



2013.  
GODINA  
LVI



# GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

1

## BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

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



---

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

---

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

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

Professor Radomir Folic  
Editor-in-Chief

# GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

# BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

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

---

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Professor **Asterios Liolios**  
Democritus University of Thrace, Faculty of Civil  
Eng., Greece

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

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

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

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

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

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

**Aleksandra Borojev**, profesor

Proofreader: Prof. **Jelisaveta Šafranj**, Ph D

Technical editor: Stoja Todorovic, e-mail: [saska@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:saska@imk.grf.bg.ac.rs)

## PUBLISHER

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

REVIEWERS: All papers were reviewed

COVER: Muzej - Kostolac  
Museum - Kostolac

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

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

# GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

# BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES

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

## SADRŽAJ

<b>Ivan LUKIĆ</b> <b>Mirjana MALEŠEV</b> <b>Vlastimir RADONJANIN</b> <b>Vesna BULATOVIĆ</b> <b>Jasmina DRAŽIĆ</b> KOMPARATIVNA LCA ANALIZA GREDA SPRAVLJENIH OD NORMALNOG I KONSTRUK- CIJSKOG LAKOAGREGATNOG BETONA <b>Prethodno saopštenje</b> .....	3
<b>Aleksandar PROKIĆ</b> <b>Martina VOJNIĆ PURČAR</b> LAMINIRANI TANKOZIDNI NOSAČI - PRVI DEO <b>Originalni naučni rad</b> .....	17
<b>Željko JAKŠIĆ</b> <b>Đorđe LAĐINOVIĆ</b> REŠENJE POTKONSTRUKCIJE FASADE NA ZGRADI S MEĐUSPRATNOM TAVANICOM IZNAD 4,00M - STUDIJA SLUČAJA <b>Stručni rad</b> .....	29
<b>Žarko NESTOROVIĆ</b> <b>Milan TRIFKOVIĆ</b> <b>Miroslav T. BEŠEVIĆ</b> MOGUĆNOSTI PRIMENE GEODETSKIH MERENJA ZA KONTROLU DIMENZIJA KONSTRUKCIJA <b>Stručni rad</b> .....	51
<b>Dejan BAJIĆ</b> <b>Dušan NAJDANOVIĆ</b> PRIKAZ MONOGRAFIJE "STO GODINA NASTAVE IZ ARMIRANOG BETONA NA GRAĐEVINSKOM FAKULTETU UNIVERZITETA U BEOGRADU 1910-2010" .....	62
<b>Uputstvo autorima</b> .....	64

СРП - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

620.1

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

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

## CONTENTS

<b>Ivan LUKIC</b> <b>Mirjana MALESEV</b> <b>Vlastimir RADONJANIN</b> <b>Vesna BULATOVIC</b> <b>Jasmina DRAZIC</b> COMPARATIVE LCA ANALYSIS OF ORDINARY CONCRETE BEAMS AND STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE BEAMS <b>Preliminary report</b> .....	3
<b>Aleksandar PROKIC</b> <b>Martina VOJNIC PURCAR</b> LAMINATED THIN-WALLED BEAMS - FIRST PART <b>Original scientific paper</b> .....	17
<b>Zeljko JAKSIC</b> <b>Djordje LADJINOVIC</b> A SOLUTION TO THE SUBSTRUCTURE OF FACADE AT BUILDING WITH STORY HEIGHT ABOVE 4.00 M - A CASE STUDY <b>Professional paper</b> .....	29
<b>Zarko NESTOROVIC</b> <b>Milan TRIFKOVIC</b> <b>Miroslav T. BESEVIC</b> ON THE POSSIBILITIES OF GEODETIC MEASUREMENTS UTILIZATION IN CONSTRUCTION DIMENSIONS CONTROL <b>Professional paper</b> .....	51
<b>Dejan BAJIC</b> <b>Dusan NAJDANOVIC</b> REVIEW OF THE MONOGRAPH "ONE HUNDRED YEARS OF TEACHING IN THE AREA OF REINFORCED CONCRETE AT THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY OF BELGRADE 1910-2010" .....	62
<b>Preview report</b> .....	64



# KOMPARATIVNA LCA ANALIZA GREDA SPRAVLJENIH OD NORMALNOG I KONSTRUKCIJSKOG LAKOAGREGATNOG BETONA

## COMPARATIVE LCA ANALYSIS OF ORDINARY CONCRETE BEAMS AND STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE BEAMS

Ivan LUKIĆ  
Mirjana MALEŠEV  
Vlastimir RADONJANIN  
Vesna BULATOVIĆ  
Jasmina DRAŽIĆ

PRETHODNO SAOPŠTENJE  
PRELIMINARY REPORT  
UDK: = 861

### 1 UVOD

Tokom poslednjih nekoliko decenija, podizanje svesti o negativnim posledicama ljudskih aktivnosti u pogledu životne sredine izazvalo je povećanje angažovanja u proučavanju uticaja na klimatske promene, zagađenje zemljišta, vode i vazduha i degradacije ekosistema. Održivi razvoj građevinarstva zasniva se na smanjenju upotrebe energije i prirodnih resursa, smanjenju zagađenja zemljišta, vazduha i vode, povećanju trajnosti konstrukcija, korišćenju nusproizvoda, reciklaži i ponovnoj upotrebi.

Beton je jedan od najčešće korišćenih građevinskih materijala, a betonska industrija je jedan od najvećih potrošača prirodnih resursa i ima velik uticaj na životnu sredinu. Značaj nalaženja i prihvatanja upotrebe alternativnih komponentnih materijala za beton je očigledan. S obzirom na to što potrošnja prirodnog agregata stalno i brzo raste, korišćenje drugih mogućih vrsta agregata je neizbežno. S druge strane, problemi u projektovanju konstrukcija koji su posledica njihove mase, doveli su do primene konstruktivnih lakoagregatnih betona.

---

Ivan Lukić, MSc, Fakultet tehničkih nauka  
Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, [lookic@uns.ac.rs](mailto:lookic@uns.ac.rs)  
Mirjana Malešev, dr, Fakultet tehničkih nauka  
Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, [miram@uns.ac.rs](mailto:miram@uns.ac.rs)  
Vlastimir Radonjanin, dr, Fakultet tehničkih nauka  
Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, [radonv@uns.ac.rs](mailto:radonv@uns.ac.rs)  
Vesna Bulatović, MSc, Fakultet tehničkih nauka  
Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, [vesnam@uns.ac.rs](mailto:vesnam@uns.ac.rs)  
Jasmina Dražić, dr, Fakultet tehničkih nauka  
Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, [dramina@uns.ac.rs](mailto:dramina@uns.ac.rs)

### 1 INTRODUCTION

During last few decades, raising awareness about the negative consequences of human activities on the environment caused increased engagement in studying the effects on climate changes, soil, water and air pollution and degradation of eco-systems. Sustainable development of civil engineering is based on decreasing the use of energy and natural resources, lowering pollutant emissions into soil, air and water, increasing durability and service life of the structures, utilization of by-products, recycling and reuse.

Concrete is one of the most used building materials in construction, and concrete industry is a large consumer of natural resources and has a large environmental impact. Therefore, significance of finding and accepting the use of alternative component materials for concrete is obvious. In addition, consumption of natural aggregate as the largest concrete component constantly and rapidly increases, and the use of alternative aggregate sources are inevitable. On the other hand, problems in the design of concrete structures related to their mass led to the implementation of structural lightweight concrete.

---

Ivan Lukić, MSc, Faculty of Technical Sciences, Dositeja Obradovica Square 6, Novi Sad, [lookic@uns.ac.rs](mailto:lookic@uns.ac.rs)  
Mirjana Malešev, PhD, Faculty of Technical Sciences, Dositeja Obradovica Square 6, Novi Sad, [miram@uns.ac.rs](mailto:miram@uns.ac.rs)  
Vlastimir Radonjanin, PhD, Faculty of Technical Sciences, Dositeja Obradovica Square 6, Novi Sad, [radonv@uns.ac.rs](mailto:radonv@uns.ac.rs)  
Vesna Bulatović, MSc, Faculty of Technical Sciences, Dositeja Obradovica Square 6, Novi Sad, [vesnam@uns.ac.rs](mailto:vesnam@uns.ac.rs)  
Jasmina Dražić, PhD, Faculty of Technical Sciences, Dositeja Obradovica Square 6, Novi Sad, [dramina@uns.ac.rs](mailto:dramina@uns.ac.rs)

U odnosu na normalne betone sa zapreminskom masom od 1.900 do 2.500 kg/m<sup>3</sup>, zapreminska masa konstruktivnih lakoagregatnih betona kreće se od 1.200 do 1.900 kg/m<sup>3</sup>, što znači da bi, kao posledica niže sopstvene težine, presek elemenata i količina materijala trebalo da budu smanjeni.

U prvom delu ovog rada, prikazani su rezultati eksperimentalnog istraživanja osnovnih svojstava lakoagregatnih betona. Za svaku vrstu betona napravljene su po dve recepture, lakoagregatni betoni LC<sub>1</sub> i LC<sub>2</sub> i normalni betoni NC<sub>1</sub> i NC<sub>2</sub>, pri čemu betoni sa istim indeksom imaju iste pritisne čvrstoće.

Drugi deo posvećen je uporednoj analizi uticaja na životnu sredinu – LCA analiza (*Life Cycle Assessment*). U ovom radu poređeni su ekološki uticaji primene analiziranih vrsta betona za izradu AB greda iz aspekta emisije štetnih gasova u vazduh. Analizirane kategorije uticaja na životnu sredinu jesu: potencijal globalnog zagrevanja (GWP – Global Warming Potential), potencijal eutrofikacije (EP – Eutrophication Potential), potencijal zakiseljavanja (AP – Acidification Potential) i potencijal fotohemijskog stvaranja ozona (POCP – Photochemical Ozone Creation Potential).

Funkcionalna jedinica usvojena za ovu analizu jeste betonska greda, definisanog raspona i opterećenja. S obzirom na to što se mehaničke karakteristike analiziranih vrsta betona razlikuju (ista čvrstoća, ali različiti moduli elastičnosti), analizirana su dva slučaja:

- grede imaju istu nosivost i jednake deformacije;
- grede imaju istu nosivost i isti poprečni presek.

## 2 EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

### 2.1 Projektovanje sastava

Sastav betona projektovan je na osnovu sledećih uslova:

- Betoni LC<sub>1</sub> i NC<sub>1</sub> pripadaju istoj klasi čvrstoće, a takođe i betoni LC<sub>2</sub> i NC<sub>2</sub>;
- Ista konzistencija posle 15 minuta ( $\Delta h = 100 - 150$  mm, SRPS ISO 4103:1997);
- Apsolutna zapremina veziva i vode oko 0,3 m<sup>3</sup>;
- Apsolutna zapremina agregata oko 0,7 m<sup>3</sup> [1];
- Granulometrijski sastav mešavine agregata u obliku kontinualne krive;
- Dodatna količina vode je određena na osnovu upijanja vode lakog agregata (Leca-Laterlite 4-15mm, agregat na bazi ekspandirane gline);
- Količina superplastifikatora određena je na osnovu željene konzistencije betona;
- Efektivni vodocementni faktor iznosi 0.4-0.5 u zavisnosti od količine cementa.

Priručnici (uputstvo proizvođača lakog agregata, [2]) za izbor vrste i količine komponentnih materijala za izradu lakoagregatnih betona preporučuju da se koriste velike količine portland cementa (npr. 450 kg CEM I 42,5).

Projektovani sastavi betonskih mešavina prikazani su u Tabeli 1.

When compared to the normal weight concrete with a density in the range of 1900 to 2500 kg/m<sup>3</sup>, structural lightweight concrete has air-dried density in the range of 1200 to 1900 kg/m<sup>3</sup>. Therefore, because of lower dead weight, cross section of elements and the amount of materials should be reduced.

First part of this paper presents the results of experimental research of the basic properties of lightweight aggregate concrete. Two pairs of concretes were made for comparison (LC<sub>1</sub>, LC<sub>2</sub>, NC<sub>1</sub> and NC<sub>2</sub>) where concretes with same index have equal compressive strength.

Second part is conducted a comparative analysis of environmental impacts – LCA (Life Cycle Assessment). Aim of this part of paper is to analyze environmental impacts of RC beams made of lightweight and normal concrete, from the aspect of airborne emissions. Analyzed environmental impact categories are: Global Warming Potential (GWP), Eutrophication Potential (EP), Acidification Potential (AP) and Photochemical Ozone Creation Potential (POCP).

The concrete beam with defined span and load was chosen as a functional unit in this analysis. Since some of the mechanical properties of analyzed concrete mixtures vary (same compressive strength but different modulus of elasticity), two case studies were analyzed:

- Beams have same load bearing capacity and same deflection,
- Beams have same load bearing capacity and same cross section.

## 2 EXPERIMENTAL RESEARCH

### 2.1 Mix design

The composition of concrete mix was designed based on the following conditions:

- Concretes LC<sub>1</sub> and NC<sub>1</sub> belong to the same strength class, as well as concretes LC<sub>2</sub> and NC<sub>2</sub>.
- The same consistency after 15 minutes ( $\Delta h = 100 - 150$  mm, SRPS ISO 4103:1997).
- The absolute volume of binder and water around 0.3 m<sup>3</sup>.
- Absolute volume of aggregates is approximately 0.7 m<sup>3</sup> [1].
- Grain-size composition of a mixture of aggregates in the form of a continuous curve.
- Additional amount of water is determined by water absorption of lightweight aggregates (Leca-Laterlite 4-15mm, expanded clay).
- The amount of super plasticizer based on the need to achieve the required consistency.
- Effective water-cement ratio is in the range of 0.4-0.5 depending on the amount of cement.

The manuals (manufacturer's instructions, [2]) for the selection of type and quantity of component materials for construction LWAC often recommend use of high amount of Portland cement (i.e. 450 kg of CEM I 42.5).

Designed compositions of concrete mixtures are shown in Table 1.

Tabela 1. Projektovani sastav betona  
Table 1. Concrete mix composition

	LC <sub>1</sub>	LC <sub>2</sub>	NC <sub>1</sub>	NC <sub>2</sub>
CEM I 42,5R CEM I 42.5R	450	400	350	300
Voda Water	180	180	180	180
Dodatna voda Additional water	15.3	15.6	-	-
Rečni agregat 0/4 mm River aggregate 0/4 mm	940	955	685	694
Rečni agregat 4-16 mm River aggregate 4-16 mm	-	-	1271	1288
Leca–Laterlite 4-15 mm Leca–Laterlite 4-15 mm	333	339	-	-
Hemijski dodatak SIKA VSC 4000BP Chemical admixture SIKA VSC 4000BP	3.15	2.4	5.2	4.6

\*Sve vrednosti su date u kg po m<sup>3</sup> betona  
\*All the values are in kg per m<sup>3</sup> of concrete

## 2.2 Rezultati ispitivanja

Čvrstoća betona pro pritisku ( $f_c$ ) i zapreminska masa ( $\gamma_c$ ), određeni su na uzorcima oblika kocke ivice 150mm prema standardu SRPS ISO 4012, dok je statički modul elastičnosti (E) određen na cilindrima Ø150, H=300 mm prema ISO 6784 standardu (Tabela 2).

## 2.2 Test results

Concrete compressive strength ( $f_c$ ) and density ( $\gamma_c$ ), are tested on 150 mm cubes according to the standard SRPS ISO 4012, while static modulus of elasticity (E) is determined on cylinders Ø150, H=300 mm according to the ISO 6784 standard (Table 2).

Tabela 2. Fizičko-mehanička svojstva betona  
Table 2. Properties of concrete

	m <sub>c</sub> (kg)	$\gamma_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>c,28</sub> (Mpa)	E (Gpa)
LC <sub>1</sub>	450	1902	50.6	23.21
LC <sub>2</sub>	400	1890	47.4	22.12
NC <sub>1</sub>	350	2450	52.6	35.32
NC <sub>2</sub>	300	2441	45.4	32.22

## 3 PROCENA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU (LCA)

Procena uticaja na životnu sredinu (LCA) jeste metodologija za procenu uticaja različitih procesa i proizvoda na životnu sredinu tokom celog životnog ciklusa. Prema ISO 14040:2006 [4], za ovu analizu sprovedeni su sledeći koraci:

- definicija cilja i obima LCA analize;
- definicija funkcionalne jedinice;
- definicija granica sistema;
- analiza inventara (Life Cycle Inventory - LCI faza);
- ocena uticaja životnog ciklusa (Life Cycle Impact Assessment - LCIA faza);
- interpretacija rezultata.

## 3 ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSESSMENT

Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology for evaluating environmental loads of processes and products during their life cycle. According to ISO 14040:2006 [4], next steps for this analysis are followed:

- definition of the goal and scope of the LCA,
- definition of functional unit,
- definition of system boundaries,
- the Life Cycle Inventory analysis (LCI) phase,
- the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) phase,
- interpretation phase.

### 3.1 Definicija cilja i obima

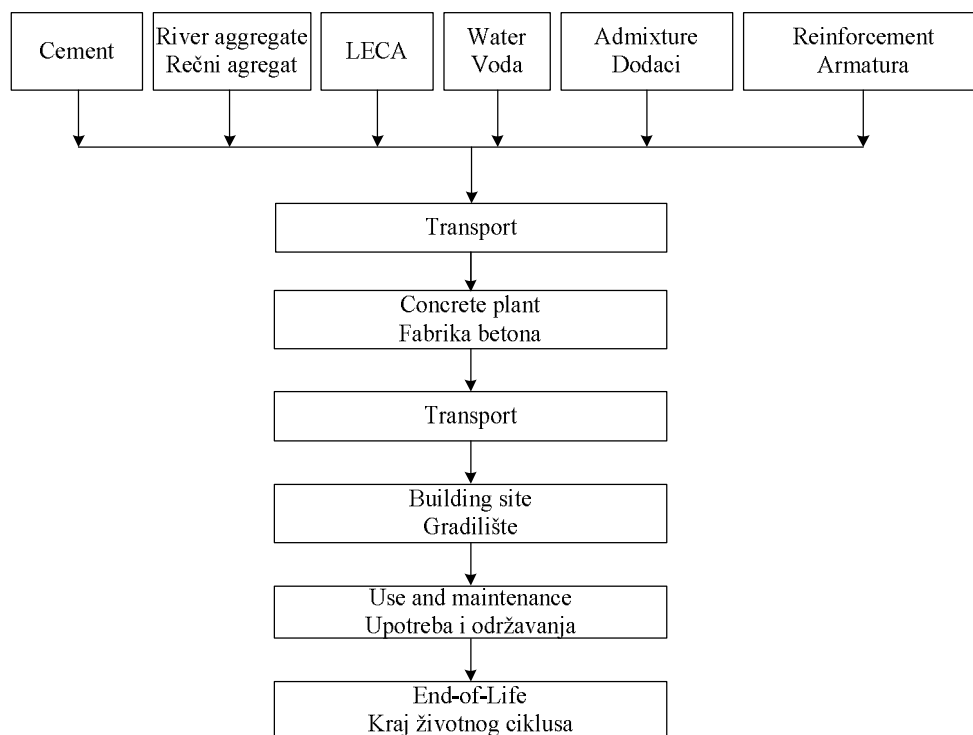
Životni ciklus analiziranih AB greda prikazan je na slici 1. Faza proizvodnje obuhvata proizvodnju komponentnih materijala i proizvodnju AB elemenata u pogonu za prefabrikaciju, dok je fazom transporta obuhvaćen transport komponentnih materijala do fabrike betona i transport gotovih elemenata do mesta ugradnje.

Kategorije uticaja na osnovu kojih će se porediti analizirani elementi jesu: potencijal globalnog zagrevanja (GWP), potencijal eutrofikacije (EP), potencijal zakiseljavanja (AP) i potencijal fotohemijskog stvaranja ozona (POCP).

### 3.1 Goal and scope

The life cycle of analyzed RC beams is presented on Figure 1. Production phase includes production of constituent materials and production of concrete beams at the concrete plant, while transport phase includes transport of materials to the concrete plant and transport of casted beam to the building site.

Environmental impacts, such as global warming potential (GWP), acidification potential (AP), eutrophication potential (EP) and photochemical ozone creation potential (POCP) are used to compare analyzed concrete elements in order to find one with the least environmental impact.



Slika 1. Životni ciklus betonskog elementa  
Figure 1. Life cycle of concrete element

### 3.2 Funkcionalna jedinica

Konstruktivni element, usvojen kao funkcionalna jedinica u ovom radu, jeste montažna AB greda, raspona 8 m, opterećena stalnim jednakopodeljenim opterećenjem od 15 kN/m i povremenim opterećenjem od 35 kN/m. Prilikom određivanja dimenzija poprečnog preseka i količine armature, analizirana su dva slučaja:

– Elementi imaju istu nosivost i istu vrednost ugiba – vrednost ugiba ograničena je na  $\approx L/330$  (elementi sa oznakom LC<sub>1/1</sub>, LC<sub>2/1</sub>, NC<sub>1/1</sub> i NC<sub>2/1</sub>);

– Elementi imaju istu nosivost i iste dimenzije poprečnog preseka, a deformacija je u okviru dozvoljenih vrednosti – dimenzije poprečnog preseka su određene na osnovu karakteristika lakoagregatnog betona (elementi LC<sub>1/1</sub> i LC<sub>2/1</sub>), a zatim usvojene za elemente od normalnog betona (elementi sa oznakom NC<sub>1/2</sub> i NC<sub>2/2</sub>).

### 3.2 Functional unit

Structural element adopted as a functional unit in this paper is precast RC beam with L=8m single span, dead load of 15 kN/m and live load of 35 kN/m. In determining the cross-section dimensions and the amount of reinforcement, two cases were analyzed:

– Elements have the same load bearing capacity and the same deflection value - the value of deflection is limited to  $L/330 \approx$  (elements labelled LC<sub>1/1</sub>, LC<sub>2/1</sub>, NC<sub>1/1</sub> and NC<sub>2/1</sub>).

– Elements have the same load bearing capacity and the same cross-section, but with deformation within the allowable value - cross-section dimension are determined based on the characteristics of lightweight aggregate concrete (elements LC<sub>1/1</sub> and LC<sub>2/1</sub>), and then adopted for the normal concrete elements (elements labelled with NC<sub>1/2</sub> and NC<sub>2/2</sub>).



Dimenzije poprečnog preseka (zaokružene na 1cm), potrebna armatura i sračunata vrednost L/u date su u Tabeli 3, a masa i zapremina betona i masa armature za jednu gredu u Tabeli 4.

Cross section dimensions (rounded to 1 cm), reinforcement and calculated value of L/u, are given in Table 3, while the volume and mass of concrete and reinforcement for one beam are given in Table 4.

*Tabela 3. Karakteristike poprečnog preseka*  
*Table 3. Cross section properties*

	LC <sub>1</sub> /1	LC <sub>2</sub> /1	NC <sub>1</sub> /1	NC <sub>2</sub> /1	NC <sub>1</sub> /2	NC <sub>2</sub> /2
b (m)	0.4	0.4	0.35	0.35	0.4	0.4
d (m)	0.65	0.66	0.59	0.61	0.65	0.66
Podužna armatura Reinforcement	14Ø19	14Ø19	15Ø19	15Ø19	14Ø1	14Ø19
Uzengije Stirrups	34UØ8	34UØ8	34UØ8	34UØ8	34UØ8	34UØ8
Ugib L/u Deflection	330	329	333	335	500	476

*Tabela 4. Mase i zapremine materijala za jednu gredu*  
*Table 4. Mass and volume per beam*

	LC <sub>1</sub> /1	LC <sub>2</sub> /1	NC <sub>1</sub> /1	NC <sub>2</sub> /1	NC <sub>1</sub> /2	NC <sub>2</sub> /2
Masa (t) Mass (t)	3.96	3.99	4.05	4.17	5.10	5.16
Zapremina (m <sup>3</sup> ) Volume (m <sup>3</sup> )	2.08	2.11	1.65	1.71	2.08	2.11
Armatura (kg) Reinforcement (kg)	280	280	296	296	280	280

### 3.3 Granice sistema

Faza montaže, upotrebe i održavanja kao i kraj životnog ciklusa (demontaža, rušenje, odlaganje, recikliranje), zbog specifičnosti svakog pojedinačnog objekta nisu uzete u obzir prilikom analize.

### 3.4 Analiza inventara (LCI)

Ovaj korak LCA podrazumeva prikupljanje podataka svih relevantnih ulaza i izlaza sistema (energija, masa i sl.), kao i podatke o emisijama u vazduh, vodu i zemljište. Kvalitet procene uticaja na životnu sredinu veoma je zavisn od kvaliteta raspoloživih podataka, a dodatni problem se javlja, jer ne postoje standardni podaci za sve komponente koje se koriste u konkretnim problemima.

Proizvodnja gotovih betona analizirana u ovom radu nalazi se u Srbiji, tako da su svi LCI podaci za proizvodnju prirodnog agregata, cementa i betona prikupljeni od lokalnih dobavljača i proizvođača [6]. Kako u Srbiji ne postoji proizvodnja primenjenog lakog agregata, podaci o emisijama za laki agregat preuzeti su iz pilot-projekta [8]. Podaci o emisijama u vezi s transportom preuzeti su iz GEMIS baze [7], a za čelik iz IISI baze podataka [3]. Podaci o emisijama za proizvodnju komponentnih materijala i betona prikazani su u Tabeli 5, a podaci o emisijama u vezi s transportom u Tabeli 6.

### 3.3 System boundaries

The construction phase (assembling, etc), use and maintenance or repair and the end-of-life phase (disassembling, demolition, disposal, recycling of concrete) were excluded because of specificity of every single structure.

### 3.4 Life cycle inventory (LCI)

This step of the LCA involves collecting data for each unit process regarding all relevant inputs and outputs (e.g. energy, mass), as well as data on emissions to air, water and land. The evaluation of the environmental impacts is highly determined by the quality of the available data, and there is additional problem because there is no standard data for all the components used in a concrete problem.

The production of ready-mix concrete analyzed in this paper is located in Serbia, so all the LCI data for production of natural aggregate, cement and concrete were collected from local suppliers and manufacturers [6]. Emissions for lightweight aggregate were collected from pilot project [8]. Emissions data for transportation are collected from GEMIS database [7], and for steel from IISI database [3]. Emissions data for the production of component materials and concrete are shown in Table 5, and the data on emissions associated with transport in Table 6.

Tabela 5. Emisije u vazduh (g/kg; g/m<sup>3</sup>) – proizvodnja  
Table 5. Emission to air (g/kg; g/m<sup>3</sup>) – production phase

	Cement Cement	Agregat Aggregate	LECA LECA	Armatura Reinforcement	Beton Concrete
CO	4.2032	0.0035	0.3900	16.7286	0.3760
NOx	2.2791	0.0156	1.150 0	1.4568	5.7042
SOx	3.6469	0.0054	3.5700	2.0080	42.3559
CH <sub>4</sub>	1.0027	0.0013	0.7400	0.4560	0.2130
CO <sub>2</sub>	861.2028	1.3779	291.00	1352.8250	2454.0636
N <sub>2</sub> O	0.0008	0.0001	0.0016	0.05945	0.0126
HCl	0.0678	-	0.1200	0.0359	1.1492
HC	0.0006	-	0.0399	-	0.0099
NMVOG	0.0347	0.0004	-	-	-
Čestice Particles	0.7120	0.0015	0.7200	0.0000	5.1628

Tabela 6. Emisije u vazduh (g/tkm) – transport  
Table 6. Emission to air (g/tkm) – transport phase

	Cement, LECA, armatura Cement, LECA, reinforcement	Agregat Aggregate	Beton Concrete
CO	0.3189	0.1554	0.9037
NOx	0.9844	0.4268	1.9407
SOx	0.4309	0.1715	0.9199
CH <sub>4</sub>	0.1239	0.0464	0.2530
CO <sub>2</sub>	110.77	43.388	234.85
N <sub>2</sub> O	0.0029	0.0013	0.0070
NMVOG	0.1247	0.0758	0.4958
Čestice Particles	0.1933	0.1521	0.1869

Pošto transport materijala i proizvoda dosta doprinosi zagađenju, pogotovo vazduha, da bi se dobila realna slika o zagađenjima usled transporta, potrebno je što preciznije proceniti transportna rastojanja i prevozno sredstvo. U ovom slučaju, transportna rastojanja pretpostavljena su na sledeći način:

- Transportno rastojanje za cement iznosi 100 km. Cement se transportuje kamionom.
- Transportno rastojanje za prirodni agregat iznosi 100km. Agregat se transportuje baržama.
- Transportno rastojanje za laki agregat iznosi 1000 km (LECA se proizvodi u Italiji). Agregat se transportuje kamionom.
- Transportno rastojanje za čelik iznosi 100km. Čelik se transportuje kamionom.
- Transportno rastojanje za gotove elemente iznosi 50km. Elementi se transportuju kamionom.

Na osnovu prethodno postavljenih uslova i projektnih podataka, podaci o emisiji štetnih materija u vazduh za analizirane grede prikazani su u tabelama 7–9.

In order to obtain a realistic picture of the pollution caused by transport, it is necessary to estimate the transport distance and type of transportation vehicle. In this case, the transport distances and vehicles were assumed as follows:

- Estimated distance for cement transportation by heavy trucks is 100 km.
- Estimated distance for natural aggregate transportation by medium-sized ship is 100 km.
- Estimated distance for lightweight aggregate transportation by heavy trucks is 1000 km.
- Estimated distance for steel transportation by heavy trucks is 100 km.
- Estimated distance for beam transportation by heavy trucks is 50 km.

According to previous conditions and design data, the emissions to air of analyzed concrete beams are presented in Tables 7-9.

*Tabela 7. LCI rezultati za grede LC<sub>1</sub>/1 i LC<sub>2</sub>/1*  
*Table 7. LCI data for beams LC<sub>1</sub>/1 i LC<sub>2</sub>/1*

Jedinjenje Substance	LC <sub>1</sub> /1		LC <sub>2</sub> /1	
	Proizvodnja Production	Transport Transport	Proizvodnja Production	Transport Transport
CO	8895.92	468.74	8518.27	475.31
NO <sub>x</sub>	3379.97	1269.22	3197.27	1287.93
SO <sub>x</sub>	6547.26	566.57	6292.93	574.77
CH <sub>4</sub>	1581.78	160.02	1506.36	162.34
CO <sub>2</sub>	1394233.64	145176.89	1321676.67	147278.91
N <sub>2</sub> O	18.62	4.04	18.59	4.10
HCl	159.01	-	155.49	-
HC	28.20	-	29.05	-
NM VOC	33.28	214.52	30.10	217.40
Čestice Particles	1178.70	224.12	1129.59	227.91

*Tabela 8. LCI rezultati za grede NC<sub>1</sub>/1 i NC<sub>2</sub>/1*  
*Table 8. LCI data for beams NC<sub>1</sub>/1 i NC<sub>2</sub>/1*

Jedinjenje Substance	NC <sub>1</sub> /1		NC <sub>2</sub> /1	
	Proizvodnja Production	Transport Transport	Proizvodnja Production	Transport Transport
CO	7390.85	260.80	7120.31	266.68
NO <sub>x</sub>	1807.06	616.71	1662.58	628.91
SO <sub>x</sub>	2787.95	279.28	2553.60	284.80
CH <sub>4</sub>	718.59	77.02	654.12	78.49
CO <sub>2</sub>	906277.15	71235.93	850952.54	72632.67
N <sub>2</sub> O	18.23	2.10	18.19	2.14
HCl	51.67	-	47.29	-
HC	0.35	-	0.31	-
NM VOC	21.32	135.74	19.15	139.14
Čestice Particles	424.38	103.82	378.70	106.15

*Tabela 9. LCI rezultati za grede NC<sub>1</sub>/2 i NC<sub>2</sub>/2*  
*Table 9. LCI data for beams NC<sub>1</sub>/2 i NC<sub>2</sub>/2*

Jedinjenje Substance	NC <sub>1</sub> /2		NC <sub>2</sub> /2	
	Proizvodnja Production	Transport Transport	Proizvodnja Production	Transport Transport
CO	7758.87	325.55	7359.97	327.00
NO <sub>x</sub>	2142.31	767.73	1927.74	769.05
SO <sub>x</sub>	3327.48	347.80	2982.91	348.42
CH <sub>4</sub>	863.39	95.87	768.28	95.98
CO <sub>2</sub>	1016457.16	88704.69	934872.97	88849.55
N <sub>2</sub> O	17.45	2.61	17.38	2.62
HCl	61.79	-	55.38	-
HC	0.44	-	0.39	-
NM VOC	26.88	169.82	23.62	170.99
Čestice Particles	534.98	129.02	467.66	129.47

### 3.5 Ocena uticaja životnog ciklusa (LCIA)

Uticaj životnog ciklusa na posmatrane kategorije određuje se množenjem prethodno dobijenih podataka o emisijama sa odgovarajućim faktorima ekvivalencije ( $m_i$ ), čime se sva jedinjenja koja se emituju u vazduh iskazuju preko jedinjenja karakterističnog za analiziranu kategoriju. Vrednosti ovih faktora date su u Tabeli 10 [5].

### 3.5 Life cycle impact assessment (LCIA)

The environmental impacts are calculated by multiplying the emission result with their corresponding characterization factors ( $m_i$ ), in order to express impact of all substances over one characteristic for analyzed impact category. Values of characterization factors are given in Table 10 [5].

Tabela 10. Faktori ekvivalencije ( $m_i$ )  
Table 10. Characterization factors ( $m_i$ )

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	N	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	HCl	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	HC
GWP (gCO <sub>2</sub> -eq./g)	1	25	320	-	-	-	-	-	-	-
EP (gPO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -eq./g)	-	-	-	0.42	0.13	-	-	-	-	-
AP (gSO <sub>2</sub> -eq./g)	-	-	-	-	0.7	1	0.88	-	-	-
POCP (gC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./g)	-	0.007	-	-	-	-	-	1	0.032	0.409

Potencijal globalnog zagrevanja (GWP) izražava se u g CO<sub>2</sub>-ekvivalentu za svaki gas prema izrazu:

The global warming potential (GWP) is expressed with CO<sub>2</sub>-equivalents according to:

$$GWP(gCO_2 - eq.) = \sum GWP_i \times m_i \quad (1)$$

Potencijal eutrofikacije (EP) izražava se u g PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>-ekvivalentu za svaki gas prema izrazu:

The eutrophication potential (EP) is expressed with PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>-equivalents according to:

$$EP(gPO_4^{-3} - eq.) = \sum EP_i \times m_i \quad (2)$$

Potencijal zakiseljavanja (AP) izražava se u g SO<sub>2</sub>-ekvivalentu za svaki gas prema izrazu:

The acidification potential effect (AP) is expressed with SO<sub>2</sub>-equivalents according to:

$$AP(gSO_2 - eq.) = \sum AP_i \times m_i \quad (3)$$

Potencijal fotohemijskog formiranja ozona (POCP) za organska jedinjenja izražava se u g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekvivalentu prema izrazu:

The photochemical ozone formation (POCP) for organic compounds is expressed with ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) equivalents according to:

$$POCP(gC_2H_4 - eq.) = \sum POCP_i \times m_i \quad (4)$$

Uticaj odabrane funkcionalne jedinice na posmatrane kategorije sračunat je na osnovu rezultata datih u tabelama 7–9 i na osnovu izraza (1)-(4) [5]. Dobijeni rezultati dati su u tabelama 11 i 12.

Calculated environmental impacts (based on values in tables 7-9 and eq. (1)-(4) [5]) for chosen impact categories per functional unit (concrete beam) are shown in Tables 11 and 12.

Tabela 11. Vrednost uticaja funkcionalne jedinice – proizvodnja  
Table 11. Calculated environmental impact – production phase

	GWP g CO <sub>2</sub> -eq.	EP g PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -eq.	AP g SO <sub>2</sub> -eq.	POCP g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.
LC <sub>1</sub> /1	1439735.910	439.396	9053.167	401.915
LC <sub>2</sub> /1	1365284.197	415.645	8667.852	384.534
NC <sub>1</sub> /1	930076.832	234.918	4098.360	292.279
NC <sub>2</sub> /1	873127.783	216.135	3759.030	279.109
NC <sub>2</sub> /2	1292829.699	278.500	4881.474	314.493
NC <sub>2</sub> /2	1180810.772	250.606	4381.065	295.032

Tabela 12. Vrednost uticaja funkcionalne jedinice – transport  
Table 12. Calculated environmental impact – transport phase

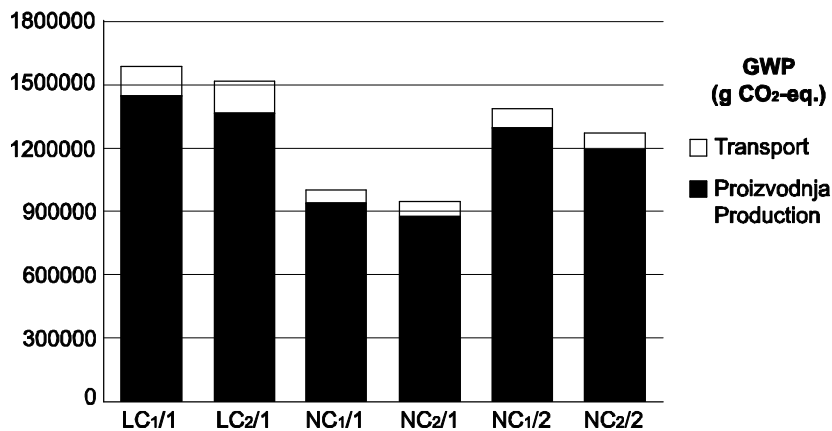
	GWP g CO <sub>2</sub> -eq.	EP g PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -eq.	AP g SO <sub>2</sub> -eq.	POCP g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.
LC <sub>1</sub> /1	150471.362	164.999	1455.026	51.658
LC <sub>2</sub> /1	152650.009	167.431	1476.324	52.408
NC <sub>1</sub> /1	73832.034	80.173	710.983	26.153
NC <sub>2</sub> /1	75279.584	81.759	725.039	26.693
NC <sub>2</sub> /2	91937.384	99.805	885.216	32.585
NC <sub>2</sub> /2	92087.429	99.977	886.751	32.669

#### 4 DISKUSIJA

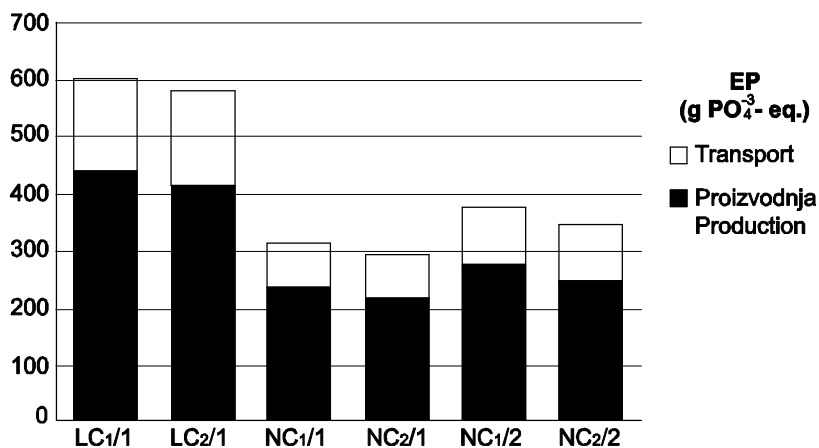
Na slikama 2–5 prikazani su doprinosi faze proizvodnje i faze transporta uticaju životnog ciklusa analiziranih AB greda na posmatrane kategorije uticaja. Rezultati ove analize pokazuju da grede izrađene od lakoagregatnog betona – u poređenju s gredama od normalnog betona, imaju veći uticaj na sve posmatrane kategorije.

#### 4 DISCUSSION

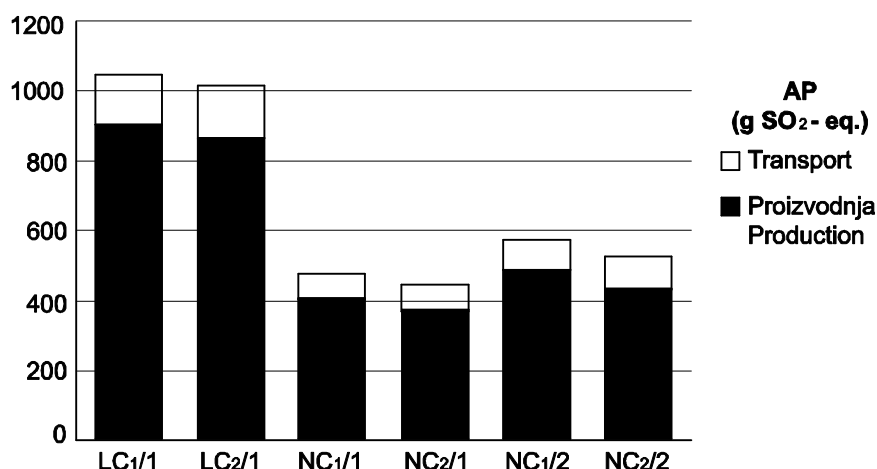
Figures 2-5 show the contribution of production and transportation phases of the life cycle of analyzed RC beams to the impact categories. The results show that production phase of concrete beams made of lightweight concrete compared to the beams made of normal concrete has higher impacts on all impact categories.



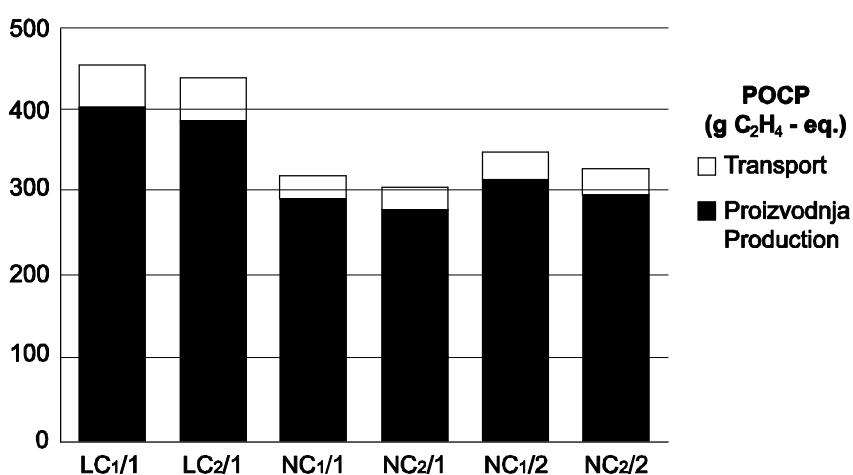
Slika 2. Uticaj životnog ciklusa na globalno zagrevanje  
Figure 2. Impact of life cycle phases to global warming



Slika 3. Uticaj životnog ciklusa na eutrofikaciju  
Figure 3. Impact of life cycle phases to eutrophication



Slika 4. Uticaj životnog ciklusa na zakiseljavanje  
Figure 4. Impact of life cycle phases to acidification



Slika 5. Uticaj životnog ciklusa na fotohemijsko stvaranje ozona  
Figure 5. Impact of life cycle phases to photochemical ozone creation potential

Poređenjem greda koje imaju istu nosivost i istu vrednost ugiba uočava se:

- greda LC<sub>1</sub>/1 ima 58,4% veći doprinos globalnom zagrevanju od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 60,1% veći od grede NC<sub>2</sub>/1,

- greda LC<sub>1</sub>/1 ima 91,8% veći doprinos eutrofikaciji od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 95,7% veći od grede NC<sub>2</sub>/1,

- greda LC<sub>1</sub>/1 ima 118,5% veći doprinos zakiseljavanju od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 126,2% veći od grede NC<sub>2</sub>/1,

- greda LC<sub>1</sub>/1 ima 42,4% veći doprinos fotohemijskom stvaranju ozona od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 42,9% veći od grede NC<sub>2</sub>/1.

Poređenjem greda koje imaju istu nosivost i iste dimenzije poprečnog preseka uočava se:

- greda LC<sub>1</sub>/1 ima 14,8% veći doprinos globalnom zagrevanju od grede NC<sub>1</sub>/2, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 19,25% veći od grede NC<sub>2</sub>/2,

- greda LC<sub>1</sub>/1 ima 59,8% veći doprinos eutrofikaciji od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 66,3% veći od grede NC<sub>2</sub>/1,

Comparing the beams that have the same load bearing capacity and the same value of deflection shows:

- Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 58.4% higher impact on global warming than NC<sub>1</sub>/1, while LC<sub>2</sub>/1 has 60.1% higher impact than NC<sub>2</sub>/1.

- Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 91.8% higher impact on eutrophication than NC<sub>1</sub>/1, while LC<sub>2</sub>/1 has 95.7% higher impact than NC<sub>2</sub>/1.

- Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 118.5% higher impact on acidification than NC<sub>1</sub>/1, while LC<sub>2</sub>/1 has 126.2% higher impact than NC<sub>2</sub>/1.

- Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 42.4% higher impact on photochemical ozone creation than NC<sub>1</sub>/1, while LC<sub>2</sub>/1 has 42.9% higher impact than NC<sub>2</sub>/1.

Comparing the beams that have the same load bearing capacity and the same cross sections, shows:

- Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 14.8% higher impact on global warming than NC<sub>1</sub>/2, while LC<sub>2</sub>/1 has 19.25% higher impact than NC<sub>2</sub>/2.

- Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 59.8% higher impact on eutrophication than NC<sub>1</sub>/2, while LC<sub>2</sub>/1 has 66.3% higher

– greda LC<sub>1</sub>/1 ima 82,2% veći doprinos zakiseljavanju od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 92,6% veći od grede NC<sub>2</sub>/1,

– greda LC<sub>1</sub>/1 ima 30,7% veći doprinos fotohemijskom stvaranju ozona od grede NC<sub>1</sub>/1, dok je doprinos grede LC<sub>2</sub>/1 33,3% veći od grede NC<sub>2</sub>/1.

Poređenjem uticaja transporta u odnosu na ukupne uticaje na posmatrane kategorije uočava se:

– doprinos globalnom zagrevanju iznosi 9,5% za LC<sub>1</sub>/1, 10,1% za LC<sub>2</sub>/1, 7,4% za NC<sub>1</sub>/1, 7,9% za NC<sub>2</sub>/1, 6,6% za NC<sub>1</sub>/2 i 7,2% za NC<sub>2</sub>/2,

– doprinos eutrofikaciji iznosi 27,3% za LC<sub>1</sub>/1, 28,7% za LC<sub>2</sub>/1, 25,4% za NC<sub>1</sub>/1, 27,5% za NC<sub>2</sub>/1, 26,4% za NC<sub>1</sub>/2 i 28,5% za NC<sub>2</sub>/2,

– doprinos zakiseljavanju iznosi 13,8% za LC<sub>1</sub>/1, 14,6% za LC<sub>2</sub>/1, 14,8% za NC<sub>1</sub>/1, 16,2% za NC<sub>2</sub>/1, 15,4% za NC<sub>1</sub>/2 i 16,8% za NC<sub>2</sub>/2,

– doprinos fotohemijskom stvaranju ozona iznosi 11,4% za LC<sub>1</sub>/1, 12% za LC<sub>2</sub>/1, 8,2% za NC<sub>1</sub>/1, 8,7% za NC<sub>2</sub>/1, 9,4% za NC<sub>1</sub>/2 i 9,9% za NC<sub>2</sub>/2.

Ovako velika razlika u uticajima između greda od lakoagregatnog betona i greda od normalnog betona može se objasniti većom količinom upotrebljenog cementa za spravljanje lakoagregatnog betona da bi se postigla zahtevana mehanička svojstva, kao i činjenicom da je kod lakoagregatnog betona deo rečnog agregata zamenjen lakim agregatom u čijoj se proizvodnji emituju značajno veće količine štetnih gasova.

Razlike u uticajima koji su posledica faze transporta, variraju u zavisnosti od posmatrane kategorije i zavisni su kako od pretpostavljenih transportnih rastojanja, tako i od mase koja se transportuje. U analiziranom slučaju, poređenjem elemenata koji imaju isti ugib, može se zaključiti da se u slučaju lakoagregatnih betona tokom faze transporta emituje dva puta više štetnih gasova nego u fazi transporta za normalan beton. Poređenjem elemenata koji imaju isti poprečni presek, emisija štetnih gasova u fazi transporta za lakoagregatni beton jeste cca 64% veća. Kao i u fazi proizvodnje, i ovde se razlika u uticajima objašnjava većom količinom upotrebljenog cementa, ali i velikim transportnim rastojanjem za laki agregat. U slučaju elemenata sa istim poprečnim presekom, razlika u uticajima je manja, što je posledica 25% veće mase elemenata od normalnog betona.

## 5 ZAKLJUČAK

Na osnovu komparativne LCA analize greda napravljenih od lakoagregatnog betona i normalnog betona, zaključeno je:

– grede od lakoagregatnog betona imaju 1.4 do 2,3 puta veći uticaj na analizirane kategorije u slučaju iste nosivosti i iste vrednosti ugiba;

– grede od lakoagregatnog betona imaju 1.2 do 1,9 puta veći uticaj na analizirane kategorije u slučaju iste nosivosti i istog poprečnog preseka;

– uticaj faze transporta životnog ciklusa ne zavisi značajno od vrste betona za izradu elemenata.

Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da je primena konstruktivnog lakoagregatnog betona u elementima opterećenim na savijanje, a iz aspekta

impact than NC<sub>2</sub>/2.

– Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 82.2% higher impact on acidification than NC<sub>1</sub>/2, while LC<sub>2</sub>/1 has 92.6% higher impact than NC<sub>2</sub>/2.

– Concrete beam LC<sub>1</sub>/1 has 30.7% higher impact on photochemical ozone creation than NC<sub>1</sub>/2, while LC<sub>2</sub>/1 has 33.3% higher impact than NC<sub>2</sub>/2.

Comparing the impact of transport in relation to the overall effects, influences of transport on analyzed categories are:

– On global warming 9.5% for LC<sub>1</sub>/1, 10.1% for LC<sub>2</sub>/1, 7.4% for NC<sub>1</sub>/1, 4.9% for NC<sub>2</sub>/1, 6.6% for NC<sub>1</sub>/2 and 7.2% for NC<sub>2</sub>/2.

– On eutrophication 27.3% for LC<sub>1</sub>/1, 28.7% for LC<sub>2</sub>/1, 25.4% for NC<sub>1</sub>/1, 27.5% for NC<sub>2</sub>/1, 26.4% for NC<sub>1</sub>/2 and 28.5% for NC<sub>2</sub>/2.

– On acidification 13.8% for LC<sub>1</sub>/1, 14.6% for LC<sub>2</sub>/1, 14.8% for NC<sub>1</sub>/1, 16.2% for NC<sub>2</sub>/1, 15.4% for NC<sub>1</sub>/2 and 16.8% for NC<sub>2</sub>/2.

– On photochemical ozone creation 11.4% for LC<sub>1</sub>/1, 12% for LC<sub>2</sub>/1, 8.2% for NC<sub>1</sub>/1, 8.7% for NC<sub>2</sub>/1, 9.4% for NC<sub>1</sub>/2 and 9.9% for NC<sub>2</sub>/2.

Such difference in the environmental impacts between lightweight concrete beams and normal concrete beams can be explained by the significantly greater amount of the used cement to obtain the designed mechanical properties of lightweight concrete. In addition, significant contributor to the observed impact categories is production process of lightweight aggregate.

The differences of the impacts that are the result of the transport phase vary depending on the considered categories, assumed distance of transport, and the weight to be transported. Comparing elements that have the same deflection, in the case of lightweight concrete, airborne emissions during transport phase is twice as much as during transport phase for normal concrete. Comparing elements that have the same cross-section, in the case of lightweight concrete, airborne emissions during transport phase is about 64% higher than during transport phase for normal concrete. As with the production phase, differences in the environmental impacts can be explained with higher amount of cement, as well as large transport distance for the lightweight aggregate. In the case of elements with the same cross section difference in influence is lower, because of 25% greater mass of elements from normal concrete.

## 5 CONCLUSIONS

Based on comparative LCA analysis of lightweight concrete and normal concrete beams, it is concluded:

– Lightweight concrete beam has 1.4-2.3 times higher impact on all analyzed impact categories than normal concrete beam in the case of same load bearing capacity and same deflection.

– Lightweight concrete beam has 1.2-1.9 times higher impact on all analyzed impact categories than normal concrete beam in the case of same load bearing capacity and same cross-section.

– Impact from transportation phase does not depend significantly on type of concrete used for beams.

Based on the presented results it can be concluded that the use of structural lightweight concrete in

uticaja na zagađenje vazduha – neopravdana.

Ako je za određivanje dimenzija poprečnog preseka, pored nosivosti, merodavan i kriterijum upotrebljivosti, grede od lakoagregatnog betona zahtevaju veći poprečni presek od greda od normalnog betona, što je posledica nižeg modula elastičnosti, a što onda dovodi do približno iste sopstvene težine, potrebne veće količine komponentnih materijala, a samim tim i veće cene.

Ako kriterijum upotrebljivosti nije ograničavajući faktor ili ga je moguće zadovoljiti na drugi način (npr. prethodnim naprezanjem), grede od lakoagregatnog betona istog poprečnog preseka kao grede od normalnog betona imaju cca 25% manju sopstvenu težinu, čime bi upotreba lakoagregatnog betona mogla biti opravdana.

S druge strane, lakoagregatni betoni analizirani u ovom radu, kao i ostale vrste lakoagregatnih betona, imaju bolje termičke karakteristike, i njihovom primenom za izradu konstruktivnih elemenata bi se sigurno doprinelo energetske efikasnosti objekata i na taj način redukovali negativni uticaji na životnu sredinu.

Rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju polaznu osnovu za mnogo detaljniju uporednu analizu uticaja na životnu sredinu ne samo grednih elemenata, već i ostalih elemenata konstrukcije kao celine tokom celog životnog ciklusa, od proizvodnje komponentnih materijala do kraja životnog ciklusa.

## Zahvalnost

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom „Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji”.

## 6 LITERATURA REFERENCES

- [1] ACI Committee. 2003. ACI 213-03: Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete.
- [2] FIP manual of lightweight aggregate concrete 1983, Glasgow: Surry University Press
- [3] International Iron & Steel Institute (IISI). 2002. Appendix 5 Application of the IISI LCI data to recycling scenarios, life-cycle inventory methodology report. Brussels: IISI.
- [4] ISO 14040:2006. Environmental Management - Life-cycle Assessment – Principles and framework. Geneva: International Organization for Standardization.
- [5] Jensen, A.A. et al. 1997. Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources. *Environmental Issues Series* (6): 83-91
- [6] Marinkovic S., Radonjanin V., Malesev M., Lukic I. 2008. Life-Cycle Environmental Impact Assessment of Concrete. In: Braganca et al. (eds), *Sustainability of Constructions-Integrated Approach to Life-time Structural Engineering; Proc. COST C25 Seminar. Dresden, 6-7 October 2008*. Dresden: TU Dresden.
- [7] Öeko-Institute. 2007. Global Emission Model for Integrated Systems GEMIS. Available on-line at <http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm>. [accessed on January 20, 2008]
- [8] Ronning, A. et al. 1999. Leca international environmental project. *Report from pilot project STØ Report OR.19.99*.

structural members loaded primarily in bending, in terms of analyzed impact categories, is not justified.

If the usability criteria, beside load bearing capacity, is a limiting factor for determination of the cross-section, lightweight concrete beams require a larger cross-section than normal concrete beams because of a lower modulus of elasticity, which then leads to almost equal self-weight, larger amounts of the component matter, and thus higher prices.

If the usability criterion is not a limiting factor, or it is possible to satisfy it on the other way (e.g. prestressing), lightweight concrete beams of the same cross-section as normal concrete beams have approximately 25% lower self-weight, which could make the use of lightweight aggregate concrete justified.

On the other hand, lightweight concrete analyzed in this paper, as well as other types of lightweight concretes have better thermal characteristics, and their use for the production of structural elements would certainly contribute to the energy efficiency of buildings and thus reduce the negative impacts on the environment.

These results are a starting point for more detailed and comprehensive life cycle assessment of the impact of the whole structure made of structural lightweight concrete (columns, walls, slabs and masonry blocks).

## Acknowledgements

The work reported in this paper is a part of the investigation within the research project TR 36017 "Utilization of by-products and recycled waste materials in concrete composites in the scope of sustainable construction development in Serbia: investigation and environmental assessment of possible applications", supported by the Ministry for Science and Technology, Republic of Serbia. This support is gratefully acknowledged.



## REZIME

### KOMPARATIVNA LCA ANALIZA GREDA SPRAVLJENIH OD NORMALNOG I KONSTRUKCIJSKOG LAKOAGREGATNOG BETONA

Ivan LUKIĆ  
Mirjana MALEŠEV  
Vlastimir RADONJANIN  
Vesna BULATOVIĆ  
Jasmina DRAŽIĆ

U radu su predstavljeni rezultati eksperimentalnih istraživanja osnovnih osobina lakoagregatnih i normalnih betona i komparativne analize uticaja na životnu sredinu (LCA) u slučaju primene za izradu elemenata izloženih savijanju. Funkcionalna jedinica izabrana za ovu analizu jeste AB greda. Analizirana su dva slučaja: a) kada grede imaju istu nosivost i istu deformaciju; b) kada grede imaju istu nosivost i isti poprečni presek. Analizirane kategorije uticaja jesu: potencijal globalnog zagrevanja, potencijal eutrofikacije, potencijal acidifikacije i potencijal fotohemijskog formiranja ozona. Na osnovu komparativne LCA analize AB greda od lakoagregatnih i normalnih betona, zaključeno je da lakoagregatni betoni imaju 1,4–2,3 puta veći uticaj u slučaju iste nosivosti i iste deformacije, odnosno 1,2–1,9 puta veći uticaj u slučaju iste nosivosti i istog poprečnog preseka.

**Ključne reči:** lakoagregatni beton, modul elastičnosti, LCA, životni ciklus, zagađenje, funkcionalna jedinica

## SUMMARY

### COMPARATIVE LCA ANALYSIS OF ORDINARY CONCRETE BEAMS AND STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE BEAMS

Ivan LUKIĆ  
Mirjana MALESEV  
Vlastimir RADONJANIN  
Vesna BULATOVIĆ  
Jasmina DRAZIC

This paper presents the results of experimental research of the basic properties of lightweight and normal concretes and comparative analysis of their environmental impacts if used for elements subjected to bending. In order to compare environmental impacts, LCA analysis was performed. The RC beam is chosen as a functional unit in this analysis. Two case studies are analyzed: beams have same load bearing capacity and same deflection and beams have same load bearing capacity and same cross section. The analyzed environmental impact categories are Global Warming Potential, Eutrophication Potential, Acidification Potential and Photochemical Oxidant Creation Potential. Comparative LCA analysis of lightweight concrete and normal concrete beams, shows that lightweight concrete beams have 1.4-2.3 times higher impact in the case of same load bearing capacity and same deflection, and 1.2-1.9 times higher impact in the case of same load bearing capacity and same cross-section.

**Key words:** lightweight concrete, modulus of elasticity, LCA, Life Cycle, pollution, functional unit



# LAMINIRANI TANKOZIDNI NOSAČI – PRVI DEO

## LAMINATED THIN-WALLED BEAMS – FIRST PART

Aleksandar PROKIĆ  
Martina VOJNIĆ PURČAR

ORIGINALNI NAUČNI RAD  
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER  
UDK: = 861

### 1 UVOD

Kompozitni materijali su oni koji se dobijaju kombinacijom dvaju ili više materijala koji zajedno postižu karakteristike kakve odvojeno ne mogu postići. Zbog male težine u odnosu na otpornost koja se postiže, ovaj materijal ima značajne prednosti u poređenju s tradicionalnim materijalima. Sastoji se od osnovnog materijala – mase, to jest matrice u koju su ugrađena vlakna, koja mogu biti isprekidana, neprekidna – u jednom pravcu ili u oba pravca, talasasta – u jednom pravcu ili u oba pravca. Kod vlaknastih slojevitih materijala, vlakna su nosivi elementi, dok osnovna masa ima ulogu da zaštiti vlakna od spoljašnjih uticaja, da ih drži zajedno i da obavlja ravnomernu raspodelu uticaja na svako vlakno. Materijali koji se upotrebljavaju za izradu vlakana mogu biti od čelika, aluminijuma, bakra, gvožđa, stakla, grafita itd. Matrice mogu biti polimerne, ugljenične, metalne, keramičke i dr. Svojstva matrice određuju i svojstva kompozita, kao i ograničenja u primeni.

Kompozitni materijali primenjuju se u avioindustriji za izradu spoljašnjih delova aviona, komponenti motora, kao i delova koji su izloženi visokim temperaturama.

Kompoziti imaju široku primenu i u izradi delova automobila. Jedna od primena jeste ojačanje automobilskih guma, kao i sigurnosnog stakla – kao kompozita kod kog plastično vezivo sjedinjuje deliće stakla.

### 1 INTRODUCTION

Composite materials are materials constructed by combining two or more materials which achieve the characteristics that combined materials fail to achieve individually. This material due to its lightweight feature in relation to its resistance has significant advantages over traditional materials. They consist of basic materials - matrix embedded with fibers which can be intermittent, continuous one-way, continuous in both directions, wavy in one or both directions. Fibers are the supporting elements in fibrous layered materials while the matrix protects the fibers from external effects, keeping them together and distributing the effects equally on each fiber. Materials used to construct fibers can be steel, aluminum, copper, iron, glass, carbon, graphite, etc. Matrix may be polymeric, carbon, metal, ceramic and others. Features of the matrix determine the characteristics of composites, as well as the limitations in its application.

They are also used in airline industry for the construction of external parts of airplanes, engine components and parts that are exposed to high temperatures.

The composites have a high rate of usage in car industry where they are used for the construction of car parts and reinforcement of car tires. Safety glass (laminated glass) is a composite in which a plastic binder bonds the layers of glass and prevents it from shattering.

---

Prof. dr Aleksandar Prokić, Univerzitet u Novom Sadu,  
Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a,  
[aprokic@eunet.rs](mailto:aprokic@eunet.rs)  
Acc Martina P.Vojnić, Univerzitet u Novom Sadu,  
Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a,  
[vojnicsmartina@yahoo.com](mailto:vojnicsmartina@yahoo.com)

---

Prof.dr. Aleksandar Prokić, University of Novi Sad, Faculty  
of civil engineering Subotica, Kozaračka 2a,  
[aprokic@eunet.rs](mailto:aprokic@eunet.rs)  
acc Vojnić P. Martina, University of Novi Sad, Faculty of  
civil engineering Subotica, Kozaračka 2a,  
[vojnicsmartina@yahoo.com](mailto:vojnicsmartina@yahoo.com)

U građevinarstvu, kompozitni materijali primenjuju se u pločama, ljuskama, gredama, oblogama (sl. 1), a u poslednje vreme nalaze sve veću primenu prilikom sanacija konstrukcija. Posebno treba istaći primenu tankozidnih elemenata u kompozitnim konstrukcijama koje se sastoje od laminata kombinovanih od tankih ploča – lamina, slojeva (sl. 2). Slojevi mogu biti različitih debljina s najčešće uniaksijalnim rasporedom vlakana u svakom pojedinom sloju.

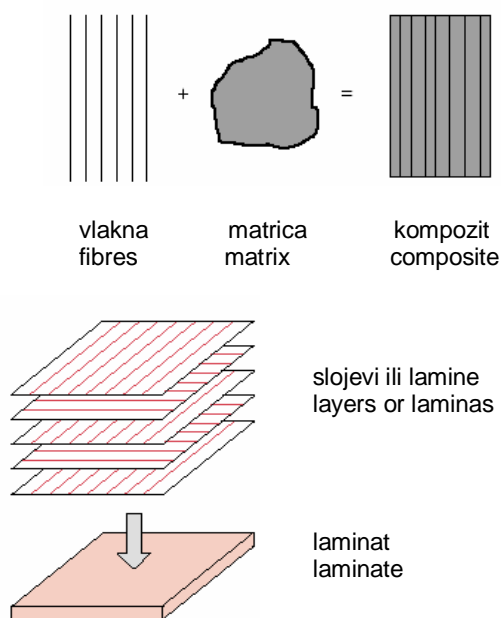
Glavni ograničavajući faktor masovnije primene kompozitnih materijala jeste njihova relativno visoka cena.

In civil engineering composite materials are used in construction of plates, shells, beams, covering, Fig. 1, and recently they have found usage in reconstruction. What should be noted is their usage in construction of thin-walled elements, consisting of laminates combined by thin plates (lamina, layers), Fig. 2. The layers have different thickness with the uniaxial arrangement of fibers in each layer.

The main disadvantage of composite materials is their relatively high price.



*Slika 1. Upotreba kompozitnih materijala u građevinarstvu  
Hotel „Burj Al Arab” u Dubaiju  
u svojoj konstrukciji sadrži 33000m<sup>2</sup> staklom ojačanih sendvič-panela  
Figure 1. Use of composite materials in civil engineering  
Hotel Burj Al Arab at Dubai  
Its construction consist of 33000m<sup>2</sup> reinforced sandwich panels*



*Slika 2. Laminat  
Figure 2. Laminate*

## 2 TEORIJA LAMINATA

Kao što je poznato, u opštem slučaju anizotropnog elastičnog materijala, broj nezavisnih materijalnih konstanti tenzora elastičnosti, koji uspostavlja vezu između Košijevog tenzora napona i tenzora deformacije, jeste 21.

Posebna vrsta anizotropnih materijala, koji imaju tri međusobno upravne ravni elastične simetrije, nazivaju se ortotropni materijali. Kod ovih materijala broj nezavisnih konstanti elastičnosti jeste 9. U tom slučaju, veza između deformacijskih i naponskih veličina data je izrazom

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_3} \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} \\ & & & \frac{1}{G_{23}} \\ & & & & \frac{1}{G_{31}} \\ & & & & & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (1)$$

pri čemu je

whereby

$$\frac{\nu_{21}}{E_2} = \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad \frac{\nu_{31}}{E_3} = \frac{\nu_{13}}{E_1} \quad \frac{\nu_{32}}{E_3} = \frac{\nu_{23}}{E_2} \quad (2)$$

Materijal čije su fizičke karakteristike simetrične oko ose koja je normalna na ravan izotropije nazivamo transversalno izotropnim materijalom. U toj ravni, materijalne karakteristike su iste u svim pravcima. Primer transversalno izotropnog materijala jeste laminat (kompozitna ploča) koji se sastoji od slojeva (lamina) armiranih vlaknima koja mogu imati različite pravce u odnosu na ose laminata. Osa  $x_1$  neka se poklapa s pravcem vlakana,  $x_2$  neka je upravna na pravac vlakana u ravni sloja i  $x_3$  upravna na ravan sloja.

Pojedine slojeve možemo tretirati kao homogen, transversalno izotropan material, gde se ravan upravna na pravac vlakana (ravan koju obrazuju ose  $x_2$  i  $x_3$ ) može smatrati kao izotropna ravan. U tom slučaju, važe relacije

$$\begin{aligned} E_2 &= E_3 \\ G_{31} &= G_{12} \\ G_{23} &= \frac{E_3}{2(1+\nu_{23})} \\ \nu_{31} &= \nu_{21} \end{aligned} \quad (3)$$

Jednačina (1) svodi se na

Equation (1) comes to:

In general anisotropic elastic material number of independent material constants of tensor of elasticity, which establishes a connection between the Cauchy's stress tensor and strain tensor, is 21.

Special types of anisotropic materials, which contain three perpendicular planes of elastic symmetry, are called orthotropic materials. In these materials the number of independent constants of elasticity is 9. In this case, the reaction between strain and stress is given by the formulation

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_2} & & & \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_2} & & & \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & & & \\ & & & \frac{1}{G_{23}} & & \\ & & & & \frac{1}{G_{31}} & \\ & & & & & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (4)$$

pri čemu je

whereby:

$$\frac{\nu_{21}}{E_2} = \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad (5)$$

Ako je reč o jednom sloju (lamini), imamo slučaj ravnog stanja naprezanja

Should this be a single layer (lamina), we have a case of plane stress

$$\begin{aligned} \sigma_3 = 0 \quad \tau_{23} = 0 \quad \tau_{31} = 0 \\ \sigma_1 \neq 0 \quad \sigma_2 \neq 0 \quad \tau_{12} \neq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

pa se jednačina (4) redukuje na sledeći oblik

so the equation (4) is reduced to the following

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{12}}{E_1} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Jednačina (7) može se napisati i u inverznom obliku

Equation (7) can be written as an inverse equation

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{12} & Q_{22} \\ & & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (8)$$

gde su koeficijenti matrice krutosti dati sledećim izrazima

where the coefficients of the stiffness matrix are given by the following formulation

$$\begin{aligned} Q_{11} &= \frac{E_1}{1 - \nu_{12}^2 \frac{E_2}{E_1}} \\ Q_{12} &= \frac{\nu_{12} E_2}{1 - \nu_{12}^2 \frac{E_2}{E_1}} \\ Q_{22} &= \frac{E_2}{1 - \nu_{12}^2 \frac{E_2}{E_1}} \\ Q_{66} &= G_{12} \end{aligned} \quad (9)$$

### 3 LAMINATI PROIZVOLJNE ORIJENTACIJE

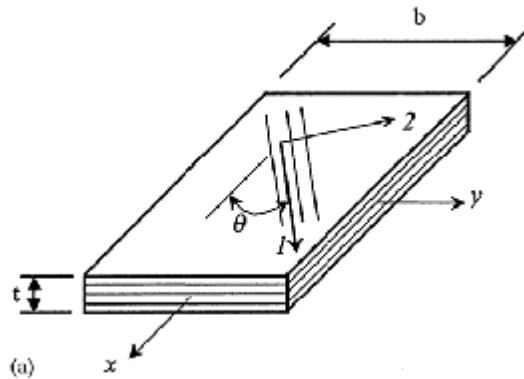
U prethodnom poglavlju, karakteristike materijala ispisane su uz pretpostavljanje da se ose laminata poklapaju s geometrijskim osama. U praksi, ose slojeva uglavnom se ne poklapaju s geometrijskim osama, čija je orijentacija određena karakterom problema koji se istražuje (sl. 3).

Zbog toga je potrebno izvršiti transformaciju konstitutivnih jednačina da bi se prilagodile globalnom koordinatnom sistemu.

### 3 LAMINATES OF ARBITRARY ORIENTATION

In the previous chapter, features of orthotropic materials are observed assuming that the laminate axes overlap with the geometric axes. In practice, the axis of orthotropic laminate materials does not overlap with the geometric axes, whose orientation is determined by the character of the problem, Fig. 3

Therefore it is necessary to transform the constitutive equations in order to adjust them to the global coordinate system.



Slika 3. Orijehtacija vlakana  
Figure 3. Orientation of fibers

Matrica transformacije za ravanski problem je sledeća

Transformation matrix for the plane problem is:

$$T = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & mn \\ n^2 & m^2 & -mn \\ -2mn & 2mn & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$m = \cos \theta \quad (11)$$

$$n = \sin \theta$$

Matrična jednačina koja predstavlja odnos između napona i deformacija ima sledeći oblik

Matrix equation that shows the relation between strain and stress is:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ t_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_z \\ s_s \\ t_{sz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_z \\ e_s \\ g_{sz} \end{bmatrix} \quad (12)$$

A elemente matrice koeficijentata možemo izračunati prema sledećim izrazima

Elements of previous matrix are calculated from the following equations:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11}m^4 + Q_{22}n^4 + 2m^2n^2(Q_{12} + 2Q_{66}) \\ \bar{Q}_{12} &= m^2n^2(Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) + (m^4 + n^4)Q_{12} \\ \bar{Q}_{16} &= [Q_{11}m^2 - Q_{22}n^2 - (Q_{12} + 2Q_{66})(m^2 - n^2)]mn \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11}n^4 + Q_{22}m^4 + 2m^2n^2(Q_{12} + 2Q_{66}) \\ \bar{Q}_{26} &= [Q_{11}n^2 - Q_{22}m^2 + (Q_{12} + 2Q_{66})(m^2 - n^2)]mn \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12})m^2n^2 + Q_{66}(m^2 - n^2)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

#### 4 TANKOZIDNI NOSAČI

Na osnovu usvojenih pretpostavki koje važe u Teoriji tankozidnih nosača, možemo zanemariti napon  $\sigma_s$  u pravcu srednje linije poprečnog preseka, tako da se veza između naponskih i deformacijskih veličina dobija u sledećem obliku

$$\begin{bmatrix} \sigma_z \\ \tau_{sz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_z \\ \gamma_{sz} \end{bmatrix} \quad (14)$$

pri čemu je:

whereby:

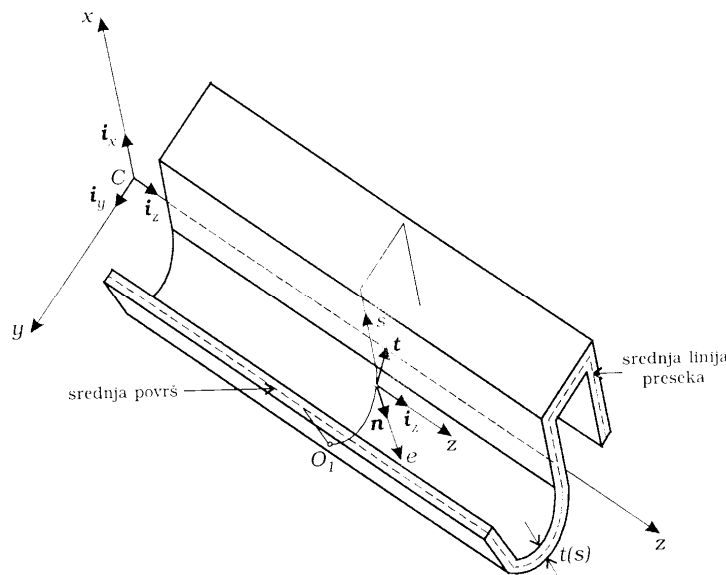
$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= \bar{Q}_{11} - \frac{\bar{Q}_{12}^2}{\bar{Q}_{22}} \\ \bar{Q}_{16} &= \bar{Q}_{16} - \frac{\bar{Q}_{12}\bar{Q}_{26}}{\bar{Q}_{22}} \\ \bar{Q}_{66} &= \bar{Q}_{66} - \frac{\bar{Q}_{26}^2}{\bar{Q}_{22}} \end{aligned} \quad (15)$$

#### 5 IZRAZI ZA PRESEČNE SILE I USLOVI RAVNOTEŽE TANKOZIDNOG NOSAČA PROIZVOLJNOG POPREČNOG PRESEKA

Kao što je uobičajeno, dva koordinatna sistema koriste se pri analizi tankozidnih nosača. Descartes-ov koordinatni sistem  $xyz$ , desne orijentacije, čija je  $z$  osa paralelna osi štapa, a ose  $x$  i  $y$  leže u ravni poprečnog preseka, i krivolinijski koordinatni sistem  $esz$  takođe desne orijentacije, s jediničnim vektorima  $\mathbf{n}$ ,  $\mathbf{t}$  i  $\mathbf{i}_z$ , sl. 4.

#### 5 EXPRESSIONS FOR THE CROSS-SECTION FORCES AND THE CONDITIONS OF EQUILIBRIUM OF THE THIN-WALLED BEAMS OF ARBITRARY CROSS-SECTION

As usual, the two coordinate systems are used in the analysis of thin-walled girders. Descartes' coordinate system  $xyz$ , of the right orientation, where the  $z$  axis is parallel to the axis of the rod, and  $x$  and  $y$  axes lie in the cross section plane, and the curvilinear coordinate system  $esz$ , also of the right orientation, with unit vectors  $\mathbf{n}$ ,  $\mathbf{t}$  i  $\mathbf{i}_z$ , Fig. 4



Slika 4. Tankozidni nosač proizvoljnog poprečnog preseka  
Figure 4. Thin-walled beam of arbitrary cross section



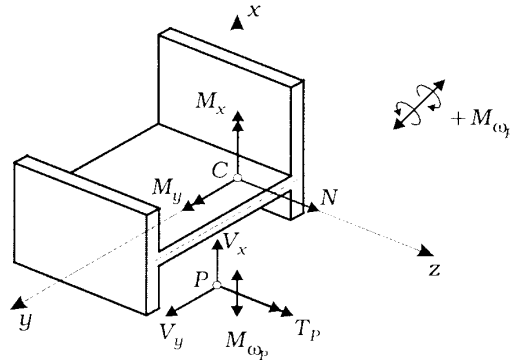
Na osnovu pretpostavki koje su usvojene u Teoriji tankozidnih nosača, deformacijske veličine koje su različite od nule jesu dilatacija i klizanje:

$$\begin{aligned}\varepsilon_z &= \frac{\partial w_z}{\partial z} = w' - u_p''x - v_p''y - \phi''\omega_p \\ \gamma_{sz} &= \gamma_s = 2\phi'e\end{aligned}\quad (16)$$

Imajući u vidu (14) i (16), za normalnu silu, moment savijanja oko x ose, moment savijanja oko y ose, bimoment i Saint Venant-ov moment torzije (sl. 5) dobijaju se sledeći izrazi

Based on the assumptions adopted in the theory of thin-walled beams, strain values that are different from zero are strain and shear.

Considering equations (14) and (16) we can get formulations for normal force, bending moment around the x-axes, bending moment around the y-axes, bimoment, Saint Venant torque, Fig. 5



Slika 5. Presečne sile  
Figure 5. Cross section forces

$$\begin{aligned}N &= \iint_F \sigma_z dF = \iint_F \left[ \bar{Q}_{11} (w' - u_p''x - v_p''y - \phi''\omega_p) + \bar{Q}_{16} 2\phi'e \right] dF \\ M_x &= \iint_F \sigma_z y dF = \iint_F \left[ \bar{Q}_{11} (w' - u_p''x - v_p''y - \phi''\omega_p) y + \bar{Q}_{16} 2\phi'e y \right] dF \\ M_y &= -\iint_F \sigma_z x dF = -\iint_F \left[ \bar{Q}_{11} (w' - u_p''x - v_p''y - \phi''\omega_p) x + \bar{Q}_{16} 2\phi'e x \right] dF \\ M_{\omega_p} &= \iint_F \sigma_z \omega_p dF = \iint_F \left[ \bar{Q}_{11} (w' - u_p''x - v_p''y - \phi''\omega_p) \omega_p + \bar{Q}_{16} 2\phi'e \omega_p \right] dF \\ T_s &= 2 \iint_F \tau_s e dF = 2 \iint_F \left[ \bar{Q}_{16} (w' - u_p''x - v_p''y - \phi''\omega_p) e + \bar{Q}_{66} 2\phi'e^2 \right] dF\end{aligned}\quad (17)$$

Dobijeni izrazi za presečne sile mogu se napisati i u matičnom obliku

The expressions for the cross-section forces can be written in a simplified matrix form.

$$\begin{bmatrix} N \\ M_y \\ -M_x \\ -M_{\omega_p} \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & -S_x & -S_y & -S_{\omega_p} & S_e \\ -S_x & I_{xx} & I_{xy} & I_{x\omega_p} & -I_{xe} \\ -S_y & I_{xy} & I_{yy} & I_{y\omega_p} & -I_{ye} \\ -S_{\omega_p} & I_{x\omega_p} & I_{y\omega_p} & I_{\omega_p\omega_p} & -I_{\omega_p e} \\ S_e & -I_{xe} & -I_{ye} & -I_{\omega_p e} & I_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w' \\ u_p'' \\ v_p'' \\ \phi'' \\ \phi' \end{bmatrix}\quad (18)$$

gde su elementi matrice, kojom su definisane materijalno-geometrijske karakteristike poprečnog preseka, dati sledećim izrazima

Matrix elements which define the geometry and material features of the cross-section can be determined by the following equations:

$$\begin{aligned}
F &= \iint_F \bar{Q}_{11} dF \\
S_x &= \iint_F \bar{Q}_{11} x dF \\
S_y &= \iint_F \bar{Q}_{11} y dF \\
S_{\omega_p} &= \iint_F \bar{Q}_{11} \omega_p dF \\
I_{xx} &= \iint_F \bar{Q}_{11} x^2 dF \\
I_{yy} &= \iint_F \bar{Q}_{11} y^2 dF \\
I_{xy} &= \iint_F \bar{Q}_{11} xy dF \\
I_{x\omega_p} &= \iint_F \bar{Q}_{11} x \omega_p dF \\
I_{y\omega_p} &= \iint_F \bar{Q}_{11} y \omega_p dF \\
I_{\omega_p \omega_p} &= \iint_F \bar{Q}_{11} \omega_p^2 dF \\
S_e &= 2 \iint_F \bar{Q}_{16} e dF \\
I_{xe} &= 2 \iint_F \bar{Q}_{16} x e dF \\
I_{ye} &= 2 \iint_F \bar{Q}_{16} y e dF \\
I_{e\omega_p} &= 2 \iint_F \bar{Q}_{16} \omega_p e dF \\
I_{ee} &= 4 \iint_F \bar{Q}_{66} e^2 dF
\end{aligned} \tag{19}$$

Unoseći izraze za presečne sile (18) u uslove ravnoteže tankozidnog štapa [3]

If we include the formulations for cross section forces (18) into the equilibrium of the thin-walled beams [3]

$$\begin{aligned}
N' + p_z &= 0 \\
M_y'' - p_x + m_y' &= 0 \\
M_x'' + p_y + m_x' &= 0 \\
M_{\omega_p}'' + T_s' + m_p + m_{\omega_p}' &= 0
\end{aligned} \tag{20}$$

dobijamo tražene diferencijalne jednačine tankozidnog kompozitnog štapa otvorenog poprečnog preseka

We can get differential equations of thin walled composite beam with an open cross section.

$$\begin{aligned}
FW'' - S_x u_p''' - S_y v_p''' - S_{\omega_p} \phi''' + S_e \phi'' &= -p_z \\
-S_x w''' + I_{xx} u_p'''' + I_{xy} v_p'''' + I_{x\omega_p} \phi'''' - I_{xe} \phi''' &= p_x - m_y' \\
S_y w''' - I_{xy} u_p'''' - I_{yy} v_p'''' - I_{y\omega_p} \phi'''' + I_{ye} \phi''' &= -p_y - m_x' \\
S_{\omega_p} w''' - I_{x\omega_p} u_p'''' - I_{y\omega_p} v_p'''' - I_{\omega_p \omega_p} \phi'''' + S_e w'' - I_{xe} u_p''' - I_{ye} v_p''' + I_{ee} \phi'' &= -m_p - m_{\omega_p}'
\end{aligned} \tag{21}$$

Pogodnim izborom položaja i orijentacije koordinatnih osa, može se postići da je

Selecting appropriate position and orientation of coordinate axis we can write

$$\begin{aligned}
S_x &= 0 \\
S_y &= 0 \\
I_{xy} &= 0
\end{aligned} \tag{22}$$

a odgovarajućim izborom pola  $P$  i nulte tačke  $O_1$  mogu se ispuniti i sledeći uslovi:

$$\begin{aligned} S_{\omega_p} &= 0 \\ I_{x\omega_p} &= 0 \\ I_{y\omega_p} &= 0 \end{aligned} \quad (23)$$

Pritom, treba napomenuti da položaji tačaka  $C$ ,  $P$  i  $O_1$  ne zavise samo od geometrije poprečnog preseka, već i od materijalnih karakteristika laminata.

Uzimajući u obzir uslove (22) i (23), dobijaju se pojednostavljeni izrazi za presečne sile

$$\begin{bmatrix} N \\ M_y \\ -M_x \\ -M_{\omega_D} \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & 0 & 0 & 0 & S_e \\ 0 & I_{xx} & 0 & 0 & -I_{xe} \\ 0 & 0 & I_{yy} & 0 & -I_{ye} \\ 0 & 0 & 0 & I_{\omega_D\omega_D} & -I_{\omega_De} \\ S_e & -I_{xe} & -I_{ye} & -I_{\omega_De} & I_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w' \\ u_D'' \\ v_D'' \\ \phi'' \\ \phi' \end{bmatrix} \quad (24)$$

a sistem diferencijalnih jednačina (21) svodi se sada na

$$\begin{aligned} Fw'' + S_e\phi'' &= -p_z \\ I_{xx}u_D'''' - I_{xe}\phi'''' &= p_x - m'_y \\ I_{yy}v_D'''' - I_{ye}\phi'''' &= p_y + m'_x \\ I_{\omega_D\omega_D}\phi'''' - S_e w'' + I_{xe}u_D'''' + I_{ye}v_D'''' - I_{ee}\phi'' &= m_D + m'_{\omega_D} \end{aligned} \quad (25)$$

Analizirajući gornji sistem jednačina, može se zaključiti da tačka poprečnog preseka  $D$ , koja ispunjava uslove (23), nema isti značaj kao u klasičnoj teoriji tankozidnih nosača (centar smicanja). Torzija i savijanje se u ovom slučaju ne mogu razdvojiti i zajedno su spregnuti sa aksijalnim naprezanjem.

## 6 POPREČNI PRESEK SIMETRIČAN OKO JEDNE OSE

Ukoliko posmatramo nosač koji je simetričan oko jedne ose, a pri tome su i lamine postavljene simetrično u odnosu na srednju liniju preseka, još dva elementa u matrici koeficijenata jednaka su s nulom

$$I_{ye} = I_{\omega_De} = 0 \quad (26)$$

Tako da umesto (24) i (25) sada imamo

$$\begin{bmatrix} N \\ M_y \\ -M_x \\ -M_{\omega_D} \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & 0 & 0 & 0 & S_e \\ 0 & I_{xx} & 0 & 0 & -I_{xe} \\ 0 & 0 & I_{yy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{\omega_D\omega_D} & 0 \\ S_e & -I_{xe} & 0 & -I_{\omega_De} & I_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w' \\ u_D'' \\ v_D'' \\ \phi'' \\ \phi' \end{bmatrix} \quad (27)$$

The following conditions can be satisfied by selecting the appropriate position of the pole  $P$  and point zero  $O_1$ :

It should be noted that positions of points  $C$ ,  $P$  i  $O_1$  do not depend only on the geometry of the cross section but also on the material properties of laminates.

Taking into account the conditions (22) and (23) simplified expressions for the cross section forces are the following

a system of differential equations (21) is now reduced to

Analyzing the system of equations above, we can conclude that the point of cross section  $D$ , which satisfy conditions (23), does not have the same significance as in the classical theory of thin-walled beams (shear center). Torsion and bending in this case cannot be separated and are coupled together with the axial stress.

## 6 THE CROSS-SECTION SYMMETRICAL ABOUT ONE AXIS

If we observe the beams with laminates that are symmetric in both geometry and orthotropic material properties, but with antisymmetric orientations of the laminas, around one axis, two more elements in the matrix are equal to zero:

$$\begin{aligned}
Fw'' + S_e \phi'' &= -p_z \\
I_{xx} u_D''' - I_{xe} \phi''' &= p_x - m'_y \\
I_{yy} v_D''' &= p_y + m'_x \\
I_{\omega_D \omega_D} \phi''' - S_e w'' + I_{xe} u_D''' - I_{ee} \phi'' &= m_D + m'_{\omega_D}
\end{aligned} \tag{28}$$

## 7 POPREČNI PRESEK SIMETRIČAN OKO OBE OSE

Ukoliko posmatramo nosač koji je simetričan oko dve ose, elementi matrice koeficijenata koji su jednaki s nulom jesu:

$$I_{ye} = I_{xe} = I_{\omega_D e} = 0 \tag{29}$$

Tako da možemo zapisati matricnu jednačinu (24) u sledećem obliku:

$$\begin{bmatrix} N \\ M_y \\ -M_x \\ -M_{\omega_D} \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & 0 & 0 & 0 & S_e \\ 0 & I_{xx} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_{yy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{\omega_D \omega_D} & 0 \\ S_e & 0 & 0 & 0 & I_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w' \\ u_D'' \\ v_D'' \\ \phi'' \\ \phi' \end{bmatrix} \tag{30}$$

a sistem jednačina (25) postaje

$$\begin{aligned}
Fw'' + S_e \phi'' &= -p_z \\
I_{xx} u_D''' &= p_x - m'_y \\
I_{yy} v_D''' &= p_y + m'_x \\
I_{\omega_D \omega_D} \phi''' - S_e w'' - I_{ee} \phi'' &= m_D + m'_{\omega_D}
\end{aligned} \tag{31}$$

## 8 POPREČNI PRESEK SIMETRIČAN OKO OBE OSE S LAMINAMA POSTAVLJENIM SIMETRIČNO U ODNOSU NA SREDNJU LINIJU

Ukoliko posmatramo nosač koji je simetričan oko dve ose i simetrično postavljenim laminama u odnosu na srednju liniju, elementi matrice koji su jednaki s nulom jesu:

$$S_e = I_{ye} = I_{xe} = I_{\omega_D e} = 0 \tag{32}$$

Tako da možemo zapisati matricnu jednačinu (24) u sledećem obliku:

$$\begin{bmatrix} N \\ M_y \\ -M_x \\ -M_{\omega_D} \\ T_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_{xx} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_{yy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{\omega_D \omega_D} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w' \\ u_D'' \\ v_D'' \\ \phi'' \\ \phi' \end{bmatrix} \tag{33}$$

## 7 THE CROSS-SECTION SYMMETRICAL ABOUT TWO AXIS

If we observe the beams symmetrical around two axes (in geometry and material), with antisymmetric orientations of the laminas, elements of the matrix equal to zero are:

Considering this, the matrix equation (24) can be written in the following form:

And the system of equation (25) comes to

## 8 THE CROSS-SECTION SYMMETRICAL ABOUT TWO AXES WITH LAMINAS PLACED SYMMETRICALLY IN RELATION TO THE MIDLINE

If we consider the girder that is symmetrical around two axes and symmetrically placed laminas with respect to the center line, the matrix elements that are equal to zero are the following:

The matrix equation (24) can be written in the following form

a sistem jednačina (25) postaje nezavisan

And system of equation (25) becomes uncoupled

$$\begin{aligned} Fw'' &= -p_z \\ I_{xx}u_D'''' &= p_x - m'_y \\ I_{yy}v_D'''' &= p_y + m'_x \\ I_{\omega_D\omega_D}\Phi'''' - I_{ee}\Phi'' &= m_D + m'_{\omega_D} \end{aligned} \quad (34)$$

## 9 NOSAČI NESIMETRIČNOG POPREČNOG PRESEKA S LAMINAMA POD UGLOM OD 0 I 90 STEPENI (CROSS-PLY LAMINATES)

## 9 THIN-WALLED BEAMS WITH UNSYMMETRICAL CROSS-SECTION AND LAMINATES AT THE 0 AND 90 DEGREES ANGLE (CROSS-PLY LAMINATES)

Ako su lamine postavljene pod pravim uglom u odnosu na geometrijske ose, dobija se:

If the laminates are placed at the right angle in relation to the geometric axis, we can write

$$\begin{aligned} m &= \cos 90 = 0 \\ n &= \sin 90 = 1 \end{aligned} \quad (35)$$

Ako ove vrednosti uvrstimo u jednačinu (13), dobijamo sledeće izraze:

If we include that into the equation (13) we obtain the following expressions:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11}m^4 + Q_{22}n^4 + 2m^2n^2(Q_{12} + 2Q_{66}) \\ \bar{Q}_{12} &= m^2n^2(Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) + (m^4 + n^4)Q_{12} \\ \bar{Q}_{16} &= [Q_{11}m^2 - Q_{22}n^2 - (Q_{12} + 2Q_{66})(m^2 - n^2)]mn = 0 \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11}n^4 + Q_{22}m^4 + 2m^2n^2(Q_{12} + 2Q_{66}) \\ \bar{Q}_{26} &= [Q_{11}n^2 - Q_{22}m^2 + (Q_{12} + 2Q_{66})(m^2 - n^2)]mn = 0 \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12})m^2n^2 + Q_{66}(m^2 - n^2)^2 \end{aligned} \quad (36)$$

a zatim i

It follows:

$$\begin{aligned} \bar{\bar{Q}}_{11} &= \bar{Q}_{11} - \frac{\bar{Q}_{12}^2}{\bar{Q}_{22}} \\ \bar{\bar{Q}}_{16} &= \bar{Q}_{16} - \frac{\bar{Q}_{12}\bar{Q}_{26}}{\bar{Q}_{22}} = 0 \\ \bar{\bar{Q}}_{66} &= \bar{Q}_{66} - \frac{\bar{Q}_{26}^2}{\bar{Q}_{22}} \end{aligned} \quad (37)$$

Iz jednačina (19) možemo zaključiti da su sledeći elementi jednaki s nulom:

From equations (19) it can be concluded that the following elements are equal to zero:

$$S_e = I_{ye} = I_{xe} = I_{\omega_De} = 0 \quad (38)$$

U tom slučaju, dobijamo ista rešenja kao kod nosača koji ima dve ose simetrije i simetrično postavljene lamine u odnosu na srednju liniju preseka, što znači da dobijamo sistem nezavisnih diferencijalnih jednačina (34). U slučaju slobodno oslonjenog tankozidnog nosača, ovaj sistem diferencijalnih jednačina može se rešiti, to jest rešenja se mogu dobiti u zatvorenom obliku.

In this case there is the same solution as with the girder which has two axes of symmetry and symmetrically placed laminas in relation to the middle line of section, and we get a system of uncoupled differential equations (34). In the case of simply supported thin-walled beams this system of differential equations can be solved - solution can be obtained in a closed form.

## 10 LITERATURA REFERENCES

- [1] Librescu L., *Thin-Walled Composite Beams*, Springer 2006, Netherland
- [2] Prokić A., *Matrična analiza tankozidnih konstrukcija*, Izgradnja 1999, Beograd
- [3] Jones RM., *Mechanics of composite material*, New York: McGraw-Hell 1975.

### REZIME

#### LAMINIRANI TANKOZIDNI NOSAČI – PRVI DEO

Aleksandar PROKIĆ  
Martina VOJNIC PURČAR

U ovom radu prikazana je teorija laminata. Diferencijalne jednačine tankozidnih štapova od kompozitnih materijala izvedene su polazeći od Vlasov-e teorije, primenom principa virtualnih pomeranja. U slučaju proizvoljnog poprečnog preseka i proizvoljnog položaja vlakana, one su međusobno spregnute. Dalje, s ciljem pojednostavljenja i razdvajanja spregnutog sistema diferencijalnih jednačina, proučavan je uticaj orijentacije vlakana, kao i oblik poprečnog preseka i na osnovu toga su doneseni pojedini zaključci i pojednostavljenja.

**Ključne reči:** Tankozidni nosači, teorija laminata

### SUMMARY

#### LAMINATED THIN-WALLED BEAMS – FIRST PART

Aleksandar PROKIĆ  
Martina VOJNIC PURČAR

The purpose of this paper is to present the lamination theory. Differential equations of thin-walled composite beams are derived using Vlasov's theory and principle of virtual displacements. In case of an arbitrary cross section and arbitrary orientation of laminas differential equations are coupled. Further, in order to simplify coupled system of differential equations it was studied influence of orientation of laminas and shape of cross section. Thus, some simplifications and conclusions are derived.

**Key words:** Thin-walled beams, lamination theory, composite materials

# REŠENJE POTKONSTRUKCIJE FASADE NA ZGRADI SA SPRATNOM VISINOM IZNAD 4,00M - STUDIJA SLUČAJA

## A SOLUTION TO THE SUBSTRUCTURE OF FACADE AT BUILDING WITH STORY HEIGHT ABOVE 4.00 M - A CASE STUDY

Željko JAKŠIĆ  
Đorđe LAĐINOVIĆ

STRUČNI RAD  
PROFESSIONAL PAPER  
UDK: = 861

### 1 UVOD

Do kraja devedesetih godina XX veka, strukturne fasade izvodile su se na specifičnim objektima, s visokom cenom finalne obrade i opremanja, kao prostorni i socijalni markeri – zgrade sa snažnom porukom. Upravo u toj tvrdnji može se tražiti razlog za relativno nerasprostranjenu primenu, s generalno malom serijom ugradnje, što se odražavalo visokom cenom.

Prema savremenim tumačenjima, napredak moderne arhitekture oblikovan je pod uticajem metala i stakla. Otkako je počelo s njihovom primenom u arhitekturi, ovi materijali pobudili su istovremeno i interesovanje i divljenje, što je rezultiralo razvojem građevinskih tehnika koje su omogućile arhitektama da stvaraju smelije i svetlije zgrade. Konkretno, odlika stakla sagledava se putem odnosa prema svetlosti: od potpune refleksije ogledala do potpune providnosti. Tako je počelo s projektovanjem lakih fasada, čime su se zadovoljili određeni zahtevi samo u slučaju posebnih zgrada. Postale su toliko rasprostranjene da danas predstavljaju standardnu sliku urbanog pejzaža naših gradova [8].

Mnogi činioci doprineli su rasprostranjenosti ove tehnologije fasada:

- porast industrijalizacije u oblasti građenja;
- povoljan razvoj troškova (progresivan porast troškova rada u odnosu na troškove materijala);
- više zahteva u pogledu pouzdanosti, kontrolisanog planiranja i održavanja;

---

Doc. dr Željko Jakšić, dipl.inž.  
Prof. dr Đorđe Lađinović, dipl.inž.  
Univerzitet u Novom Sadu, FTN, Novi Sad, Srbija

### 1 INTRODUCTION

By the late of 1990s structural facades were performed on specific facilities, high prices for final processing and equipment, as well as physical and social markers - a building with a strong message. Exactly in this statement lies the reason for relatively non-widespread implementation, generally with a small series of installation, which is reflected through their high cost price.

The progress of modern architecture, as it is understood today, has been shaped by the influence of metal and glass. Since they are introduced into architecture, these materials have provided both interest and fascination for people, who have developed construction techniques that allow architects to produce bolder and brighter buildings. In particular, glass is characterised by its relationship with light: from the total reflection of a mirror to complete transparency. It is this that has driven the design of lightweight façades, which has its origins in the need to meet specific requirements only present in exceptional buildings, to become so widespread that nowadays it is a standard feature of the urban landscape of our cities [8].

There are many factors that have contributed to the boom in this technology. They include:

- Growing industrialisation in construction field.
- Advantageous cost development, with a progressive increase in labour costs relative to the cost of materials.
- The growing requirement for reliability, controlled planning and maintenance.

---

Zeljko Jaksic, PhD  
Djordje Ladjinovic, PhD  
University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

– vitkost sistema, što omogućava smanjenje dimenzija osnovne konstrukcije, dok istovremeno povećava unutrašnju korisnu površinu uz fasadu;

– povećana osvetljenost u nutrašnjem prostora, čak do 90%.

Najčešće korišćeni materijali potkonstrukcije lakih fasada jesu čelik, drvo i aluminijum. U većini slučajeva, delovi potkonstrukcije proizvedeni su od oblikovanog aluminijuma.

Prednosti su sledeće:

– mala težina – aluminijum je tri puta lakši od gvožđa, tako da debljina potkonstrukcije može biti smanjena, čime se dodatno štedi na masi;

– otporan je na atmosferilije – u većini slučajeva, prirodna oksidacija aluminijuma već sama obezbeđuje samozaštitu;

– estetika – aluminijum omogućava složenije i inovativnije projekte i završne obrade.

Iz prethodno navedenog, proističe zaključak da se primena strukturalnih fasada u savremenom graditeljstvu javlja kao posledica opravdanih zahteva, posmatrano iz više aspekata. *Prvi*, veoma značajan aspekt u pogledu ukupnih troškova izgradnje, jeste **vreme**. Za razliku od tradicionalnog načina izrade fasadne ispune, kod objekata sa osnovnim skeletnim konstrukcijskim sistemom, pomoću masivnih elemenata, ovakav pristup zahtevao je mnogo manje napora od početka proizvodnje sastavnih komponenti, preko ugradnje, eksploatacije, pa sve do njihovog održavanja. Najveći angažovanje vremena uslovio je organizacioni proces (naročito razrada detalja), dok je izvođenje bilo samo posledica kvaliteta takve organizacije. Izvođenje ove fasade zahteva znatno manje vremena, uz manji uticaj vremenskih uslova (npr. niže temperature vazduha nisu smetnja za montažu). *Drugi* aspekt je **kvalitet** koji je nesporan i neuporediv u odnosu na klasične fasade, ako se uzme u obzir da se elementi proizvode u fabričkim uslovima. *Treći* aspekt je **mala težina** koja u ukupnom bilansu opterećenja predstavlja značajnu stavku u dimenzionisanju konstrukcije. *Četvrti*, ali ne manje važan, jeste aspekt **dimenzionalnosti**. Za izradu slojevitih zidova, završni slojevi međusobno se preklapaju (npr. potkonstrukcija i termoizolacija). Takođe, dobijaju se optimalna rešenja u slučajevima kada je velika visina spratne etaže. *Peti* aspekt je **estetika** objekta koja zavisi od tehnološke razvijenosti određenog tipa strukturalne fasade (aluminijum, staklo, keramičke ploče, kamene ploče i sl.).

Najveći nedostatak strukturalnih fasada jesu spojevi elemenata obloge i nivo zaštite od prodora atmosferske vode. Upravo zbog toga, radna snaga mora biti stručno obučena, a broj stavki – koji mora da zadovolji projektovani kvalitet – znatno se povećava. Drugi nedostatak je posebna osetljivost na dejstvo vetra, naročito zbog neujednačenog intenziteta njegovog dejstva. U tom slučaju, trebalo bi imati u vidu više činilaca koji utiču na oblik, pa samim tim i na intenzitet delovanja, poput oblika i visine objekta, obrade fasade, morfologije (konfiguracije) terena, visine prepreka u neposrednom okruženju objekta sa strukturalnom fasadom i slično.

U radu je prikazano rešenje fasadne konstrukcije za objekat male spratnosti ( $S_u + P + 2 + P_o$ ), ali velike ukupne visine (22m), zbog visine etaže od  $h = 408,5\text{cm}$ , od gornje ivice fasadne grede niže etaže do donje ivice fasadne

– Its slenderness, which allows the dimensions of the supporting structure of a building to be reduced, whilst increasing the usable surface area of its interior.

– Increased illumination of the internal area that can reach values of 90%.

The materials most used in the supporting structure of lightweight façades are steel, wood and aluminium. In most cases, supporting structure components are made from extruded aluminium, the advantages of which are that it is:

– Lightweight. Aluminium weighs three times less than iron, and in addition, the thickness of the supporting structure components can be reduced, with consequent savings in mass.

– Resistant to atmospheric agents. In most cases, the natural oxidation of the aluminium itself already provides self-protection.

– Aesthetic. It allows elaborate and innovative designs and surface finishes.

Resulting from the above conclusion that the use of structural facades in contemporary architecture occurs as a result of justified claims, viewed from several aspects. *The first*, at the same time a very important aspect from the point of total construction cost, is time. Unlike the traditional way of producing the facade of buildings with the basic skeletal structural systems, using solid element, this approach requires less effort starting from the production of parts and components, through the installation, exploitation up to the maintenance. The largest engagement of time resources requested the process of organisation (especially working out the details), while the execution was only the consequence of the quality of organization. Performing this facade requires considerably less time, with less influence of weather conditions (e.g. lower air temperatures are not an obstacle for mounting). The *second one* is the quality that is undeniable and incomparable with respect to the classical facade, if one takes into account that the elements are produced in the plant. The *third* aspect is the low weight, which in total burden income constitutes a significant issue on the dimensioning of the structure. The *fourth aspect*, but not the least, is dimensioning. To create a layered wall, finishing layers are being overlapped (eg. substructure and insulation). The optimal solution is in cases of large floor height. The *fifth* aspect is the aesthetics of the building, which depends on the technological development of a certain type of structural façade (aluminum, glass, ceramic or stone plates, etc.).

The biggest lack of the structural facades are the joints of the facades lining elements and the level of protection against ingress of atmospheric water. Therefore, the labour force should be professionally trained and the number of items should be designed to meet the quality increases significantly. Another disadvantage is special sensitivity to the effects of wind, especially for non-uniform intensity of its effects. In this case, several factors affect the shape, and the intensity of the action as well, such as the shape and height of the building, the façade smoothness, morphology (configuration) terrain, high barriers in the immediate environment of the building with structural facade and etc.

This paper presents a solution for building facade structure to facilities with small number of floors (B + G + 2 + A), but large overall height (22.0m) due to high floor



grede više etaže. Dodatnu osobenost radu daje i to što je trebalo rešiti konstrukcijski problem unutrašnjeg dela ispune fasadne konstrukcije, izvedenog od lakih Ytong blokova, koji treba na sebe da prime horizontalno opterećenje preko fasadne obloge od alukobonda i prozorskih elemenata, relativno velike površine (~3,50m<sup>2</sup>). Proračunom je dokazano da to nije moguće bez dodatnih konstruktivnih elemenata fasade.

## 2 ZGRADA LABORATORIJE DEPARTMANA ZA GRAĐEVINARSTVO

### 2.1 Osnovni koncept korpusa zgrade

Nova zgrada laboratorije Departmana za građevinarstvo smeštena je u univerzitetskom kampusu Novog Sada, u Srbiji. Bilo je potrebno isprojektovati zgradu visokih performansi, s niskom cenom ukupnih troškova. Imajući te činjenice u vidu, sav primenjen materijal za izgradnju morao je biti istovremeno i jeftin i kvalitetan. Na primer, korišćen je armirani beton za osnovni materijal, što je trenutno jeftinije od čelika, a potrošena energija za njihovu proizvodnju jednaka je ukupnom odnosu njihovih cena na tržištu.



Slika 1. Nova zgrada laboratorije Departmana za građevinarstvo  
Figure 1. Laboratory Department of Civil Engineering, the new building

Oblikovni element ima izuzetnu ulogu u estetici i fizici zgrade. Oblik je svedena forma izduženog pravougao-nika, bez isturenih delova koji bi mogli povećati potrošnju toplotne energije. Oblik zgrade ne konkuriše objektima iz okruženja, već ga čini jedinstvenim, drugačijim (sl. 1).

Fasada je jednostavna, bez isturenih elemenata osnovne konstrukcije. Neka izbočavanja na fasadi formirana su od kutija alukobonda, bez konstruktivnih elemenata u njima. Taj prostor ispunjen je vazduhom. Obloga nove zgrade je strukturna, iz nekoliko slojeva. Svaki sloj ima odgovarajuću namenu. Parna brana postavljena je između zida od Ytong blokova i termoizolacije, kako bi se sprečila difuzija vodene pare. Poznato je da vlaga umanjuje toplotne karakteristike termoizolacije. Kao termoizolacija izabrana je kamena vuna. To je takođe dobar protivpožarni materijal jer nije zapaljiv. Kako fasada od alukobonda nije vodonepropusna, bilo je neophodno predvideti vodonepropusnu foliju kroz koju može prolaziti vodena para. Zbog toga se ova folija postavlja neposredno ispod alukobond ploča, a iznad potkonstrukcije (sl. 2).

level of  $h = 408.5\text{cm}$ , from the top of lower facade joist to the down edge of facade higher floor joist. An additional feature of this work is the fact that the structural problem of internal parts of the infill façade structure should be solved; it is made of lightweight Ytong blocks, which must assume a horizontal load through the alukobond covering and window elements, a relatively large area (~3.50 m<sup>2</sup>). The calculation has proved that this is impossible without additional structural elements of the facade.

## 2 LABORATORY BUILDING OF THE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

### 2.1 The basic concept of volume

New building of the Department of Civil Engineering Laboratory [1] is placed inside the campus of University of Novi Sad, Serbia. It was necessary to design a building with high performance and minimum expenditures. Considering those facts all used materials in building process had to be both cheap and high-quality, at the same time. For example, the basic material of structure is concrete which is cheaper than steel elements on market, as well as energy spending for producing these two materials is the same proportion as its price - it is low.

A formal element has a tremendous role in physics and aesthetics. The shape is reduced as a stretched polyhedron with no protruding elements on facade that could stimulate a consumption of energy. This shape is unlikely to compete with buildings in its neighbourhood, yet makes it unique. The property like this provides new quality to the facility, It is environmentally friendly, as well, (Fig. 1).

The facade is simple, with structural elements and walls in the same plane, with no protrusions. Some protrusions on facade have been made of alu panels boxes without structural elements inside them. This space is airy. The covering of new building is structural with several layers. Each layer has suitable purpose. A barrier is placed among the Ytong blocks and insulation to prevent vapour from inner space. It is well known that moisture causes bad thermal characteristic of insulation because water is good conductor. In this case stone wool is chosen as thermal insulator. That material provides excellent fire protection, too; it is non-flammable and does not burn. Since alubond is permeable it was necessary to insert waterproof foil but able to conduct vapour. Therefore, foil lies just under the alubond plates and above the alubond substructure, (Fig. 2).



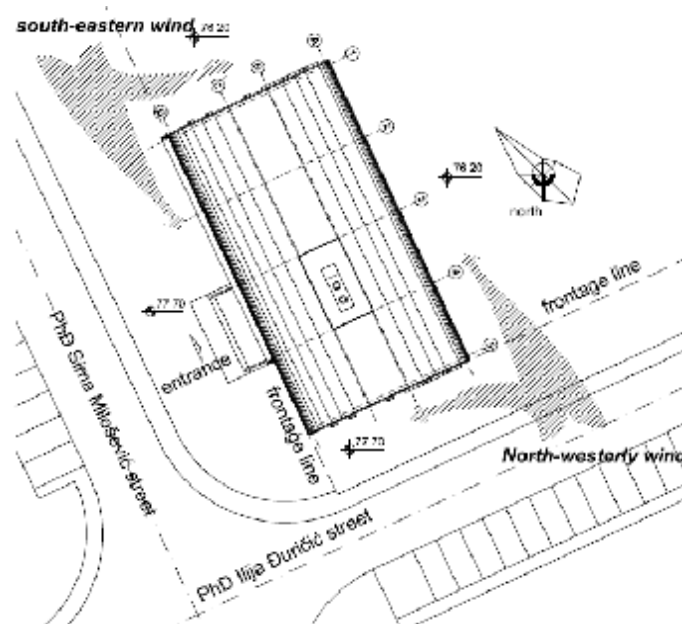
Slika 2. a) Nepravilno postavljena vodozaptivna folija; b) Detalj strukturne fasade prekriven pločama alukobonda, s visokim prozorima i zid-zavesom  
 Figure 2. a) Badly placed waterproof sheeting; b) A detail of structural facade covered by alubond plates, with high window and wall curtain

## 2.2 Objekat naspram vetra

Položaj i orijentacija zgrade određeni su na osnovu situacije iz lokacijske dozvole (sl. 3). U neposrednom okruženju, ova zgrada je najviša, ne zbog broja etaža, već zbog spratne visine.

## 2.2 The building against wind

The position and orientation of the object have been defined by the key plan (Fig. 3). In the nearest neighbourhood this building is the highest, not because of the number of stories, but the floor height.



Slika 3. Mikrolokacija predmetnog objekta [2]  
 Figure 3. The micro location of observed object [2]

Kako je Novi Sad smešten uz Dunav, kao dominantni vetrovi duvaju severozapadni vetar, tzv. severac, i još dominantniji jugoistočni vetar – košava. Zgrada se dužom stranom prostire u pravcu najdominantnijih vetrova – severca i košave. Ovakva orijentacija dozvoljava poboljšanu izmenu vazduha u većini prostorija, bez obzira na već postojeći sistem za izmenu vazduha. Ovo je dodatni kvalitet lokacije.

The powerful north-west wind so-called North wind blows along the river Danube in Novi Sad area, but south-east wind known as Koshava is more dominant. The building extends by the longer side in the direction of the most dominant winds - North wind and Koshava. A position like this allows an enhanced passive exchange of air in most of the rooms, no matter if there is already an air-conditioning system. It is additional quality of the

Takođe, postojao je zahtev da prostor zgrade bude fleksibilan, kako bi se oblikovao po potrebi. Horizontalne sile se u oba pravca preuzimaju preko ramova, a AB platna postavljena su samo u stepenišnom prostoru. Zbog toga su dimenzije poprečnog preseka stubova u skladu s tim uslovima. Spoljašnje i unutrašnje pregrade izvedene su od Ytong blokova, koji se prave od mešavine kvarcnog peska, kreča, cementa, gipsa, aluminijumskog praha i vode. Osim što je za njihovu proizvodnju potrebno utrošiti znatno manje energije (npr. za keramičke blokove potrebno je mnogo više), Ytong blokovi imaju još više prednosti (sl. 4) [2].



a)



b)

Slika 4. a) Izvođenje osnovne konstrukcije; b) Ispune izvedene od Ytong blokova  
Figure 4. a) Raising of the main structure; b) Fills made by Ytong blocks

### 3 VETAR I DEJSTVO VETRA NA ZGRADE

Vetar je fenomen velike složenosti, koji uključuje i brojna strujanja nastala međudejstvom vetra i objekata. Vetar se sastoji iz mnoštva vrtloga različitih veličina i karakterističnih rotacija, proizvedenih u ukupnom strujanju vazdušnog toka u odnosu na površinu zemlje. Takva vrtloženja daju vetru udarni ili burni karakter. Ta olujnost snažnog vetra u nižim slojevima atmosfere u velikoj meri proističe iz njegovog međudejstva s morfologijom terena. Prosečna brzina vetra, tokom perioda od deset minuta ili više, teži da se poveća s visinom, dok njegova olujnost ili udarno dejstvo ima tendenciju da opada s visinom. Vektor vetra u jednoj tački može se posmatrati kao zbir srednjih vektora vetra (statička komponenta) i dinamičke, ili komponente burnosti.

$$V(z, t) = V(z) + v(z, t) \quad (1)$$

Posledica burnosti vetra jeste to što dinamičko opterećenje na objekat zavisi od veličine vrtloženja. Veliki vrtlozi, čije su dimenzije uporedive sa samim objektom, dovode do dobre uzajamne povezanosti pritiska, pošto oni okružuju objekat. S druge strane, mali vrtlozi rezultuju pritiskom na različite delove zgrade koji praktično postaju međusobno nepovezani s povećanjem međuođojanja. Vrtloženja nastala oko tipične zgrade prikazana su na slici 5.

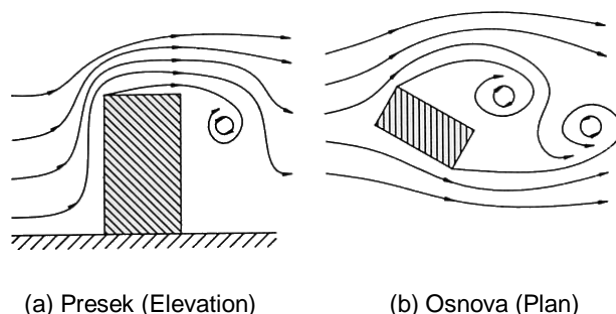
location.

There was also a request that the area should be flexible to structure when needed. Horizontal forces were accepted across frames in both directions, and the concrete canvases are placed only in the staircase area. Therefore, dimensions of the columns cross-section are in accordance with those conditions. External and internal partitions are made of Ytong blocks. It is a material produced as a mixture of quartz sand, lime, cement, gypsum, aluminum powder and water. Besides that there is a lower production energy consumption (e.g. at ceramic blocs), Ytong blocks have some additional advantages as well (Fig. 4) [2].

### 3 WIND AND THE EFFECTS OF WIND ON THE BUILDING

Wind is a complex phenomenon due to many flow situations arising from its interaction with different structures. Wind is composed of a multitude of eddies of varying sizes and rotational characteristics carried along in a general stream of air moving relative to the earth's surface. These eddies give wind its gusty or turbulent character. The gustiness of strong winds in the lower levels of the atmosphere largely arises from its interaction with surface features. The average wind speed over a time period of the order of ten minutes or more, tends to increase with height, while the gustiness tends to decrease with height. The wind vector at a point may be regarded as the sum of the mean wind vector (static component) and a dynamic, or turbulence, component.

A consequence of turbulence is that dynamic loading on a structure depends on the size of the eddies. Large eddies, whose dimensions are comparable with the structure, give rise to well correlated pressures as they envelop the structure. On the other hand, small eddies result in pressures on various parts of structure that become practically uncorrelated with distance of separation. Eddies generated around a typical structure are shown in Fig. 5.



Slika 5. Stvaranje vrtloga – šema koja u potpunosti odgovara situaciji posmatrane zgrade  
 Figure 5. Generation of eddies - The scheme that fully corresponding with a real condition of observed building

Neke zgrade, naročito visoke ili vitke, reaguju dinamično na dejstvo vetra. Najpoznatije rušenje objekta usled dejstva vetra bilo je rušenje mosta Tacoma Narrows Bridge, koje se dogodilo 1940. godine, pri brzini vetra od samo 19m/s. Most je pao nakon što se povećalo zajedničko dejstvo torzionog momenta oscilacije i savijanja.

Postoji nekoliko različitih fenomena koji prouzrokuju dinamičku reakciju objekata na dejstvo vetra. Oni obuhvataju udare, vazdušne virove, povećanje dejstva (udare) ili lelujanje. Vitke zgrade će verovatno biti osetljive na dinamičku reakciju u skladu s pravcem dejstva vetra, kao posledice burnih udara vetra. Poprečne ili unakrsne reakcije će verovatno nastati od vazdušnih virova, pojačavajućeg dejstva vetra, ali i od turbulentnih udara vetra. Vibriranje objekta je kombinovano kretanje, obično nastalo od savijanja i torzije, a rezultat je nestabilnosti zgrade. Za konstrukciju zgrada lelujanje i pojačavajuće dejstvo vetra nisu problem.

Veliki problem u vezi s vetrom izazvanim pomeranjima zgrade jesu reakcije ljudi na vibracije i njihov subjektivni doživljaj pomeranja. Trenutak je dovoljan da se konstatuje da su ljudi iznenađujuće osetljivi prema vibracijama, do te mere da kretanje mogu osetiti kao neprijatnost, čak i ako ono odgovara relativno niskom nivou opterećenja i naprezanja. Prema tome, za većinu visokih zgrada razlozi i razmatranja takođe utiču na proračun, a ne samo pitanja čvrstoće [6].

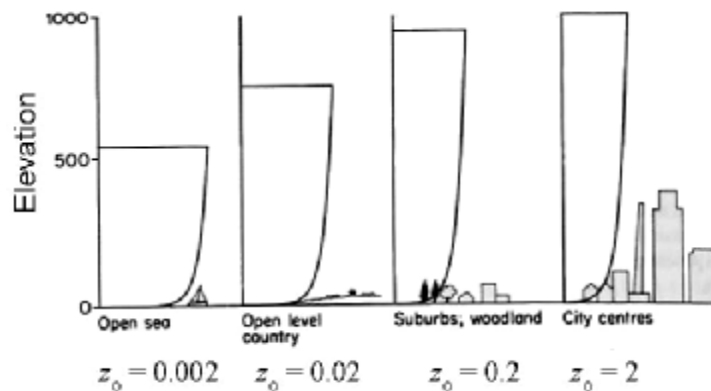
Na velikim visinama iznad tla, gde su zanemarljivi uticaji trenja, kretanje vazduha vođeno je promenama pritiska u atmosferi, što je opet termodinamička posledica promenljivog sunčevog zagrevanja zemlje. Ovaj gornji sloj brzine vetra poznat je kao varirajuća brzina vetra. Bliže tlu, brzina vetra zavisi od trenja vazdušne struje o teren. Postoji granični sloj unutar koga brzina vetra kreće skoro od nule pri tlu, do varirajuće brzine vetra na visini, poznate kao promenljiva visina. Debljina ovog graničnog sloja, koja može da varira od 500m do 3.000m, zavisi od vrste terena, kao što je prikazano na slici 6. Kao što se može videti, promenljiva visina u velikim gradskim centrima mnogo je veća nego na moru, gde je hrapavost površinskog sloja manja.

Some structures, particularly those that are tall or slender, respond dynamically to the effects of the wind. The best known structural collapse due to wind was the Tacoma Narrows Bridge which occurred in 1940 at a wind speed of only about 19 m/s. It failed after it had developed a coupled torsional and flexural mode of oscillation.

There are several different phenomena giving rise to dynamic response of structures in wind. These include buffeting, vortex shedding, galloping and flutter. Slender structures are likely to be sensitive to dynamic response in line with the wind direction as a consequence of turbulence buffeting. Transverse or cross-wind response is more likely to arise from vortex shedding or galloping but may also result from excitation by turbulence buffeting. Flutter is a coupled motion, often being a combination of bending and torsion, and can result in instability. For building structures flutter and galloping are generally not an issue.

An important problem associated with wind induced motion of buildings is concerned with human response to vibration and perception of motion. At this point it will suffice to note that humans are surprisingly sensitive to vibration to the extent that motions may feel uncomfortable even if they correspond to relatively low levels of stress and strain. Therefore, for most tall buildings serviceability considerations govern the design, but not strength issues [6].

At great heights above the surface of the earth, where frictional effects are negligible, air movements are driven by pressure gradients in the atmosphere, which in turn are the thermodynamic consequences of variable solar heating of the earth. This upper level wind speed is known as *the gradient wind velocity*. Closer to the surface the wind speed is affected by frictional drag of the air stream over the terrain. There is a boundary layer within which the wind speed varies from almost zero, at the surface, to the gradient wind speed at a height known as the gradient height. The thickness of this boundary layer, which may vary from 500 to 3000 m, depends on the type of terrain, as depicted in Fig. 6. As can be seen the gradient height within a large city centre is much higher than it is over the sea where the surface roughness is less.



Slika 6. Profil vetra prosečne snage za različite forme terena [6]  
Figure 6. Mean wind profiles for different terrains [6]

Definicija referentne (projektne) brzine vetra varira od države do države. Na primer, u Srbiji je to prosečna brzina vetra u jednočasovnom intervalu, koja može biti prekoračena jednom u T godina, mereno na visini od 10m tokom najmanje 15 godina, iznad terena koji odgovara klasi hrapavosti B (otvoreni, ravni tereni s retkim pojedinačnim preprekama: drvećem, kućama i sl.). [3] Konturne mape referentnih brzina vetra, koje se primenjuju za imenovani statistički povratni period, obično su izrađene za svaku zemlju pojedinačno.

Osnovni proračun brzine vetra za različite pravce i različite povratne periode može biti izveden korišćenjem rigoroznih analiza koje uključuju verovatnoće raspodela brzine i pravca vetra. Karakteristika pritiska vetra na objekat jeste funkcija karakteristike dolaznog (udarnog) vetra, geometrije objekta koji se posmatra, geometrije i neposredne blizine objekata uz vetar. Pritisci nisu stabilni, već su veoma promenljivi, delom zbog naleta vetra, ali i zbog lokalnih vrtložnih rasipanja duž strana samih zgrada. Promenljivi pritisci mogu prouzrokovati oštećenje zamorom materijala konstrukcije, kao i dinamičke pobude ako je konstrukcija kojim slučajem osetljiva na dinamičko dejstvo vetra. Takođe, pritisci vetra se ne raspoređuju ravnomerno po površini objekata, već zavise od položaja.

Složenost opterećenja od vetra trebalo bi imati na umu prilikom proračuna. Zbog mnogih nepoznanica, maksimalna opterećenja vetra, koja na sebe prima objekat tokom eksploatacionog veka, mogu se veoma razlikovati od onih preuzetih iz projekta.

Mendes [6] razvija teoriju prema kojoj bi se morala uzeti u obzir, kao uobičajena za objekte osetljive na vetar, tri osnovna uticaja vetra.

*Istraživanje dejstva vetra u neposrednom okruženju objekta* – istraživanje uticaja vetra na neposredno okruženje, prouzrokovano podizanjem objekata (npr. visoke zgrade). Ova studija posebno je važna da bi se procenio uticaj vetra na pešake, motorna vozila i arhitektonsku galanteriju (poput fontane, na primer) koja se koristi kao opšte dobro u blizini predmetnog objekta (sl. 7).

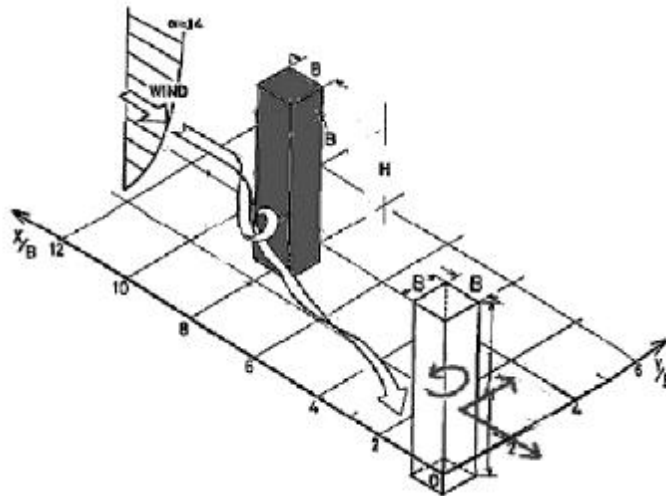
The definition of the reference wind speed varies from one country to another. For example in Serbia, it is 1h- gust wind speed, which may be exceeded once every T years, measured at a height of 10 m above the ground assuming roughness terrain category B (open terrain, grassland with few, well scattered obstructions having: trees, houses), over the period of 15 years.

Basic design wind speeds for different directions and different return periods can be derived using a rigorous analysis incorporating probability distributions for wind speed and direction. The characteristics of wind pressures on a structure are a function of the characteristics of the approaching wind, the geometry of the structure under consideration, and the geometry and proximity of the structures upwind. The pressures vary, but highly fluctuating, partly as a result of the gustiness of the wind, but also because of local vortex shedding at the edges of the structures themselves. The fluctuating pressures can result in fatigue damage to structures, and in dynamic excitation, if the structure happens to be dynamically wind sensitive. The pressures are also non uniformly distributed over the surface of the structure, but vary with position.

The complexities of wind loading, should be kept in mind when applying a design document. Because of the many uncertainties involved, the maximum wind loads experienced by a structure during its lifetime, may vary widely from those assumed in design.

Typically for wind sensitive structures, Mendes [6] develops a theory, three basic wind effects need to be considered.

*Environmental wind studies* - investigate the wind effects on the surrounding environment caused by erection of the structure (e.g. tall building). This study is particularly important to assess the impact of wind on pedestrians, motor vehicles and architectural features such as fountains, etc. which utilise public domain within the vicinity of the proposed structure (Fig. 7).



Slika 7. Očigledan primer – siva zgrada je novoizvedeni model zgrada u aerotunelu, a strelica prikazuje njen uticaj na novu zgradu [7]  
 Figure 7. Flagrant example - the grey building is the new high-rise building in the wind tunnel model, the arrows indicate the influence on the existing building [7]

**Opterećenje vetrom za fasade** – za procenu projektovanog pritiska vetra po celoj površini objekta, za projektovanje sistema fasadne obloge. Zbog znatnih troškova izrade tradicionalnih (tipičnih) fasada u poređenju sa ukupnom cenom zgrada „osetljivih“ na dejstvo vetra, projektanti konstrukcije ne mogu dopustiti takav konzervativizam prilikom procenjivanja proračunske vrednosti opterećenja vetrom. Uz uvažavanje složenosti oblika zgrade i dinamičkih svojstava vetra i konstrukcije zgrade, čak i osavremenjeni propisi o vetru uglavnom ne mogu tačno proceniti proračunsku vrednost opterećenja. Ispitivanja u vazдушnim tunelima radi procene veličine proračunskog opterećenja vetra na fasadnu oblogu danas predstavljaju normalan postupak u industriji, s ciljem minimiziranja početnih troškova, a što je još značajnije, radi izbegavanja skupocenog održavanja kada su u pitanju kvarovi zbog prodivavanja i/ili loma konstrukcije.

**Opterećenje vetrom za konstrukciju** – za definisanje proračunske vrednosti opterećenja vetrom, radi proračuna otpora konstrukcije od dejstva bočnog vetra, kako bi konstrukcija zadovoljila različite kriterijume projektovanja.

### 3.1 Spoljni zidovi i fasade

Elementi fasade i izolacije zahtevaju dovoljan (proračunat) broj sidrenja za zid i za čelične profile. Materijal obloge, takođe, mora biti otporan na dejstvo atmosferilija (npr. na grad). Veliki stakleni elementi trebalo bi da imaju elastično vešanje i da budu izdvojeni. Lake metalne kapije bi trebalo ukrutiti, tako da deformacije budu ograničene veličinom formiranih ramova. Primenjeni elementi moraju se proveriti na koroziju i održavati.

**Wind loads for façade** - to assess design wind pressures throughout the surface area of the structure for designing the cladding system. Due to the significant cost of typical facade systems in proportion to the overall cost of very tall buildings, engineers cannot afford the luxury of conservatism in assessing design wind loads. With due consideration to the complexity of building shapes and dynamic characteristics of the wind and building structures, even the most advanced wind codes generally fails to accurately assess design loads. Wind tunnel testing to assess design loads for cladding, is now normal industry practice for minimising initial capital costs, and more significantly avoiding expensive maintenance costs associated with malfunctions due to leakage and/or structural failure.

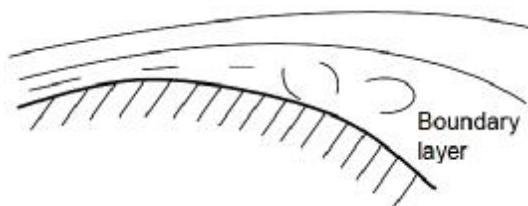
**Wind loads for structure** – to determine the design wind load for designing the lateral load resisting structural system of a structure to satisfy various design criteria.

### 3.1 External walls and facades

The elements of the facade and the insulation need sufficient anchoring to the masonry and the steel profiles. The material should be resistant against hail. Big glass elements should have flexible suspensions and subdivided panels. Light metal gates should be stiffened to such an extent, that the deformations are limited according to the dimensions of the frame. The determining elements must be maintained and checked on corrosion. It is important to take into account the internal pressure correctly.

### 3.1.1 Granični sloj i poremećaj protoka

Na površini objekta, brzina vazduha postaje mala i tu je viskoznost sila relativno veća od inercione sile. Takav prostor naziva se granični nivo. Na graničnom nivou, kinetička energija gubi se efektom viskoznosti i čestice fluida gube energiju kretanjem prema strani u zavetrini. Tada se čestice fluida vraćaju, a vazduh ne može više da struji uz površinu objekta. Ovaj fenomen zove se odvajanje toka. U njemu je brzina promenljiva, što proizvodi nestabilnu vazдушnu silu na objekat. Kada se izdvojen (odvojen) tok poveća, tada nastaje velika učestalost vrtloženja. Gotovo svi problemi aerodinamičke nestabilnosti izazvani su ovom nestabilnošću vazdušnog toka u graničnom sloju (sl. 8).



Slika 8. Odvajanje toka na površini objekta [5]  
Figure 8. Separation of the flow on the surface of structure [5]

Uslovi strujanja vazduha, kao što je mesto odvajanja, granični sloj i vrtlozi menjaju se formom korpusa objekta. Za vitke forme objekata duž strujanja vazduha, ne pojavljuje se granični sloj, a koeficijent vučenja je blizu 0. Za grube forme objekata, postoji velika zona talasanja u zaleđini objekta. Nešto vrtloga pojavljuje se dužom stranom objekta forme izduženog pravougaonika.

## 4 OPTEREĆENJE VETROM

Određivanje intenziteta opterećenja usled delovanja vetra izuzetno je složen inženjerski problem, nastao kao posledica same prirode vetra, koja se tumači kao stohastička poremećajna sila sa statičkim i dinamičkim delom, te koja se za potrebe proračuna mora tretirati kao kvazistatička sila, s delovanjem pretežno u horizontalnoj ravni. Takođe, činjenice su da na intenzitet opterećenja utiču i mnogobrojni drugi faktori (brzina vetra, visina i vitkost objekta, konfiguracija terena, udaljenost, oblik i visina susednih objekata, pa i tekstura fasadne površine samog objekta).[11]

Opterećenje od vetra nastaje zbog promene impulsa trenutnog vazdušnog udara o površinu zgrade. Malo je verovatno da će zgrada pretrpeti računsko opterećenje tokom svog eksploatacionog veka, ali je gotovo sigurno da će zgrada biti izložena opterećenju proračunatom za vetar. Ako je zgrada izuzetno visoka, brzina vetra varira duž visine zgrade i potrebno je unaprediti proračun putem pravilnika za vetar za ovaj efekat, što je, opet, posebna tema.

Tokom proračuna otpornosti konstrukcije na vetar, zgrada se ne može posmatrati izolovano od svog okruženja. Uticaj zgrada u neposrednom okruženju i konfiguracija terena mogu biti od suštinskog značaja (sl. 7, 9). Opterećenje vetrom se brzo, pa čak i naglo menja,

### 3.1.1 Boundary layer and disturbed flow

On the surface of a structure, velocity of air becomes small and there, the viscosity force is relatively larger than the inertial force. Such an area is called the boundary layer [5]. In the boundary layer kinetic energy is lost by the effect of viscosity and fluid particles lose the energy to flow toward lee side. Then the fluid particles flow back, air cannot flow along the surface of the structure any more. The phenomenon is called separation of flow. In the separated flow, the velocity varies and provides unstable air-force to the structure. The separated flow is grown and the high frequency vortex is produced. Almost all instability aero dynamic problems are caused by this instability airflow of the boundary layer.

The conditions of the air flow, such as the separation point, boundary layer, and the vortices, change with the form of the body (Fig. 8). For slender body along the stream of the air, there is no boundary layer and the drag coefficient is close to 0. For bluff bodies there is a large wake area in the backward of the body. Some vortices appear along the edges of a long rectangular structure (Fig. 5 b).

## 4 WIND LOAD

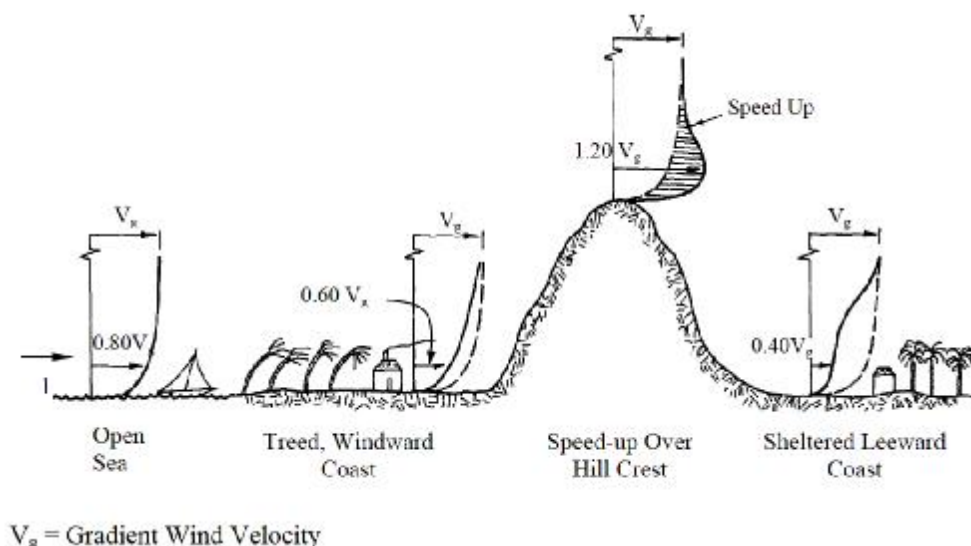
Determination of the intensity of load due to the effect of wind is very complex engineering problem due to the wind nature, which is interpreted as a stochastic disturbance force with static and dynamic part and thus, the calculation should be treated as quasistatic force acting predominantly in the horizontal plane, and numerous other factors (wind speed, height and slenderness of the building, roughness of the terrain, distance, shape and height of adjacent buildings until the texture of the facade covering of the building) impact the intensity of the load as well. [11]

Wind load is produced due to the change in momentum of an air current striking the surface of a building. A building is less likely to experience the other design loads in its lifecycle but it is almost certain that the building is likely to be subjected to the design wind load. If the building is very tall, the wind velocity varies along the height and sophisticated codes account for this effect, which is, however, the subject itself.

While designing regarding the wind, a building cannot be considered independent of its surroundings. The influence of nearby buildings and the land configuration can be substantial (Fig. 7, 9). Wind loads change rapidly and even abruptly, creating effects much

stvarajući mnogo jače efekte nego kada bi se isto opterećenje postepeno dodavalo. Pri projektovanju visokih zgrada koje izdržavaju sile vetra, veoma je važno uzeti u obzir sledeće faktore [10]: neophodna odgovarajuća snaga i stabilnost konstruktivnog sistema; zamor konstruktivnih elemenata i veza izazvanih promenljivim opterećenjima; prevelika bočna pomeranja koja izazivaju pojavu naprslina pregrada i spoljašnjih obloga, kao i mogućih trajnih deformacija; učestalost i veličina vibracija koja može izazvati neprijatnosti kod korisnika; mogući povremeni udari vetra koji mogu povećati brzinu dejstva na susedne objekte; uticaj na pešake; uznemirujući zvučni efekti i sl.

larger than if the same loads were applied gradually. In designing tall buildings to withstand wind forces, the following are important factors that must be considered: strenght and stability requirements of the structural system; fatigue in structural members and connections caused by fluctuating with loads; excessive lateral deflection that causes cracking of partitions and external cladding, and possible permanent deformations; frequency and amplitude of sway that can cause discomfort to the occupants; possible buffeting that may increase the magnitudes of wind velocities on neighboring buildings; effects on pedestrians; annoying acoustical disturbances and etc.



Slika 9. Uticaj terena i topografije [4]  
Figure 9. Influence of terrain and topography [4 - Bhandari]

Razlike u brzini najzastupljenijih i sezonskih vetrova označavaju se kao promene srednje brzine vetra. Razlike u brzini lokalnih, manje značajnih vetrova nazivaju se udari ili naleti vetra.

The variations in the speed of prevailing and seasonal winds are referred to as fluctuations in mean velocity. The variations in the local winds, which are of a smaller character, are referred to as gusts.

#### 4.1 Opterećenje vetrom i nacionalna regulativa

Za visoke i vitke objekte (neboderi) uobičajeno je reći da su osetljivi na dejstva vetra. Isto tako, kod nižih zgrada sa spratnim visinama preko 4m uočava se osetljivost konstrukcije na dejstvo vetra, kod spoljašnje obloge, a naročito između dve granične ravni unutar strukture fasade – fasadne konstrukcije i fasadne obloge.

Prvo pitanje za razmatranje jeste sama priroda opterećenja. Od pedesetih godina XX veka svedoci smo značajnih izmena u načinu procene opterećenja od vetra pri projektovanju konstrukcija. Tokom tog perioda, opis opterećenja od vetra prešao je od relativno jednostavnog, uprošćenog značenja prevlaćuće statičke sile do mnogo sofisticiranijih modela, uključujući mnogobrojna pitanja u pogledu klime, aerodinamike, teorije konstrukcija i dinamike, a odnedavno i pouzdanosti [4].

Masivne konstrukcije često su bile mnogo kruće nego što su proračunom predviđene, zbog učešća nekonstruktivnih komponenti, čiju je ulogu u

#### 4.1 Wind loads and national regulations

For tall and slender structures (skyscrapers) it is common to say that they are sensitive to wind effects. Likewise, lower buildings with higher floors (over 4.00m) indicate susceptibility to wind effects and their structures, too. That is obvious at surroundings, especially amongst two interfaces within the facades - a facade structures and facade covering.

The first issue to be looked at is the loading itself. Since the 1950s have witnessed remarkable changes in the manner of assessing wind loads in structural design (Davenport, 2001). During this time the description of wind load has moved from relatively simple, straightforward notions of static drag forces to much more sophisticated models, involving all the manifold questions of climate, meteorology, aerodynamics, structural mechanics and dynamics, and, more recently, reliability [4 - Bhandari].

These massive structures were frequently much stiffer than they were predicted to be due to the participation of the non-structural components, the contribu-



konstrukcijskom smislu teško proceniti. Zbog masivnosti ovih konstrukcija, nije se pridavao odgovarajući značaj dejstvu vetra. Dejstvo vetra usvajalo se na pojednostavljen način i korišćen je samo pristup statičke ekvivalencije. Ekspanzija izgradnje oblakodera mnogo je doprinela tome da se ova slika izmeni. U tom kontekstu, izmene koje su se desile kada su u pitanju proračuni konstrukcija i materijali za njihovo izvođenje, gde je težina pala gotovo za pola, čvrstoća je više nego udvostručena, dok su vibracije u konstrukciji smanjene.

U jednom delu teksta, Bhandari [4] se bavi pionirskim naporima kojima se pokušao dati izraz za složeno dejstvo vetra, kao nasumično promenljivog fenomena, kao i njegove primene, naročito kada su u pitanju vitke, visoke zgrade. Prvi izraz ponudio je A.G. Devenport šezdesetih godina XX veka. Tako razvijeni metod dozvoljava zadovoljavajuću analizu podužnog dejstva vetra za visoke objekte, poput tornjeva, dimnjaka i visokih zgrada. Kada je reč o poprečnom dejstvu vetra, rezultat je ograničen, a dimnjaci su se pokazali mnogo pogodnijim od ostalih visokih građevina.

#### 4.1.1 Opterećenje vetrom i regulativa Republike Srbije

U Republici Srbiji veličina projektnih osnovnih brzina vetra, prema zvaničnom propisu, kreće se u opsegu 19–35 m/s (prema najnovijim rezultatima merenja u opsegu 19–26 m/s). Treba biti izuzetno oprezan kada se radi s podatkom dobijenim od lokalnih meteoroloških stanica, jer se dobijeni podatak mora, na osnovu perioda osrednjavanja i dužine merenja na toj lokaciji, „prevesti“ na normirani podatak, a te dve vrednosti mogu biti značajno različite.

Intenzitet opterećenja vetrom građevinskih konstrukcija određuje se iz sledećeg izraza:

$$w = 1/2\rho (V_{m.50.10}^3 k_t k_T)^2 10^{-3} S_z^2 K_z^2 G_z C A \quad (1)$$

gde je:

$w$  – opterećenje vetrom u kN;  
 $\rho$  – gustina vazduha u  $\text{kg/m}^3$  (na 3000m  $\rho=0.9 \text{ kg/m}^3$ , na nivou mora  $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ );  
 $V_{m.50.10}^3$  – osnovna brzina vetra u m/s;  
 $k_t$  – faktor vremenskog osrednjavanja osnovne brzine vetra,  $k_t=1.0-1.9$ ;  
 $k_T$  – faktor povratnog perioda osnovne brzine vetra,  $k_T=0.793-1.060$ ;  
 $S_z$  – faktor topografije terena,  $S_z=0.9-1.5$ ;  
 $K_z$  – faktor ekspozicije,  $K_z=0.500-2.644$ ;  
 $G_z$  – dinamički koeficijent,  $G_z=1.4-2.5$  (u zgradarstvu);  
 $C$  – koeficijent sile ili pritiska,  $C=(-0.9)-(0.9)$ ;  
 $A$  – efektivna površina u  $\text{m}^2$ .

#### 4.1.2 Opterećenje vetrom i Evrokod

Evrokod 1 navodi da prosečna vrednost vetra varira u skladu s visinom  $z$  iznad zemlje kao što sledi u jednačini (2).

$$U(z) = U_{bas} k_T \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad \text{if } z_{min} = z \geq 200m \quad (2)$$

$$U(z) = U(z_{min}) \quad \text{if } z < z_{min}$$

tion of which was difficult to estimate. The massiveness of these structures did little to emphasize the importance of wind forces. Wind loads were considered in a very simple way and only “equivalent static” approach was followed. The skyscraper boom did much to change this picture. In this context, changes that have taken place vis-a-vis structural materials and design, whereby masses have dropped to almost half, strength have more than doubled and damping in structures has decreased.

Bhandari [4], in a part of his article, deals with the pioneer efforts to give expression to the complex randomly varying phenomenon of wind loading and its use particularly in slender tall structures. The first came in the 1960s from A.G. Davenport. Methods so developed permit a satisfactory analysis of the along-wind response of tall structures such as tower, chimneys and tall buildings. In as far as the across-wind response is concerned, success is limited, chimneys being more amenable than other tall structures. Similarly, there have been developments in the aerodynamic analysis of long slender bridges, particularly of the cable supported type - R.H. Scanlan. A.G. Davenport...

#### 4.1.1 Wind loads and Serbia regulation

In Serbia, the size of the basic design wind speed according to official regulations is in the range from 19 to 35 m/s (according to the latest results of the measurements in the range of 19-26 m/s). One should be extremely cautious when dealing with the data obtained from the local meteorological station because the obtained information must be, based on the averaging period and length measurements at the site, to “translate” as the standardized data - these two values can be significantly different.

The intensity of the wind load of structures is being determined from the following expression:

which is:

$w$  – wind load in kN;  
 $\rho$  – air density in  $\text{kg/m}^3$  (na 3000m  $\rho=0.9 \text{ kg/m}^3$ , at sea level  $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ );  
 $V_{m.50.10}^3$  – basic wind speed in m/s;  
 $k_t$  – factor of time-averaging basic wind speed,  $k_t=1.0-1.9$ ;  
 $k_T$  – factor of the return period basic wind speed,  $k_T=0.793-1.060$ ;  
 $S_z$  – topography factor,  $S_z=0.9-1.5$ ;  
 $K_z$  – exposure factor,  $K_z=0.500-2.644$ ;  
 $G_z$  – dynamic coefficient,  $G_z=1.4-2.5$  (u zgradarstvu);  
 $C$  – coefficient of force or pressure,  $C=(-0.9)-(0.9)$ ;  
 $A$  – effective area in  $\text{m}^2$ .

#### 4.1.2 Wind loads and Eurocode

Eurocode 1 states that the mean wind velocity varies according to height  $z$  above ground as follows in (2).

gde je  $kT$  factor terena i postavljen je za svaku klasu hrapavosti terena, a  $z_{min}$  jeste minimalna visina, ispod koje se srednja brzina vetra ne povećava. U Evrokodu  $kT$  i  $z_{min}$  prikazani su tabelarno (Tabela 1).

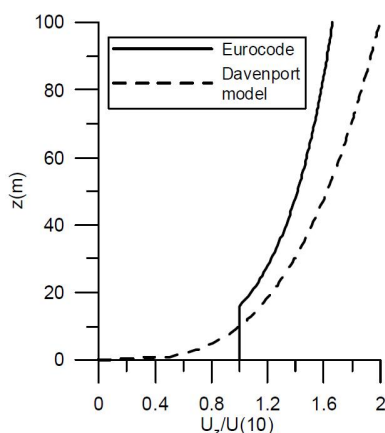
where  $kT$  is a terrain factor and the factor is set for each roughness class and  $z_{min}$  is a minimum height, under which the mean wind velocity does not increase,  $kT$  and  $z_{min}$  are set in Eurocode and shown in Table 1.

Tabela 1. Kategorija hrapavosti i odgovarajući parametar prema EN  
Table 1. Roughness category and related parameters according to Eurocode [5]

	klasa hrapavosti/roughness class	$z_0$ [m]	$kT$	$z_{min}$ [m]	$a$
I	hrapavost, otvoreno more, jezera koja se prostiru najmanje 5km uz vetar i ravan teren bez prepreka rough, open sea, lakes with at least 5 km fetch upwind and smooth flat country without obstacles	0.01	0.17	2	0.12
II	ogradoeno poljoprivredno zemljište, mestimično manji poljoprivredni objekti, kuće ili drveće farmland with boundary hedges, occasional small farm structures, house or trees	0.05	0.19	4	0.16
III	prigradska naselja ili industrijske zone i šume suburban or industrial areas and permanent forests	0.3	0.22	8	0.22
IV	urbano područje u kojima je najmanje 15% površine prekriveno zgradama prosečne visine preko 15m urban areas in which at least 15% of the surface is covered by building with an average height exceeding 15m	1	0.24	16	0.3

Slika 10 pokazuje prosečnu brzinu vetra duž visine dejstva prema Devenportovom modelu i prema Evrokodu [5].

Fig. 10 shows the mean wind velocity along the height of the Davenport's model and according to Eurocode.



Slika 10. Prosečna brzina vetra prema visini prema Devenportovom modelu i urbanom području prema Evrokodu, Uref je 10 m/s  
Figure 10. Mean wind velocity along height by Davenport model and Eurocode urban area, Uref is 10 m/s

Statistička analiza koristi se da se utvrdi projektna brzine vetra u građevinskim propisima. U Evrokodu, referentna brzina vetra  $U$  definiše se kao desetominutna srednja (prosečna) brzina vetra na 10m iznad terena, s dužinom hrapavosti  $z_0=0.05$ m, s prosečnom godišnjom verovatnoćom prekoračenja od 0.02, što odgovara povratnom periodu od 50 godina. U Evrokodu prikazana je karta referentne brzine vetra u Evropi.

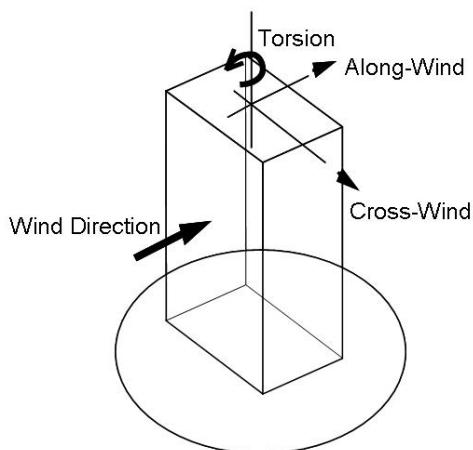
The statistical analysis is used to establish the design wind velocity in the construction codes. In the Eurocode, reference wind velocity  $U$  is defined as the 10-minute mean wind velocity at 10 m above terrain with the roughness length  $z_0=0.05$ m and an annual probability of exceedance of 0.02, which corresponds to a return period of 50 years. The reference wind velocity map of Europe is shown by figure within Eurocode.

## 4.2 Podužni i poprečni vetar

Nije samo nalet vetra na zgradu složena pojava, već je i model strujanja oko zgrade jednako komplikovan zbog izobličavanja srednjeg toka vazduha, odvajanja toka, stvaranje vrtloga i uvećavanja posledica dejstva vetra. Velika kolebanja pritiska vetra zbog tih uticaja mogu se pojaviti na površini zgrade. Kao rezultat toga, veliko aerodinamičko opterećenje kojim je izložen konstruktivni sistem i intenzivna lokalizovana kolebajuća sila dejstvuju na fasadu takve zgrade. Pod zbirnim dejstvom promenljivih sila, zgrada ima tendenciju da vibrira u pravolinijskom i torzionom režimu (slika 11). Amplituda takvih oscilacija zavisi od prirode aerodinamičke snage i dinamičkih svojstava zgrade.

## 4.2 Along and cross-wind loading

Not only is the wind approaching a building a complex phenomenon, but the flow pattern generated around a building is equally complicated by the distortion of the mean flow, flow separation, the formation of vortices, and development of the wake. Large wind pressure fluctuations due to these effects can occur on the surface of a building. As a result, large aerodynamic loads are imposed on the structural system and intense localised fluctuating forces act on the facade of such structures. Under the collective influence of these fluctuating forces, a building tends to vibrate in rectilinear and torsional modes, as illustrated in Fig. 11. The amplitude of such oscillations is dependant on the nature of the aerodynamic forces and the dynamic characteristics of the building.



Slika 11. Pravci odziva objekta na vetar [6]  
Figure 11. Wind Response Directions [6]

## 4.3 Statičko i dinamičko opterećenje vetrom

Dinamički pritisak koji dejstvuje na površinu zgrade srazmeran je kvadratu brzine vetra. Na ivicama krovova i zidovima, u pravcu vetra sile pritiska i sisanja mogu dostići višestruko veći dinamički pritisak nego što je uobičajeno. Generalno, raspodela dejstva je nepravilnija ako je oblik zgrade neuobičajen i sa oštrim ivicama. Uobičajena oštećenja krovova i fasada jasno pokazuju mesta ekstremnih dejstva pritiska vetra. Često su projektanti iznenađeni položajem oštećenja, što ukazuje na nepotpuno poznavanje prirode vetra. Proračun na vetar bavi se vibracijama izazvanim vetrom. Merenja na licu mesta i tunelima za vetar, zajedno s računarskim simulacijama strujanja (protoka) vetra, omogućavaju da se predvidi dejstvo vetra na neuobičajene i nove objekte [9].

Klasični masivni spoljašnji zid može porušiti jedino izuzetno jaka oluja. Otkako je u upotrebi sve skuplji, a istovremeno i sve osetljiviji materijal, u budućnosti će vetar sve učestalije ugrožavati fasadne panele i zid zavese. Krhotine i grad dramatično povećavaju oštećenja kod takvih zgrada. Staklene površine su još osetljivije na udare vetra. Rezonanca vibracija je dodatni uzrok kvara na fasadi. Isto važi i za kapije i klizna vrata hangara i hala. U slučaju ovih elemenata zahteva se

## 4.3 Static and dynamic wind loads

The dynamic pressure acting on the surface of the building is proportional to the square of the wind velocity. At the edges of the roofs and the walls in the wind direction the pressure and suction forces may reach the multiple of the usual dynamic wind pressure. Generally the distribution is more erratic if the shape of the building is irregular and sharply-edged. The damage on roofs and facades shows clearly, where the extreme pressures have an influence. Often designers are surprised by the locations of the damage, which means that the engineering education is incomplete. Wind engineering deals with *wind-induced vibrations*. Measurements in situ and in wind tunnels together with computer simulations of the wind flow allow specialists to predict the wind loads on unusual and new structures [9].

Exterior walls are damaged by extreme storms only. Since more and more expensive and at the same time sensitive materials are used, the wind forces will impair curtain walls and panels more frequently in the future. Debris and hailstones increase the damage to such buildings dramatically. Glass areas are even more sensitive to wind actions. Resonance vibrations are an additional cause of failure. The same is valid for gates and sliding doors of hangars and halls. Because of the

mala težina, pa se proizvode od lakih materijala, tako da se pod jakim pritiskom vetra ovaj materijal veoma deformiše. Kapijama krilo često ispada iz rama, pa se zbog toga oštećuju. Neophodno je predvideti preventivne mere za njihovo obezbeđenje (kao pod 3.1. Spoljni zidovi i fasade).

#### 4.3.1 Prosečna brzina vetra u skladu s visinom dejstva

Prosečna brzina vetra varira duž visine dejstva i za te slučajeve predloženo je nekoliko matematičkih modela. Uopšteno govoreći, prosečna brzina vetra raste s porastom visine. Neposredno uz teren u urbanom području, prosečna brzina vetra manja je nego što je to na otvorenom prostoru. Devenport je predložio power-law profil (formula za variranje vetra u zavisnosti od visine dejstva u površinskom graničnom sloju – slika 12). Ovaj model korišćen je često zbog svoje jednostavnosti. U tom modelu, srednja brzina vetra na visini  $z$  iznad zemlje data je kao u izrazu (3).

$$U(z) = U_{bas} \left( \frac{z}{z_{bas}} \right)^\alpha \quad (3)$$

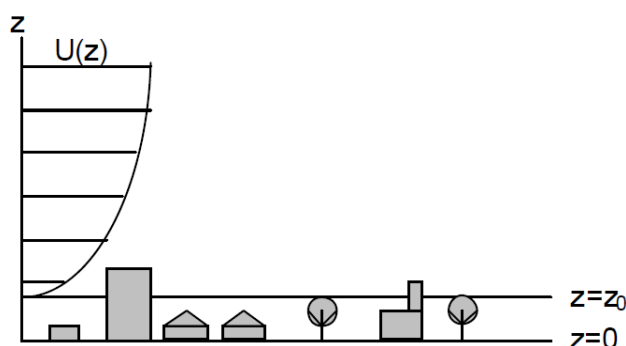
gde je  $U_{bas}$  referentna brzina vetra,  $z$  referentna visina (obično 10 m), dok je  $\alpha$  eksponent i on je dat tabelarno u Evrokodu (Tabela 1).

demand for small weights the gates are produced of light metals. Under high wind pressure this material may deform extremely. Often the gates leave the frame and are therefore destroyed. Possible preventive measures are given as examples (External walls and facades 3.1).

#### 4.3.1 Mean wind velocity according to height

Mean wind velocities varies along the height and few mathematical models have been suggested. Generally mean wind velocities increase with height. Near to the ground in an urban area the mean wind velocity is smaller than that in an open place. Davenport suggested the power-law profile (Fig. 12). This model is often used because of the simplicity. In the model the mean wind velocity at the height of  $z$  above ground is expressed as:

where  $U_{bas}$  is the reference wind velocity (see section 2.1.3.),  $z$  is the reference height (usually 10 m) and  $\alpha$  is the exponent that is shown in Eurocode (Table 1.).



Slika 12. Dužina hrapavosti i povećanje prosečne brzine vetra kai i visine [5]  
Figure 12. Roughness length and increase of mean wind velocity as height [5]

#### 4.3.2 Ekstremni vetar

Statistička analiza istorijskih podataka izvršena je na osnovu snimljene brzine vetra. Uopštenu ekstremnu vrednost raspodele predložio je Dženkinson 1955. godine. Verovatnoća funkcije raspodele maksimalne brzine vetra  $F_U(U)$  data je izrazom (4).

$$F_u(U) = \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{k(U - u)}{a} \right]^{1/k} \right\} \quad (4)$$

gde je  $F_U(U)$  distribucija u određenom vremenu,  $k$  faktor vremena,  $a$  faktor razmere (odnosa, skale), a  $u$  je činilac lokacije. Kada je  $k < 0$ , funkcija gustine (zbijenosti) poznata je kao Tip II ekstremne vrednost raspodele, a kada je  $k > 0$ , postaje Tip III ekstremne vrednost raspodele (Weibull-ova raspodela). Kako  $k$  teži nuli izraz

#### 4.3.2 Extreme wind

The statistical analysis of historical data was performed on recorded wind speed. The generalized extreme value distribution was suggested by Jenkinson in 1955. [5] The probability distribution function of the maximum wind velocity  $F_U(U)$  is given by equation (4):

where  $F_U(U)$  is a distribution in a defined period,  $k$  is shape factor,  $a$  is scale factor and  $u$  is location parameter. When  $k < 0$ , the density function is known as the Type II extreme value distribution and when  $k > 0$ , it becomes a Type III extreme value distribution (Weibull distribution). As  $k$  tends to 0, equation (4) is the Type I

(3) je Tip I ekstremne vrednost raspodele (Gumbel-ova raspodela).

Sve do sada, vetar je opisivao s prosečnom brzinom trajanja od 10 minuta, ali vetar je po prirodi uvek turbulentan. Turbulentnost brzine vetra je proizvedena od srednje brzine vetra  $U$  i komponente turbulencije  $u(t)$ . Komponenta turbulencije dole je opisana sa standardnom devijacijom, vremenskom skalom i integralom (vremenske) skale. Standardna devijacija kolebljive brzine vetra  $su(z)$  izražava se kao u izrazu (5).

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \int_{t1}^{t1+T} (u(t) - U)^2 dt \quad (5)$$

gde je  $t1$  vreme početka merenja, a  $T$  je trajanje podatka. Obično se desetominutno merenje vremena koristi za  $T$  vrednost.

Intenzitet turbulencije  $lu(z)$  definisan je pomoću standardne devijacije kao:

$$lu(z) = \frac{\sigma_u(z)}{U(z)} \quad (6)$$

gde je  $U(z)$  srednja brzina vetra na visini  $z$ .

Intenziteti izmerene turbulencije veoma su rasuti i nije moguće dobiti univerzalnu vrednost. Pored toga, uopšteno, intenzitet je veći u gradu nego na otvorenom prostoru i opada s visinom. Da bi se dobile realne vrednosti, predloženi su različiti modeli [4].

#### 4.4 Opterećenje fasadne obloge vetrom

Kriterijumima za opterećenje vetrom, koji se naročito odnose na elemente spoljašnjeg zida, sve do nekoliko poslednjih godina, posvećivano je malo pažnje unutar građevinskih propisa širom sveta. Studije modela delova zgrade u aerotunelima, kako obloge, tako i potkonstrukcije fasade, počele su pre gotovo trideset godina, ali sve do poslednje decenije, one su se uglavnom primenjivale samo za posebne građevinske konstrukcije.

Takvi programi testiranja koriste modele statičkog pritiska za ispitivanje uslova opterećenja vetrom, koji deluju na komponente spoljašnjeg zida, i još složenije, aeroelastične modele proučavanja dinamičke reakcije nekoliko posebnih konstrukcija. Odnedavno, postupak „balansa sile“ sprovodi se za dobijanje što tačnije prognoze reakcija osnovne konstrukcije, dok se i dalje primenjuje isti model za ispitivanje pritiska spoljašnjeg dela fasade.

Očigledno da je istraživanje aerotunelima pokazalo da dejstvo i činioci za stvaranje kriterijuma proračunskog opterećenja vetrom, delova spoljašnjeg zida, mogu biti značajno drugačiji od slučajeva koji definišu kriterijume proračunskog opterećenja vetrom za glavnu konstrukciju, iako su oba proistekla iz istog vetrovitog okruženja. Ova važna razlika u direktnoj vezi je s karakteristikama ponašanja reakcija svakog sistema.

Obično predimenzionirana osnovna konstrukcija prima malo konkretnih uticaja lokalizovanih vršnih pritisa, kakvi se mogu dogoditi u uglovima zgrada, uvučenim delovima fasade, parapetima i drugim intervencijama u oblikovanju zgrade.

Uglavnom, proračun obuhvata pojedinačne materijalne

extreme value distribution (Gumbel distribution).

Until now wind is described with the mean wind velocity in 10 minutes, but natural wind is always turbulent. Turbulence wind velocity is made of mean wind velocity  $U$  and turbulence component  $u(t)$ . The turbulence component is described below with the standard deviation, time scale and integral length scale. The standard deviation of fluctuating wind velocity  $su(z)$  is expressed as:

where  $t1$  is the starting time of measurement and  $T$  is the data duration. Usually 10 minutes measurement time is used for  $T$  value.

The turbulence intensity  $lu(z)$  is defined by using the standard deviation as:

where  $U(z)$  is the mean wind velocity at height  $z$ .

The measured turbulence intensities are largely scattered and an universal value is not realistic. In addition generally the intensity is larger in a city than in an open place and it decreases along the height. In order to obtain realistic values some different models have been suggested. [4]

#### 4.4 Wind loads on cladding

Wind loading criteria specifically relating to exterior wall elements have received little attention in the form of documentation within building codes around the world, until the past few years. Wind tunnel model studies of building components, both structural and exterior facade elements, began nearly 30 years ago, but until the last decade, they were generally only performed for special building structures.

Such test programs utilize static pressure models for investigating the wind pressure conditions effecting the exterior wall components, and more complex, aeroelastic models to study the dynamic response of a few very special structures. More recently, "force balance" procedures are being pursued to obtain more accurate response predictions for the primary structural form, while still utilizing the same model being employed for the exterior facade pressure testing.

Clearly, wind tunnel investigations have shown that the effects and factors producing wind loading design criteria for exterior wall components can be significantly different than those cases defining the design load criteria for the primary structure even though they both are derived from the same wind environment. This critical difference is directly related to the behavioral response characteristics of each system. The usually highly redundant primary structure feels little of the specific effects of localised peak pressures such as may occur at building corners, setbacks, parapets and other changes in building configuration. Generally, the design concerns for individual cladding system components relate to wind pressure conditions perpendicular to the

jale sistema za oblaganje, koji se odnose na uslove pod kojima vetar deluje upravno na površinu ravni. Pitanja kompatibilnosti granične ravni između fasadne obloge i konstrukcije, uglavnom se odnose na deformacije u spoljašnjem delu konstrukcije.

Najčešće dejstvo na koje treba obratiti pažnju jeste „smicanje” ili horizontalna izobličavanja ramovske strukture u spoljašnjem delu zgrade zbog bočnih deformacija konstrukcije. Sistemi spoljne obloge pokušavaju da reaguju na deformisani oblik noseće konstrukcije, izazvan na mestu deformacije unutar fasadne obloge koja – ako je vezan bez mehanizama rasterećenja – stvara značajan mehanizam sila koji vodi do zamora ili loma materijala. Deformisanje konstrukcije zbog bočnog opterećenja izaziva horizontalna i vertikalna translatorna pomeranja i rotaciona pomeranja koja treba da reaguje na apsorbirana elementima veze fasadne konstrukcije s nosećom konstrukcijom.

Odgovarajuću reakciju materijalom koji formiraju fasadnu oblogu na sisteme deformacija najlakše je postići korišćenjem manjih dimenzija za materijale male elastičnosti, a primeniti veće dimenzije u slučaju elastičnijih materijala. Najveći nivo osetljivosti na zamor materijala može se naći među elementima kao što su veliki stakleni paneli, koji pokazuju nizak nivo elastičnosti in situ, lako je takvo horizontalno razaranje spoljašnje obloge obično ograničeno za uobičajene spratne visine, ograničenjem prihvatljivih performansi ponašanja konstrukcije ili psihološke reakcije korisnika, vanredno visoke zgrade ili zone „meke konstrukcije” mogu proizvesti neprihvatljive opsege reakcija za neke od materijale u sistemu fasadne obloge.

Za spoljne elemente fasade, sistem vezivanja granične ravni može prouzrokovati amortizaciono dejstvo i ublažiti neke od različitosti deformacija. Uglavnom, posledice dejstva opterećenja vetra deformacijom „razaranje cepanjem” trebalo bi kombinovati s dejstvom gravitacionog opterećenja duž spoljašnje ravni fasade.

Arjan Habraken [8] raspravlja o prednostima fleksibilnih fasada, povezanih kontrolisanim opruga/prigušivač sistemima koji po svojoj fleksibilnosti utiču na prenos opterećenja na primarnu konstrukciju zgrade. Takođe, kombinacija opruge i prigušivača omogućavaju apsorpciju energije vetra. Fasada, kao nepovezani sistem za primarnu konstrukciju, štiti unutrašnji prostor zgrade. Nepovezanost dozvoljavaju (konstruktivno) veće deformacije, omogućujući upotrebu oblika aktivnih lakih fasadnih elemenata koji se oblikuju pod različitim obrascima opterećenja. Ukupan prostor fleksibilnosti od deformacije Habraken deli na tri principa:

a) Princip 1: **izbegavanje dejstva opterećenja**

Ovaj princip je u vezi s pojmovima skrivanja, formiranja i izravnavanja:

- smanjene površine pod opterećenjem – promena oblika kako bi se smanjio prostor uticaja opterećenja;
- smanjenje faktora oblika – promena oblika kako bi postao aerodinamičniji;
- smanjenje trenja – promena teksture površine obloge radi povećanja njene glatkoće.

b) Princip 2: **povećavanje mogućnosti materijala**

Materijal i obloga će reagovati na opterećenje zbog svoje poboljšane delotvornosti. Ovom principu pripadaju sledeći tipovi:

- pokretljivost materijala – elementi se pokreću deformisanjem;

surface plane. The interface compatibility issues between the attached cladding systems and the primary structure generally relate to the deformations in the exterior plane of the structure.

The most common effect needing consideration is the "shear racking" or horizontal distortion of the structure's beam-column frames at the exterior of the building due to lateral deformation of the structure. The attached exterior cladding systems attempt to respond to the deformed shape of the supporting structure inducing in-place deformations within cladding systems which, if restrained without relief mechanisms, generate significant force mechanisms leading to component distress or failure. Structural deformations due to lateral loads produce horizontal and vertical translations, and rotational movements which need to be absorbed within the facade system and within its anchorage elements to the primary structure.

The response to such deformation systems by the facade system components is most easily achieved by utilising smaller sizes for less ductile components, and allowing larger sizes when using more ductile elements. The greatest degree of susceptibility to distress is found among those elements such as large panels of glass which exhibit low levels of inplane ductility. Although such horizontal wracking of the exterior facade systems is normally limited in magnitude for typical floor-to-floor dimensions by the limits of acceptable performance for structural behaviour or human physiological response, special tall floors or "soft structure" zones can produce unacceptable response ranges for some of the facade systems components.

For more outwardly located facade systems, the interface anchorage system can provide a performance buffer and relieve some of the deformation differential. Generally, the response effects of the wind loading "shear wracking" deformation will need to be combined with the effects of gravity loading along the exterior face.

Arjan Habraken [8] discusses about the advantages of flexibility of the façades connected by controlled spring/damper systems that, by its flexibility, influence the load transfer to the main structure of the building. The combination of spring and dampers make it also possible to absorb wind energy. Façades as disconnected main structural elements embracing and protecting the inner building. The disconnection allows (structurally) larger deformations making it possible to use form-active lightweight façade structures that reshape under different load patterns. The total field of flexibility through deformation we divide in three main principles:

a) Principle 1: **avoiding load impact.**

This principle is about hiding, forming and smoothing. Three types can be mentioned:

- reducing surface loading - changing shape to reduce the area of load impact,
- reducing form factor - changing shape to become more aerodynamic,
- reducing friction - changing skin texture to increase the smoothness.

b) Principle 2: **improving efficiency of material.**

Materials and shape will react to its loading to improve their efficiency. The following types belong to this principle:

- activation of material - elements are activated by

- oblikovanje materijala – izmena vrste i protoka unutrašnjih sila.

c) Princip 3: vremenski rasporediti uticaj opterećenja.

#### 4.5 Ponašanje čelika pod dejstvom promenljivog opterećenja vetrom

##### 4.5.1 Ponašanje konstrukcije fasadnog zida od Ytong blokova bez dodatnih ojačanja

Već je naglašena specifičnost fasade zgrade laboratorije Departmana za građevinarstvo FTN-a u Novom Sadu (zgrada laboratorije), a to je: a) velika visina fasadnog zida  $h=408.5\text{cm}$  (svetla mera, od a.b. ploče do donje ivice fasadne grede, koja se popunjava Ytong blokovima); b) velika površina prozorskih elemenata ( $P=3.50\text{m}^2$ ); c) fasada od alukobonda; d) relativno velika visina zgrade (iako je visoka samo 22m, relativno mala osnova 16m/30m dovodi je u taj rang). Ispuna od Ytong blokova trebalo je da primi opterećenje od prozora i fasade od alukobonda (sopstveno opterećenje + opterećenje od vetra).

Konstrukcija zida je u visini parapeta, ukrućena horizontalnim a.b. serklažom  $4\phi 14$ , dok su stubi između prozora bez ukrućenja i primaju celom dužinom kontinualno opterećenje, jer je prostor između doprozornika i stubića ispunjen poliuretanskom penom (purpen) (sl. 4.b i 13).

deforming,

- configuration of material - changing the type and flow of internal forces.

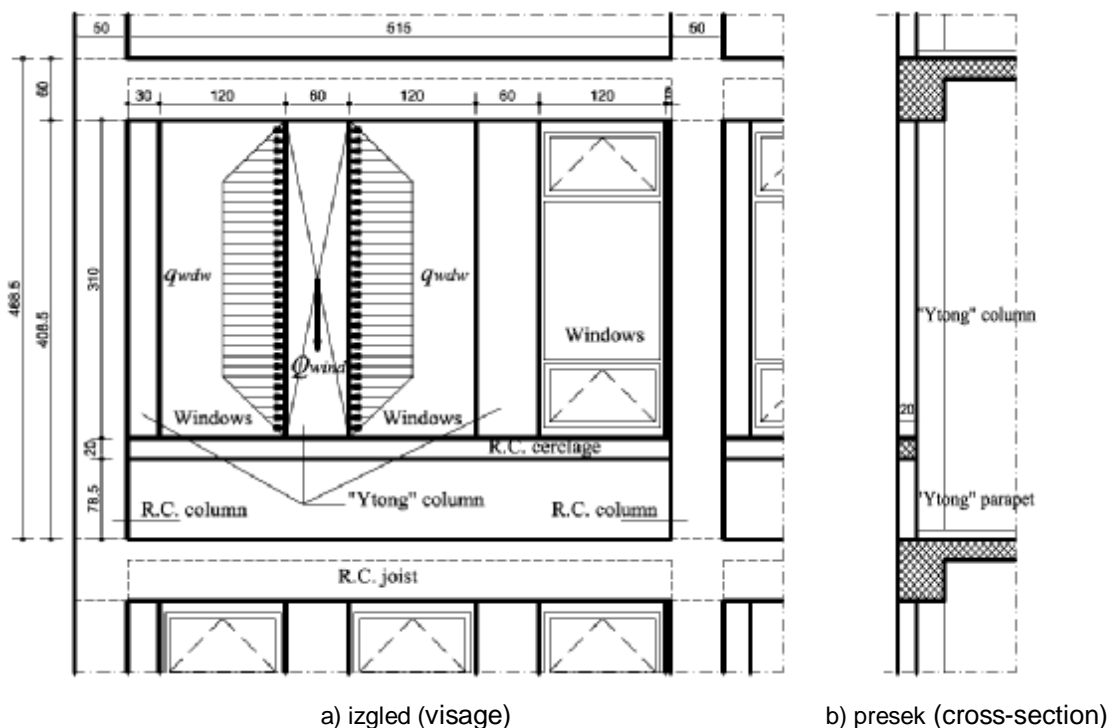
c) Principle 3: spreading load impact in time.

#### 4.5 The behavior of steel effected by variable wind loading

##### 4.5.1 Structural behavior of the Ytong facade wall at no additional reinforcement

It has already been emphasized the specific of facades of the building laboratory of Department of Civil Engineering (Building Laboratories), which is: a) the facade walls height  $h = 408.5\text{cm}$  (ie lights measure from the ab plate toward the bottom edge of beam, which is filled Ytong blocks); b) a large area of window elements ( $P = 3.50\text{m}^2$ ); c) alukobond facade d) a relatively large height of the building (although only 22m high, relatively small base 16m/30m placed this building in that rank). Infill of Ytong blocks needed to receive a load of windows and facades of alukobond (own load + wind loads).

The construction of the wall is starched in a level of parapet by the horizontal reinforced concrete cerclage  $4\phi 14$ , while the Ytong pillar between the windows are without stiffeners and receive the continuous load upon own entire length, because the space between the window jamb and the pillar additionally filled with a polyurethane foam (Pur foam) (Fig. 4.b and 13).



gde je:

$Q_{wind}$  - opterećenje od vetra  
 $q_{wnw}$  - opterećenje od prozora

where:

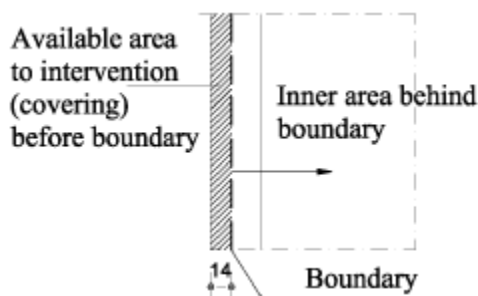
$Q_{wind}$  - wind load  
 $q_{wnw}$  - load from windows

Slika 13. Opterećenje zida od Ytong blokova horizontalnom silom  
 Figure 13. Wall load from Ytong block with horizontal force

Preliminarni proračun potvrdio je osnovanu pretpostavku da konstrukcija dela fasade, izvedene od Ytong blokova, ne može da preuzme dejstvo horizontalnih sila bez dodatnih konstrukcijskih elemenata, kojima bi se obezbedila potpuna stabilnost strukturne fasade. Naročitu osetljivost pokazali su zidani stubovi između prozora. Parapetni zid pokazao je određenu krutost zbog male visine i ukrućenja horizontalnim AB serklažom.

#### 4.5.2 Predlog ojačanja konstrukcije za obezbeđenje fasadnog zida od Ytong blokova

Prema uslovima kojima su definisane spoljne granice objekta zgrade laboratorije, može se zaključiti da je dozvoljeni prostor za moguću intervenciju vrlo sveden (jedva 14 cm), pa je neophodno tražiti rešenja u tim okvirima. Rešenje koje podrazumeva pomoćnu konstrukciju u prostoru strukturne fasade, odabrano je zbog potrebe sinhronizovanog kontinuiteta u izvođenju: fasadne ispune, ugradnje prozorske bravarije, postavljanja termoizolacije i pokrivanjem fasadnim pločama od alukobonda. Sve druge vrste intervencije remetile su ovaj sinhronizitet i značajno usporavale dinamiku radova (sl. 14).



Slika 14. Prostor u strukturnoj fasadi u kome je moguća intervencija  
Figure 14. Available area for intervention

Raspored opterećenja unutar konstrukcije određuje se metodama analize statike i dinamike konstrukcija. Sposobnosti konstrukcija da prenesu zadate uticaje utvrđuju se na osnovu karakteristika ugrađenog materijala – dopuštenih napona (sl. 15). Osnovna ideja bila je da se zid ispune od Ytong blokova rastereti od svih uticaja, osim sopstvenog opterećenja. Na taj način, bilo je neophodno sva opterećenja primiti novom konstrukcijom. Predlog je bio da se formira raster pomoćne konstrukcije od lakih, vertikalno postavljenih „štapova“ na međurazmaku, utvrđenom prema ritmu otvora na fasadi. Usvojen je čelični U profil koji je trebalo dimenzionisati, na osnovu broja oslonačkih tačaka i poznatog opterećenja. Opterećenje koje je ova konstrukcija trebalo da prihvati nastalo je od dejstva vetra preko fasadne obloge od alukobonda i aluminijumske prozorske bravarije.

Ovaj proračun će pokazati da li pretpostavljeni presek čeličnog nosača, predloženih dimenzija, može da amortizuje pomenuta opterećenja na zadovoljavajući način. To znači da nije dovoljno da se štap elastično deformiše, već je, u slučaju ove fasade, važno da nosač ima što manji ugib, jer se za njega vezuje prozorski element, što može, naročito u nepovoljnim slučajevima

By preliminary calculation has confirmed founded assumption that the part of facade structure made of Ytong blocks not able to take over effects wind load without additional structural elements, which ensure the stability of structural elements completely. Particular sensitivity have showed by masonry pillars between the windows. Parapet walls showed some stiffness due to the small height and horizontal AB reinforcements.

#### 4.5.2 Proposal of the structural solutions for improvement a facade wall of YTONG

Under the terms by which are defined the outer limit of the Laboratory building, it can be concluded that the space allowed for the possible intervention of a reduced (barely 14cm), so it is necessary to look for solutions in these boundaries. For a solution that involves an auxiliary structure in the space of structural facade they opted out of a need continuity in the performance of synchronized assembling facade, installing window, installing insulation and covering with the plates of alukobond. All other types of interventions could be disturb the synchronicity and significantly slowed down the pace of work (Fig. 14).

Allocating loads within the structure occurs by means of static and dynamic analysis of structures. Determining the ability of structures to convey a given impact is based on the characteristics of the incorporated material - allowable stress (Fig. 15). The main idea was to infill a wall of blocks Ytong relieve at all, but their own load. In this way, it was necessary to accommodate all loads by new structure. The proposal was to form a grid structure of the auxiliary lightweight, vertically "stick", on distance as far as determined by the rhythm of the openings of the facade. "U" steel profile has been adopted and dimensioned toward the wellknown number of supporting points and loads. Load, that should be accepted by this steel profile, originated of wind effects through the curtain wall and aluminum windows.

This calculation will show if the assumed cross-section with proposed dimensions, could absorb the mentioned loads in a satisfactory manner. That means it is not good enough if the sticks have elastic deformations only, but the less deflection as much as possible, because the windows are connected with them, so that could caused a damage (glass fracture) in case of unpredictable wind load effects. It is crucial make a design of structural elements which could be



nepredvidivog dejstva opterećenja od vetra, prouzrokovati lom stakla u prozoru. Primarno je isprojektovati konstruktivni element koji će na sebe preuzeti sve dinamičke i statičke uticaje iz okruženja, a da svojim radom ne dovede u pitanje ispravnost nekonstruktivnih elemenata, odnosno da ne dozvoli da nekonstruktivni elementi preuzmu na sebe funkciju konstrukcije.

Rešenje veze štapa i primarne konstrukcije mora biti osmišljeno da prenese opterećenje sa štapa na AB konstrukciju i da, istovremeno, omogući jednostavnu i brzu montažu.

Ponašanje reakcija konstrukcionog čelika pri statičkom zatezanju karakteristično je po nekoliko zakona promene deformacija od unutrašnjeg napona. Za noseće strukture očuvanje forme – geometrije – jeste posebno važno, pa se konstrukcija dovodi najviše do granice elastičnosti. Pouzdano poznavanje rasporeda unutrašnjih napona ima poseban značaj, jer omogućava bolje iskorišćenje čelika.

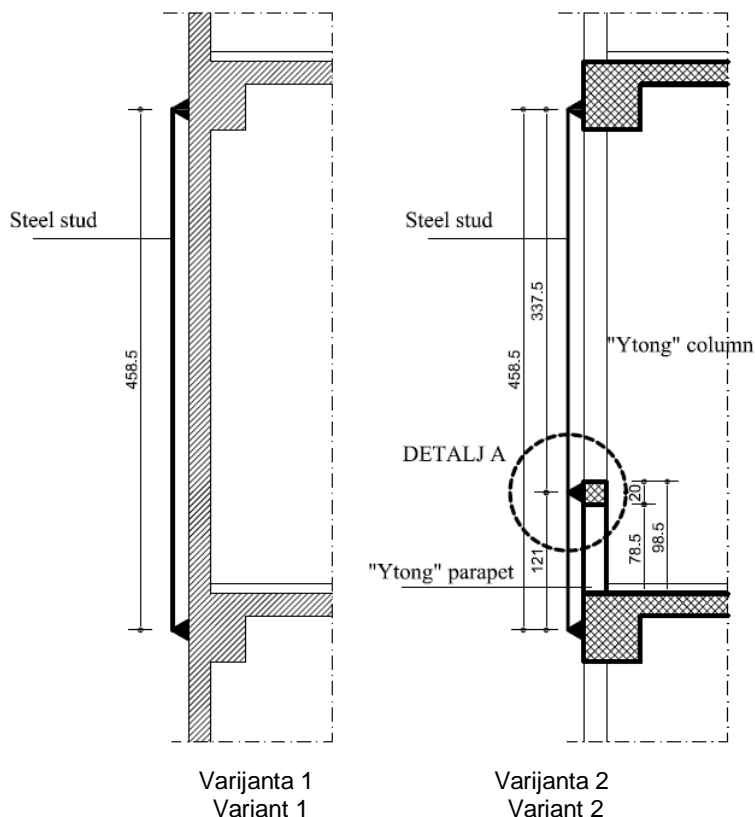
Ovo pitanje posebno je bitno, jer je utvrđeno da se konstruktivni elementi mogu lomiti i pri nižim naponima od statičke jačine materijala. Naime, ako se dovoljno puta izazove promena napona u materijalu, nastaje zamor materijala i slabljenje njegove jačine kidanja. To opasno opterećenje konstruktivnog elementa promenljivo je opterećenje koje osciluje između gornje  $\sigma_g$  i donje granice napona  $\sigma_d$ . Karakteristično je da na lom direktno utiče promena napona  $\sigma_g - \sigma_d$  i srednji prednapon  $\sigma_{SR} = (\sigma_d + \sigma_g) / 2$ . Pritom, utvrđeno je da što je viši srednji napon, to je manja razlika gornjeg i donjeg graničnog napona potrebna za lom [11].

able assume all static and dynamic effects of environment, and by its own work does not call into question the validity of non-structural elements in the same time, respectively not to allow non-structural elements take over the function of the primar structure.

The solution of stick connection and the primary structure must be designed to transfer the load to the RC structure stick and, at the same time, provide a simple and quick installation.

Reaction of structural steel under static tension is characterized by a number of law changes the deformation of the internal stresses. For the supporting structure a preservation of forms - the geometry, is very important so that structure leads up to the ultimate strenght. Reliable knowledge of the distribution of internal stress is particularly important because it allows better use of steel.

This issue has particular - the fundamental importance because it has been established that the structural elements can rupture even at lower tension than the static strength of materials. Namely, if a sufficient number of times cause stress change in the material, there will be fatigue and reduction of rupture strength. That dangerous load of a structural element is a variable load that oscillates between the upper  $\sigma_g$  and lower ultimate stress  $\sigma_d$ , It is characteristic that a fracture directly affected by stress change  $\sigma_g - \sigma_d$  and mean pretension  $\sigma_{SR} = (\sigma_d + \sigma_g) / 2$  It is established that the higher the mean stress that is required for fracture the smaller difference of the upper and lower yield stress [11].



Slika 15. Šema predloženih varijantnih rešenja potkonstrukcije fasade  
 Figure 15. A proposed scheme of various solutions of the facade substructure

### Varijanta 1

Ovo rešenje podrazumeva potkonstrukciju koja će biti oslonjena („okačena“) o AB elemente primarne konstrukcije – za AB gredu više etaže i za AB gredu niže etaže. Na rasponu od 458.5m, usvojen je profil U80, koji bi trebalo da na sebe preuzme već pomenute uticaje. Na pojavu zamora materijala utiče kvalitet izrade, obrade i spoljni oblik elementa. Računski spektar je komplet svih spektara naponskih razlika, relevantan za dokaz na zamor.

Proračunom je utvrđeno da je element predloženog preseka U80 u stanju da preuzme horizontalno opterećenje, ali su ugibi nedopustivo veliki, što može prouzrokovati pojavu kvarova na prozorskim elementima. Rešenje za ovakav način oslanjanja čeličnog štapa jeste povećanje poprečnog preseka, što u slučaju ove fasade nije dozvoljeno, jer bi tako zgrada svojim gabaritima izlazila iz zadatih granica – van regulacione linije. To je razlog da se rešenje *Varijanta 1* ne usvoji.

### Varijanta 2

Ovo rešenje jeste unapređena *Varijanta 1* i odlikuje ga fasada u dozvoljenoj širini od 14cm (obloga+potkonstrukcija), zid od Ytong blokova s parapetom ojačanim serklažima, osim horizontalnih i vertikalnih. Ovo ojačanje proisteklo je iz potrebe za uvođenjem još jedne osloničke tačke za štap, maksimalno dozvoljenog preseka U80 u visini horizontalnog serklaža u parapet (detalj A). Uvođenjem trećeg oslonca, smanjuje se statička dužina štapa, a istovremeno se povećava njegova krutost (sl. 16).

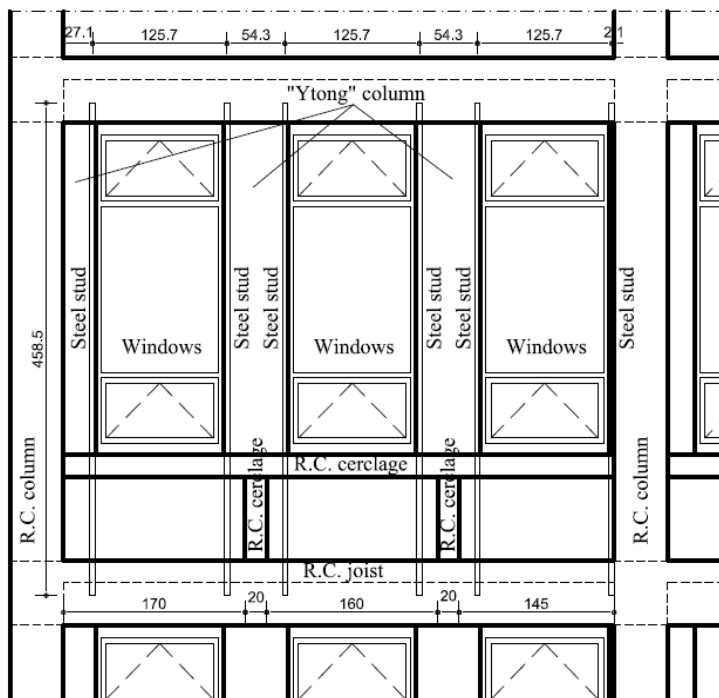
### Variant 1

This solution implies the grid, which will be supported (“hanged”) of the primary structure elements - over the RC beam the higher and lower floor. At the distance of 458.5m a profile U80 has been adopted, which should take over the previously mentioned influences by itself. The occurrence of fatigue affects the quality of the production, processing and external form of the element. A computing spectra is the kits of all spectrums of the stress differences, relevant as evidence to the fatigue.

The calculation was confirmed that the U80 profile able to takes over the horizontal loads, but the deflections are unacceptably huge which may cause the appearance of malfunctions at window elements. The solution for this kind of reliance is an steel stick with increasing of its profile (more then U80), which is not allowed in case of that facade, otherwise the facility passed beyond of the set boundaries by the authority - out of regulation line. For this reason the Variant 1 is rejected.

### Variant 2

This solution is an improved Variant 1, which characterizes the facade with a permitted lining width of 14cm (covering + grid), a wall of Ytong blocks reinforced parapet by cerclages, not only horizontal but vertical, too. This reinforcement is derived from the need to include an additional support for the stick U80 at the level of a horizontal cerclage of the parapet (detail A). The inclusion of the third support reduces static length of the stick, while increasing its stiffness (Fig. 16).



a)



b)

Slika 16. Varijana 2 – a) Šema usvojenog rešenja potkonstrukcije fasade; b) Usvojeno rešenje in situ  
Figure 16. Varijana 2 – a) an approved grid solution scheme to the facade substructure, b) approved grid solution in-place

Za tu svrhu, trebalo je dodatno obezbediti parapetni zid, ugradnjom vertikalnih AB serklaža (sl. 15 – Varijanta 2. Detalj A). Iako je to podrazumevalo ojačavanje svih parapeta te visine na celom objektu, to nije predstavljalo ni komplikovanu, niti skupu intervenciju, o čemu se striktno vodilo računa.

## 5 ZAKLJUČAK

Strukturalna fasada danas predstavlja zahvalan poželjan oblik materijalizacije omotača zgrade. U prilog toj tvrdnji idu brojne prednosti, a sledeće su samo neke od njih: brzina i preciznost pri ugradnji na objekat, fabrički uslovi proizvodnje elemenata, što utiče na visok kvalitet proizvoda. Iako održavanje (često se svodi na zamenu elementa), manji uticaj vremenskih uslova na ugradnju i drugo.

Najveći nedostatak strukturalnih fasada jesu spojevi elemenata obloge i nivo zaštite od prodora atmosfere vode. Upravo zbog toga, radna snaga mora biti stručno obučena, a broj stavki – koji mora da zadovolji projektovani kvalitet – znatno se povećava. Drugi nedostatak je posebna osetljivost na dejstvo vetra, naročito zbog neujednačenog intenziteta njegovog dejstva. U tom slučaju, trebalo bi imati u vidu više činilaca koji utiču na oblik, pa samim tim i na intenzitet delovanja, poput oblika i visine objekta, obrade fasade, morfologije (konfiguracije) terena, visine prepreka u neposrednom okruženju objekta sa strukturalnom fasadom i slično.

Vetar je fenomen velike složenosti, koji uključuje i brojna strujanja nastala međudejstvom vetra i objekata. Opterećenje od vetra nastaje zbog promene impulsa trenutnog vazdušnog udara o površinu zgrade. Malo je verovatno da će zgrada pretrpeti računsko opterećenje tokom svog eksploatacionog veka, ali je gotovo sigurno da će biti izložena opterećenju proračunatom za vetar. Osnovni proračun brzine vetra za različite pravce i različite povratne periode može biti izveden korišćenjem rigoroznih analiza koje uključuju verovatnoće raspodela brzine i pravca vetra.

Strukturalna fasada, kao nepovezani sistem za primarnu konstrukciju, štiti unutrašnji prostor zgrade. Nepovezanost dozvoljavaju (konstruktivno) veće deformacije, omogućujući upotrebu oblika aktivnih lakih fasadnih elemenata koji se oblikuju pod različitim obrascima opterećenja.

Cilj ovog rada jeste da prikaže izbor optimalnog rešenja, usvojenog prilikom projektovanja zgrade laboratorija Departmana za građevinarstvo FTN-a, u Novom Sadu. Tom prilikom, predstavljeni su relevantni ulazni podaci, neophodni za analizu varijantnih rešenja, što je podrazumevalo i primenu odgovarajućeg računskog modela kao odlučujućeg u donošenju odluke. Ovim radom pokazalo se da su za to osnovni preduslovi bili, s jedne strane, poznavanje vetra i njegove prirode ponašanja, a s druge, svojstva primenjenih materijala konstrukcije strukturalne fasade.

For this purpose it was needed to ensure parapet wall by adding RC vertical cerclage (Fig. 15 - Variant 2. Detail A). Even though this would imply a strengthening for all parapets on the equal heights all around the facilities, this was represented neither complicated nor expensive intervention, about what the care was taken strictly.

## 5 CONCLUSION

Structural facades nowadays present both a grateful and desirable form of materialization of the building envelope. Many of the benefits are going to support this claim, and the following are just a few of them: speed and precision during connecting on the object, the factory conditions of production elements that affect the high quality products, easy for maintenance (often reduced to the replacement of the element), the smaller impact of weather conditions throughout the elements connecting and etc.

The biggest drawback of the structural elements presents the joints of the facades lining and the level of protection against ingress of atmospheric water. Precisely for these reasons the labor force must be professionally trained and the number of items that must be designed to meet the quality, increases significantly. Another disadvantage is a special sensitivity to the effects of wind, especially for non-uniform intensity of its effects. In this case, it must take into account several factors that affect the shape, and thus the intensity of the action, such as the shape and height of the building, the façade smoothness, morphology (configuration) terrain, height barriers in the immediate environment of the building with a structural facade and etc.

Wind is a phenomenon of great complexity because of the many flow situations arising from the interaction of wind with structures. Wind load is produced due to change in momentum of an air current striking the surface of a building. A building is less likely to experience the other design loads in its life but it is almost certain that the building is likely to be subjected to the design wind load. Basic design wind speeds for different directions and different return periods can be derived using a rigorous analysis incorporating probability distributions for wind speed and direction.

Façades as disconnected main structural elements embracing and protecting the inner building. The disconnection allows (structurally) larger deformations making it possible to use form-active lightweight façade structures that reshape under different load patterns.

The aim of this paper is to present the choice of an optimal solution which adopted in designing the Laboratory Buildings Department of Civil Engineering, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad. On that occasion, discusses the relevant input data required for the analysis of alternative solutions, which involved the use of numerical models as decisive in the decision making. This paper shows that the basic prerequisites for this are, on the one hand, the knowledge of wind and of its nature and behavior, and on the other hand, the properties of materials applied for structural design of the facade.

## 6 LITERATURA REFERENCES

- [1] Jakšić, Ž., Harmati, N.: Energy efficiency elements integrated with the structure of the new laboratory building Department of Civil Engineering, FTS, Novi Sad, INDIS 2012, 12 Scientific Conference: Planning, Design, Construction and Renewal in the Civil Engineering, International Scientific Conference, Proceedings, 28-30 November, 2012.g., Novi Sad, Serbia, pp 944-953, Editors: V. Radonjanin, R. Folić, Đ. Lađinović.
- [2] Jakšić, Ž.: Laboratory Building of the Department of Civil Engineering – design and construction, Facta Universitatis, University of Niš, 2013, Serbia, – u pripremi
- [3] Opterećenje vetrom, JUS U.C7.110, Službeni list SFRJ, br. 70/91
- [4] Bhandari, N.M., Krishna, P., Kumar, K., Gupta, A.: An Explanatory Handbook on Proposed IS 875 (Part3) Wind Loads on Buildings and Structures, Document No: IITK-GSDMA-Win06-V3.0, Final Report: B – Wind Codes, IITK-GSDMA Project on Building Codes.
- [5] Nakagami, Y.: Probabilistic Dynamics of Wind Excitation on Glass Façade, dissertation, Darmstadt 2003.
- [6] Mendis, P., Ngo, T., Haritos, N., Hira, A.: Wind Loading on Tall Buildings, EJSE Special Issue: Loading on Structures (2007).
- [7] G.M. van Uffelen: Wind-induced building interference: increase of wind loads on existing buildings after erection of new high-rises, EACWE 5, 19th-23rd July 2009, Florence, Italy.
- [8] Habraken, A.: Flexible Structural Façade, Advanced Building Skins, Ir. A.P.H.W. Habraken, Faculty of Building and Architecture, Eindhoven University of Technology.

### 6.1 Reference ensured by websites

- [9] <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/eng/doc12107/doc12107-1.pdf>  
Zimmerli, B.: 1 Wind loads
- [10] [http://pec.org.pk/sCourse\\_files/CEC5-2.pdf](http://pec.org.pk/sCourse_files/CEC5-2.pdf).  
Srdiqqi, A. Zahid: Wind loads, UET, Lahore
- [11] [http://ttl.masfak.ni.ac.rs/ANALIZA%20NOSECIH%20STRUKTURA%202006\\_2007%20S%20A%20J%20T/PREDAVANJE-3%20%20%20ANS%20.pdf](http://ttl.masfak.ni.ac.rs/ANALIZA%20NOSECIH%20STRUKTURA%202006_2007%20S%20A%20J%20T/PREDAVANJE-3%20%20%20ANS%20.pdf)  
Osnove za dimenzionisanje čeličnih konstrukcija, Analiza nosećih struktura, Predavanje 3, Transport i logistika 2006/2007.
- [12] [http://www.technal.co.uk/upload/Technal.co.uk/Documents/Facade\\_Manual.pdf](http://www.technal.co.uk/upload/Technal.co.uk/Documents/Facade_Manual.pdf)  
DESIGN OF LIGHTWEIGHT FAÇADES, Architectural Project Introduction Handbook, Joan-Lluís Zamora i Mestre – Architect (DArch), Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC) (Institute of Construction Technology, Catalonia).

## REZIME

### REŠENJE POTKONSTRUKCIJE FASADE NA ZGRADI SA SPRATNOM VISINOM IZNAD 4,00M - STUDIJA SLUČAJA

Željko JAKŠIĆ  
Đorđe LAĐINOVIĆ

Strukturne fasade se pojavljuju u građevinskoj praksi kao primer dobrog rešenja energetske zahteva zgrada, povećanja brzine izvođenja radova, ali i kvalitetnih estetskih rešenja. Horizontalno opterećenje predstavlja primarni uticaj na konstrukciju fasade. Ovaj uticaj u velikoj meri zavisi od veličine dejstva opterećenja (sile) na strukturu fasade i spratne visine međuspratne tavanice. U radu je analiziran primer zgrade čija se specifičnost u konstrukciji fasade ogleda u velikim površinama pod prozorima i maloj masi zidova ispunjenih od YTONG blokova, pri čemu je visina zida  $h=408.5\text{cm}$ . Cilj rada je da se na primeru zgrade Laboratorija departmana za građevinarstvo, FTN Novi Sad prikaže rešenje potkonstrukcije fasade u delu pod oblogom od alukobonda, za visinu međuspratne konstrukcije iznad 4,00m. Pri usvajanju rešenja vodilo se računa o jednostavnosti konstrukcije za ugradnju i njene cene koštanja. Takvo rešenje potkonstrukcije omogućava završnu izradu obloge fasade u bilo kom sistemu suve montaže.

**Ključne reči** - Strukturna fasada, horizontalno opterećenje, opterećenje vetrom, potkonstrukcija fasade.

## SUMMARY

### A SOLUTION TO THE SUBSTRUCTURE OF FACADE AT BUILDING WITH STORY HEIGHT ABOVE 4.00 M - A CASE STUDY

Zeljko JAKSIC  
Djordje LADJINOVIC

Structural facades appear in the constructing as an example of good practice solutions energy requirements of buildings, to increase the speed of work, quality and aesthetic solutions. Horizontal load presents the primary influence on a facade structure. This effect is largely dependent on the size of the load effects on the structure of facades and story height. The paper analyzes the example of a building whose facade specificity is reflected in large areas under the windows and walls of light weight infill, produced from YTONG blocks, with wall height  $h=408.5\text{cm}$ . The primary aim of this paper is to display, on the example of the Laboratory Department of Civil Engineering, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, a solution grid facade in cladding part under the alukobond, the story height above 4.00 m. In adopting the decision took into account the ease of construction and its installation cost. This grid solution enables finalizing the facades lining in any system of dry mounting.

**Keywords** - Structural facade, horizontal load, wind load, substructure grid.

# MOGUĆNOSTI PRIMENE GEODETSKIH MERENJA ZA KONTROLU DIMENZIJA KONSTRUKCIJA

## ON THE POSSIBILITIES OF GEODETIC MEASUREMENTS UTILIZATION IN CONSTRUCTION DIMENSIONS CONTROL

Žarko NESTOROVIĆ  
Milan TRIFKOVIĆ  
Miroslav T. BEŠEVIĆ

STRUČNI RAD  
PROFESSIONAL PAPER  
UDK: = 861

### 1 UVOD

Primena geodezije prilikom određivanja dimenzija konstruktivnih elemenata svodi se na izbor metode merenja, instrumenata, pribora i metodologije za obradu podataka i njihovu analizu. Problematika kontrole kvaliteta geometrije predstavlja u stvari poređenje projektovanih (nominalnih) vrednosti konstruktivnih elemenata sa vrednostima dobijenim iz procesa merenja, obrade i analize podataka. Dozvoljeno odstupanje konstruktivnog elementa od projektovanog stanja izražava se tolerancijom - dozvoljenim razlikom između nominalne i ostvarene vrednosti konstruktivnog elementa. Rezultat geodetskih merenja prilikom određivanja dimenzija konstruktivnih elemenata jeste dimenzija konstruktivnog elementa izražena mernim brojem, jedinicom mere i standardom merenja (ili srednjom greškom merene veličine). Standard merenja u stvari predstavlja potencijalno odstupanje rezultata merenja od istinite vrednosti merene veličine usled neizbežnih grešaka merenja. U radu se prikazuju dva pristupa za kontrolu kvaliteta geometrije konstruktivnih elemenata. Jedan pristup bazira se na definisanim standardima iz ove oblasti (DIN 18710 – Inženjerska merenja) [1]; drugi pristup bazira se na statističkom testiranju hipoteza primenom kvadratnih formi [2].

---

Žarko Nestorović, dipl.geod.ing.,  
PD „Hidroelektrane Đerdap” d.o.o. Kladovo, Trg Kralja  
Petra 1, 19320 Kladovo, e-mail: [nzarko07@gmail.com](mailto:nzarko07@gmail.com)  
V.prof. dr Milan Trifković dipl. geod. ing.  
Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a,  
24000 Subotica, e-mail: [milantri@eunet.rs](mailto:milantri@eunet.rs)  
V.prof. dr Miroslav T. Bešević, dipl inž građ.,  
Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a,  
24000 Subotica, e-mail: [miroslav.besevic@gmail.com](mailto:miroslav.besevic@gmail.com)

### 1 INTRODUCTION

Geodesy utilization in dimensions of constructive elements determination is based on choice of measurement method, instrument, equipment and methodology for data processing and data analysis. Quality control of geometry issues by geodetic measurements, data processing and analysis is in its base comparison of projected (nominal) and values of dimensions of constructive elements obtained from measurement, data processing and their analyze process. Tolerance is a value of allowed difference between projected (nominal) and obtained value of dimension of constructive element. The result of geodetic measurements in dimensions of constructive element determination is dimension of constructive element expressed by number, unit and standard deviation of measurement (or root mean square error of measurement). Standard of measurement is basically the deviation of infinite number of measurement from the true value caused by inevitable random errors in measurement process. In this paper two methods and two approaches for dimensions control of constructive elements are shown. One method is based on defined standards in this domain (DIN 18710 – engineering measurements) [1]. Another method is based on testing statistical hypothesis of quadratic form [2].

---

Žarko Nestorović, dipl.geod.ing.,  
PD „Hidroelektrane Đerdap” d.o.o. Kladovo, Trg Kralja  
Petra 1, 19320 Kladovo, e-mail: [nzarko07@gmail.com](mailto:nzarko07@gmail.com)  
V.prof. dr Milan Trifković dipl. geod. ing.  
Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a,  
24000 Subotica, e-mail: [milantri@eunet.rs](mailto:milantri@eunet.rs)  
V.prof. dr Miroslav T. Bešević, dipl inž građ.,  
Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a,  
24000 Subotica, e-mail: [miroslav.besevic@gmail.com](mailto:miroslav.besevic@gmail.com)

Dimenzije konstruktivnog elementa primenom geodetskih metoda merenja mogu se dobiti na dva načina:

- Direktnim merenjem;
- Posrednim načinom, kada se na osnovu merenja nekih veličina određuju tražene veličine koje ne moraju biti istorodne i ne moraju biti istog roda kao što je dimenzija merenog elementa. Na primer, linearna dimenzija jedne stranice trougla može se dobiti merenjem dva ugla i jedne dužine, ili se uglovi u trouglu mogu izračunati ako se izmere sve tri stranice, ili se linerne dimenzije konstruktivnog elementa mogu dobiti na osnovu izmerenih koordinata.

Direktnim merenjem odmah se dobije rezultat merenja i nije potrebna dodatna obrada rezultata merenja. Standard merenja se tada može dobiti na osnovu višestrukih merenja, na osnovu specifikacije proizvođača korišćenog pribora ili na osnovu rezultata etaloniranja mernog pribora.

Posredno određivanje traženih dimenzija konstruktivnog elementa zahteva da se uspostavi funkcionalna zavisnost između tražene veličine i izmerenih veličina i da se rešavanjem na taj način dobijenih jednačina dobije dimenzija konstruktivnog elementa. Sve greške koje su se pojavile u mernom procesu utiče na vrednost dimenzije merenog elementa i zavisice od oblika funkcionalne zavisnosti. Ovaj uticaj na konačan rezultat može se odrediti primenom zakona prenosa grešaka [3].

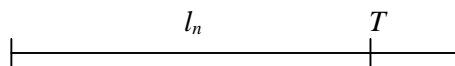
Posebno interesantan slučaj nastaje kada se dimenzije konstruktivnog merenja određuju na posredan način i kada postoje suvišna merenja u tom procesu. U ovom slučaju, konačna vrednost dimenzije konstruktivnog elementa dobija se kao rezultat procesa izravnjanja rezultata merenja. U ovom radu razmatraće se slučaj određivanja linearne dimenzije konstruktivnog elementa dobijenog posrednim merenjima kada postoje suvišna merenja.

## 2 TOLERANCIJA KOD KONSTRUKCIJA

Tolerancija se u radu [1] definiše kao razlika između minimalne i maksimalne dozvoljene vrednosti dimenzije. Prema iskustvima autora, mogući su različiti pristupi (npr. u mašinstvu se koristi izraz „zazor” koji označava maksimalno dozvoljeno odstupanje u odnosu na nominalne odnosno projektovane vrednosti dimenzije konstruktivnog elementa). U ovom radu primeniće se pristup da je nominalna (projektovana) vrednost jednaka minimalnoj vrednosti dimenzije konstruktivnog elementa dok je maksimalna vrednost jednaka nominalnoj vrednosti uvećanoj za toleranciju.

$$L^- = l_n$$

$$L^+ = l_n + T$$



Slika 1. Nominalna vrednost konstruktivnog elementa i tolerancija  
Figure 1. Nominal value of construction element and tolerance

Dimensions of constructive element could be obtained by geodetic measurement in two ways:

- Direct measurement and
- Indirect measurements when, based on measurement of the other certain dimensions, the searched value can be calculated. (for example: dimension of one side of triangle could be calculated on the base of measured one side and two angles, or the angles in triangle could be calculated on the base of all three measured sides, or linear dimension of constructive element could be obtained by measured coordinates and so on).

Direct measurements provide result immediately and no additional calculations are needed. In that case standard deviation of direct measurement could be obtained by multiple measurements, by specification of utilized instrument and equipment or according to the calibration result.

Indirect determination of searched dimension requires establishment of functional dependence between searched and measured values. Solving in that way obtained equation gives the searched dimension of constructive element. All errors occurred in the measuring process will affect the searched dimension of constructive element and will be dependent on the form of used functional dependence. This influence on the final result could be determined by application of law of error propagation [3].

Especially interesting case occurs when dimension of construction element is determined in indirect way with redundant measurement. In this case the dimension of constructive element is obtained in the process of adjustment measuring results. In this paper the case of dimension of constructive element determination obtained by indirect and redundant measurements will be considered.

## 2 TOLERANCE IN CONSTRUCTION ENGINEERING

In paper [1] the tolerance is defined as a difference between minimal and maximal allowed value of dimension. According to the author's experience different approaches are possible (for example in mechanical engineering the term "clearance" is used to denote the maximal allowed difference compared with nominal i.e. projected and realized dimension of constructive element). In this paper the nominal (projected) value will be taken as a minimal value of construction element dimension while the maximal value is the minimal value with added tolerance.

Gde je:

- $L^-$  - nominalna vrednost dimenzije konstruktivnog elementa;
- $L^+$  - nominalna vrednost dimenzije konstruktivnog elementa uvećana za vrednost tolerancije;
- $l_m$  - nominalna vrednost dimenzije konstruktivnog elementa;
- $T$  - tolerancija konstruktivnog elementa.

### 3 TAČNOST GEODETSKIH MERENJA

Tačnost i preciznost geodetskih merenja su pojmovi koji izražavaju činjenicu da svi rezultati merenja sadrže greške. Pod tačnošću rezultata geodetskih merenja podrazumeva se odstupanje izmerene vrednosti u odnosu na pravu vrednost merene veličine, dok se pod preciznošću rezultata geodetskih merenja podrazumeva disperzija rezultata geodetskih merenja [4]. Zbog toga je moguće da merenja s manjom disperzijom budu manje tačna od merenja s većom disperzijom. Odstupanje rezultata merenja (ako se isključe grube greške) uglavnom nastaje zbog uticaja sistematskih grešaka. Zato se u literaturi [1] navodi (DIN 18710-1): „Tehnike merenja moraju se sprovoditi na način da se tačnost i pouzdanost merenja moraju osigurati prema zahtevima na način koji onemogućava da ciljevi merenja budu pod uticajem sistematskih grešaka”. Taj zahtev se ispunjava tako što geodetski instrumenti i pribor moraju da se etaloniraju pre korišćenja i da se metodologija geodetskih merenja odabere na takav način da se u procesu merenja izbegnu sistematski uticaji koji mogu da dovedu do odstupanja izmerene vrednosti od istinite vrednosti izmerene veličine.

where:

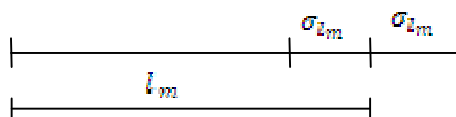
- $L^-$  - nominal dimension of constructive element;
- $L^+$  - nominal dimension of constructive element with added tolerance;
- $l_m$  - nominal dimension of constructive element and
- $T$  - tolerance of dimension.

### 3 ACCURACY OF GEODETIC MEASUREMENTS

Accuracy and precision of geodetic measurements are terms which denote the fact that all measurement results are erroneous. Accuracy is the degree of closeness of measured value to its true (but unknown) value, while the precision could be defined by dispersion of measured values [4]. From this reason it is possible that measurements with smaller dispersion can be the less accurate than measurements with bigger dispersion. The difference in repeated measurement results (when gross errors are excluded) mostly are caused by systematic errors. Because of this reason in literature [1] (DIN 18710-1) is said: “The measuring techniques are to perform in that way, that the accuracy and reliability of the survey according to the requirements will be ensured and that the aims of the surveys will not be affected by systematic errors”. This requirement is fulfilled if the geodetic instruments are calibrated and methodology of geodetic measurements is chosen in way to provide avoidance of systematic influence which can lead to difference between measured and true value.

$$L_m^- = l_m - \sigma_{l_m}$$

$$L_m^+ = l_m + \sigma_{l_m}$$



Slika 2. Izmerena vrednost i standard merenja

Figure 2. Measured value and standard of measured value

- $l_m$  - rezultat merenja dimenzije konstruktivnog elementa;
- $\sigma_{l_m}$  - standard merenja dimenzije konstruktivnog elementa;
- $L_m^-$  - rezultat merenja umanjen za standard merenja;
- $L_m^+$  - rezultat merenja uvećan za standard merenja.
- 

- $l_m$  - measured value of constructive element;
- $\sigma_{l_m}$  - standard deviation of measured value of constructive element;
- $L_m^-$  - measured value decreased for standard deviation and
- $L_m^+$  - measured value increased for standard deviation.

### 4 ODNOS TOLERANCIJE KONSTRUKTIVNOG ELEMENTA I STANDARDA GEODETSKIH MERENJA

Prema [1] odnos tolerancije i greške merenja treba da iznosi

### 4 RELATIONSHIP BETWEEN TOLERANCE AND STANDARD DEVIATION OF MEASURED VALUES OF CONSTRUCTIVE ELEMENT

According to [1] the relationship between tolerance and standard deviation should be

$$\frac{\sigma_{i_m}}{T} \leq 0.1 \sim 0.2 \quad (1)$$

Moguće varijante odnosa greške merenja i tolerancije konstruktivnog elementa, pod uslovom da važi (1):

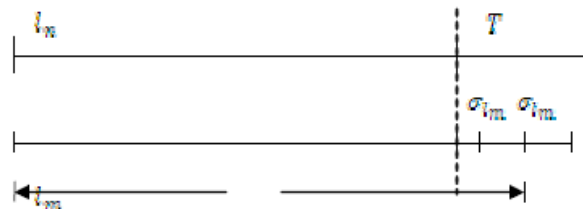
Possibilities occurring from that relationship are (1):

a)  $(L_m^+ = l_m + \sigma_{i_m} \leq L^+ = l_n + T) \wedge (L_m^- = l_m - \sigma_{i_m} \geq L^- = l_n)$

– ako je bar jedan od ova dva uslova ispunjen, biće ispunjen i drugi, jer važi (1). Slika 3. prikazuje ovaj slučaj.

– if one of this condition is fulfilled and another will be fulfilled if (1) is true. figure 3. Shows this case.

$$[(l_m - \sigma_{i_m}, l_m + \sigma_{i_m}) \in (L^- = l_n, L^+ = l_n + T)]$$

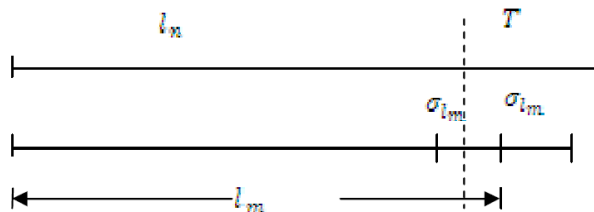


Slika 3. Slučaj kada rezultat merenja dimenzije sa standardima pripada intervalu tolerancije  
Figure 3. the case when measured value with standards belongs to the tolerance domain

b)  $(L_m^- = l_m - \sigma_{i_m} \leq L^- = l_n) \wedge (l_m \geq L^- = l_n)$

– ovo je slučaj kada rezultat merenja pripada intervalu tolerancije i kada je rezultat merenja umanjnjen za standard merenja manji od nominalne dimenzije konstruktivnog elementa.

– in this case the measured value belongs to the tolerance domain but decreased with standard deviation it is less than nominal value.

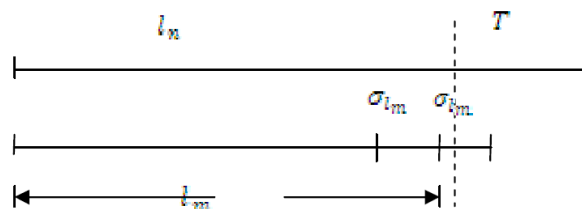


Slika 4. Slučaj kada rezultat merenja pripada intervalu tolerancije ali umanjnjen za standard ne pripada intervalu tolerancije  
Figure 4. the case when measured value belongs to tolerance domain but reduced for standard does not belong to the tolerance domain

c)  $(l_m \leq L^- = l_n) \wedge (l_m + \sigma_{i_m} \geq L^- = l_n)$

Ovo je slučaj kada je rezultat merenja konstruktivnog elementa manji od nominalne vrednosti, ali kada se uveća za standard, on pripada intervalu tolerancije.

In this case measured value is less than nominal value but increased with standard deviation it belongs to tolerance domain.



Slika 5. Slučaj kada je rezultat merenja manji od nominalne vrednosti ali kada se uveća za standard pripada intervalu tolerancije

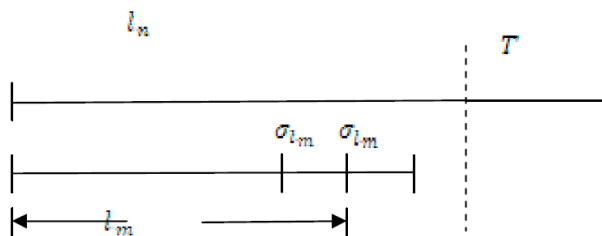
Figure 5. The case when measured value is beyond tolerance domain but in total with standard is within the tolerance domain

d)  $l_m + \sigma_{i_m} < L^- = l_n$



Slučaj kada je rezultat merenja konstruktivnog elementa, uvećan za standard merenja, manji od nominalne vrednosti konstruktivnog elementa.

The case when measured value is less than nominal value even increased for standard deviation.



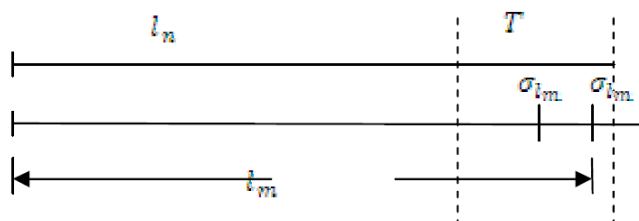
Slika 6. Slučaj kada je rezultat merenja uvećan za standard manji od nominalne vrednosti konstruktivnog elementa  
Figure 6. the case when measured value in total with standard is beyond tolerance domain

e)

$$(L_m^+ = l_m + \sigma_{f_m} \geq L^+ = l_n + T) \wedge (l_m < L^+)$$

Slučaj kada je merena vrednost konstruktivnog elementa manja od nominalne vrednosti uvećane za toleranciju, ali je merena vrednost, uvećana za srednju grešku, veća od nominalne vrednosti uvećane za toleranciju.

The case when measured value belongs to tolerance domain but increased with standard deviation exceeds the tolerance domain.



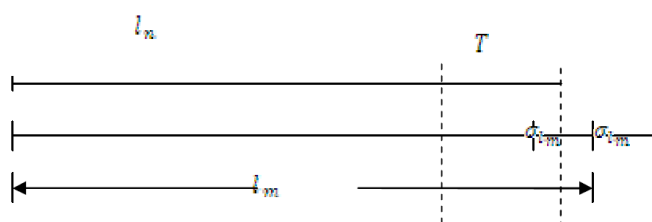
Slika 7. Slučaj kada je rezultat merenja manji od nominalne vrednosti konstruktivnog elementa uvećanog za toleranciju ali je merena vrednost uvećana za standard merenja veća od nominalne vrednosti uvećane za toleranciju  
Figure 7. the case when measured value in total with standard exceeds the tolerance domain and measured value belongs to the tolerance domain

f)

$$(l_m > L^+) \wedge (l_m - \sigma_{f_m} < L^+ = l_n + T)$$

Slučaj kada izmerena vrednost konstruktivnog elementa ne pripada intervalu tolerancije, dok izmerena vrednost, umanjena za standard merenja, pada u interval tolerancije.

The case when measured value exceeds the tolerance domain but decreased with standard deviation belongs to tolerance domain.



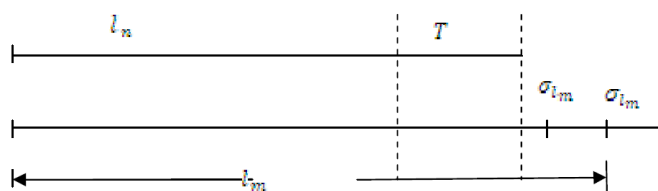
Slika 8. Slučaj kada je rezultat merenja veći od nominalne vrednosti konstruktivnog elementa uvećanog za toleranciju ali je merena vrednost umanjena za standard merenja manja od nominalne vrednosti uvećane za toleranciju  
Figure 8. the case when measured value exceeds the tolerance domain and measured value reduced for standard belongs to the tolerance domain

g)

$$l_m - \sigma_{f_m} > L^+ = l_n + T$$

Slučaj kada je izmerena merena vrednost konstruktivnog elementa veća od intervala tolerancije čak i kada se od nje oduzme vrednost standarda.

The case when measured value even increased with standard deviation exceeds the tolerance domain.



Slika 9. Slučaj kada je rezultat merenja umanjen za standard veći od nominalne vrednosti konstruktivnog elementa  
Figure 9. the case when measured value reduced with standard exceeds tolerance domain

Navedene mogućnosti odnosa izmerenih vrednosti i tolerancije dimenzije konstruktivnog elementa sugerišu da se odluka o geometrijskoj ispravnosti konstruktivnog elementa mora donositi na osnovu pažljivo odabranog pristupa. Naime, šablonska primena standardnih postupaka za ocenu kvaliteta rezultata geodetskih merenja nije prihvatljiva, jer greške koje u tom procesu mogu nastati imaju značajne ekonomske posledice. U ovom radu se neće razmatrati posledice ove činjenice na celokupan proces projektovanja geodetskih merenja, geodetskih merenja, obrade i analize rezultata geodetskih merenja dimenzija konstruktivnih elemenata. U ovom radu smatraće se da standard rezultata geodetskih merenja zadovoljava sve neophodne uslove za egzaktno donošenje odluka o kvalitetu dimenzije konstruktivnog elementa, odnosno da je model adekvatan i da je rezultat geodetskih merenja oslobođen sistematskih uticaja.

## 5 TESTIRANJE HIPOTEZA

Navedene mogućnosti odnosa izmerenih vrednosti dimenzije konstruktivnog elementa imaju za posledicu brojne hipoteze koje treba testirati da bi se doneo ispravan zaključak o dimenziji konstruktivnog elementa. Zato se u ovom radu pristupilo preciziranju definisanja skupa statističkih hipoteza koji treba koristiti prilikom donošenja odluka o kvalitetu geometrije konstruktivnog elementa.

U ovom radu smatraće se da standard rezultata geodetskih merenja zadovoljava sve neophodne uslove za egzaktno donošenje odluka o kvalitetu dimenzije konstruktivnog elementa, odnosno da je model adekvatan [2] i da je rezultat geodetskih merenja oslobođen sistematskih uticaja [1].

U zavisnosti od pristupa, moguće je definisati načine za formulisanje statističkih hipoteza na osnovu kojih se donose odluke o saglasnosti dimenzije konstruktivnog elementa s projektovanom vrednošću:

- Prvi pristup zasniva se na pretpostavci da je standard poznat i da rezultati merenja imaju normalnu raspodelu (ovo je pristup iz literature [1]);

- Drugi pristup zasniva se na pretpostavci da standard nije poznat i da rezultati merenja imaju normalnu raspodelu.

Prvi pristup je veoma zahtevan jer da bi se raspolagalo standardom merenja u praksi, mora se obezbediti uslov da broj merenja bude veći od 30 ( $n \geq 30$ ). Taj uslov se u praksi veoma teško postiže jer geodetska merenja ne treba da usporavaju proces proizvodnje. Ovaj problem se može prevazići ako se

Listed possibilities of relationship between measured values and tolerance domain of constructive element suggest that decision about geometrical correctness of constructive element must be made after serious analysis. Namely, formulaic approach of standard patterns for quality of geodetic measurements it is not acceptable because errors which can occur in that process could cause significant economic consequences. Detailed analysis of this fact and its influence to whole process of geodetic measurements projecting, its realization, data processing and analysis of dimension of constructive element exceeds the aims of this paper. In this paper will be assumed that all necessary conditions, related to geodetic measurements, for qualitative decision making about dimensions of constructive element are fulfilled i.e. that model is adequate and that measured values are free of systematic errors.

## 5 STATISTICAL HYPOTHESES TESTING

Listed possibilities of relationship between measured values and tolerance domain cause the various statistical hypotheses which should be tested in order to obtain valid conclusion about the dimension of constructive element. Consequently in this paper some refinements are made aiming to define the possible set of statistical hypotheses which should be used in process of decision making about dimension control of constructive element.

As mentioned before conditions for reliable conclusions about quality of constructive element dimensions are assumed i.e. model the measured value is free of systematic errors [1] and adjustment model is adequate [2].

Depending on the approach it is possible to define the form of test statistics for statistical hypothesis:

- First approach is based on assumption that the standard deviation is known and that measured result are normally distributed (approach from the literature [1]) and

- Second approach is based on assumption that standard deviation is not known, but root mean square error is known and measured results are normally distributed.

The first approach is very demanding because to have the standard deviation it is necessary to have at least more than 30 ( $n \geq 30$ ) measurements (degrees of freedom). This condition is difficult to fulfill in practice (especially on site) because geodetic measurements shall not slow down the process of production. This

smanji broj merenja ili ako se koristi pribor koji je značajno tačniji u odnosu na uslov (1). Kako u praksi često nije moguće ostvariti ni jedan ni drugi zahtev, mora se predvideti i testiranje hipoteza kada standard merenja nije poznat, ali je poznata srednja greška merenja.

Kod prvog pristupa koriste se test-statistike

$$T = \frac{d}{\sigma_d} \sim N(0,1) \quad (2)$$

$$T = \frac{d^T Q_d^{-1} d}{\frac{k}{\sigma_0^2}} \sim F_{1-\alpha}(f, \infty) \quad (3)$$

gde je:

- $T$  - vrednost test-statistike dobijena iz podataka
  - $N(0,1)$  - normalna raspodela;
  - $F_{1-\alpha}(f, \infty)$  -  $F$  raspodela za  $f$  i  $\infty$  stepeni slobode;
  - $d = l_m - l$  - razlika između merene i date vrednosti dimenzije konstruktivnog elementa;
  - $\sigma_d = \sqrt{\sigma_{l_m}^2 + \sigma_{l_m}^2} = \sigma_{l_m}$  standard merenja ( $\sigma_d = \sigma_{l_m}$  jer je nominalna vrednost data projektom i smatra se tačnom vrednošću);
  - $\sigma_0$  - standard modela;
  - $Q_d^{-1}$  - inverzija matrice  $H^T Q_x H$  gde se matrica  $H$  određuje na osnovu dimenzije konstruktivnog elementa (videti [2]);
  - $k = 2 * n$  - gde je  $n$  broj tačaka koje definišu dimenziju konstruktivnog elementa [2]
  - $\alpha$  - nivo značajnosti (prema literaturi [1] usvaja se  $\alpha = 0.32$ , a prema literaturi [2] iznosi  $\alpha = 0.05$ );
  - $f$  - broj stepeni slobode brojioaca (broj suvišnih merenja na osnovu kojih je određen brojilac u formuli (3)).
- Kod drugog pristupa koriste se test-statistike

problem could be solved only by decreasing number of measurement or by using significantly accurate instruments and equipments for measurements according to condition (1). As far as in practice it is very difficult to fulfill one or another condition it is necessary to take into account statistical hypotheses testing when the standard deviation is not known but root mean square error is known.

First approach uses test statistics

where :

- $T$  - value of test statistic obtained from measured values;
  - $N(0,1)$  - normal distribution;
  - $F_{1-\alpha}(f, \infty)$  -  $F$  distribution for  $f$  and  $\infty$  degrees of freedom;
  - $d = l_m - l$  - difference between measured and given value of constructive element dimension;
  - $\sigma_d = \sqrt{\sigma_{l_m}^2 + \sigma_{l_m}^2} = \sigma_{l_m}$  standard deviation of measured value ( $\sigma_d = \sigma_{l_m}$  because nominal value is consider as exact);
  - $\sigma_0$  - standard deviation of adjustment model;
  - $Q_d^{-1}$  - inversion of matrix  $Q_d = H^T Q_x H$  where matrix  $H$  is obtained according to dimension of constructive element (see [2]);
  - $k = 2 * n$  - where  $n$  is number of points defining dimension of constructive element [2]
  - $\alpha$  - level of significance (according to literature [1] the value  $\alpha = 0.32$  is adopted, and according to literature [2] value  $\alpha = 0.05$  is adopted) and
  - $f$  - degree of freedom in formula (3).
- Second approach shall use test statistics

$$T = \frac{d}{m_d} \sim t_{f,1-\alpha} \quad (4)$$

$$T = \frac{d^T Q_d^{-1} d}{\frac{k}{m_d^2}} \sim F_{1-\alpha}(f_1, f_2) \quad (5)$$

gde je:

- $m_d$  - srednja greška merenja;
  - $t_{f,1-\alpha}$  - studentova raspodela;
  - $f_1$  - broj stepeni slobode brojioaca;
  - $f_2$  - broj stepeni slobode imenioca (broj stepeni slobode na osnovu kojih je određena srednja greška).
- Ostale oznake imaju ista značenja kao i kod prvog pristupa.

where:

- $m_d$  - root mean square of measured values;
  - $t_{f,1-\alpha}$  - student distribution;
  - $f_1$  - degree of freedom for numerator and
  - $f_2$  - degree of freedom for denominator .
- The rest symbols have the same meaning as in first approach.
- It is obvious that methods for dimension of

Očigledno je da se postupci testiranja dimenzija u literaturi [1] i [2] značajno razlikuju u sledećim stavovima:

- U literaturi [1] eksplicitno je naglašeno da se koristi standard merenja, da standard i tolerancija moraju da stoje u određenom odnosu i da je nivo značajnosti  $\alpha = 0.32$  ;

- U literaturi [2] radi se testiranje adekvatnosti modela i zatim se kvalitet geometrije određuje testiranjem kvadratnih formi uz nivo značajnosti  $\alpha = 0.05$  .

Proces odlučivanja o kvalitetu konstruktivnog elementa po postupku iz literature [1] relativno je jednostavan, jer se na osnovu razlike  $d = l_m - l$  , gde  $l \in [L^-, L^+]$  i na osnovu slučajeva od (a) do (g), može odmah doneti zaključak o tome da li je dimenzija konstruktivnog elementa ispravna, da li je treba proveriti ili je neispravna. Proces odlučivanja o dimenziji konstruktivnog elementa prema literaturi [2] zahteva dodatna računanja i veće poznavanje matematičke statistike.

Statističke hipoteze za pristup iz literature [1] mogu se formulisati na sledeći način:

$$H_0: d = l_m - l = 0 \text{ nasuprot alternativnoj hipotezi}$$

$$H_a: d = l_m - l \neq 0 ,$$

pri čemu  $l \in [L^-, L^+]$  i  $l_m \in [L_m^-, L_m^+]$  .

U slučaju (a) prihvata se nulta hipoteza, dok se za slučajeve (d) i (g) prihvata alternativna hipoteza. U ostalim slučajevima (b), (c), (e) i (f), potrebna su dodatna ispitivanja.

Proces odlučivanja o kvalitetu konstruktivnog elementa po postupku iz literature [2] zasniva se na rezultatu test-statistike (3). Ukoliko test-statistika (3) sledi F raspodelu za dati nivo značajnosti ( $\alpha = 0.05$  ) i za dati broj stepeni slobode, usvaja se nulta hipoteza da je dimenzija konstruktivnog elementa jednaka projektovanoj. U suprotnom, nulta hipoteza se odbacuje i prihvata se alternativna hipoteza.

## 6 ODLUKE O SAGLASNOSTI DIMENZIJE KONSTRUKTIVNOG ELEMENTA

Proces donošenja odluka o saglasnosti projektovane i izmerene vrednosti konstruktivnog elementa testiranjem statističkih hipoteza po prvom ili drugom pristupu može da rezultira sledećim odlukama:

- „Prihvatiti“. Ova odluka donosi se u slučaju (a), jer izmerena vrednost konstruktivnog elementa pripada intervalu tolerancije i kada joj se doda ili oduzme vrednost standarda;

- „Proveriti“. Ova odluka donosi se u slučajevima (b), (c), (e) i (f), jer postoji mogućnost da je konstruktivni element ispravan, a da su, zbog standarda merenja, dobijeni rezultati pokazali odstupanja;

- „Odbaciti“. U slučajevima (d) i (g) ne postoji čak ni sumnja u neispravnost dimenzije konstruktivnog elementa (pri ispunjenosti uslova o eliminisanju sistematskih i grubih grešaka iz rezultata merenja). Takav konstruktivni element se odbacuje.

Ovde treba istaći da savremene tehnologije omogućavaju izvesne popravke čak i na konstruktivnim elementima, koje se ne prikazuju u projektu konstrukcije

constructive elements control in literature [1] and literature [2] are significantly different in following:

- In literature [1] is explicitly stressed that standard deviation is used, standard deviation and tolerance must be in defined relationship and that the level of significance is  $\alpha = 0.32$  and

- In literature [2] the testing of model adequacy is made and after that the quality of geometry of constructive element is tested with level of significance  $\alpha = 0.05$  .

Process of decision making about quality of constructive element according to literature [1] is relatively simple because on the base of difference  $d = l_m - l$  , where  $l \in [L^-, L^+]$  and on the base of cases from (a) to (g) it is possible to conclude if the dimension of constructive element is correct or not. Process of decision making according to literature [2] demands additional calculations and knowledge about mathematical statistics.

Statistical hypotheses for method from literature [1] could be formulated in following way:

$$H_0: d = l_m - l = 0 \text{ opposite to alternative hypothesis}$$

$$H_a: d = l_m - l \neq 0 ,$$

where  $l \in [L^-, L^+]$  and  $l_m \in [L_m^-, L_m^+]$  .

In case of (a) null hypothesis is accepted, while for cases (d) and (g) alternative hypothesis is accepted. In the rest cases in remaining cases (b),(c),(e) and (f) some additional measurements or researches are needed.

Decision making process about quality of constructive element dimension according to literature [2] is based on the result of test statistic (3). If test statistic (3) follows the F distribution for given level of significance ( $\alpha = 0.05$  ) and for given degree of freedom the null hypothesis is accepted, i.e. the measured dimension of constructive element equals the nominal (projected) value. In opposite case the alternative hypothesis is accepted.

## 6 DECISION MAKING ABOUT CONCORDANCE OF CONSTRUCTIVE ELEMENT DIMENSIONS

Decision making process about concordance between nominal (projected) and measured values of constructive element dimension based on statistical hypotheses testing both based on first or second approach results in following:

- „Accept“. This decision is appropriate in case (a) because measured value of constructive element dimension belongs to tolerance domain nevertheless it is increased or decreased with standard deviation;

- „Check“. This decision is appropriate for cases (b), (c), (e) and (f) because exists possibility that constructive element is correct but, because of standard deviation, obtained result shows the difference, and

- „Reject“. In cases (d) and (g) even no doubt exists that constructive element is improper.

Here must be noted that some contemporary technologies allow some remedies on constructive elements which were not considered in projecting stage.

zato što projekti ne mogu predvideti sve neželjene varijante (predimenzionisani konstruktivni elementi se dodatnom obradom mogu svesti na projektovano stanje, dok se poddimenzionisani konstruktivni elementi mogu dograditi do projektovanog stanja). Zbog visoke cene konstruktivnih elemenata i komplikovanog procesa njihove izrade ponekada se pristupa njihovoj doradi čak i ako geometrijska kontrola pokaže njihovu nesaglasnost s projektom (odnosno ako se usvoje alternativne hipoteze o saglasnosti izmerenih dimenzija s projektovanim). Ovi slučajevi iziskuju dodatna merenja i dodatne analize, ali se to može pokazati ispravnim ukoliko je cena dorade konstruktivnog elementa manja od njegovog odbacivanja i/ili zamene drugim konstruktivnim elementom.

## 7 EFIKASNOST GEODETSKIH MERENJA

Efikasnost geodetskih merenja znači da treba ostvariti zadovoljavajuću tačnost rezultata merenja dimenzije konstruktivnog elementa u najkraćem mogućem intervalu vremena. Najkraći interval vremena u kome je moguće ostvariti ove ciljeve ponekad je duži od maksimalno prihvatljivog vremenskog intervala u tehnološkom procesu proizvodnje konstruktivnog elementa. Ova činjenica mora da se uzme u obzir pri projektovanju geodetskih radova kod određivanja dimenzije konstruktivnog elementa.

Geodetski radovi za određivanje dimenzije konstruktivnog elementa obuhvataju sledeće faze:

- Projektovanje merenja;
- Realizaciju merenja;
- Obradu i analizu rezultata merenja;
- Testiranje hipoteza;
- Izradu izveštaja na osnovu koga se donose odluke o daljem postupku s konstruktivnim elementom.

Ukoliko se ne ostvari zahtevana efikasnost geodetskih radova, ne postigne odgovarajuća pouzdanost zaključaka na osnovu rezultata geodetskih merenja ili ne održi njihova cena na prihvatljivom nivou, prema saznanjima autora, najčešća odluka menadžmenta preduzeća koje izrađuje konstruktivne elemente jeste da se geodetski radovi eliminišu iz procesa kontrole geometrije. S obzirom na današnji nivo razvoja geodetskih tehnologija, nema razloga da se geodetska merenja eliminišu iz procesa kontrole geometrije konstruktivnih elemenata, jer su efikasnost i tačnost savremene geodetske opreme na visokom nivou, a ni cene ove opreme nisu na nivou koji bi učinio neprihvatljivim cene geodetskih radova.

Pri projektovanju geodetskih radova korisno je primeniti metode optimizacije projektovanja geodetskih mreža kako bi se ostvarile uštede u geodetskim radovima [4], [5].

This is because it is not possible to predict all unwanted possibilities (oversized constructive elements could be brought in projected dimension with additional machining, while undersized constructive elements could be upgraded) in projecting stage. Because of high prices of constructive elements and complex process of its production sometimes the activities for their upgrades are taken even in the cases when geometrical control shows that they are improper (i.e. when alternative hypotheses are accepted about their concordance with projected values). These actions need some additional analysis, but it is economically justified if the price of constructive element upgrade is smaller than price of their rejection and/or replacement with another constructive element.

## 7 EFFICIENCY OF GEODETIC MEASUREMENT

Efficiency of geodetic measurements means that adequate accuracy of measured value of constructive element dimension must be obtained in as short as possible period of time. The shortest period of time in which is possible to obtain adequate accuracy is sometimes longer than maximum acceptable period of time in technological process of constructive element production. This fact must be considered in stage of projecting or planning geodetic work of constructive element dimension determination.

Geodetic work for constructive element dimension determination contain following stages:

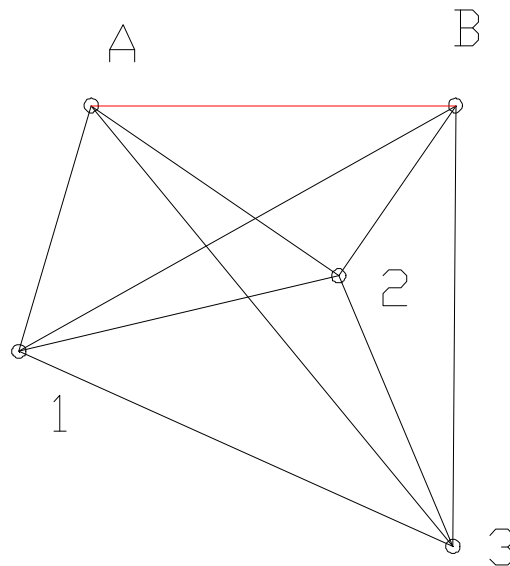
- Survey projecting;
- Surveying constructive element;
- Data processing and analysis;
- Hypotheses testing and
- Report preparing on which the decision will be made about further procedure for certain constructive element.

If demanded efficiency of geodetic works is not achieved, if demanded reliability of conclusions based on geodetic measurements is not achieved or their price is not on the acceptable level, according to the authors' experience, the most frequent decision made by management of company which produce constructive elements is to eliminate geodetic measurements from process of geometry control and replace them with other methods. Bearing in mind efficiency and accuracy of contemporary geodetic technologies no reasons exists to eliminate the geodetic measurements from the process of constructive element dimensions control because the efficiency and accuracy of geodetic instruments and equipments is on the very high level and prices of those instrument and equipment are not on the unacceptable level. What more there are possibilities to spread geodetic measurements over another processes of constructive elements production (for example: controlling machines which produce constructive elements).

During the planning and projecting geodetic works for constructive elements dimension control is useful to respect the principles of geodetic networks optimization in order to reduce costs [4], [5].

## 8 STUDIJA SLUČAJA

U ovom radu razmotriće se jedan hipotetički slučaj određivanja dimenzije konstruktivnog elementa i izvršiće se njegova analiza po oba pristupa i po oba postupka prikazana u ovom radu. Na osnovu rezultata testiranja hipoteza biće doneti zaključci o navedenim pristupima i postupcima. Na slici 10. prikazana je mreža u kojoj se određuje dimenzija konstruktivnog elementa AB na osnovu simuliranih geodetskih merenja i radi analiza njegove saglasnosti s projektovanom vrednošću.



Slika 10. Primer geodetske mreže za određivanje dimenzije konstruktivnog elementa AB  
Figure 10. An example of geodetic network for constructive element AB dimension determination

Geodetska mreža je projektovana s ciljem da se odredi dužina konstruktivnog elementa AB. Broj stepeni slobode iznosi  $f = 11$ . Procenjeno vreme trajanja merenja u jednoj geodetskoj mreži ovakvog tipa ne bi trebalo da traje duže od 3 (tri) sata efektivnog rada što govori u prilog činjenici o mogućnosti da se postigne visoka efikasnost geodetskih merenja.

Nominalna dužina i tolerancija konstruktivnog elementa iznose  $d_A^B = 4999 \text{ mm } T = 1 \text{ mm}$ .

Karakteristike mreže iz primera su kratke strane i merenja visoke tačnosti. Za standarde merenih veličina usvojene su sledeće vrednosti:

- Za opažane pravce  $\sigma_{1p} = 0''.5$  ;
- Za merene dužine  $\sigma_d = 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  .

Međutim, zbog različitih uticaja u mernom procesu, usvojen je standard iz izravnjanja  $\sigma_0 = 1.2$  . Na osnovu rezultata merenja dobijena je srednja greška jedinice težine  $m_0 = \hat{\sigma}_0 = 1.46$  .

Test adekvatnosti modela prema [2]

$$T = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} = \frac{1.46^2}{1.2^2} = 1.48 < F_{0.95}(11, \infty) = 1.7886$$

## 8 CASE STUDY

In this paper one hypothetic case of constructive element dimension control will be considered and the analysis will be made using both approaches shown in this paper. According to results of hypothesis testing conclusions will be made about methods and approaches mentioned above in this paper. Figure 10 shows geodetic network for constructive element AB dimension determination based on simulated geodetic measurements. Analysis of concordance of projected and measured constructive element dimension is made using both methods and approaches.

Geodetic network is projected aiming to determinate the distance between points A and B i.e. the constructive element AB dimension. The degree of freedom is  $f = 11$  . Estimated time for measurement shall not be longer than 3 hours of effective work which prove the fact about efficiency of geodetic works.

Nominal dimension and tolerance of constructive element are  $d_A^B = 4999 \text{ mm } T = 1 \text{ mm}$  , respectively.

Characteristics of geodetic networks are short distances and high accuracy of measurements. For standard deviations of measured values following values are accepted:

- For directions  $\sigma_{1p} = 0''.5$  and
- For distances  $\sigma_d = 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  .

However, because of different influences in process of measurement the standard deviation of adjusted network  $\sigma_0 = 1.2$  is accepted. After adjustment the root mean square error was obtained at the level of  $m_0 = \hat{\sigma}_0 = 1.46$  .

Statistical test of model adequacy according to [2] is

To znači da se može usvojiti nulta hipoteza da je model adekvatan u smislu literature [2].

Srednja greška merene dužine, dobijena kao greška

funkcije izravnote veličine, iznosi  $m_{d_A^B} = 0.11 \text{ mm}$ .

Dobijena vrednost izmerene dužine  $l_m = 4999.0 \text{ mm}$  - slučaj (b). To znači da je  $l_m = L^*$  i da je  $L_m = l_m - \sigma_{l_m} = 4999.00 - 0.11 = 4998.89 < L^*$  u smislu postupka datog u literaturi [1]. Prema ovom postupku, trebalo bi da se donese odluka „proveriti”, jer postoji mogućnost da su greške u procesu merenja dovele do rezultata koji ostavlja mogućnost da je konstruktivni element ispravan ili neispravan. Drugi pristup (studentova raspodela) za isti nivo značajnosti daje interval poverenja koji je za 6% veći, što u ovom slučaju ne utiče na odluku.

Prema postupku iz literature [2] i primenom drugog pristupa (koji je manje strog zbog uvažavanja činjenice da se ne raspolaze standardom merenja već srednjom greškom), za test-statistiku dobija se vrednost

$$T = \frac{d^T Q_d^{-1} d}{\frac{k}{m_{d_A^B}^2}} = 0. \frac{1606}{0.11^2} = 13.40 > F_{0.95}(1, 11) = 4.8443$$

odakle sledi da za isti konstruktivni element treba doneti odluku da se on odbaci. Kvantili raspodela za testiranje hipoteza uzeti su iz literature [6].

U ovakvim slučajevima treba razmotriti mogućnost kontrole rezultata merenja i proceniti da li konstruktivni element treba da se odbaci ili prihvati. Ova odluka se može doneti u zavisnosti od troškova koji nastaju usled dodatne kontrole dimenzije, cene odbacivanja ili cene dodatnih radova na konstruktivnom elementu.

## 9 ZAKLJUČAK

Savremeni razvoj geodetskih tehnologija metodologije obrade podataka omogućava postizanje visokog nivoa tačnosti i efikasnosti geodetskih radova. Preporuka je da se zbog visoke efikasnosti obrade rezultata merenja koriste oba postupka za testiranje hipoteza o ispravnosti konstruktivnih elemenata. U slučaju da su dobijeni različiti rezultati po dva postupka neophodno je razmotriti onu mogućnost koja je ekonomski prihvatljivija za proizvođača konstruktivnih elemenata.

It means that null hypothesis about model adequacy is accepted according to literature [2].

Root mean square error of searched distance AB as

function error of adjusted value is  $m_{d_A^B} = 0.11 \text{ mm}$ .

The measured value of distance AB is  $l_m = 4999.0 \text{ mm}$  -case (b). It means that  $l_m = L^*$  and  $L_m = l_m - \sigma_{l_m} = 4999.00 - 0.11 = 4998.89 < L^*$  in the sense of literature [1]. According to this method the decision “Check” should be made because possibility that errors of measurement caused the inconsistency between measured and projected values of constructive element dimension but in fact the constructive element is correct. Second approach (student distribution) for the same level of significance results in confidence interval which is 6% larger and in this case does not affect the decision.

According to method from literature [2] and using second approach (which is less strong because of respecting fact that we don't have standard deviation but root mean square error) for test statistics we obtain the value

from which follows that this constructive element is not correct and shall be accepted the decision “Reject” i.e. this constructive element should be rejected.

All quantiles of distribution used in this paper are taken from literature [6].

In such cases there is need to consider possibilities for additional control of measurement results and estimate if constructive element shall be rejected or accepted. This decision could be made depending on expenses which will occur as a consequence of additional work in dimension control, the price of rejection or price of additional work needed to reach correctness of constructive element.

## 9 CONCLUSION

Contemporary of geodetic technologies and methodologies for data processing and their analysis make possible geodetic measurements on high level of efficiency and accuracy. The suggestion is (bearing in mind high level of efficiency of data processing and analysis) that both methods and approaches shall be used for hypothesis testing about concordance of projected and measured value of constructive element dimension. In the case when different results are obtained, it is necessary to consider possibility which is economically more acceptable for constructive element producer and/or investor.

## 10 LITERATURE REFERENCES

- [1] [Klein, K.H., Heunecke, O.: Aims and activities in German Standardization Respective Engineering Surveys, FIG Working Weekm Prague, 2000 ([www.fig.net](http://www.fig.net), 24.03.2013)
- [2] Ašanin, S.: Kontrola kvaliteta geometrije konstruktivnih elemenata, Kongres Metrologa, Zbornik radova, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, 2005
- [3] Perović, G.: Račun izravnjanja, Knjiga I, Teorija grešaka merenja, Naučna knjiga, Građevinski fakultet, Beograd, 1989
- [4] Staudinger, M.: A Cost orientated Approach to Geodetic Network Optimisation, Dissertation, University of Technology, Faculty of Technical Science, Vienna, 1999
- [5] [Ninkov, T.: Optimizacija projektovanja geodetskih mreža, Građevinski fakultet Beograd, Naučna knjiga, 1989
- [6] Perović, G.: Metod najmanjih kvadrata, Monografija 1, Građevinski fakultet, Beograd, 2005

### REZIME

#### MOGUĆNOSTI PRIMENE GEODETSKIH MERENJA ZA KONTROLU DIMENZIJA KONSTRUKCIJA

Žarko NESTOROVIĆ  
Milan TRIFKOVIĆ  
Miroslav T. BEŠEVIĆ

Razvoj informatičkih i geodetskih tehnologija omogućio je izradu preciznih i automatizovanih geodetskih instrumenata. Karakteristike savremenih geodetskih instrumenata omogućavaju efikasnu realizaciju geodetskih merenja i postizanje visoke tačnosti rezultata merenja. Efikasnost i tačnost rezultata merenja stvaraju uslove za široku primenu geodetskih tehnologija u inženjerskim oblastima u kojima je potreba za geodetskim merenjima uvek postojala, ali su efikasnost i tačnost geodetskih tehnologija bili značajni ograničavajući faktori. Razvoj metodologija za testiranje hipoteza doprineo je sistemu odlučivanja o kvalitetu geometrije konstruktivnih elemenata. U ovom radu razmatraju se odnosi tolerancije konstrukcija, tačnosti geodetskih merenja, efikasnosti njihovog dobijanja i donošenja odluka na osnovu rezultata geodetskih merenja.

**Ključne reči:** tolerancija, tačnost, efikasnost, testiranje hipoteza, donošenje odluka

### SUMMARY

#### ON THE POSSIBILITIES OF GEODETIC MEASUREMENTS UTILIZATION IN CONSTRUCTION DIMENSIONS CONTROL

Zarko NESTOROVIC  
Milan TRIFKOVIC  
Miroslav T. BESEVIC

Development of information and geodetic technologies made production of precision and automated geodetic instruments possible. Characteristics of contemporary geodetic instruments allow efficient realization of geodetic measurements and high accuracy. Efficiency and accuracy of geodetic measurements allow wide utilization of geodetic measurements in engineering areas in which the need for geodetic measurements always existed but was restricted because of their absence. Development of statistical hypothesis testing based on geodetic measurements also contributed to the system of decision making about quality of constructive elements. In this paper the relationships between tolerance, accuracy of geodetic measurements, efficiency and decision making is considered.

**Key words:** tolerance, accuracy, efficiency, hypothesis testing, decision making



**PRIKAZ  
MONOGRAFIJE  
"STO GODINA NASTAVE IZ ARMIRANOG BETONA NA  
GRAĐEVINSKOM FAKULTETU UNIVERZITETA U BEOGRADU 1910-2010"**

**REVIEW OF THE MONOGRAPH  
"ONE HUNDRED YEARS OF TEACHING IN THE AREA OF REINFORCED  
CONCRETE AT THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY OF BELGRADE  
1910-2010"**

*Dejan BAJIĆ  
Dušan NAJDANOVIĆ*

Krajem 2012. godine Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu i Institut za materijale i konstrukcije publikovali su monografiju pod naslovom "Sto godina nastave iz armiranog betona na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, 1910-2010". Urednici monografije, napisane na 367 strana, su prof. dr Mirko Ačić i prof. dr Snežana Marinković.

Monografija je izdata povodom obeležavanja jubileja - stogodišnjice uvođenja u nastavu predmeta *Armirani beton* na Građevinskom odseku Tehničkog fakulteta u Beogradu. Davne 1910. godine, prvo predavanje studentima Građevinskog odseka iz predmeta *Armirani beton*, održao je docent Đorđe Mijović, koji će nastavu iz ovog predmeta držati sve do odlaska u penziju, 1947. godine. Životu i delu Đorđa Mijovića, kao osnivaču ovog predmeta, posvećeno je posebno poglavlje Monografije.

U Monografiji je prikazan istorijat nastanka i razvoja armiranog betona u Evropi i svetu sa osvrtom na stanje u Kraljevini Srbiji, posebno u Beogradu. Iscrpan prikaz razvoja redovne i posle diplomске nastave, naučno-istraživačke i stručne delatnosti u oblasti betonskih konstrukcija na Građevinskom odseku Tehničkog fakulteta, odnosno Građevinskom fakultetu Tehničke velike škole, a kasnije, Univerziteta u Beogradu, u periodu od 1910. do 2010. godine, dat je u posebnim poglavljima.

By the end of 2012., Faculty of Civil Engineering of the University in Belgrade and Institute for Materials and Structures have published the monograph with title "One hundred years of teaching in the area of reinforced concrete at the Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, 1910-2010". The editors of the Monograph, which has 367 pages, are Professor Mirko Ačić and Professor Snežana Marinković.

Monograph is published in honor of the jubilee – one hundred years of teaching in the area of *reinforced concrete* and *reinforced concrete structures* at the Faculty of Civil Engineering in Belgrade. Docent Đorđe Mijović had given the first lecture in *Reinforced concrete* for students of the 5th semester at the Department for Civil Engineering of Technical Faculty in Belgrade in 1910. He was teaching all the courses belonging to the area of reinforced concrete and reinforced concrete structures for 37 years, until he was retired in 1947. A special chapter is devoted to life and work of Đorđe Mijović, as the founder of this course.

The history of reinforced concrete beginnings and development in the world and Serbia, and especially in Belgrade, is firstly presented in the Monograph. Detailed presentation of educational, research and professional

---

Prof. dr Dejan Bajić, dipl.inž.građ.  
Prof. dr Dušan Najdanović, dipl.inž.građ.  
Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet,  
Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, Srbija

---

Dejan Bajic, PhD  
Dusan Najdanovic, PhD  
University of Belgrade Faculty of Civil Engineering,  
Bulevar kralja Aleksandra 73, Belgrade, Serbia

U poglavlju Monografije koje se odnosi na nastavnu delatnost, dat je detaljan hronološki prikaz predmeta po semestrima, sa brojem časova i imenima nastavnika na tim predmetima. Pri tome se uočava da se, vremenom, povećavao obim materije po predmetima, a nazivi predmeta su se često menjali. Povećanje obima predmeta i/ili uvođenje novih predmeta, rezultat je praćenja savremenih tokova u svetu u ovoj oblasti konstrukterstva (na primer, uvođenje predmeta *Prethodno napregnuti beton*, izdvajanje *Tehnologije betona* u zaseban predmet i sl.). Istaknuto mesto u Monografiji zauzima i posle diplomaska nastava, uvedena davne školske 1964/65. godine, koja je znatno doprinela unapređenju i daljem osavremenjivanju i same dodiplomske nastave. Prikazani su i nastavni planovi na osnovnim i diplomskim studijama, zasnovani na Bolonjskoj deklaraciji. Na kraju ovog poglavlja, dat je spisak udžbenika i zbirki rešenih zadataka, priručnika i standarda, monografija i drugih knjiga iz oblasti betonskih konstrukcija, čiji su autori - nastavnici na predmetima iz ove oblasti.

U poglavlju Monografije koje sadrži naučno-istraživačku delatnost nastavnika i saradnika u oblasti betonskih konstrukcija, uglavnom su, zbog ograničenog prostora, prikazani samo rezultati eksperimentalno-teorijskih istraživanja na armiranobetonskim i prethodno napregnutim konstrukcijama. Najveći deo doktorskih disertacija, iz ove oblasti, sledio je taj trend. Prikazani rezultati radova na istraživanju betonskih konstrukcija, samo su deo naučno-istraživačke delatnosti nastavnika. Iz biografija i bibliografija nastavnika se vidi da je ta aktivnost bila vrlo bogata i raznovrsna i da se nalazila u stalnom usponu. Najznačajniji stručni radovi, koji predstavljaju važnu aktivnost nastavnika i saradnika u oblasti betonskih konstrukcija, predstavljeni su u poglavlju Monografije koje se odnosi na razvoj stručne delatnosti u oblasti betonskih konstrukcija.

Prilozi u Monografiji obuhvataju bibliografske reference nastavnika, u periodu od 1910. do 2010., kao i spiskove diplomiranih građevinskih inženjera, magistara i doktora tehničkih nauka iz uže naučne oblasti *betonske konstrukcije* na Građevinskom fakultetu Tehničke velike škole u periodu od 1948. do 1954. godine, i na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u periodu od 1954. do 2010. godine. U periodu od 1910. do 1948. godine, na žalost, nije vođena evidencija po užim oblastima u kojima su kandidati diplomirali, već po odsecima (građevinski, arhitektonski,...), pa se za ovaj period nije mogao uraditi odgovarajući spisak. Iz ovih podataka se može videti da je u ovom periodu na predmetima iz grupacije betonske konstrukcije, diplomirao 3371 student. Pored toga, tokom 2009/2010. godine odbranjeno je 50 sinteznih projekata i 5 master radova. To zajedno čini oko 70% od ukupnog broja diplomiranih studenata na Odseku za konstrukcije, odnosno oko 37% od ukupnog broja diplomiranih studenata na svim građevinskim odsecima Fakulteta. U periodu od 1962. do 2010. godine na Građevinskom fakultetu u Beogradu, u užoj naučnoj oblasti betonske konstrukcije (i, u manjem obimu, u kombinaciji sa srodnim naučnim oblastima), naziv magistra tehničkih nauka stekao je 71 kandidat, a naziv doktora tehničkih nauka 54 kandidata.

Građa prikupljena u okviru Monografije i sistematski prikazana u odgovarajućim poglavljima, predstavlja vredan doprinos beleženju istorije nastanka i razvoja

activities in the area of *concrete structures*, at the Department for Civil Engineering of Technical Faculty in Belgrade, from 1910. to 1948., and at Faculty of Civil Engineering as its successor, from 1948. to 2010., is given in the following chapters of this Monograph.

A thorough description of the curriculum development in the area of *concrete structures* is presented in the chapter devoted to educational activities. The number of courses was constantly increasing during last hundred years as a result of growing knowledge and development of practical achievements in the area. Establishing new courses such as *Prestressed concrete* and *Technology of concrete and concrete structures* are the examples of this trend. After-graduated studies which were introduced in 1964/65. and contributed a lot to the improvement and modernization of under-graduated studies, are also presented in this chapter. New curriculum of bachelor, master and doctoral studies established after 2005. (Bologna declaration) is described. A list of published text books, monographs and other books written by teachers and associates is given at the end of the chapter.

Some of the most important experimental and theoretical research is presented in the chapter dedicated to research activities. Most of this research was performed within doctoral dissertations in this area at the Faculty. However, for the reason of limited space, only a part of the research work is presented. It can be seen from the bibliography of teaching stuff that this work was constantly developing in many different areas in the field of concrete structures. The most important professional achievements, which represent one of the main activities of the stuff employed at the Faculty Chair for concrete structures, are presented in the chapter devoted to professional activities.

Monograph also contains the appendixes which include bibliography of teaching stuff in concrete structures, from 1910. to 2010., as well as the lists of graduated civil engineers, magisters and doctors of technical sciences in the area of *concrete structures*, from 1948. to 2010. Unfortunately, there are no data on the specific area in which civil engineers had graduated in the years earlier than 1948., therefore the lists could not be made for that period of time. From 1948. to 2010. a large number of students (3371) have graduated in the area of concrete structures at the Faculty of Civil Engineering. That makes about 70% of the total number of graduated students at the Department for Structural Engineering and about 37% of the total number of graduated students at all Departments of the Faculty of Civil Engineering. Besides, 71 students got their magister diploma and 54 candidates got PhD diploma in this area at the Faculty of Civil Engineering, from 1962. to 2010. Many remarkable former students have pursued their academic carriers at eminent foreign and national Universities.

This Monograph represents a valuable contribution to the recognition of the history of concrete and reinforced concrete structures development during last one hundred years, as one of the most important fields in the area of structural engineering. Besides, it is a kind of testimony on the significant contribution of the teaching stuff at Faculty Chair for concrete structures to

jedne vrlo važne oblasti konstruktorske delatnosti u nas - oblasti armiranog betona i, uopšte, betonskih konstrukcija. Osim toga, Monografija predstavlja svedočanstvo o značajnom doprinosu nastavnika i saradnika razvoju i unapređenju nauke i struke u oblasti betonskih konstrukcija, koji je u najvećem delu jednovjekovnog postojanja, bio na nivou tehnički razvijenih zemalja Evrope.

Monografija se može kupiti ili naručiti u skriptarnici Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu<sup>1</sup>.

the growth of concrete structures in Serbia for the last century, which followed closely the progress in more developed countries in Europe and in the world.

Monograph can be bought or purchased at the Bookshop of Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Bulevar kralja Aleksandra 73, tel. 011 3218-510

---

<sup>1</sup> Bulevar kralja Aleksandra 73, tel. 011 3218-510

## 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 prihvatice se i objavljeni rad. Vrste priloga autora i saradnika koji će se štampati su: originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni radovi, stručni radovi, konferencijska saopštenja (radovi sa naučno-stručnih skupova), kao i ostali prilozi kao što su: prikazi objekata i iskustava - primeri, diskusije povodom objavljenih radova i pisma uredništvu, prikazi knjiga i zbornika radova, kao i obaveštenja o naučno-stručnim skupovima.

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

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

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

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

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

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

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

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

### Uputstva za pripremu rukopisa

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

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

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

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

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

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

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

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

Prilozi (tabele, grafikoni, sheme i fotografije) rade se u crno-belom tehničkom formatu koji obezbeđuje da pri smanjenju na razmere za štampu, po širini jedan do dva stupca (8cm ili 16.5cm), a po visini najviše 24.5cm, ostanu jasni i čitljivi, tj. da veličine slova i brojeva budu najmanje 1.5mm. Originalni crteži treba da budu kvalitetni i u potpunosti pripremljeni za presnimavanje. Mogu biti i dobre, oštre i kontrastne fotokopije. Koristiti fotografije, u crno-belom tehničkom, na kvalitetnoj hartiji sa 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 stranicapoglavlja 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](mailto:folic@uns.ac.rs) ili [miram@uns.ac.rs](mailto:miram@uns.ac.rs) i [dimk@ptt.rs](mailto:dimk@ptt.rs)

Web sajt Društva i časopisa: [www.dimk.rs](http://www.dimk.rs)

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

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



**INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE**

**MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOŠKI  
RAZVOJ SRBIJE**



**UNIVERZITET U BEOGRADU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**



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



**INSTITUT IMS AD, BEOGRAD**



**UNIVERZITET CRNE GORE  
GRAĐEVINSKI FAKULTET - PODGORICA**