a samo izuzetno uz dozvolu prethodnog izdavača prihvaćaju se i objavljeni rad. Vrste priloga autora i saradnika koji će se štampati su: originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni radovi, stručni radovi, konferencijska saopštenja (radovi sa naučno-stručnih skupova), kao i ostali prilozi kao što su: prikazi objekata i iskustava - primeri, diskusije povodom objavljenih radova i pisma uredništvu, prikazi knjiga i zbornika radova, kao i obaveštenja o naučno-stručnim skupovima.

Originalni naučni rad je primarni izvor naučnih informacija i novih ideja i saznanja kao rezultat izvornih istraživanja uz primenu adekvatnih naučnih metoda. Dobijeni rezultati se izlažu kratko, jasno i objektivno, ali tako da poznavalac problema može proceniti rezultate eksperimentalnih ili teorijsko numeričkih analiza i tok razmišljanja, tako da se istraživanje može ponoviti i pri tome dobiti iste ili rezultate u okvirima dopuštenih odstupanja, kako se to u radu navodi.

Prethodno saopštenje sadrži prva kratka obaveštenja o rezultatima istraživanja ali bez podrobnih objašnjenja, tj. kraće je od originalnog naučnog rada. U ovu kategoriju spadaju i diskusije o objavljenim radovima ako one sadrže naučne doprinose.

Pregledni rad je naučni rad koji prikazuje stanje nauke u određenoj oblasti kao plod analize, kritike i komentara i zaključaka publikovanih radova o kojima se daju svi neophodni podaci pregledno i kritički uključujući i sopstvene radove. Navode se sve bibliografske jedinice korišćene u obradi tematike, kao i radovi koji mogu doprineti rezultatima daljih istraživanja. Ukoliko su bibliografski podaci metodski sistematizovani, ali ne i analizirani i raspravljani, takvi pregledni radovi se klasifikuju kao stručni pregledni radovi.

Stručni rad predstavlja koristan prilog u kome se iznose poznate spoznaje koje doprinose širenju znanja i prilagođavanja rezultata izvornih istraživanja potrebama teorije i prakse. On sadrži i rezultate razvojnih istraživanja.

Konferencijsko saopštenje ili rad sopšten na naučno-stručnom skupu koji mogu biti objavljeni u izvornom obliku ili ih autor, u dogovoru sa redakcijom, bitno preradi i proširi. To mogu biti naučni radovi, naročito ako su sopštenja po pozivu Organizatora skupa ili sadrže originalne rezultate prvi put objavljene, pa ih je korisno uz određene dopune učiniti dostupnim široj stručnoj javnosti. Štampaće se i stručni radovi za koje Redakcioni odbor oceni da su od šireg interesa.

Ostali prilozi su prikazi objekata, tj. njihove konstrukcije i iskustava-primeri u građenju i primeni različitih materijala, diskusije povodom objavljenih radova i pisma uredništvu, prikazi knjiga i zbornika radova, kao i obaveštenja o naučno-stručnim skupovima.

Autori uz rukopis predlažu kategorizaciju članka. Svi radovi pre objavljivanja se recenziraju, a o prihvatanju za publikovanje o njihovoj kategoriji konačnu odluku donosi Redakcioni odbor.

Da bi se ubrzao postupak prihvatanja radova za publikovanje, potrebno je da autori uvažavaju Uputstva za pripremu radova koja su navedena u daljem tekstu.

Uputstva za pripremu rukopisa

Rukopis otkucati jednostrano na listovima A-4 sa marginama od 31 mm (gore i dole) a 20 mm (levo i desno), u Wordu fontom Arial sa 12 pt. Potrebno je uz jednu kopiju svih delova rada i priloga, dostaviti i elektronsku verziju na navedene E-mail adrese, ili na CD-u. Autor je obavezan da čuva jednu kopiju rukopisa kod sebe zbog eventualnog oštećenja ili gubitka rukopisa.

Od broja 1/2010, prema odluci Upravnog odbora Društva i Redakcionog odbora, radovi sa pozitivnim recenzijama i prihvaćeni za štampu, publikovaće se na srpskom i engleskom jeziku.

Svaka stranica treba da bude numerisana, a optimalni obim članka na jednom jeziku, je oko 16 stranica (30000 slovnih mesta) uključujući slike, fotografije, tabele i popis literature. Za radove većeg obima potrebna je saglasnost Redakcionog odbora.

Naslov rada treba sa što manje reči (poželjno osam, a najviše do jedanaeset) da opiše sadržaj članka. U naslovu ne koristiti skraćenice ni formule. U radu se iza naslova daju ime i prezime autora, a titule i zvanja, kao i ime institucije u podnožnoj napomeni. Autor za kontakt daje telefone, faks i adresu elektronske pošte, a za ostale autore poštansku adresu.

Uz sažetak (rezime) od oko 150 do 200 reči, na srpskom i engleskom jeziku daju se ključne reči (do deset). To je jezgrovit prikaz celog članka i čitaocima omogućuje uvid u njegove bitne elemente.

Rukopis se deli na poglavlja i potpoglavlja uz numeraciju, po hijerarhiji, arapskim brojevima. Svaki rad ima uvod, sadržinu rada sa rezultatima, analizom i zaključcima. Na kraju rada se daje popis literature.

Kod svih dimenzionalnih veličina obavezna je primena međunarodnih SI mernih jedinica.

Formule i jednačine treba pisati pažljivo vodeći računa o indeksima i eksponentima. Autori uz izraze u tekstu definišu simbole redom kako se pojavljuju, ali se može dati i posebna lista simbola u prilogu.

Prilozi (tabele, grafikoni, sheme i fotografije) rade se u crno-belom tehničkom, u formatu koji obezbeđuje da pri smanjenju na razmere za štampu, po širini jedan do dva stupca (8cm ili 16.5cm), a po visini najviše 24.5cm, ostanu jasni i čitljivi, tj. da veličine slova i brojeva budu najmanje 1.5mm. Originalni crteži treba da budu kvalitetni i u potpunosti pripremljeni za presnimavanje. Mogu biti i dobre, oštre i kontrastne fotokopije. Koristiti fotografije, u crno-belom tehničkom, na kvalitetnoj hartiji sa oštrim konturama, koje omogućuju jasnu reprodukciju. Skraćenice u prilogima koristiti samo izuzetno uz obaveznu legendu. Prilozi se posebno označavaju arapskim brojevima, prema redosledu navođenja u tekstu. Objašnjenje tabela daje se u tekstu.

Potrebno je dati spisak svih skraćenica korišćenih u tekstu.

U popisu literature na kraju rada daju se samo oni radovi koji se pominju u tekstu. Citirane radove treba prikazati po azbučnom redu prezimena prvog autora. Literaturu u tekstu označiti arapskim brojevima u uglastim zagradama, kako se navodi i u Popisu citirane literature, napr [1]. Svaki citat u tekstu mora se naći u Popisu citirane literature i obrnuto svaki podatak iz Popisa se mora navesti u tekstu.

U Popisu literature se navode prezime i inicijali imena autora, zatim potpuni naslov citiranog članka, iza toga sledi ime časopisa, godina izdavanja i početna i završna stranica (od - do). Za knjige iza naslova upisuje se ime urednika (ako ih ima), broj izdanja, prva i poslednja stranica poglavlja ili dela knjige, ime izdavača i mesto objavljivanja, ako je navedeno više gradova navodi se samo prvi po redu. Kada autor citirane podatke ne uzima iz izvornog rada, već ih je pronašao u drugom delu, uz citat se dodaje «citirano prema...». Neobjavljeni članci mogu se pominjati u tekstu kao «usmeno saopštenje».

Autori su odgovorni za izneseni sadržaj i moraju sami obezbediti eventualno potrebne saglasnosti za objavljivanje nekih podataka i priloga koji se koriste u radu.

Ukoliko rad bude prihvaćen za štampu, autori su dužni da, po uputstvu Redakcije, unesu sve ispravke i dopune u tekstu i prilogima.

Za detaljnija tehnička uputstva za pripremu rukopisa autori se mogu obratiti Redakcionom odboru časopisa.

Rukopisi i prilozi objavljenih radova se ne vraćaju. Sva eventualna objašnjenja i uputstva mogu se dobiti od Redakcionog odbora.

Radovi se mogu slati i na e-mail: folic@uns.ac.rs ili miram@uns.ac.rs i dimk@ptt.rs

Web sajt Društva i časopisa: www.dimk.rs

* Uputstvo autorima je modifikovano i treba ga, u pripremi radova, slediti.

Izdavanje časopisa "Građevinski materijali i konstrukcije" finansijski su pomogli:



INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE

**MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOŠKI
RAZVOJ SRBIJE**



**UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET**



**DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO
FAKULTET TENHIČKIH NAUKA NOVI SAD**



INSTITUT IMS AD, BEOGRAD



**UNIVERZITET CRNE GORE
GRAĐEVINSKI FAKULTET - PODGORICA**