



2010.
GODINA
LIII



MATERIJALI 1 I KONSTRUKCIJE

MATERIALS AND STRUCTURES

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



MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

MATERIALS AND STRUCTURES

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

IZDAVAČ:

Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

REDAKCIONI ODBOR:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.,
glavni i odgovorni urednik
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. dr Mirjana MALEŠEV, dipl.inž.,
zamenik odgovornog urednika,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. Lazar JOVANOVIĆ, dipl.inž.,
Beograd, Vrnjačka 9

Prof. dr Aleksandar PROKIĆ, dipl.inž.,
Građevinski fakultet, Subotica

Dr Ksenija JANKOVIĆ, dipl.inž.,
Institut IMS, Beograd

Dr Zoran BAČKALIĆ, dipl.inž.tehn.
"Polet", Novi Bečej

Mr Branislav VOJINOVIĆ, dipl.inž.,
Braće Ribnikar br. 15, Beograd

Dr Gordana Topličić-Čurčić, dipl.inž.
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš

ADRESA REDAKCIJE:

Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije
11000 Beograd, Kneza Miloša 9
Telefon: 011/3242-589

RECENZENTI:

Konačnu recenziju izvršio je Redakcioni odbor časopisa na osnovu recenzentskih izveštaja

TEHNIČKI UREDNIK:

Stoja TODOROVIĆ

NASLOVNA STRANA:

Sedište osiguravajućeg društva "EGICO", Malabo - Ekvatorijalna Gvineja. Projektanti - arhitektura: V.Drnadarević i D.Vasović, konstrukcija: D.Najdanović. Izvođač: "Cigesa" - Z.Kilibarda

TIRAŽ: 200 primeraka

Štampanje ovog broja pomogla je Inženjerska komora Srbije.

Ovaj časopis primaju članovi Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije

PUBLISHER:

Society for Materials and Structures Testing of Serbia

EDITOR AND CHIEF:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, Civ.Eng.,
Faculty of Technical Science, Novi Sad

EDITORIAL BOARD:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, Civ.Eng.,
editor and chief
Faculty of Technical Science, Novi Sad

Prof. dr Mirjana MALESEV, Civ.Eng.,
Faculty of Technical Science, Novi Sad

Prof. Lazar JOVANOVIĆ, Civ.Eng.,
Belgrade, Vrnjačka 9

Prof. dr Aleksandar PROKIĆ Civ.Eng.,
Faculty of Civil Engineering, Subotica

Dr Ksenija JANKOVIĆ, Civ.Eng.,
Institute IMS, Belgrade

Dr Zoran BAČKALIĆ, dipl.inž.tehn.
"Polet", Novi Bečej

Mr Branislav VOJINOVIĆ, dipl.inž.,
Braće Ribnikar br. 15, Beograd

Dr Gordana Toplicic-Curcic, Civ.Eng.,
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Nis

THE ADDRESS OF THE EDITORIAL-STAFF:

Society for Materials and Structures Testing of Serbia
11000 Belgrade, Kneza Miloša 9
Telephone: 381 11/3242-589

REVIEWERS:

The review of papers done by the Editorial Board on the reviewer's report

TECHNICAL EDITOR:

Stoja TODOROVIĆ

COVER:

Building of Insurance Company "EGICO", Malabo - Guinee Equatoriale. Designers - architecture: V.Drnadarevic and D.Vasovic, structure: D.Najdanovic. Contractor: "Cigesa" - Z.Kilibarda

CIRCULATION: 200 examples

This number was published thanks to the financial support of the Engineering Chamber of Serbia.

This Journal receive all the members of Society for Materials and Structures Testing of Serbia

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

MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

MATERIALS AND STRUCTURES

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

SADRŽAJ

Daniel MOHAČI Vladimir MUČENSKI Milan TRIVUNIĆ Igor PEŠKO IZBOR OPTIMALANOG TIPA FASADNOG ZIDA KORIŠĆENJEM SOFTVERSKOG PAKETA "DESIGNBUILDER" Originalni naučni rad	3
Ljiljana ŽUGIĆ Stanko BRČIĆ VREMENSKI ODGOVOR NESIMETRIČNE ZGRADE U ZAVISNOSTI OD DOMINANTNOG PRAVCA DJELOVANJA ZEMLJOTRESA Originalni naučni rad	14
Жарко НЕСТОРОВИЋ Милан ТРИФКОВИЋ ЗАЈЕДНИЧКО ГЕОДЕТСКО ОСМАТРАЊЕ ВЕЛИКИХ БРАНА И АКУМУЛАЦИЈА Стручни рад	33
Ksenija JANKOVIĆ Dragan NIKOLIĆ Dragan BOJOVIĆ Ljiljana LONČAR NEKA SVOJSTVA BETONA ULTRA VISOKIH ČVRSTOĆA Originalni naučni rad	43
Rada RADULOVIĆ Mihailo MURAVLJOV Ivan DENISENKO KVALITET CEMENTNE KOŠULJICE PRI NJENOM IZVOĐENJU NA KLASIČAN NAČIN Стручни рад	52
Uputstvo autorima	61

CONTENTS

Daniel MOHACI Vladimir MUCENSKI Milan TRIVUNIĆ Igor PESKO CHOOSING AN OPTIMAL TYPE OF FACADE WALL USING "DESIGNBUILDER" SOFTWARE PACKAGE Original scientific paper	3
Ljiljana ZUGIC Stanko BRCIC TIME HISTORY RESPONSE OF NON-SYMMETRIC BUILDING DUE TO DOMINANT EARTHQUAKE DIRECTION Original scientific paper	14
Žarko NESTOROVIC Milan TRIFKOVIC COMMON GEODETIC MONITORING OF LARGE DAMS AND RESERVOIRS Professional paper	33
Ksenija JANKOVIC Dragan NIKOLIC Dragan BOJOVIC Ljiljana LONČAR SOME PROPERTIES OF ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE Original scientific paper	43
Rada RADULOVIĆ Mihailo MURAVLJOV Ivan DENISENKO QUALITY OF A CEMENT SCREED PREPARED AND APPLIED IN A TRADITIONAL WAY Professional paper	52
Preview Report	61

IZBOR OPTIMALANOG TIPA FASADNOG ZIDA KORIŠĆENJEM SOFTVERSKOG PAKETA „DESIGNBUILDER“

CHOOSING AN OPTIMAL TYPE OF FACADE WALL USING “DESIGNBUILDER” SOFTWARE PACKAGE

Daniel MOHAČI
Vladimir MUČENSKI
Milan TRIVUNIĆ
Igor PEŠKO

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 692.232.45:004.4 = 861

1 UVOD

Posmatrajući tržište materijala sa aspekta mogućih rešenja izrade fasadnih zidova dolazi se do zaključka da je iste moguće izvesti na mnogo načina. Izbor optimalnog tipa fasadnog zida sve više dobija na značaju s obzirom na stalni porast cena energenata i troškova izgradnje. Ukoliko tom izboru dodamo izbor odgovarajuće termoizolacione obloge, definisanje optimalne kombinacije postaje složenije. U okviru rada izvršena je analiza realnog objekta sa aspekta izbora optimalne kombinacije zida i termoizolacije.

Kako bi se izvršio izbor postavljen je kriterijum minimalnih ukupnih troškova. Troškovi analizirani u okviru rada odnose se na:

- troškove gubitaka toplotne energije i
- troškove izgradnje fasadnih zidova sa završnom obradom.

Isti su analizirani za period eksploatacije objekta u trajanju od 30 godina.

U cilju što preciznije procene gubitaka toplotne energije kroz površine fasadnih zidova, analiza toplotnih karakteristika zidova izvršena je pomoću demo verzije

1 INTRODUCTION

Observing the materials market from the aspect of possible solutions for realization of facade walls, a conclusion can be drawn that this can be done in numerous ways. The choice of an optimal type of facade wall is gaining in importance, regarding the continuous increase in prices of energy-generating products and building costs. If this choice involves the choice of proper thermal-insulation coating as well, the process of defining the optimal combinations gets more complex. This paper provides the analysis of an actual construction facility from the aspect of choosing the optimal combination of the wall and thermal insulation.

In order to make this choice, the condition of minimum total costs was set. The costs analyzed within this paper relate to:

- costs of thermal energy losses
- costs of realization of facade walls with finishing works.

These costs were analyzed for the period of 30 years, throughout which the construction facility is used.

With the aim of most accurate estimation of thermal energy losses through facade wall surfaces, the analysis

Daniel Mohači, dipl.inž.građ.-master, Novi Sad
e -mail: dmoahachi@gmail.com
Vladimir Mučenski, dipl.inž.građ.-master, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6,
e -mail: mucenskiv@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
Igor Peško, dipl.inž.građ.-master, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6,
e -mail: igorbp@uns.ac.rs

Daniel Mohači, M.Sc.,Civ.Eng., Novi Sad,
e -mail: dmoahachi@gmail.com
Vladimir Mučenski, M.Sc.,Civ.Eng., Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6,
e -mail: mucenskiv@uns.ac.rs
Milan Trivunić, PhD,Civ.Eng., Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
e -mail: trule@uns.ac.rs
Igor Peško, M.Sc.,Civ.Eng., Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
e -mail: igorbp@uns.ac.rs

programskog paketa DesignBuilder v2.0.5.013. u "Evaluation mode"-u [1].

of thermal characteristics of walls was carried out by using a demo version of DesignBuilder v2.0.5.013 software package in "Evaluation mode" [1].

2 ANALIZA FASADNIH ZIDOVA SA ASPEKTA TOPLOTNOG PRENOSA

Toplotni prenos ili U-vrednost je osnovni parametar usvojen za međusobno poređenje toplotnih karakteristika fasadnih zidova. Isti predstavlja količinu toplote, koja prođe kroz konstruktivnu sekciju, između unutrašnje i spoljašnje klime, za jedinicu površine i temperature. Jedinica mere je W/m^2K . U-vrednost se u literaturi može naći i pod nazivom ukupni koeficijent prolaska toplote. Prema [2] izraz za U-vrednost je sledeći:

$$U = 1/R_T [W/m^2K]$$

gde je:

R_T – suma otpora prolaza toplote.

Vrednost U ocenjuje energetska efikasnost materijala kombinovanih u jednoj konstruktivnoj komponenti ili sekciji. Što je vrednost parametra manja, rešenje je bolje u smislu toplotne izolacije i uštede energije. Ukupna toplotna otpornost i toplotni prenos se koriste u oceni i međusobnom poređenju građevinskih konstruktivnih rešenja. Takođe se koriste u različitim građevinskim normama širom sveta kako bi se uspostavili prihvatljivi standardi termičkih karakteristika kako novih tako i postojećih objekata. U tabeli 1 (prema [3]), prikazane su standardima postavljene maksimalne vrednosti toplotnog prenosa za pojedine države unutar i izvan Evropske unije.

2 ANALYSIS OF FACADE WALLS FROM THE ASPECT OF THERMAL TRANSMISSION

Thermal transmission or U-value is the basic parameter adopted for comparison of thermal characteristics of facade walls. This parameter presents the amount of heat that passes through a construction section, between the interior and exterior temperature condition, for a unit of surface and temperature. The unit of measurement is W/m^2K . U-value is also called the overall heat transfer coefficient. According to [2], the formula for calculating the U-value is the following:

where the following is:

R_T - thermal resistance.

U-value assesses the energy efficiency of materials combined in a single construction component or section. The lower the parameter, the better the solution in terms of thermal insulation and energy saving. Overall thermal resistance and thermal transmission are used when assessing and comparing construction solutions in civil engineering. They are also used in different building construction norms worldwide, in order to set acceptable standards for thermal characteristics of both new and existing construction facilities. Table 1 (compare [3]) shows standardized maximum values of thermal transmission for certain countries in and out of the European Union.

Tabela 1. Maksimalne dozvoljene vrednosti za U-vrednost u okviru pojedinih država
Table 1. Maximum allowed values for U-value in certain countries

Država (Country)	Grad (City)	U [W/m^2K]		
		Zid (Wall)	Krov (Roof)	Tavanica (Ceiling)
Bosna i Hercegovina (Bosnia and Herzegovina)	Sarajevo	0.80	0.55	0.65
Bugarska (Bulgaria)	Sofia	0.50	0.30	0.50
Hrvatska (Croatia)	Zagreb	0.90	0.65	0.75
Francuska (France)	Paris	0.36	0.20	0.27
Mađarska (Hungary)	Budapest	0.45	0.25	0.50
Makedonija (Macedonia)	Skopje	0.90	0.65	0.75
Rumunija (Romania)	Bucharest	0.70	0.33	0.60
Slovenija (Slovenia)	Ljubljana	0.60	0.25	0.45
Srbija (Serbia)	Novi Sad	0.90	0.65	0.75

2.1 Analiza pojedinih tipova fasadnih zidova

Izbor tipova fasadnih zidova usvojenih u okviru analize izvršen je na osnovu observacije tržišnih uslova. Ispitivanje tržišta sa aspekta varijantnih rešenja nije izvršeno samo u cilju određivanja tipova fasadnih zidova koji su trenutno u najširoj upotrebi u slučaju izgradnje novih objekata već su uzeta u obzir i rešenja koja su karakteristična za stare objekte pa i za objekte koji ne ispunjavaju standarde građenja. Analizirane su sledeće varijante tj. tipovi fasadnih zidova:

2.1 Analysis of certain types of facade walls

The choice facade wall types accepted within the analysis was made according to observation of market conditions. The market analysis from the aspect of variant solutions was not only carried out with the aim of determining what types of facade walls are most commonly used when building construction facilities. It also took into consideration solutions which are typical of older construction facilities as well as those that do not meet construction standards. The following variants, i.e. types of facade walls were analyzed:

1. „sendvič“ zid,
2. „Porotherm“ zid,
3. „YTONG“ zid,
4. zid od pune opeke d=25cm,
5. zid od pune opeke d=25cm sa ekspanziranom penopolistirolom (tzv. EPS),
6. zid od giter bloka d=25cm,
7. zid od giter bloka d=25cm sa EPS i
8. zid od giter bloka d=25cm sa EPS plus 8cm.

U okviru tabele 2 prikazani su svi slojevi svih osam analiziranih varijanti fasadnih zidova pri čemu su podaci o termičkim karakteristikama istih dobijeni iz literature različitih proizvođača materijala [4], [5], [6], [7].

1. "sandwich" wall
2. " Porotherm" wall
3. "YTONG" wall
4. full brick wall (25cm thick)
5. full brick with expanded polystyrene foam (the so called EPS) wall (25cm thick)
6. hollow clay block wall (25cm thick)
7. hollow clay block with EPS wall (25cm thick) and
8. hollow clay block wall EPS plus 8cm wall (25cm thick).

Table 2 shows all layers of eight analyzed variants of facade walls, where the data on their thermal characteristics come from specifications of different material producers [4], [5], [6], [7].

Tabela 2. Prikaz slojeva analiziranih fasadnih zidova
Table 2. Overview of layers of the analyzed facade walls

Vrsta zida (Type of wall)	Sloj (Layer)	d [cm]	λ [W/mK]	U [W/m ² K]
1. Sendvič zid (Sandwich wall)	Klinker opeka ošupljena (Klinker hollow brick)	12	0.790	0.550
	Ploče od prošivene trske (Woven cane panels)	5	0.046	
	Puna opeka 1600 (Full brick 1600)	25	0.640	
	GrundPutz Leicht	1.5	0.810	
2. Porotherm zid (Porotherm wall)	EdelPutz	0.3	0.810	0.296
	UniversalGrund	0.3	0.810	
	PutzSpachtel	0.4	0.810	
	ThermoExtra	4	0.090	
	Porotherm 38 S P+E PLUS	38	0.139	
	GrundPutz Leicht	1.5	0.810	
3. YTONG zid (YTONG wall)	SilikatPutz	0.2	0.700	0.235
	UniversalGrund	0.3	0.810	
	HaftMörtel	0.5	0.810	
	Glasswool FDP 2	5	0.035	
	YTONG TZB 30	30	0.114	
	GrundPutz Leicht	1.5	0.810	
4. Puna opeka bez termoizolacije (Full brick without thermal insulation)	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.870	1.649
	Puna opeka 1600 (Full brick 1600)	25	0.640	
	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.870	
5. Puna opeka + EPS (Full brick + EPS)	EdelPutz Special	0.2	0.700	0.525
	KlebeSpachtel	0.3	0.810	
	EPS AF	5	0.038	
	Puna opeka 1600 (Full brick 1600)	25	0.640	
	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.870	
6. Giter blok bez termoizolacije (Hollow clay block without thermal insulation)	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.640	1.167
	Giter blok	25	0.390	
	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.640	
7. Giter blok + EPS (Hollow clay block + EPS)	EdelPutz Special	0.2	0.700	0.464
	KlebeSpachtel	0.3	0.810	
	EPS AF	5	0.038	
	Giter blok	25	0.390	
	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.640	
8. Giter blok + EPS Plus (Hollow clay block + EPS Plus)	EdelPutz Special	0.2	0.700	0.299
	KlebeSpachtel	0.3	0.810	
	EPS AF Plus	8	0.032	
	Giter blok	25	0.390	
	Produžni krečni malter (Lime mortar render)	2	0.640	

3 POSTUPAK ANALIZE

Proces utvrđivanja optimalne varijante fasadnog zida izvršen je kroz sledeće aktivnosti:

- analiza posmatranog objekta za čije potrebe izgradnje je neophodno utvrditi optimalno rešenje,
- precizna procena gubitaka toplotne energije i troškova nastalih usled istih za posmatrani objekat i
- analiza i utvrđivanje troškova izgradnje posmatranih varijanti fasadnih zidova.

3.1 Opis analiziranog objekta

Za prikaz predložene analize usvojen je objekat koji se nalazi u Novom Sadu i spratnosti je Po+P+1+M+Potk dok su gabariti objekta 21.00 x 14.39 + 9,87 x 8.90 m. U pogledu namene, objekat je stambeno-poslovan. Na spratovima, mansardi i potkrovlju smešteni su isključivo stanovi. Podrum je predviđen samo ispod dvorišnog dela objekta i sadrži stansarske ostave i toplotnu podstanicu.

Stanovi su u funkcionalnom smislu tako koncipirani da su prostorije za dnevni boravak predviđene na zapadnoj strani dok su prostorije za odmor i spavanje sa kupatilom predviđene na istočnoj strani.

Predviđeni konstruktivni sistem za analizirani objekat jeste masivni sistem sa međuspratnom konstrukcijom tipa „Fert“. Zidani elementi ukrućeni su AB serklažima u skladu sa važećim pravilnikom za zidane konstrukcije. Planirani krovni pokrivač je falcovani crep.

S obzirom da je cilj analize izbor optimalne kombinacije slojeva fasadnog zida, izvršene su određene korekcije analiziranog objekta kako bi se ubrzao rad u navedenom softveru. Kako analizirane kombinacije fasadnih zidova ne postoje u suterenu isti nije razmatran u analizi. Takođe, na zapadnoj i istočnoj strani drugog sprata objekta mansarda je zamenjena fasadnim zidom kako bi se povećale analizirane površine. Svi ostali podaci i detalji su uneti i modelovani identično ili najpribližnije moguće u skladu sa projektnom dokumentacijom.

Stambena površina objekta iznosi 836.96 m², dok je vrednost zapremine 2642.64m³. Površina fasada objekta je 814.38 m² dok površina svih otvora zajedno iznosi 152.78 m². S obzirom na prethodno izneto u ukupna površina fasadnih zidova objekta iznosi 661.60 m².

Prikaz objekta u okviru prozora za modelovanje korišćenog softvera dat je na slici 1.

Tokom eksploatacije zagrevanje objekta vršiče se putem gasa. U suterenu je predviđena izgradnja podstanice koja će sem zagrevanja prostorija služiti i za zagrevanje vode.

3 THE ANALYSIS PROCESS

The process of determining the optimal type of facade wall was completed through the following activities:

- analysis of the observed construction facility whose building requires an optimal solution
- precise estimation of thermal energy losses and their consequential losses
- analysis and identification of construction costs for the observed types of facade walls.

3.1 Description of the analyzed construction facility

Suggested analysis comprised a construction facility located in Novi Sad, with the following number of floors: Basement + Groundfloor + 1st floor + garret + loft. The gabarit of the facility is 21.00 x 14.39 + 9,87 x 8.90m. Regarding its purpose, it is a business – residential facility. Floors, garret and loft only contain flats. The basement is planned only under the yard of the facility, and contains residents' storage rooms and heat substation.

In the functional sense, the flats are planned in the way that living rooms face west, whereas the relaxation rooms and bedrooms with bathrooms face east.

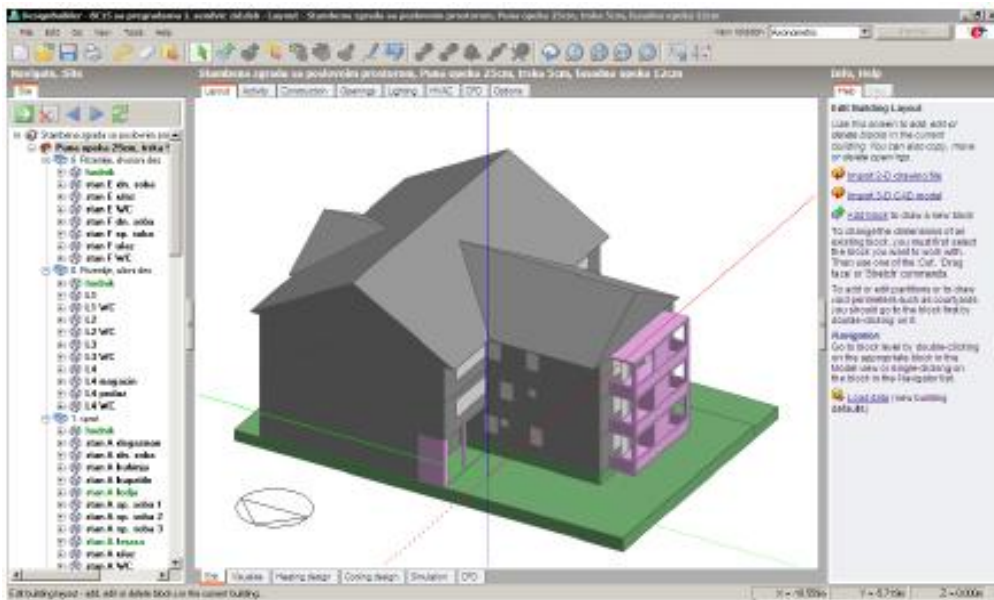
The planned construction system for the analyzed facility is the massive system with interfloor construction of "Fert" type. Masonry elements are reinforced with AB wall corners, according to the official regulations on masonry constructions. The planned roof covering is Roman roof tile.

Since the aim of the analysis is the choice of the optimal combination of facade wall layers, certain corrections of the analyzed construction facility were done, in order to perform work in the mentioned software faster. Considering the fact that there are no facade walls in the basement, it was not included in the analysis. In addition, on the east and west side on the 2nd floor of the facility, the garret was substituted by a facade wall, in order to increase the area of the analyzed surface. The rest of the data and details were entered and modeled identically or as close as possible according to the project documentation.

Residential area of the construction facility amounts to 836.96m², whereas the value of its volume amounts to 2642.64m³. The facade area is 814.38m², and the total area of all doors and windows is 152.78m². According to this, the total area of facade walls amounts to 661.60m².

The overview of the construction facility in the modeling window of the used software is given in picture 1.

While it is being used, the facility will have gas heating. A substation is planned to be built in the basement. Apart from heating the rooms, it will also be used to heat water.



Slika 1. Prikaz analiziranog objekta u okviru prozora za modelovanje softvera DesignBuilder
 Figure 1. Overview of the analyzed facility in the modeling window of Design Builder software

3.2 Proračun toplotnih gubitaka i troškova istih

U okviru korišćenog softverskog paketa analizirani su utrošci električne energije i gasa pri čemu su u okviru analize gubitaka gasa usvojeni isključivo gubici nastali kroz fasadne zidove s obzirom da je moguće izdvojiti gubitke nastale kroz različite fasadne elemente.

Kako softver pruža mogućnost detaljne analize svih definisanih tipova energenata, npr. gasa i električne energije, u zavisnosti od izvora gubitaka, tokom analize je bilo neophodno utvrditi gubitke toplotne energije nastale isključivo kroz površine fasadnih zidova.

S druge strane, u cilju utvrđivanja finansijskih troškova nastalih usled gubitaka toplotne energije, gubici iste u okviru softvera povezani su sa količinama gubitaka gasa kao energenta.

Nakon definisanja karakteristika varijantnih rešenja usvojene su vrednosti troškova energenata. Prilikom analize troškova gubitaka toplotne energije usvojeno je da je cena 1m^3 gasa iznosi $0,40\text{€}$ S obzirom da su gubici energije u okviru rada prikazani u kWh potrebno je napomenuti da 1m^3 gasa obezbeđuje $9,5\text{kWh}$ energije.

Utvrđene vrednosti gubitaka toplotne energije za različite tipove analiziranih varijanti fasadnih zidova prikazane su u okviru tabele 3. Slika 2, s druge strane, prikazuje količine izgubljenog gasa. Prikazani gubici za period od godinu dana odnose se samo na gubitke toplotne energije kroz površine fasadnih zidova bez uzimanja u obzir veličine infiltracije koja takođe, svojim manjim delom, zavisi od vrsta slojeva fasadnog zida.

3.2 Calculation of thermal losses and their costs

Within the used software package, the consumption of electricity and gas were analyzed, where the analysis of gas losses only considered those occurring through facade walls, since it is possible to identify losses occurring through different facade elements.

Since the software provides the possibility of detailed analysis of all defined types of energy-generating products, such as gas and electricity, depending on the source of loss, it was necessary to determine thermal energy losses occurring only through facade wall surfaces.

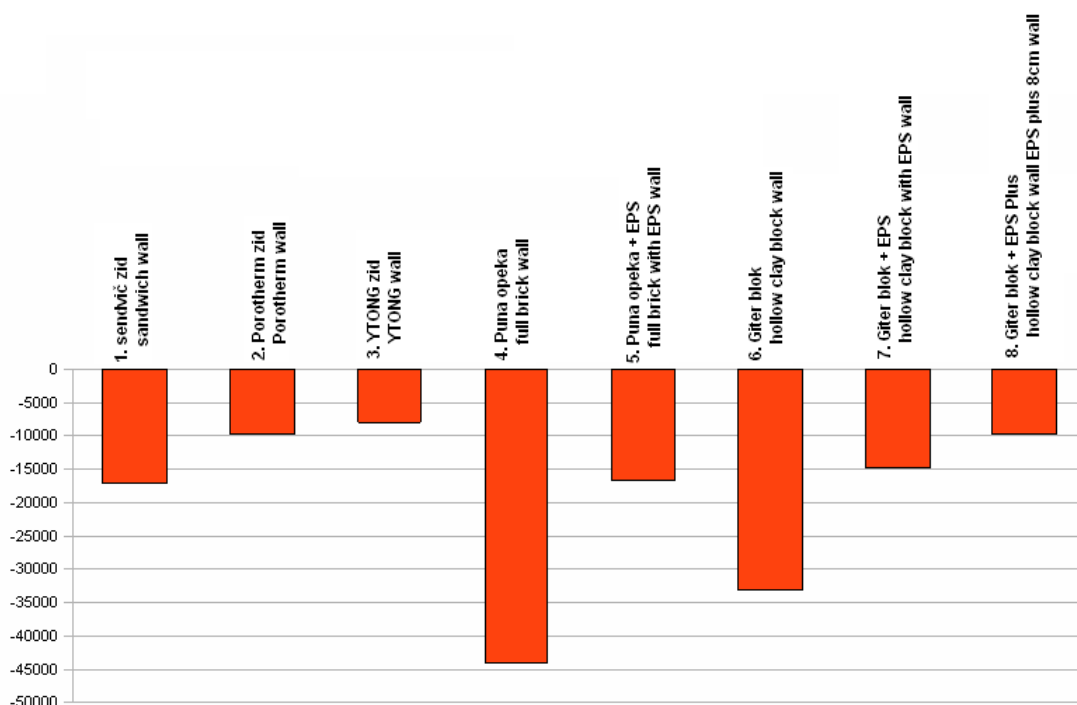
On the other hand, with the aim of determining financial expenses resulting from thermal energy losses, these losses were linked with the quantity of gas losses within the software.

Having defined the characteristics of variant solutions, the values of energy-generating products were adopted. While analyzing the expenses of thermal energy losses, it was agreed that the price of 1m^3 of gas amounts to 0.40€ Since the energy losses within the paper are expressed in kWh, it must be noted that 1m^3 of gas provides 9.5kWh of energy.

Determined values of thermal energy losses for various types of analyzed variants of facade walls are shown in table 3. Picture 2, on the other hand, shows amounts of lost gas. Presented losses for the period of one year only relate to losses of thermal energy through surfaces of facade walls, regardless of the amount of filtration which also, in its smaller segment, depends on the type of facade wall.

Tabela 3. Gubici toplotne energije kroz površine fasadnih zidova
Table 3. Losses of thermal energy through surfaces of facade walls

	Vrsta zida (Type of wall)	w[cm]	U[W/m ² K]	Gubici zida za 1 godinu (Losses during 1 year)	
				[kWh]	[€]
1.	(Sendvič zid) Sandwich wall	43,5	0,550	-17.075,83	718,98
2.	Porotherm	44,5	0,296	-9.791,61	412,28
3.	YTONG	37,5	0,235	-7.927,68	333,80
4.	Puna opeka (Full brick)	29,0	1,649	-43.884,70	1.847,78
5.	Puna opeka + EPS (Full brick + EPS)	32,5	0,525	-16.537,62	696,32
6.	Giter blok (Hollow clay block)	29,0	1,167	-33.029,64	1.390,72
7.	Giter blok + EPS (Hollow clay block + EPS)	32,5	0,464	-14.777,61	622,22
8.	Giter blok + EPS Plus 8cm Hollow clay block + EPS Plus 8cm	35,5	0,299	-9.858,74	415,10



Slika 2. Uporedni dijagram gubitaka gasa prema tipu fasadnog zida
Figure 2. Comparative diagram of gas losses according to facade wall type

3.3 Proračun troškova izgradnje fasadnih zidova

Troškovi izgradnje fasadnih zidova određeni su na osnovu tržišne vrednosti materijala i radne snage uz napomenu da su u cenu zida uračunati svi slojevi predstavljeni u tabeli 2.

Prikaz postupka određivanja troškova izrade fasadnog zida biće prikazan kroz primer „Porotherm“ fasadnog zida (varijanta 2).

3.3 Calculation of facade walls construction

Costs of facade walls construction are determined according to the market value of materials and labour force, keeping in mind that the price comprises all the layers presented in table 2.

The process of determining the costs of facade wall construction will be exemplified by "Porotherm" facade wall (variant 2).

U okviru tabele 4 prikazani su troškovi izrade zida od „Porotherm“ blokova dimenzija 38x25x23,8cm pri čemu je izrada spojnice izvršena uz upotrebu termo-maltera.

Table 4 shows the costs of constructing the wall made of 38x25x23,8cm "Porotherm" blocks, with the joints made by using thermo-mortar.

Tabela 4. Troškovi radne snage i materijala za 1m³ zida tipa Porotherm
Table 4. Costs of labour force and material for 1m³ of Porotherm type wall

Opis operacije (Description of action)	Grupa radnika (Group of workers)	NČ (Nh)	Blok (Block) [num]	Malter (Mortar) [m ³]
Zidanje (Building)	PK (PQ)	0,800	42	0,18
	KV (Q)	2,100		
Prenos blokova (Transport of blocks)	NK (LQ)	0.531		
Prenos maltera (Transport of mortar)	NK (LQ)	0.168		
Spravljanje maltera (Mixing mortar)	NK (LQ)	0.864		
Cena (Price) [€]		7,28	45,00	65,10

Kako cene materijala i radne snage nemaju isto učešće u ukupnoj ceni, ista se formira prema sledećem izrazu [8]:

Since the costs of material and labour force do not participate equally in the total price, it is then formed according to the following formula [8]:

$$C = M + R(K+1)$$

gde je:

C – ukupna cena za 1m³ gotovog zida
M – cena materijala za 1m³ gotovog zida
R – cena radne snage za 1m³ gotovog zida
K – koeficijent režije i dobiti (usvojeno K=3)
S obzirom na prethodno ukupna cena 1m³ zida iznosi:

where the following are:

C – total price for 1m³ of finished wall
M – the price of material for 1m³ of finished wall
R – the price of labour force 1m³ of finished wall
K – coefficient of overhead and profit (agreed K=3)
Considering all this, the total price of 1m³ of wall amounts to:

$$C = 110,10 + 7,28(3+1) = 139,20€$$

Na isti način određuju se cena mašinskog malterisanja zida sa unutrašnje strane (tabela 5).

In the same way, it is possible to determine the price of machine plastering from the inside (Table 5).

Tabela 5. Troškovi radne snage i materijala za 1m² mašinskog malterisanja
Table 5. Costs of labour force and material for 1m² of machine plastering

Opis operacije (Description of action)	Grupa radnika (Group of workers)	NČ (Nh)	Malter Mortar [kg]
Malterisanje (Plastering)	Q	0,60	18
Prenos maltera (Transport of mortar)	LQ	0,04	
Cena (Price) [€]		1,25	4,14
Ukupna cena (Total price) [€]			9,13

Struktura cene postavljanja termiozolacije i izrade završnih fasadnih slojeva prema uputstvima proizvođača „Baumit“ prikazana je u okviru tabele 6.

S obzirom da je za potrebe analize neophodno odrediti cene fasadnih zidova po 1m², cena izrade „Porotherm“ zida dobijena za 1m³, iznosi 52,90 € za 1m² istog. Sledi da ukupna cena fasadnog zida tipa „Porotherm“ iznosi:

The structure of installation of thermal insulation and realization of final facade layer according to the instructions of the producer "Baumit" is given in table 6.

Since it is required by the analysis to determine the price of facade walls per 1m², the price of construction of "Porotherm" wall calculated per 1m³ amounts to 52.90 € per 1m² of the same wall. Hence, the total price of the facade wall of "Porotherm" type is:

$$52,90 + 9,13 + 33,05 = 95,07 \text{ €/m}^2$$

Tabela 6. Troškovi radne snage i materijala za 1m² „Baumit“ termo-fasade
Table 6. Costs of labour force and material for 1m² of „Baumit“ thermo-façade

Opis operacije (Description of action)	Materijal Material [€]	Rad Labour [€]
Mašinsko nanošenje Baumit ThermoExtra maltera (Machine application of Baumit ThermoExtra mortar)	16,06	4,24
Izrada Baumit EdelPutz fasade (Realization of Baumit EdelPutz façade)		
Ukupna cena (Total price)	33,05	

U skladu sa prethodno iznetim postupkom određivanja cena definisani su troškovi za sve analizirane varijante fasadnih zidova i isti su prikazani u okviru tabele 7. Prikazani ukupni troškovi u tabeli 7 predstavljaju ujedno i inicijalne troškove za posmatrani period od 30 godina.

According to the previously presented method of determining the price, the costs of all analyzed variants of façade walls were defined and shown in table 7. Total costs given in Table 7 at the same time present initial costs for the observed period of 30 years.

Tabela 7. Troškovi izrade fasadnih zidova
Table 7. Costs of façade walls construction

Vrsta zida (Type of wall)	W [cm]	U [W/m ² K]	Cena (Price) [€/m ²]			Ukupna cena fasadnih zidova za ceo objekat (Total cost of façade walls for the whole facility)
			Materijal (Material)	Rad (Labour)	Ukupno (Total)	
1. (Sendvič zid) Sandwich wall	43,5	0,550	€ 35,11	€ 50,70	€ 85,81	€ 56.772,46
2. Porotherm	44,5	0,296	€ 62,05	€ 33,03	€ 95,07	€ 62.901,55
3. YTONG	37,5	0,235	€ 35,40	€ 28,86	€ 64,26	€ 42.517,24
4. Puna opeka (Full brick)	29,0	1,649	€ 19,29	€ 35,82	€ 55,11	€ 36.463,02
5. Puna opeka + EPS (Full brick + EPS)	32,5	0,525	€ 25,67	€ 42,78	€ 68,45	€ 45.284,96
6. Giter blok (Hollow clay block)	29,0	1,167	€ 18,33	€ 31,68	€ 50,01	€ 33.086,98
7. Giter blok + EPS (Hollow clay block + EPS)	32,5	0,464	€ 24,71	€ 38,64	€ 63,34	€ 41.908,93
8. Giter blok + EPS Plus 8cm Hollow clay block + EPS Plus 8cm	35,5	0,299	€ 27,07	€ 38,64	€ 65,70	€ 43.470,32

4 ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

S obzirom da su definisani inicijalni troškovi, tj. ukupni troškovi izrade zidova kao i troškovi nastali usled gubitaka toplotne energije za period od godinu dana obezbeđeni su uslovi za poređenje varijantnih rešenja.

Poređenje inicijalnih troškova izgradnje zidova, prikazanih u okviru tabele 8, uz dodavanje troškova nastalih usled gubitaka toplotne energije kroz vreme, u periodu od 30 godina, prikazano je u okviru tabele 8.

4 RESULT ANALYSIS

Having defined initial costs, i.e. total costs of wall construction as well as expenses resulting from thermal energy losses for the period of one year, the conditions for comparison of variant solutions were satisfied.

Comparison of initial costs of walls construction, shown in table 8, with the addition of expenses caused by the loss of thermal energy over time, during the period of 30 years, is shown in table 8.

Tabela 8. Promena troškova u periodu od 30 godina
Table 8. Change of costs during the period of 30 years

Vrsta zida (Type of wall)	Ukupna cena fasadnih zidova za ceo objekat (Total price of facade walls for the whole facility)	Porast troškova usled gubitaka toplotne energije za posmatrani period [god] (Costs increase due to thermal energy losses for the observed period [years])						
		1	3	5	10	15	20	30
Sendvič zid (Sandwich wall)	€ 56,772.46	€ 57,491.44	€ 58,929.41	€ 60,367.37	€ 63,962.28	€ 67,557.19	€ 71,152.10	€ 78,341.93
Porotherm zid (Porotherm wall)	€ 62,901.55	€ 63,313.82	€ 64,138.38	€ 64,962.94	€ 67,024.33	€ 69,085.72	€ 71,147.12	€ 75,269.90
YTONG zid (YTONG wall)	€ 42,517.24	€ 42,851.03	€ 43,518.63	€ 44,186.22	€ 45,855.21	€ 47,524.19	€ 49,193.18	€ 52,531.15
Puna opeka (Full brick)	€ 36,463.02	€ 38,310.80	€ 42,006.35	€ 45,701.90	€ 54,940.79	€ 64,179.67	€ 73,418.56	€ 91,896.32
Puna opeka + EPS (Full brick + EPS)	€ 45,284.96	€ 45,981.28	€ 47,373.92	€ 48,766.57	€ 52,248.17	€ 55,729.77	€ 59,211.38	€ 66,174.59
Giter blok (Hollow clay block)	€ 33,086.98	€ 34,477.71	€ 37,259.15	€ 40,040.59	€ 46,994.20	€ 53,947.81	€ 60,901.42	€ 74,808.64
Giter blok + EPS (Hollow clay block + EPS)	€ 41,908.93	€ 42,531.14	€ 43,775.57	€ 45,020.00	€ 48,131.08	€ 51,242.15	€ 54,353.23	€ 60,575.38
Giter blok + EPS Plus (Hollow clay block + EPS Plus)	€ 43,470.32	€ 43,885.42	€ 44,715.63	€ 45,545.84	€ 47,621.36	€ 49,696.89	€ 51,772.41	€ 55,923.46

Na osnovu prikazane tabele lako je uočiti isplativost pojedinih rešenja. U okviru analize porasta troškova nije analiziran kvalitet ponuđenih rešenja tj. troškovi eventualnog održavanja prikazanih tipova fasadnih zidova. Kako bi se lakše sagledali odnosi kao i dinamika promene troškova, formiran je uporedni dijagram prikazan na slici 3.

Sa dijagrama je lako uočljivo da se kao optimalno rešenje nameće varijanta pod rednim brojem 3, kombinacija zida „YTONG“ i termoizolacije od mineralne vune debljine 5cm, koja postaje najisplativija varijanta već posle 9 godina eksploatacije.

Poredeći dve najisplativije varijante, varijantu 3 i varijantu 8, moguće je uočiti da je razlika u porastu troškova mala i na kraju posmatranog perioda iznosi svega 6%.

Takođe, potrebno je sagledati odnose troškova „sendvič“ zida i zida od pune opeke bez termoizolacije. Rešenje sa „sendvič“ zidom postaje isplativo posle 18 godina u odnosu na varijantu 4 što je posledica velikih troškova izrade sloja od fasadne opeke usled visoke cene fasadne opeke i visoke cene manualnog rada.

Ukoliko posmatramo odnos varijante 5 i varijante 7, koje su danas među najzastupljenijim na našem tržištu, dolazi se do zaključka da je opcija giter bloka i termoizolacije tipa EPS debljine 5cm isplativija ali se odnos troškova gubitaka toplotne energije kroz vreme neznatno menja što sugerise na veoma male razlike u termičkim karakteristikama.

Varijanta 4 (zid od pune opeke, d=25cm) analizirana je, iako ne ispunjava važeće propise, iz razloga velikog broja objekata koji nisu dovršeni a suprotno propisima su u upotrebi. Iz prikazanih slika 2 i 3 mogu se sagledati potencijalne razmere finansijskih gubitaka i gubitaka energije na nivou države.

According to the given table, the cost-effectiveness of certain solutions is easily noticeable. The analysis of costs increase did not include the analysis of quality of suggested solutions, i.e. the costs of possible maintenance of presented types of facade walls. In order to easily perceive the relations as well as dynamics of costs changes, a comparative diagram shown in picture 3 was formed.

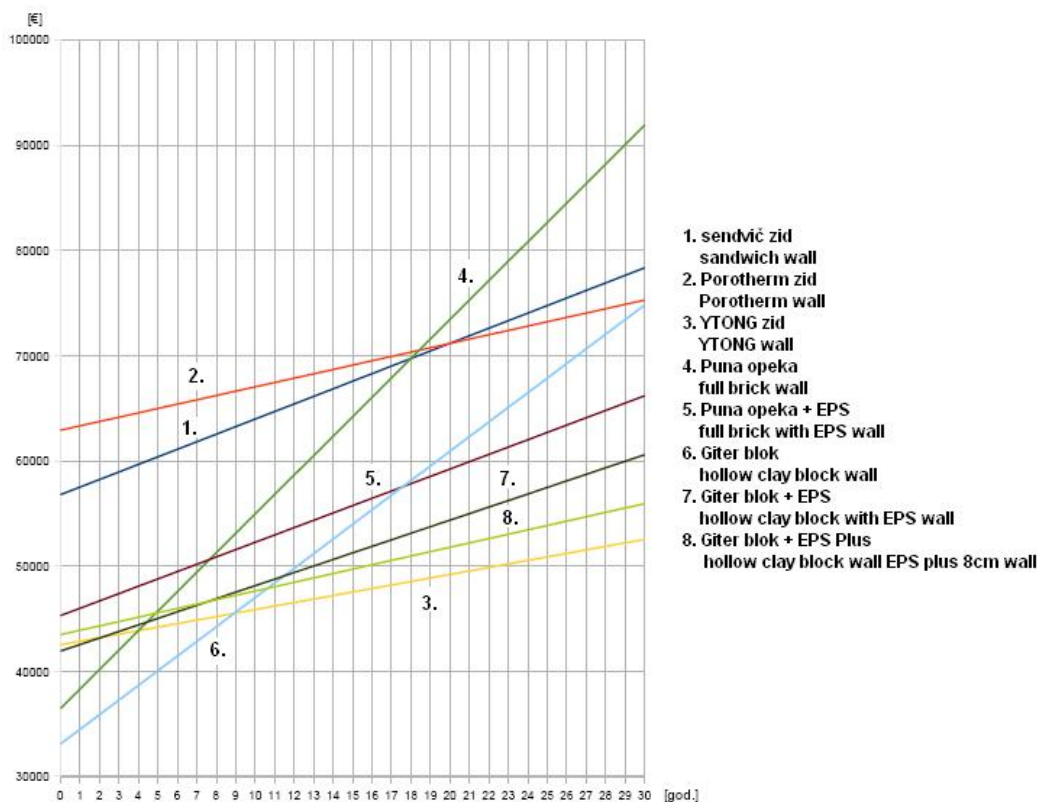
Based on the diagram, it can easily be seen that type number 3 imposes as the optimal solution. The combination of "YTONG" wall type and thermal insulation of 5cm mineral wool, becomes cost-effective only after 9 years of exploitation.

Comparing two most cost-effective types, type 3 and type 8, it is possible to notice that the difference in costs increase is very small, reaching only 6% at the end of the observed period.

Furthermore, it is necessary to consider the relation between costs of "sandwich" wall and the wall made of full brick without thermal insulation. The solution with "sandwich" wall becomes cost-effective after 18 years, compared to type 4, which is a consequence of high costs of realization of a facade brick layer, due to high prices of facade bricks and costs of manual work.

If we consider the relation between type 5 and type 7, which are among the most frequent ones on our market, a conclusion can be drawn that the option of hollow clay block and thermal insulation of EPS type of 5cm is cost-effective, but the proportion of thermal energy losses over time changes insignificantly, which suggests very small differences in thermal characteristics.

Type 4 (full brick wall, W = 25cm) is analyzed, although it does not comply with official regulations, for



Slika 3. Upporedni dijagram troškova izgradnje i eksploatacije fasadnih zidova kroz vreme
Figure 3. Comparative diagram of the costs of construction and exploitation of facade walls over time

Ukoliko posmatramo isplativost postavljanja termoizolacije tipa EPS debljine 5cm u odnosu na neizolovan ali omalterisan zid od opeke, $d=25\text{cm}$, rešenje sa izolacijom postaje isplativo nakon nešto više od 7,5 godina.

Ukoliko uporedimo troškove fasadnog zida od giter bloka bez termoizolacije i sa termoizolacijom, varijanta sa EPS izolacijom debljine 5cm postaje isplativa za 11,5 godina dok opcija sa 8cm izolacije postaje isplativa za 10,5 godina.

5 ZAKLJUČAK

Primenom programskog paketa DesignBuilder v2.0.5.013. omogućena je potpuna analiza objekata sa aspekta energetske efikasnosti. Na taj način pružena je mogućnost za variranje i ocenu različitih tehničkih rešenja u procesu izrade projektne dokumentacije koja imaju uticaj na termičke karakteristike objekta.

U okviru rada prikazana je analiza različitih tipova fasadnih zidova, dostupnih na tržištu, sa aspekta troškova izrade i troškova nastalih usled gubitaka toplotne energije.

the reason of a large number of unfinished facilities which are being used, despite the existing regulations. From pictures 2 and 3, potential proportion of financial and energy losses at the national level can be estimated.

If we regard cost efficiency of thermal insulation of EPS type of 5cm compared to a non-insulated, but plastered full brick wall of 25cm, the solution with thermal insulation becomes cost-effective shortly after 7.5 years.

If the costs of hollow clay block wall with and without thermal insulation are compared, the option with EPS insulation of 5cm becomes cost-effective in 11.5 years, whereas the option with 8mm insulation becomes cost-effective in 10.5 years.

5 CONCLUSION

By applying Design Builder v2.0.5.013. software package, it is possible to carry out complete analysis of construction facilities from the aspect of energy efficiency. In this way, the possibility to alter and assess various technical solutions which influence thermal characteristics of facilities was prolonged during the process of making project documentation.

This paper provides the analysis of various types of facade walls, available on the market, from the aspect of realization costs, as well as expenses resulting from thermal energy losses.

Zaključak je da se primenom novijih tipova termoizolacija i proizvoda namenjenih za izradu zidova, gubici višestruko umanjuju. Takođe pojedina rešenja, u odnosu na neizolovane fasadne zidove, postaju isplativa za manje od 10 godina.

Među osam analiziranih varijanti fasadnih zidova, kao optimalno rešenje nameće se kombinacija zida tipa „YTONG“ sa termoizolacijom od mineralne vune debljine 5 cm.

Potrebno je napomenuti da analizom nije obuhvaćen uticaj degradacije materijala na gubitke u budućem periodu kao ni dodatni gubici koji bi eventualno prosledili usled pojave kondenzacije.

U narednim istraživanjima bilo bi opravdano ponoviti analizu uz projekciju povećanja troškova energenata i manualnog rada s obzirom na tendencije na tržištu pri čemu bi bile uzete u obzir projekcije stanja materijala za posmatrani period.

ZAHVALNOST

Rad je nastao kao rezultat projekta 16018 „Razvoj modela za održavanje i intervencije na građevinskim

6 LITERATURA REFERENCES

- [1] DesignBuilder Software, User Manual, www.designbuilder.co.uk, 2009.
- [2] Kuće Beodom, www.beodom.com, 2009.
- [3] Eurima, www.eurima.org, 2009.
- [4] Wienerberger, Tehničke karakteristike Porotherm opeke, www.wienerberger.rs, 2009.

REZIME

IZBOR OPTIMALANOG TIPA FASADNOG ZIDA KORIŠĆENJEM SOFTVERSKOG PAKETA „DESIGNBUILDER“

*Daniel MOHAČI
Vladimir MUČENSKI
Milan TRIVUNIĆ
Igor PEŠKO*

Izbor optimalne fasadne konstrukcije postao je nezaobilazan proces prilikom projektovanja savremenih stambenih i poslovnih objekata. Kako je izbor fasadnih sistema u velikoj meri proširen u odnosu na bližu prošlost neophodno je kritički pristupiti oceni varijantnih rešenja. Proces ocene značajno je olakšan primenom specijalnih softverskih paketa. U okviru rada prikazan je primer analize pojedinih rešenja fasadnih zidova sa finansijskog aspekta i aspekta gubitaka toplotne energije uz upotrebu softverskog paketa DesignBuilder v2.0.5.013.

Ključne reči: termičke karakteristike, fasadni zidovi, troškovi, izbor

It was concluded that application of newer types of thermal insulation and products intended for wall construction reduce the losses several times. In addition, certain solutions, compared to non-insulated facade walls, become cost – effective in less than 10 years.

Among eight analyzed types of facade walls, the combination of „YTONG“ wall and mineral wool thermal insulation of 5 cm imposes as the optimal solution.

It is necessary to mention that the analysis did not comprise the influence of material degradation on the losses in the future, as well as additional losses which would possibly result from the process of condensation.

In the future research projects, it would be justified to repeat the analysis, with the projection of increased costs of energy-generating products and manual work, according to market tendencies, taking into consideration projections of material conditions over the observed period of time.

objektima i putevima“ koji se realizuje pod pokroviteljstvom Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

- [5] YTONG, Katalog proizvoda, 2009.
- [6] Austrotherm, Katalog 2009, www.austrotherm.com, 2009.
- [7] Baumit, Tehnička informacija, www.baumit.hr, 2009.
- [8] Trivunić, M., Matijević, Z.: Tehnologija i organizacija građenja – Praktikum, FTN, Novi Sad, 2004

SUMMARY

CHOOSING AN OPTIMAL TYPE OF FACADE WALL USING „DESIGNBUILDER“ SOFTWARE PACKAGE

*Daniel MOHAČI
Vladimir MUČENSKI
Milan TRIVUNIĆ
Igor PEŠKO*

The choice of optimal facade construction has become an inevitable process when planning contemporary business and residential facilities. Since the choice of facade systems has considerably grown wider compared to recent past, it is necessary to take a critical approach to assessment of variant solutions. The assessment process is significantly facilitated by applying special software packages. The paper presents one example of the analysis of certain solutions of facade walls, from the aspect of both financial and thermal energy losses, by using DesignBuilder v2.0.5.013 software package.

Key words: thermal characteristics, facade walls, costs, choice

VREMENSKI ODGOVOR NESIMETRIČNE ZGRADE U ZAVISNOSTI OD DOMINANTNOG PRAVCA DJELOVANJA ZEMLJOTRESA

TIME HISTORY RESPONSE OF NON-SYMMETRIC BUILDING DUE TO DOMINANT EARTHQUAKE DIRECTION

Ljiljana ŽUGIĆ
Stanko BRČIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 699.841 = 861

1 UVODNE NAPOMENE

Zgrade su jedna od osnovnih potreba čovječanstva. One su najbrojnije i najkompleksnije građevinske konstrukcije koje se projektuju i grade u velikom broju oblika. Osnovne konstruktivne komponente svake zgrade su vertikalni noseći elementi i horizontalne ploče, koje povezuju vertikalne elemente u jednu jedinstvenu cijelinu. Realne zgrade su kontinualni trodimenzionalni (3D) sistemi sa kompleksnom raspodjelom krutosti i opterećenja. Pri njihovom matematičkom modeliranju usvaja se linearno elastično ponašanje koje dozvoljava princip superpozicije, odnosno razdvajanje gravitacione i horizontalne analize opterećenja. Gravitaciona analiza opterećenja je "rutinski dio" u inženjerskom projektovanju, dok je horizontalna analiza opterećenja (npr. usled zemljotresa, vjetera, udara od eksplozija itd.) kompleksnija i često dominantna u stabilnosti zgrada.

Pri analizi zgrada uobičajeno je, s obzirom na usvojene pretpostavke o beskonačno krutim tavanicama i vertikalnim ravanskim elementima koji su kruti samo u svojoj ravni, da se zgrada podijeli na ravanske vertikalne elemente tako da se problem svodi na dvodimenzionalan (2D), [7]. Ovakav pristup daje precizne rezultate samo u analizi gravitacionog opterećenja. U analizi horizontalnog opterećenja ovaj pristup je opravdan samo za simetrične zgrade, dok se nesimetrične zgrade tretiraju kao trodimenzionalni (3D) sistemi.

Dr Ljiljana Žugić, dipl.inž.građ.
Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica, Crna Gora; e-mail: ljiljaz@ac.me
Prof. dr Stanko Brčić, dipl.inž.građ.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd,
e-mail: stanko@grf.bg.ac.rs

1 INTRODUCTION

Buildings are one of the basic human needs. They are the most numerous and complex civil structures which are designed and constructed in a great variety of forms. Basic structural components of each building are vertical supporting elements and horizontal plates, which connect the vertical elements in one unique entity. Real buildings are continuous three-dimensional (3D) systems with the complex distribution of stiffness and loading. Linear elastic behavior is assumed during their mathematical modeling which permits the principle of superposition, that is, separation of gravitational and horizontal load analyses. Gravitational load analysis is a "routine part" in structural engineering design, while the horizontal load analysis (e.g. due to earthquake, wind, explosion effects and so on) is more complex and it is often dominant in the stability of buildings.

Regarding the adopted assumptions about the infinitely rigid floor slabs and that the vertical planar elements have stiffness only in their planes, it is usual, during the building analysis, that the building is separated into planar vertical elements so the problem is reduced to two-dimensional (2D) analysis, [7]. Such approach gives good results only in the analysis of the gravitational load. In the analysis of the horizontal load this principle is justified only for the symmetric buildings, while non-symmetric buildings are treated like three-dimensional systems (3D).

Dr Ljiljana Žugić, grad.civ.eng.
University of Montenegro, Faculty of Civil Engineering, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica, Crna Gora;
e-mail: ljiljaz@ac.me
Prof. dr Stanko Brčić, grad.civ.eng.
University in Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade,
e-mail: stanko@grf.bg.ac.rs

Kada se kaže da je zgrada simetrična ili nesimetrična obično se misli na njen geometrijski oblik osnove. Međutim, sa stanovišta mehaničkog ponašanja, pojmovi simetrije odnosno nesimetrije imaju drugačije značenje nego samo oblik u osnovi i odnose se na uticaj horizontalnih sila na zgrade. Da li je zgrada simetrična ili nesimetrična zavisi od međusobnog položaja centra mase i centra krutosti svake tavanice. Ukoliko se centar mase i centar krutosti svake tavanice poklapaju ili su relativno blizu, zgrada je simetrična i njen matematički model je dvodimenzionalan (sa po jednim stepenom slobode za svaki sprat). U suprotnom slučaju, zgrada je nesimetrična i njen matematički model je trodimenzionalan (sa po tri stepena slobode za svaki sprat). Nesimetrična zgrada, u smislu mehaničkog ponašanja, može imati i simetričan oblik osnove, ali raspored vertikalnih elemenata ili raspodijela masa može da bude takva da dovede do pojave uticaja torzije, odnosno do nepoklapanja centra krutosti i centra mase svake tavanice.

Iako u literaturi postoji veliki broj radova u kojima je obrađeno matematičko modeliranje zgrada usled uticaja horizontalnog opterećenja, [1], [2], [7] i [8], izbor odgovarajućeg matematičkog modela koji dovoljno tačno simulira mehaničko ponašanje zgrada pod uticajem horizontalnog opterećenja je još uvijek izazov za istraživače.

2 MATEMATIČKI MODEL UTICAJA HORIZONTALNIH SILA NA ZGRADE

2.1 Osnovne pretpostavke u diskretnoj analizi

Osnovne pretpostavke u diskretnoj analizi uticaja horizontalnih sila na zgrade, pored uobičajenih pretpostavki linearne teorije konstrukcija (statička, geometrijska i materijalna linearnost), su: da se tavanice tretiraju kao beskonačno krute u svojim ravnima, da je masa zgrade koncentrisana na pojedine tavanice, da su aksijalne deformacije vertikalnih nosećih elemenata zanemarljive i da su vertikalni elementi ravnanski konstruktivni elementi, tj. oni primaju samo sile u svojoj ravni. Pri ovakvim pretpostavkama svaka tavanica može da vrši ravno kretanje u svojoj horizontalnoj ravni (dvije translacije i jednu rotaciju), dok su vertikalni noseći elementi unutrašnje veze koje ograničavaju mogućnost kretanja tavanica. Zbog toga se matematički model zgrade usvaja u obliku konačnog skupa krutih ploča koje se mogu kretati u međusobno paralelnim horizontalnim ravnima i čije je kretanje ograničeno odgovarajućim elastičnim oprugama, koje predstavljaju uticaj vertikalnih elemenata, slika 1.

Kako svaka tavanica raspolaže sa po tri stepena slobode, pri čemu je sva masa sadržana samo u tavanicama, to se uticaj svih vertikalnih elemenata sprata ispod posmatrane tavanice može da prikaže sa tri ekvivalentne opruge (dvije translacione u međusobno ortogonalnim horizontalnim pravcima i jednom rotacionom oko vertikalne ose rotacije, koja je upravna na tavanice), koje su vezane u centru krutosti posmatrane tavanice. Opruge su nenapregnute kada je tavanica u početnoj (ravnotežnoj) konfiguraciji koja odgovara odsustvu horizontalnih sila.

When the building is labeled as symmetrical or non-symmetrical it is usually related to its geometrical form in plan. However, from the viewpoint of mechanical behavior, concepts of symmetry or non-symmetry have different meaning than just the shape in plan and they refer to the effects of horizontal forces on buildings. Whether the building is symmetrical or non-symmetrical depends on the mutual positions of the center of mass and the center of rigidity of each floor plate. If the center of mass and the center of rigidity are coinciding or if they are relatively close to each other, the building is considered as symmetrical and its mathematical model is two-dimensional (with one degree of freedom for each story). In the contrary case, the building is non-symmetrical and its mathematical model is three-dimensional (with three degrees of freedom for each story). Non-symmetric building, in mechanical sense, may have acceptably symmetrical form in plan, but the actual configuration of its vertical elements and its mass distribution may cause the appearance of torsion effects, that is, may cause that the center of rigidity and the center of mass of each story slab are well separated.

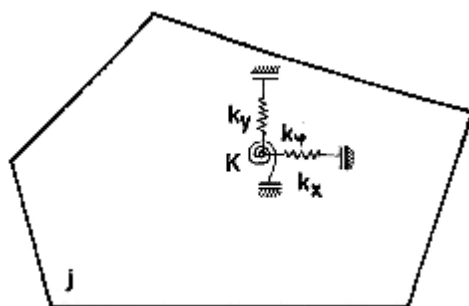
Although there is a large number of papers in literature devoted to mathematical modeling of buildings due to horizontal load effects, [1], [2], [7] and [8], choice of adequate mathematical model which correctly enough simulates mechanical behavior of buildings under the horizontal load effects is still a challenge for researchers.

2 MATHEMATICAL MODEL OF EFFECTS OF HORIZONTAL FORCES ON BUILDINGS

2.1 Basic assumptions in the discrete analysis

Basic assumptions in the discrete analysis of the effects of horizontal forces on buildings, besides the usual assumptions adopted in the linear theory of structures (static, geometric and material linearity), are, also, that story slabs are treated as infinitely rigid in their planes, that the building mass is concentrated only over each story slab, that axial deformations of vertical supporting elements are neglected and that the vertical elements are planar structural elements, that is, they oppose only forces in their planes. Due to such assumptions each story slab can perform the planar motion as a rigid body in its horizontal plane (two translations and one rotation), while vertical supporting elements represent internal restraints which restrict the possibility of story slab motions. That is why mathematical model of the building is adopted in a form of the finite set of rigid plates which can move in mutually parallel horizontal planes and whose motion is restricted by the corresponding elastic springs, which present the influence of vertical elements, figure 1.

As each story slab has three degrees of freedom, and all the mass is contained in floor slabs, the influence of all vertical supporting elements of the story under the observed story slab could be represented by the three equivalent elastic springs (two translational in the mutually orthogonal horizontal directions and one rotational around the vertical axis, normal to story slab). Three equivalent springs are connected to the slab in the center of rigidity of the observed story slab. Springs are unstressed when the story slab is in the initial (equilibrium)



Slika 1. Matematički model nesimetrične zgrade
Figure 1. Mathematical model of non-symmetric building

Krutosti ovih ekvivalentnih opruga k_x , k_y i k_ϕ su jednake sa odgovarajućim spratnim krutostima, pri čemu spratna krutost translacije predstavlja horizontalnu silu u nivou tavanice koja izaziva jedinično relativno pomeranje posmatrane tavanice (u pravcu sile) u odnosu na tavanicu ispod, dok spratna rotaciona krutost predstavlja spreg koji izaziva jedinično relativno okretanje posmatrane tavanice (oko vertikalne ose) u odnosu na tavanicu ispod.

Ovakav model je trodimenzionalan, tj. zgrada sa N spratova raspolaže sa $3N$ stepeni slobode kretanja. Sa stanovišta mehaničkog ponašanja, ovakva zgrada je nesimetrična i kod nje se centri krutosti ne poklapaju sa centrima mase svake tavanice.

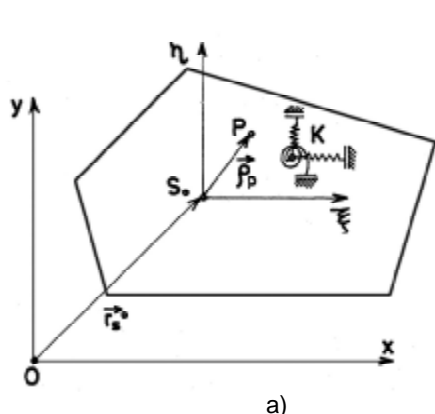
configuration which corresponds to the absence of horizontal forces.

Stiffnesses of the equivalent springs k_x , k_y and k_ϕ are equal to the corresponding horizontal and rotational story stiffnesses. The horizontal story stiffness of translatory motion represents the horizontal force at the level of story slab which causes the unit relative horizontal motion of the observed story slab (in direction of the force) with reference to the story slab below. Also, rotational story stiffness represents the couple which causes the unit relative rotation of the observed story slab (about the vertical axis) with respect to the story slab below.

This model is three-dimensional, that is the building with N stories has $3N$ degrees of freedom. From the viewpoint of mechanical behavior, such building is non-symmetrical and its centers of rigidity are well separated from the centers of mass of each story slab.

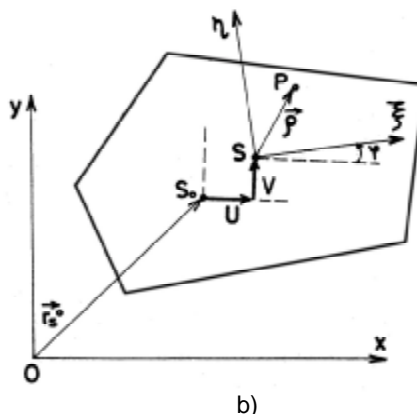
2.2 Generalisane koordinate i opisivanje pomjeranja

Na slici 2 prikazana je tavanica koja se slobodno kreće u svojoj horizontalnoj ravni.



2.2 Generalized coordinates and description of motion

The Figure 2 represents a story slab which freely moves in its horizontal plane.



Slika 2. Tavanica u početnoj (a) i proizvoljnoj (b) konfiguraciji
Figure 2. Storey slab in the initial (a) and arbitrary (b) configuration

Za opisivanje ravnog kretanja tavanice usvojeni su referentni (globalni) koordinatni sistem Oxy i lokalni koordinatni sistem $S\xi\eta$, koji je usvojen u centru mase S posmatrane tavanice. Oba sistema su u početnoj

For description of the planar motion of the story slab, the reference coordinate system Oxy and the local coordinate system $S\xi\eta$ are adopted. The local system is positioned in the center of mass S of the observed story

konfiguraciji međusobno paralelna, kao što je prikazano na slici 2a. Početna konfiguracija odgovara odsustvu horizontalnih sila, tako da su tri linearno elastične opruge, koje su za tavanicu vezane u centru krutosti K i koje predstavljaju uticaj svih vertikalnih elemenata ispod tavanice, nenapregnute u početnoj konfiguraciji. Krutosti opruga, kao što je ranije napomenuto, jednake su odgovarajućim spratnim krutostima translacije u pravcima x i y i rotacionoj spratnoj krutosti oko z ose, dakle date su sa k_x , k_y i k_φ .

Komponente u i v vektora pomjeranja referentne tačke S, kao i ugao rotacije φ (ugao između osa x i ξ) su izabrani za generalisane koordinate kojima se opisuju ravno kretanje posmatrane tavanice. Referentna tačka S usvojena je u centru mase posmatrane tavanice što je uobičajeno u dinamičkoj analizi uopšte, pa takođe i u dinamičkoj analizi uticaja horizontalnih sila na zgrade.

Vektor položaja neke tačke P poslije malog pomjeranja tavanice (slika 2b) može da se prikaže kao:

$$\mathbf{r}_{r_P} = \begin{Bmatrix} x_P \\ y_P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_S + u \\ y_S + v \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -\varphi \\ \varphi & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_P \\ \eta_P \end{Bmatrix} \quad (1)$$

pri čemu su uzete u obzir sledeće aproksimacije: $\cos \varphi \approx 1$ i $\sin \varphi \approx \varphi$, imajući u vidu da su pomjeranja u i v i obrtanje ploče φ male vrijednosti.

Vektor pomjeranja tačke P definisan je sa $\dot{\mathbf{d}}_P = \dot{\mathbf{r}}_P - \dot{\mathbf{r}}_P^0$, gdje je vektor \mathbf{r}_P^0 vektor položaja tačke P u početnoj konfiguraciji:

$$\mathbf{r}_P^0 = \begin{Bmatrix} x_P^0 \\ y_P^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_S \\ y_S \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_P \\ \eta_P \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Prema tome, vektor pomjeranja $\dot{\mathbf{d}}_P$ tačke P glasi:

$$\dot{\mathbf{d}}_P = \begin{Bmatrix} \dot{u}_P \\ \dot{v}_P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\varphi \\ \varphi & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\xi}_P \\ \dot{\eta}_P \end{Bmatrix} \quad (3)$$

2.3 Matrica krutosti vertikalnih elemenata

Matrica krutosti \mathbf{k}_m nekog vertikalnog elementa "m" (npr. okvira "m") u odnosu na uticaje horizontalnih sila određena je kao linearna veza između horizontalnih pomjeranja u nivoima tavanica i odgovarajućih horizontalnih sila i data je sledećom matricnom jednačinom:

$$\mathbf{R}_m = \mathbf{k}_m \cdot \mathbf{\Delta}_m \quad (4)$$

U jedn. (4) su: $\mathbf{\Delta}_m$ je vektor čije komponente predstavljaju horizontalna pomjeranja vertikalnog elemenata u visini tavanica, dok je \mathbf{R}_m vektor čije

slab and both systems are parallel in the initial configuration, as it is shown in the Figure 2a. The initial configuration corresponds to the absence of horizontal forces, so the three linearly elastic springs, which are connected to the story slab in the center of rigidity K and represent the influence of all vertical supporting elements below, are unstressed in the initial configuration. The spring stiffnesses, as it is previously mentioned, are equal to the corresponding story stiffness of the translatory motion in the horizontal directions x and y and to rotational story stiffness around the vertical axis z, so they are equal to k_x , k_y and k_φ .

Components u and v of the displacement vector of the referent point S, as well as the angle of the rotation φ (angle between the axes x and ξ) are chosen for the generalized coordinates by which the planar motion of the observed story slab is described. Referent point S is adopted at the center of mass of the story slab which is customary in the dynamic analysis in general and also in dynamic analysis of the effects of horizontal loads upon buildings.

The displacement vector of some point P after the small motion of the story slab (figure 2b) may be presented as:

where the following approximations are taken into account: $\cos \varphi \approx 1$ and $\sin \varphi \approx \varphi$, having in mind that the motions u and v and plate rotation φ are small values.

Displacement vector of the point P is defined with $\dot{\mathbf{d}}_P = \dot{\mathbf{r}}_P - \dot{\mathbf{r}}_P^0$, where \mathbf{r}_P^0 is the position vector of the point P in its initial configuration:

According to that, the displacement vector $\dot{\mathbf{d}}_P$ of the point P is given by:

2.3 Stiffness matrix of vertical elements

The stiffness matrix \mathbf{k}_m of some vertical supporting element "m" (i.e. of a frame "m") with respect to the effects of horizontal forces is determined by the linear relation between the horizontal displacements of the story slabs and the corresponding horizontal forces, as given by the following matrix equation:

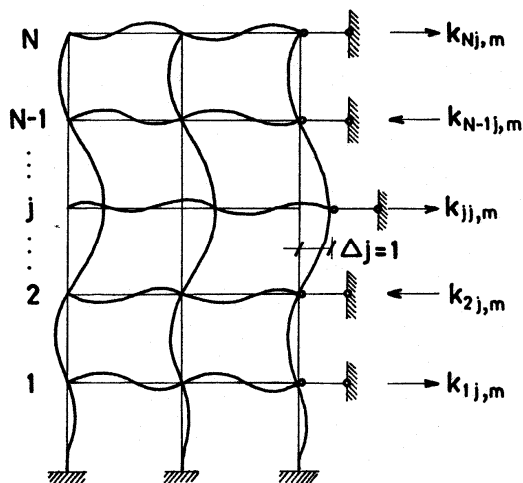
In Eq.(4) $\mathbf{\Delta}_m$ is a vector whose components represent horizontal displacements of each slab of the vertical element, \mathbf{R}_m is a vector whose components

komponente predstavljaju sile u visini tavanica koje izazivaju pomjeranja elementa definisana sa vektorom Δ_m .

Imajući u vidu relaciju (4), može da se zaključi da elementi kolone j matrice krutosti k_m predstavljaju horizontalne sile koje moraju da djeluju na vertikalni element m u nivoima tavanica da bi horizontalno pomjeranje u nivou tavanice j imalo jediničnu vrijednost, a horizontalna pomjeranja u nivoima ostalih tavanica bila jednaka nuli. U ovom radu matrica krutosti vertikalnog elementa m određena je na sledeći način, koji je u skladu sa navedenom interpretacijom značenja elemenata matrice krutosti. Prvo su vertikalnom elementu (odn. okviru) m dodati imaginarni horizontalni oslonci u nivoima svake tavanice. Zatim su ovim osloncima, redom, zadata jedinična horizontalna pomjeranja (svako pomjeranje je poseban slučaj opterećenja), pa su određene reakcije u dodatim horizontalnim osloncima za svaki slučaj opterećenja posebno. Ove reakcije predstavljaju elemente matrice krutosti. Tako na primjer, elementi kolone j matrice krutosti k_m dobijeni su kao reakcije dodatih imaginarnih horizontalnih oslonaca kada je osloncu j zadato jedinično horizontalno pomjeranje $\Delta_j=1$, kao što je prikazano na slici 3. Dakle, matrica krutosti vertikalnog elementa je simetrična kvadratna matrica reda N , gdje je N broj tavanica (spratova) posmatrane zgrade.

represent forces acting at each story slab due to which displacements of each slab (or girder in a frame) are given by the vector Δ_m .

Having in mind relation (4), it could be concluded that the elements of the column j of the stiffness matrix k_m represent horizontal forces which must act on vertical element m at the levels of story slabs in order that the horizontal displacement at the level j would have the unit value, while other horizontal displacements of all other story slabs are zero. In this paper, the stiffness matrix of the vertical element m is determined in the following way, which is consistent with the mentioned interpretation of the meaning of elements of the stiffness matrix. First, the imaginary horizontal supports at the levels of each story slab are added to the vertical element (or frame) m . Then, these supports are subjected to the unit horizontal displacements (each displacement as a separate loading case), so, for each loading case the reactions are determined in all added horizontal supports. These reactions are the elements of the stiffness matrix. For example, elements of the column j of the stiffness matrix k_m are obtained as the reactions of the added imaginary horizontal supports when the support j is subjected to the unit horizontal displacement $\Delta_j=1$, as it is shown in Fig. 3. So, the stiffness matrix of the vertical element is the square symmetric matrix of order N , where N is a number of story slabs (stories) of considered building.



Slika 3. Određivanje elemenata kolone j matrice krutosti
Figure 3. Determination of the elements of the column j of the stiffness matrix

Pri formiranju statičkog sistema konstrukcije, s obzirom da vertikalni elementi mogu biti samo linijski nosači (okviri), izolovana zidna platna i kombinovani sistemi od okvira i zidnih platna, moguće su sledeće aproksimacije u računskom modelu. Izolovano zidno platno se zamjenjuje konzolnim nosačem sa odgovarajućim momentom inercije, kombinovani vertikalni element koji se sastoji od okvira i zidnih platna zamjenjuje se ekvivalentnim okvirnim statičkim sistemom, kod koga se za djelove rigli koji se nalaze unutar širine zidnog platna usvaja beskonačna krutost, tj. beskonačna vrijednost momenta inercije (kruti ofset od ose stuba). Zidna platna se, ukoliko je odnos njihove visine i širine manji od 4, zamjenjuju štapovima kod kojih

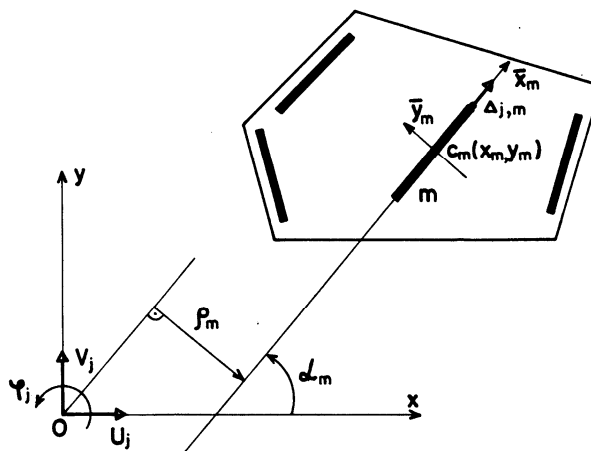
During the formation of the static system of the structure, regarding the fact that vertical elements could be only columns and beams, i.e. frames, isolated shear walls and also combined systems of frames and shear walls, the following modeling approximations are possible. Isolated shear wall is replaced by the cantilever column with the corresponding moment of inertia, the combined vertical element, consisting of columns, beams and shear walls, is replaced by the equivalent frame, where the infinite rigidity is adopted for the parts of beams which are contained in the shear wall, that is, the infinite value of the moment of inertia (or the rigid offset from column's axis). Shear walls, if the aspect ratio of their height to width is less than 4, are replaced

je uzeta u obzir deformacija smicanja jer je uticaj transverzalnih sila na deformaciju značajan i istog reda veličine kao i uticaj momenata savijanja. Zbog toga kod statičkog sistema kombinovanog vertikalnog elementa mogu da postoje tri vrste štapova: štapovi konstantnog poprečnog presjeka, štapovi konstantnog poprečnog presjeka kod kojih je uzeta u obzir deformacija smicanja i štapovi sa skokovito promjenjivim momentima inercije. Okvirni sistemi koji se posmatraju se sastoje samo od štapova konstantnog poprečnog presjeka.

Prema tome, statički sistemi svih vertikalnih konstruktivnih elemenata zgrade su uključeni u ortogonalni okvir, sastavljeni od različitih tipova štapova u zavisnosti od vrste vertikalnog elementa. Zbog usvojenih pretpostavki da su tavanice beskonačno krute i da su aksijalne deformacije vertikalnih elemenata zanemarljive, u svim štapovima vertikalnih nosećih elemenata (odn. okvira) zanemarene su aksijalne deformacije.

2.4 Matrica krutosti nesimetrične zgrade

Na slici 4 prikazana je nesimetrična zgrada sa proizvoljnom konfiguracijom vertikalnih elemenata, odnosno sa vertikalnim elementima koji su proizvoljno postavljeni u odnosu na ose x i y referentnog koordinatnog sistema.



Slika 4. Položaj vertikalnog elementa "m" tavanice "j" nesimetrične zgrade
Figure 4. Position of vertical elements "m" of the story slab "j" of non-symmetric building

Pomjeranje svake tavanice "j" dato je vektorom:

$$\delta_j^T = \{ u_j \quad v_j \quad \varphi_j \} \quad (5)$$

Položaj vertikalnog elementa "m" određen je položajem njegovog težišta $C_m(x_m, y_m)$ i pravcem vertikalnog elementa \bar{x}_m , koji zaklapa ugao α_m sa x osom referentnog koordinatnog sistema. Referentni koordinatni sistem može se postaviti u bilo kojoj proizvoljno odabranoj tački.

Pomjeranje vertikalnog elementa $\Delta_{j,m}$ u njegovoj ravni, a u nivou tavanice "j" iznosi:

$$\Delta_{j,m} = u_j \cos \alpha_m + v_j \sin \alpha_m + \varphi_j \rho_m \quad (6)$$

by columns for which the shearing deformation is taken into account because the effects of transversal forces is significant for the deformation and it is of the same order as the effect of the bending moment. Therefore, for the static system of the combined vertical elements three types of beams are possible: beams with constant cross section, beams with constant cross section, but where the shearing deformation is taken into account, and beams with step-wise constant moments of inertia. Frame systems under consideration are consisting of beams with constant cross sections.

So, statical systems of all vertical structural elements of the building are orthogonal frames, clamped at the base, consisting of different types of beams depending on the type of the vertical element. Because of the adopted assumptions that the story slabs are infinitely rigid and that the axial deformations of the vertical elements are neglected, the axial deformations are neglected in all beams of vertical elements (i.e. frames).

2.4 Stiffness matrix of non-symmetric building

The non-symmetric building is presented in Fig. 4 with the arbitrary configuration of vertical elements, that is with vertical elements which are arbitrarily placed with respect to axes x and y of the global (reference) coordinate system.

Displacement of each story slab "j" is given by the vector:

The position of the vertical element "m" is determined by the position of its centroid $C_m(x_m, y_m)$ and by direction \bar{x}_m of the vertical element, which covers the angle α_m with x axis of the global coordinate system Oxy . The global coordinate system can be placed in any arbitrarily selected point O .

Displacement of the vertical element $\Delta_{j,m}$ in its plane, and at the level of the story slab "j" is:

gdje je ρ_m normalno rastojanje pravca vertikalnog elementa od referentne tačke.

Ako pretpostavimo da posmatrana zgrada ima N spratova onda se jednačina (6) može predstaviti u matičnom obliku kao:

$$\Delta_m = \mathbf{a}_m \cdot \delta \quad (7)$$

gdje je \mathbf{a}_m matrica transformacije data sa:

$$\mathbf{a}_m = \begin{bmatrix} \cos \alpha_m & \sin \alpha_m & \rho_m & \mathbf{L} & 0 & 0 & 0 & \mathbf{L} & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{L} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{L} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{L} & \cos \alpha_m & \sin \alpha_m & \rho_m & \mathbf{L} & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{L} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{L} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{L} & 0 & 0 & 0 & \mathbf{L} & \cos \alpha_m & \sin \alpha_m & \rho_m \end{bmatrix} \quad (8)$$

dok je δ vektor pomjeranja posmatrane nesimetrične zgrade:

$$\delta^T = \{u_1 \ v_1 \ \varphi_1 \ \dots \ u_j \ v_j \ \varphi_j \ \dots \ u_N \ v_N \ \varphi_N\} \quad (9)$$

Ovdje je pretpostavljeno da su α_m i ρ_m za jedan vertikalni element m konstantni za svaku tavanicu, što prihvatljivo odgovara stvarnosti.

Vertikalni elementi, kao što je napomenuto, ograničavaju horizontalno kretanje tavanica, pa je uticaj vertikalnog elementa m na kretanje tavanice j predstavljen sa unutrašnjom koncentrisanom horizontalnom ograničavajućom silom $R_{j,m}$ koja djeluje u pravcu vertikalnog elementa. Budući da je reaktivna sila $R_{j,m}$ restitucione prirode, njen smjer je suprotan kretanju tavanice i ona teži da vrati tavanicu u ravnotežni položaj. Kretanje tavanica prouzrokuju spoljašnje horizontalne sile koje djeluju u nivoima tavanica, a javljaju se usled uticaja vjetra ili zemljotresa.

Na slici 5 prikazane su sve aktivne i odgovarajuće reaktivne sile koje djeluju na tavanicu j (prikazana je samo reaktivna sila $R_{j,m}$, koja deluje na element m). Sile X_j , Y_j i moment M_j su rezultat redukcije u odnosu na referentnu tačku svih spoljašnjih raspodijeljenih horizontalnih sila koje djeluju na tavanicu j .

where ρ_m is the normal distance of the direction of the vertical element from the reference point.

If we suppose that the building has N stories then the equation (6) can be presented in the matrix form as:

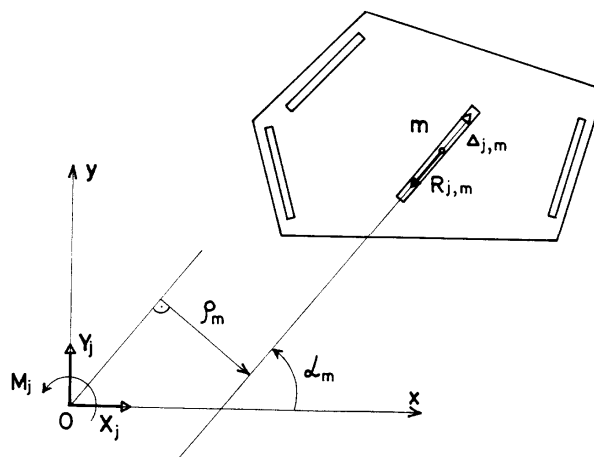
where \mathbf{a}_m is a transformation matrix given with:

while δ is displacement vector of the considered non-symmetric building:

Here it is supposed that α_m and ρ_m for one vertical element m are constant for each story slab, which is quite acceptable in reality.

Vertical elements, as previously mentioned, restrain the horizontal motion of story slabs, so the effect of the vertical element m to the motion of the story slab j is presented with the internal concentrated horizontal restraining force $R_{j,m}$ which is acting in direction of the vertical element. Regarding the fact that reactive force $R_{j,m}$ has a restitution nature, its sense is the opposite of the story slab motion and it tends to return the story slab into the equilibrium position. Motion of story slabs is initiated by the external horizontal forces which act at the levels of story slabs, and they are the consequence of the wind and earthquake actions.

Fig. 5 presents all active and corresponding reactive forces which act on the slab j (only the reactive force $R_{j,m}$ for element m is given). Forces X_j , Y_j and twisting moment M_j are the result of the reduction to the reference point of all distributed external horizontal forces which are acting on the story slab j .



Slika 5. Aktivne i reaktivne sile koje djeluju na tavanicu "j" nesimetrične zgrade
Figure 5. Active and reactive forces which act on the story slab "j" of non-symmetrical building

Uslovi ravnoteže svih sila koje djeluju na tavanicu "j" mogu da se prikažu u matičnom obliku kao:

Conditions of equilibrium of all forces which act on the story slab "j" could be presented in the matrix form as:

$$\begin{Bmatrix} X_j \\ Y_j \\ M_j \end{Bmatrix} = \sum_{m=1}^{N_v} \begin{Bmatrix} \cos\alpha_m \\ \sin\alpha_m \\ \rho_m \end{Bmatrix} \cdot R_{j,m} \quad (10)$$

Ako se uzmu u obzir svih N tavanica zgrade onda se jednačine (10) mogu predstaviti u matičnom obliku kao:

If all N story slabs are taken into consideration, equations (10) could be presented in the matrix form:

$$\mathbf{Q} = \sum_{m=1}^{N_v} \mathbf{a}_m^T \cdot \mathbf{R}_m \quad (11)$$

Najzad, ako se i izrazi (4) i (7) uzmu u obzir, tada relacija (11) glasi:

Finally, if expressions (4) and (7) are taken into account, the then the relation (11) becomes:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{K} \cdot \delta \quad (12)$$

gdje je:

where:

$$\mathbf{K} = \sum_{m=1}^{N_v} \mathbf{a}_m^T \cdot \mathbf{k}_m \cdot \mathbf{a}_m \quad (13)$$

globalna matrica krutosti nesimetrične zgrade koja uspostavlja vezu između vektora spoljašnjeg opterećenja \mathbf{Q} i vektora nepoznatih pomjeranja svih tavanica δ .

is the global stiffness matrix of a non-symmetric building which represents the connection between the vector of external load \mathbf{Q} and the vector of unknown displacements of all story slabs δ .

Dakle, na osnovu lokalnih matrica krutosti pojedinih vertikalnih elemenata i njihovih položaja u odnosu na referentni koordinatni sistem, formira se globalna matrica krutosti nesimetrične zgrade.

Therefore, starting with the local stiffness matrix of each vertical element and its position with respect to the global coordinate system, the global stiffness matrix of non-symmetric building is formed.

2.5 Diferencijalne jednačine kretanja

2.5 Differential equations of motion

Diferencijalne jednačine kretanja zgrade mogu se izvesti na različite međusobno ekvivalentne načine. Jedan od njih je razmatranje izolovanih tavanica i primjena za svaku od njih D'Alambert-ovog principa (uslovi ravnoteže aktivnih, reaktivnih i inercijalnih sila), jer se u nivoima tavanica pri dejstvu dinamičkog opterećenja javljaju i odgovarajuće inercijalne sile, zbog pretpostavke da su mase koncentrisane samo u nivoima tavanica, [8]. Drugi je razmatranje izolovanih tavanica (ploča) i primjena zakona o promjeni količine kretanja i o promjeni momenta količine kretanja, [1].

Differential equations of motion of a building may be derived in various equivalent ways. One of them is the application of D'Alambert's principle for each isolated story slab (equilibrium of active, reactive and inertial forces), because the inertial forces appear, during the actions of dynamic loads, only at the level of the storey slabs, due to the assumption that the masses are concentrated only at the story slabs, [8]. The second approach is to consider each isolated story slab and to apply the Laws of Momentum and the Moment of Momentum, [1].

Diferencijalne jednačine kretanja zgrade, bez prigušenja, sa 3N stepeni slobode (spratova), u matičnom obliku, glase:

Differential equations of motion of a building, without damping, with 3N degrees of freedom (N stories), written in the matrix form, are:

$$\mathbf{M}\ddot{\delta} + \mathbf{K}\delta = \mathbf{Q}(t) \quad (14)$$

gdje je \mathbf{M} globalna matrica masa zgrade, a $\ddot{\delta}$ vektor ubrzanja.

where \mathbf{M} is the global mass matrix of the building, and $\ddot{\delta}$ is the acceleration vector.

Matrica mase nesimetrične zgrade sa N spratova je:

The global mass matrix of the non-symmetric building with N stories is:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_1 & \mathbf{L} & \mathbf{0} & \mathbf{L} & \mathbf{0} \\ \mathbf{M} & & & & \mathbf{M} \\ \mathbf{0} & \mathbf{L} & \mathbf{M}_j & \mathbf{L} & \mathbf{0} \\ \mathbf{M} & & & & \mathbf{M} \\ \mathbf{0} & \mathbf{L} & \mathbf{0} & \mathbf{L} & \mathbf{M}_N \end{bmatrix} \quad (15)$$

gdje je \mathbf{M}_j je matrica masa u nivou tavanice "j".

Ako se koordinatni početak usvoji u centru mase ($x_{s,j}=y_{s,j}=0$), što je čest slučaj u dinamičkoj analizi uticaja horizontalnih sila na zgrade, tada matrica \mathbf{M}_j postaje dijagonalna matrica oblika:

$$\mathbf{M}_j = \begin{bmatrix} M_j & 0 & 0 \\ 0 & M_j & 0 \\ 0 & 0 & I_{r,j}^s \end{bmatrix} \quad (16)$$

gdje je M_j ukupna masa tavanice "j", dok je $I_{r,j}^s$ sopstveni polarni momenat inercije mase u odnosu na vertikalnu osu u centru mase.

Naravno, ukoliko se želi, može da se u diferencijalne jednačine kretanja (14) uvede i viskozno prigušenje, tako da diferencijalne jednačine kretanja dobijaju oblik:

$$\mathbf{M}\ddot{\delta} + \mathbf{C}\dot{\delta} + \mathbf{K}\delta = \mathbf{Q}(t) \quad (17)$$

Matrica prigušenja \mathbf{C} je usvojena kao linearna kombinacija matrica mase i krutosti:

$$\mathbf{C} = \alpha\mathbf{M} + \beta\mathbf{K} \quad (18)$$

gdje se koeficijenti α i β usvajaju prema izrazima:

$$\alpha = 2\omega_i\omega_j \frac{\zeta_j\omega_i - \zeta_i\omega_j}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \quad \beta = 2 \frac{\zeta_j\omega_i - \zeta_i\omega_j}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \quad (19)$$

koji su određeni iz uslova da je za dva različita svojstvena oblika usvojena neka vrijednost za relativno prigušenje. U izrazima (19) ω_i i ω_j su svojstvene frekvencije neka dva svojstvena oblika, dok su ζ_i i ζ_j usvojena relativna modalna prigušenja. Obično se za sve tonove usvaja isto relativno prigušenje, pa u tom slučaju izrazi (19) glase:

$$\alpha = 2\zeta_i \frac{\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \beta = \frac{2\zeta_i}{\omega_i + \omega_j} \quad (20)$$

Rješavanje diferencijalnih jednačina kretanja (14), odn. (17), vrši se uobičajenim metodama dinamike diskretnih sistema. Uopšteno, postoje dva osnovna pristupa: modalna analiza i direktna numerička integracija.

where \mathbf{M}_j is the local mass matrix at the level of the story slab "j".

If the coordinate system is adopted in the center of mass ($x_{s,j}=y_{s,j}=0$), which is the frequent case in dynamic horizontal load analysis of buildings, then the mass matrix \mathbf{M}_j becomes the diagonal matrix of the form:

where M_j is the total mass of the slab "j", while $I_{r,j}^s$ is the polar mass moment of inertia of the slab with respect to the vertical axis in the center of mass.

Also, the viscous damping could be included into differential equations of motion (14), so the equations of the motion, in that case, obtain the form:

The damping matrix \mathbf{C} is assumed in the usual way as the linear combination of the mass matrix and the stiffness matrix:

where coefficients α and β are adopted according to relations:

which are obtained from the condition that for two particular natural modes, some value is assumed for the relative damping. In expressions (19) ω_i and ω_j are the natural frequencies of two natural modes, while ζ_i and ζ_j are assumed values of relative modal damping. If the relative damping are assumed the same for all natural modes, then the expressions (19) become:

Solution of differential equations of motion (14), or (17), is obtained by usual methods of the dynamics of discrete systems. Generally, there are two basic approaches: modal analysis and direct numerical integration.

3 ANALIZA UTICAJA ZEMLJOTRESA NA VIŠESPRATNE ZGRADE

3.1 Uticaj zemljotresa kao složeno kretanje zgrade

Zemljotres predstavlja pojavu naglog oscilovanja površinskih slojeva zemljine kore nastalu usled nekih tektonskih poremećaja. To oscilovanje tla je potpuno nepravilno (stihijsko) i dešava se u prostoru, tako da postoji pomjeranje tla kako u horizontalnom tako i u vertikalnom pravcu. Međutim, najvažnija su horizontalna pomjeranja tla, jer su ona za zgradu najopasnija. Potrebno je još napomenuti da se nikada ne može pouzdano predvidjeti zemljotres kojem će zgrada biti izložena, već se mora osloniti na neki procijenjeni projektni akcelrogram. Postoji više mogućnosti za određivanje projektnih akcelrograma. Mogu se upotrebiti postojeći akcelrogrami sa iste ili sa sličnih lokacija po potrebi odgovarajuće modifikovani tako da odgovaraju predviđenim karakteristikama očekivanog kretanja tla. Modifikacija se može izvršiti jednostavnim skaliranjem ordinata vremenske istorije ubrzanja tla (akcelrograma), promjenom vremenske skale (time se mijenja frekventni sastav akcelrograma) ili nekim komplikovanim računskim postupkom. Mogu se generisati i vještački akcelrogrami koji odgovaraju karakteristikama očekivanog kretanja tla.

Pri kretanju tla usled zemljotresa pretpostavlja se da se sve tačke temelja zgrade kreću identično, odnosno da se tlo usvaja kao kruto tijelo. Ova pretpostavka je prihvatljiva zbog relativno malih dimenzija osnove zgrade u odnosu na talasnu dužinu seizmičkih talasa u tlu. Zbog toga, uticaj zemljotresa na zgradu može da se predstavi kao prinudna translacija temelja zgrade. Ukupno pomjeranje zgrade pri ovakvoj translaciji sastoji se od pomjeranja zgrade kao krutog tijela i njenog relativnog pomjeranja.

Metode analize zgrada usled dejstva zemljotresa, a u zavisnosti od vrste primjenjene analize i usvojenog modela konstrukcije, mogu se svrstati u četiri osnovne grupe [5]:

- linearna statička analiza,
- linearna dinamička analiza,
- nelinearna statička analiza,
- nelinearna dinamička analiza.

Linearna statička analiza je, zbog svoje jednostavnosti proračuna, implementirana kako u našim seizmičkim propisima (metoda ekvivalentnog statičkog opterećenja) tako i u propisima mnogih zemalja. Referentni metod za određivanje seizmičkih uticaja u Eurocode 8 (EC8) je multi-modalna spektralna analiza, pri čemu se koristi linearno elastični model konstrukcije i projektni spektri [4]. U radu [6] su detaljno prikazane sledeće metode linearno dinamičke analize: metoda spektra odgovara, modalna analiza i direktna dinamička analiza. Najtačniji rezultati, odnosno najkvalitetniji uvid u ponašanje zgrada usled dejstva zemljotresa korišćenjem zadatog akcelrograma, se dobijaju primjenom nelinearne dinamičke analize, koja je suviše komplikovana za praktičnu primjenu. Zbog toga su se u poslednje dvije decenije intenzivno razvijale metode proračuna zasnovane na tzv. nelinearnoj statičkoj ("pushover") analizi konstrukcija, [5]. Nelinearna statička analiza je implementirana u EC8 koristeći N2 metodu (N označava nelinearni proračun dok broj 2 predstavlja dva

3 EARTHQUAKE ANALYSIS OF THE MULTI-STOREY BUILDINGS

3.1 The earthquake actions as the complex motion of a building

The earthquake represents appearance of a sudden oscillations of the surface layers of the Earth's crust originated from tectonic motions. The oscillation is completely irregular (stochastic) and it happens in 3D space, so there is the soil motion in horizontal and in vertical directions. However, the most important are the horizontal oscillations of the soil, because they are the most dangerous for the building. It is necessary to point out that it is never possible to predict with certainty the earthquake which will happen and act on the building, but rather, one must rely on some probability level and to assume certain, or the so-called design accelerograms. There are many possibilities to determine the design accelerograms. It is possible to use the existing accelerograms from the same or from the similar locations which are correspondingly modified in order to comply to characteristics of expected soil behavior. Modification can be performed by the simple scaling of the acceleration values in the time history of soil acceleration, by the change of the time scale (frequency contents of earthquake is changed in that way), or by some more complicated numerical procedure. It is also possible to generate artificial accelerograms which correspond to predicted characteristics of the soil motion.

When the soil moves during the earthquake it is also assumed that all points of the building foundation move identically, that is that the soil below building is treated like a rigid body. This assumption is acceptable because of usually small dimensions of the building's base in relation to the wave length of seismic waves in soil. Because of that, the earthquake effect on the building can be considered as the forced translatory motion of the building's foundation. The total building's motion during such earthquake induced translation is consisting of the superposition of the enforced building's motion at the base, like the rigid body, and its relative motion.

Methods of analysis of building's behavior during earthquakes, depending on the type of the applied analysis and on the adopted structural model, may be classified into four basic groups [5]:

- Linear static analysis,
- Linear dynamic analysis,
- Nonlinear static analysis,
- Nonlinear dynamic analysis.

Linear static analysis is, because of its simplicity of calculation, implemented in our seismic regulations (method of the equivalent static load) as well as in the seismic regulations of many other countries. Referent method of analysis of seismic actions in Eurocode 8 (EC8) is the multi-modal spectral analysis, where linearly elastic model of the structure is used as well as the design spectra [4]. In the paper [6] the following methods of linear dynamic analyses are presented in details: method of the response spectrum, modal analysis and direct dynamic analysis. The most accurate results, that is the most complete insight into the building's behavior during the earthquake actions, when analyzed with the given accelerogram as the earthquake loading, are obtained by the application of a nonlinear dynamic

matematička modela: SDOF-sistem sa jednim stepenom slobode i MDOF-sistem sa više stepeni slobode, [3]). Ova metoda je detaljno prikazana u radovima [4] i [5], dok je kratak prikaz dat u radu [3].

U ovom radu, s obzirom da je matematički model uticaja zemljotresa na višespratne nesimetrične zgrade (preko zadanog akcelrograma) poslužio kao osnova za razvijanje drugog numeričkog modela za analizu mogućeg sudara višespratnih nesimetričnih zgrada u uslovima zemljotresa, usled zadanog akcelrograma, primjenjena je linearna dinamička analiza. Dakle, diferencijalne jednačine kretanja višespratne nesimetrične zgrade usled uticaja zemljotresa, pri čemu je zemljotres tretiran kao zadato dinamičko pomjeranje osnove zgrade (zadat akcelrogram), su rješavane primenom α postupka direktne numeričke integracije koji je numerički stabilan i daje potpuni vremenski odgovor zgrade za zadati akcelrogram.

3.2 Diferencijalne jednačine kretanja u slučaju zemljotresa

Kretanje zgrade usled uticaja zemljotresa tretira se kao složeno kretanje, pa je pomjeranje svake tavanice j jednako zbiru prenosnog i relativnog pomjeranja:

$$\delta_{j,aps} = \delta_{j,pre} + \delta_{j,rel} \quad (21)$$

pri čemu je prenosno kretanje seizmičko pomjeranje tla, dok je relativno pomjeranje ravno kretanje tavanica.

Seizmičko pomjeranje tla u opštem slučaju ima proizvoljan pravac u odnosu na zgradu. Ako se sa β označi ugao koji dominantni pravac seizmičkog pomjeranja tla u_g zaklapa sa globalnom x osom u horizontalnoj ravni, slika 6, tada se vektor apsolutnog pomjeranja tavanice j može prikazati kao:

$$\delta_{j,aps} = \begin{Bmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \\ 0 \end{Bmatrix} u_g + \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \\ \varphi_j \end{Bmatrix} = \mathbf{b}_j \cdot \mathbf{u}_g + \delta_j \quad (22)$$

Ako se uzmu u obzir svih N tavanica zgrade, onda se relacija (22) može prikazati u obliku:

$$\delta_{aps}(t) = \mathbf{b} \mathbf{u}_g(t) + \delta(t) \quad (23)$$

gdje su:

$$\begin{aligned} & \text{where:} \\ \delta_{aps}^T &= \{ \delta_{1,aps} \quad \dots \quad \delta_{j,aps} \quad \dots \quad \delta_{N,aps} \} \\ \mathbf{b}^T &= \{ \mathbf{b}_1 \quad \dots \quad \mathbf{b}_j \quad \dots \quad \mathbf{b}_N \} \\ \delta^T &= \{ \delta_1 \quad \dots \quad \delta_j \quad \dots \quad \delta_N \} \end{aligned} \quad (24)$$

analysis, which is, however, too complicated for everyday's practical use. Therefore, during the last two decades, intensive effort was devoted to development of the methods of analysis which are based on the nonlinear static (or the so called "pushover") analysis of structures [5]. Nonlinear static analysis is also implemented in EC8 using N2 method (N means nonlinear design while number 2 presents two mathematical models: SDOF-system with one degree of freedom and MDOF-system with more degrees of freedom, [3]). This method is presented in details in the papers [4] and [5], while the short review is given in the paper [3].

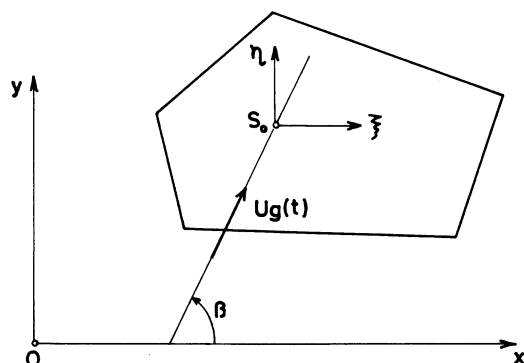
In this paper, regarding the fact that mathematical model of the earthquake actions on multi-storey non-symmetric buildings (using the given accelerogram) was used as a base for developing another numerical model to analyze the possible pounding of multi-storey non-symmetric buildings during the earthquake and given accelerogram, linear dynamic analysis is used. So, differential equations of motion of a multi-storey non-symmetric building during the earthquake, where earthquake is treated as the given dynamic translation of the building's base, (given accelerogram), were solved by application the α method of direct numerical integration which is numerically stable and it gives the complete time history response of the building for the given accelerogram.

3.2 Differential equations of motions in a case of an earthquake

The building motion during the earthquake actions is treated as the complex motion, so the motion of each story slab j is given by the superposition of the imposed translatory and relative motions:

where the translatory motion is seismic motion of soil, while relative motion is planar motion of story slabs.

Seismic motion of soil in general case has an arbitrary direction with respect to building. If β denotes the angle between the global x axis in horizontal plane and the dominant direction of seismic motion of the soil, denoted by u_g , see Fig. 6, then the vector of the absolute displacement of the story slab j may be presented as:



Slika 6. Dominantan pravac seizmičkog pomjeranja tla
Figure 6. Dominant direction of seismic motion of the soil

pri čemu su komponente vektora \mathbf{b} konstantne za sve tavanice.

Na osnovu relacije (23) vektor apsolutnog ubrzanja cijele zgrade može se prikazati kao:

$$\ddot{\mathbf{u}}_{\text{aps}}(t) = \mathbf{b} \ddot{\mathbf{u}}_g(t) + \ddot{\mathbf{u}}(t) \quad (25)$$

gdje je $\ddot{\mathbf{u}}_g(t)$ poznata funkcija koja predstavlja seizmičko ubrzanje tla, odnosno zadati projektni akcelerogram.

U slučaju zemljotresa inercijalne sile zavise od apsolutnog kretanja (odn. od apsolutnog ubrzanja), sile prigušenja i restitutionne sile zavise od relativnog kretanja (od brzine i pomeranja), dok su aktivne horizontalne sile jednake nuli, jer je zemljotres prinudno kretanje osnove zgrade. Prema tome, diferencijalne jednačine kretanja zgrade, date sa (17), mogu da se prikažu kao:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (26)$$

Kada se vektor apsolutnog ubrzanja (25) uvrsti u jednačinu (26) dobija se:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = -\mathbf{M}\mathbf{b}\ddot{\mathbf{u}}_g = \mathbf{g}(t) \quad (27)$$

Relacija (27) predstavlja diferencijalne jednačine kretanja zgrade usled zemljotresa.

3.3 Rješavanje diferencijalnih jednačina kretanja

Rješavanje diferencijalnih jednačina kretanja usled uticaja zemljotresa vrši se postupkom direktne numeričke integracije, jer ovaj postupak daje potpuni odgovor zgrade za zadati akcelerogram. Ovdje se koristi implicitni i bezuslovno stabilni α postupak numeričke integracije, nastao na osnovu ideje Newmark-ovog β postupka. Ukupno vrijeme trajanja zemljotresa t_{max} se podijeli na izvjestan broj (npr. n_t) međusobno jednakih podintervala: $t_{\text{max}} = n_t \Delta t$.

Primjenom α postupka na jednačine (27) dolazi se do ekvivalentnog "statičkog" problema, tj. do sistema linearnih algebarskih jednačina unutar svakog intervala vremena Δt :

and components of the vector \mathbf{b} are constant for all story slabs.

According to relation (23) the vector of the absolute acceleration of the whole building may be presented as:

where $\ddot{\mathbf{u}}_g(t)$ is the known function which represents seismic acceleration of the soil, that is the given design accelerogram.

In the case of an earthquake, inertial forces depend on the absolute motion (or, rather, absolute acceleration), damping forces and reactive forces depend on relative motions (on velocity and displacement), and also, active horizontal forces are equal to zero, since the earthquake is an imposed translation of the building's base. Therefore, differential equations of motion of the building, given by (17), may be presented as:

When the vector of absolute acceleration (25) is inserted into Eq. (26), one obtains:

Eq. (27) presents the differential equations of motion of the building during earthquake action.

3.3 Solution of differential equations of motion

Solution of differential equations of motion of a building, during the earthquake actions, is performed by the procedure of direct numerical integration, because this procedure gives a complete response of the building to the given accelerogram. Implicit and unconditionally stable α method of the numerical integration is used, which is the extension of the Newmark's β method. The total time duration t_{max} of the earthquake is divided into the certain number (e.g. n_t) of mutually equal sub-intervals: $t_{\text{max}} = n_t \Delta t$.

Applying the α method to Eqs. (27) one obtains the equivalent "static" problem, that is, the system of linear algebraic equations within the each time interval Δt :

$$\mathbf{K}^* \delta_{n+1} = \mathbf{g}_{n+\alpha}^* \quad (n=1, 2, \dots, n_t-1) \quad (28)$$

gdje je \mathbf{K}^* efektivna matrica krutosti data sa:

where \mathbf{K}^* is the effective stiffness matrix given with:

$$\mathbf{K}^* = (1 + \alpha)\mathbf{K} + \frac{1}{\beta \Delta t^2} \mathbf{M} + (1 + \alpha) \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \mathbf{C} \quad (29)$$

dok je $\mathbf{g}_{n+\alpha}^*$ vektor efektivnog opterećenja:

while $\mathbf{g}_{n+\alpha}^*$ is a vector of effective load:

$$\begin{aligned} g_{n+a}^* = g_{n+a} + M \left(\frac{1}{bD t^2} \delta_n + \frac{1}{bD t} \delta_n^* + \left(\frac{1}{2b} - 1 \right) \delta_n^{**} \right) + \\ + C \left\{ (1+a) \frac{g}{bDt} \delta_n + \left[(1+a) \frac{g}{b} - 1 \right] \delta_n^* + (1+a) Dt \left(\frac{g}{2b} - 1 \right) \delta_n^{**} \right\} + a K \delta_n \end{aligned} \quad (30)$$

U relaciji (30) sa $\mathbf{g}_{n+\alpha}$ označen je vektor opterećenja u trenutku $t_{n+\alpha}$:

In the relation (30) $\mathbf{g}_{n+\alpha}$ denotes the load vector in the time $t_{n+\alpha}$:

$$\mathbf{g}_{n+\alpha} = \mathbf{g}(t_{n+\alpha}) = -\mathbf{M} \mathbf{b} \ddot{\mathbf{u}}_g(t_{n+1} + \alpha \Delta t) \quad (31)$$

Ako se parametri α , β i γ u izrazima (29)-(31) izaberu prema relacijama:

If the parameters α , β and γ in Eqs. (29)-(31) are chosen according to relations:

$$\alpha \in \left[-\frac{1}{3}, 0 \right] \quad \gamma = \frac{1}{2}(1 - 2\alpha) \quad \beta = \frac{1}{4}(1 - \alpha)^2 \quad (32)$$

α postupak je bezuslovno stabilan. Uobičajeno je da se usvoji da je $\alpha=-1/3$, tako da je onda $\gamma=5/6$, $\beta=4/9$, dok se za $\alpha=0$ dolazi do klasičnog Newmark-ovog β postupka.

then the α method is unconditionally stable. It is usual to adopt the value $\alpha=-1/3$, so then $\gamma=5/6$, $\beta=4/9$, while for $\alpha=0$ the method becomes the classical Newmark's β method.

Da bi se započeo proces direktne numeričke integracije neophodno je da budu poznati početni uslovi δ_0 i δ_0^* , kao i da se izračuna početno ubrzanje δ_0^{**} iz diferencijalne jednačine kretanja za početni trenutak $t=0$. Kako se zgrade neposredno prije pojave zemljotresa nalaze u stanju mirovanja, to su početni uslovi homogeni. Početno ubrzanje zgrade je određeno iz diferencijalne jednačine kretanja napisane za početni trenutak $t=0$ i za homogone početne uslove, kao:

In order to start the process of direct numerical integration, it is necessary to know the initial conditions, displacements and velocities δ_0 and δ_0^* , as well as to determine the initial acceleration δ_0^{**} from the differential equation of motion for the initial time $t=0$. As the buildings are in the state of rest before the earthquake starts, the initial conditions are homogeneous. The initial acceleration of the building is obtained from the differential equations of motion, written for the time $t=0$ and for the homogeneous initial conditions, as:

$$\delta_0^{**} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{g}(0) = \mathbf{M}^{-1} (-\mathbf{M} \mathbf{b} \ddot{\mathbf{u}}_g(0)) = -\mathbf{b} \ddot{\mathbf{u}}_g(0) \quad (33)$$

Rješavanjem jednačina (28) dobija se vektor generalisanih pomjeranja na kraju posmatranog intervala vremena d_{n+1} . Zatim se određuju vektori generalisanih brzina i ubrzanja na kraju posmatranog intervala vremena prema sledećim relacijama:

By solving the equations (28) the vector of generalized coordinates is obtained at the end of the time interval d_{n+1} . Then the vectors of generalized velocities and accelerations at the end of the time interval are determined according to the following relations:

$$\delta_{n+1}^* = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \delta_{n+1} - \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \delta_n - \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) \delta_n^* - \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \delta_n^{**} \quad (34)$$

$$\delta_{n+1}^{**} = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \delta_{n+1} - \frac{1}{\beta \Delta t^2} \delta_n - \frac{1}{\beta \Delta t} \delta_n^* - \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \delta_n^{**} \quad (35)$$

Algoritam za analizu vremenskog odgovora zgrade je kratko prikazan:

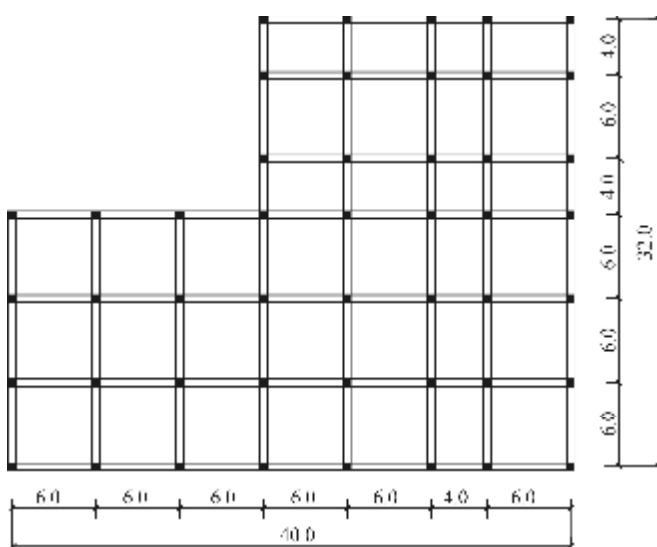
Posmatra se nesimetrična višespratna zgrada izložena seizmičkoj pobudi koja je definisana sa akcelerogramom \ddot{u}_g i sa dominantnim pravcem pod uglom β , koji se mjeri u horizontalnoj ravni u odnosu na usvojen globalni koordinatni sistem Oxy.

Proces analize vremenskog odgovora zgrade započinje se rješavanjem diferencijalnih jednačina kretanja zgrade (27) koristeći α postupak direktne numeričke integracije. Znači, u svakom intervalu vremena Δt rješava se ekvivalentni statički problem (28) i dobija vektor generalisanih pomjeranja zgrade na kraju posmatranog intervala vremena. Sa određenim vektorom generalisanih pomjeranja određuju se vektori generalisanih brzina i ubrzanja zgrade na kraju posmatranog intervala vremena, prema relacijama (34) i (35). Dobijene vrijednosti na kraju posmatranog intervala vremena su zatim poznate početne vrednosti na početku narednog intervala vremena, pa se sukcesivnim rješavanjem, korak po korak, dolazi do ukupnog vremenskog odgovora.

4 NUMERIČKI PRIMJER

U cilju numeričke realizacije razvijen je odgovarajući kompjuterski program, nazvan Zgrada_3D [9]. Program, osim što izračunava vremenski odgovor višespratne nesimetrične zgrade usled zadatog akcelerograma kao zemljotresnog opterećenja, može da se koristi i za analizu slobodnih oscilacija, odnosno za proračun svojstvenih frekvencija i svojstvenih oblika zgrade na osnovu izračunatih matrica krutosti i masa posmatrane višespratne nesimetrične zgrade.

Kao primjer razmatrana je nesimetrična zgrada sa osam spratova. Osnova zgrade, sa geometrijskim podacima i podacima o spratnim masama prikazana je na slici 7, dok je 3D model dobijen u komercijalnom programu Tower 6 dat na slici 8.



Slika 7. Osnova nesimetrične zgrade sa osam spratova
Figure 7. The plan of a non-symmetric building with eight stories

Algorithm for the analysis of the time history response of the building is presented in short:

Non-symmetric multi-story building is considered while being exposed to seismic excitation defined by the given accelerogram \ddot{u}_g and by the dominant direction given by the angle β , which is measured in the horizontal plane in relation to the adopted global coordinate system Oxy.

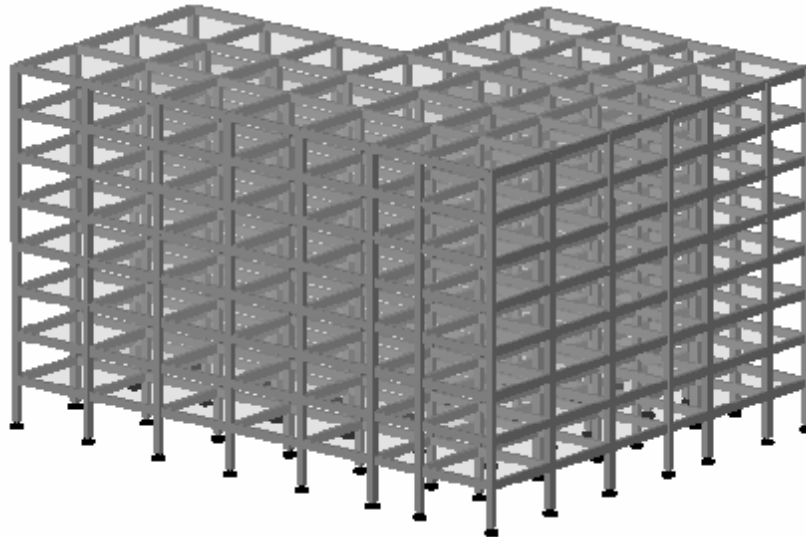
The process of analysis of the time history response of the building starts with the solution of differential equations of motion of the building (27) using the α method of the direct numerical integration. It means that in each time interval Δt the equivalent "static" problem (28) is solved and the vector of generalized displacements is obtained at the end of the time interval. The generalized velocity and acceleration vectors at the end of the time interval are then determined, according to relations (34) and (35). Obtained values at the end of considered time step are the known initial values at the beginning of the next time step, until, after successive solution step by step, the complete time history is obtained.

4 NUMERICAL EXAMPLE

In order to implement the numerical procedure, the corresponding computer program, called Building_3D, [9] is developed. The program, besides giving the time history response of multi-story non-symmetric building for a given accelerogram as the earthquake loading, can also be used for the analysis of free oscillations, that is for determination of the natural frequencies and natural shapes of the building using the calculated stiffness and mass matrices of considered multi-story non-symmetric building.

As an example, a non-symmetric building with eight stories was considered. The plan and some geometric and mass data are presented in Fig. 7. Also, 3D model, as obtained from the commercial computer code Tower 6, is given in Fig. 8.

Podaci:	Data:
Dimenzije stubova: $b/h=50/50[\text{cm}]$	Piers dimensions: $b/h=50/50[\text{cm}]$
Dimenzije greda: $b/h=35/60[\text{cm}]$	Beams dimensions: $b/h=35/60[\text{cm}]$
Debljina ploče: $d_{pl}=22[\text{cm}]$	Slab thickness: $d_{pl}=22[\text{cm}]$
Modul elastičnosti: $E=3.15 \cdot 10^7 [\text{kN/m}^2]$ (MB 30)	Modulus of elasticity: $E=3.15 \cdot 10^7 [\text{kN/m}^2]$ (MB 30)
Spratne mase: $m_1=\dots=m_7=1220 [\text{kNs}^2/\text{m}]$ $m_8=1170 [\text{kNs}^2/\text{m}]$	Storey masses: $m_1=\dots=m_7=1220 [\text{kNs}^2/\text{m}]$ $m_8=1170 [\text{kNs}^2/\text{m}]$



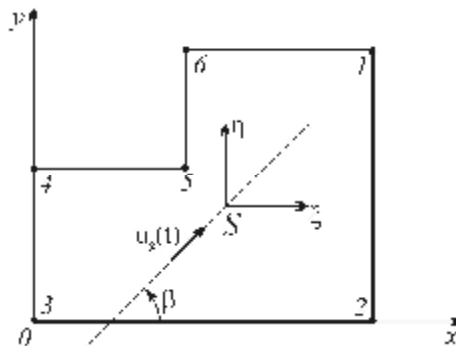
Slika 8. Model nesimetrične zgrade sa osam spratova (Tower 6)
Figure 8. Model of non-symmetric building with eight stories (Tower 6)

Period oscilovanja prvog tona razmatrane zgrade dobijen korišćenjem komercijalnog programa Tower 6 iznosi 0.920s, a korišćenjem programa Zgrada_3D 0.892s.

Na slici 9 prikazani su usvojeni koordinatni sistemi: referentni Oxy i lokalni $S\xi\eta$ postavljen u centru mase (težištu) tavanice, kao i dominantni pravac seizmičkog pomjeranja tla u_g koji sa referentnom x osom u horizontalnoj ravni zaklapa ugao β . Takođe je prikazan i položaj karakterističnih tačaka konture razmatrane zgrade.

The period of oscillation of the first mode of considered building, obtained by the commercial program Tower 6 is 0.920s, and obtained by the program of Buildings _3D is equal to 0.892s.

Fig. 9 presents the assumed coordinate systems: the global Oxy and the local $S\xi\eta$ which is set at the center of mass (centroid) of the story slab. Also, direction of the dominant seismic motion of the soil u_g , as determined by the angle β with respect to the global x axis in the horizontal plane, is given. Position of some characteristic points in plan of the building is also presented.



Slika 9. Položaj karakterističnih tačaka konture razmatrane zgrade
Figure 9. Position of characteristic points of the contour of considered building

Posmatrana zgrada je izložena zemljotresu čiji akcelerogram odgovara frekventnom zapisu zemljotresa El Centro, iz decembra 1940. godine, komponenta NS. Akcelerogram je skaliran tako da maksimalno ubrzanje tla iznosi $0.32g$ ($g=9.81\text{m/s}^2$). Razmatrana su dva dominantna pravca seizmičkog pomjeranja tla: $\beta=0^\circ$ i $\beta=45^\circ$. Odgovor zgrade je posmatran u ukupnom trajanju akcelerograma zemljotresa El Centro (12.2s) sa usvojenim vremenskim korakom $\Delta t=0.05\text{s}$.

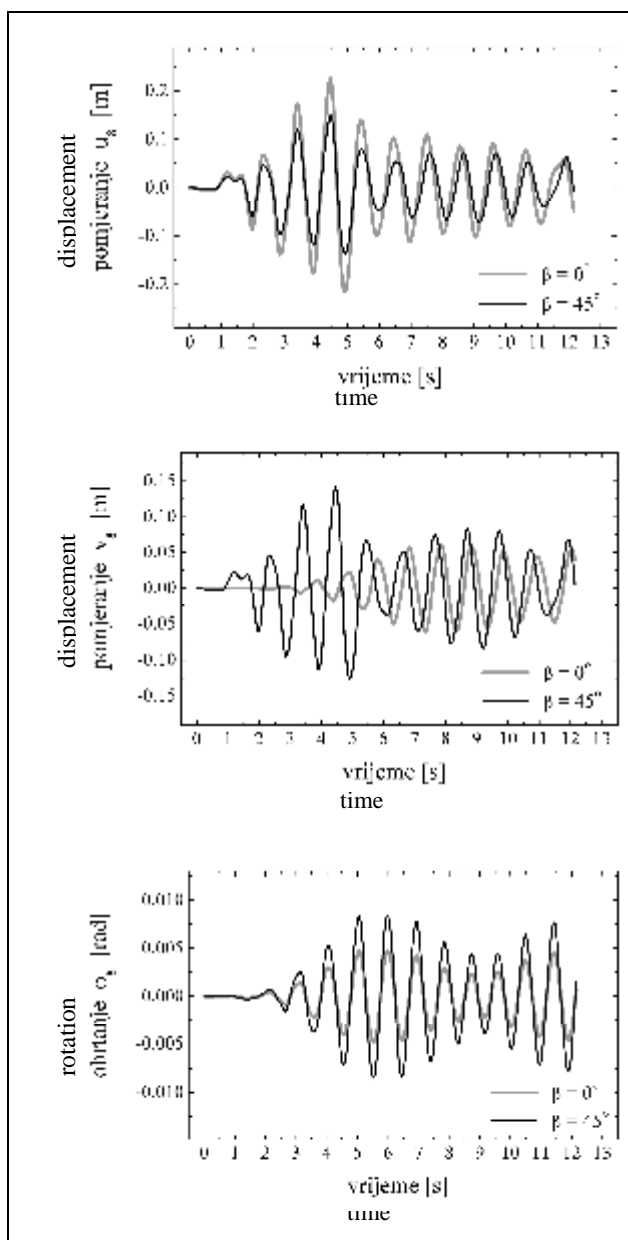
Na slikama 10-13, za zadati akcelerogram, prikazan je vremenski odgovor posmatrane zgrade za dominantne pravce zemljotresa $\beta=0^\circ$ i $\beta=45^\circ$, odnosno vremenska promjena generalisanih pomjeranja u_8, v_8, φ_8

Considered building is exposed to the earthquake with accelerogram corresponding to El Centro record from December 1940, component NS. Accelerogram is scaled in such a way that the maximum acceleration of the soil is equal to $0.32g$ ($g=9.81\text{m/s}^2$). Two dominant directions of the seismic soil motions are considered: $\beta=0^\circ$ and $\beta=45^\circ$. The response of the building is determined during the total duration of the earthquake El Centro (12.2s) with the adopted time step $\Delta t=0.05\text{s}$.

Figures 10-13 are presenting some of the obtained results for the given accelerogram, namely the time history responses of the building for the dominant earthquake directions $\beta=0^\circ$ and $\beta=45^\circ$, that is time

i generalisanih brzina \dot{u}_8, \dot{v}_8 i $\dot{\phi}_8$ centra mase S poslednje tavanice, tavanice broj 8, (slike 10 i 11). Takođe su date i vremenske promjene pomjeranja $u_8^{1*}, v_8^{1*}, u_8^{2*}$ i v_8^{2*} karakterističnih tačaka 1 i 2 tavanice broj 8 (slike 12 i 13), pri čemu sivom linijom u slučaju kada je dominantni pravac zemljotresa jednak $\beta=0^\circ$ i crnom linijom u slučaju kada je dominantni pravac zemljotresa jednak $\beta=45^\circ$.

Maksimalna pomjeranja centra mase tavanice broj 8 posmatrane zgrade u pravcu x i y ose (u_{8max} i v_{8max}) za dominantne pravce zemljotresa $\beta=0^\circ$ i $\beta=45^\circ$ iznose, redom, 22.6cm i 5.89cm, odnosno 15.0cm i 14.2cm (slika 10).



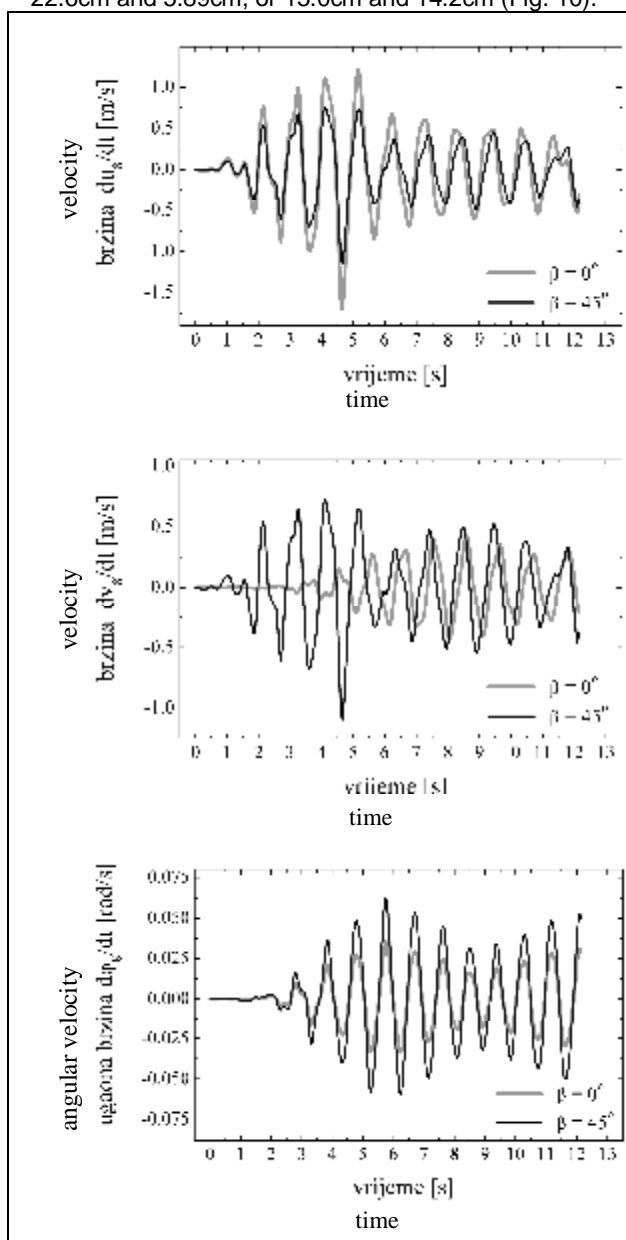
Slika 10. Vremenska promjena generalisanih pomjeranja

$$u_8, v_8 \text{ i } \phi_8$$

Figure 10. Time history of generalized displacements u_8, v_8 and ϕ_8

histories of the generalized coordinates u_8, v_8, ϕ_8 and generalized velocities \dot{u}_8, \dot{v}_8 i $\dot{\phi}_8$ of the mass center S of the last story slab, slab number 8, (Figs. 10 and 11). Also, the time histories of displacements $u_8^{1*}, v_8^{1*}, u_8^{2*}$ and v_8^{2*} of the characteristic points "1" and "2" of the story slab number 8 are given in Figs. 12 and 13, with grey lines in a case when dominant direction of the earthquake is equal to $\beta=0^\circ$ and with the black line in a case when the dominant direction of earthquake is equal to $\beta=45^\circ$.

Maximum displacements of the center of mass of story slab number 8 of the building in directions x and y (i.e. u_{8max} and v_{8max}) for the dominant directions of earthquake given by $\beta=0^\circ$ and $\beta=45^\circ$ are obtained as 22.6cm and 5.89cm, or 15.0cm and 14.2cm (Fig. 10).



Slika 11. Vremenska promjena generalisanih

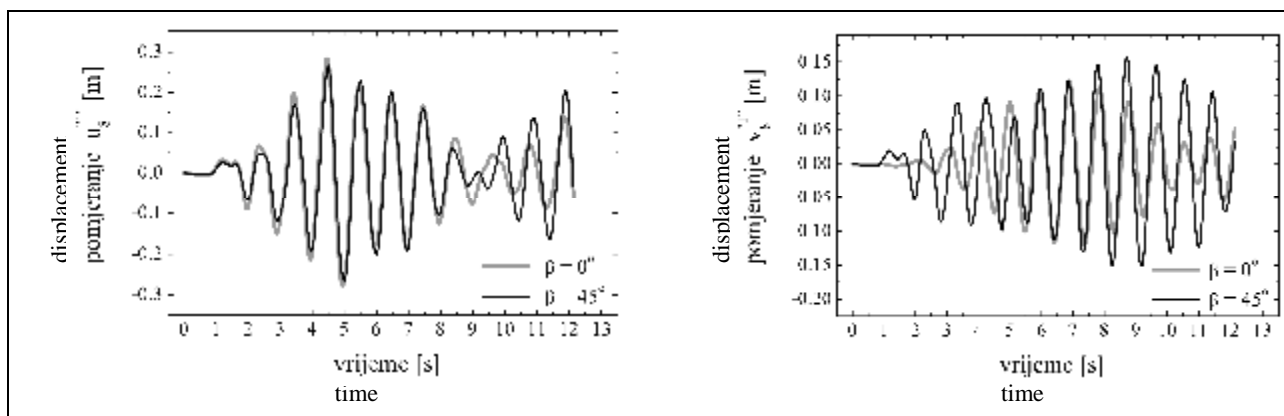
$$\text{brzina } \dot{u}_8, \dot{v}_8 \text{ i } \dot{\phi}_8$$

Figure 11. Time history of generalized velocities

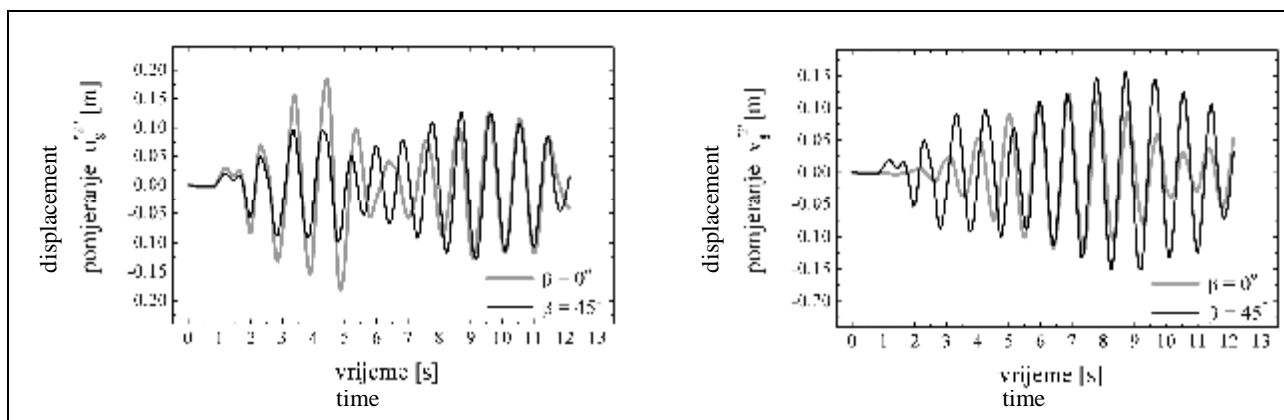
$$\dot{u}_8, \dot{v}_8 \text{ and } \dot{\phi}_8$$

Maksimalna pomjeranja karakteristične tačke "1" tavanice broj 8 posmatrane zgrade u pravcu x i y ose ($u_{8\max}^{1}$ i $v_{8\max}^{1}$) za dominantne pravace zemljotresa $\beta=0^\circ$ i $\beta=45^\circ$ iznose 28.4cm i 12.2cm, odnosno 26.7cm i 15.7cm (slika 12).

Maximum displacements of the characteristic point "1" of the story slab number 8 of the building in the directions x and y (i.e. $u_{8\max}^{1}$ and $v_{8\max}^{1}$) for the dominant directions of earthquake given by $\beta=0^\circ$ and $\beta=45^\circ$ are obtained as 28.4cm and 12.2cm, or 26.7cm and 15.7cm (Fig. 12).



Slika 12. Vremenska promjena pomjeranja u_8^{1} i v_8^{1}
Figure 12. Time history of generalized displacements u_8^{1} and v_8^{1}



Slika 13. Vremenska promjena pomjeranja u_8^{2} i v_8^{2}
Figure 13. Time history of generalized displacements u_8^{2} and v_8^{2}

Maksimalna pomjeranja karakteristične tačke "2" tavanice broj 8 posmatrane zgrade u pravcu x i y ose ($u_{8\max}^{2}$ i $v_{8\max}^{2}$) za dominantne pravace zemljotresa $\beta=0^\circ$ i $\beta=45^\circ$ iznose 18.5cm i 12.2cm, odnosno 12.7cm i 15.7cm (slika 13).

Maximum displacements of the characteristic point "2" of the story slab number 8 of the building in the directions x and y (i.e. $u_{8\max}^{2}$ and $v_{8\max}^{2}$) for the dominant earthquake directions $\beta=0^\circ$ and $\beta=45^\circ$ are obtained as 18.5cm and 12.2cm, or 12.7cm and 15.7cm (Fig. 13).

5 ZAVRŠNE NAPOMENE

Na osnovu prikazanog matematičkog modela uticaja horizontalnih sila na višespratne nesimetrične zgrade, sa posebnim osvrtom na uticaj zemljotresa preko zadanog akcelorograma, razvijen je kompjuterski program Zgrada_3D, koji, osim što daje vremenski odgovor višespratne nesimetrične zgrade usled zadanog akcelorograma, može da se koristi i za analizu slobodnih oscilacija.

U cilju ilustracije numeričkog postupka razmatrana je

5 FINAL REMARKS

According to presented mathematical model of analysis of the influence of horizontal forces upon the multi-story non-symmetric buildings, with the particular attention to earthquake actions described by the given accelerogram, the computer program, called Building_3D, is developed. The program dominantly analyzes the time history response of a multi-storey non-symmetric building due to the given accelerogram, but

nesimetrična zgrada sa osam spratova (slike 7 i 8). Prvo je izvršena analiza slobodnih oscilacija posmatrane zgrade, a dobijeni rezultati se dobro slažu sa rezultatima dobijenim korišćenjem programa Tower 6, s obzirom da se radi o različitim matematičkim modelima. Zatim je analiziran vremenski odgovor razmatrane zgrade usled djelovanja seizmičke pobude (za zadati akcelerogram koji odgovara frekventnom zapisu zemljotresa El Centro, iz decembra 1940. godine, komponenta NS) za dominantne pravce zemljotresa $\beta=0^\circ$ i $\beta=45^\circ$.

Analizom prikazanih rezultata (slike 10-13) može da se zaključi da vremenski odgovor višespratne nesimetrične zgrade zavisi kako od konfiguracije zgrade, njene krutosti i rasporeda masa, tako i od prirode zemljotresa (datog akcelerograma) tj. njegovog dominantnog pravca djelovanja i vrijednosti maksimalnog ubrzanja tla.

6 LITERATURA REFERENCES

- [1] Brčić S.: "Discrete analysis of non-symmetric buildings", *Teorijska i primenjena mehanika*, br.22, 1995.
- [2] Carpinteri A., Carpinteri A.: "Lateral loading distribution between the elements of three dimensional civil structures", *Computers & Structures* 21(3), 1985, pp.563-580.
- [3] Fajfar P., Fischinger M., Isaković T.: "Metoda procjene seizmičkog ponašanja zgrada i mostova", *Građevinar* 52, 2000, str.663-671.
- [4] Folić R., Lađinović, Đ.: "Uporedna analiza Evrokoda 8 za projektovanje seizmički otpornih konstrukcija sa nekim nacionalnim odredbama", *Građevinski kalendar* 2003, SDGITJ, str. 429-485.

Napomena:

Drugi autor (S.Brčić) je zahvalan na finansijskoj podršci od strane Ministarstva nauke Republike Srbije u okviru projekta TR 16017 "Razvoj i unapređenje projektovanja građevinskih konstrukcija izloženih seizmičkim i incidentnim dejstvima".

also could be used for the analysis of free oscillations.

As an illustration of the numerical procedure, non-symmetric building with eight stories is considered (Figs. 7 and 8). First, the analysis of free vibrations of the building is performed, and the obtained results are quite in agreement with the results obtained in the alternate way, using the commercial program Tower 6, especially having in mind the different mathematical models. Then, the time history analysis of the building during the earthquake, described by the given accelerogram of the El Centro record, from Dec. 1940, component NS, is obtained for the two dominant directions of earthquake, given by $\beta=0^\circ$ and $\beta=45^\circ$.

After analysis of the obtained results (Figs. 10-13) it may be concluded that the time history response of a multi-story non-symmetric building depends on building's configuration: its stiffness and mass arrangements and also on the earthquake's nature, given by its accelerogram, the dominant direction and also by the values of the maximum soil accelerations.

- [5] Lađinović Đ.: "Savremene metode seizmičke analize konstrukcija zgrada", *Materijali i konstrukcije* 51(2), 2008, str.25-39.
- [6] Lađinović Đ., Folić R.: "Analiza konstrukcija zgrada na zemljotresna dejstva", *Materijali i konstrukcije* 47(3-4), 2004, str. 31-64.
- [7] Humar J.L., Khandoker J.U.: "A computer program for three dimensional analysis of buildings", *Computers & Structures* 11(5), 1980, pp.369-387.
- [8] Ćorić B., Ranković S. i Salatić R.: *Dinamika konstrukcija*, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1998.
- [9] Žugić-Zornija Lj.: *Analiza mogućeg sudara nesimetričnih zgrada usled zemljotresa*, magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, 1996.

Note:

The second author (S.Brčić) is grateful for the financial support by the Ministry of science of the Republic of Serbia in the scope of the project TR 16017 "Development and improvement of design of building structures exposed to seismic and incident actions".

REZIME

VREMENSKI ODGOVOR NESIMETRIČNE ZGRADE U ZAVISNOSTI OD DOMINANTNOG PRAVCA DJELOVANJA ZEMLJOTRESA

Ljiljana ŽUGIĆ
Stanko BRČIĆ

U radu je analiziran vremenski odgovor višespratne nesimetrične zgrade usled djelovanja seizmičke pobude sa zadatim dominantnim pravcem djelovanja. Formulisan je numerički model uticaja horizontalnih sila na nesimetrične zgrade (diskretni koncept numeričkog modeliranja), sa posebnim osvrtom na uticaj zemljotresa preko zadatog akcelrograma. Model je zatim poslužio kao osnova za razvijanje numeričkog modela mogućeg sudara višespratnih nesimetričnih zgrada usled uticaja zemljotresa koji će biti prikazan u sledećem radu.

Nesimetrična zgrada je tretirana u obliku skupa krutih ploča koje se mogu proizvoljno kretati u međusobno paralelnim horizontalnim ravnima i čije je kretanje ograničeno sa po tri linearno elastične opruge koje predstavljaju uticaj vertikalnih elemenata. Ravno kretanje tavanica u horizontalnoj ravni opisano je pomoću generalisanih pomjeranja odgovarajućeg centra mase (translacija u i v i rotacije φ). Seizmičko pomjeranje tla u opštem slučaju ima proizvoljan pravac u odnosu na zgradu, pri čemu je dominantni pravac zemljotresa definisan sa uglom β , koji se mjeri u horizontalnoj ravni u odnosu na usvojen globalni koordinatni sistem. Formulirane su diferencijalne jednačine kretanja višespratne nesimetrične zgrade usled uticaja zemljotresa, pri čemu je zemljotres tretiran kao zadato dinamičko pomjeranje osnove zgrade (zadat akcelrogram). Jednačine su rješavane primenom α postupka direktne numeričke integracije koji je numerički stabilan i daje potpuni vremenski odgovor zgrade za zadati akcelrogram.

U cilju numeričke realizacije ovog problema razvijen je odgovarajući kompjuterski program, koji osim što daje vremenski odgovor višespratne nesimetrične zgrade usled zadatog akcelrograma (za dominantni pravac zemljotresa) može se koristiti i za analizu slobodnih oscilacija.

Ključne riječi: nesimetrična zgrada, dominantni pravac zemljotresa, vremenska analiza

SUMMARY

TIME HISTORY RESPONSE OF NON-SYMMETRIC BUILDING DUE TO DOMINANT EARTHQUAKE DIRECTION

Ljiljana ŽUGIĆ
Stanko BRČIĆ

The paper is considering the time response of a multi-story non-symmetric building due to an earthquake excitation with a given dominant direction. The corresponding numerical model of the lateral load analysis of non-symmetric buildings is developed, based on a discrete concept of numerical modeling, with particular attention to an earthquake motion with a given accelerogram. Developed numerical model was used as the basis for the second numerical model to analyze the possible pounding of multi-story non-symmetric adjacent buildings due to an earthquake, which will be presented in the following paper.

Non-symmetric building was treated as the set of rigid plates that can arbitrarily move in the corresponding parallel horizontal planes. The motion of the each story slab is restrained by the three linearly elastic springs that represent the influence of the vertical structural elements. Planar motion of story slabs in horizontal planes is described by the generalized coordinates of each center of the mass (translations u , v and rotation φ). Seismic motion of the foundation soil has, generally, an arbitrary direction with respect to the building. Assumed dominant direction of an earthquake is described by the angle β measured with respect to the chosen global coordinate system. The corresponding differential equations of motion of a non-symmetric multi-story building, due to an earthquake (with a given accelerogram), are formulated. The equations are solved using the α method of direct numerical integration, which is numerically stable and gives the complete time response of the building to the given accelerogram.

In order to obtain the solution of the given numerical formulation, the corresponding computer program was developed. Besides providing the time response of a multi-story non-symmetric building to the given accelerogram, the program is also being used in the free vibration analysis.

Keywords: non-symmetric building, dominant earthquake direction, time history analysis

ЗАЈЕДНИЧКО ГЕОДЕТСКО ОСМАТРАЊЕ ВЕЛИКИХ БРАНА И АКУМУЛАЦИЈА

COMMON GEODETIC MONITORING OF LARGE DAMS AND RESERVOIRS

Жарко НЕСТОРОВИЋ
Милан ТРИФКОВИЋ

STRUČNI RAD
UDK: 528.41:627.8 = 861

1 УВОД

Интензивну изградњу великих брана у Србији у другој половини 20 века карактерисао је врло озбиљан прилаз геодетском праћењу стања и понашања ових објеката. Према скромном увиду аутора у поједину пројектну документацију може се констатовати да су у том периоду примењивана најсавременија геодетска знања и технологије у овој области. Међутим геодетска технологија тога доба била је ресурсно захтевна и недовољно ефикасна. Ресурсна захтевност огледала се у чињеници да је било неопходно обезбедити висококвалификовану радну снагу у дугом временском периоду док је недовољна ефикасност значила да од извршења мерења до интерпретације и анализе коначних резултата може да прође и неколико месеци што је са аспекта могућих последица по објекат било неприхватљиво. Из тог разлога су примењивана решења која су једино била могућа а то је да се посебно врше осматрања великих брана а посебно осматрања у зони акумулација. Међутим, са аспекта неопходности да се добију информације о понашању терена у зони дејства акумулације, са једне и тешкоћа у реализацији геодетских мерења са друге стране приступало се компромисном решењу. Тако су велике бране осматране у положајном и висинском смислу док су зоне дејства акумулације осматране само у висинском смислу.

У литератури се могу наћи подаци да су за акумулације брана „Ђердап 1“ и „Ђердап 2“ вршена мерења у мрежи нивелмана високе тачности која се простирала дуж обала акумулација (В. Миловановић, Ч. Цвијовић, 1987 и В. Миловановић, Д.В. Глишић, 1987),

Жарко Несторовић, дипл. геод. инж., „Ђердап“ Кладово,
nzarko07@gmail.com
Доц. др. Милан Трифковић, дипл. геод. инж.
Грађевински факултет, Суботица, milantri@eunet.rs

1 INTRODUCTION

Intensive building of large dams in Serbia I second half of 20th century was characterized by very serious approach on geodetic monitoring of dams state and behavior. According to knowledge of authors about project documentation from that time it could be said that contemporary geodetic knowledge and technology of that time is used in field of dam monitoring. However geodetic technology of that time needed a lot of resources and was not efficiently enough. It was necessary to involve high educated surveyors in long period of time and low efficiency meant that from the measurement was finished to the results interpretation and analysis a few months could pass, what was unacceptable according to the potentially consequence on dam safety. That is the reason why the only possible solutions were utilized – the dams and reservoirs were monitored separately. However, according to need for information about land behavior in the zone of reservoir influence, from one and having in mind effort needed for geodetic surveying, on the other side compromise solution was accepted. So, large dams were monitored both in plane and in height sense, while the zone influenced by reservoirs were monitored only in height sense.

In literature is possible to find data that for reservoirs of large dams “Djerdap I” and “Djerdap II” measurements in high accuracy leveling network, which was laid across the banks of lakes, were being done (В. Миловановић, Ч. Цвијовић, 1987 и В. Миловановић, Д.В. Глишић, 1987), while at the same time, large dams were monitored both in plane and in height sense, from the, for that purpose specially projected and realized,

Žarko Nestorović, dipl.eng of geodesy, „Djerdap“ Kladovo,
nzarko07@gmail.com
Doc. dr Milan Trifković dipl.eng. of geodesy, Gradjevinski
fakultet, Subotica, milantri@eunet.rs

док су бране осматране и у положајном и у висинском смислу са, за ту сврху, посебно пројектованих и изведених геодетских мрежа. При томе су поједини репери нивелманских мреже за осматрање великих брана били одређивани у оквиру нивелманских мрежа акумулација. Недоследност, са аспекта заједничког осматрања у висинском смислу, огледала се у томе што су мерења у нивелманским мрежама за осматрање великих брана вршена два пута годишње док су мерења у нивелманским мрежама акумулација била вршена сваких пет година. Овакав приступ је разумљив због величине акумулација и дуготрајних процеса мерења што је била последица стања развоја геодетске технологије тог времена.

Додатну тешкоћу за развој 2Д геодетских мрежа, до појаве електрооптичких даљиномера, представљало је дуготрајно мерење дужина које су неопходне за правилну дефиницију размере геодетских мрежа.

Не треба занемарити ни чињеницу да је обрада геодетских података, до појаве савремених рачунара, представљала значајну активност у организацији геодетских радова везаних за осматрање великих брана.

Са развојем савремених геодетских технологија многи од ових проблема су елиминисани. Ефикасност мерења дужина скоро је достигла ефикасност опажања праваца док је тачност значајно повећана. У овим условима поставља се питање да ли је могуће проширити геодетске 2Д мреже које су превасходно служиле за осматрање великих брана на начин који омогућава да се у истом координатном систему геодетски осматра читав систем: и велика брана и акумулација.

Имајући у виду чињеницу да су геодетске 2Д мреже за осматрање великих брана квалитетно пројектоване питање се може поставити прецизније: „Да ли проширење геодетских 2Д мрежа доприноси побољшању тачности одређивања стања и понашања објеката и акумулације?“. Уколико је одговор позитиван то би значило да се геодетска 2Д мрежа може проширити и да сви историјски закључци важе. У противном било би неопходно да се ова два система осматрају и анализирају посебно.

Треба истаћи да су првобитни пројекти 2Д геодетских мрежа у Србији углавном подразумевали опажање праваца. Проширење геодетских мрежа, поред повећања броја тачака треба да подразумева и промену плана опажања односно да се мере и дужине у мрежи било применом тоталних станица било применом ГПС технологије.

У овом раду разматрају се утицаји проширења 2Д геодетских мрежа на тачност одређивања растојања и праваца између тачака. Уколико се очува једнакост тачности одређивања ових величина са проширењем почетних геодетских мрежа и са променом плана опажања онда је могуће у оквиру нове мреже анализирати и понашање објекта и понашање акумулација у истом координатном систему.

2 РАЗМАТРАНИ ТИПОВИ 2Д ГЕОДЕТСКИХ МРЕЖА ЗА ОСМАТРАЊЕ ВЕЛИКИХ БРАНА

Код осматрања великих брана у Србији у положајном смислу коришћене су микротригонометријске

geodetic networks. At the same time some of the benchmarks used for the purpose of zone influenced by lakes were included in networks for large dams monitoring. Inconsistency laid in the fact that large dams were monitored twice a year, while the reservoirs influence zone was monitored once in five years. This approach was reasonable according to long time needed for measuring process in zone of reservoirs influence and the state of art in the geodetic technology development.

Additional problem for 2D geodetic networks development, until electronic distance meters were made, was long time lasting distance measurement which are necessary for right scaling geodetic networks.

It is important to say that data processing of geodetic data, until contemporary computing machines were made, was very hard and time consuming activity in the geodetic works organization, connected with large dams monitoring.

Contemporary development of geodetic technologies most of this problems were eliminated. Efficiency of distance measurements is as almost as the efficiency of directions measurements while accuracy is significantly increased. In this conditions it is possible to ask question: "Is it possible to enlarge 2D geodetic networks which were utilized in large dams monitoring in the way which allows that, in the same coordination system, geodetic monitoring of the whole system: both reservoir and large dam?"

Having in mind the high quality of 2D geodetic networks for large dam monitoring the question could be put in more precise manner: "does the enlargement of 2D geodetic network could contribute to accuracy on the state and behavior of objects and zone of reservoir influence?". If the answer is affirmative it would mean that that geodetic network can be enlarged and all historical data are available. In the opposite case it would be necessary to monitor these two systems separately.

It is needed to say that those projects of 2D geodetic networks in Serbia have been projected with direction measurements as default measurements. Enlargement of geodetic 2D networks, despite the number of points enlargement, should be empowered with changing the plan of measurement, i.e. to provide distance measurement with GNSS or electronic distance meters.

In this paper research is focused on accuracy of distance and directions determination influenced by enlargement of 2D geodetic network. If the accuracy will remain the same after enlargement 2D geodetic networks and measurement plans change then it is possible to analyze state and behavior of object and zone of reservoir influence in the unique coordinate system.

2 MODELS OF 2D GEODETIC NETWORKS CONSIDERED IN THIS PAPER

For large dam monitoring, in the plane sense, in Serbia the microtrigonometric geodetic networks were utilized with measured directions. Networks' scale was determined once during the first measurement. Each new measurement was adjusted with null series' coordinates as the approximate values and those

мреже у којима су опажани правци. Размере мреже одређиване су приликом нултог мерења. Код сваког наредног изравнања усвајане су нулте координате као приближне чиме је дефинисана и размера мреже. Геометрија мреже условљена је условима на терену и осматраним тачкама на брани.

У овом раду ће се разматрати три модела 2Д геодетских мрежа:

– Мрежа са пет тачака у близини бране, десет тачака у зони дејства акумулације и односом просечне дужине страна почетне и нове мреже 1:11 (модел 1),

– Мрежа са тринаест тачака у близини велике бране, десет тачака у зони акумулације и односом просечне дужине страна почетне и нове мреже 1:8 (модел 2) и

– Мрежа са дванаест тачака у зони бране, шест тачака у зони дејства акумулације и односом просечне дужине страна почетне и нове мреже 1:5 (модел 3).

Код свих разматраних модела велика брана биће апроксимирана са пет тачака на којима ће се пратити промене карактеристика тачности. На основу промене тачности одређивања растојања и праваца између ових тачака доносиће се закључци о утицају проширења 2Д геодетских мрежа.

3 ГЕОДЕТСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА МЕРЕЊА У 2Д МРЕЖАМА

За осматрање великих брана могу се користити и класичне терестричке технологије и ГПС технологије. Микротригонометријске мреже за осматрање великих брана су лоциране у непосредној близини објекта и углавном су дужине страна мање од 1 km док је просечна дужина стране још мања. У оваквим условима могуће је мерити дужине и опажати правце. Правилним комбиновањем мерења ових величина може се постићи висок квалитет геодетских мрежа. ГПС технологија може се користити за мерење већих дужина у мрежи или за дужине чије се крајње тачке не догледају. Према проспектима произвођача геодетске опреме тачност опажаног правца достиже вредност $S_p = 0.5''$, а тачност мерења дужина вредност $S_d = 0.6mm + 1ppm$.

Методe глобалног позиционирања (ГПС методe) могу достићи тачност одређивања дужина од $S_d = 3mm + 0.5ppm$ до $S_d = 5mm + 1ppm$. Како се ради о кратким растојањима у геодетским 2Д мрежама за осматрање великих брана треба користити ГПС опрему која достиже максималну могућу тачност и то само за тачке на већим растојањима које се не догледају. У овом раду неће се разматрати утицај ГПС мерења на карактеристике геодетских 2Д мрежа.

4 МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ГЕОДЕТСКИХ МРЕЖА

Математички модел изравнања геодетских мрежа гласи (W.F. Caspary, 1987 и Г. Перовић, 1986):

coordinates determined the scale of network. Networks' geometry was determined by field conditions and with benchmarks on the dam.

In this paper three models of 2D geoteic networks will be considered:

– Network consisted of five points near large dam, ten points in zone of reservoir influence and relations between average distances of starting and new networks is 1:11 (model 1),

– Network consisted of thirteen points near large dam, ten points in zone of reservoir influence and relations between average distances of starting and new networks is 1:8 (model 2) and

– Network consisted of twelve points near large dam, six points in zone of reservoir influence and relations between average distances of starting and new networks is 1:5 (model 3).

Each considered model will include large dam approximated with five points (benchmarks) which will be the object of research how the characteristic of accuracy are being changed. Change of accuracy of distance and directions between considered points (benchmarks) will be the base for conclusions on networks enlargements influence.

3 GEODETTIC TECHNOLOGIES FOR SURVEYING 2D GEODETTIC NETWORKS

For large dams geodetic monitoring it could be either classical terrestrial or GPS technologies utilized. Micro-trigonometric networks for large dams monitoring are located near large dam with distance between points no larger than 1 km, while the average distance is even smaller. Under these conditions it is possible to measure distances and directions. Regularly combining these measurements it is possible to attain high quality of geodetic network. GPS technology can be utilized for distance measurement between the points which are not visible from each other. According to producer prospects of geodetic equipment the accuracy of direction which could be achieved is $S_p = 0.5''$, and accuracy of a distance measured could be $S_d = 0.6mm + 1ppm$.

Global positions methods could achieve the accuracy of distance at a rate of $S_d = 3mm + 0.5ppm$ to $S_d = 5mm + 1ppm$. As distances are short in 2D geodetic networks of interest in this paper it is needed to use GPS equipment with maximum accuracy and only for longer distances and between point which are not visible from each other. In this paper we won't consider the GPS measurement influence on investigated variables.

4 MATHEMATICAL MODEL OF GEODETTIC NETWORKS

Mathematical model for geodetic network adjustment is (W.F. Caspary, 1987 и Г. Перовић, 1986):

$$v = Ax - l \quad (1)$$

$$v^T P v = \min$$

$$x^T x = \min$$

$$x = (A^T P A)^+ A^T P l = Q_x A^T P l$$

где је:

- n – вектор поправака резултата мерења,
- A – матрица константних коефицијената,
- x – вектор непознатих,
- l – вектор опажања и
- P – матрица тежина.

Детаљан опис критеријума квалитета геодетских мрежа могу се наћи у литератури (W.F. Caspary, 1987 и Т. Нинков, 1989). Према (Т. Нинков, 1989; К. Михаиловић и И.П.Алексић, 1994) критеријуми могу бити локални и глобални. Када се упоређују карактеристике геодетских мрежа у појединим тачкама или по појединим циљним функцијама користе се локални критеријуми квалитета док се за поређење две мреже користе глобални критеријуми. Локални критеријуми су вредности појединих параметара квалитета геодетских мрежа (елипсе грешака, унутрашња и спољна поузданост, средња грешка функције изравнате величине) док глобални критеријум представљају средње вредности ових параметара.

Средња квадратна грешка (дисперзија) функције изравнате величине одређује се по формули (К. Михаиловић, И.П.Алексић, 1994):

$$\sigma_F^2 = \sigma_0^2 g^T Q_x g \quad (2)$$

где је:

- σ_F^2 – дисперзија функције изравнате величине,
- σ_0^2 – усвојена дисперзија мерења,
- g – вектор коефицијената тражене величине,
- Q_x – матрица кофактора.

Од интереса за овај рад јесу грешке функције изравнатих величина дужина и праваца између тачака на објекту.

5 АНАЛИЗА МОДЕЛА ГЕОДЕТСКИХ 2Д МРЕЖА

Утврђивање утицаја проширења геодетских мрежа на постојеће мреже вршиће се поређењем средњих грешака праваца и дужина дефинисаних тачкама на објекту.

Свака варијанта мреже анализира се са следећим плановима опажања:

- План опажања обухвата само правце у почетној мрежи;
- План опажања обухвата правце и дужине у почетној мрежи;
- План опажања обухвата правце у почетној мрежи и правце и дужине у проширеној мрежи и
- План опажања обухвата опажање праваца и мерење дужина у целој мрежи.

За анализу геодетских 2Д мрежа користиће се карактеристике геодетске технологије врхунских перформанси које се могу наћи на тржишту:

where:

- n – outliers vector,
- A – matrix of coefficients,
- x – vector of unknown variables,
- l – measurement vector and
- P – matrix of weights.

Detailed description for quality criteria of geodetic networks could be find in literature (W.F. Caspary, 1987 and Т. Нинков, 1989). According to (Т. Нинков, 1989; К. Михаиловић and И.П.Алексић, 1994) criteria could be local and global. For comparison characteristic of geodetic networks in particular points local criteria should be utilized, while for comparison of all networks global criteria should be utilized. Local criteria are the values of particular parameters of geodetic networks quality (error ellipses, internal and external ..., average value of adjusted function), while global criteria are the average of these values.

Dispersion of adjusted function is determined by formula (К. Михаиловић, И.П.Алексић, 1994):

where:

- σ_F^2 – dispersion of adjusted function,
- σ_0^2 – adopted value of measurement dispersion,
- g – vector of coefficients of asked function,
- Q_x – cofactors matrix.

In this paper we will consider the dispersion of adjusted functions directions and distances between points on object.

5 ANALYSIS ON MODELS OF GEODETIC 2D NETWORKS

Determination on influence of enlarged geodetic networks to actual geodetic networks will be done by comparison of averaged dispersion of directions and distances between points on object.

Every variant of geodetic network is analyzed with measurement plan:

- Only directions in geodetic network for dam monitoring;
- Directions and distances in geodetic network in geodetic network for dam monitoring;
- Only directions in geodetic network for dam monitoring and directions and distances in enlarged part of the geodetic network and
- Directions and distances in whole geodetic network.

For analysis of 2D geodetic networks we will use the

- за опажане правце $s_p = 0.5''$ и
- за мерене дужине тоталном станицом $s_d = 0.6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$.

Поређење дисперзија извршиће се тестирањем хипотеза о једнакости дисперзија (Г. Перовић, 1984). Хипотезе, у општем облику, гласе:

Ho: дисперзије изравнатих вредности тражених величина (праваца, дужина) у две варијанте мреже су једнаке,

Ha: дисперзије изравнатих вредности тражених величина (праваца, дужина) у две варијанте мреже нису једнаке.

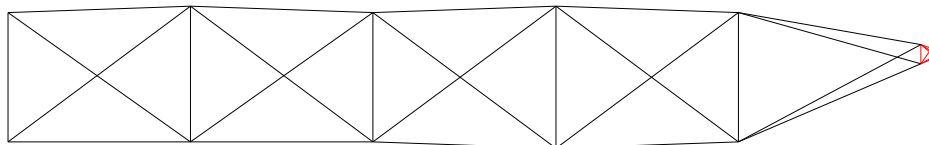
Дисперзије, у случају нулте хипотезе, следе *F* расподелу са f_1 и f_2 степени слободе.

$$H_0: F_{f_1; f_2} = \frac{m_{F_1}^2}{m_{F_2}^2} \sim F_{1-\alpha; f_1; f_2}$$

Анализа се врши за ниво значајности $\alpha=0.05$ и $\alpha=0.01$. Број степени слободе зависи од броја и врсте мерених величина у 2Д мрежи. Разматрају се све комбинације варијанти мрежа, којих има укупно шест, за сваки модел геодетске 2Д мреже.

5.1 МОДЕЛ 1

Први модел 2Д геодетске мреже представља микротригонометријску мрежу коју сачињава пет тачака и са које се осматра пет тачака на објекту. Проширена мрежа добија се додавањем још десет тачака дуж акумулације. Оригинални план опажанја обухвата само опажанје праваца у мрежи док нови план опажанја обухвата опажанје праваца и мерење дужина. На слици 1 приказан је облик геодетске 2Д мреже. Просечна дужина стране у почетној мрежи износи приближно 200 м, док просечна дужина стране у проширеном делу мреже износи приближно 2300 м. Облик мреже приказан је на слици 1.



Слика 1. Облик мреже – модел 1
Figure 1. Shape of the network – model 1

У табели 1. дате су вредности средњих грешака изравнатих праваца и дужина између тачака на брани. У табели 2. дати су резултати тестирања хипотеза о једнакости средњих грешака тражених величина.

Једнакост тачности тражених величина, у првом разматраном моделу, добија се за:

- почетну мрежу и почетни план опажанја (варијанта 1) и нову мрежу када се у почетном делу мреже примењује почетни план опажанја (варијанта 3) и
- почетну мрежу са новим планом опажанја и нову мрежу са новим планом опажанја.

geodetic technology with highest performances which could be find on the market:

- For directions $s_p = 0.5''$ and
- For distances $s_d = 0.6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$.

Comparison will be performed by testing statistical hypothesis about equality of dispersion (Г.Перовић, 1984). Hypothesis are:

Ho: Dispersions of adjusted values (directions, distances) are equal in two variants of networks,

Ha: Dispersions of adjusted values (directions, distances) are not equal in two variants of networks.

Dispersions, in the case of null hypothesis, are following the *F* distribution with f_1 and f_2 degrees of freedom.

So we have:

Analysis is being done for significancy levels $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$. degrees of freedom are dependent of the number and kind of measured values in the particular 2D geodetic network. Every combination of 2D geodetic networks is considered, six is amount.

5.1 MODEL 1

The first model of 2D geodetic network is micro-trigonometric consisted of five points from which the five points on a large dam are monitored. Enlarged geodetic network is given by additional ten points in reservoir zone, five on each side of it. The original measurement plan includes only directions, while new measurement plan include directions measurement and distance measurement as well. On the figure 1 the shape of geodetic 2D network for model 1, is given. Average distance in this model is approximately 200 m in network for dam monitoring and approximately 2300 m in enlarged part of the network.

У осталим варијантама добија се већа тачност одређивања тражених величина када се примењује нова мрежа са новим планом опажања.

measurement plan.

Other variants give a better accuracy of researched values.

Табела 1. Резултати анализе геодетске 2Д мреже (модел 1) средње грешке функција изравнатих праваца и дужина
Table 1. Results of 2D geodetic network analysis (model 1) of mean error of considered directions and distances

Варијанта (Variant)		1 $f_1 = 24$		2 $f_2 = 68$		3 $f_3 = 91$		4 $f_4 = 138$	
Од (From)	До (To)	m_p	m_d	m_p	m_d	m_p	m_d	m_p	m_d
1	2	1,22	0,40	0,71	0,29	0,90	0,39	0,76	0,29
2	3	1,38	0,38	0,80	0,28	1,02	0,40	0,86	0,29
3	4	1,74	0,39	1,14	0,28	1,54	0,44	1,31	0,29
4	5	1,60	0,47	0,97	0,28	1,56	0,49	1,30	0,31
Средина (Variage)		1,49	0,41	0,90	0,28	1,25	0,43	1,06	0,29

Табела 2. Резултати анализе геодетске 2Д мреже (модел 1) резултати тестирања хипотеза
Table 2. Results of geodetic 2D network analysis (model 1) results of hypothesis testing

	$\bar{m}_p(V_i) = \bar{m}_p(V_j)$	H_0	$\bar{m}_d(V_i) = \bar{m}_d(V_j)$	H_0
1	2,7021	НЕ	2,1249	НЕ
2	1,4020	ДА	1,0829	ДА
3	1,9737	НЕ	1,9737	НЕ
4	1,9274	НЕ	2,3012	НЕ
5	1,3691	ДА	1,0900	ДА
6	1,4078	НЕ	2,1111	НЕ

5.2 МОДЕЛ 2

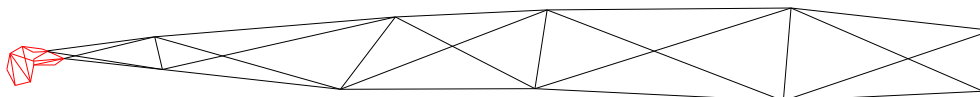
Други модел 2Д геодетске мреже представља микротригонометријску мрежу коју сачињава пет тачака и са које се осматра пет тачака на објекту. Проширена мрежа добија се додавањем још десет тачака дуж акумулације. Оригинални план опажања обухвата само опажање праваца у мрежи док нови план опажања обухвата опажање праваца и мерење дужина. На слици 1 приказан је облик геодетске 2Д мреже. Просечна дужина стране у почетној мрежи износи приближно 400 м, док просечна дужина стране у проширеном делу мреже износи приближно 3300 м. Облик мреже приказан је на слици 2.

У другом разматраном моделу геодетске 2Д мреже скоро да нема варијанти са једнаком тачношћу одређивања тражених величина осим праваца у варијанти 2. У овом случају средње вредности грешака функција изравнатих величина нису добри показатељи квалитета мреже због великих разлика између минималних и максималних вредности средњих грешака тражених величина и потребне су додатне и детаљне анализе како би се донели коначни закључци и одлуке о коришћењу овог модела геодетске 2Д мреже за истовремено праћење понашања бране и акумулације.

5.2 MODEL 2

Second model of geodetic 2D network represents micro-trigonometric network consisted of thirteen points. Enlarged network is consisted of ten points near the reservoir, five points on each side of it. Originally measurement plan is to measure only directions, while the new measurement plan is to measure directions and distances. Figure 2 shows the shape of geodetic 2D network. Average distance in this model is approximately 400 m in network for dam monitoring and approximately 3300 m in enlarged part of the network. In table 3 the values of mean errors of adjusted directions and distances between points on dam are given. In table 4 the results of hypothesis testing about equality of mean error of directions and distances.

In the second considered model of 2D geodetic network there is almost no variant with equally accuracy of researched values, except the directions in variant 2. In this case the average values are not good criteria of geodetic network quality because of big difference between minimum and maximum values of mean square errors of directions and distances. This case needs additional detailed analysis before the decision about how to monitor dam and zone of reservoir influence.



Слика 2. Облик мреже – модел 2
Figure 2. Shape of the network – model 2

Табела 3. Резултати анализе геодетске 2Д мреже (модел 2) средње грешке функција изравнатих праваца и дужина

Table 3. Results of 2D geodetic network analysis (model 2) of mean error of considered directions and distances

Варијанта (Variant)		1 $f_1 = 47$		2 $f_2 = 140$		3 $f_3 = 112$		4 $f_4 = 210$	
Од (From)	До (To)	m_p	m_d	m_p	m_d	m_p	m_d	m_p	m_d
1	2	1,03	0,86	0,41	0,39	0,74	0,98	0,37	0,63
2	3	1,32	0,96	0,83	0,52	1,22	0,91	0,87	0,61
3	4	1,69	0,98	1,18	0,52	2,45	1,26	1,46	0,61
4	5	2,70	0,99	1,74	0,46	3,54	1,59	2,31	0,58
Средина (Average)		1,68	0,95	1,04	0,47	1,99	1,19	1,25	0,61

Табела 4. Резултати анализе геодетске 2Д мреже (модел 1) резултати тестирања хипотеза

Table 4. Results of geodetic 2D network analysis (model 2) results of hypothesis testing

	$\bar{m}_p(V_i) = \bar{m}_p(V_j)$	H_0	$\bar{m}_d(V_i) = \bar{m}_d(V_j)$	H_0
1	2,6281	НЕ	4,0455	НЕ
2	1,3938	ДА	1,5545	НЕ
3	1,8109	НЕ	2,4378	НЕ
4	3,6630	НЕ	6,2887	НЕ
5	1,4512	НЕ	1,6595	НЕ
6	2,5241	НЕ	3,7895	НЕ

5.3 МОДЕЛ 3

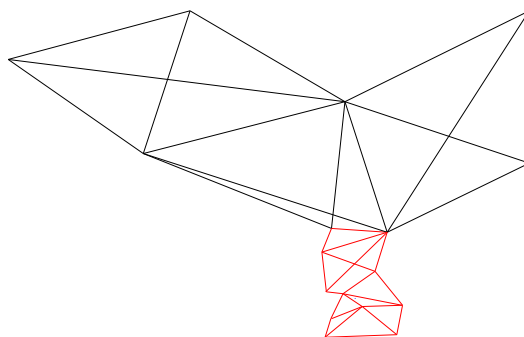
Трећи модел 2Д геодетске мреже представља микротригонометријску мрежу коју сачињава дванаест тачака и са које се осматра пет тачака на објекту. Проширена мрежа добија се додавањем још седам тачака дуж акумулације. Оригинални план опажања обухвата само опажање праваца у мрежи док нови план опажања обухвата опажање праваца и мерење дужина. На слици 3 приказан је облик геодетске 2Д мреже. Просечна дужина стране у почетној мрежи износи приближно 200 м, док просечна дужина стране у проширеном делу мреже износи приближно 1000 м. У табели 5 дате су вредности средњих грешака изравнатих праваца и дирекционих углова тачака на брани. У табели 6 дати су резултати тестирања хипотеза о једнакости средњих грешака праваца и дужина.

Једнакост тачности тражених величина, у трећем разматраном моделу, добија се за почетну мрежу и почетни план опажања (варијанта 1) и нову мрежу са новим планом опажања (варијанта 4).

5.3 MODEL 3

Third model of 2D geodetic network represents the micro-trigonometric network consisted of twelve points. Enlarged network is consisted of additional seven points near reservoir. Originally measurement plan includes only directions measurement, while new measurement plan includes directions and distance measurement. Figure 3 shows the shape of geodetic 2D network. Average distance in this model is approximately 200 m in network for dam monitoring and approximately 1000 m in enlarged part of the network. In table 5 the values of mean errors of adjusted directions and distances between points on dam are given. In table 6 the results of hypothesis testing about equality of mean error of directions and distances.

Equality of accuracy for searched values, in third model, is for network for dam monitoring and measurement plan with measured directions only (variant 1) and for measurement plan for new enlarged geodetic network with measured directions and distances (variant 4).



Слика 3. Облик мреже – модел 3
Figure 3. Shape of the network – model 3

Табела 5. Резултати анализе геодетске 2Д мреже (модел 3) средње грешке функција изравнатих праваца и дужина

Table 5. Results of 2D geodetic network analysis (model 3) of mean error of considered directions and distances

Варијанта (Variant)		1 $f_1 = 59$		2 $f_2 = 161$		3 $f_3 = 94$		4 $f_4 = 203$	
Од (From)	До (To)	m_p	m_d	m_p	m_d	m_p	m_d	m_p	m_d
1	2	0,47	0,39	0,37	0,30	1,53	0,77	0,45	0,41
2	3	1,67	0,41	1,53	0,33	2,02	0,71	1,57	0,40
3	4	1,67	0,42	1,55	0,33	3,14	0,81	1,71	0,40
4	5	1,85	0,44	1,67	0,33	4,20	0,87	1,88	0,40
Средина (Average)		1,42	0,42	1,28	0,32	2,72	0,79	1,40	0,41

Табела 6. Резултати анализе геодетске 2Д мреже (модел 3) резултати тестирања хипотеза

Table 6. Results of geodetic 2D network analysis (model 3) results of hypothesis testing

	$\bar{m}_p(V_i) = \bar{m}_p(V_j)$	H_0	$\bar{m}_d(V_i) = \bar{m}_d(V_j)$	H_0
1	1,2272	ДА	1,6548	НЕ
2	3,7009	НЕ	3,6145	НЕ
3	1,0184	ДА	1,0503	ДА
4	4,5419	НЕ	5,9813	НЕ
5	1,2051	ДА	1,5755	НЕ
6	3,7690	НЕ	3,7963	НЕ

6 ЗАКЉУЧАК

На основу приказаних анализа закључујемо следеће:

- проширење геодетске 2Д мреже модела 1 има за последицу постизање боље тачности тражених величина у односу на почетну варијанту;
- проширење геодетске 2Д мреже модела 2 има за последицу постизање боље тачности тражених величина у односу на почетну варијанту;
- проширење геодетске 2Д мреже модела 3 има за последицу постизање исте тачности тражених величина у односу на почетну варијанту;
- осим за модел 3, све појединачне оцене тачности тражених величина веће су за проширену мрежу у односу на почетну мрежу и
- постојећа одступања у појединим моделима која се огледају у чињеници да се за поједине моделе хипотезе о једнакости тачности праваца прихва-

6 CONCLUSION

According to the results of analysis it could be concluded as the following:

- Enlargement of 2D geodetic network for model 1 gives the better results compared to network for dam monitoring only;
- Enlargement of 2D geodetic network for model 2 gives the better results compared to network for dam monitoring only;
- Enlargement of 2D geodetic network for model 3 gives the better results compared to network for dam monitoring only;
- Except model 3 all estimate of accuracy are better for enlarged network related with starting network and
- Existing deviations in results for achieved accuracy of directions and distances which resulting in rejections some of hypothesis are the base for further investigations in this field.

тају док се хипотезе о једнакости тачности дужина одбацују указују на неопходност додатних истраживања у овој области.

Генерално се може закључити да је, уз примену најсавременијих геодетских инструмената, могуће извршити проширење геодетских 2Д мрежа и осматрање брана и акумулација у истом координатном систему без угрожавања конзистентности историјских података о стању и понашању брана. Наглашавамо да се поменути закључци односе само на разматране случајеве, који су моделски и који у пракси могу имати значајна одступања те је неопходно посебно анализирати сваку конкретну геодетску 2Д мрежу и њено евентуално проширење. Процењујемо да значај овог рада треба тражити у чињеници да се на садашњем развоју геодетске технологије може проширити задатак осматрања великих брана и на осматрање тла и објеката у зони дејства акумулација, без угрожавања конзистентности историјских закључака.

7 ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Тригонометријске и полигонометријске мреже у градовима СР Црне Горе (Монографија) / Н. Братуљевић, Р. Мркић, // Грађевински факултет, 1984, Београд
- [2] *Геодезија II, I део* / К. Михаиловић // Грађевинска књига, 2. Издање, 1981, Београд
- [3] *Геодезија II, II део* / К. Михаиловић // Грађевинска књига, 2. Издање, 1982, Београд
- [4] *Геодезија III* / К. Михаиловић // Научна књига, 1985, Београд
- [5] *Геодезија, Изравнање геодетских мрежа* / К. Михаиловић // Научна књига, 1990, Београд
- [6] *Деформациона анализа геодетских мрежа* / К. Михаиловић, И.Р., Алексић // Грађевински факултет, 1994, Београд
- [7] *Оптимизација пројектовања геодетских мрежа* / Т. Нинков // Научна књига, 1989, Београд
- [8] *Сингуларна изравнања* / Г. Перовић // Научна књига, 1986, Београд
- [9] *Метод најмањих квадрата* / Г. Перовић // Грађевински факултет, 2005, Београд
- [10] *Concepts of network and deformation analysis* / W.F. Caspary // School of Surveying The University of New South Wales, Kensington, Australia 1987
- [11] *Коефицијент рефракције при тригонометријском одређивању висинских разлика преко Дунава* / В. Миловановић, Ч. Цвијовић // Саветовање: основни геодетски радови и опрема за њихово извођење, 1987, Струга
- [12] *Тестполигон Рам за нивелман преко великих водених површина* / В. Миловановић, Д.В. Глишић // Саветовање: основни геодетски радови и опрема за њихово извођење, 1987, Струга

РЕЗИМЕ

ЗАЈЕДНИЧКО ГЕОДЕТСКО ОСМАТРАЊЕ ВЕЛИКИХ БРАНА И АКУМУЛАЦИЈА

Жарко НЕСТОРОВИЋ
Милан ТРИФКОВИЋ

Заједничко геодетско осматрање великих брана и акумулација није било предмет значајних разматрања у постојећој пракси и литератури у Србији. Претпоставка аутора овог рада јесте чињеница да је геодетска технологија у прошлости била главни ограничавајући фактор интегралног приступа заједничком геодетском осматрању великих брана и њихових акумулација. У овом раду се под заједничким осматрањем подразумева постојање и реализација геодетских мрежа које су пројектоване да одговоре захтевима праћења понашања тачака које апроксимирају велику брану и зону дејства акумулације и у којима се мерења врше по јединственом плану опажања у свакој серији мерења. Циљ овог рада јесте да истражи могућности заједничког осматрања великих брана и њихових акумулација са аспекта савремених технолошких могућности као и да истражи да ли проширење 2Д геодетских мрежа може да угрози конзистентност историјских закључака о стању и понашању великих брана.

Кључне речи: 2Д геодетске мреже, велике бране, акумулације

SUMMARY

COMMON GEODETIC MONITORING OF LARGE DAMS AND RESERVOIRS

Zarko NESTOROVIC
Milan TRIFKOVIC

Common geodetic monitoring of large dams and its reservoirs was not a subject of considerable consideration in praxis and literature in Serbia. This paper author's presumption is that development level of geodetic technology in the past was major limited factor on integrally approach for common monitoring large dams and their reservoirs. In this paper "common monitoring" means that geodetic network exist and is being realized aiming to determine behavior of points which approximate large dam and zone of its reservoir influence. The measurements in that network should be realized according to unique measurement program in any series. Goal of this paper is to research the possibilities of common monitoring dams and their reservoirs influence area according to contemporary geodetic technology and to investigate if enlargement of geodetic 2D networks could deteriorate the historical conclusions about state of art and behavior of large dams.

Key words: 2D geodetic networks, large dams, reservoirs

NEKA SVOJSTVA BETONA ULTRA VISOKIH ČVRSTOĆA

SOME PROPERTIES OF ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE

Ksenija JANKOVIC
Dragan NIKOLIC
Dragan BOJOVIC
Ljiljana LONČAR

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 620.173:691.32 = 861

1 UVOD

Razvoj novih građevinskih materijala, a posebno kompozitnih materijala sa cementnom matricom omogućava projektovanje i izvođenje sve složenijih i zahtevnijih konstrukcija. Upotreba ovakvih materijala sa znatno poboljšanim fizičko-mehaničkim svojstvima ostavlja projektantima širi spektar mogućih rešenja, a konstrukciju čini racionalnijom, trajnijom i estetski prihvatljivijom. Mogućnosti primene raznih vrsta vlakana (polipropilenska, čelična, staklena,...) u kompozitnim materijalima privukla je pažnju velikog broja istraživača širom sveta [1,2].

Krajem osamdesetih godina prošlog veka betoni visokih svojstava (HPC) su se pojavili kao novi materijali u gradnji industrijskih hala i marketa, a u odnosu na klasični beton sadržali su silikatnu prašinu. Primena superplastifikatora novih generacija je omogućila manju količinu potrebne vode u svežoj mešavini. Sa znatno smanjenim vodovezivnim faktorom ovaj beton je bio obradljiv, a čvrstoća pri pritisku u starosti od 28 dana iznosila je preko 70 MPa. Trajnost je takođe bila poboljšana u odnosu na klasične betone [2].

Krajem prošlog veka razvijena je nova vrsta betona, čiji je vodovezivni faktor bio ispod 0.2, sa čvrstoćama pri pritisku većim od 150 MPa, sa većim sadržajem cementa sa povećanom finoćom mliva kao vezivnog materijala i dodatnim sadržajem silikatne prašine nazvana betoni ultra visokih svojstava (UHPC), odnosno betoni

Dr Ksenija Janković, dipl.inž.građ. Institut IMS, Beograd,
ksenija.jankovic@institutims.rs
Dragan Nikolić, dipl.inž.građ., Institut IMS, Beograd
dragan.nikolic@institutims.rs
Dragan Bojović, dipl.inž.građ., Institut IMS, Beograd
dragan.bojovic@institutims.rs
Ljiljana Lončar, dipl.inž.građ., Institut IMS, Beograd
liljana.loncar@institutims.rs

1 INTRODUCTION

The latest technical innovations in building materials, especially cement based composites; satisfy increasingly sophisticated requirements in design and construction. The use of these products with significantly improved physical-mechanical properties provides design engineers wider spectrum of offered solutions; while construction itself becomes the construction with better cost control, durability and better esthetic properties. An opportunity to use different types of fibers (polypropylene, steel, glass) at composites production gained interest at large number of scientists worldwide [1, 2].

In 1980s High Performance Concrete (HPC) was launched as new material applied in production plants and trade centers construction, with silica fume content, as main characteristic compared to ordinary concrete. Application of superplasticizers that belong to the group of new superplasticizers generation, enabled lower water content that is needed for fresh mixture. With significantly decreased water/binder ratio this concrete was workable, and compressive strength, at 28 days age, was over 70 MPa. Durability was improved compared to the ordinary concrete, as well [2].

Twenty years later, the new kind of concrete was generated, with water/binder ratio that was lower than 0.2, with compressive strength that was higher than 150 MPa, with higher content of cement with increased fineness of grinding, and silica fume that was added; it

Ksenija Jankovic, Ph.D, M.Sc., B.Sc.Civ.Eng, Institute IMS, Belgrade, ksenija.jankovic@institutims.rs
Dragan Nikolic, B.Sc.Civ.Eng, Institute IMS, Belgrade, dragan.nikolic@institutims.rs
Dragan Bojovic, B.Sc.Civ.Eng, Institute IMS, Belgrade, dragan.bojovic@institutims.rs
Ljiljana Loncar, B.Sc.Civ.Eng, Institute IMS, Belgrade, liljana.loncar@institutims.rs

ultra visokih čvrstoća (UHSC). Razvoj hemijskih dodataka u betonu je omogućio tako značajnu redukciju vode. Mnogi autori u svetu od tada intenzivno proučavaju njihova svojstva, strukturu i tehnologiju izrade. Od običnih betona se razlikuje prema sastavu, strukturi, načinu izrade i nege, a karakteriše ih relativno visoka cena po 1m^3 mešavine [3].

Upotrebom UHSC povećava se stepen iskorišćenosti prirodnih materijala [4], jer se dobija materijal sa visokim mehaničkim karakteristikama koji je ujedno i otporan na hemijsku koroziju. Primena ovog materijala može biti opravdana i sa ekonomskog aspekta pošto su dimenzije elemenata znatno manje, a elementi trajniji i otporniji na agresivne uticaje sredine.

2 PRAVILA ZA PROJEKTOVANJE I ODABIR KOMPONENTNIH MATERIJALA

Za postizanje većih vrednosti čvrstoća pri pritisku potrebna je posebna pažnja pri izboru i kompatibilnosti komponentnih materijala (cement, agregat, mineralni i hemijski dodaci, vlakna) i tehnologije betona (proizvodnja, ugradnja, nega, transport, kontrola kvaliteta). Iz tih razloga je projektovanje sastava i proizvodnja betona ultra visokih čvrstoća složeniji posao od istog postupka kod klasičnog betona.

Mehanička svojstva ovog betona se povećavaju upotrebom kvalitetnih komponentnih materijala, povećanjem broja kontakata između čestica, homogenizacijom mešavine, a samim tim i redukovanjem poroznosti i defekata unutar strukture. Povećanje broja kontakata između čestica i homogenizacijom betona moguće je ostvariti upotrebom velike količine veziva, redukovanjem vodovezivnog faktora, smanjivanjem ukupne količine agregata i veličine najvećeg zrna agregata [9]. Smanjenje poroznosti postiže se upotrebom niskoga vodovezivnog faktora i upotrebom superplastifikatora, ali uz uslov da se osigura potrebna obradljivost u svežem stanju, te zamenom dela cementa pucolanskim dodacima.

Dodatkom znatno manje količine vode u sadržaj mešavine nego kod klasičnog betona smanjuje se razmak između čestica cementa i mineralnih dodataka u svežem stanju. Na taj se način smanjuje se i kapilarna poroznost, a mnogo je manji i prostor koji moraju popuniti produkti hidratacije.

Smanjenje vodovezivnog faktora i upotreba mineralnih dodataka pozitivno utiču i na poboljšanje mehaničke veze cementnog kamena i agregata, kao najslabije karike u strukturi ovog betona. Najbolji mineralni dodatak je silikatna prašina koja sa vrlo malim česticama (10-ak puta manjim od zrna cementa) i velikom specifičnom površinom utiče na povećanje sadržaja u mešavini koji okružuje cementne čestice i povećanjem reaktivnosti na ubranu hidrataciju. Osim toga silikatna prašina reaguje sa slobodnim CaO, najboljim sastojkom cementa, stvarajući pritom CSH gel.

Hidrotermalna obrada uzoraka može negativno uticati na trajnost ovog materijala, a uzrok tome može

was new product category, named Ultra High Performance Concrete (UHPC), or Ultra High Strength Concrete (UHSC). Innovations in chemical admixtures for concrete and mortar enabled crucial decrease in water content. Since that time, many scientists and investigators worldwide have investigated the properties, structure and manufacturing technology. Compared to the ordinary concrete there is difference in constituent components, structure, manufacturing technology and curing regime, there is relatively high cost per 1m^3 of concrete [3].

Application of UHSC increases the amount of natural component materials that are used [4], as in this way material with high mechanical properties, with high level of corrosion resistance is obtained. Financially, this type of material can provide cost control, as its dimensions are significantly lower, produced elements have increased durability as well as aggressive environment influence resistance.

2 RECOMMENDATION FOR DESIGN AND CHOICE OF COMPOSITE MATERIALS

In order to obtain higher compressive strength, while choosing mixture components, compatibility and other factors must be considered regarding component materials (cement, aggregate, mineral and chemical admixtures, fibers) and concrete technologies (production, workability, curing, transportation, quality control). Thus, Ultra High Performance Concrete design, and concrete production are more complex technological requirements, than in the case of ordinary concrete.

These concrete's mechanical properties are increased if the high quality component materials are used, if the number of particle interactions is increased, by mixture homogenization, at the same time by decreasing of structural failures and by porosity decrease. Increase of particle number interactions and better concrete homogenization can be provided by high content of binder, by decrease of water/binder ratio, by decrease of total aggregate amount and by maximum aggregate size decrease [9]. Porosity decrease is obtained if low water/binder ratio is used, if superplasticizers are applied, in the case that the request considering the certain level of workability in fresh concrete is fulfilled; and if partial cement content replacement by pozzolane additives was made.

Significantly lower amount of water added to the mixture than in the case of ordinary concrete, decreases the distance between cement particles and mineral additives in the state of fresh concrete. In this way capillary porosity decreases, and space that should be filled by hydration products decreases significantly, as well.

Water/binder ratio decrease and mineral additives applications improve the mortar and aggregate mechanical binding, which is the critical point in this concrete's structure. Silica fume is the best mineral additive because of its extremely small particle size (approximately 10 times smaller than cement particles) and its large specific surface. Thus silica fume influences surrounding of cement particles and increases hydration due to increased reactivity. Additionally silica fume gets in chemical reaction with free CaO Molecules, which are the cement's ingredients with low properties. As a result

biti smanjena vlažnost u uzorku tokom zaparivanja, odnosno visok sadržaj silikatne prašine u mešavini [4].

Povećanjem vrednosti čvrstoće pri pritisku betona raste i njegova krtoš. Ova pojava se može rešiti dodatkom vlakana u sastav betona. Glavni razlog upotrebe vlakana u slaboj, krtoj matrici je poboljšanje duktilnosti cementne matrice. Intenzitet poboljšanja svojstava zbog mikroarmiranja vlaknima varira zavisno od količine i vrste dodanih vlakana, prionljivosti vlakana i cementne matrice i kvaliteta same cementne matrice.

Da bi se dobili betoni ultra visokih čvrstoća, čije su čvrstoće pri pritisku veće od 150 MPa, potrebno je, osim prethodno nabrojenog, držati se i sledećih osnovnih načela [1,3]:

- povećanje homogenosti eliminisanjem krupnog agregata
- povećanje zapreminske mase ugrađenog betona optimizacijom granulometrijskog sastava tako da se postigne najveća kompaktnost
- poboljšanje mikrostrukture hidrotermalnom obradom ugrađenog betona
- količina vode u betonu maksimalno se smanjuje pa tako ta količina nije dovoljna za hidrataciju cementa; ovo načelo dovodi do toga da se smanjuje količina slobodne vode koja isušivanjem može dovesti do stvaranja mikroprslina, a nehidratizovani cement se ponaša kao reaktivni mikroagregat visokog modula elastičnosti koji može naknadno hidratizovati
- poboljšanje duktilnosti dodavanjem veće količine vlakana.

3 EKSPERIMENTALNI RAD

3.1 Komponentni materijali i njihova svojstva

U eksperimentalnom radu su korišćeni isključivo komponentni materijali dostupni u Srbiji. Prethodnim ispitivanjima je potvrđena njihova kompatibilnost. Za spravljanje mešavina upotrebljena je voda iz gradskog vodovoda.

3.1.1 Cement

U eksperimentalnom radu korišćene su tri vrste cementa:

- Cement 1: CEM I 42.5R Lafarge BFC Beočin Srbija
- Cement 2: CEM I 52.5R Lafarge Lukavac Bosna i Hercegovina
- Cement 3: CEM I 52.5R Nexe Grupa Našice Cement Hrvatska

U Tabeli 1 data su hemijska, fizička i mehanička svojstva upotrebljenih cementa.

of this chemical process C-S-H gel is obtained .

Steam-curing regime applied on these samples can affect negatively the material's durability; and the main cause for this process might be decreased humidity, actually high silica fume content in the mixture [4].

By increased compressive strength, its brittleness increases as well. This problem can be solved by adding fibers to the concrete composition. Main cause for fiber applications at low quality, brittle matrix is improvement of ductile characteristics of concrete matrix. Improvement due to fiber reinforcing varies depending on amount and type of fibers added, fiber's adhesive characteristics, matrix adhesive characteristics and the quality of cement matrix itself.

In order to get Ultra High Strength Concrete, with compressive strength higher than 150 MPa [6], the previously mentioned recommendations, as well as the principles that are listed below should be considered [1.3]:

- homogeneousness increase is provided by coarse aggregate elimination
- concrete bulk density increase is obtained by grain size distribution optimization, in order to provide the highest level of compaction
- micro-structure improvement is obtained by steam curing regime
- There is max decrease in concrete water content, and this amount is not sufficient for cement hydration; this is the cause for free water content decrease, thus by its evaporation micro cracks might occur. The non hydrated cement acts as a reactive micro aggregate, with high modulus of elasticity, which can be hydrated additionally.
- ductile properties are improved when higher amount of fibers is added.

3 EXPERIMENTAL WORK

3.1 Component Materials and Their Properties

Component materials that are available in Serbian market are used for this part of work. Previous trials confirmed their compatibility. Water that is used for mixture production is potable water.

3.1.1 Cement

Three kinds of cement were used in this part of work:

- Cement 1: CEM I 42.5R Laffarge BFC, Beočin, Serbia
- Cement 2: CEM I 52.5R Laffarge, Lukavac, Bosnia and Herzegovina
- Cement 3: CEM I 52.5R Nexe Grupa, Našice Cement, Croatia

Table 1. gives chemical, physical and mechanical properties of the cements that are used.

Tabela 1. Hemijska, fizička i mehanička svojstva upotrebljenih cementa
Table 1. Chemical, physical and mechanical properties of the cements

		Cement		
		Cement 1	Cement 2	Cement 3
Hemijski sastav % Chemical composition %	SiO ₂	20.59	18.62	-
	Al ₂ O ₃	6.10	6.89	-
	Fe ₂ O ₃	2.81	3.91	-
	CaO	63.44	56.37	-
	MgO	1.89	1.98	-
	Na ₂ O	0.29	-	-
	SO ₃	2.69	2.33	2.85
	Cl ⁻	0.003	-	0.006
Fizička svojstva Physical properties	Zap. masa [kg/m ³] (bulk density)	1470	-	-
	Spec.površ. [cm ² /g] (Spec.surface)	4120	3351	4510
Čvrstoća pri pritisku [N/mm ²] Compressive strength [MPa]	2 dana (days)	29.9	-	28.5
	7 dana (days)	47.2	-	-
	28 dana (days)	61.6	56.24	55.1
Čvrstoća na zatezanje savijanjem [N/mm ²] Flexural strength [MPa]	2 dana (days)	7.0	-	-
	7 dana (days)	7.8	-	-
	28 dana (days)	9.8	9.54	-

3.1.2 Agregat

Za spravljanje mešavina korišćen je kvarcni pesak kao komercijalni proizvod firme Kaolin Valjevo, granulacije od 0-0.5mm. Ispitivanjem granulometrijskog sastava oko 70% zrna agregata se nalazi između 0.2 i 0.4mm. Fizičko-hemijska svojstva kvarcnog peska data su u Tabeli 2.

3.1.3 Silikatna prašina

Kao sekundarno vezivo korišćena je silikatna prašina SikaFume HR, švajcarskog proizvođača Sika. Prema tehničkom listu proizvođača zapremnska masa iznosi 700 kg/m³, a preko 95% čestica je veličine ispod 0.1µm.

3.1.4 Hemijski dodaci

Upotrebljena su četiri superplastifikatora:

- Superplastifikator 1: Mapei Dynamon SX
- Superplastifikator 2: Mapei Dynamon NRG 100
- Superplastifikator 3: Sika Viscocrete 20HE
- Superplastifikator 4: Sika Viscocrete 5800

Hemijski dodaci su pomešani sa vodom dodavani u betonsku mešavinu.

3.1.2 Aggregates

Quartz sand, grained (0-0.5mm), that is commercial product, marketed by Kaolin Valjevo, was used for mixture preparation. Particle distribution testing showed that size of approximately 70% aggregate particles was between 0.2 and 0.4mm. Quartz sand physical-chemical properties are listed in Table 2.

3.1.3 Silica Fume

As secondary binder, silica fume SikaFume HR, Sika, Switzerland, was used. According to manufacturer's technical specification bulk density is 700 kg/m³, and size of more than 95% particles is smaller than 0.1µm.

3.1.4 Chemical Admixtures

Four superplasticizers were used:

- Superplasticizer 1: Mapei Dynamon SX
- Superplasticizer 2: Mapei Dynamon NRG 100
- Superplasticizer 3: Sika Viscocrete 20HE
- Superplasticizer 4: Sika Viscocrete 5800

Chemical admixtures were mixed with water and added to the concrete mixture.

Tabela 2. Fizičko-hemijski sastav kvarcnog peska
Table 2. Quartz sand physical-chemical properties

Komponenta (Component)	Kvarcni pesak (Quartz sand)
SiO ₂ %	97.54
Al ₂ O ₃ %	0.52
K ₂ O%	0.24
Fe ₂ O ₃ %	0.57
Specifična masa [kg/m ³] (Bulk specific gravity)	2695
Zapremnska masa [kg/m ³] (Bulk density)	1330

3.1.5 Čelična vlakna

Korišćena su ravna čelična vlakna (dužina/prečnik = 8/0.175 mm) čija je otpornost pri vučenju $\approx 3000 \text{ N/mm}^2$. Čelična vlakna su obložena mesingom da bi se povećala trajnost i otpornost na koroziju u betonu. Čelična vlakna su komercijalni proizvod srpske firme „Spaić“.

3.2 Sastav betona ultra visokih čvrstoća

Istraživanje je sprovedeno na 16 različitih betonskih mešavina. Sastavi mešavina prikazani su u Tabeli 3. Svaka se pojedinačna mešavina spravljala po tri puta, da bi se pokazala ponovljivost rezultata ispitivanja pojedinih svojstava.

Sastav mešavina odabran je na temelju prethodnih istraživanja da bi se postigle čvrstoće pri pritisku betone ultravisokih čvrstoća. Korišćene su tri vrste cemenata i četiri superplastifikatora. Jedna serija uzoraka je izlagana hidrotermalnoj obradi da bi se uporedila svojstva sa uzorcima koji su nakon prvog dana odležavali u vodi na temperaturi od 20°C. Sve su se mešavine pripremale u standardnoj mešalici za cement i malter zapremine 5l. Sveža mešavina je ugrađivana u metalne kalupe za dobijanje uzoraka 4x4x16cm. Uzorci su zbijani na vibrostolu frekvencije 150 Hz.

3.1.5 Steel Fibers

Steel fibers were used (length/diameter = 8/0.175 mm); tensile strength $\approx 3000 \text{ MPa}$. Steel fibers are covered with brass in order to increase durability and resistance to concrete corrosion process. Steel fibers are manufactured and marketed by „Spaić“ company, Serbia.

3.2 Ultra High Strength Concrete Composition

Trial was performed in 16 different concrete mixtures. Mixture composition is shown in Table 3. Each of mixtures was produced three times, in order to follow the certain results tendency in uniformity and reproducibility.

Mixture composition was chosen according to the previous trials in order to provide compressive strength of Ultra High Strength Concrete. Three kinds of cements and four superplasticizers were used. One group of samples was exposed to steam curing regime in order to compare their properties with the properties of the samples that were kept in water, at 20°C, after day 1. All mixtures were made in standard cement and mortar mixer, volume 5l. Fresh mixture was molded, sample dimensions 4x4x16cm. Samples were placed by using vibration table, frequency 150 Hz.

Tabela 3. Sastav betonskih mešavina
Table 3. Concrete mixture composition

No.	Cement	Kol. (Amount) [kg]	Agregat (Aggregate) [kg]	Silikatna prašina (Silica fume) [kg]	Tip aditiva (Admixture)	Kol. (Amount) [kg]	Čelična vlakna (Steel fiber) [kg]	Voda (Water) [kg]	w/c	w/b
NUH4	cement 1	850	1180	100	Adm. 1	20.0	195	207.0	0.24	0.20
NUH5	cement 2	850	1160	100	Adm. 1	23.0	195	212.0	0.25	0.20
NUH7	cement 2	950	1045	110	Adm. 2	35.4	195	226.6	0.24	0.20
NUH8	cement 1	850	1095	170	Adm. 2	35.4	195	204.6	0.24	0.20
NUH9	cement 1	900	950	200	Adm. 2	34.6	330	198.4	0.22	0.18
NUH10	cement 2	900	950	200	Adm. 2	36.4	330	179.6	0.20	0.16
NUH11	cement 1	850	1050	185	Adm. 2	39.0	330	164.0	0.19	0.16
NUH12	cement 2	1050	900	230	Adm. 2	28.6	300	180.4	0.17	0.14
NUH13	cement 3	900	1050	200	Adm. 1	42.1	230	240.9	0.27	0.22
NUH14	cement 3	850	1020	185	Adm. 1	34.5	330	168.5	0.20	0.16
NUH15	cement 3	850	1020	185	Adm. 3	39.5	330	169.5	0.20	0.16
NUH16	cement 3	850	1020	185	Adm. 4	37.8	330	162.2	0.19	0.16

4 REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

4.1 Mehanička svojstva

Izvršena su ispitivanja betona u svežem i očvrslom stanju. Svih 16 mešavina su bile klase konzistencije S1. Temperatura betona u svežem stanju iznosila je između 22 i 25°C. Zapreminska masa svežeg betona iznosila je od 2610 do 2690 kg/m³. Čvrstoća na zatezanje pri savijanju je određena ispitivanjem na prizmama 4x4x16 cm, a čvrstoća pri pritisku modifikovanom metodom kocke (ispitna površina 4x4cm).

4 EXPERIMENTAL TRIAL RESULTS

4.1 Mechanical Properties

Fresh and hardened concrete testing was performed. All 16 mixtures were characterized with consistency class S1. Fresh concrete temperature was measured, and temperature was between 22°C and 25°C. Fresh concrete bulk density was between 2610 and 2690 kg/m³. Flexural strength was determined by testing at concrete prismatic specimens, dimension 4x4x16 cm; and compressive strength was determined by modified cube method (trial surface 4x4cm).

Tabela 4. Eksperimentalni rezultati
Table 4. Experimental results

Beton (Concrete)	Čvrstoća pri pritisku [N/mm ²] (Compressive strength [MPa])			Čvrstoća pri zatezanju savijanjem [N/mm ²] (Flexural strength [MPa])		
	3 dana 3 (days)	7 dana 7 (days)	28 dana 28 (days)	3 dana 3 (days)	7 dana 7 (days)	28 dana 28 (days)
NUH4	90.6	123.8	146.9	16.0	22.5	26.7
NUH5	87.5	113.1	136.3	18.3	23.3	23.9
NUH7	83.1	96.3	131.3	18.3	20.3	28.7
NUH8	88.8	128.1	148.2	15.8	24.8	29.5
NUH9	102.5	125.6	153.1	26.4	28.7	29.8
NUH10	103.1	125.6	155.0	23.1	25.3	25.9
NUH11	100.4	132.5	153.1	20.3	25.6	26.2
NUH12	98.8	123.8	154.4	17.7	21.1	21.9
NUH13	87.5	97.8	128.1	16.9	18.3	22.8
NUH14	88.1	96.9	146.9	20.0	23.6	32.6
NUH15	95.0	115.6	159.4	22.2	25.9	29.5
NUH16	82.5	93.8	170.9	19.7	25.3	30.1

4.2 Skupljanje

Odnos faza u heterogenom materijalu sa cementnom matricom ima značaj pri formiranju mikroprslina, a postaje značajniji kada se tokom hemijskih reakcija pojave i lokalna skupljanja. Sadržaj cementa u ovoj vrsti materijala je izuzetno visok, a da bi se postigle visoka mehanička svojstva usvajaju se izuzetno niski vodovezivni faktori. Visok sadržaj cementa može izazvati probleme sa skupljanjem. Dodavanjem silikatne prašine toplota hidratacije se smanjuje, a time i ublažavaju negativne pojave skupljanja.

Mineralni dodaci imaju različite mehanizme hidratacije u odnosu na cement, jer prvo reaguju sa vodom a potom sa kalcijum-hidroksidom stvarajući produkte hidratacije cementa kroz pucolansku aktivnost. Pri ovoj reakciji nastaje dodatni sadržaj C-S-H gela, smanjuje se toplota hidratacije, ali i usporava prirast čvrstoće u ranim starostima. Autogeno skupljanje u ovoj vrsti materijala predstavlja značajan udeo vrednosti ukupnog skupljanja [8]. Na prizmama 4x4x16 mm mešavine NUH16 izmereno je ukupno skupljanje kao zbir autogenog skupljanja i skupljanja usled sušenja od 0.635 mm/m.

4.3 Hidrotermalna obrada uzoraka u ranim starostima

Primena hidrotermalne obrade UHSC uslovljena je potrebom dobijanja visokih ranih čvrstoća, odnosno smanjenjem vremena nege ovog betona i svojstvena je samo u proizvodnji prefabrikovanih proizvoda.

Preliminarna istraživanja izlaganja uzoraka u kojima su umesto kvarcnog peska korišćen prirodni pesak, odnosno uzorci spravljeni bez dodavanja silikatne prašine čak i na povišenim temperaturama nisu dali značajnije rezultate mehaničkih svojstava.

4.2 Shrinkage

Phases' ratio at heterogeneous material with cement matrix is important at micro fractures forming; it becomes even more important when local shrinkage, that is caused by chemical reactions, occurs. Cement content at this type of material is extremely high, and in order to provide high mechanical properties, extremely low water/binder ratios are adopted. High cement content can cause the shrinkage problems. Hydration heat becomes lower by adding silica fume, thus the negative shrinkage effects decrease.

Cement hydration mechanisms are different when mineral additives are used, as they get into chemical reaction with water first, and with Calcium-hydroxide after that, providing cement hydrating products by puzzolan activity. At this chemical reaction an additional product C-S-H gel is formed, hydration heat is decreased, and strength increase rate at early age is slower.

Autogenous shrinkage at this type of material is significant part of total shrinkage value [8]. At prismatic specimens, dimensions 4x4x16 mm with mixture NUH16, total shrinkage was measured as sum of autogenous shrinkage and dry shrinkage and its value is 0.635 mm/m.

4.3 Steam Curing Regime at Early Age

UHSC steam curing regime is applied as high values of strength at early age are required, actually decrease in curing time for this concrete is applied, and it is the characteristic that is specific only for prefabricated products manufacturing.

Preliminary sample expositions trials performed on specimens with natural sand in concrete composition, instead of fabricated quartz sand, as well as samples that were made without silica fume as additive even at high temperatures did not provide any significant changes in mechanical properties.

Prema dozaži NUH16, nakon mešanja, svež beton je ugrađen u metalne kalupe. Nakon 6 sati odležavanja na temperaturi od 20°C, narednih 18 sati uzorci su izloženi temperaturi od 50°C. Uzorci su potom sledećih 6 dana bili izloženi temperaturi od 80°C, a potom su negovani u vodi na temperaturi od 20°C do starosti od 28 dana [4]. Relativna vlažnost sredine tokom termalne obrade uzoraka je iznosila 95%. U Tabeli 5. dati su rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava uzoraka podvrgnutih hidrotermalnoj obradi.

After mixing, according to NUH16 mix specification, fresh concrete was placed in metal moulds. The samples were kept at 20°C, for 6 hours, at 50°C for next 18 hours, at 80°C, for 6 days following, after that they were kept in water at 20°C for curing, until age of 28 days [4]. Relative ambience humidity during steam curing regime was 95%. Table 5 shows results that were provided by mechanical properties testing at samples that were treated by steam curing regime.

Tabela 5. Pritisna čvrstoća uzoraka izloženih režimu nege zaparivanjem
Table 5. Concrete strengths at samples exposed by steam curing regime

Beton (Concrete)	Čvrstoća pri pritisku [N/mm ²] (Compressive strength [MPa])			Čvrstoća pri zatezanju savijanjem [N/mm ²] (Flexural strength [MPa])		
	3 dana 3 (days)	7 dana 7 (days)	28 dana 28 (days)	3 dana 3 (days)	7 dana 7 (days)	28 dana 28 (days)
NUH16	165.0	175.3	190.9	33.8	35.2	37.4

4.4 Mikrostruktura

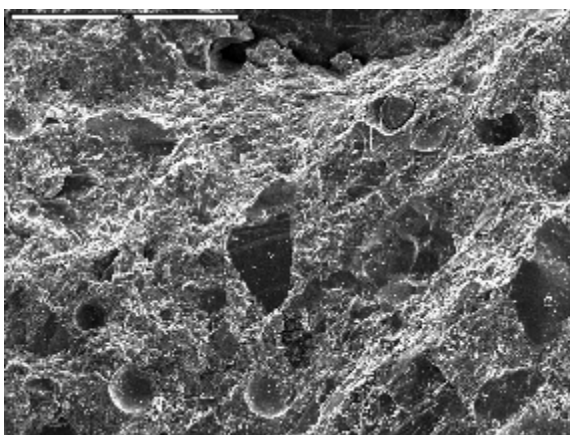
Na prikazanim betonskim mešavinama zapreminska masa je bila znatno veća u odnosu na klasične betone iako se na Slici 1. primećuje pore, kao posledice postojanja uvučenog vazduha, odnosno jedan od razloga postojanja pora je i što pri ugradnji uzorci nisu izlagani dodatnom pritisku. Na Slici 2 je prikazana zona prelaza između agregata i C-S-H faze. Može se uočiti pojava veoma malih mikroporslina na dodiru agregata i C-S-H faze koje se kao što je poznato mogu pojaviti i tokom pripreme uzorka [5].

U mikrostrukturi betona na Slici 3. se vidi da je raspored čeličnih vlakana nasumičan, što je tokom pripreme i mešanja uzoraka i bio cilj. Na slici 4. prikazana je zona prelaza između C-S-H faze i vlakna.

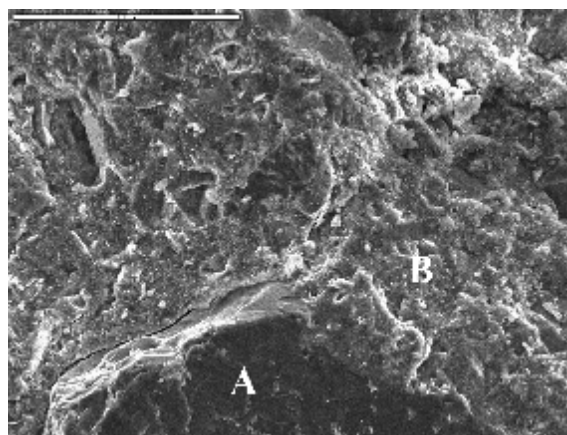
4.4 Microstructural Investigation

Concrete mixtures that were investigated showed bulk density that was significantly higher compared to the ordinary concrete, besides the fact that pores can be noticed (Figure 1); the pores were generated due to entrained air, as samples were not exposed to additional compression. Figure 2 shows transition zone between aggregate and C-S-H phase. Microcracks can be observed at bond between aggregate and C-S-H phase, they can also occur during sample preparation, and it is confirmed by previous investigations [5].

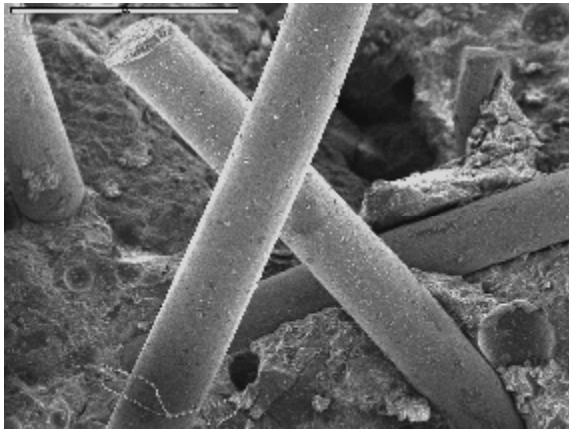
Figure 3 shows random steel fiber distribution, this type of distribution was planned during sample design and mixing. Figure 4 shows transition zone between C-S-H phase and fiber.



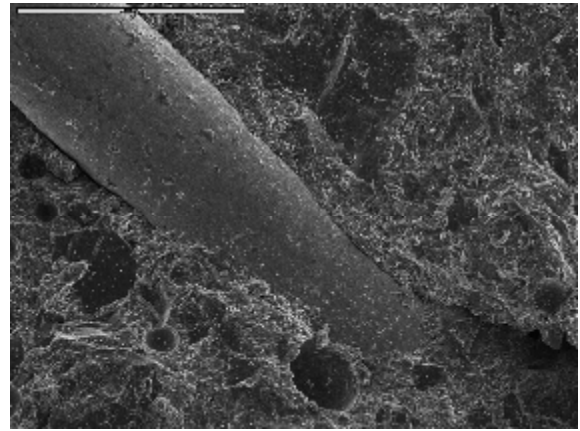
Slika 1. SEM prikaz pora u CSH fazi
Fig. 1. SEM micrograph showing air-entered void in C-S-H



Slika 2. SEM Tranzitna zona između agregata (A) i cementne paste (B)
Fig. 2. SEM micrograph showing transition zone between aggregate (A) and cement paste (B)



Slika 3. SEM Prikaz raspodele čeličnih vlakana
Fig. 3. SEM micrograph showing steel fibers distributed



Slika 4. SEM Tranzitna zona između čeličnih vlakana (A) i cementne paste (B)
Fig. 4. SEM micrograph showing transition zone between steel fiber (A) and cement paste (B)

5 ZAKLJUČAK

U svetu u prethodnih petnaest godina veliki broj istraživača ispitivao je strukturu i svojstva UHSC. U ovom radu namera istraživača je bila da potvrdi mogućnost dobijanja UHSC sa komponentnim materijalima koji su lako dostupni fabrikama betona, odnosno dobijanje materijala sa visokim mehaničkim karakteristikama koji se može spravljati i negovati u uslovima koji su karakteristični za klasične betone.

Eksperimentalni rad prikazan u ovom radu se bazirao na određivanju optimalnog odnosa silikatne prašine i čeličnih vlakana u betonskoj mešavini UHSC. Na osnovu preliminarnih istraživanja, ispitivanja su sprovedena na 12 betonskih mešavina. Količina čeličnih vlakana je varirana od 190 do 330 kg/m³, odnosno od 2.4-4.2% u odnosu na zapreminu betona. Količina silikatne prašine je varirana u iznosu od 190-230 kg/m³, odnosno od 10-25% mase cementa. Na osnovu preliminarnih istraživanja i rezultata datih u Tabeli 4, prema [1] može se konstatovati da je dobijen beton ultra-visokih čvrstoća bez hidrotermalnog tretmana.

Na uzorcima betonske mešavine NUH16 izmerene su maksimalne vrednosti mehaničkih svojstava i prema datoj dozaži na ponovo spravljanim uzorcima izmereno je skupljanje sušenjem i primenjena je hidrotermalna obrada data u tački 4.3.

Hidrotermalna obrada uzoraka prikazanih u ovom radu, pokazuje da negovanje na povišenim temperaturama pri režimu prikazanom u tački 4.3 pokazuje prirast oko 12% čvrstoće pri pritisku, odnosno 24% prirasta čvrstoće na zatezanja savijanjem u starosti od 28 dana u odnosu na uzorke koji nisu bili podvrgnuti hidrotermalnoj obradi.

Na osnovu merenja skupljanja u tački 4.2., može se zaključiti da je ukupno skupljanje uzoraka mešavine NUH16 veće od prikazanih u [8] za 15%. Mereno je skupljanje na uzorcima koji nisu izlagani hidrotermalnoj obradi.

Na osnovu merenja skupljanja u tački 4.2., može se zaključiti da je ukupno skupljanje uzoraka mešavine NUH16

5 CONCLUSION

Structure and properties of UHSC have been investigated excessively worldwide, for last 15 years. This trial's scope was UHSC production based on the composites that are available in the market in Serbia, that concrete factories can easily provide; as well as obtaining designed final product: material with high mechanical properties, that can be produced and cured under conditions that are required for ordinary concrete.

Experimental work that was done, was designed in order to determine optimal value of silica fume/steel fibers ratio in UHSC concrete mixture. Following preliminary trials, investigations were performed in 12 concrete mixtures. Amount of steel fibers varied between 190 to 330 kg/m³, that is 2.4-4.2%, calculated to concrete volume. Amount of silica fume varied between 190-230 kg/m³, that is 10-25% calculated to concrete volume. According to preliminary trials and results that are shown in Table 4, it can be concluded that Ultra High Strength Concrete was obtained without steam curing regime applied.

Specimens (Concrete mixture NUH16) were tested: max mechanical properties were measured; and according to the concrete mix that was adopted, the new samples were made, and after steam curing regime described in 4.3. dry shrinkage was measured.

The samples in this project were exposed to steam curing regime. It is shown that curing at higher temperatures, using regime described in 4.3, provides approximately 12% compressive strength increase, as well as 24% flexural strength increase at 28 days age concrete, compared to the samples that were not under steam curing regime.

According to the shrinkage measurements described in 4.2., compared to the data that are available [8] it can be concluded that Concrete mixture NUH16 total shrinkage is 15% higher than total shrinkage that was reported previously. Measurements were performed at samples that were not under steam curing regime.

Further investigations should be designed: beam's

veće od prikazanih u [8] za 15%. Mereno je skupljanje na uzorcima koji nisu izlagani hidrotermalnoj obradi.

Predmet daljeg istraživanja trebalo bi da bude praćenje ponašanja grede kao konstruktivnog elementa i ispitivanje naponsko-deformacijskih karakteristika pod statičkim i dinamičkim opterećenjem.

ZAHVALNOST

Eksperimentalni deo ovog rada deo je projekta TR 16014 finansiranog od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije.

6 LITERATURA REFERENCES

- [1] Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, Interim Recommendations, AFGC/SETRA working group, 2002
- [2] Jevtić, D., „Modeling possibility of concrete properties in order to increase its durability“ , Materijali i konstrukcije, 2008, 51, iss. 1, 18-31
- [3] Sklazić M., Bjegović D., Perspectives of designing with new concrete types, annual 2005 of the Croatian Academy of Engineering, 2005, 167-178
- [4] Yang S.L., Millard S.G., Soutsos M.N., Barnett S.J., Le T.T., Influence of aggregate and curing regime on the mechanical properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC). Cement and concrete research, 2009,23, 2291-2298
- [5] Radeka, M., „The characterisation of the microstructure of the recycled aggregate concrete interfacial zone employing SEM“, Materijali i konstrukcije, 2009, 52, iss. 1, 74-81

REZIME

NEKA SVOJSTVA BETONA ULTRA VISOKIH ČVRSTOĆA

*Ksenija JANKOVIC
Dragan NIKOLIC
Dragan BOJOVIC
Ljiljana LONČAR*

Značajno mesto u primeni novih materijala u građevinarstvu zauzima upotreba betona ultra visokih čvrstoća. Struktura, svojstva i tehnologija izrade ove vrsta betona se intenzivno proučava poslednjih petnaest godina. U ovom radu je prikazana mogućnost dobijanja betona ultra visokih čvrstoća na osnovu eksperimentalnih istraživanja primenom komponentnih materijala dostupnih u Srbiji. Spravljene su tri serije uzoraka sa različitim vrstama cemenata. Korišćena su čelična vlakna dužine 8mm i poprečnog preseka 0.175mm. Prikazana su fizičko-mehanička svojstva betona ultra visokih čvrstoća i analizirana je mikrostruktura ovog kompozita.

Ključne reči: Betoni ultra visokih čvrstoća, čelična vlakna

behavior as structural element should be investigated, as well as stress-strain properties under static and dynamic load.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is a part of TR 16014 project, it was supported financially by Ministry of science and Technological Development, Republic of Serbia.

- [6] Cwirzen A., Penttala V., Vornanen C., Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. Cement and concrete research, 2008, 38, 1217-1226
- [7] Terzić, A., Pavlović, Lj., „Application of microscopic methods in the microstructural analyses of different types of concrete with recycled aggregates“, Materijali i konstrukcije, 2009, 52, iss. 1, 34-39
- [8] Feylessoufi A., Tenoudji C., Morin V., Richard P., Early ages shrinkage mechanism of ultra-high performance cement-based materials. Cement and concrete research, 2001, 21, 1573-1579
- [9] Reda M.M., Shrive N.G., Gillott J.E., Microstructural investigation of innovative UHPC. Cement and concrete research, 1999, 29, 323-329
- [10] Kovler K., Zhutovsky S., Overview and future trends shrinkage research. Material structure 2006,39, 827-847

SUMMARY

SOME PROPERTIES OF ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE

*Ksenija JANKOVIC
Dragan NIKOLIC
Dragan BOJOVIC
Ljiljana LONCAR*

Modern civil engineering is characterized with increased application of Ultra-high strength concrete (UHSC). Structure, properties and manufacturing technologies of UHSC are intensively analyzed in the last fifteen years. Possibilities of getting UHSC designed with the materials that are available in Serbian market, were tested in the experimental work; they are shown in this paper. Three series of samples were made with different types of cement. Steel fibers were used: length 8 mm, diameter 0.175 mm. Physical-mechanical properties of UHSC are presented and microstructure of concrete was observed, as well.

Keywords: Ultra-high strength concrete, Steel fiber

KVALITET CEMENTNE KOŠULJICE PRI NJENOM IZVOĐENJU NA KLASIČAN NAČIN

QUALITY OF A CEMENT SCREED PREPARED AND APPLIED IN A TRADITIONAL WAY

Rada RADULOVIĆ
Mihailo MURAVLJOV
Ivan DENISENKO

STRUČNI RAD
UDK: 691.54 ; 666.94 = 861

1 UVOD

Pod cementnom košuljicom (estrihom) podrazumeva se horizontalno izveden sloj cementnog maltera najčešće debljine 3-5cm. Ovaj sloj se izrađuje na nosivoj (najčešće betonskoj) podlozi ili preko sloja nekog izolacionog materijala.

U najvećem broju slučajeva cementna košuljica predstavlja podlogu za izradu završnih podnih obloga. Zavisno od eksploatacionih uslova, izvodi se sa ili bez armature, pri čemu se kao armatura primenjuju armaturne mreže ili, u novije vreme, tzv. mikroarmatura u vidu različitih vlakana (čeličnih, polipropilenskih i dr.).

Danas se cementna košuljica spravlja na klasičan način mešanjem komponentnih materijala na licu mesta ili primenom gotovih fabričkih mešavina koje se koriste saglasno uslovima propisanim od strane proizvođača.

U klasičnom-tradicionalnom obliku cementna košuljica se najčešće spravlja u razmeri *cement : pesak* = 1 : 3, pri čemu se kod nas kao pesak najčešće koristi prva frakcija separisanog rečnog šljunka krupnoće zrna 0/4mm. Sadržaj vode u takvoj malterskoj mešavini se usvaja iskustveno, pri čemu količina vode treba da je tolika da se sa tom količinom dobije konzistencija koja odgovara opisu „vlažno kao zemlja“. Ovaj uslov najčešće podrazumeva vodocementni faktor 0,37-0,38.

1 INTRODUCTION

The cement screed is a horizontally taken layer of cement mortar whose thickness ranges from 3 to 5 cm. The layer is applied on a concrete base or over the layer of an insulating material.

In most cases cement screed is the base for making the final floor covering. Depending on the exploitation conditions, cement screed is laid with or without steel reinforcement, where reinforcement is applied as reinforcement girds, or more recently, steel fiber reinforcement in the form of various fibers (steel, polypropylene, etc.).

Today, cement screeds are prepared in a traditional way by mixing component materials directly on site or using the factory mixtures that are used in accordance with the conditions listed by the manufacturer.

In a classical-traditional form, the cement screed is usually prepared with the cement and sand in a ratio of 1 to 3, while, in our country the sand is commonly used as the first fraction of the separated river gravel with size of grain 0/4mm. Water content in such mortar mixture is adopted on the basis of experience where the amount of water should be such as to gain consistency that matches the description of "wet as land." This condition usually comprises 0,37-0,38 of water-cement ratio.

Rada Radulović, dipl.inž.građ., Fakultet tehničkih nauka
Kosovska Mitrovica, Knjaza Miloša 7, Kos. Mitrovica, Srbija
Prof. dr Mihailo Muravljev, dipl.inž.građ., Građevinski
Fakultet Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73, Beograd,
Srbija
Mr Ivan Denisenko, dipl.inž.građ., Fakultet tehničkih nauka
Kosovska Mitrovica, Knjaza Miloša 7, Kos. Mitrovica, Srbija

Rada Radulović, Faculty of Technical Sciences, Kosovska
Mitrovica, Knjaza Miloša 7, Kos. Mitrovica, Serbia
Mihailo Muravljev2, PhD, Faculty of Civil Engineering,
University of Belgrade, Bul. Kralja Aleksandra,
Belgrade, Serbia
Ivan Denisenko, MSc, Faculty of Technical Sciences,
Kosovska Mitrovica, Knjaza Miloša 7, Kos. Mitrovica, Serbia

Mada danas postoji oprema za mašinsko spravljanje i ugrađivanje cemente košuljice, kod nas se najčešće mešanje konstituenata košuljice vrši ručno, dok se ugrađivanje još uvek izvodi na sledeći klasičan način: spravljena mešavina „vlažna kao zemlja“ lopatom i razgrtačem se razastire preko podloge, nakon čega se vrši njeno zbijanje lopatom (ili glačalicom, a ponekad i mistrijom), a zatim ravnanje površine letvom-ravnjačem. Poslednja faza takvog ručnog postupka izvođenja košuljice predstavlja završnu obradu njene površine glačalicom-perdašicom.

Ovde treba posebno napomenuti da se u tehničkim uslovima za izvođenje cementne košuljice prema napred opisanom klasičnom postupku po pravilu definišu samo sledeći uslovi:

- debljina,
- razmera mešanja cementa i peska,
- armatura (eventualno),
- obrada gornje površine,
- obaveza negovanja do očvršćavanja.

Kao što se vidi iz svega napred rečenog, kod nas se u okviru klasičnog postupka izvođenja cementne košuljice ne propisuju neophodne fizičko-mehaničke karakteristike date malterske kompozicije. Međutim, te karakteristike mogu vrlo značajno da variraju u zavisnosti od upotrebljene količine vode (koja se usvaja na bazi vizuelne ocene), ali još više, u funkciji ostvarene zbijenosti očvrstlog materijala. Naime, postupak zbijanja lopatom (ili glačalicom, mistrijom i sl.), a posle toga i ravnanje letvom-ravnjačem, kao i ručna obrada površine, svakako ne garantuju strukturnu homogenost, odnosno kompaktnost očvrstle malterske kompozicije. Iskustvo pokazuje da, ukoliko se radi na opisani način, prihvatljiva strukturna homogenost i zbijenost postoji samo u gornjoj, površinskoj zoni košuljice debljine 1-2cm. Idući po dubini, strukturna homogenost i kompaktnost značajno se menjaju u negativnom smislu, tako da donje zone košuljice, one koje se „oslanjaju“ na podlogu, vrlo često karakterišu i izraziti strukturni defekti kao što su „gnezda“, kaverne i sl. Na osnovu toga proizilazi da se dovoljno visoke fizičko-mehaničke karakteristike košuljice, ukoliko se radi na klasičan način, mogu očekivati samo pri debljinama ≤ 3 cm, dok veće debljine košuljice najčešće ne obezbeđuju potrebne fizičko-mehaničke karakteristike, odnosno kvalitet košuljice. U vezi sa tim važi iskustveno pravilo da se u slučajevima košuljica sa debljinama preko 5cm, iste obavezno izvode u dva sloja približno istih debljina.

Nizak kvalitet cementne košuljice može da ima velike reperkusije u odnosu na završne podne obloge koje se izvode preko košuljice. To prevashodno važi za podove koji su izloženi većim opterećenjima, uključujući tu i značajna koncentrisana opterećenja, a u slučajevima kada se primenjuju tanke podne obloge u vidu različitih sintetičkih traka ili pločastih elemenata, kao i u vidu bezšavnih folija (premaza) na sintetičkoj osnovi. U takvim slučajevima koncentrisana opterećenja, delujući preko relativno malih površina, proizvode visoke lokalne napone pritiska u košuljici, koje ona nije uvek u stanju da podnese.

Nizak kvalitet košuljice nije od tolikog značaja kada se radi o podnim oblogama od parketa, kamenih ploča, keramičkih ploča i sl., pošto se kod takvih podova eventualna koncentrisana opterećenja na košuljicu po

Although nowadays there is equipment for machine-making and embedding of cement screeds, we usually do the manual procedure when it comes to mixing screed constituents, while the embedding is still performed in the following, classical way: the prepared mixture known as "wet as land" is spreaded over the base by shovel and crossbar, after which its compaction is done by shovel (or trowel), and then surface leveling is done by ledge-smoother. The last phase in the manual procedure of screed applying is finishing the surface by smoother.

It should be pointed out that the technical conditions for laying cement screed, according to the classical procedure mentioned above, are defined only by the following conditions:

- thickness,
- cement and sand ratio
- reinforcement (optional)
- treatment of the upper surface,
- necessity of curing until hardening

As it can be seen from the above mentioned, in our country, the classical procedure of laying cement screed doesn't prescribe the necessary physico-mechanical properties of a given mortar composition. However, these characteristics can significantly vary, depending on the quantity of water used (which is adopted on the basis of visual estimation), but even more in the function of achieved compaction of the hardened material. Namely, the compaction process by shovel (or smoother, trowel, etc...), following the leveling by ledge-smoother and manual treatment of the surface, certainly does not guarantee the structural homogeneity and compactness of the hardened mortar composition. Experience shows that, if it is done in the above mentioned way, the acceptable structural homogeneity and density exists only on the top surface area of a screed thickness of 1-2cm. Going deeper, structural homogeneity and compactness will significantly change in a negative way, so that the lower zones of screed, those next to the surface, are often characterized by significant structural defects as "nests", caverns, etc. Consequently, sufficiently high physico-mechanical properties of the screed, if it is done in a classical way, can be achieved only when thickness is ≤ 3 cm, whereas the larger thickness of screeds usually does not provide the required physico-mechanical properties, i.e. quality screeds. In this connection, the experiential rule is applied to cases with a screed thickness of over 5cm. In those cases, two layers of approximately the same thickness have to be laid.

The low quality of the cement screed can have big repercussions on the final floor overlays which are put over the screed. This is primarily applied to floors that are exposed to higher pressures, including significantly concentrated pressures, and when thin floor coverings are applied in the form of various synthetic tapes or plate-like elements, as well as seamless films (coatings) on synthetic base. In such cases, concentrated pressures acting through a relatively small area produce high local pressures in the screed that it cannot always resist.

The low quality of the screed is not so important when it comes to the floor covering made of wood, stone, ceramic plates etc. In such floors any

prirodi stvari prenose preko većih površina. Ali, i u takvim slučajevima nizak kvalitet košuljice može da ima negativne posledice u odnosu na nosivost i trajnost celokupnih podnih konstrukcija.

Kao ilustracija kvaliteta cementne košuljice, u daljem radu, prikazaće se rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika košuljica izvedenih u dva različita objekta.

U prvom slučaju se radi o objektu **A** kod koga je predviđeno da se kao završna podna obloga primene ploče od granitne keramike, pa je pre pristupanja izvođenju tog poda tražen odgovor u vezi kvaliteta izvedene košuljice. Napominje se da je u konkretnom slučaju reč o podu koji je izložen prevashodno jednakopodeljenom površinskom opterećenju.

U drugom slučaju radi se o objektu **B** u okviru koga je preko košuljice već bio izveden samorazlivajući epoksidni pod, pri čemu je ovde reč o podu u jednoj magacinskoj hali, u kojoj se između regala sa robom kreću elektro-paletni viljuškari. To drugim rečima znači da je predmetni pod izložen značajnim koncentrisanim opterećenjima.

2 REZULTATI ISPITIVANJA KVALITETA CEMENTNE KOŠULJICE U OBJEKTU A

Cementna košuljica u objektu **A** izvedena je na osnovu sledećih tehničkih uslova definisanih u predmeru i predračunu radova:

Cementnu košuljicu debljine 4cm izvesti preko betonske podloge koju pre nanošenja košuljice treba očistiti i oprati. Malter za košuljicu spraviti sa prosejanim šljunkom „jedinicom“ u razmeri 1:3. Košuljicu armirati armaturnom mrežom Q188 postavljenom u sredini sloja. Gornju površinu košuljice ravno isperdašiti i negovati dok ne očvrstne.

U datom slučaju ispitivanje kvaliteta izvedene cementne košuljice sprovedeno je nakon vizuelno-makroskopskog pregleda njene površine, nakon čega je odlučeno da se čvrstoća pri pritisku primenjene malterske kompozicije ispita preko tri izvađena kerna prečnika 50mm. Međutim, prilikom vađenja kernova potvrđeno je ono što je vizuelno konstatovano prilikom pregleda, a to je da košuljicu ne karakteriše naročito visok nivo fizičko-mehaničkih karakteristika. Name, pri vađenju kernova Ø50mm, a zbog značajne brzine rotacije primenjene burgije sa dijamantskim krunicama, dva kerna su se potpuno raspala, pa je stoga upotrebljena veća burgija prečnika 80mm. Kernovi izvađeni tom burgijom bili su potpuno intaktni po celoj cilindričnoj površini.

Ispitivanja čvrstoće pri pritisku cementne košuljice, preko izvađenih kernova Ø80mm, sprovedena su na bazi aktuelne tehničke regulative, odnosno na bazi odredaba relevantnih SRPS standarda, kao i internih metoda Instituta za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta – Beograd (IMK).

Ovde se napominje da je cementa košuljica na dan ispitivanja imala starost od svega 5 dana, pa je stoga čvrstoća pri pritisku dobijena na uzorcima te starosti svedena na normativnu starost od 28 dana, odnosno na čvrstoću $f_{k,28}$.

Rezultati sprovedenih ispitivanja cementne košuljice dati su u tabeli 1.

concentrated pressure on the screed is naturally transmitted over the larger areas. But in such cases, low quality of the screed can have a negative effect on the capacity and durability of the overall floor construction.

As an illustration of the quality of a cement screed, in the further text, the results of physico-mechanical characteristics of the screed laid in two different facilities are shown.

In the case of facility A, plates of granite ceramics were planned to be the final floor overlays. Before application of the floor overlays, it is necessary to determine the quality of the screed. It should be mentioned that this type of floor is primarily exposed to equally distributed surface pressure.

In the case of facility B, a self-priming epoxy floor was already laid over the screed, since it was a warehouse where electric-pallet forklifts are moved between the shelves, which means that the given floor is under considerable concentrated pressure.

2 QUALITY TESTING RESULTS OF CEMENT SCREDS IN FACILITY A

The cement screed in the building was laid based on the following technical requirements defined in the bill of quantities and priced bill of quantities.

Cement screed 4cm thick is to be laid over concrete surface which should be previously cleaned and washed. The mortar for screed is made with sifted gravel in the ratio 1 : 3. The Q188 screed reinforcement grid should be placed in the middle of the layer. The upper surface of the sheath should be targeted and cured until the hardening process is complete.

In the given case the quality testing of the laid cement sheath was performed after the visual macroscopic examination of its surface, after which it was decided that the compressive strength of the applied mortar composition should be examined by means of three extracted kerns with a diameter of 50mm. However, the extraction of kerns confirmed what was determined by visual inspection: the screed was not characterized by a high level of physico-mechanical properties. Namely, during the extraction of kerns of Ø50mm, due to significant rotation speed of the diamond drill crowns, two kerns were completely destroyed, and therefore a larger drill with diameter of 80mm was used. The kerns taken with that drill were completely intact across the whole cylindrical surface.

Compressive strength testing of the cement screed through extracted kerns of Ø80mm was conducted on the basis of the current technical regulations i.e. based on the provisions of the relevant SRPS standards, as well as the internal methods of the Institute for Materials and Structures of the Faculty of Civil Engineering - Belgrade (IMK).

It must be mentioned that the cement screed on the day of testing was 5 days old, and therefore the compressive strength obtained on those samples was reduced to standard 28 days, that is, the strength of $f_{k,28}$.

The testing results of the cement screed are given in Table 1.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku dobijeni na kernovima $\text{Æ}80 \text{ mm}$
 Table 1. Compressive strength results obtained on kerns of $\text{Æ}80 \text{ mm}$

Broj uzorka (The number of specimen)	Starost (dani) (The age (in days))	Prečnik/visina (The diameter/height) (mm)	Sila loma (Failure force) (kN)	Čvrstoća (Strength) (MPa)		Koef. korekcije za starost (Reduction factor for age)	Čvrstoća (Strength) $f_{k,28}$ (MPa)
				cilindar (cylinder)	kocka (cube) d=20cm		
1	cca 5	80/80	32,0	6,37	6,43	2,00	12,86
2	cca 5	80/80	20,0	3,98	4,02	2,00	8,04
3	cca 5	80/80	26,0	5,17	5,22	2,00	10,44

S obzirom na prikazane rezultate, proizilazi da srednja vrednost čvrstoće pri pritisku iznosi $\text{sred.vred. } f_{k,28} = 10,44 \text{ MPa}$, dok je minimalna čvrstoća $\text{min. } f_{k,28} = 8,04 \text{ MPa}$, na osnovu čega sledi zaključak da ispitivana košuljica, ukoliko se na nju primene odredbe regulative koje se odnose na malterske kompozicije, ispunjava uslove za malter marke **M10**.

Uzimajući u obzir ostvarenu čvrstoću, odnosno marku maltera M10, a imajući u vidu i mrežastu armaturu Q188 primenjenu u okviru košuljice, kao i činjenicu da će predmetna košuljica služiti kao podloga za lepljenje ploča od granitne keramike dimenzija $60 \times 60 \times 1 \text{ cm}$, konačno je zaključeno da cementna košuljica o kojoj je reč u konkretnim uslovima eksploatacije poseduje zadovoljavajući kvalitet.

3 REZULTATI ISPITIVANJA KVALITETA CEMENTNE KOŠULJICE U OBJEKTU B

Cementna košuljica u objektu **B** izvedena je na osnovu sledećih tehničkih uslova definisanih u predmeru i predračunu radova:

Cementnu košuljicu $D=5\text{cm}$ izvesti sa čvrstoćom pri pritisku koja će odgovarati betonu marke MB 25. Osim toga, košuljica treba da ima površinsku zateznu čvrstoću (pull-off test) min. $1,5\text{MPa}$. Košuljicu spravljati sa separisanim agregatom 75% frakcije 1 i 25% frakcije 2, uz primenu superplastifikatora i polipropilenskih ili staklenih vlakna. Gornju površinu košuljice fino nivelisati i negovati dok ne očvrstne.

Napred navedeni vrlo strogi tehnički uslovi podrazumevali su obavezu sprovođenja prethodnih ispitivanja radi dokazivanja kvaliteta košuljice, ali isto tako i obavezu vršenja odgovarajućih kontrolnih ispitivanja u fazi izvođenja radova. Međutim, to nije urađeno, pa je košuljica najverovatnije izvedena na klasičan način – isključivo spravljanjem maltera „vlažnog kao zemlja“ sa prosejanim šljunkom „jedinicom“ u razmeri 1:3. Ovaj malter je nakon spravljanja ugrađen na klasičan način, pri čemu je od klasičnog postupka odstupljeno samo u fazi završne obrade površine, koja je izvedena primenom helikopter-gladilica.

Preko cementne košuljice izveden je, projektom predviđen, samorazlivajući epoksidni pod, nakon čega je objekat pušten u eksploataciju. Na površini poda su se vrlo brzo nakon početka eksploatacije objekta pojavila oštećenja za koje je bilo očigledno da su posledica niskog kvaliteta cementne košuljice. Ova oštećenja, koja su bila prisutna naročito na delovima transportnih puteva (između regala sa robom) po kojima se kreću elektro-paletni viljuškari, bila su sledeća:

- manje ili više izražena ulegnuća površine,

Considering the presented results, it appears that the average value of compressive strength is $\text{mean value } f_{k,28} = 10,44 \text{ MPa}$, while the minimum strength $\text{min. } f_{k,28} = 8,04 \text{ MPa}$, where it can be concluded that the screed, if the regulation provisions regarding mortar composition are applied, satisfies the requirements for **M10** mortar.

Taking into account the achieved strength i.e. mortar M10, and also taking into consideration the applied reinforcement grid Q188, and the fact that the given screed will serve as the base for laying ceramic granite panels with dimensions of $60 \times 60 \times 1 \text{ cm}$, the final conclusion is that the tested cement screed for the given conditions of exploitation has a satisfactory quality.

3 THE QUALITY TESTING RESULTS OF THE CEMENT SCREEDS IN FACILITY B

Cement screeds in facility B was laid according to the following technical requirements defined in the bill of quantities and priced bill of quantities.

The cement screed with $D = 5\text{cm}$ should be laid with compressive strength, which will match the MB 25concrete. In addition, the screed should have a surface tensile strength (pull-off test) min. of 1.5 MPa . The screed should be made with separated aggregate of 75% of fractions 1 and 25% of fraction 2, with the use of superplasticizer and polypropylene or glass fibers. Top screed surface should be finely targeted and cured until the hardening process is complete.

The above mentioned strict technical requirements meant obligatory preliminary testing in order to determine the quality of the screed, as well as the obligatory control tests during construction work. However, this was not done, and probably the screed was prepared in a traditional way - only by making "wet as land" mortar with griddle gravel "unit" in the ratio of 1 to 3. After mixing, this mortar was laid in a traditional way, with the only exception being made in the stage of final surface treatment, which was performed using a helicopter-smoother.

Over the cement screed a self priming epoxy floor was laid according to the project and after which the facility was put into service. As soon as the exploitation started the damages appeared on the surface of the floor caused by the low quality of cement screed. These damages, which were present primarily in the areas of transportation routes (between shelves of goods) where the electro-pallet forklifts were driven, included the following:

- More or less obvious sag of the surface
- Cracks in the final epoxy overlay,

- pukotine u završnoj epoksidnoj oblozi,
- odvajanja epoksidne obloge od cementne košuljice, izuzetno lako krunjenje cementne košuljice na mestima gde je prvo došlo do odvajanja, a kasnije, tokom eksploatacije objekta, i do "otvaranja" poda usled uklanjanja završne obloge (slika 1).

- Separation of the epoxy overlay from the cement screed,
- Very easy crumbling of the cement screed where in the areas of separation, and later during the exploitation of the facility, the "opening" of the floor appeared due to the removal of the final overlay (Figure 1).



Slika 1. Detalj „otvaranja“ poda usled niskog kvaliteta cementne košuljice
Figure 1. The detail of "opening" of the floor due to the low quality cement screed

Ovde se napominje da je na svim mestima na kojima je, usled niskog kvaliteta košuljice, došlo do "otvaranja" poda bila potpuno evidentna "trošnost" košuljice – ona se lako krunila i ostavljala utisak praktično nevezanog zrnastog materijala.

Kvalitet cementne košuljice o kojoj je reč, odnosno njene fizičko-mehaničke karakteristike, ispitane su na dva načina:

- preko izvađenih kernova, kojom prilikom je sprovedeno ispitivanje zapreminske mase i čvrstoće košuljice pri pritisku, i

- primenom *pull-off* testa.

Ispitivanje preko izvađenih kernova podrazumevalo je vađenje iz cementne košuljice sedam cilindara-kernova K1-K7 nominalnog prečnika Ø50mm. Ilustracije radi, na slikama 2, 3 i 4 prikazana su tri od sedam izvađenih kernova, i kao što se vidi, svaki od tih kernova pokazuje da izvedena cementna košuljica ima debljinu veću od 5cm.

It is mentioned here that in all areas where the "opening" of the floor appeared, the "dilapidation" of screed was completely evident due to its low quality - it was easily crumbled and it left the impression of unbounded grain material.

The quality of cement screed and its physico-mechanical properties were examined in two ways:

- by using extracted kerns. This was conducted during the testing of the strength and mass strength of the screed,

- by using the pull-off test.

Testing by using extracted kerns meant the removal of seven cylindrical kerns K1-K7 with the nominal diameter of Ø50mm from the cement screed. In order to illustrate this, figures 2, 3 and 4 show three of 7 extracted kerns, and as it can be seen, each of these shows that the applied cement screed has a thickness larger than 5cm.



Slike 2 i 3. Kernovi K1 i K2 i mesta njihovog vađenja
Figures 2 and 3. Kerns K1 and K2 and places of their extraction



Slika 4. Kerni K7 i mesto negovog vađenja
Figure 4. Kern K7 and places of him extraction

Tabela 2. Rezultati ispitivanja cilindara-kernova
Table 2. The test results for kern specimens of $\varnothing 80$ mm

Oznaka uzorka (The specimen label)	Visina uzorka H/prečnik \varnothing (Height of specimen H/diameter \varnothing) (mm/mm) H/\varnothing	Zapreminska masa (Density) (kg/m^3)	Sila loma uzorka (Failure force of specimen) (kN)	Čvrstoća cilindra (The strength of specimen) f_c (MPa)	Faktor redukcije (Reduction factor) r	Čvrstoća kocke (The strength of the cube) f_k (MPa)	$f_{k,k} = f_c/0,85$ (MPa)	$f_{k,28} = 0,75 \cdot f_{k,k}$ (MPa)
K1	57,0/50,0 1,14	1870	10,0	5,10	1,021	5,21	6,13	4,60
K2	75,1/50,0 1,50	1932	10,0	5,10	1,075	5,48	6,45	4,84
K3	54,0/50,0 1,08	1834	18,0	9,17	1,012	9,28	10,92	8,19
K4	57,0/50,0 1,14	1988	14,0	7,14	1,021	7,29	8,58	6,44
K5	110,0/50,0 2,20	2179	11,0	5,61	1,180	6,62	7,79	5,84
K6	76,0/50,0 1,52	2051	14,0	7,14	1,078	7,70	9,06	6,80
K7	63,0/50,0 1,26	1850	16,0	8,15	1,039	8,47	9,96	7,47

U nastavku se daju objašnjenja za neke veličine koje su date u tabeli 2.

r - faktor redukcije čvrstoće zbog "izduženosti" uzorka: $r \approx 0,85 + 0,15 \cdot (H/\varnothing)$;

f_k - čvrstoća košuljice svedena na uzorak oblika kocke sa ivicama dužine 20cm: $f_k = r f_c$

$f_{k,k}$ - čvrstoća košuljice na dan ispitivanja svedena na uzorak oblika kocke sa ivicama dužine 20cm, ispitan u laboratorijskim uslovima;

$f_{k,28}$ - čvrstoća košuljice pri starosti od 28 dana; čvrstoća kocke sa ivicama dužine 20cm ispitana u laboratorijskim uslovima, a uzimajući u obzir, između ostalog, i starost košuljice u vreme ispitivanja od preko godinu dana (faktor redukcije 0,75).

Ispitivanje kernova K1 – K7, koji su odgovarali košuljici starosti od oko godinu dana, podrazumevalo je propisanu pripremu uzoraka-epruveta, njihovo ispitivanje pod silama pritiska i obradu rezultata, pri čemu je sve to

The symbols in the above table denote the following:

r - factor of strength reduction due to sample elongation of: $r \approx 0,85 + 0,15 \cdot (H/\varnothing)$;

f_k - strength of the screed reduced to a cube sample with an edge length of 20cm: $f_k = r f_c$

$f_{k,k}$ - strength of the screed on the day of testing reduced to a cube sample with an edge length of 20cm, tested in laboratory conditions;

$f_{k,28}$ - strength of a 28 day old screed; strength of the cube with an edge length of 20cm tested in laboratory conditions, taking into account among other factors the age of the screed over one year old during the testing (the reduction factor of 0.75).

The testing of kerns K1 - K7, corresponding to one year old screed, meant the preparation of the sample-tubes, their testing under the pressure forces and processing the results, where everything is done according to the provisions of the valid local standards,

urađeno saglasno odredbama važećih domaćih standarda, odnosno prema relevantnim odredbama pravilnika BAB 87.

Rezultati ispitivanja uzoraka-epruveta K1- K7 prikazani su u tabeli 2.

Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja može se načiniti sledeći pregled čvrstoća košuljice pri pritisku i ostvarene marke:

Na dan ispitivanja: $\min f_{k,k} = 6,1\text{MPa}$, $\max f_{k,k} = 10,9\text{MPa}$, sred.vred. $f_{k,k} = 8,4\text{MPa}$;

Na 28 dana: $\min f_{k,28} = 4,6\text{MPa}$, $\max f_{k,k} = 8,2\text{MPa}$, sred.vred. $f_{k,28} = 6,3\text{MPa} \rightarrow M(B) < 25$

Na bazi datih rezultata ispitivanja i njihove analize proizilazi da predmetna košuljica ne zadovoljava postavljen uslov za marku **M(B) 25**.

Ispitivanje primenom pull-off testa sprovedeno je na ukupno 3 merna mesta. Ova mesta, označena sa P1, P2 i P3, ilustracije radi, prikazuju se na slikama 5, 6 i 7.

Napominje se da je pri predmetnim ispitivanjima korišćena aparatura *DYNA Proceq, Haft prüfer Pull-off Tester 216*, koja omogućava da se površinska čvrstoća pri zatezanju na brojčaniku aparature očita direktno u MPa.

Stoga se te čvrstoće vide na slikama 5, 6 i 7, pri čemu su iste vrednosti prikazane i u tabeli 3.

and the relevant provisions of the regulation BAB 87.

Test results of sample-tubes K1-K7 are shown in Table 2

Based on the test results the following list of values of screed strength upon pressure and the obtained brands can be made:

On the day of examination: $\min f_{k,k} = 6,1\text{MPa}$, $\max f_{k,k} = 10,9\text{MPa}$, mean value. $f_{k,k} = 8,4\text{MPa}$;

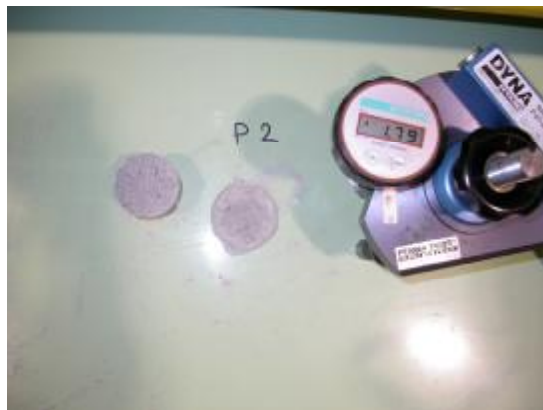
28 days later: $\min f_{k,28} = 4,6\text{MPa}$, $\max f_{k,k} = 8,2\text{MPa}$, mean value. $f_{k,28} = 6,3\text{MPa} \rightarrow M(B) < 25$

Based on the test results and their analysis it can be concluded that the screed does not satisfy the requirements for M(B) 25 brand.

Testing by using the pull-off test was carried out on 3 measuring points. These places, marked with P1, P2 and P3 are shown in Figures 5, 6 and 7.

It should be mentioned that during the testing the apparatus was used, with direct reading of the surface tensile strength value on the counter of the apparatus in MPa.

These values are presented in Figures 5, 6 and 7, with the same values shown in Table 3.



Slike 5, 6 i 7. Rezultat pull-off testa na mernim mestima P1, P2 i P3
Figures 5, 6 and 7. The pull-off test results on measuring points P1, P2 and P3

Tabela 3. Rezultati pull-off testa
Table 3. The pull-off test results

Mesto ispitivanja (The place of testing)	Površinska čvrstoća pri zatezanju f_{at} (Surface tensile strength f_{at}) (MPa)	Napomena (Note)
P1	1,15	Lom preko košuljice
P2	1,79	Lom preko košuljice
P3	0,34	Lom preko košuljice

Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja može se za ispitivanu cementnu košuljicu načiniti sledeći pregled površinske čvrstoće pri zatezanju:

On the basis of the shown test results the following tensile surface strength values can be outlined for the tested cement screed:

$$\min f_{at} = 0,34 \text{ MPa}, \quad \max f_{at} = 1,79 \text{ MPa},$$

$$\text{sred.vred.} f_{at} = 1,093 \text{ MPa} < 1,50 \text{ MPa}$$

Uzimajući u obzir sve napred prikazane i analizirane rezultate ispitivanja, lako se zaključuje da kvalitet cementne košuljice o kojoj je reč ne zadovoljava ni jedan od dva uslova kvaliteta definisanih u predmeru i predračunu radova. Kao prvo, prosečna površinska čvrstoća košuljice pri zatezanju iznosi oko **1,0MPa**, što je manje od predviđenih **1,5MPa**. S druge strane, a što je još važnije, umesto čvrstoće koja je trebalo da odgovara marki betona MB 25, ostavljena je prosečna čvrstoća pri pritisku nešto iznad **6MPa**, što je osetno niže i od vrednosti **10MPa** koja je dobijena u slučaju objekta **A**.

Ukoliko se nizak kvalitet cementne košuljice u objektu **B** analizira sa aspekta čvrstoće pri pritisku od cca 10MPa dobijene ispitivanjem košuljice u objektu **A** (za koju je rečeno da je izvedena na klasičan način, kako u odnosu na sastav maltera tako i na postupak izvođenja) proizilazi da su pri izvođenju košuljice u objektu **B** načinjeni sledeći bitni propusti:

- malterska mešavina je najverovatnije spravljena sa manjom količinom cementa od one koja odgovara sastavu 1:3; da je rađeno sa tim odnosom, čvrstoća pri pritisku bi morala biti veća od dobijenih cca 6MPa (cca 10MPa - kao kod objekta **A**);

- pri spravljanju mešavine, kao i pri ugrađivanju, nije ostvarena potrebna homogenost mase; na to ukazuje vrlo velika disperzija rezultata ispitivanja čvrstoće pri pritisku i površinske čvrstoće pri zatezanju;

- pri ugrađivanju mešavine primenjen je nedovoljno efikasan postupak kompaktiranja; taj postupak je u konkretnom slučaju obavežno morao da se sprovede primenom vibro-letve, vibro-grede i sl.

Međutim, ovde treba navesti još jedan, možda najvažniji propust. Naime, u konkretnom slučaju je, a zbog vrlo strogih uslova kvaliteta koji su definisani u projektnoj dokumentaciji, bilo obavežno sprovođenje prethodnih ispitivanja radi dokazivanja kvaliteta košuljice što, nažalost, nije učinjeno.

Taking into account all the analysed test results mentioned above, it can be easily concluded that the quality of cement screed does not satisfy neither of the two requirements specified in the bill of quantities and priced bill of quantities. Firstly, the average tensile surface strength of the screed is about **1,0 MPa**, which is less than the required **1,5 MPa**. On the other hand, and more importantly, instead of the strength corresponding to MB 25 concrete, the average compressive strength slightly above **6MPa** was achieved, which is considerably lower than the value of **10MP** obtained in the case of facility **A**.

If the low quality of the cement screed in facility **B** is analyzed compared to a compressive strength of cca 10MP obtained by screed testing in facility **A** (which was prepared in a traditional way, not only in terms of mortar composition, but also in terms of the application procedure), it follows that in the case of screed preparation and application in facility **B** the following important omissions were made:

- the mortar mixture was probably prepared by using cement in smaller quantities than the ones corresponding to a 1 to 3 ratio. If the mentioned ratio had been used, the compressive strength would have been higher than the obtained 6MPa (approximately 10MPa - as in facility **A**);

- in making and embedding the mixture, the adequate mass homogeneity was not achieved, which is indicated by great dispersion of the results of the compressive strength tests and surface tensile strength tests

- in embedding the mixture an insufficiently effective compacting process was applied. In this case, the procedure should have been carried out by using vibro-rods, vibro-beams and the similar.

However, another, even more serious omission should be mentioned. Namely, in this case due to very strict quality requirements which are defined in the project documentation, preliminary tests should have been done in order to determine the quality of screed, which, unfortunately, was not done.

4 ZAKLJUČAK

Izvođenjem na klasičan način retko se ostvaruje visok kvalitet cementne košuljice. Za to postoji više razloga, ali ćemo ovde navesti samo sledeće:

– definisanje sastava košuljice u vidu empirijskog odnosa *cement : pesak* = 1 : 3, kao i iskustveno usvajanje količine vode radi dobijanja konzistencije malterske mešavine koja odgovara opisu „vlažno kao zemlja“;

– ručni postupak spravljanja i ugrađivanja malterske mešavine, koji najčešće ne obezbeđuje dobru homogenost i kompaktnost finalnog materijala.

Važno je istaći da se homogenost i kompaktnost izvedene košuljice retko može ostvariti ručnim postupcima. Visoka homogenost, a naročito kompaktnost, može se dobiti samo korišćenjem odgovarajućih vibratora u fazi ugrađivanja (vibro-letvi, vibro-greda i sl.), ili primenom savremene opreme specijalno namenjene za izvođenje cementnih košuljica.

5 LITERATURA REFERENCES

- [1] Muravljev, M., Jevtić, D.: Građevinski materijali 2, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1999.
- [2] Muravljev, M.: Osnovi teorije i tehnologije betona, Građevinska knjiga Beograd, 1991.
- [3] Ukrainček, V.: Beton, Struktura, svojstva, tehnologija; Alcor, Zagreb, 1991

REZIME

KVALITET CEMENTNE KOŠULJICE PRI NJENOM IZVOĐENJU NA KLASIČAN NAČIN

Rada RADULOVIĆ
Mihajlo MURAVLJOV
Ivan DENISENKO

Spravljanje i ugrađivanje cementne košuljice (estriha), kod nas, najčešće se izvodi u klasičnom-tradicionalnom obliku. U okviru klasičnog postupka izvođenja cementne košuljice ne propisuju se neophodne fizičko-mehaničke karakteristike date malterske kompozicije, koje mogu značajno da variraju u zavisnosti od upotrebene količine vode, ali još više u funkciji ostvarene zbijenosti. U radu su prikazani rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku i površinske čvrstoće pri zatezanju, primenom *pull-of testa*, cementnih košuljica izvedenih u dva različita objekta. U prvom slučaju reč je o podu koji je izložen jednako podeljenom opterećenju, a u drugom predmetni pod je izložen značajnim koncentrisanim opterećenjima. Zaključci, izvedeni na osnovu analize dobijenih rezultata, pokazuju da razlog niskog kvaliteta estriha može biti nedefinisanost sastava cementne košuljice i način ugrađivanja ručnim postupkom koji ne obezbeđuje dobru homogenost i kompaktnost.

Cljučne reči: Cementna košuljica, kvalitet, fizičko-mehanička svojstva, čvrstoća na pritisak, kompaktnost.

4 CONCLUSION

Using a traditional way rarely results in a high quality of the cement screed. There are several reasons some of which are mentioned below:

- determining the screed composition by applying a *cement : sand* ratio of 1 : 3, as well as by using water the quantity of which is determined by experience in order to obtain consistency of the mortar mixture that suits the "wet as a land" description.

- the manual procedure of making and embedding mortar mixture usually does not provide good homogeneity and compactness of the final material.

The importance of homogeneity and compactness of the prepared screed is particularly emphasized, which, unfortunately, can rarely be achieved by using manual procedures. High homogeneity, especially compactness can be obtained only by using a vibrator at the appropriate stage of embedding (vibro-rods, vibrating-beam, etc.), or by using modern equipment specially designed for the preparation and application of cement screed.

- [4] A.M. Neville.: Properties of concrete, Pitman Publishing, London, Građevinska knjiga, Beograd, 1976.
- [5] Priručnik i prilozi za primenu pravilnika za beton I armirani beton "BAB 87", Građevinska knjiga, Beograd, 1991.

SUMMARY

QUALITY OF A CEMENT SCREED PREPARED AND APPLIED IN A TRADITIONAL WAY

Rada RADULOVIĆ
Mihajlo MURAVLJOV
Ivan DENISENKO

Making and embedding a cement screed, in our country is usually performed in a traditional way. In the classical procedure of the cement screed preparation and application the necessary physico-mechanical properties of a given mortar composition are not standardised. Therefore, they can significantly vary, depending on the quantity of the used water, but even more in the degree of achieved compactness. The work presents the compressive strength and surface straining test results by using the *pull-off test* where the cement screed was prepared and laid in two different facilities. In the first case, the floor was exposed to evenly distributed load, whereas the floor in the second facility was exposed to concentrated load. The conclusions drawn on the basis of the analysed results indicate that low quality screed was obtained due to the undefined composition of the cement screed and manual embedding procedure which does not provide good homogeneity and compactness.

Key words: Cement screed, quality, physico-mechanical properties, compressive strength, compactness.

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 ovog broja, 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. **Koristiti Equation Editor.** 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-beljoj tehnici, 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-beljoj tehnici, na kvalitetnoj hartiji sa ostrim 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.

* Od ovog broja uputstvo autorima je modifikovano i treba ga, u pripremi radova, slediti.