



2011.  
GODINA  
LIV



# GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

# 4

## 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 ime časopisa **Materijali i konstrukcije** je promenjeno i od sada će se publikovati kao **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 **Radimir 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, Canada

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

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

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

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

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

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

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

Proofreader: Prof. **Jelisaveta Šafranjić**, 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: Probno opterećenje Mosta na Adi u Beogradu

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

Izveštaj o radu Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije u periodu od XXIV kongresa do XXV kongresa

Izveštaj o radu na uređivanju časopisa Građevinski materijali i konstrukcije

**Igor JOKANOVIĆ**

UTICAJ PUTNIH PROJEKATA NA ŽIVOTNU SREDINU TOKOM ŽIVOTNOG CIKLUSA I INSTITUCIONALIZACIJA UPRAVLJAČKOG OKVIRA

**Stručni rad** ..... 7

**Velimir DUTINA**

**Ljubo MARKOVIĆ**  
**Miljan KOVAČEVIĆ**  
PRIMENA POSIBILISTIČKOG POSTUPKA KOD PLANIRANJA VREMENA REALIZACIJE GRAĐEVINSKIH PROJEKATA

**Stručni rad** ..... 25

**Gordana HADZI-NIKOVIĆ**

**Slobodan ĆORIĆ**  
**Stanko ĆORIĆ**  
GEOTEHNIČKI UZROCI OŠTEĆENJA DOMA NARODNE SKUPŠTINE U BEOGRADU

**Stručni rad** ..... 41

**Bojan MATIĆ**

**Danka MATIĆ**  
**Nebojša RADOVIĆ**  
MODEL ZA PREDIKCIJU TEMPERATURA KOLOVOZA U SRBIJI

**Prethodno saopštenje** ..... 55

**Uputstvo autorima** ..... 67

## CONTENTS

**Igor JOKANOVIĆ**

MONITORING THE IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE BASED MAINTENANCE CONTRACTS

**Professional paper** ..... 7

**Velimir DUTINA**

**Ljubo MARKOVIĆ**  
**Miljan KOVAČEVIĆ**  
APPLICATION OF POSSIBILITISTIC PROCEDURE WHEN PLANNING THE TIME FOR COMPLETION OF CONSTRUCTION PROJECTS

**Professional paper** ..... 25

**Gordana HADZI-NIKOVIĆ**

**Slobodan CORIC**  
**Stanko CORIC**  
GEOTECHNICAL CAUSES OF DAMAGES FOR THE PARLIAMENT BUILDING IN BELGRADE

**Professional paper** ..... 41

**Bojan MATIĆ**

**Danka MATIĆ**  
**Nebojsa RADOVIC**  
MODEL FOR PAVEMENT TEMPERATURE PREDICTION IN SERBIA

**Preliminary report** ..... 55

**Preview report** ..... 67

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

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



## IZVEŠTAJ

### **o radu Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije u periodu od XXIV Kongresa (održanog na Divčibarama u vremenu od 15. do 17. oktobra 2008. godine) do XXV Kongresa održanog na Tari u vremenu od 19. do 21. oktobra 2011. godine**

U periodu od XXIV do XXV Kongresa Društvo je radilo sa organima izabranim na XXIV Kongresu društva DIMK održanom na Divčibarama oktobra 2008. godine. Tom prilikom, a saglasno Statutu, izabrano je novo predsedništvo, predsednik i potpredsednik Društva, Redakcioni odbor i glavni i odgovorni urednik glasila Društva - časopisa "Materijali i konstrukcije", kao i generalni sekretar Društva. Tom prilikom je za ukupne zasluge u razvoju struke, aktivnosti i dopirnosu u radu i ugledu DIMK za počasnog predsednika izabran Prof.dr Mihailo Muravljov, koji je i u prethodne tri godine dao izuzetno značajan doprinos radu DIMK.

U vremenu između dva kongresa sistematski rad Društva prevashodno se ogledao u radu Upravnog odbora (održano je ukupno 7 sednica), koji se bavio nizom pitanja iz svoje nadležnosti (završni račun, finansijski plan, organizacija naučno-stručnih skupova, problematika izdavanja časopisa "Materijali i konstrukcije", prijem novih članova i dr.). U skladu sa novim Zakonom o udruženjima sa kojim je i statut DIMK usklađen, ubuduće, redovne sednice Skupštine će se održavati najmanje jednom godišnje zbog nadležnosti koji novi Zakon propisuje.

U vremenu između XXIV i XXV Kongresa u organizaciji DIMK Srbije održani su sledeći naučno-stručni skupovi i konferencije:

- Konferencija "Graditeljstvo i održivi razvoj" održana je 4 - 5 juna 2009. godine u svečanoj sali Građevinskog fakulteta u Beogradu. Štampan je zbornik radova, u kome je na 322 strane publikovano 19 radova, pozvanih eksperata iz zemlje i inostranstva.

- Konferencija "Zidane konstrukcije-nosivost, trajnost i energetska efikasnost" održana je 24. novembra 2010. godine u svečanoj sali Građevinskog fakulteta u Beogradu. Štampan je zbornik radova, u kome je na 178 strana publikovano 14 radova, pozvanih eksperata iz zemlje i inostranstva.

- XXV Kongres Društva i Međunarodni simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija održani su od 19. do 21. oktobra 2011 godine u hotelu "Omorika"

na Tari. Štampan je zbornik radova, u kome je na 534 strana publikovano 64 rada.

Pomenute Konferencije i simpozijumi organizovani su u saradnji sa Građevinskim fakultetom - Beograd, Fakultetom tehničkih nauka - Novi Sad i Institutom za ispitivanje materijala – IMS Beograd, a uz podršku Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Srbije i Inženjerske komore Srbije.

Prema slobodnoj proceni, navedenim skupovima je prisustvovalo između 100 i 120 slušalaca, pri čemu su skupovi imala odjeka i u široj javnosti. Po opštoj oceni, s obzirom na aktuelnost tema i na učesnike koji su imali saopštenja, obe Konferencije su postigle zapažen uspeh.

Na sednici Upravnog odbora od 27.01.2011. godine, doneta je, između ostalog, odluka da se XXV Kongres održi u drugoj polovini oktobra 2011. godine, na Tari od 19. do 21. oktobra 2011. godine. Predsednik Društva prof. dr Vlastimir Radonjanin je predložio da ove godine Simpozijum ima međunarodni karakter znajući da istraživanje i primena savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija nema smisla bez razmene iskustava sa kolegama iz inostranstva. Odlučeno je da se najpre održi "XXV Kongres i Međunarodni Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija", a da se nakon toga, shodno važećem Statutu, održi i Skupština Društva. Tom prilikom su imenovani Organizacioni odbor na čelu sa prof. dr. V.Radonjaninom i Programski odbor na čelu sa prof. dr R. Folićem. Doneta je takođe i odluka da se Kongres i Međunarodni Simpozijum održe u saradnji sa Institutom za ispitivanje materijala – IMS Beograd, a da se osim toga zatraži pokroviteljstvo i finansijska podrška Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i Inženjerske komore Srbije, što je sve u potpunosti i ostvareno.

Po prvi put Simpozijum DIMK Srbije je imao međunarodni karakter što je izuzetno važno za nauku na polju ispitivanja i istraživanja materijala i konstrukcija. Prisustvo učesnika na simpozijumu je bilo izuzetno zadovoljavajuće. Posebno je bilo značajno prisustvo učesnika istraživača i inženjera iz okruženja: Slovenije,

Hrvatske, Makedonije, Crne Gore, Bosne i Hercegovine. Po prvi put se u odnosu na prethodni trogodišnji period uočava značajan napredak u praćenju svetske naučne literature iz odgovarajućih naučnih grana koja je pretočena u domaća eksperimentalna istraživanja. Zaključeno je da učešće na međunarodnim i nacionalnim projektima, kao i novi uslovi za izbore u viša zvanja na Univerzitetima u zemlji i okruženju daju značajan napredak u procesu istraživanja. Prisutan je veliki broj mladih istraživača-studenata doktorskih studija čiji su rezultati rada vidni na osnovu izloženih radova na skupu. Posebno važan zaključak koji se može izvesti je da Republika Srbija na polju naučnih oblasti koje su na ovom simpozijumu obrađene ne kasni za naučnim dostignućima već ide u korak sa zemljama u svom okruženju, što je i najveći značaj ovog Kongresa.

Na Skupštini DIMK koja je održana po zatvaranju Simpozijuma na Tari izabrano je novo rukovodstvo, dr Gordana Topličić-Čurčić je u ime kandidacione komisije za nove rukovodeće organe DIMK Srbije predložila: za predsednika, prof. dr Zorana Grdića - GAF Niš, za zamenika predsednika dr Zagorku Radojević-Institut IMS Beograd, i još 9 članova Upravnog odbora, za glavnog urednika časopisa „Građevinski materijali i konstrukcije“ Prof.dr Radomira Folića i novi redakcioni odbor, koji je predložio Upravni odbor Društva, je potvrđen.

Časopis Društva "Materijali i konstrukcije" u periodu između XXIV i XXV Kongresa je izlazio redovno. Za njegovo uspešno izdavanje veoma je važan doprinos glavnog i odgovornog urednika prof. dr Radomira Folića, koji će o problematici časopisa podneti poseban izveštaj. Značajno je napomenuti da je časopis zbog uređivačke politike i kvaliteta radova koji se u njemu publikuju, posebnom odlukom ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Srbije, svrstan u kategoriju nacionalnih časopisa izuzetnog značaja. Časopis je u relativno kratkom roku dostigao visoku naučnu i stručnu reputaciju. Upravni odbor i redakcioni odbor Društva DIMK Srbije su u toku 2010/11 godine započeli publikovanje časopisa na engleskom i srpskom jeziku, a od 2011 godine izabran je i novi redakcioni odbor časopisa, u kome su učešće uzeli renomirani naučni radnici i istraživači iz inostranstva. Zbog publikovanja časopisa na engleskom jeziku, promenjeno je ime časopisa u "Building Materials and Structures", odnosno "Građevinski materijali i konstrukcije".

U cilju uspešnije realizacije ciljeva i zadataka, a posebno radi razvijanja, unapređenja i afirmacije nauke iz delokruga rada Društva, Upravni odbor DIMK Srbije na svojoj sednici održanoj 26.08.2008. usvojio je Pravilnik za izbor i dodelu priznanja mlađim istraživačima za naučni doprinos u oblasti materijala i konstrukcija. Ocenjuje se da će Pravilnik delovati stimulatino na mlađe naučne radnike i da će priznanja koja se dodeljuju na osnovu Pravilnika predstavljati značajnu referencu za dobitnike u smislu naučne afirmacije. Na Kongresu na Tari po prvi put jer dodeljeno priznanje, Plaketa za izuzetna ostvarenja u oblasti istraživanja materijala dr Gordani Topličić-Čurčić, za najbolju doktorsku disertaciju u periodu 2008-2011.

Od saradnje sa privrednim subjektima i dalje je veoma prisutna saradnja sa udruženjem SIGP Srbije. Sa ovim društvom sačinjen je ugovor o zajedničkom korišćenju poslovnog prostora Saveza jugoslovenskih laboratorija (S JL), s tim da SIGP snosi materijalne

izdatke oko korišćenja poslovnog prostora, da finansira izdavanje dva broja časopisa "Građevinski materijali i konstrukcije" godišnje, kao i da snosi još neke administrativne troškove. Ovde treba posebno istaći da je saradnja sa SIG-om počela još 1985. godine, upravo u vreme kada je JUDIMK bio u ozbiljnim finansijskim teškoćama. Materijalna strana saradnje sa današnjim udruženjem SIGP Srbije sigurno je takođe značajna, ali još više, uspostavljena je stručna saradnja, gde se kroz zajedničke simpozijume i savetovanja čine naponi da se unapredi primena proizvoda od pečene gline, kao i zidanih konstrukcija u celini.

Glavni prihodi Društva su od članarina individualnih i kolektivnih članova, kao i novčani iznosi od sponzorstva i donatorstva pojedinih ministarstava, fakulteta, instituta i privrednih subjekata koji se uplaćuju samo na ime održavanja konkretnih stručnih skupova. Prihodi Društva od članarina su praktično zanemarljivi. Primera radi, ovde se navodi podatak o visinama članarina za individualne i kolektivne članove DIMK Srbije za 2011.godinu:

- za individualne članove 2.000,00 dinara godišnje;
- za kolektivne članove 15.000,00 dinara godišnje.

O finansijskom stanju DIMK Srbije podnet je poseban izveštaj, a ovde se u vezi sa tim navodi još samo sledeće.

Finansijsko stanje DIMK Srbije je, kako pokazuju relevantni pokazatelji, stabilno - prihodi i rashodi su u proteklom periodu bili uravnoteženi, pri čemu su troškovi oko održavanja stručnih skupova, pa i ovog Kongresa i Simpozijuma, uvek bili pokriveni prihodima (dotacijama ministarstava, sponzorstvima i kotizacijama).

Društvo DIMK Srbije je u toku 2011 godine pripremlilo svoj web sajt, koji bi u budućnosti trebao da omogući bržu i lakšu razmenu informacija i "vidljivost" svih akcija Društva, kao i radova štampanih u časopisima i van granica naše zemlje.

Imajući u vidu sve napred izneto, buduća uprava Društva trebalo bi u svom radu da se usredsredi na sledeće najvažnije zadatke:

- organizacija naučno-stručnih skupova (simpozijuma, savetovanja, seminara) sa aktuelnom tematikom;
- uspostavljanje novih kontakata sa nadležnim državnim službama radi aktiviranja saradnje na području izrade predloga novih akata tehničke regulative, u prvom redu sa aspekta harmonizacije domaće i evropske regulative;

- ulaganje napora radi obezbeđenja finansijskih sredstava neophodnih za ponovno uspostavljanje saradnje sa RILEM-om;

- povećanje broja individualnih i kolektivnih članova Društva i insistiranje na redovnim uplatama članarine.

DIMK Srbije tesno saraduje sa Institutima i Fakultetima, kao i drugim organizacijama koje se bave ispitivanjem i istraživanjem materijala i konstrukcija sa prostora Republika bivše Jugoslavije.

Svojim aktivnostima u oblasti istraživanja i primene materijala i konstrukcija u našem građevinarstvu, Društvo DIMK Srbije se nesumnjivo svrstalo u red najaktivnijih društava u okviru Saveza građevinskih inženjera Srbije.

Predsednik DIMK Srbije  
Prof. dr Vlastimir Radonjanin

## IZVEŠTAJ

### O RADU NA UREĐIVANJU ČASOPISA ZA PERIOD OD OKTOBRA 2008. DO OKTOBRA 2011. GODINE

Oktoobra 2008. godine održan je XXIV kongres i Skupština DIMK-e na kojem sam u svojstvu glavnog i odgovornog urednika časopisa Materijali i konstrukcije podneo Izveštaj o radu od oktobra 2005. do oktobra 2008. godine. Ovim izveštajem su obuhvaćeni svi brojevi časopisa za 2009. i za 2010. godinu. Za 2008. godinu prikazana su poslednja dva broja, tj. br. 3 i br. 4. Za 2011. godinu prikazana su prva dva broja, tj. br. 1 i br. 2 sa promenjenim imenom časopisa i novim, ovog puta, Internacionalnim redakcionim odborom.

U broju 3. za 2008. godinu na 64 strane štampano je pet radova. Od toga su dva klasifikovana kao originalni naučni radovi, dva kao pregledni i jedan kao stručni rad. Pored toga u ovom broju je zabeležen izbor prof. dr Radomira Folića za profesora emeritusa Univerziteta u Novom Sadu (preuzeto iz časopisa Izgradnja br. 6/2008. g.) i osvrt prof. dr Žorža Popovića naslovljen „Zasluzeno priznanje“, povodom dodele priznanja Društva građevinskih konstruktora Srbije u vidu Povelje za životno delo profesoru dr Miahailu Muravljovu.

Pomenuti Izveštaj o radu na uređivanju časopisa je zajedno sa Izveštajem predsednika prof. dr M. Muravljova o radu Društva u pomenutom periodu objavljen u časopisu broj 4 od 2008. godine. U istom broju časopisa koji je štampan na 120 strana objavljena je pozdravna reč predsednika Društva na otvaranju Kongresa i 9 radova. Predmet radova su šira oblast građevinskih materijala i konstrukcija. Štampano je 4 originalna naučna rada, 4 stručna rada i jedan pregledni rad. Pored toga u tom broju štampani su Zaključci Kongresa koje je potpisao novoizabrani predsednik Društva prof. dr Vlastimir Radonjanić i prikaz Kongresa i simpozijuma koji je priredio prof. dr Žorž Popović. Jedan rad je bio iz Bosne i Hercegovine, jedan iz Crne Gore, a ostali iz Srbije.

U broju 1/2009. godine publikovano je 10 radova na 111 strana. Osam radova klasifikovano je kao pregledni radovi, jedan kao pregledni (stručni rad) i jedan kao prethodno saopštenje.

U broju 2/2009. godine štampano je 3 rada na 46 strana. Od toga su dva rada klasifikovana kao originalni naučni radovi, a jedan kao stručni rad. Dva rada su prilozi autora iz Crne Gore, a jedan iz Srbije.

U dvobroju 3-4/2009. godine, sa 75 strana, objavljeno je 5 radova. Od toga jedan rad je klasifikovan kao stručni, a četiri rada kao originalni naučni radovi. Jedan rad su napisali autori iz Bosne i Hercegovine (BiH), a jedan autori iz Crne Gore.

Broj 1/2010. godine sadrži 61 stranu. U njemu su štampana 3 originalna naučna rada, a dva rada su klasifikovana kao stručni radovi.

U časopis broj 2/2010. godine sa 71 stranom štampano je četiri rada. Jedan rad je klasifikovan kao originalni naučni, dva kao pregledni radovi, a jedan kao stručni rad. Jedan autor je bio iz Crne Gore.

Broj 3/2010. godine štampan je na 54 strane. U ovom broju su štampana četiri rada. Od toga su dva originalni naučni radovi, jedan pregledni rad i jedan stručni rad. Autori jednog rada su iz Španije, a dva autora su iz Crne Gore.

U broju 4/2010. godine objavljen je na 117 strana. Jedan rad je iz kategorije originalni naučni rad, tri su pregledni radovi, a jedan je stručni rad. Pregledni rad Vladimira Denića, dipl. inž. sadrži popis svih publikovanih radova u našem Časopisu od 1958. do 2010. godine. U ovom radu su popisani Organi časopisa u pojedinim vremenskim periodima. Dat je indeks autora i pregled članaka po autorima.

Odlukom Upravnog odbora Društva za 2011. godinu imenovan je novi Redakcioni odbor sa tri člana iz Srbije, a ostali članovi su iz dugih 12 zemalja. Sastav Redakcionog odbora je potvrdila Skupština XXV Kongresa. Spisak svih članova je publikovan u časopisu br. 1 i br. 2 od 2011. godine. Popred toga, odluka Upravnog odbora da časopis Materijali i konstrukcije promeni ime u Građevinski materijali i konstrukcije pod kojim su imenom štampani brojevi 1 i 2 od 2011. godine, potvrđena je na Skupštini Društva. Za lektora tekstova pisanih na engleskom jeziku imenovana je prof. dr Jelisaveta Šafranjić sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

Broj 1/2011. godine sadrži pet radova i štampan je na 80 strana. U njemu su objavljena tri originalna naučna rada i jedan stručni rad.

Broj 2/2011. godine štampan je na 43 strane i u njemu su objavljena tri rada. Jedan rad je klasifikovan kao stručni, a dva kao prethodno saopštenje.

Za broj **3 od 2011. godine** prispelo je i recenzirano pet radova, a za broj 4 prispelo je četiri rada koji su recenzirani. Ova dva broja će biti štampani januara 2012. godine, a njihov sadržaj će biti prikazan u sledećem Izveštaju.

U ranijem periodu uobičajeno je bilo da pojedini Fakulteti i Instituti participiraju bar za dva broja godišnje, sa najmanje po jednim radom ali je to često izostajalo. To je otežavalo prikupljanje radova za pojedine brojeve časopisa. Zahvaljujući autorima iz Srbije i inostranstva, pretežno iz susednih država, tj. iz ranijih Republika SFRJ časopis je i sadržajno i kvantitativno ocenjen u stručnoj javnosti kao bogat. U ovom periodu je u časopisu znatno manje radova publikovano a da su prethodno bili saopšteni na naučno-stručnim skupovima.

Tokom uređivanja časopisa dragocenu pomoć su mi pružili Vladimir Denić, sekretar Društva i tehnički urednik Stoja Todorović sa Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na čemu im se zahvaljujem. Međutim, postoje i određene teškoće u uređivanju časopisa jer se ne nudi dovoljan broj kvalitetnih radova za publikovanje. Kolege-potencijalni autori, to opravdavaju zauzetošću pisanjem radove za časopise sa SCI liste, tj. časopise koji imaju impakt faktor. Razlog za ovakvu orijentaciju autora je što Ministarstvo za nauku i obrazovanje i Nacionalni savet

za obrazovanje, uslovljavaju izbore u zvanja i napredovanje na Fakultetima i Naučnim institutima publikovanjem radova u časopisima sa impakt faktorom. To je saglasno odluci Nacionalnog saveta za obrazovanje sa sednice od 15. 01. 2010. godine. Zbog toga su svi domaći časopisi koji, u našoj oblasti, nemaju impakt faktor u krizi ponude naših autora što se negativno odražava na njihov kvalitet.

Kao i u prethodnom periodu, prisutan je i problem recenziranja jer se ono obavlja volonterski, kao i u inostranstvu. Potrebno je u svim sredinama aktivirati članove Društva da daju svoje autorske priloge za naš časopis da bi i dalje bio priznat od strane Ministarstva za nauku koje insistira na redovnom periodičnom izlaženju časopisa (najmanje četiri puta) godišnje. Poseban problem je što većina autora ne citiraju radove objavljene u našem časopisu. Zbog toga je potrebno da autori više citiraju radove objavljene u našem časopisu, pri publikovanju radova u zemlji i u inostranstvu, jer bi time doprineli da vrednovanje časopisa bude povoljnije. Za sada je naš časopis svrstan u kategoriju Vodeći nacionalni časopis koji se vrednuje kao  $M51=2$  poena. U svim brojevima časopisa objavljuje se uputstvo autorima na jednoj stani sa uslovima za prihvatanje radova.

U N. Sadu, 14. oktobra 2011. godine

Glavni i odgovorni urednik  
Prof. dr Radomir Folić, dipl.inž.građ.



# PRAĆENJE IZVRŠENJA UGOVORA O ODRŽAVANJU PUTEVA PREMA DEFINISANOM NIVOU USLUGE

## MONITORING THE IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE BASED MAINTENANCE CONTRACTS

Igor JOKANOVIĆ

STRUČNI RAD  
UDK: 625.7.08 ; 351.712.2:625.7/.8 = 861

### 1 UVOD

Pokazatelj uloge koju ima sistem upravljanja održavanjem puteva u agenciji za puteve je stepen do koga su sistemski programi zapravo sprovedeni. Zbog budžetskih, tehničkih i logističkih faktora, čak i ako je predviđen program poslova stoprocentno precizan, moglo bi se dogoditi da ne bude u potpunosti sproveden. Međutim, ako je sistem upravljanja održavanjem puteva integralan deo procesa planiranja, i ako pruža razumne prognoze, obično se znatan deo predviđenog programa i sprovede.

Svaki sistem upravljanja održavanjem puteva ima koristi od mehanizma za praćenje načina i stope realizacije programa. Praćenje izvršenja obuhvata periodično merenje napretka projekta ili aktivnosti u odnosu na eksplicitne kratkoročne ili dugoročne ciljeve, kao i pružanje povratne informacije o rezultatima za subjekte koji donose odluke i koji imaju tu mogućnost da iskoriste pružene informacije na različite načine radi poboljšanja učinka. Mnoge administracije u putnom sektoru su razvile sistemске pokazatelje izvršenja kako bi pratile uticaje programskih investicija i poboljšanja u aktivnostima održavanja i eksploatacije. Povratna informacija o stvarnom učinku može da utiče na ciljeve agencije, kao i na buduće odluke po pitanju raspodele i korišćenja resursa.

---

Dr Igor Jokanović, dipl.grad.inž.  
Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinski fakultet,  
Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77  
Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina  
e-mail: ijokanovic@agfbl.

### 1 INTRODUCTION

The degree to which the system programs are actually carried out is an indicator of the role played by the road maintenance management system in the roads agency. Even if the envisaged program of tasks is one hundred percent precise, it could be only partially carried out due to budget, technical and logistic factors. However, when the road maintenance management system is an integral part of the planning process, and offers reasonable forecast, generally a significant part of the envisaged program is carried out.

Each road maintenance management system benefits from the mechanisms of monitoring the manner and degree of program realization. Performance monitoring encompasses periodic measurement of the progress of a project or activity in relation to the explicit short-term or long-term objectives, as well as providing feedback information on the results to the entities which make decisions and have the ability to use the provided information in various ways for improving output. Many administrations in the road sector have developed systematic performance indicators in order to monitor the effect of program investments and improvements in maintenance and operation activities. Feedback information on the actual output may have an influence on the objectives of the agency, as well as on future decisions with regards to distribution and utilization of resources.

---

Igor Jokanović, B.Civil Eng., Ph.D.  
University of Banja Luka, Faculty of Architecture and Civil  
Engineering, 77 Vojvode Stepe Stepanovića Boulevard,  
Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina,  
e-mail: [ijokanovic@agfbl.org](mailto:ijokanovic@agfbl.org)

Održavanje puteva podrazumeva preduzimanje potrebnih mera kako bi se osigurali:

- neprekidan, bezbedan i slobodan saobraćaj u saglasnosti sa uslovima definisanim zakonskom i tehničkom regulativom;
- smanjenje troškova korisnika puteva;
- očuvanje vrednosti imovine puta.

Radovi održavanja puteva se preduzimaju kod putne mreže da bi se sačuvala postojeća putna imovina i da bi se zadovoljili priznati standardi intervencije čime se ograničava izloženost korisnika neočekivanim nedostacima. Dobro održavani putevi pružaju sigurniju i udobniju vožnju i doprinose manjim eksploatacionim troškovima vozila, posebno u slučaju teretnih vozila. Takođe, ovi putevi imaju veću verovatnoću postizanja optimalnog životnog veka sa minimalnim ukupnim troškovima po društvo.

Održavanje zasnovano na definisanom nivou usluge je uvedeno kao jedan od vidova izvršavanja aktivnosti na putevima sa težnjom da se, primenom inovativnih metoda i procedura, smanje troškovi tokom životnog ciklusa puteva i poboljša nivo kvaliteta usluga.

Cilj rada je da se skrene pažnja na neophodnost definisanja ključnih pokazatelja putem kojih bi se moglo pratiti izvršenje ove vrste ugovora za radove održavanja, i to u najranijoj fazi, kada se obavlja priprema ugovora i utvrđuju konkretne karakteristike mreže na kojoj bi se ugovor provodio.

## 2 MERENJE IZVRŠENJA

Sve organizacije visokog stepena izvršenja, bilo da su javne ili privatne, jesu i moraju biti zainteresovane za razvoj i korišćenje efikasnih mera izvršenja i sistema upravljanja učinkom pošto se samo kroz takve sisteme mogu održati kao organizacije sa visokim stepenom izvršenja. Poslednjih godina je došlo do trenda u svetu, među izabranim predstavnicima (vlast), u javnosti i u medijima, da se vrši fokusiranje na odgovornosti za učinke u javnom sektoru. U sredini gde je potražnja za javnim uslugama u porastu, ali je raspoloživost resursa ograničena, postaje sve važnije oceniti šta agencije u javnom sektoru rade i koliko dobro rade [2].

Merenje izvršenja je način praćenja napretka ka postizanju utvrđenih rezultata ili ciljeva [6]. Takođe, ovim je obuhvaćen i proces prikupljanja informacija kako bi se donele odluke zasnovane na relevantnim podacima. Merenje izvršenja se obavlja kroz skup pokazatelja izvršenja koji mogu u osnovi biti i finansijske i nefinansijske jedinice mere. U svakom slučaju, to su mere koje se mogu kvantifikovati, unapred dogovorene, i koje odražavaju važne faktore uspeha jedne organizacije ili projekta. Pokazatelji izvršenja se često koriste i za vrednovanje aktivnosti koje je teško izmeriti, kao što su koristi od razvoja liderstva, angažovanost, usluge i zadovoljstvo korisnika. Pokazatelji izvršenja se obično vezuju za strategiju organizacije i upravo putem takve integracije se merenje izvršenja postavlja tamo gde ostvaruje najveći efekat. Time se omogućava da pokazatelji budu efikasni pokretači promena. Pošto pokazatelji kvantifikuju rezultate aktivnosti, dovoljno je samo uporediti izmerene podatke sa željenim ciljevima, da bi se utvrdilo da li je potrebno preduzeti određene radnje. Drugim rečima, pokazatelji treba da nose poruku.

Road maintenance entails taking the necessary measures to ensure:

- uninterrupted, safe and free-moving traffic in compliance with the conditions defined by legal and technical regulations;
- decreased road user costs;
- maintaining the value of the road assets.

Road maintenance works are carried out on road network in order to preserve the existing road assets and to fulfill the recognized standards of intervention thereby limiting the exposure of the beneficiary to unexpected shortcomings. Well maintained roads provide safe and comfortable driving and contribute to lower vehicle operating costs, especially in the case of freight vehicles. Additionally, these roads have a greater probability of achieving the optimal life cycle with minimum total expenses for society.

Performance based maintenance is implemented as one of the forms for executing activities on roads with the aspiration to decrease expenses over the life cycle of roads and improve the level of service through the application of innovative methods and procedures.

The goal of this paper is to bring attention to the necessity to define the key indicators through which it would be possible to monitor the execution of these types of maintenance contracts, in the earliest phase, during preparation of the contracts and determination of the specific characteristics of the network on which the contract would be carried out.

## 2 PERFORMANCE MEASUREMENT

All organizations of high degree performance, whether public or private, are and must be interested in the development and use of effective performance measures and output management systems because only through such systems they can remain an organization of high degree performance. During the last few years, a trend has developed among the selected representatives (authority) worldwide, in public and in media, to focus on the responsibilities for efficiency in the public sector. In an area with growing demand for public services but limited resources, it has become even more important to evaluate what the agencies in the public sector do and how well they perform [2].

Performance measurement is a method for monitoring progress towards achieving the established results or objectives [6]. Additionally, this also encompasses the process of collecting information in order to make decisions based on relevant data. Performance measurement is conducted through a collection of performance indicators which can be based on financial and non-financial units of measure. Besides, those are measures which can be quantified, agreed upon beforehand, and which reflect important factors of success of an organization or project. Performance indicators are also often used for evaluating an activity which is difficult to measure, such as the benefits from the development of leadership, commitment, service and user satisfaction. Performance indicators are usually connected to the strategy of the organization and through such integration performance measurement is implemented in the places showing greatest effects. This enables the indicators to be effective initiators of change.

U sistemu praćenja izvršenja, pokazatelji služe i kao alat za merenje stepena promene. Osnovu za poređenje predstavljaju vrednosti pokazatelja izvršenja na početku planskog perioda, dok vrednosti na kraju perioda predstavljaju ciljeve, pri čemu se stepen promene utvrđuje u odnosu na obe granične vrednosti.

Pokazatelji izvršenja se razlikuju od poslovnih inicijativa i ciljeva, a razlikovaće se i u zavisnosti od organizacije. Agencija za puteve bi mogla da uzme u obzir dužinu putne mreže u stanju iznad određenog praga kao ključni pokazatelj izvršenja koji bi mogao pomoći onima koji donose odluke da shvate važnost raspodele resursa, dok preduzeće može pod potencijalnim ključnim pokazateljem izvršenja da podrazumeva procenat klijenata koji se odlučuju na novu saradnju. Bilo koji pokazatelji izvršenja moraju da odražavaju ciljeve organizacije, moraju da budu ključ njenog uspeha i moraju da budu merljivi. Ključni pokazatelji izvršenja su obično dugoročno usmereni, a definicije onoga šta su i kako se mere se ne menjaju često. Ciljevi određenog pokazatelja izvršenja mogu da se promene kada se menjaju ciljevi organizacije ili kako se ona približava postizanju određenog cilja.

Pokazatelje, koji se mogu identifikovati kao mogući kandidati za pokazatelje izvršenja, je moguće klasifikovati u sledeće podkategorije:

- kvantitativni pokazatelji koji se mogu predstaviti kao broj;
- praktični pokazatelji koji su u vezi sa postojećim procesima u kompaniji;
- direktivni pokazatelji koji govore da li se organizacija poboljšava ili ne;
- pokazatelji provođenja koji su pod kontrolom organizacije tokom sprovođenja promene.

Efikasan razvoj i korišćenje pokazatelja izvršenja zahteva:

- posvećenost uprave da koristi pokazatelje kao integralan deo sistema kontrole upravljačke strukture i kao dela tekućeg procesa samovrednovanja;
- jasnu identifikaciju ciljeva programa i operativnih ograničenja;
- razvoj standarda ili kriterijuma izvršenja;
- identifikovanje sredstava po kojima će se izmeriti efikasnost i efektivnost programa;
- razvoj integrisanih i pouzdanih upravljačkih informacionih sistema da bi se prikupili zahtevani podaci;
- razvoj standarda i smernica za eksterno izveštavanje;
- tekuće vrednovanje pogodnosti izabranih pokazatelja i standarda izvršenja.

Jasno je da nema savršenih pokazatelja izvršenja na nivou sistema ni za jedan program ili sistem. Međutim, za većinu usluga postoje opšte prihvaćeni pokazatelji za mnoge aspekte izvršenja, kao i drugi pokazatelji sa znatnim potencijalom za korišćenje.

Najefikasnije je biti selektivan i koristiti manje skupove ispravno odabranih pokazatelja. Korišćenjem previše pokazatelja se razvodnjava njihova delotvornost. Prioriteti mogu da postanu konfuzni, a detalji mogu da deluju predimenzionisani, kako za onoga ko vrši razvoj, tako i za korisnike.

Problem u javnom sektoru predstavlja činjenica da se većina agencija iz javnog sektora koncentrisala na izveštavanje o ulaznim vrednostima, naporima u vezi sa uspostavljanjem novih inicijativa ili na izveštavanje o

Due to the fact that the indicators quantify the results of an activity, it is sufficient only to compare the measured data with the desired objectives in order to determine whether it is necessary to undertake certain works. In other words, the indicators must carry a message.

Within the performance monitoring system, the indicators also serve as a tool for measuring the degree of change. The basis for comparison is represented by the values of the performance indicators at the beginning of the planning period, while the values at the end of the period represent the objectives, where the degree of change is determined in relation to both borderline values.

The performance indicators differ from the commercial initiatives and objectives, and will also differ depending on the organization. The agency for roads could take into consideration the length of the road network in a condition above the determined level as a key performance indicator which could help those who make decisions to understand the importance of distribution of resources, while a company can take the percentage of return clients as a potential key performance indicator. All performance indicators have to reflect the objectives of the organization, to be vital to its success and measurable as well. The key performance indicators are normally long term directed, and the definitions of what they are and how they are measured do not change very often. The objectives of a certain performance indicator can change along with the objectives of the organization or as the achievement of a certain objective comes closer.

Indicators identified as possible candidates for performance indicators can be classified into the following subcategories:

- quantitative indicators which can be represented as a number;
  - practical indicators which are related to existing processes within the company;
  - directive indicators which indicate whether the organization is improving or not;
  - implementation indicators which are under the control of the organization during the change.
- The effective development and utilization of performance indicators require:
- management commitment to use the indicators as an integral part of the management structure control system and as a part of the running process of self-evaluation;
  - clear identification of the program objectives and operational limitations;
  - development of performance standards or criteria;
  - identification of means through which the efficiency and effectiveness of the program will be measured;
  - development of an integrated and reliable information management system in order to collect the required data;
  - development of standards and directives for external reporting;
  - running evaluation of the suitability of the selected performance indicators and standards.

It is clear that performance indicators are imperfect at the system level for any program or system. However, there are generally accepted indicators for many aspects of performance for the majority of services, as well as

aktivnostima koje su preduzete. Tek nedavno su agencije počele da obraćaju pažnju na objektivnu ocenu efikasnosti i efektivnosti sa kojima se posao izvodio. Mnogim agencijama nedostaju i veštine i informaciona baza sa kojom treba uraditi takve procene.

Takođe, ponekad je teško razlikovati izlazne podatke i rezultate projekta ili rezultate i uticaje. Pri definisanju pokazatelja je važno razmišljati o tipologiji pokazatelja kao o kontinuumu koji odražava logične krajnje odnose sredstava u projektu: ulazne vrednosti za različite aktivnosti, koje proizvode izlazne vrednosti, pri čemu sve doprinose rezultatima i uticajima. Logički odnos određene mere prema strateškom cilju projekta će definisati tip pokazatelja koji može da ga predstavlja.

### **3 UGOVORI O ODRŽAVANJU PUTEVA PREMA DEFINISANOM NIVOU USLUGE**

Tradicionalan način ugovaranja održavanja puteva se zasniva na količini posla koji se meri i plaća u odnosu na dogovorenu cenu po pojedinim pozicijama radova. Ovakvi ugovori su poznati pod nazivom ugovori po jediničnim cenama. Pri tome, investitor, odnosno agencija za puteve, ima obavezu da kontroliše kvalitet i kvantitet radova, putem angažovanja službe za nadzor, te izvrši plaćanje odgovarajuće situacije za izvedene radove, ako su isti odobreni od strane nadzora.

Za razliku od toga, ugovorima o održavanju prema definisanom nivou usluge se precizno definišu minimalni uslovi koje izvođač mora da ispuni u vezi sa stanjem puteva, objekata i opreme, kao i u izvršenju drugih sličnih usluga, kao što su: prikupljanje i upravljanje podacima o inventaru, odgovaranje na zahteve javnosti, žalbe i odgovori i sl. Plaćanja su zasnovana na tome koliko dobro izvođači uspevaju da poštuju standarde izvršenja definisane u ugovoru, a ne na količini izvršenog posla ili pruženim uslugama.

Ugovori koji se zasnivaju na definisanom nivou usluge predstavljaju naprednu vrstu ugovora koja se uglavnom primenjuje pri ugovaranju radova održavanja i u slučaju BOT (built-operate-transfer) ugovora. Osnovni uslov kod ovih ugovora je zadovoljenje zahteva korisnika, odnosno postizanje određenog nivoa usluge, dok se plaćanje vrši preko paušalnih godišnjih ili mesečnih iznosa. Ugovori prema definisanom nivou usluge podrazumevaju „isporučivanje“ gotovog kvalitetnog proizvoda i na izvođaču je da postigne zahtevan kvalitet, na primer, agencija za puteve kupuje nivo usluge, a ne asfalt ili saobraćajni znak, i sl. Stoga su izbor poslova, projektovanje i isporuka odgovornost izvođača.

Ovi ugovori podrazumevaju mogućnost da se tokom

other indicators with significant application potential.

It is most efficient to be selective and use a smaller collection of properly selected indicators. Using too many indicators reduces their effectiveness. Priorities can become confusing and details can have a resized effect, both for the person working on the development, as well as for the beneficiary.

A problem in the public sector is the fact that the majority of agencies from the public sector have concentrated on reporting about input values, efforts related to establishing new initiatives or reporting about activities which they have undertaken. Only recently the agencies started to pay attention on objective assessment of the efficiency and effectiveness of job performance. Furthermore, many agencies lack the skills and information bases for this kind of assessment.

In addition, it is sometimes difficult to differentiate between output data and project results or results and impacts. When defining indicators, it is important to consider the typology of indicators as a continuum which reflects the logical end relations of the project: input values for various activities which produce output values where everything contributes to the results and influences. The logical relation of certain measures according to the strategic objective of the project will define the type of indicators by which it can be represented.

### **3 PERFORMANCE BASED MAINTENANCE CONTRACTS**

The traditional method for contracting road maintenance is based on the quantity of work which is measured and paid for in relation to the agreed price according to the individual works. These types of contracts are known as unit price contracts. With this type of contract the investor, i.e. the roads agency, is obligated to verify the quality and quantity of works by contracting a supervisory service and making payment for the corresponding works which have been carried out if the same are approved by the supervisory service.

On the contrary, performance based maintenance contracts precisely define the minimum conditions which the contractor must fulfill in relation to the condition of roads, structures and equipment, as well as in performing other similar services, such as: collection and management of inventory data, responding to requests from the public, complaints and responses, etc. Payments are based on how well the contractors succeed in complying with the performance standards defined in the contract, and not on the amount of performed work or provided services.

Contracts which are performance based represent an advanced type of contract which is primarily applied when contracting maintenance works and in the case of BOT (build-operate-transfer) contracts. The basic condition with these contracts is the fulfillment of demands of the beneficiary, i.e. achievement of certain performance level, while the payment is made as a fixed annual or monthly amount. Performance based contracts entail the „delivery“ of finished high-quality product and it is the contractors responsibility to achieve the required quality, for example, the roads agency purchases the performance level and not the asphalt or traffic sign, etc. Therefore, the selection of works, planning and delivery

pojedinih meseci pojavi potreba za izvođenjem veće količine fizičkih radova, kako bi bio ispunjen zahtevan nivo usluge, a izuzetno mala količina radova tokom drugih meseci. Međutim, godišnja ili mesečna nadoknada za izvođača ostaje ista, odnosno u ugovorenom iznosu, sve dok se drži, odnosno postiže zahtevan nivo usluge.

Sve dok poštuje standarde o učinku tokom ugovorenog perioda izvođač ima slobodu da odlučuje o sledećem:

- šta da se uradi;
- kada da se uradi;
- kako da se uradi;
- gde da se uradi;
- da sam uradi fizičke poslove ili da prepusti podizvođaču (sa odgovarajućim ograničenjima).

Stoga je izbor i primena tehnologija i potraga za inovativnim materijalima, procesima i načinima upravljanja u potpunosti na izvođaču. Ovim se na izvođača prenosi veći rizik u odnosu na tradicionalne ugovore, ali se u isto vreme otvaraju prilike za povećanje zarade tamo gde poboljšanja efikasnosti projekata, procesa, tehnologije ili načina upravljanja omogućavaju smanjenje troškova povezanih sa postizanjem određenih standarda izvršenja [8].

Osnovni ciljevi primene ugovora prema definisanom nivou usluge prilikom izvođenja radova na održavanju puteva su:

- preuzimanje upravljanja imovinom kod održavanja i rehabilitacije puteva od strane izvođača;
- postizanje veće produktivnosti kroz poboljšano finansiranje i programiranje održavanja i rehabilitacije puteva;
- smanjenje troškova održavanja kroz primenu efikasnih tehnologija i radnih procedura;
- smanjenje troškova životnog ciklusa kroz inovativna rešenja;
- održanje povoljnih uslova bezbednosti za korisnike sa minimumom poremećaja;
- transparentnost za korisnike puteva, agencije za puteve i izvođače u pogledu uslova pod kojima se putevi moraju održavati;
- poboljšanje kontrole i uspostavljanje standarda kvaliteta;
- poboljšanje opštih uslova na putevima.

Opseg ugovora podrazumeva obezbeđivanje sledećih usluga i radova:

- pregled i praćenje stanja imovine;
- redovno i periodično održavanje;
- rekonstrukcija i rehabilitacija;
- odgovori na hitne situacije;
- odnosi prema korisnicima;
- prikupljanje i održavanje podataka o putnom inventaru.

Primena ove vrste ugovora predstavlja značajnu promenu i izazov za industriju puteva, izvođače i agencije za puteve. Ovo predstavlja temeljni pomak u odnosu na postojeći način obavljanja poslova održavanja i rehabilitacije, uključujući i značajan prenos rizika na privatni sektor. Izvođač mora da pretpostavi veliki broj rizika koji su tradicionalno na strani agencije za puteve i prihvati one rizike koji su uključeni u fiksnu cenu po ugovoru, uz moguću opasnost od previda. Primeri rizika dodeljeni izvođaču su oni kod kojih dolazi

are the responsibility of the contractor.

These contracts entail the possibility of carrying out a larger quantity of physical works during certain months, due to fulfill the required performance level, and an exceptionally small quantity of works during other months. However, the annual or monthly compensation for the contractor remains the same, i.e. in the contracted amount, as long as the required performance level is maintained or achieved.

As long as the output standards are respected in the contracted period, the contractor is free to decide on the following:

- what to do;
- when to do it;
- how to do it;
- where to do it;
- to carry out physical operations itself or to hire a subcontractor (with the proper limitations).

This means that the selection and application of technology and the pursuit for innovative materials, processes and methods of management are completely up to the contractor. This transfers a larger amount of risk onto the contractor in relation to traditional contracts, but at the same time provides the possibility for increased earning where improved efficiency in projects, processes, technologies or methods of management facilitate decreased expenses related to the achievement of certain performance standards [8].

The primary goals for using performance based contracts when conducting road maintenance works are:

- asset management in road maintenance and rehabilitation is taken over by the contractor;
- achieving greater productivity through improved financing and programming of road maintenance and rehabilitation;
- decreased maintenance expenses through the application of efficient technologies and work procedures;
- decreased expenses over the life cycle through innovative solutions;
- maintaining suitable safety conditions for users with minimal disturbances;
- transparency for road users, agency for roads and contractors in the sense of the conditions under which roads must be maintained;
- improved control and implementation of quality standards;
- improved general conditions on roads.

The scope of the agreement entails that the following services and works should be provided:

- review and monitoring of the asset condition;
- regular and periodic maintenance;
- reconstruction and rehabilitation;
- responding to emergency situations;
- relations with beneficiaries;
- collecting and maintaining data on transportation inventory.

The use of this type of contract represents a significant change and challenge for the roads industry, contractors and roads agency. This is a fundamental shift in relation to the current method of conducting maintenance and rehabilitation works and includes a significant transfer of risk towards the private sector. The contractor should assume a large number of risks which

do rasta troškova zbog nestabilnih uslova poslovanja, izbor tretmana kolovoza, povećan obim saobraćaja, povećanje osovinskog opterećenja, troškovi svakog ponovnog posla od kojeg se zahteva da ispuni utvrđene standarde i sl.

Organizacija održavanja puteva koja se zasniva na definisanom nivou usluge se razlikuje od klasičnog načina ugovaranja radova održavanja puteva. Osnovne razlike se ogledaju u:

- uvođenju pozicija radova koje se nude i plaćaju paušalno;
- definisanju kategorije održavanja;
- primeni kaznenih poena;
- primeni sistema za praćenje vremenskih prilika u okviru zimskog održavanja puteva;
- sopstvenoj kontroli izvođača radova (uvođenje jedinice za internu kontrolu radova).

### 3.1 Parametri intervencije

Ovakva vrsta ugovora, može da obuhvati sve pozicije radova zasnovane na ispunjenju odgovarajućeg nivoa usluge ili kombinaciju sa pozicijama radova koje se mere i plaćaju u odnosu na dogovorenu cenu po pojedinih pozicijama radova („klasični“ ugovori po jediničnim cenama). Pojam „radovi“ se menja pojmom „usluga“, pri čemu usluga označava sve intervencije na putu (radove) i sve aktivnosti na upravljanju i oceni stanja puteva koje moraju da se izvrše kako bi se dostigao i održao propisan standard izvršenja iskazan definisanim nivoom usluge. Izvođač izvršava radove u skladu sa standardima definisanim kroz tehničke uslove i pruža uslugu održavanja radi dostizanja i očuvanja takvog stanja puteva koje obezbeđuje ugovoren nivo usluge.

Ugovori definišu kratko- i dugoročne standarde ili ishode koje izvođač mora da ispuni. Oni takođe navode minimum tehničkih standarda koji izvođač mora da primeni, iako izvođač ima mogućnost da predloži alternativne i inovativne pristupe za postizanje zahtevanih rezultata. Izvođač mora da obezbediti zahtevan standard održavanja tokom čitave godine za svaku poziciju radova.

Dve ključne specifikacije izvršenja su parametri za intervenciju kod održavanja puteva i stanje imovine [1].

Parametri intervencije određuju stepen dozvoljenih nedostataka u pogledu veličine, intenziteta i vremena odgovora na pojavu nedostataka, a izvođač treba da koriguje nedostatke u okviru ovih parametara. Oni se obično odnose na kratkoročne zahteve održavanja kao što su popravke udarnih rupa, kolotraga, loma ivice kolovoza, zamene ili popravke znakova, itd. Priroda parametara intervencije u okviru ove vrste ugovora zahteva od izvođača da razvije sistem upravljanja održavanjem da bi upravljao nedostacima.

Stanje imovine je kriva kumulativne distribucije putem koje se definišu dugoročni ciljevi stanja kolovoza koje izvođač treba da ispuni tokom trajanja ugovora, kao standard kvaliteta koji se mora dostići u momentu isteka

tradicionally belong to the roads agency and accept the risks which go along with the fixed price according to the contract, as well as the possible danger of oversights. Examples of the risks transferred to the contractor are those which entail increased expenses due to unstable working conditions, selection of carriageway treatment, increased traffic volume, increased axle load, expenses of each repeated job which is required to fulfill the established standards, etc.

The organization of road maintenance which is performance based differs from the traditional method for contracting road maintenance works. The basic differences are reflected in:

- introduction of works which are provided and paid for at a fixed rate;
- defining the category of maintenance;
- application of penalty points;
- application of a system for monitoring weather conditions within the framework of winter road maintenance;
- internal control of the contractor (implementing a unit for internal control of works).

### 3.1 Trigger levels

This type of contract may comprise all works based on the fulfillment of the proper performance level or a combination of works which are measured and paid for in accordance with the agreed price per individual work („classic“ unit price contracts). The term „works“ is replaced by the term „performance“, where performance signifies all interventions on the road (works) and all the activities related to the management and evaluation of roads condition which must be conducted in order to achieve and maintain the prescribed performance standard defined by the performance level. The contractor performs works in accordance with the standards defined through the technical conditions and provides maintenance services for the purpose of achieving and maintaining the condition of roads provided by the contracted performance level.

The contracts define the short-term and long-term standards or results which the contractor must fulfill. They also state the minimum technical standard which the contractor must apply, although the contractor does have the ability to propose alternative and innovative approaches for achieving the required results. The contractor must provide the required standard for maintenance throughout the entire year for each work item.

The two key performance specifications are the trigger levels for road maintenance and the asset condition [1].

The trigger levels determine the degree of allowed deficiencies in the sense of size, intensity and response time to the appearance of deficiencies and the contractor must correct deficiencies within the framework of these parameters. They normally relate to the short-term maintenance requirements such as repairing potholes, rutting, edge breaks, replacing or repairing signs, etc. The nature of the trigger levels within the framework of this type of contract requires the contractor to develop a maintenance management system to manage deficiencies.

The asset condition is a line of cumulative

ugovora. Stanje imovine mora da bude utvrđeno za svaku pojedinačnu putnu deonicu ili putni pravac, a utvrđuje se za ravnost, kolotrage, teksturu površine, otpor klizanju i preostali životni vek kolovoza.

Veoma je važno da parametri intervencije pokrivaju sve aspekte ugovora i da prihvate činjenicu da različiti putevi u okviru ugovorenog područja mogu da zahtevaju različite nivoe usluga. Pri određivanju mera, različiti kriterijumi, kako tehnički, tako i praktični, moraju pažljivo da se razmotre:

- obim i struktura saobraćaja;
- urbani i ruralni/vangradski putevi;
- ravan, brdovit ili planinski teren;
- kvalitet i tip posteljice;
- kvalitet materijala koji su na raspolaganju;
- kapaciteti raspoloživih izvođača;
- ekološka ograničenja, kao što su zaštićena područja, parkovi, rezervati šuma, itd.

Međutim, verovatno najvažniji kriterijum je pitanje koji nivo usluge se može priuštiti i ekonomski opravdati za put, što zahteva veoma široku i preciznu analizu.

Ugovor prema definisanom nivou usluge traži od izvođača radova da poseduje visoke kvalitete rukovođenja. U ovom slučaju „rukovođenje” podrazumeva sposobnost i mogućnost definisanja optimalnog i pravovremenog izvršenja fizičkih intervencija u kratko-, srednje- i dugoročnom razdoblju, što bi bila garancija da putevi ostanu iznad ugovorenog nivoa kvaliteta pružanja usluga, odnosno u okviru i granicama koje postavljaju lokalni propisi, tehnički uslovi i uslovi za izvršenje posla, zahtevi za zaštitu životne sredine i propisi iz socijalne sfere.

Praćenje izvršenja je ključno za uspeh ugovorenog održavanja puteva. Odgovarajuće procedure kontrole, kao i kazne za nepridržavanje, moraju da budu dobro definisane u ugovoru, a generalno se razlikuju po pojedinim ugovorima u zavisnosti od lokalnih ograničenja.

Pošto je izvođač preuzeo odgovornost za kontrolu kvaliteta, u svom interesu, agencija za puteve u određenoj meri štedi na troškovima nadzora i kontrole izvršenja ugovora.

Iskustvo pokazuje da korisnici puteva igraju važnu ulogu u kontrolisanju koliko se izvođač pridržava vizuelnih standarda izvršenja, kao što je postojanje rupa, stanje sistema za odvodnjavanje, prepreke na putu, sve dok su korisnici upoznati po kom standardu put treba da se održava. U tom smislu, izvođač ima obavezu da postavi znakove uz put gde se mogu pročitati podaci kao što su, ime i adresa izvođača, telefonski brojevi i naziv odgovorne agencije za puteve.

#### 4 KLJUČNI POKAZATELJI IZVRŠENJA

Ugovori prema definisanom nivou usluge moraju da obezbede provođenje merenja određenog obima ključnih

distribution which defines the long-term goals of the carriageway condition which the contractor has to fulfill for the duration of the contract, as the standard of quality which has to be achieved at the moment when the contract expires. The asset condition has to be established for each individual section of the road or direction which entails the roughness, rutting, surface texture, skid resistance and the remaining life of the carriageway.

It is very important that the trigger levels cover all aspects of the contract and to accept the fact that various roads within the contracted area may require various performance levels. When specifying the measures, various criteria, both technical as well as practical, must be carefully considered:

- volume and structure of traffic;
- urban and rural roads;
- flat, hilly or mountainous terrain;
- quality and type of substructure;
- quality of materials which are available;
- capacities of available contractors;
- environmental limitations, such as protected areas, parks, forest reserves, etc.

However, the most important issue is what performance level can be acquired and economically justified for the road, which requires a very broad and precise analysis.

A performance based contract requires the contractor to possess high-quality managerial skills. In this case „managerial skills” encompasses the capability and ability to define the optimum and timely performance of physical intervention in the short, middle and long term, which would be a guarantee that the roads remain above the agreed level of quality for the provided performance, meaning within the framework and boundaries established by local regulations, technical conditions and the conditions for executing the job, environmental protection requirements and regulations from the social sphere.

Performance monitoring is vital to the success of the contracted road maintenance. The proper control procedures, as well penalties for violations, has to be well defined within the contract, and generally differ according to individual contracts depending on local limitations.

Because the contractor has assumed responsibility for quality control, in its own interest, the roads agency saves a certain amount on expenses for monitoring and control of the execution of the contract.

Experience shows that road users play a vital role in controlling how well the contractor respects the visual performance standards, such as the existence of potholes, condition of the water drainage system, obstructions on the road, as long as the users are familiar with the standard which the road must meet. In that sense, the contractor has the obligation to place signs along the road which contain information such as the name and address of the contractor, telephone numbers and the name of the responsible roads agency.

#### 4 KEY PERFORMANCE INDICATORS

Performance based contracts should facilitate the measurement of a certain scope of key performance

pokazatelja izvršenja da bi se utvrdio stepen izvršenja izvođača u određenim područjima, kao i radi utvrđivanja plaćanja prema izvođaču u odnosu na učinak. Izvođač može da primi „bonus“ plaćanje ako premaši zadate ciljeve, ali je moguće i odbijanje plaćanja ako izvršenje ne zadovolji zahteve.

Takođe, pokazatelji izvršenja treba da budu odabrani u skladu sa ciljevima i zadacima projekta, uz uključivanje i aspekta korisnika puta. Na primer, kod upravljanja kolovozima, ciljne vrednosti za svaki pokazatelj izvršenja treba da odražavaju gledište korisnika. Kao ciljne vrednosti se mogu definisati dve vrste nivoa: željeni i kritičan nivo [9]. Osim toga, treba odrediti i kriterijume za održavanje i rehabilitaciju.

Željene nivoe nije teško definisati. Na primer, željeni nivo ravnosti i dubine kolotruga je nula (što manje, tim bolje). S druge strane, propustljivost je karakteristika koja je karakterisana sa „što više, tim bolje“. Pokušaj da se postignu željeni nivoi zahteva ogroman budžet za praćenje i održavanje.

Kritični nivoi određuju granicu između prihvatljivog i neprihvatljivog kvaliteta za korisnike puteva, i oni se teško definišu sa tehničkog aspekta. Kriterijumi za održavanje/rehabilitaciju se mogu se opisati kao stanje dovedeno do kritičnog nivoa koji dovodi do potrebe za izvođenjem obimnijih radova radi podizanja nivoa bezbednosti, udobnosti, itd.

Definisanje odgovarajućih pokazatelja izvršenja je prilično izazovan zadatak pošto treba da zadovolji skup suprotnih ciljeva, i to: minimizirati ukupne sistemske troškove, uključujući dugoročne troškove očuvanja puteva, mostova, saobraćaja i troškove korisnika, i pružiti korisnicima komfor i sigurnost. Uz to, da bi se izbegla dvoznačnost, pokazatelji izvršenja moraju da budu jasno definisani i objektivno merljivi.

Većina agencija za puteve koristi skup pokazatelja kojima upoređuje fizičko stanje puteva sa postavljenim ciljnim vrednostima. Tipični pokazatelji izvršenja su [7, 8]:

- međunarodni indeks ravnosti (International Roughness Index-IRI) koji meri ravnost površine puta što utiče na eksploatacione troškove vozila;
- odsustvo rupa i kontrola pukotina i kolotruga kao faktor uticaja na bezbednost i ponašanje kolovoza;
- minimalna količina trenja između guma i površine puta iz bezbednosnih razloga;
- maksimalna količina taloga ili druge prepreke kod sistema odvodnjavanja da bi se izbegla destrukcija putne konstrukcije;
- retrorefleksija znakova i oznaka iz bezbednosnih razloga.

Obično, ugovor sadrži listu između 20 i 100 pokazatelja izvršenja. Međutim, manji broj dobro odabranih pokazatelja teži da bude najefikasniji.

Za svaki pokazatelj izvršenja postoji vreme odgovora i često je predviđena kazna za nepridržavanje ugovoreni rokova [7, 8]. Pokazatelji izvršenja i vreme odgovora veoma variraju od ugovora do ugovora, odnosno u zavisnosti od toga o kojoj državi se radi i koji faktori se uzimaju u obzir. Pošto stanje većine puteva uglavnom nije u skladu sa standardima izvršenja koji se definišu ugovorom, izvođaču se određuje rok za unapređenje stanja puta do zahtevanog nivoa u zavisnosti od specifičnih okolnosti.

U Tabeli 1. je dat primer kako je moguće iskoristiti

indicators in order to determine the degree of performance of the contractor in certain areas, as well as for the purpose of determining payment to the contractor in relation to output. The contractor may receive a bonus payment if it exceeds the assigned objectives, but there is also the possibility of refusing to pay if performance does not fulfill the requirements.

Furthermore, the performance indicators should be selected in accordance with the objectives and tasks of the project, with the inclusion of the aspect of the road users. For example, with carriageway management, the target values for each performance indicator should be reflected from the viewpoint of the user. Two types of levels can be defined as target values: desired and critical level [9]. Aside from that, it is necessary to determine the criteria for maintenance and rehabilitation.

The desired level is not difficult to define. For example, the desired level of roughness and depth of rutting is zero (the smaller the better). On the other hand, permeability is a characteristic which is characterized by „the bigger the better“. Attempting to reach the desired levels requires a massive budget for monitoring and maintenance.

The critical levels determine the borderline between acceptable and unacceptable quality for road users, and they are difficult to define from a technical aspect. The criteria for maintenance/rehabilitation can be described as a condition which has reached a critical level resulting in the need to carry out a larger volume of works in order to raise the level of safety, comfort, etc.

Defining the corresponding performance indicators is a relatively challenging task because it is necessary to fulfill a collection of opposing goals, such as: to minimize the total system expenses, including long-term expenses for preserving roads, bridges, traffic and expenses for users, and to provide users with comfort and safety. Along with that, in order to avoid ambiguity, the performance indicators should be clearly defined and objectively measurable.

A majority of roads agencies use a collection of indicators which compare the physical conditions of roads with the established target values. Typical performance indicators are [7, 8]:

- International Roughness Index (IRI) which measures the roughness of the road surface which affects vehicle operating costs;
- lack of potholes and controlling cracks and rutting as a factor which influences the safety and behavior of the carriageway;
- minimum quantity of friction between tires and road surface for safety reasons;
- maximum quantity of sediment or other obstructions within the water drainage system in order to avoid destruction of the road structure;
- retroreflection of signs and markings for safety reasons.

Normally, the contract contains a list of between 20 and 100 performance indicators. However, a smaller number of well selected indicators tend to be more efficient.

For each performance indicator there is a response time and often a prescribed penalty for failing to abide by the contracted deadlines [7, 8]. The performance indicators and response times vary greatly from contract to contract depending on the country to which they apply



pokazatelje izvršenja za upotrebu u kontekstu upravljanja održavanjem puteva, naročito za ugovore prema definisanom nivou usluge. Predložena lista je nastala detaljnom analizom iskustava širom sveta po pitanju izvršenja takvih ugovora, kao i iz iskustva stečenog u okviru pilot projekta za regione Mačve i Kolubare u Republici Srbiji [3, 4, 5], čija realizacija je trajala četiri godine (jedini projekat ovakve vrste u regionu). Ovi pokazatelji se ne mogu smatrati kao najbolji za upravljanje takvim ugovorima jer izbor najviše zavisi od karakteristika agencije koja realizuje ugovor. Međutim, ako su odgovarajuće sprovedeni, predloženi pokazatelji imaju potencijal „dobrih pokazatelja“.

Takođe, agencija ima mogućnost da sprovede kompletan ugovor ili da sprovede mešoviti ugovor ako se isti oceni kao pogodan za deo mreže ili za celu mrežu u zavisnosti od svojih karakteristika. To znači da se deo aktivnosti izvodi prema definisanom nivou usluge, a druge kao radovi održavanja zasnovani na kvantitetu. Stoga se predloženi pokazatelji mogu u određenoj meri promeniti da bi se prilagodili usvojenom tipu ugovora.

U Tabeli 1. se navode pokazatelji izvršenja koji se odnose samo na očuvanje imovine na putevima i stvaranje bezbednih uslova za odvijanje saobraćaja sa detaljima o predloženoj i prihvatljivom nivou, vremenu odgovora i metodi i učestalosti merenja. Ovi pokazatelji obično spadaju u kategoriju operativnih (tehničkih) pokazatelja „niskog“ nivoa.

Za razliku od toga, moguće je definisati i pokazatelje „visokog“ (strateškog) nivoa koji se koriste za poređenje stanja putne mreže i prihvatanja tog stanja i rada administracije od strane zainteresovanih (država, korisnici, mediji, javnost, itd). Procena programa i opšteg izvršenja agencije za puteve se utvrđuje pomoću ovih pokazatelja „visokog“ nivoa. Takođe, ciljevi koji bi se odnosili na ovu grupu pokazatelja veoma zavise od državne saobraćajne politike i politike agencije za puteve, i ne mogu biti preporučeni bez dalje studije o politikama, ciljevima i aktivnostima u putnom sektoru.

Skup pokazatelja „visokog“ nivoa se može upotrebiti za prevazilaženje tehničkih ograničenja pokazatelja „niskog“ nivoa koji su obično razumljivi samo tehničkom osoblju, odnosno inženjerima. Opšte prihvatanje i primena tehničkih pokazatelja je ograničena usled:

- detaljnosti tehničkih podataka koji se mogu izmeriti specijalnom opremom za merenje, obično nedostupnom u zemljama u razvoju ili u tranziciji;
- nerazumevanja od strane korisnika ili zajednice, te je potrebna prezentacija na jednostavnije načine.

and the factors which are taken into consideration. Due to the fact that the condition of a majority of roads does not comply with the performance standards defined by the contract, the contractor is given a deadline by which the condition of the road should be improved to the required level depending on the specific circumstances.

Table 1. provides an example of how it is possible to utilize the performance indicators for use within the context of road maintenance management, especially for performance based contracts. The proposed list resulted from a detailed analysis of experiences throughout the world with the issue of execution of such contracts, as well as from experience gained within the framework of the pilot project for the regions of Mačva and Kolubara in the Republic of Serbia [3, 4, 5], which was realized over a period of four years (the only project of this type in the region). These indicators cannot be considered the best for managing such contracts because the selection depends mostly on the characteristics of the agency which is realizing the contract. However, if they are properly implemented, the proposed indicators have the potential to be „good indicators“.

Furthermore, the agency has the ability to implement the complete contract or a mixed one if the same is considered to be suitable for a portion of the network or for the entire network depending on its characteristics. This means that a portion of the activities are conducted according to a defined performance level and another portion as maintenance works based on the quantity. The proposed indicators can be slightly altered in order to suit the adopted type of contract.

Table 1. provides the performance indicators which relate only to the preservation of roads assets and creation of safe traffic conditions with details on the proposed and acceptable level, response time and method and frequency of measurement. These indicators normally fall into the category of low-level operational (technical) indicators.

On the contrary, it is possible to define high-level (strategic) indicators which are used to compare the condition of the transportation network and its acceptance and the work of the administration by interested parties (government, users, media, public, etc). The assessment of the program and general performance of the roads agency is determined by using these high-level indicators. Additionally, the objectives which would relate to this group of indicators depend greatly on the national transportation policy and the policy of the roads agency, and cannot be proposed without further study of the policies, objectives and activities within the transportation sector.

The collection of high-level indicators can be used to overcome the technical limitations of the low-level indicators which are normally understandable only to technical personnel, i.e. engineers. General acceptance and application of technical indicators is limited due to:

- the specificity of technical data which can be measured with special measuring equipment, normally not available in developing countries or countries in transition;
- the inability of users or the community to understand them, so it is necessary to present them in a simple manner.

Tabela 1. Predlog operativnih (tehničkih) pokazatelja „niskog“ nivoa (očuvanje puteva i bezbednost saobraćaja)  
 Table 1. Proposed „low-level“ operational (technical) indicators (preserving roads and traffic safety)

kategorija puta (road category)	pokazatelj (indicator)	nivo usluge (performance level)	tolerancija (tolerance)	vreme odgovora (response time)	metoda merenja (method of measurement)	učestalost merenja (frequency of measurement)
osnovni kolovoz (kolovoz i bankine) - basic carriageway (carriageway and shoulders)						
I	udarne rupe (potholes) / km	nema (none)	nema (none)	48 sati (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)
II		nema (none)	< 3 kom/km	72 sata (hours)		
I	pukotine (cracks)	sve zatvorene (all closed)	< 15 %	1 mesec (month)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
II		< 10 %	< 20 %	2 meseca (months)		
I	kolotrazi (rutting)	< 10 mm	< 15 mm	3 meseca (months)	snimanje stanja-profilograf (recording the condition-profilograph)	šestomesečno (bi-annually)
II		< 20 mm	< 30 mm	6 meseci (months)		
I	lom ivice kolovoza (edge break)	< 10 cm u kolovoz (< 10 cm into the carriageway)	< 25 cm u kolovoz (< 25 cm into the carriageway)	6 meseci (months)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	šestomesečno (bi-annually)
II		< 20 cm u kolovoz (< 20 cm into the carriageway)	< 50 cm u kolovoz (< 50 cm into the carriageway)			
I	bankine (shoulders)	stabilizovane, bez ulegnuća na ivici (stabilized, without settling on the edge)	< 5 % nestabilizovano, ulegnuće < 5 cm (< 5 % unstable, settling < 5 cm)	2 nedelje (weeks)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
II			< 10 % nestabilizovano, ulegnuće < 7,5 cm (< 10 % unstable, settling < 7.5 cm)			
I	ravnost-asfalt beton (roughness-asphalt concrete) (IRI)	< 2,5	< 4	6 meseci (months)	snimanje stanja-profilograf (recording the condition-profilograph)	godišnje (annually)
II		< 3,5	< 5	6 meseci (months)		
I	ravnost-bitumeniziran i materijali (roughness-bitumenized materials) (IRI)	< 3,5	< 5,5	6 meseci (months)	snimanje stanja-profilograf (recording the condition-profilograph)	godišnje (annually)
II		< 4,5	< 6	6 meseci (months)		
I/II	deformacije i ulegnuća (deformations and settling)	< 2,5 cm	< 5 cm	6 meseci (months)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
I/II	čupanje agregata (raveling)	< 10 %	< 20 %	6 meseci (months)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	tromesečno (quarterly)
I/II	izlučivanje bitumena (bleeding)	nema (none)	< 5 %	6 meseci (months)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	tromesečno (quarterly)

kategorija puta (road category)	pokazatelj (indicator)	nivo usluge (performance level)	tolerancija (tolerance)	vreme odgovora (response time)	metoda merenja (method of measurement)	učestalost merenja (frequency of measurement)
I/II	otpor klizanju (skid resistance)	> 50	> 45	6 meseci (months)	snimanje stanja-klatno za merenje trenja (recording the condition-pendulum for measuring friction)	šestomesečno (bi-annually)
I/II	lom kolovoza (pavement failure)	bez lomova opasnih po saobraćaj (no failures which are dangerous for traffic)	1 kom/10 km (1 per 10 km)	6 sati (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)
I	čvrstoća/nosivost (centralna defleksija) (strength/capacity-central deflection))	< 250/1000 mm	< 400/1000 mm	6 meseci (months)	snimanje stanja-deflektometar sa padajućim teretom (recording the condition-falling weight deflectometer)	godišnje (annually)
II		< 350/1000 mm	< 500/1000 mm			
I/II	preostali vek (remaining life)	> 10	> 5	1 godina (year)	snimanje stanja-deflektometar sa padajućim teretom (recording the condition-falling weight deflectometer)	godišnje (annually)
I	ograničenje opterećenja (limiting of load)	< 5 %	< 10 %	1 godina (year)	snimanje stanja-deflektometar sa padajućim teretom (recording the condition-falling weight deflectometer)	godišnje (annually)
II		< 10 %	< 25 %	1 godina (year)		
šljunkoviti i makadamski putevi (gravel and macadam roads)						
I/II	brzina vožnje (speed of travel)	> 40 km/h	> 25 km/h	1 mesec (month)	pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	tromesečno (quarterly)
I/II	udarne rupe (potholes) / km	nema (none)	< 10 kom/km	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
I/II	omekšavanje površine (softening of surface)	nije meka i blatnjava, ne omekšava pri vlaženju (not soft and muddy, no softening with moisturing)	-	1 mesec (month)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
I/II	bankine (shoulders)	stabilizovana (stabilized)	< 10 % nestabilizovano (< 10 % unstable)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
nasipi i kosine (Embankments and slopes)						
I/II	stanje površine (surface condition)	stabilizovana, bez klizanja ili odlamanja (stabilized, no sliding or breaking off)	lokalna, mala erozija (local, small erosion)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)

kategorija puta (road category)	pokazatelj (indicator)	nivo usluge (performance level)	tolerancija (tolerance)	vreme odgovora (response time)	metoda merenja (method of measurement)	učestalost merenja (frequency of measurement)
I/II	nanosi (deposits)	bez nanosa i prosutog materijala (no deposits or spilled materials)	< 1 m <sup>3</sup> nanosa ili prosutog materijala na bankinama ili bermama (< 1 m <sup>3</sup> of deposits or spilled materials on shoulders or berms)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
objekti (structures)						
I/II	prepreka (obstructions)	bezbedno i bez prepreka, omogućen slobodan protok vode ili saobraćaja (safe and without obstructions, free flow of water or traffic enabled)	< 10 % ograničenja u vodenom toku ili saobraćajnom profilu (< 10 % limitation in water flow or road traffic surfaces)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
I/II	stanje (condition)	bez oštećenja i deformacija (no damage or deformation)	-	2 nedelje (weeks)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
I/II	ograničenja (limitations)	nema ograničenja (no limitations)	< 10 %	6 meseci (months)	pregled stanja-konstruktivni inženjer (inspection of condition-structural engineer)	šestomesečno (bi-annually)
propusti (culverts)						
I/II	vodeni tok (water flow)	bezbedno i bez prepreka (safe and without obstructions)	< 10 % ograničenja u vodenom toku (< 10 % limitations in water flow)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
I/II	stanje (condition)	bez oštećenja i deformacija (no damage or deformation)	-	2 nedelje (months)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor	mesečno (monthly)
elementi za odvodnjavanje (rigoli, kanali i drenaže) - water drainage elements (gutters, channels and drains)						
I/II	poprečni presek (cross section)	normalan poprečni presek, bez prepreka (normal cross section, no obstructions)	< 5 % dužine ispod nivoa usluge (< 5 % of length below the performance level)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
I/II	položaj obloženih kanala i rigola (position of coated channels and gutters)	sleganje (settling) < 2 cm	sleganje < 4 cm (settling < 4 cm)	1 mesec (month)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	tromesečno (quarterly)
znakovi (signs)						
I/II	postavljanje (placement)	kompletni, pravilno postavljeni (complete, properly placed)	< 5 % ispod nivoa usluge (< 5 % below the performance level)	6 sati (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)

kategorija puta (road category)	pokazatelj (indicator)	nivo usluge (performance level)	tolerancija (tolerance)	vreme odgovora (response time)	metoda merenja (method of measurement)	učestalost merenja (frequency of measurement)
I/II	stanje (condition)	čisti i vidljivi (clean and visible)	< 5 % ispod nivoa usluge (< 5 % below the performance level)	6 sati (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)
I/II	čitljivost (readability)	čitljivo (readable)	< 25 % oznake ispod nivoa usluge (< 25 % of signs below the performance level)	48 sati (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)
horizontalna signalizacija (horizontal signalization)						
I/II	stanje (condition)	kompletna i vidljiva (complete and visible)	< 10 % ispod nivoa usluge (< 10 % below the performance level)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
I/II	refleksivnost (reflection)	> 100 mcd/lx/m <sup>2</sup>	< 10 % ispod nivoa usluge (< 10 % below the performance level)	1 mesec (month)	pregled stanja-retroreflektometar (inspection of condition-retroreflectometer)	tromesečno (quarterly)
oprema puta (road equipment)						
I/II	postavljanje (placement)	kompletna, pravilno postavljena (complete, properly placed)	< 5 % ispod nivoa usluge (< 5 % below the performance level)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
I/II	stanje (condition)	čista i vidljiva (clean and visible)	< 5 % ispod nivoa usluge (< 5 % below the performance level)	24 sata (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
putni pojas (roadside area)						
I/II	vegatacija do 3 m od ivice kolovoza (vegetation up to 3 m from the edge of the carriageway)	samo travnati pokrivač (exclusively grass covering)	visina trave < 15 cm (height of grass < 15 cm)	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
I/II	vegetacija na kosinama (vegetation on slopes)	travnati pokrivač i žbunje do visine od 50 cm (grass covering and shrubbery up to a height of 50 cm)	visina trave i žbunja (height of grass and shrubbery) < 1 m	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
I/II	strani elementi (foreign elements)	bez smeća, nanosa i mrtvih životinja (no garbage, deposits or dead animals)	-	48 sati (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	nedeljno (weekly)
preglednost (visibility)						
I/II	preglednost (visibility)	bez prepreka (no obstructions)	min 200 m	1 nedelja (week)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)

kategorija puta (road category)	pokazatelj (indicator)	nivo usluge (performance level)	tolerancija (tolerance)	vreme odgovora (response time)	metoda merenja (method of measurement)	učestalost merenja (frequency of measurement)
I/II	vertikalna ograničenja (vertical limitations)	bez prepreka (no obstructions)	min 5 m	72 sata (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	mesečno (monthly)
zimsko održavanje (Winter maintenance)						
I	taloženje snega (snow deposits)	bez taloženja (no deposits)	< 5 cm taloženja na saobraćajnim trakama i < 10 cm na ostalim trakama (< 5 cm of depositing on traffic lanes and < 10 cm on other lanes)	2 sata (hours)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dva puta dnevno (two times daily)
II			< 10 cm taloženja (< 10 cm of depositing)	8 sati (hours)		
I	uklanjanje snega (snow removal)	kompletno uklanjanje sa svih saobraćajnih traka i bankina (complete removal from all traffic lanes and shoulders)	kompletno uklanjanje sa svih saobraćajnih traka (complete removal from all traffic lanes)	2 dana (days)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)
II			kompletno uklanjanje na širini od 5 m (complete removal with a width of 5 m)	4 dana (days)		
I	kontrola leda (ice control)	potpuno uspostavljeno trenje (complete establishment of friction)	trajanje gubitka trenja (duration of friction loss) < 1 hour	odmah (immediately)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	tri puta dnevno (three times daily)
II			trajanje gubitka trenja (duration of friction loss) < 3 hours			
I/II	odgovor na snežne lavine (response to avalanches)	aktiviran plan potrage i spašavanja i započeto čišćenje (activated search and rescue plan, cleaning initiated)	-	odmah (immediately)	pregled stanja-izvođač/nadzor (inspection of condition-contractor/supervision)	-
I/II	bez iznenađenja za vozače (no surprises for drivers)	svi privremeni znaci postavljeni i vidljivi (all temporary signs placed and visible)	-	odmah (immediately)	vizuelni pregled stanja-izvođač/nadzor (visual inspection of condition-contractor/supervision)	dnevno (daily)
ažuriranje baze podataka (database update)						
I/II	obezbeđenje informacija (securing information)	dostavljena informacija (information delivered)	-	3 meseca (months)	kontrola baze podataka (verification of the database)	mesečno (monthly)

## 5 PREDLOG POKAZATELJA IZVRŠENJA ZA REGION

Prvi ugovori za održavanje puteva prema definisanom nivou usluge su, osim u razvijenim zemljama zapadne Evrope sa naprednim sistemima upravljanja održavanjem puteva, počeli da se primenjuju u zemljama južne Amerike i Afrike [7, 8]. U regionu se ističe primer primene ove vrste ugovora u Republici Srbiji. Ovaj primer je interesantan usled činjenice da je Republika Srbija zemlja sa praktično podjednakim iskustvom u putnoj privredi kao i većina zemalja bivše Jugoslavije, i sličnom praksom izvršavanja aktivnosti održavanja puteva.

U ovom trenutku, Republika Srbija ima iskustvo u ugovorima na bazi definisanog nivoa usluge dugo četiri godine u okviru regiona Mačve i Kolubare dok se kod drugih regija održavanje i dalje ugovara na klasičan način [4, 5]. Specifičnost ove vrste ugovora je da je sačinjen kao kombinacija tradicionalnog načina izvođenja radova redovnog održavanja za jedan manji broj pozicija, dok je većina ugovorena prema definisanom nivou usluge. Zimsko održavanje puteva je u kompletno ugovoreno prema definisanom nivou usluga.

Na osnovu analize iskustava širom sveta, kao i na osnovu iskustva Republike Srbije, može se doneti zaključak da se većina pogodnih pokazatelja izvršenja (Tabela 2) može pratiti u okviru konteksta ugovora prema definisanom nivou usluge, bez velikih napora, i u okviru redovnih aktivnosti izvođača i nadzora. Predloženi pokazatelji izvršenja se uglavnom mogu utvrditi vizuelnim pregledom kolovoza i drugih elemenata puta. Lista ne sadrži pokazatelje izvršenja koji se moraju utvrditi specijalnom opremom, kao što su profilograf, deflektometar i sl. Međutim, ovim se ne ograničava agencija za puteve, kao upravljač putnom mrežom, da prati sve predložene pokazatelje izvršenja (Tabela 1) i tako vrednuje izvršenje izvođača u obezbeđivanju nivoa usluge.

Napor koji će agencije za puteve morati da načine kako bi efikasno i efektivno pripremile i realizovale ove ugovore je utvrđivanje odgovarajućih početnih pokazatelja stanja, na osnovu kojih bi se planirala i realizovala intervencija, pratila realizacija i utvrđivao postignut nivo usluge na putevima. Većina agencija za puteve u regionu poseduje baze podataka o putevima u njihovoj nadležnosti, sa različitim preseccima stanja, tako da za pojedine treba obaviti njihovo ažuriranje da bi se utvrdilo početno stanje. Ova aktivnost u određenoj meri može predstavljati otežavajuću okolnost pošto zahteva značajno angažovanje novčanih sredstava, ljudskih resursa i vremena. Međutim, kako bi se ugovor kvalitetno pripremio i da bi ponuđači i upravljači imali dobru osnovu za pripremu ponude, izvođenje radova i upravljanje realizacijom ugovora, ova aktivnost se mora pravovremeno, pouzdano i detaljno realizovati.

## 5 PROPOSED PERFORMANCE INDICATORS FOR THE REGION

The first performance based maintenance contracts were introduced in the countries of South America and Africa [7, 8] besides the developed countries of Western Europe with advanced road maintenance management systems. The example of application of this type of contract in the Republic of Serbia is emphasized in the region. This example is interesting due to the fact that the Republic of Serbia is a country with practically equal experience in the transportation sector as a majority of the countries of the former Yugoslavia, and similar practice in the performance of road maintenance activities.

Currently, the Republic of Serbia has a four year long experience in performance based contracts within the regions of Mačva and Kolubara while in the other regions maintenance is contracted in the traditional manner [4, 5]. The specificity of this type of contract is that it is composed as a combination of the traditional method of conducting regular maintenance works for a smaller number of items, while the majority is contracted according to the defined performance level. Winter road maintenance is contracted completely according to a defined performance level.

Based on the worldwide experience analyses as well as on the experience in the Republic of Serbia, the conclusion is that a majority of suitable performance indicators (Table 2) can be monitored within the framework of the context of a performance based contract, without great effort, and within the framework of the regular activities of the contractor and supervisory service. The proposed performance indicators are mostly determined by visual review of the carriageway and other elements of the road. The list lacks performance indicators which should be determined using special equipment such as a profilograph, deflectometer, etc. However, this does not limit the roads agency, as the manager of the transportation network, from monitoring all proposed performance indicators (Table 1) and evaluating the performance of the contractor in providing the level of service.

The effort which the agency for roads should put forth in order to efficiently and effectively prepare and realize the terms of the contracts determines the proper initial indicators of the condition on the basis of which intervention would be planned and realized, realization monitored and the achieved level of performance on the roads would be determined. A majority of roads agencies within the region have a road database in their responsibility, with various cross sections of the condition, so it may be necessary to update some to determine the initial condition. This activity, to a certain extent, may represent an impending circumstance because it requires a significant commitment of monetary resources, human resources and time. However, in order to make a high quality contract and good basis for preparing bids, conducting works and managing the realization of the contract, this activity should be realized in a timely, reliable and detailed manner.

Tabela 2. Osnovni pokazatelji izvršenja za region  
Table 2. Basic performance indicators for the region

grupa (group)	pokazatelj (indicator)
osnovni kolovoz (kolovoz i bankina) (basic carriageway (carriageway and shoulders))	1. udarne rupe/km (potholes/km) 2. pukotine (cracks) 3. kolotrazi (samo identifikacija) (rutting (identification only)) 4. lom ivice kolovoza (edge break) 5. bankine (shoulders) 6. deformacije i ulegnuća (deformation and settling) 7. čupanje agregata (raveling) 8. izlučivanje bitumena (bleeding) 9. lom kolovoza (pavement failure)
šljunkoviti i makadamski putevi (gravel and macadam roads)	10. brzina vožnje (speed of travel) 11. rupe/km (potholes/km) 12. omekšavanje površine (softening of the surface) 13. bankine (shoulders)
nasipi i kosine (embankments and slopes)	14. erozija površine (surface erosion) 15. nanosi (deposits)
objekti (structures)	16. prepreka (obstructions) 17. stanje (condition)
propusti (culverts)	18. vodeni tok (water flow) 19. stanje (condition)
elementi za odvodnjavanje (rigoli, kanali i drenaže) (water drainage elements (gutters, channels and drains))	20. poprečni presek (cross section) 21. položaj kanala i rigola (position of channels and gutters)
znakovi (signs)	22. postavljanje (placement) 23. stanje (condition) 24. čitljivost (readability)
horizontalna signalizacija (horizontal signalization)	25. stanje (condition)
oprema puta (road equipment)	26. postavljanje (placement) 27. stanje (condition)
putni pojas (roadside area)	28. vegetacija do 3 m od ivice kolovoza (vegetation up to 3 m from the edge of carriageway) 29. vegetacija na kosinama (vegetation on slopes) 30. strani elementi (foreign elements)
preglednost (visibility)	31. daljina preglednosti (visibility distance) 32. vertikalna ograničenja (vertical limitations)
zimsko održavanje (winter maintenance)	33. taloženje snega (snow deposits) 34. uklanjanje snega (snow removal) 35. kontrola leda (ice control) 36. odgovor na snežne lavine (response to avalanches) 37. bez iznenađenja za vozače (no surprises for drivers)
ažuriranje baze podataka (database update)	38. obezbeđenje informacija (securing information)

## 6 ZAKLJUČAK

Danas se upravljanje putevima uglavnom zasniva na ciljevima i analizi rezultata. Bilo kakvo unapređenje u rezultatima zahteva naknadnu i odgovarajuću ocenu. Najčešće korišćena tehnika za vrednovanje je poređenje rezultata dobijenih tokom različitih vremenskih perioda, a odgovarajući pokazatelji izvršenja upravo tu nalaze svoju punu primenu.

## 6 CONCLUSION

Today management of roads is mainly based on the objectives and results analysis. Any advancement in results requires compensation and proper evaluation. The most commonly used technique for evaluation is to compare the results obtained during various time periods, and thus, proper performance indicators find full use of this purpose.



Primarni zadatak pokazatelja izvršenja je podržavanje donosilaca odluka na svim nivoima upravljanja putevima, čime se obezbeđuje efikasnost aktivnosti i najbolje iskorišćavaju javni resursi. Povratna informacija o stvarnom učinku može da utiče na ciljeve agencije, kao i na buduće odluke po pitanju raspodele i korišćenja resursa.

Ugovori o održavanju puteva prema definisanom nivou usluge se sve više primenjuju u svetu, uz postizanje značajnih rezultata u smislu stanja putne mreže, obezbeđenja odgovarajućih uslova za odvijanje saobraćaja i višeg nivoa bezbednosti saobraćaja, kao i ušteda materijalnih i finansijskih resursa.

Složenost ugovora prema definisanom nivou usluge, posebno u pogledu pokazatelja, stanja kolovozne površine i trajanja ugovora, treba da bude zasnovana na prethodnom iskustvu kod ugovaranja održavanja puteva, na sposobnosti agencije za puteve da pripremi i prati takve ugovore i kvalifikacijama lokalnih izvođača u pogledu upravljanja ovim novim tipom ugovora o održavanju puteva. Postepen pristup sa kraćim ugovorima i ograničenim skupom pokazatelja koji bi se odnosili na kontrolu udarnih rupa i pukotina i čišćenje sistema za odvodnjavanje, se preporučuje u onim situacijama kada postoji relativno malo iskustvo u ugovaranju radova održavanja.

Primarna prednost ugovaranja održavanja puteva prema pokazateljima izvršenja je potencijal u smanjenju troškova održavanja i poboljšanju stanja puteva. Druga važna prednost je ta što korisnici tačno znaju kakvo stanje na putevima očekuju i traže. Međutim, nedovoljno sprovođenje ove šeme može da izazove neželjene efekte.

Odgovarajuće praćenje izvršenja i stroga primena kazni za nepoštovanje ugovornih odredbi se pokazalo kao izuzetno važno sredstvo za postizanje uspeha. U slučajevima da agencije za puteve nisu na odgovarajući način pratile izvršenje izvođača ili ako nisu primenile utvrđene kazne za nepridržavanje ugovora, izvršenje izvođača je bilo loše.

U radu je opisana problematika definisanja konkretnih pokazatelja na kojima bi moglo da se zasniva prećenje izvršenja ugovora o održavanju puteva prema definisanom nivou usluge. Predloženi pokazatelji predstavljaju minimalan broj konkretnih elemenata koje svaki upravljač mora da prati kako bi uspešno rukovodio ovom vrstom ugovora.

Agencije koje su još uvek koncentrisane na pokazatelje izveštavanja, uz ilustriranje cene i količine obavljenih radova, moraju da pretrpe odgovarajuću transformaciju poslovanja u skladu sa dodeljenom odgovornošću za funkcionisanje i kvalitet putne mreže i radi zadovoljavanja zahteva javnosti. Iako ovi pokazatelji mogu da pokažu ekonomičnost aktivnosti i koliko je agencija bila angažovana, ipak oni pružaju malo informacija o stepenu do kog su se resursi koristili ili do kog je obavljen posao doprineo efikasnosti postizanja ciljeva agencije.

The primary task of performance indicators is to provide support to decision makers at all levels of road management which ensures efficiency in the activities which are conducted and the best use of public resources. Feedback information on the actual output may have an influence on the objectives of the agency, as well as on future decisions with regards to distribution and utilization of resources.

Performance based maintenance contracts are used worldwide with significant results in the sense of the condition of the transportation network, providing the proper conditions for traffic and a higher level of traffic safety, as well as savings in material and financial resources.

The complexity of performance based contracts, especially in the sense of indicators, carriageway surface condition and duration of the contract should be based on previous experience in road maintenance contracting, on the capabilities of the roads agency to prepare and monitor these contracts and the qualifications of local contractors in the sense of managing this new type of road maintenance contract. A gradual approach with shorter contracts and limited groups of indicators which would relate to control of potholes and cracks and cleaning of the water drainage system is recommended in situations when there is a relatively low level of experience with road maintenance contracting.

The primary advantage of contracting road maintenance according to performance indicators is the potential for decreased expenses for maintenance and improved road condition. Another important advantage is that users know exactly what kind of condition to expect and demand on the roads. However, insufficient implementation of this model can cause adverse effects.

The proper monitoring of performance and strict use of penalties for disregarding the provisions of the contract are exceptionally important means for achieving success. The contractor's performance was poor in cases when the roads agencies fail to properly monitor the performance of the contractor or when they fail to impose penalties for disregarding the provisions of the contract.

The paper deals with problems in defining real indicators which could be the basis for monitoring implementation of performance based maintenance contract. The proposed indicators represent the minimum number of real elements which each manager has to monitor in order to successfully manage this type of contract.

Agencies that are still concentrated on reporting indicators, with illustrated prices and quantities of conducted works, should be changed in accordance with the distribution of responsibility for the functioning and quality of the transportation network and for the purpose of satisfying public demand. Despite the fact that these indicators can show the economical aspects of an activity and the level of involvement, they still offer very little information on the degree to which the resources were utilized or to which the conducted work contributed the effectiveness of achieving the objectives of the agency.

## 7 LITERATURA REFERENCES

- [1] Engelke, T., Long term performance based road maintenance contracts in Western Australia, Bay Roads Exposed Conference, Rotorua, 2003.
- [2] Outcome based management, Guidelines for use in the Western Australia public sector, Western Australia Department of Treasury and Finance, Government of Western Australia, Perth, Australia, 2004.
- [3] Pilot projekat redovnog i zimskog održavanja puteva Mačvanskog i Kolubarskog okruga 2004-2008, Priručnik za konsultantske usluge nadzora, JP Putevi Srbije, Beograd, 2008.
- [4] Radović, N., Performance based maintenance contracting-Prisprema i ugovaranje, Seminar on Road Maintenance Management, Skopje, Macedonia, September 16-17, 2008.
- [5] Subotički-Đorđević, G., Pilot projekat redovnog održavanja puteva u Republici Srbiji-Implementacija ugovora, rezultati i naredni koraci, Seminar on Road Maintenance Management, Skopje, Macedonia, September 16-17, 2008.
- [6] The performance-based management handbook, Volume 2: Establishing an integrated performance measurement system, Performance-Based Management Special Interest Group, USA, 2001.
- [7] Zietlow, G., Cutting costs and improving quality through performance-based road management and maintenance contracts, The Latin American and OECD experiences, Senior Road Executives Programme Restructuring Road Management, Birmingham, UK, 2007.
- [8] Zietlow, G., Implementing performance-based road management and maintenance contracts in developing countries, An instrument of German technical cooperation, German Development Cooperation, Eschborn, Germany, 2004.
- [9] Yoshida, T., Performance-based specification as a step to performance-based management and maintenance of pavement in Japan, 2002.

### REZIME

#### PRAĆENJE IZVRŠENJA UGOVORA O ODRŽAVANJU PUTEVA PREMA DEFINISANOM NIVOU USLUGE

Igor JOKANOVIĆ

Primarni zadatak pokazatelja izvršenja je pružanje podrške donosiocima odluka na svim nivoima upravljanja putevima, čime se obezbeđuju efikasne radnje i najbolje iskorišćavaju javni resursi. Ugovori prema definisanom nivou usluge preciziraju minimum uslova koje izvođač mora da ispuni u vezi sa stanjem puteva, objekata i opreme, kao i u izvršenju drugih sličnih usluga na putnoj mreži. Plaćanja su zasnovana na tome koliko dobro izvođači poštuju standarde izvršenja definisane u ugovoru, a ne na količini izvršenog posla ili pruženim uslugama. Održavanje zasnovano na definisanom nivou usluge, kao jedna od varijanti smanjenja troškova tokom životnog ciklusa puta i poboljšanja nivoa kvaliteta usluga, se u velikoj meri oslanja na praćenje izvršenja aktivnosti izvođača, kako od strane samih izvođača, tako i od agencija za puteve.

**Ključne reči:** putevi, održavanje, upravljanje održavanjem, nivo usluge, merenje izvršenja, pokazatelji izvršenja

### SUMMARY

#### MONITORING THE IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE BASED MAINTENANCE CONTRACTS

Igor JOKANOVIC

The primary task of performance indicators is to provide support to decision makers at all levels of road management which ensures effective work and the best use of public resources. Performance based contracts specify the minimum conditions which the contractor should fulfill in relation to the conditions of roads, structures and equipment, as well as in performing other similar services on the road network. Payments are based on how well the contractors follow the performance standards defined in the contract, and not on the amount of performed activities or provided services. Maintenance based on the defined performance level, as one of the variants for decreasing expenses during the road life cycle and improving the quality of performance, in large part relies on the monitoring of the implementation of contractor's activities, both by the contractors themselves and by the roads agencies.

**Keywords:** roads, maintenance, maintenance management, performance level, performance measurement, performance indicators

# PRIMENA POSIBILISTIČKOG POSTUPKA KOD PLANIRANJA VREMENA REALIZACIJE GRAĐEVINSKIH PROJEKATA

## APPLICATION OF POSSIBILITISTIC PROCEDURE WHEN PLANNING THE TIME FOR COMPLETION OF CONSTRUCTION PROJECTS

Velimir DUTINA  
Ljubo MARKOVIĆ  
Miljan KOVAČEVIĆ

STRUČNI RAD  
UDK: 519.766.4:005.8 = 861

### 1 UVOD

Učesnike u realizaciji građevinskih projekata (investitora i izvođače) povezuje zajednički interes u procesu upravljanja građevinskim projektom - uspešna realizacija projekta, odnosno ostvarivanje osnovnih ciljeva: troškovi u okviru planiranih sredstava, zadovoljavajući kvalitet izvedenih radova i posao završen u planiranom vremenu.

Planiranje vremena izvođenja jedan je od osnovnih zadataka upravljanja građevinskim projektima [1,8]. U praksi, rokovi se određuju bez posebne stručne analize, uglavnom prema zahtevima investitora ili iskustvu sa sličnih realizovanih projekata. Kao posledica takvog pristupa dolazi do prekoračenja planiranog vremena realizacije, što u nekim slučajevima može dovesti i do sudskog spora između ugovornih strana.

Za planiranje vremena izvođenja projekata koriste se dva pristupa: deterministički (CPM metoda - metoda kritičnog puta) i stohastički (PERT metoda).

U stohastičkom postupku primenjuje se matematička statistika i na bazi statističkih podataka određuje se ocena i verovatnoća trajanja pojedinih aktivnosti i završetka faze projekta ili projekta u celini u prethodno predviđenom ili ugovorenom roku. Pored ocene verovatnoća (probabilistički pristup), veoma je važno da se oceni mogućnost izvođača radova (posibilistički pristup) da

### 1 INTRODUCTION

The participants in the implementation of construction projects (investors and contractors) are connected by common interest in the process of construction project management – the successful implementation of a project, i.e. the accomplishment of the basic goals: the expenditures within the planned funds, satisfactory quality of works performed and the whole job completed on time.

Planning the time of implementation is one of the main tasks of construction project management [1,8]. In practice, the time limits are determined without any particular expert analysis, mainly either according to the requirements of the investor or the experience gain at completed similar projects. The consequence of such an approach is overrunning intended time of implementation, which in some cases can lead even to legal dispute between the parties of the contract.

Two approaches are used to plan the time of project completion: deterministic (CPM or Critical Path Method) and stochastic (PERT method).

The stochastic procedure uses mathematical statistics and based on statistical data the estimate is determined and the probability of duration of certain activities and the completion of a project stage or project

---

Prof. dr Velimir Dutina, dipl. građ. ing, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, Kneza Miloša br.7, Kosovska Mitrovica.  
Doc. dr Ljubo Marković, dipl. građ. ing, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici.  
Asistent Miljan Kovačević, dipl. građ. ing, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici.

---

Prof. dr Velimir Dutina, dipl. građ. ing, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, Kneza Miloša br.7, Kosovska Mitrovica.  
Doc. dr Ljubo Marković, dipl. građ. ing, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici.  
Asistent Miljan Kovačević, dipl. građ. ing, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici.

završi preuzete obaveze u predviđenom ili ugovorenom roku. Pojam mogućnosti izražava sposobnost i spremnost izvođača da u datim uslovima i u predviđenom vremenu izvrši preuzete obaveze i zadatke i razlikuje se od pojma verovatnoće koji se vezuje za statističke podatke o nekim ranijim ostvarenjima. Nešto što je moguće može, ali ne mora biti verovatno, u zavisnosti od različitih okolnosti koje utiču da nešto što je moguće postane i verovatno.

U procesu planiranja vremena izvođenja projekta treba primeniti Teoriju mogućnosti, odnosno pored probabilističkog uvesti i posibilistički pristup. Na ovaj način se problem još više uopštava i znatno bolje sagledava kvalitet rešenja primenom posibilističko-determinističkog i posibilističko-stohastičkog postupka [6].

## 2 TEORIJA MOGUĆNOSTI

Osnove Teorije mogućnosti postavio je L. Zadeh [11]. Ova teorija se zasniva na Teoriji rasplnutih skupova (Fuzzy Set Theory) [9] koja obezbeđuje formalni sistem za predstavljanje i razumevanje situacija prilikom pojave nesigurnih i nepreciznih informacija. U klasičnom modelovanju veze su izražene matematičkim funkcijama. Kako sistemi postaju komplikovaniji postaje otežano primenjivati matematičko modelovanje, pa se za ove situacije koriste rasplnuti fuzzy modeli. U novije vreme koriste se i veštačke neuronske mreže što je obrađeno u radu M.Kneževića i R.Zejaka [5].

Konvencionalne teorije skupova koriste skupove sa stepenom pripadnosti na objektima 0 ili 1. Vrednost 1 ukazuje da objekat potpuno pripada skupu, u suprotnom, ako uopšte ne pripada, objektu se pridružuje vrednost 0.

Teorija rasplnutih skupova pridružuje sve vrednosti od 0 do 1, što znači da objekat može i delimično da pripada skupu.

Teorija rasplnutih skupova sastoji se u sledećem:

Za zadati skup  $T$  čiji su elementi  $t$  realni brojevi, postoji podskup  $T_i \in T$ , kojima se pridružuju vrednosti neke funkcije  $m(t_i)$  čije su vrednosti realni brojevi u intervalu (0,1). Podskup  $T_i$  predstavlja rasplnuti skup ili takozvanu rasplnutu restrikciju (fuzzy restriction) na skupu  $T$ . Funkcija  $m(t_i)$  se naziva funkcija pripadnosti (membership function) elemenata  $t_i$  na skupu  $T_i$ .

Funkcija pripadnosti može biti sledećih oblika, što je stvar individualne procene (slika 1.).

as a whole within the previously determined or contracted time limit. In addition to the probability (probabilistic approach), it is very important to assess the possibility of a contractor (possibilistic approach) to complete the obligations undertaken within the intended or contracted time limit. The notion of possibility expresses the capability and willingness of a contractor to complete the undertaken obligations and tasks under the given conditions and within time provided for them and it differs from the notion of probability which is linked to statistical data of some earlier achievements. Something which is possible can, but need not be probable, depending on various circumstances influencing that something possible becomes also probable.

In the process of planning the time of project implementation the Possibility Theory should be applied, i.e. in addition to probabilistic the possibilistic approach should be introduced. In this way the problem becomes more general and the quality of solution is much better considered by using possibilistic-deterministic and possibilistic-stochastic procedures [6].

## 2 POSSIBILITY THEORY

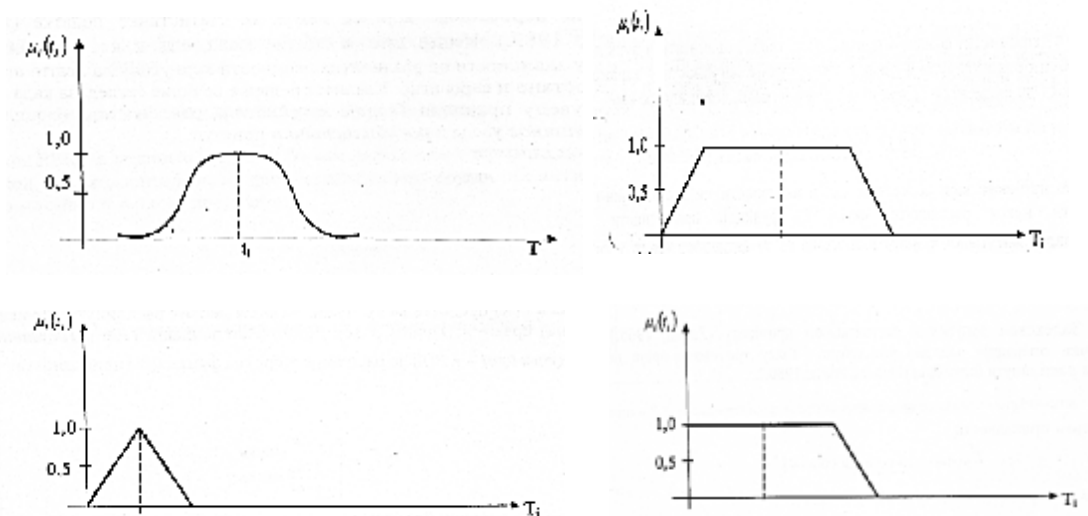
The foundations of the Possibility Theory were laid by L. Zadeh [11]. This theory is based on the Fuzzy Set Theory [9] which provides the formal system for representation and comprehension of the situation when insecure and imprecise pieces of information occur. In classic modelling the connections are expressed by mathematical functions. As systems become more complex, it becomes more difficult to apply mathematical modelling and therefore the fuzzy models are used in these situations. There are also artificial neural networks which have been used recently in the papers by M. Knezevic and R. Zejak [5].

Conventional set theories use sets with the degree of belongingness to the set on to the set on objects 0 or 1. Value 1 suggests that the object belongs to the set entirely, otherwise, if it does not belong to the set at all, it is assigned the value 0.

The Fuzzy Set theory assigns all values ranging from 0 to 1, which means that the object can belong to the set partially. The Fuzzy Set theory consists of the following:

For any given set  $T$  whose elements are  $t$  real numbers there is a sub-set  $T_i \in T$ , whose elements are assigned the values of a function  $m(t_i)$  the values of which are real numbers in the interval (0, 1). The sub-set  $T_i$  represents a fuzzy set or the so-called fuzzy restriction on set  $T$ . The function  $m(t_i)$  is called the membership function of  $t_i$  elements on the set  $T_i$ .

The membership function can have one of the following forms, which is based on the individual assessment (Figure 1.).



Slika 1. Primeri kontinualnih funkcija pripadnosti  
 Figure 1. Examples of continuous membership functions

Definiše se funkcija distribucije mogućnosti  $\pi_i$  za koju važi:

$$p_i(t_i) = Poss\{T_i = t_i\} = m(t_i) \quad (1)$$

i izražava mogućnost da element  $t_i \in T_i$ .

Za projekat koji se sastoji od  $m$  aktivnosti čija su trajanja  $t_i$  elementi nekog rasplnutog skupa  $T_i$  funkcija pripadnosti  $\mu_i$  predstavlja mogućnost nekog izvršioca da tu aktivnost uradi u toku nekog vremena  $t_i$ .

Funkcija  $\pi_i$  izražava stepen mogućnosti izvršioca i kada je  $\pi_i(t_i)=0$  onda ne postoji mogućnost da se aktivnost  $i$  obavli u toku vremena. Ako je  $\pi_i(t_i)=1$ , onda je ta mogućnost maksimalna.

U determinističkom postupku CPM metode vrednost ove funkcije je:

$$p_i(t_i) = \begin{cases} 1 & \text{za } t_i = a_i \\ 0 & \text{za } t_i \neq a_i \end{cases} \quad (2)$$

gde je:

$a_i$  - neka zadata ili utvrđena vrednost trajanja aktivnosti  $i$ .

Trajanje aktivnosti  $t_i$  kao rasplnute varijable i stepeni mogućnosti izvršenja  $\pi_i$  procenjuju se na osnovu iskustva. Za praksu je pogodno da se izaberu neke karakteristične funkcije mogućnosti (0,25; 0,50; 0,75; 1,0) i njima odgovarajuća vremena  $t_i$ .

### 2.1 Određivanje najranijih i najkasnijih početaka i završetaka aktivnosti i njihovih stepena mogućnosti

Ako su aktivnosti  $A_i$  čije je trajanje  $t_i$  prikazane pomoću krugova, ili pravougaonika (precedence dijagram), onda se vremena njihovih najranijih i najkasnijih završetaka ( $RZ_i$  i  $KZ_i$ ) izračunavaju pomoću izraza prema [6]:

The possibility distribution function  $\pi_i$  is defined for which the following is valid:

and it expresses the possibility that the element  $t_i \in T_i$ .

For the project which consists of  $m$  activities whose durations are the  $t_i$  elements of a  $T_i$  fuzzy set, the membership function  $\mu_i$  represents the possibility of a contractor to complete this activity within some time limit  $t_i$ .

The function  $\pi_i$  expresses the degree of possibility of a contractor and when  $\pi_i(t_i)=0$ , then there is not a possibility to complete the activity  $i$  within the time limit. If  $\pi_i(t_i)=1$ , then this possibility is maximum.

Within the deterministic procedure of the CP method the value of this function is:

where:

$a_i$  - is a set or determined value of  $i$  activity duration.

The duration of  $t_i$  activity as fuzzy variable and the degrees of possibility of completion  $\pi_i$  are estimated based on the experience. It is suitable for the practice to choose some characteristic functions of possibility (0.25; 0.50; 0.75; 1.0) and their corresponding  $t_i$  times.

### 2.1 Determining the earliest and the latest beginning and ending of activities and their degree of possibility

If the  $A_i$  activities the durations of which  $t_i$  are shown by means of circles or rectangles (precedence diagram), then the time of their earliest and latest completion ( $RZ_i$  and  $KZ_i$ ) is calculated by means of the expression from [6]:

$$RZ_i = \max_p (RZ_p + t_i) \quad (3)$$

$$p(RZ_i) = \sup_p \left\{ \min \left[ p(RZ_p), p(t_i) \right] \right\} \quad (4)$$

$$KZ_i = \min_n (KZ_n - t_i) \quad (5)$$

$$p(KZ_i) = \sup \left\{ \min \left[ p(KZ_n), p(t_i) \right] \right\} \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; p = 1, 2, \dots, m-1; n = 2, 3, \dots, m. \quad (7)$$

Ako se vremena trajanja aktivnosti razmatraju kao kontinualne konveksne fuzzy promenljive, onda se početak i završetak aktivnosti za karakteristične vrednosti funkcije mogućnosti, koja je takođe kontinualna lako određuju. Za svaku karakterističnu vrednost funkcije mogućnosti odrede se ponaosob vremena najranijih i najkasnijih početaka i završetaka svih aktivnosti i vremenske rezerve, na isti način kao u običnom CPM postupku.

If the periods of duration of activities are considered as continuous convex fuzzy variables, then it is easy to determine the beginning and ending of activities for characteristic values of possibility function, which is also continuous. The respective times of the earliest and the latest beginning and ending of all activities and time reserves are determined for each characteristic value of possibility function, in the same way as in ordinary CPM procedure.

### 3 PROBABILISTIČKO - POSIBILISTIČKI POSTUPAK ODREĐIVANJA ZAVRŠETKA PROJEKTA

U ovom postupku se određuje vreme realizacije aktivnosti projekta u celini kombinujući probablističku PERT metodu i uzimajući u obzir mogućnost izvođača radova da projekat realizuje u nekom periodu vremena. Probablističkim postupkom se dobija funkcija raspodele verovatnoće  $p(t)$ , dok se posibilističkim postupkom dobija funkcija mogućnosti  $p(t)$  završetka projekta u intervalu vremena  $(0, t)$ .

Za potpuniju ocenu verovatnoće završetka projekta, a imajući u vidu mogućnosti izvršioca, koristi se mera verovatnoće rasplnutih događaja (fuzzy events) [10]. Vreme završetka projekta  $t$  se može shvatiti kao vreme koje pripada rasplnutom (fuzzy) skupu  $T$ , tj.  $t \in T$ , kojem odgovara funkcija pripadnosti  $\pi(t)$ . Primenom PERT metode, za poznata pesimistička, modalna i optimistička vremena trajanja aktivnosti, može se dobiti očekivano vreme  $t$ , varijansa  $V$  i standardna devijacija  $\sigma$  slučajne promenljive  $t$ , koja reprezentuje završetak projekta [2,3,4,7]. Primenom centralne limitne teoreme matematičke statistike dokazuje se u PERT metodi da slučajna promenljiva ima normalnu (Gaussovu) raspodelu verovatnoće, čija je funkcija gustine raspodele:

$$f(t) = \frac{1}{s\sqrt{2p}} e^{-\frac{(Te-t)^2}{2s^2}} \quad (8)$$

Funkcija raspodele verovatnoće  $p(t)$ , koja izražava verovatnoću da će se projekat završiti u intervalu vremena  $(0, t)$  dobija se prema izrazu iz reference [6]:

$$p(t) = \text{Prob}\{T \leq t\} = \int_0^t f(t) dt \quad (9)$$

$T$  je rasplnuta slučajna varijabla, koja ima funkciju gustine verovatnoće  $f(t)$  i funkciju mogućnosti  $p(t)$ .

### 3 PROBABILISTIC-POSSIBILISTIC PROCEDURE OF DETERMINING THE PROJECT COMPLETION

This procedure determines the time of completion of project activities as a whole combining probabilistic PERT method and taking into account the capability of contractors to complete a project within a certain period of time. Probabilistic procedure provides for the probability distribution function  $p(t)$ , while the possibilistic procedure provides for the possibility function  $p(t)$  to complete the project within a time interval  $(0, t)$ .

For the more thorough evaluation of probability of project completion, and taking into account the capabilities of a contractor, the measure of probability of fuzzy events is used [10]. fuzzy set  $T$ , i.e.  $t \in T$ , to which the membership function  $\pi(t)$  corresponds. By application of the PERT method for the known pessimistic, modal and optimistic times of activity duration, it is possible to obtain the expected time  $t$ , variance  $V$  and standard deviation  $\sigma$  of random variable  $t$ , which represents the completion of project [2,3,4,7]. By application of central limit theorem of mathematical statistics, it is proved in the PERT method that the random variable has normal (Gauss) distribution of probability, whose density distribution function is:

Probability  $p(t)$  that the project will be completed within time interval  $(0,1)$  taking into account that  $T$  is random and fuzzy variable is determined according to the expression from reference [6]:

$T$  is a fuzzy random variable, which has a probability density function  $f(t)$  and the possibility function  $p(t)$ .

Funkcija  $p(t)$  izražava mogućnost da završetak projekta bude jednak vrednosti  $t$ .

The function  $p(t)$  expresses the possibility for the completion of the project to be equal to  $t$  value.

$$p(t) = Poss\{T = t\} \quad (10)$$

Očekivana vrednost funkcije mogućnosti  $\bar{p}$  može se formulisati izrazom prema [6]:

And therefore the expected value of possibility function  $\bar{p}$  can be expressed by the expression from [6]:

$$\bar{p} = \int_0^t p(t) f(t) dt \quad (11)$$

Očekivano vreme  $t^*$ , varijansa  $V^*$  i standardna devijacija  $\sigma^*$  završetka projekta kao rasplnute i slučajne promenljive, određuju se prema izrazu iz reference [6]:

The expected time  $t^*$ , variance  $V^*$  and standard deviation  $\sigma^*$  of project completion as fuzzy and random variables are determined according to the expression from reference [6]:

$$t^* = \frac{1}{\bar{p}} \int_0^{\infty} t \cdot f(t) p(t) dt \quad (12)$$

$$V^* = \frac{1}{\bar{p}} \int_0^{\infty} (t - t^*)^2 \cdot p(t) f(t) dt \quad (13)$$

$$S^* = \sqrt{V^*} \quad (14)$$

Verovatnoća  $p(t)$  da se projekat završi u intervalu vremena  $(0, t)$  uzimajući u obzir da je  $T$  slučajna i rasplinuta (fuzzy) varijabla, određuje se prema izrazu iz reference [6]:

Probability  $p(t)$  that the project will be completed within time interval  $(0, t)$  taking into account that  $T$  is random and fuzzy variable is determined according to the expression from reference [6]:

$$p^*(t) = \frac{1}{\bar{p}} \int_0^t f(t) p(t) dt \quad (15)$$

Ako se uvede funkcija:

If we introduce the function:

$$f^*(t) = \frac{p(t) f(t)}{\bar{p}} \quad (16)$$

onda prethodni izrazi za očekivano vreme  $t^*$ , varijansu  $V^*$  i standardnu devijaciju  $\sigma^*$  dobijaju sličan oblik kao u matematičkoj statistici za nerasplnute slučajne varijable prema [6]:

then the previous expressions for expected time  $t^*$ , variance  $V^*$  and standard deviation  $\sigma^*$  obtain the similar form as in mathematical statistics for non-fuzzy random variables from [6]:

$$t^* = \int_0^{\infty} t \cdot f^*(t) dt \quad (17)$$

$$p^*(t) = \int_0^{\infty} f^*(t) dt \quad (18)$$

$$V^* = \int_0^{\infty} (t - t^*)^2 \cdot p(t) f^*(t) dt \quad (19)$$

Postupak određivanja ovih vrednosti za poznatu strukturu plana realizacije projekta (mrežni dijagram) sastoji se od sledećih koraka:

The procedure of determining these values for the known structure of project execution plan (network diagram) consists of the following steps:

- Za karakteristične vrednosti funkcije mogućnosti  $\pi_i$  odrede se karakteristična trajanja svih aktivnosti.
- Za svaku karakterističnu vrednost funkcije mogućnosti odrede se odgovarajuća vremena najranijih i

- Characteristic durations of all activities are determined for characteristic values of possibility function  $\pi_i$ .
- Corresponding times of the earliest and the latest start and completion are determined for every

najkasnijih početaka i završetaka postupcima poznatim u metodi kritičnog puta (CPM).

- Na osnovu podataka i vrednosti sračunatih u prethodnom koraku određuju se za završetak projekta (završetak poslednje aktivnosti) vrednosti funkcije mogućnosti  $\pi(t)$ .

- Primenom PERT metode odredi se očekivano vreme završetka projekta  $t$ , varijansa  $V$  i standardna devijacija  $\sigma$ . Pri tome se trajanja aktivnosti tretiraju kao slučajne promenljive za koje su poznata optimistička, pesimistička i modalna vremena realizacije.

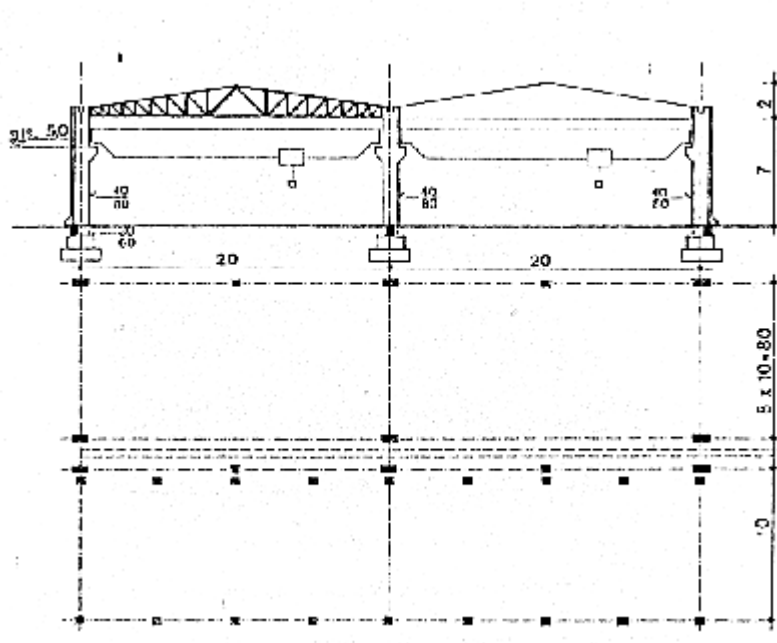
- Na osnovu podataka iz prethodna dva koraka odredi se numeričkom integracijom izraza očekivana vrednost funkcije mogućnosti završetka projekta, a zatim vrednosti korigovane funkcije gustine verovatnoća  $f^*(t)$ .

- Numeričkom integracijom izraza za  $t^*$ ,  $V^*$ , i  $p^*(t)$

određuju se očekivano vreme završetka projekta  $t^*$ , varijansa  $V^*$  i funkcija raspodele verovatnoća  $p^*(t)$ .

#### 4 PRIMER PRIMENE TEORIJE MOGUĆNOSTI U PRAKSI

Za datu industrijsku halu koja je šematski prikazana na slici 2, dat je spisak generalnih aktivnosti (tabela 1.) kojim su obuhvaćeni radovi na samom gradilištu kao i aktivnosti na prefabrikaciji montažnih elemenata.



Slika 2. Šematski prikaz hale  
Figure 2. Schematic representation of the hall

characteristic value of possibility function by procedures known in the CP method

- Based on the data and values calculated in the previous step the values of possibility function  $\pi(t)$  are determined for the completion of the project (ending of the last activity).

- The PERT method is used to determine the expected time of project completion  $t$ , variance  $V$  and standard deviation  $\sigma$ . The duration of activities are treated as random variables with known optimistic, pessimistic and modal times of realization.

- Based on the data from the previous two steps the expected value of possibility function of project completion is determined by numerical integration of the expression and then the values of corrected probability density function  $f^*(t)$ .

- The expected time of project completion  $t^*$ , variance  $V^*$  and the probability distribution function  $p^*(t)$  are determined by numerical integration of expressions for  $t^*$ ,  $V^*$ , and  $p^*(t)$ .

#### 4 EXAMPLE OF APPLICATION OF POSSIBILITY THEORY IN PRACTICE

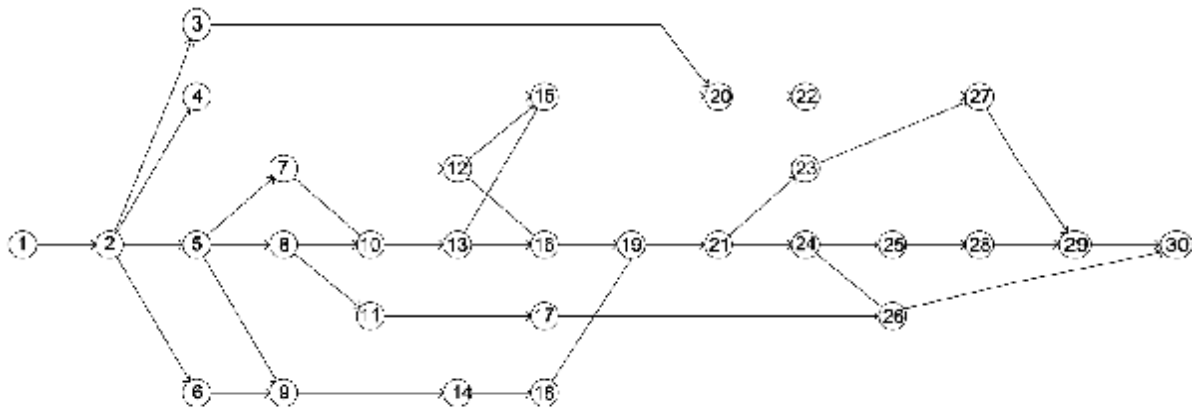
For the given industrial hall which is schematically shown in Figure 2, there is a list of general activities (Table 1.) that includes the works on the very construction site as well as the activities on fabrication of prefabricated elements.



Tabela 1. Trajanja pojedinih aktivnosti  
Table 1. Duration of individual activities

Br. aktivnosti u mrežnom planu No. of activities in network layout	Opis aktivnosti Description of activities	l	m	r
1.	Ispunjenje ugovornih obaveza prema izvođaču Fulfilling contract obligations towards the contractor	2	3	4
2.	Pripremni radovi (izgradnja privrednog gradilišta) Preliminary works (building of commercial construction site)	5	7	9
3.	Prefabrikacija betonskih fasadnih elemenata Prefabrication of concrete facade elements	24	30	35
4.	Prefabrikacija betonskih stubova i olučnih greda Prefabrication of concrete columns and rain-water girders	14	16	18
5.	Skidanje sloja humusa i nivelisanje lokacije Removal of humus topsoil and location levelling	3	4	5
6.	Izrada glavnih krovnih nosača (rešetke) Fabrication of the main roof beams (truss)	7	10	12
7.	Izrada saobraćajnica oko objekta Construction of transport routes around the facility	9	12	14
8.	Iskop jama za temelje samce Spot footing pits excavation	1	2	3
9.	Izrada sekundarnih krovnih nosača (rožnjače, spregovi) Fabrication of secondary roof beams (purlins, bracings)	13	15	17
10.	Izrada podloge za podnu ploču hale Constructing the formwork for the hall floor slab	3	4	5
11.	Iskop kanala za spoljne instalacije Excavation of external installation ducts	3	4	5
12.	Izrada habajućeg sloja saobraćajnica Making of transport route wearing course	1	2	3
13.	Betoniranje temelja samaca i temeljnih greda Concreting of spot footings and ground beams	8	10	12
14.	Transport i deponovanje čelične konstrukcije Transport and stockpiling of steel structure	1	3	4
15.	Montaža betonskih stubova i olučnih greda Erection of concrete columns and rain-water girders	2	3	4
16.	Izrada podne ploče hale sa hidroizolacijom Construction of the hall floor slab with waterproofing	4	6	7
17.	Povezivanje delova rešetke u celinu Connecting the truss parts into a whole	1	2	3
18.	Postavljanje spoljnih instalacija Laying of external installations	13	15	18
19.	Montaža glavnih krovnih nosača (rešetke) Assembly of the main roof beams (truss)	1	2	3
20.	Montaža betonskih fasadnih elemenata Assembly of concrete facade elements	4	5	7
21.	Montaža sekundarnih krovnih nosača Assembly of secondary roof beams	4	5	7
22.	Ugrađivanje ostakljene fasadne bravarije Installation of vitrified facade joinery	6	8	10
23.	Montaža kranskih staza za mostni kran Assembly of crane-track support for bridge crane	3	4	5
24.	Postavljanje krovnog pokrivača i oluka hale Assembly of roof covering and hall rain gutters	7	10	12
25.	Ugrađivanje krovnih svetlosnih traka Installation of skylights	2	3	4
26.	Postavljanje unutrašnjih instalacija hale Laying of internal hall installations	10	11	12

27.	Montaža mostnih kranova Assembly of bridge cranes	8	10	13
28.	Molersko - farbarski radovi u hali Painting and decorating works in the hall	6	7	9
29.	Tehnički prijem objekta Acceptance of the finished works on the facility	2	3	4
30.	Puštanje u probni rad Trial run	8	10	12



Slika 3. Analiza strukture mrežnog plana  
Figure 3. Analysis of network layout structure

Oznake u tabeli 1 imaju sledeće značenje (slika 4.):  
*l* - leva karakteristična vrednost trougaonog fazi broja  
*r* - desna karakteristična vrednost trougaonog fazi broja  
*m* - srednja karakteristična vrednost trougaonog fazi broja.

Proračun trajanja aktivnosti predstavljen fazi brojevima prikazan je na primeru aktivnosti 1 - Ispunjenje ugovornih obaveza prema izvođaču . Na isti način izračunavaju se trajanja za sve ostale aktivnosti.

Designations in Table 1 stand for the following (Figure 4.):

*l* – left characteristic value of triangular fuzzy number  
*r* - right characteristic value of triangular fuzzy number  
*m* - mean characteristic value of triangular fuzzy number.

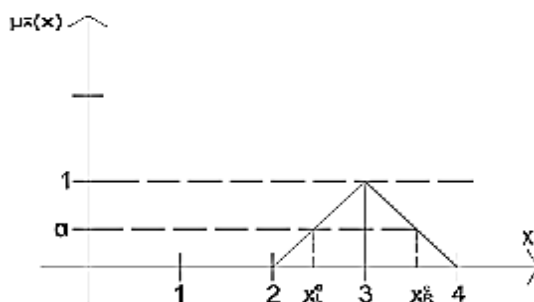
Calculation of duration of activities represented by fuzzy numbers is shown at the example of activity 1 – Fulfilment of contractual obligations towards the contractor. The durations of all other activities are calculated in the same manner.

$$m_A(x) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-2}{3-2} = x-2, x \in [2,3] \\ \frac{x-4}{3-4} = 4-x, x \in [3,4] \\ 0, x \notin [2,4] \end{array} \right. \quad (20)$$

$$x_L^\alpha - 2 = \alpha \Rightarrow x_L^\alpha = \alpha + 2$$

$$4 - x_R^\alpha = \alpha \Rightarrow x_R^\alpha = 4 - \alpha$$

$$A_a = [x_L^a, x_R^a] = [a + 2, 4 - a]$$



Slika 4. Predstavljanje trajanja aktivnosti A fazi brojem  
Figure 4. Representation of A activity duration by fuzzy numbers

$A_\alpha$  – alfa presek fazi broja  
(zadavanjem vrednosti parametra  $\alpha$  iz opšteg izraza dobijamo pojedinačne konkretne vrednosti)

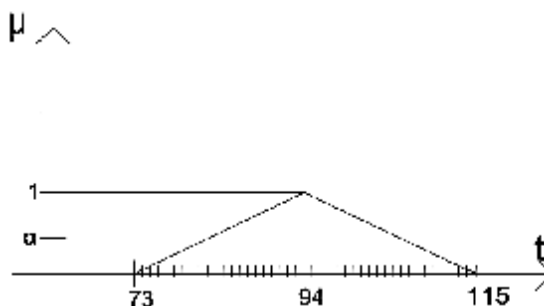
$A_\alpha$  – alpha - cut of a fuzzy number  
(individual specific values are obtained by setting the values of parameter alpha from the general expression )

Funkcija mogućnosti je dobijena proračunom trajanja celog projekta preko mrežnog plana za različite vrednosti parametra  $\alpha$  (tabela 2).

The possibility function has been obtained by the calculation of duration of the entire project through network layout for various values of parameter  $\alpha$  (Table 2.)

Tabela 2. Proračun funkcije mogućnosti  
Table 2. Calculation of possibility function

Parametar $\alpha$ Parameter $\alpha$	$\pi(t)$
$\alpha = 1$	94,00
$\alpha = 0$ levo, left	73,00
$\alpha = 0$ desno, right	115,00
$\alpha = 0,25$ levo, left	78,25
$\alpha = 0,25$ desno, right	109,50
$\alpha = 0,50$ levo, left	83,50
$\alpha = 0,50$ desno, right	104,50
$\alpha = 0,75$ levo, left	88,75
$\alpha = 0,75$ desno, right	99,00



Slika 5. Funkcija mogućnosti  
Figure 5. Possibility function

Na slici 5. prikazana je funkcija mogućnosti za završetak projekta. Ovim postupkom, u kome su uzete u obzir mogućnosti izvršenja aktivnosti, vreme završetka projekta je potpunije sagledano u odnosu na vreme u PERT metodi.

Kako se u daljem postupku koristi PERT metoda, aktivnosti nemaju deterministička trajanja, već su im

The figure 5. shows the project completion possibility function. This procedure, which takes into account the possibility of activities performance, examines the project completion more comprehensively when compared with the time within the PERT method.

As the PERT method is used in further procedure, the activities lack deterministic durations but their times

vremena stohastičke prirode i za svaku aktivnost (*i*) vrši se procena tri nenegativna parametara:

- $a_i$  - optimističko trajanje aktivnosti (*i-j*)
  - $m_i$  - najverovatnije trajanje aktivnosti (*i-j*)
  - $b_i$  - pesimističko trajanje aktivnosti (*i-j*)
- i važi pravilo:

$$a_i < m_i < b_i$$

Za dalju analizu vremena na mreži određuju se dve veličine za svaku aktivnost:

$$(t_e)_i = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6} \quad (21)$$

$$\sigma_i^2 = \left( \frac{b_i - a_i}{6} \right)^2 \quad (22)$$

gde je:

- $(t_e)_i$  - matematičko očekivano trajanje aktivnosti (*i*)
- $\sigma_i^2$  - srednje kvadratno odstupanje aktivnosti (*i*)

Ako je neka aktivnost obavljena više puta, mogu se utvrditi učestalosti (brojevi pojavljivanja) odgovarajućih vremena trajanja i odrediti najmanje trajanje (*a*), trajanje sa najvećom učestalosti (*m*), i najduže trajanje (*b*). Pokazuje se da ova vremena imaju  $\beta$  - raspodelu sa tri opšta oblika (slika 6.) i mogu se proračunati potrebne vrednosti za matematičko očekivano trajanje ( $t_e$ ), koje deli površ ispod krive na dva jednaka dela i disperziju ( $\sigma$ ). Ovaj pristup se usvaja i kada se vrši procena vremena (*a*, *m*, *b*) za aktivnosti koje nisu obavljane. Za beta raspodelu koju karakterisu dva parametra uzimaju se vrednosti tih parametara.

are of stochastic nature and the evaluation of three non-negative parameters is made for every activity (*i*):

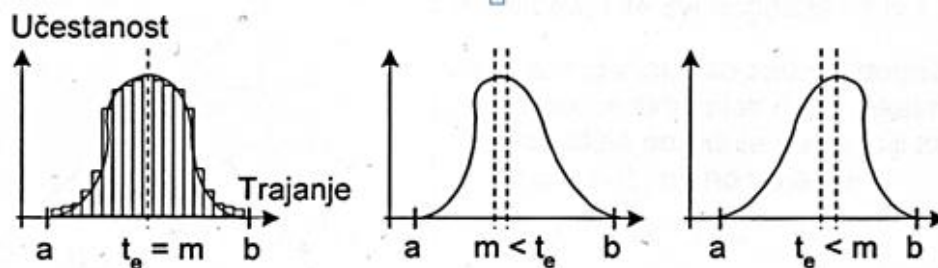
- $a_i$  - optimistic duration of an activity (*i-j*)
  - $m_i$  - the most probable activity duration (*i-j*)
  - $b_i$  - pessimistic activity duration (*i-j*)
- and the following rule applies:

Two values for each activity are determined:

where:

- $(t_e)_i$  - mathematically expected activity duration (*i*)
- $\sigma_i^2$  - mean square activity tolerance (*i*)

If some activity was performed several times, it is possible to determine the frequency (number of appearance) of corresponding times of duration as well as the shortest duration (*a*), the duration with the highest frequency (*m*) and the longest duration (*b*). It can be seen that these times have  $\beta$  - distribution with three general forms (Figure 6.) and the required values for mathematically expected duration ( $t_e$ ) can be calculated, which divides the area below the curve into two equal parts, and dispersion ( $\sigma$ ). This approach is adopted also when estimating time (*a*, *m*, *b*) of the unperformed activities. The values of these parameters are taken for beta distribution which is characterized by two parameters.



Slika 6.  $\beta$  raspodela za procenjena vremena i matematičko očekivanje aktivnosti  
Figure 6.  $\beta$  distribution for estimated times and mathematical expectations of activities

U tabeli 3. prikazani su rezultati očekivanog trajanja aktivnosti i srednjeg kvadratnog odstupanja. Na osnovu ovih vrednosti proračunat je mrežni plan, standardna devijacija za poslednju aktivnost kao i rok završetka projekta.

Dobijene su sledeće vrednosti:

- rok završetka  $T_e = 101,334$  dana
- kritičan put čine sledeće aktivnosti:

**1-2-5-7-10-13-16-19-21-24-25-28-29-30**

• srednje kvadratno odstupanje:  $\sigma^2 = 13,331$ ;  
 $\sigma = 3,651$

• funkcija normalne raspodele završne aktivnosti (slika 7.), određena prema izrazu (8).

Table 3. shows the results of expected duration of activities and mean square tolerance. Based on these values the network layout is calculated, as well as standard deviation for the last activity and the time of project completion.

The following values are obtained:

- Completion time  $T_e = 101,334$  days
- Critical path consists of the following activities:

**1-2-5-7-10-13-16-19-21-24-25-28-29-30**

• Mean square tolerance:  $\sigma^2 = 13,331$ ;  $\sigma = 3,651$

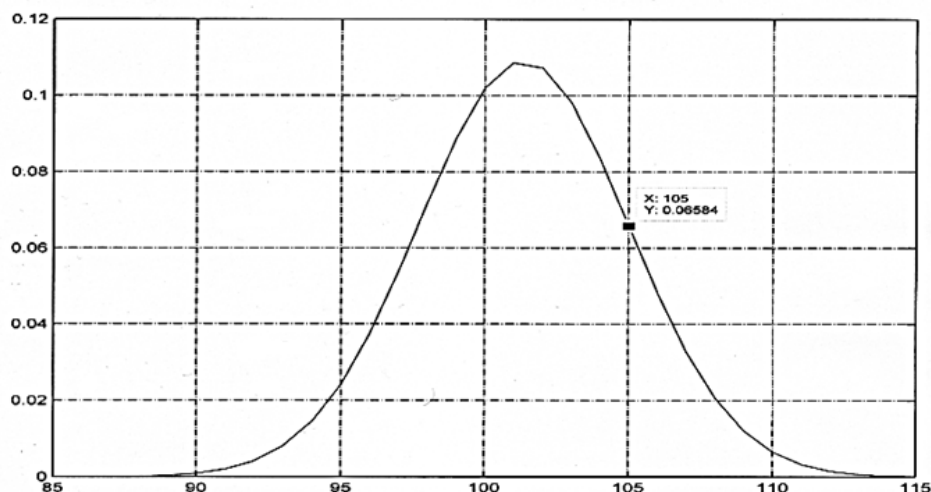
• Function of normal distribution of finishing activities (Figure 7.), is determined according to the expression (8).

Tabela 3. Proračun očekivane vrednosti trajanja aktivnosti  
Table 3. Calculation of expected duration of activities

Br./No.	Opis aktivnosti/Description of activity	$a_{ij}$	$m_{ij}$	$b_{ij}$	$t_c$	$\sigma^2$
1.	Ispunjenje ugovornih obaveza prema izvođaču Fulfilling contract obligations towards the contractor	2	3	4	3,000	0,111
2.	Pripremni radovi Preliminary works	7	11	14	10,833	1,361
3.	Prefabrikacija betonskih fasadnih elemenata Prefabrication of concrete facade elements	24	29	38	29,667	5,444
4.	Prefabrikacija betonskih stubova i olučnih greda Prefabrication of concrete columns and rain-water girders	14	17	22	17,333	1,778
5.	Skidanje sloja humusa i nivelisanje lokacije Removal of humus topsoil and location levelling	3	4	5	4,000	0,111
6.	Izrada glavnih krovnih nosača (rešetke) Fabrication of the main roof beams (truss)	8	13	18	13,000	2,778
7.	Izrada saobraćajnica oko objekta Construction of transport routes around the facility	6	14	18	13,333	4,000
8.	Iskop jama za temelje samce Spot footing pits excavation	1	2	3	2,000	0,111
9.	Izrada sekundarnih krovnih nosača Fabrication of secondary roof beams	7	9	13	9,333	1,000
10.	Izrada podloge za podnu ploču hale Constructing the formwork for the hall floor slab	4	6	9	6,167	0,694
11.	Iskop kanala za spoljne instalacije Excavation of external installation ducts	3	7	11	7,000	1,778
12.	Izrada habajućeg sloja saobraćajnica Making of transport route wearing course	2	4	6	4,000	0,444
13.	Betoniranje temelja samaca i temeljnih greda Concreting of spot footings and ground beams	8	13	16	12,667	1,778
14.	Transport i deponovanje čelične konstrukcije Transport and stockpiling of steel structure	3	5	9	5,333	1,000
15.	Montaža betonskih stubova i olučnih greda Erection of concrete columns and rain-water girders	2	3	4	3,000	0,111
16.	Izrada podne ploče hale sa hidroizolacijom Construction of the hall floor slab with waterproofing	4	8	11	7,833	1,361
17.	Povezivanje delova rešetke u celinu Connecting the truss parts into a whole	2	4	6	4,000	0,444
18.	Postavljanje spoljnih instalacija Laying of external installations	13	15	18	15,167	0,694
19.	Montaža glavnih krovnih nosača (rešetke) Assembly of the main roof beams (truss)	2	4	7	4,167	0,694
20.	Montaža betonskih fasadnih elemenata Assembly of concrete facade elements	4	5	7	5,167	0,250
21.	Montaža sekundarnih krovnih nosača Assembly of secondary roof beams	4	5	7	5,167	0,250
22.	Ugrađivanje ostakljene fasadne bravarije Installation of vitrified facade joinery	6	8	10	8,000	0,444
23.	Montaža kranskih staza za mostni kran Assembly of crane-track support for bridge crane	3	4	5	4,000	0,111
24.	Postavljanje krovnog pokrivača i oluka hale Assembly of roof covering and hall rain gutters	7	9	12	9,167	0,694
25.	Ugrađivanje krovnih svetlosnih traka Installation of skylights	2	3	4	3,000	0,111
26.	Postavljanje unutrašnjih instalacija hale Laying of internal hall installations	10	11	12	11,000	0,111
27.	Montaža mostnih kranova Assembly of bridge cranes	9	13	15	12,667	1,000
28.	Molersko - farbarski radovi u hali Painting and decorating works in the hall	5	9	12	8,833	1,361
29.	Tehnički prijem objekta Acceptance of the finished works on the facility	2	3	4	3,000	0,111
30.	Puštanje u probni rad Trial run	8	10	13	10,167	0,694

$$f(t) = \frac{1}{s \cdot \sqrt{2 \cdot p}} \cdot e^{-\frac{(Te-t)^2}{2s^2}}$$

$$f(t) = 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}$$



Slika 7. Funkcija normalne raspodele završne aktivnosti  
Figure 7. The function of normal distribution

Proračun očekivane vrednosti funkcije mogućnosti završetka projekta računamo primenom trapeznog pravila po izrazu (11):

The calculation of expected value of possibility function of project completion is made by applying trapeze rule to the expression (11):

$$\bar{p} = \int_{73}^{115} p(t) f(t) dt \quad (23)$$

$t$  - rasplinuta slučajna varijabla koja ima gustinu verovatnoće  $f(t)$  i funkciju mogućnosti  $\pi(t)$ .

$t$  - fuzzy random variable which has the probability density  $f(t)$  and possibility function  $\pi(t)$ .

Funkciju gustine verovatnoće  $f^*(t)$  određujemo prema izrazu (16), te je  $\bar{p}$  :

Probability density function  $f^*(t)$  is determined according to the expression (16), that is  $\bar{p}$  :

$$f^*(t) = \begin{cases} \frac{(0,0476 \cdot t - 3,4762) \cdot 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}}{0,648280}, & 73 \leq t \leq 94 \\ \frac{(-0,0476 \cdot t - 3,4762) \cdot 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}}{0,648280}, & 94 \leq t \leq 115 \\ 0, & t \notin [73, 115] \end{cases} \quad (24)$$

$$\bar{p} = \int_{73}^{115} p(t) f(t) dt = \int_{73}^{94} p(t) f(t) dt + \int_{94}^{115} p(t) f(t) dt = 0,648280$$

Očekivano vreme završetka projekta  $t^*$  i varijansu  $V^*$  izračunavamo primenom izraza (17) i (19), odnosno:

The expected time of project completion  $t^*$  and variance  $V^*$  are calculated by applying the expressions (17) and (19), that is:

$$t^* = \int_{Tl}^{Td} t \cdot f^*(t) dt = \int_{73}^{115} t \cdot f^*(t) dt$$

$$t^* = \int_{73}^{94} t \cdot \frac{(0,0476 \cdot t - 3,4762) \cdot 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}}{0,648280} dt +$$

$$+ \int_{94}^{115} t \cdot \frac{(-0,0476 \cdot t + 5,4762) \cdot 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}}{0,648280} dt$$

$$t^* = 3,0744 + 97,3266 = 100,401$$

$$V^* = \frac{1}{p^0} \int_{p^0}^{\infty} (t - t^*)^2 \cdot p(t) f(t) dt$$

$$V^* = \int_{73}^{94} (t - 100,401)^2 \cdot \frac{(0,0476 \cdot t - 3,4762) \cdot 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}}{0,648280} dt +$$

$$+ \int_{94}^{115} (t - 100,401)^2 \cdot \frac{(-0,0476 \cdot t + 5,4762) \cdot 0,109 \cdot e^{-\frac{(101,334 - t)^2}{26,662}}}{0,648280} dt$$

$$V^* = 1,9551 + 10,1274 = 12,0825$$

$$s^* = \sqrt{12,0825} = 3,476$$

Verovatnoća  $p^*(t)$  da se projekat završi u intervalu  $(0, t)$  uzimajući u obzir da je  $t$  slučajna i rasplinuta (fuzzy) varijabla, određuje se prema izrazu (18), čija je vrednost dobijena numeričkim putem primenom trapeznog pravila:

Probability  $p^*(t)$  that the project will be completed within the interval  $(0, t)$  taking into account that  $t$  is random and fuzzy variable is determined according to the expression (18), the value of which is obtained numerically by applying trapeze rule:

$$\Delta p^*(t) = \frac{p^*(t-1) + p^*(t)}{2} \cdot \Delta t, 0 \quad (25)$$

$$p^*(t) = p^*(t-1) + \Delta p^*(t) \quad (26)$$

$\Delta p$  – elementarna površina trapeza nad osnovicom  $t_i - t_{i+1}$ , a čije su visine ordinate  $f^*(t_i)$  i  $f^*(t_{i+1})$ . Ceo interval vremena između 73 i 115 je podeljen na intervale čija je veličina 1.

Postupak proračuna korigovane funkcije raspodele  $p^*(t)$  prikazan je u tabeli 4, a vrednosti funkcije raspodele  $p^*(t)$  prikazane su na slici 8.

$\Delta p$  – elementary trapeze surface over the base  $t_i - t_{i+1}$ , the heights of which are ordinates  $f^*(t_i)$  and  $f^*(t_{i+1})$ .

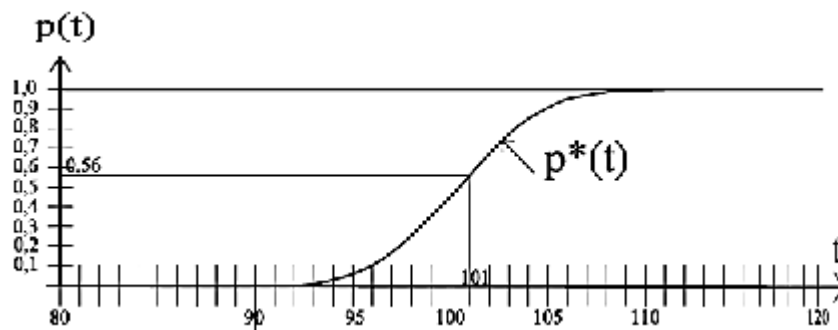
The entire time interval between 73 and 115 is divided into intervals the value of which is 1. The calculation procedure of corrected distribution function  $p^*(t)$  is shown in Table 4 and the values of distribution function  $p^*(t)$  are shown in Figure 8.

Tabela 4. Proračun korigovane funkcije raspodele  $p^*(t)$   
 Table 4. Calculation of corrected distribution function  $p^*(t)$

t	f(t)	$\pi(t)$	f*(t)	$\Delta p^*(t)$	$p^*(t)$
73	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
74	0,000000	0,046200	0,000000	0,000000	0,000000
75	0,000000	0,093800	0,000000	0,000000	0,000000
76	0,000000	0,141400	0,000000	0,000000	0,000000
77	0,000000	0,189000	0,000000	0,000000	0,000000
78	0,000000	0,236600	0,000000	0,000000	0,000000
79	0,000000	0,284200	0,000000	0,000000	0,000000
80	0,000000	0,331800	0,000000	0,000000	0,000000
81	0,000000	0,379400	0,000000	0,000000	0,000000
82	0,000000	0,427000	0,000000	0,000000	0,000000
83	0,000000	0,474600	0,000000	0,000000	0,000000
84	0,000001	0,522200	0,000001	0,000001	0,000001
85	0,000005	0,569800	0,000004	0,000003	0,000004
86	0,000016	0,617400	0,000015	0,000010	0,000013
87	0,000049	0,665000	0,000050	0,000033	0,000046
88	0,000138	0,712600	0,000152	0,000101	0,000148
89	0,000363	0,760200	0,000425	0,000289	0,000436
90	0,000881	0,807800	0,001098	0,000761	0,001198
91	0,001986	0,855400	0,002620	0,001859	0,003057
92	0,004152	0,903000	0,005784	0,004202	0,007259
93	0,008055	0,950600	0,011812	0,008798	0,016056
94	0,014497	1,000000	0,022363	0,017087	0,033143
95	0,024206	0,954200	0,035629	0,028996	0,062139
96	0,037496	0,906600	0,052437	0,044033	0,106172
97	0,053884	0,859000	0,071399	0,061918	0,168090
98	0,071840	0,811400	0,089916	0,080658	0,248747
99	0,088857	0,763800	0,104691	0,097304	0,346051
100	0,101962	0,716200	0,112645	0,108668	0,454719
101	0,108545	0,668600	0,111947	0,112296	0,567015
102	0,107202	0,621000	0,102691	0,107319	0,674334
103	0,098224	0,573400	0,086878	0,094784	0,769118
104	0,083493	0,525800	0,067719	0,077299	0,846417
105	0,065843	0,478200	0,048569	0,058144	0,904561
106	0,048172	0,430600	0,031997	0,040283	0,944843
107	0,032696	0,383000	0,019317	0,025657	0,970500
108	0,020588	0,335400	0,010652	0,014984	0,985484
109	0,012027	0,287800	0,005339	0,007996	0,993480
110	0,006518	0,240200	0,002415	0,003877	0,997357
111	0,003277	0,192600	0,000974	0,001694	0,999052
112	0,001529	0,145000	0,000342	0,000658	0,999709



113	0,000662	0,097400	0,000099	0,000221	0,999930
114	0,000266	0,049800	0,000020	0,000060	0,999990
115	0,000099	0,000000	0,000000	0,000010	1,000000



Slika 8. Prikaz vrednosti funkcije raspodele  $p^*(t)$   
 Figure 8. Representation of values of distribution function  $p^*(t)$

## 5 ZAKLJUČAK

Postupkom prikazanim u radu i kroz konkretan primer ilustrovana je primena teorije mogućnosti u planiranju vremena realizacije objekata. Za poznate funkcije mogućnosti izvršenja svih aktivnosti određena je funkcija mogućnosti izvršenja projekta. Ovim postupkom se mogu odrediti funkcije mogućnosti izvršenja pojedinih faza projekta. Za izabrane karakteristične vrednosti funkcije mogućnosti pojedinih aktivnosti određeni su najraniji i najkasniji počeci i završeci aktivnosti i projekta u celini, a zatim je konstruisana odgovarajuća funkcija mogućnosti za završetak projekta. Primenom izraza koji su navedeni u radu izračunati su očekivano vreme završetka projekta, varijansa kao i korigovana vrednost verovatnoće, čije su se vrednosti razlikovale od onih dobijenih PERT metodom. Primer koji je obrađen sadržao je ukupno 30 generalnih aktivnosti i krajnji rezultat je ukazao da u odnosu na PERT metodu ovaj postupak daje realnije rezultate, naročito u realnim slučajevima kada je broj aktivnosti znatno veći od 30. Primer koji je ilustrovan je imao za cilj da još jednom ukaže na prednost probabilističko-posibilističkog postupka. Teškoće u primeni Teorije mogućnosti planiranja vremena realizacije projekata može izazvati subjektivnost u realnoj proceni funkcija mogućnosti, ali to je problem koji se javlja i kod primene PERT metode koji je prouzrokovan nedostatkom i neažurnim bazama podataka.

## 5 CONCLUSION

The procedure presented in the paper and the specific example illustrated the application of Possibility Theory for planning the time of completion of a facility. The possibility function of project completion was determined for the known possibility functions of execution of all the activities. This procedure can determine the possibility function of execution of individual stages of the project. The earliest and the latest beginning and end of both the activities and the project as a whole were determined for the chosen characteristic values of the possibility function of individual activities, and then the corresponding possibility function for the completion of the project was developed. By applying the expressions presented in the paper the expected time of project completion was calculated, the variance as well as the corrected probability value, the values of which differed from those obtained by the PERT method. The elaborated example contains the total of 30 general activities and the end result suggests that in comparison with the PERT method this procedure gives more realistic results, particularly in real cases when the number of activities exceeds 30 considerably. The described example aims to show once more the advantages of probabilistic-possibilistic procedure. The difficulties in application of the Possibility Theory when planning the time of project completion can cause subjectivity in realistic estimate of possibility functions, but this is the problem which occurs when applying the PERT method as well, which is caused by the lack of updated data bases.

## 6 LITERATURA REFERENCES

- [1] S. Avraham, Project segmentation - a tool for project management, *International Journal of Project Management* 15 (1997), 15-19.
- [2] Azaron, H. Katagiri, M. Sakawa, K. Kato, A. Memariani, A multi-objective resource allocation problem in PERT networks, *European Journal of Operational Research* 172 (2006) 838-854.
- [3] C.W. Dawson, R.J. Dawson, Generalised task-on-the-node networks for managing uncertainty in projects, *International Journal of Project Management* 13 (1995) 353-362.
- [4] R.J. Dawson, R.J. Dawson, Practical proposals for managing uncertainty and risk in project planning, *International Journal of Project Management* 16 (1998) 299-310.
- [5] M.Knežević, R.Zejak, -Neuronske mreže – Primjena za izradu prognoznog modela eksperimentalnog istraživanja za vitke armirano betonske stubove, *Materijali i konstrukcije* 1 (2008), 41-56.
- [6] Praščević Ž, – Primena teorije mogućnosti u planiranju realizacije projekata, *Izgradnja* 1/89 (1989.), 9-13.
- [7] I.M. Premachandrak, An approximation of the task duration distribution in PERT, *Computers and Operations Research* 28 (2001) 443-452.
- [8] G. Roy, P. Nava, S. Israel, Integrating system analysis and project management tools, *International Journal of Project Management* 20 (2002) 461-468.
- [9] Zadeh L. A, – *Fuzzy Sets*, *Information and Control*, 8, (1965.), pp. 338-353.
- [10] Zadeh L. A, – *Probability Measures of Fuzzy Events*, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 23, (1968.), pp. 421-427.
- [11] Zadeh L. A, – *Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility*, *Fuzzy Sets and Systems*, 1, (1978.), 3-28.

## REZIME

### PRIMENA POSIBILISTIČKOG POSTUPKA KOD PLANIRANJA VREMENA REALIZACIJE GRAĐEVINSKIH PROJEKATA

Velimir DUTINA  
Ljubo MARKOVIĆ  
Miljan KOVAČEVIĆ

Planiranje vremena predstavlja vrlo značajnu aktivnost bez koje se projekat ne može realizovati u ugovorenom roku. Za investitora kašnjenje predstavlja gubitak prihoda zbog odlaganja početka eksploatacije, a izvođaču radova kašnjenje znači prekoračenje planiranih troškova (produžetak radnog vremena, troškovi ljudi, kašnjenje u naplati izvedenih radova, neraspoloživost resursa za buduće projekte). U radu je izložena primena possibilističkog postupka (teorija mogućnosti) koja se zasniva na teoriji rasplnutih (fuzzy) skupova i predložen je postupak za procenu verovatnoće završetka projekta koji uzima u obzir mogućnost izvođača da projekat realizuje u predviđenom vremenu. Kroz primer prikazana je primena postupka i dati su odgovarajući zaključci.

**Ključne reči:** planiranje, possibilistički postupak, teorija mogućnosti, rasplnuti (fuzzy) skupovi, verovatno'a.

## SUMMARY

### APPLICATION OF POSSIBILITISTIC PROCEDURE WHEN PLANNING THE TIME FOR COMPLETION OF CONSTRUCTION PROJECTS

Velimir DUTINA  
Ljubo MARKOVIĆ  
Miljan KOVAČEVIĆ

Time planning represents rather an important activity without which the project cannot be completed on time. For the investor any delay represents a loss of profit because the beginning of operation is also delayed, and for the contractor the delay means exceeding planned costs (extended working hours, labour costs, delayed payment of executed works, unavailability of resources for future projects). This paper presents the application of possibilistic procedure (the Possibility Theory), which is based on the Fuzzy Set theory and proposes the procedure for the evaluation of probability of project completion which takes into account the possibility of the contractor to complete the project within the intended time. The application of the procedure has been illustrated by the corresponding example and the relevant conclusions are given.

**Key words:** planning, possibilistic procedure, the Possibility Theory, fuzzy sets, probability

# GEOTEHNIČKI UZROCI OŠTEĆENJA DOMA NARODNE SKUPŠTINE U BEOGRADU

## GEOTECHNICAL CAUSES OF DAMAGES FOR THE PARLIAMENT BUILDING IN BELGRADE

Gordana HADZI-NIKOVIĆ  
Slobodan ĆORIĆ  
Stanko ĆORIĆ

STRUČNI RAD  
UDK: 624.131.5.042 = 861

### 1 UVOD

Dom Narodne skupštine Republike Srbije u ul. Trg Nikole Pašića br. 13 u Beogradu, slika 1, ima ozbiljna oštećenja pojedinih delova konstrukcije, slika 2, koja su nastala na objektu tokom više od 70 godina njegovog korišćenja. Pored toga, ovaj monumentalni objekat više ne zadovoljava savremene propise u pogledu otpornosti na dejstvo zemljotresa [7]. Radi iznalaženja trajnog rešenja

### 1 INTRODUCTION

The Parliament building of the Republic of Serbia, that is located at Nikola Pasic Square 13 in Belgrade, Fig.1, has serious damages on the certain parts of structures, which occurred at the construction in more than 70 years of its use, Fig.2. In addition, this monumental building in this moment fails to satisfy actual codes related to the resistance to the effects of



*Slika 1. Dom Narodne Skupštine Republike Srbije na Trgu Nikole Pašića 13 u Beogradu*  
*Figure 1. The Parliament building Republic of Serbia at Nikola Pasic Square 13 in Belgrade*

---

Gordana Hadzi-Niković, Doc. dr, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko- geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd,  
[ghnikovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:ghnikovic@rgf.bg.ac.rs)  
Slobodan Ćorić, Prof. dr., Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko- geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd,  
[sloba.coric@gmail.com](mailto:sloba.coric@gmail.com)  
Stanko Ćorić, As. mr, Univerzitet u Beogradu, Građevinski  
fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 111000 Beograd,  
[cstanko@grf.bg.ac.rs](mailto:cstanko@grf.bg.ac.rs)

---

Gordana Hadzi-Niković, Doc. dr, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko- geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd,  
[ghnikovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:ghnikovic@rgf.bg.ac.rs)  
Slobodan Ćorić, Prof. dr., Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko- geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd,  
[sloba.coric@gmail.com](mailto:sloba.coric@gmail.com)  
Stanko Ćorić, As. mr, Univerzitet u Beogradu, Građevinski  
fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 111000 Beograd,  
[cstanko@grf.bg.ac.rs](mailto:cstanko@grf.bg.ac.rs)

problema sleganja i problema dugoročne dinamičke stabilnosti i statičke održivosti konstruktivnog sistema objekta, bilo je potrebno definisanje geotehničkih uslova i interakcije sistema teren-objekat. Zbog toga su na predmetnoj lokaciji izvedena detaljna geotehnička istraživanja.

earthquakes [7]. In order to find permanent solutions to the problem of long-term subsidence and problems of dynamic stability and structural viability of the building structural system, it was necessary to define the geotechnical conditions and interactions between construction and foundation soil. Therefore, detailed geotechnical and geophysical field investigations and laboratory tests were performed.



*Slika 2. Oštećenja u Domu Narodne skupštine  
Figure 2. Damages in the Parliament building*

## 2 GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA TERENA

Radi definisanja inženjerskogeoloških svojstava terena, kao područja međusobnog uticaja prirodne litogenetske konstrukcije i objekta, izvedena su sledeća terenska istraživanja i laboratorijska ispitivanja [2], tj:

- Inženjerskogeološko rekognosciranje površine terena sa ekspertskim pregledom zgrade, susednih objekata i saobraćajnica;
- Istražno bušenje 6 istražnih bušotina, dubine 19 do 38m, ukupne dužine bušenja 140.5m, sa detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem jezgra istražnih bušotina;

## 2 GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

– In order to define the geological and geotechnical properties of soil, as well as zone of interaction between building and underlying soil, detailed field investigations and laboratory tests were carried out [2], i.e:

- Engineering geological visual on-site inspection of the terrain surface with expert's observation of the Parliament building, adjacent buildings and pavements;
- Exploration boring of six bore holes, 19 to 38m depth, boring a total length of 140.5m, with the detailed description core drilling from various strata;

– Opiti standardne penetracije, izvedeni u 2 istražne bušotine: B-2 i B-4; ukupno je izvedeno 11 opita standardne penetracije (5 opita u bušotini B-2 i 6 opita u bušotini B-4), pri čemu su, opitima obuhvaćene sve izdvojene litološke sredine;

– Istražno iskopavanje 2 istražne jame, do dubine fundiranja, sa detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem iskopa: jedne sa spoljne, zapadne strane objekta, J-1, a druge u okviru gabarita objekta u njegovom jugoistočnom atrijumu;

– Ugradnja pijezometara i merenje nivoa podzemnih voda, u dve istražne bušotine B-5 i B-6, sa dužinom pijezometarske konstrukcije od po 12m;

– Refrakciona seizmička ispitivanja na površini terena, duž 2 profila i u bušotinama,

– Seizmički karotaž istražne bušotine B-1,

– Laboratorijska geomehanička ispitivanja 18 neporemećenih uzoraka tla iz svih izdvojenih litoloških članova, na kojima je izvedeno 18 identifikaciono klasifikacionih opita, 16 opita edometarske stišljivosti, 8 opita direktnog smicanja i 16 opita jednoaksijalne čvrstoće na pritisak;

– Laboratorijska geohemijska ispitivanja uzoraka podzemne vode.

Položaji istražnih bušotina i istražnih jama prikazani su na slici 3.

Detaljna geotehnička istraživanja su izvedena u julu i avgustu 2010. godine (Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010).

Istražno bušenje, ugradnja i razrada pijezometara i opiti standardne penetracije izvedeni su od strane „Kosovoprojekta“, d.o.o., a pod nadzorom Rudarsko-geološkog fakulteta.

Istražna iskopavanja temelja izveo je »Kosbet« iz Beograda.

Terenska i laboratorijska geofizička ispitivanja poverena su »NIS« – Servisu za geofiziku. Interpretaciju rezultata geofizičkih ispitivanja i formiranje geofizičkog modela za seizmičku mikroneonizaciju terena je uradio Seizmološki zavod Srbije.

Laboratorijska geomehanička ispitivanja uzoraka tla izvedena su u Laboratoriji za mehaniku tla Rudarsko-geološkog fakulteta.

Laboratorijska geohemijska ispitivanja uzoraka podzemne vode su urađena u Zavodu za javno zdravlje RS.

Na osnovu rezultata istraživanja, od strane Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, utvrđena su inženjerskogeološka svojstva terena i, u skladu sa tim, definisani geotehnički uslovi za izvođenje sanacionih mera koje bi trebalo da obezbede dugoročnu stabilnost objekta.

Rešenje problema sleganja i problema dugoročne dinamičke stabilnosti i statičke održivosti konstruktivnog sistema zgrade povereno je Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu koji je, u ovoj fazi rada, definisao idejno rešenje sanacije konstrukcije Doma Narodne skupštine u Beogradu.

### 3 GEOTEHNIČKA SVOJSTVA TERENA

Objekat se nalazi na platou između Bulevara Kralja Aleksandra i ulica: Vlajkovićeve, Kosovske i Takovske u Beogradu. Površina istražnog prostora iznosi približno 240 x 135 m, odnosno  $\cong$  3.24 ha.

– Standard Penetration Tests, performed in two boreholes: B-2 and B-4, a total 11 standard penetration tests were carried out (5 tests in the borehole B-2 and 6 tests in the borehole B-4), in all existing layers of the soil;

– Excavation 2 trial pits to a depth of foundation, with the detailed engineering geological description of excavated soil: one was outside, on the western side of the building, J-1, and the other was inside the building, J-2, in its atrium;

– Installation of piezometer tubes and recording groundwater levels, in two boreholes B-5 and B-6, the length of the each piezometric construction was 12m;

– Refractive seismic testing on the surface, along the two profiles and in the boreholes B-1 and B-3,

– Seismic well logging in the borehole B-1,

– Laboratory soil testing on 18 undisturbed soil samples extracted from all lithologic layers, 18 soil classification tests, 16 oedometer compressibility tests, 8 direct shear tests and 16 unconfined compression tests;

– Laboratory geochemical testing of groundwater.

Locations of boreholes and trial pits are presented in the Figure 3.

Detailed geotechnical investigations were carried out by Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, in July and August 2010.

Exploration boring, installation and development of piezometers and standard penetration tests were carried out by the "Kosovoprojekt" Ltd, under the supervision of Faculty of Mining and Geology.

The trial pits were carried out by "Kosbet" from Belgrade.

Field and laboratory geophysical tests were performed by "NIS" - Geophysical Service. Interpretation of the results of geophysical analyses and setting up geophysical models for the formation seismic microzonation of the site area were performed by Seismological Institute of Serbia. Laboratory geomechanical testing of soil samples was performed at the Laboratory for Soil Mechanics at the Faculty of Mining and Geology. Geochemical laboratory testing of groundwater was conducted in the Department of Public Health of the Republic of Serbia.

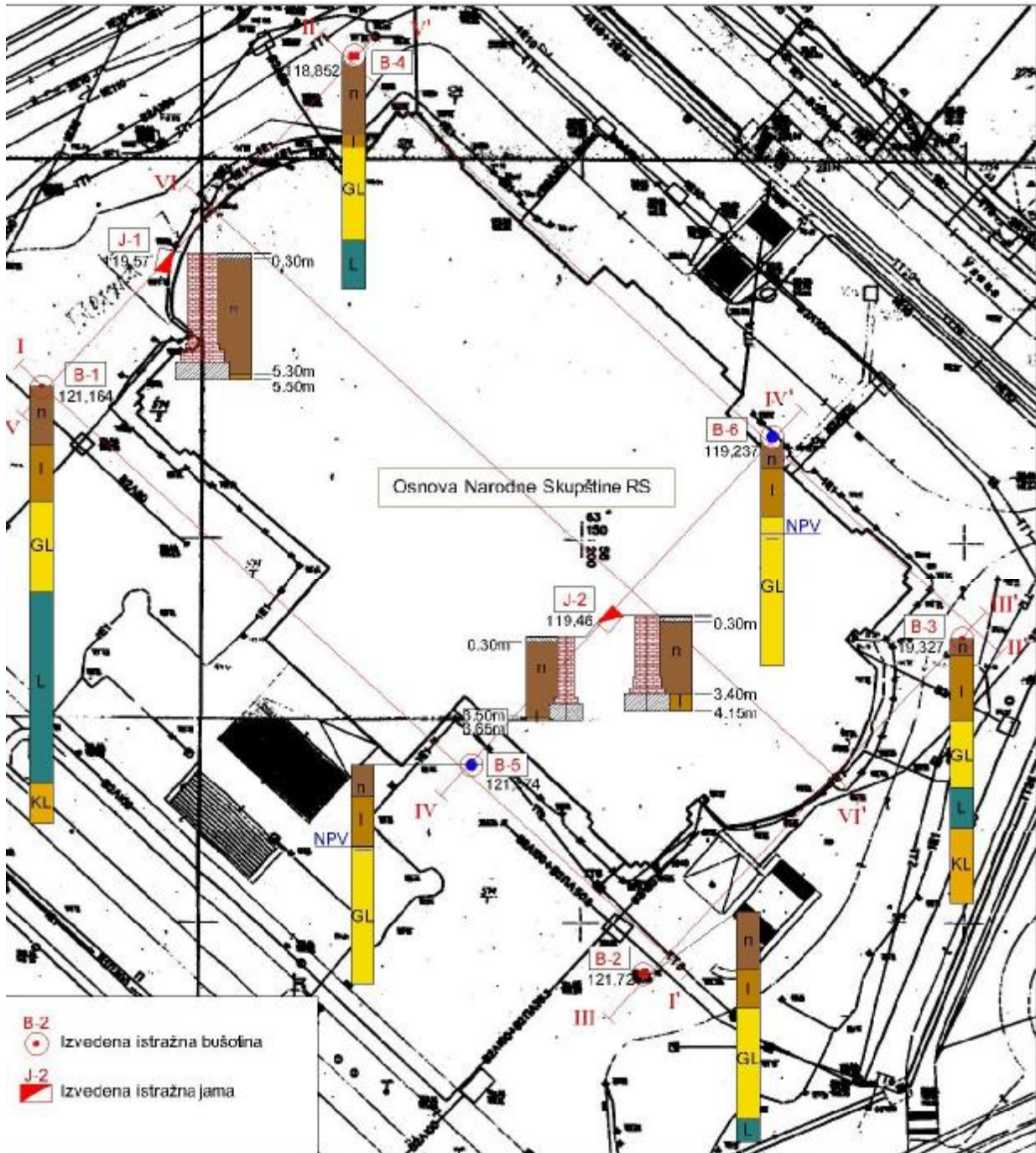
On the basis of results of detailed investigations, performed and controlled by the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, engineering geological properties of the terrain site were determined. Accordingly, geotechnical conditions for the remedial measures that should provide long-term structural stability of the Parliament building were defined.

The solution for the problems of long-term subsidence, dynamic stability and sustainability of static structural system of the building was proposed by Faculty of Civil Engineering, University in Belgrade. The conceptual design of the rehabilitation of the structure for the Parliament building in Belgrade was defined at this stage of the work.

### 3 GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE TERRAIN SITE

The Parliament building of the Republic of Serbia is located on the plateau between the Boulevard of King Alexander and Vlajkovićeve, Takovska and Kosovska streets in Belgrade. The exploratory area is approximately 240 x 135 m or 3.24 ha.





Slika 3. Položaj istražnih bušotina i jama  
Figure 3. Locations of boreholes and trial pits

U morfološkom smislu, istražni prostor predstavlja deo padine koja se od Terazija spušta ka Dunavu sa kotama, u intervalu, od približno 122 mnv kod Bulevara Kralja Aleksandra do 115 mnv u području Kosovske ulice.

U geološkoj građi terena, do dubine istraživanja, učestvuju: savremene veštačke tvorevine (nasip), prašnasti sedimenti kvartarne starosti, lesne naslage i

Morphologically, the site is a part of the slope that falls from plateau Terazije to the river Danube with elevations in the range of approximately 122 m above sea level near the Boulevard of King Alexander to the altitude of 115 m in the Kosovska street.

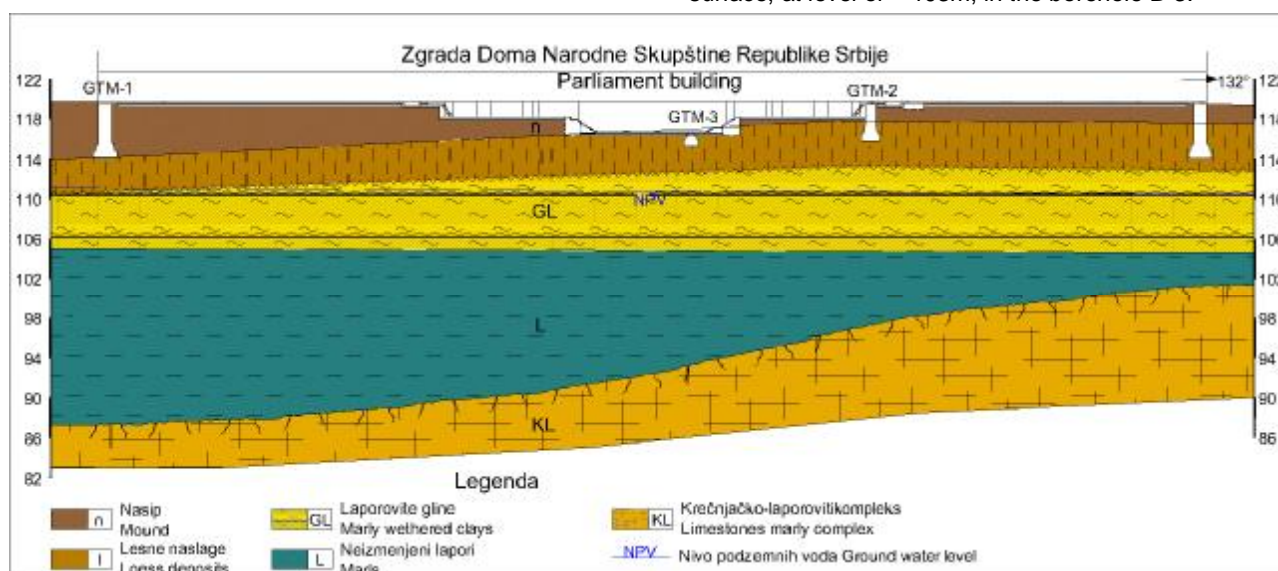
To the depth of investigations, the geological structure of the terrain consists of contemporary artificial deposits, mound, silty sediments of Quaternary loess

laporovite gline, glinoviti lapori i krečnjaci tercijarne starosti, slika 4.

Teren je, u gornjem delu, izgrađen od nasipa (n) promenljive debljine 1.5 - 6.9m (izvan gabarita objekta), u čijoj su podlozi stišljive i na promenu vlažnosti, osetljive, lesne naslage (l) debljine 1.1m u bušotini B-4, do 5.6m u bušotini B-3. Od dubine 6.6 - 10.0m od površine, teren izgrađuju prekonsolidovani glinovito-laporoviti sedimenti: laporovite gline GL, promenljive debljine, od 5.4m u bušotini B-1 do 13.0m u bušotini B-6 i lapori L, takođe promenljive debljine, od 3.5m u bušotini B-3 do ≈19.0m u bušotini B-1, ispod kojih se nalazi tercijarni krečnjak K, neutvrđene debljine. Najmanja dubina na kojoj se krečnjak pojavljuje je 16.5m od površine terena, na koti ≈ 103m, u bušotini B-3.

deposits and Tertiary marly clays, clayey marls and limestones, Figure 4.

The terrain, in the upper part, is built of unconsolidated and heterogeneous mound, variable thickness of 1.5 - 6.9m (outside of the building), which is underlying by compressible and the change in moisture sensitive, loess deposits (l) of thickness 1.1m, in the borehole B-4, and 5.6m in the borehole B-3. In the depths of 6.6 - 10.0m from the ground surface, there are overconsolidated clayey-marly sediments: marly clay, GL, variable thickness of 5.4m in the borehole B-1 to 13.0m in the borehole B-6 and marls, L, also of variable thickness from 3.5m in the borehole B-3 to ≈ 19.0m in the borehole B-1. Tertiary limestones K, undetermined thickness, is under clays and marls. The minimum depth at which the limestone appears is 16.5m from the ground surface, at level of ≈ 103m, in the borehole B-3.



Slika 4. Geotehnički presek terena  
Figure 4. Geotechnical cross-section of terrain

Podzemna vode nije konstatovana u bušotinama B-1, B-2 i B-3. U ostalim bušotinama je, u vreme bušenja (juli 2010.god.), izmeren nivo podzemne vode na promenljivim dubinama: 7.10m od površine terena, u bušotini B-4, do 8.40m od površine terena, u bušotini B-6. Nakon dvomesečnog osmatranja, nivo podzemne vode se nalazio na dubini ≈ 9.50m od površine terena. Maksimalni nivo podzemne vode je moguć u dubljim delovima lesnih naslaga i u zoni veće izdellenosti laporovite gline. Generalno, ovaj nivo prati nagib površine terena i nalazi se na dubini 7.0-9.0m od površine terena [2].

Fundiranje objekta, najvećim delom, izvedeno je u lesnim naslagama, osim za manji deo temelja ispod jugoistočnog dela objekta, prema Bulevaru Kralja Aleksandra, čije se temeljne spojnice nalaze na kontaktu lesnih naslaga i laporovite gline.

U prijemu i prenošenju opterećenja od objekta učestvuju kvartarne lesne naslage i tercijarne laporovite gline i to:

- Lesne naslage (l), prašinsto-glinovite, promenljive debljine od 1.5 do 3.8m i

Groundwater was not observed in boreholes B-1, B-2 and B-3. In other boreholes, in the time of investigations (July of 2010.), groundwater level was measured at variable depths: 7.10m from the ground surface in borehole B-4, up to 8.40m from the ground surface in borehole B-6. After two months of observation, the level of the underground water was located at a depth ≈ 9.50m from the ground surface. The maximum level of groundwater may be located in the deeper parts of the loess deposits and in the zone of higher fragmentation marly clay. Generally, this level follows the slope of the ground surface and is located at a depth of 7.0-9.0m under the ground surface [2].

Foundation strips, for the most part of the Parliament building, are placed in the loess deposits, except for a small part of the ground beneath the southeastern part of the building, towards Boulevard King Alexander, where the footing level is in the contact of loess deposit and marly clay.

The loading from the building is transmitted to the Quaternary loess deposits and Tertiary marly clays as follows:

- Loess deposits (l), silty clays, Cl, of variable

– Ispucale laporovite gline kore raspadanja (GL) promenljive debljine od 6.6 do više od 13.0m.

Nestišljivu podlogu, bedrock, predstavljaju tercijarni lapori, na dubini od 13.0 do više od 20.0m.

U Tabeli 1 su prikazani najvažniji parametri temeljnog tla merodavni za geostatičke proračune.

thickness from 1.5 to 3.8m

– Marly clays (GL) of weathering zone, CH, of variable thickness of 6.6 to more than 13.0m

Incompressible layer, bedrock, consists of Tertiary marls at a depth of more than 13.0 to 20.0m.

Table 1 presents the most important parameters of the foundation soil for the reliable geostatic analyses.

Tabela 1. Merodavni parametri tla za geostatičke proračune  
Table 1. Representative parameters of soils for geostatical analyses

Oznaka i debljina sloja u gabaritu objekta Mark and thickness of the soil beneath the building (m)	Zaprem. težina tla Unit weight of the soil $\gamma/\bullet$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ugao unutrašnjeg trenja Shear resistance angle $\phi^{(0)}$	Kohezija Cohesion c (kPa)	Modul stišljivosti Modul of compressibility Ms (kPa)	Tlo Soil
n	1.5-5.30	19.0	-	-	-
I	1.2-3.8	18.2 10	25	10 8000 3500	Loess natural wet Wet loess
GL	6.6-13.0	19.3	23	15 8500	Fissured clay

#### 4 TEHNIČKI PODACI O OBJEKTU

Dom Narodne skupštine je jedan od najvećih i najlepših spomenika kulture u Srbiji iz prve polovine 20. veka. Objekat je izgrađen u baroknom stilu, sa zidovima od opeke obloženim fonolitom i veštačkim kamenom. Objekat je nepravilnog, približno pravougaonog oblika, u osnovi površine  $\approx 55 \times 110$  m. Visina objekta sa kupolom je  $\approx 44$  m.

Sastoji se od centralne zone i dva bočna krila, u kojima su smešteni atrijumi. Objekat ima podrum, suteran, prizemlje, dva sprata, potkrovlje i kupole. U konstruktivnom smislu, to je krut zidani objekat koji je fundiran na temeljnim trakama. Međuspratne konstrukcije su armiranobetonske ploče ojačane rebrima. Objekat nema dilatacionih razdelnica. Raskošni holovi i plenumske sale se visinski protežu na dve etaže, tako da su u ovim zonama formirani značajni otvori kroz međuspratne konstrukcije. Pored toga, prostrane vertikalne komunikacije – stepeništa, koja se nalaze u centralnoj zoni objekta, takođe formiraju otvore kroz međuspratne konstrukcije. Sve ovo značajno narušava integritet i jedinstvo objekta kao celine i bitno umanjuje njegovu krutost u ravni međuspratnih konstrukcija, što je posebno opasno kada je objekat izložen seizmičkim uticajima.

Izgradnja objekta je započeta u avgustu 1907.god. Do prvih deformacija na objektu došlo je još u toku građenja, 1909.god., usled čega su radovi na izgradnji objekta obustavljeni sve do 1911.god. Od 1911. do 1912.god. vršena je rekonstrukcija objekta i nakon toga je nastavljena izgradnja, ali je zbog istorijskih dešavanja zgrada završena tek 1937.god.

#### 4 TECHNICAL DATA OF THE PARLIAMENT BUILDING

The Parliament building is one of the biggest and the most beautiful cultural monuments in Serbia from the first half of the 20th century. The building was built in Baroque style, with brick walls that are covered with clinkstone and artificial stone. The building has an irregular, roughly rectangular shape, with basic area of  $\approx 55 \times 110$  m. The height of the building with the dome is  $\approx 44$  m.

It consists of a central zone and two side wings, where the atriums are located. The building has a cellar, basement, ground floor, two floors, attic and dome. Structurally, it is a rigid masonry construction that is founded on the strip foundations. The floors are reinforced concrete slabs that are reinforced with ribs. The building lacks expansion joints. Luxurious lobbies and plenum halls extend to the height of two stories, so significant openings are formed through the ceiling in these zones. Also, the large vertical communications (the stairs) that are located in the central zone of the building, create the openings through the floors. All these openings significantly reduce the integrity and unity of this object as a compact structure and greatly reduce its stiffness in the level of the floors. It is particularly dangerous in the case when the building is subjected to seismic effects.

Construction of the building began in August 1907.year. The first deformations and displacements of the object occurred in 1909, so the construction works were suspended until 1911.





Slika 5. Utvrđivanje dimenzija temelja u jami J-1  
Figure 5. Measuring foundation dimensions in trial pit J-1



Slika 6. Uzimanje uzorka tla ispod temelja u jami J-1  
Figure 6. Sample extracting from trial pit J-1



Originalan građevinski projekat nije sačuvan, a prema našim terenskim istraživanjima, objekat je fundiran na betonskim temeljnim trakama, sa visinom betonske stope 75 cm, promenljive širine i na promenljivoj dubini fundiranja, slike 5 i 6:

- T<sub>1</sub>, spoljna temeljna traka (u istražnoj jami J-1 u zapadnom delu objekta, širina temelja B<sub>1</sub>=2.30m, na dubini fundiranja 5.50m od površine trotoara kota 119.57m, D<sub>fmin</sub>=D<sub>f</sub>=5.50m);
- T<sub>2</sub>, unutrašnja podužna temeljna traka (u istražnoj jami J-2, u jugoistočnom atrijumu), širina temelja B<sub>2</sub>=1.95m na dubini fundiranja 4.15m od površine trotoara (kota 119.46m, D<sub>fmin</sub>=2.41m);
- T<sub>3</sub>, unutrašnji poprečni temelj (u istražnoj jami J-2 u jugoistočnom atrijumu), širina temelja B<sub>3</sub>=1.45m na dubini fundiranja 3.65m od površine trotoara (kota 119.57m, D<sub>fmin</sub>=1.41m).

Analiza opterećenja, dobijena od inženjera statičara, pokazala je da su izračunata opterećenja u rasponu: 236 do 298 kPa za stalno opterećenje i 9.20-16.0 kPa za korisno opterećenje, što dovodi do prosečnog opterećenja  $\sigma=267$  kPa za stalno i dodatnih 12 kPa za korisno opterećenje, tako da je ukupni srednji napon koji temeljne trake prenose na tlo  $\sigma_{st}=280$  kPa.

The building was reconstructed from 1911 to 1912, but due to the following historical events construction was finally completed in 1937.

The original building design was not saved, and according to our field exploration, the building is founded on concrete strip foundations, Figure 5 and 6, with a height of 75 cm and with variable widths of the footing and depths of the foundations:

- T<sub>1</sub>, the external footing strip (the excavated trial pit J-1 in the western part of the building) has a width of B<sub>1</sub>=2.30m and it is founded at a depth of 5.50m below the surface of the pavement (level 119.57m, D<sub>fmin</sub> = minimum depth of foundation = 5.50m).
- T<sub>2</sub>, the internal longitudinal footing strip (the excavated trial pit J-2 in the southeast atrium) has a width of B<sub>2</sub>=1.95m and it is founded at a depth of 4.15m below the surface of the pavement (level 119.46m, D<sub>fmin</sub> = minimum depth of foundation = 2.41m).
- T<sub>3</sub>, the internal cross footing strip (the excavated trial pit J-2 in the southeast atrium) has a width of B<sub>3</sub>=1.45m and it is founded at a depth of 3.65m below the surface of the pavement (level 119.57m, D<sub>fmin</sub> = minimum depth of foundation = 1.41m).

Analysis of the loading, obtained from the structural

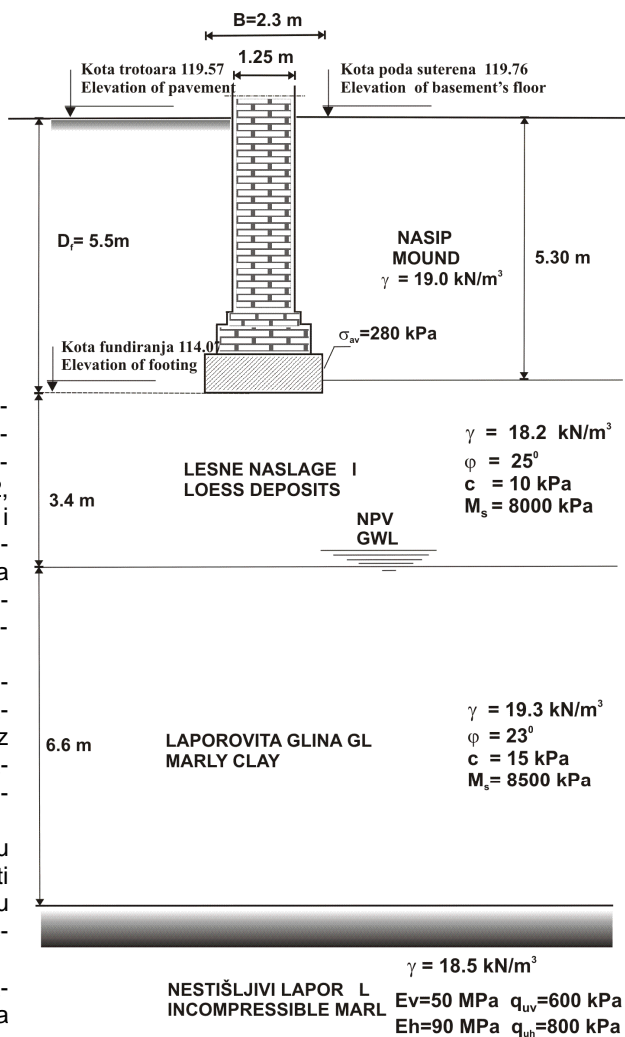
## 5 GEOSTATIČKI PRORAČUNI

Proračuni graničnih opterećenja su urađeni za utvrđene geotehničke modele terena GMT-1, slika 7, GMT-2, slika 8 i GMT-3, slika 9, kao i za različite moguće kombinacije širina temelja i dubina fundiranja, kao i za uslove prirodno vlažnog tla i provlaženog tla.

Granično vertikalno centrično opterećenje temelja sračunato je po postupku iz Pravilnika o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata.

Faktor sigurnosti  $F_s$  u pogledu dozvoljene nosivosti temeljnog tla je dobijen u odnosu na prosečno opterećenje  $\sigma_{sr}=280\text{kPa}$ .

Izvršene su analize graničnih opterećenja i faktora sigurnosti u pogledu opšteg loma, za sve, terenskim radovima utvrđene, širine temelja i dubine fundiranja.



Slika 7. Geotehnički model terena GMT 1  
Figure 7. Geotechnical model of terrain GMT 1

Na osnovu izvršenih analiza može se zaključiti da su faktori sigurnosti, u sadašnjim uslovima (tlo je u gabaritu objekta konsolidovano usled opterećenja od objekta, kao i usled težine nasutog tla) veći od 2.5 za sve temelje, tako da nosivost temeljnog tla nije dovedena u pitanje [3].

Sleganje temelja je sračunato za srednji neto kontaktni napon  $\sigma_{z0}=250\text{ kPa}$  i širine temelja  $B_1=2.30\text{ m}$ ,  $B_2=1.95\text{ m}$  i  $B_3=1.45\text{ m}$ , uz uvažavanje odgovarajućeg geotehničkog modela terena.

Proračuni sleganja temelja su vršeni za centričnu tačku temelja, a date su i veličine prosečnih sleganja temelja. Veličine sleganja pod objektom određene su konvencionalnom metodom [1]. Raspodela napona u temeljnom tlu određena je metodom Štajnbrenera.

U Tabeli 2 su prikazane veličine maksimalnih i prosečnih sleganja za različite temelje i geotehničke modele terena.

engineer, showed that the calculated load range is: 236 - 298 kPa for permanent load and 9.20 - 16.0 kPa for imposed load, resulting in an average load  $\sigma = 267\text{ kPa}$  for a permanent and 12 kPa for imposed load, so the total average load of the concrete strips, that is transferred to the ground is  $\sigma \approx 280\text{ kPa}$ .

## 5 GEOSTATIC ANALYSES

Bearing capacity analyses were performed for the different combinations of width of strip footings and depth of foundations. The analyses were performed for pervious defined geotechnical models of terrain GMT-1, Figure 7, GMT-2, Figure 8 and GMT-3, Figure 9, as well as in naturally wet soil conditions and in soil with increasing moisture.

The ultimate vertical centric bearing capacity of the foundation soil was calculated according to Serbian technical codes for foundation of buildings.

The safety factor,  $F_s$  for allowable bearing capacity of foundation soil was determined in relation to the average load  $\sigma_{av} = 280\text{ kPa}$ .

Bearing capacity analyses were performed and safety factors were calculated for all field

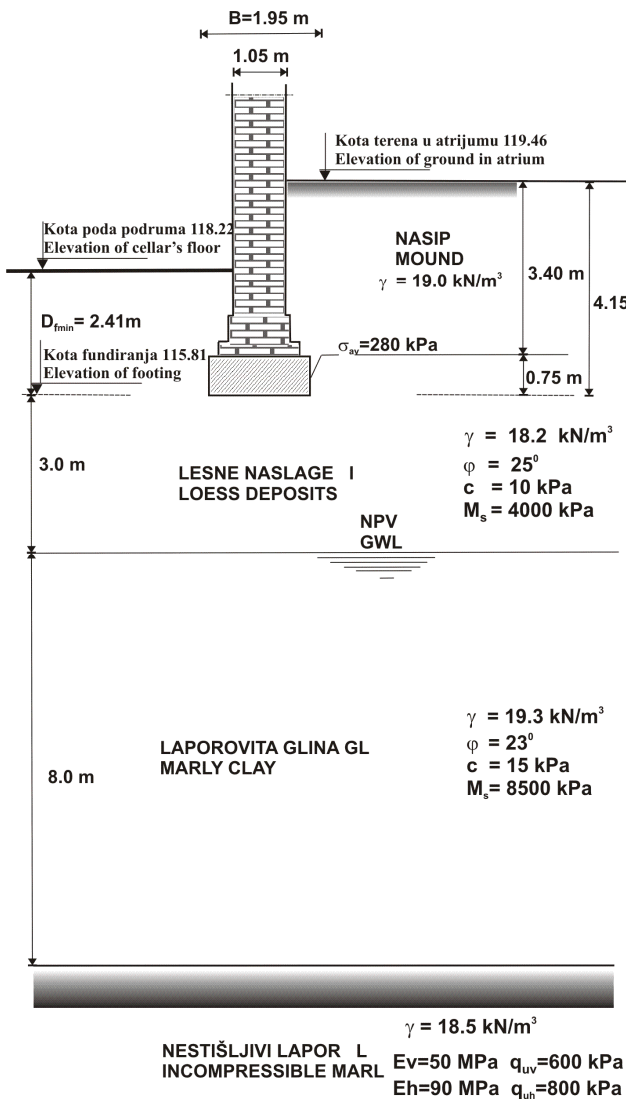
conditions and for all widths of footings and depths of foundation which were identified by trial pits.

Thus, it can be concluded that the factors of safety, under the present conditions (the soil is consolidated beneath the foundations due to the load of the building and weight of the buried soil) are higher than 2.5 for all footing strips, so that bearing capacity of foundation soil is not compromised [3].

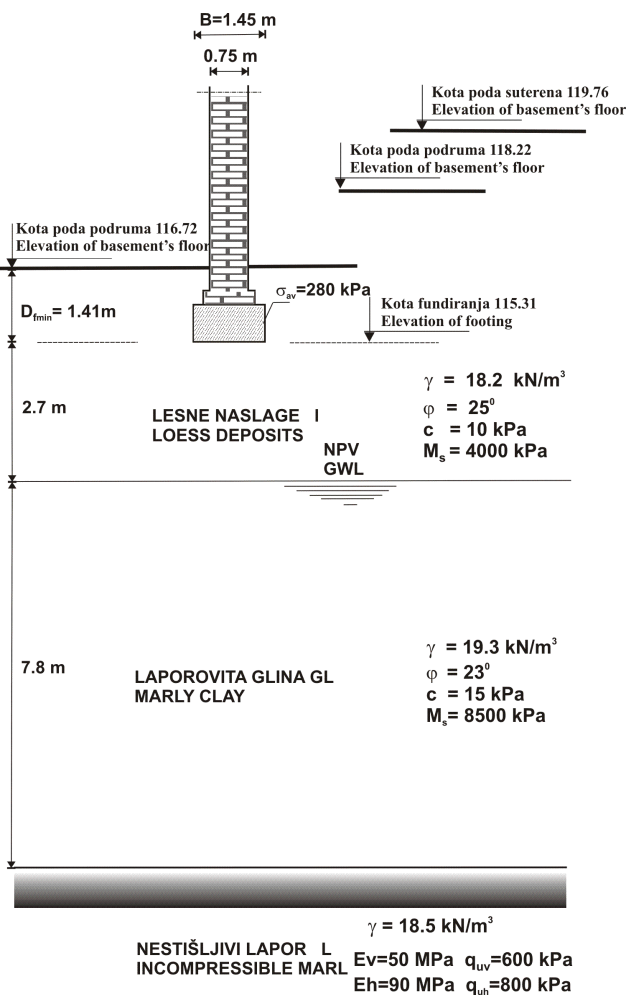
Footings settlements were calculated for the average net contact pressure  $\sigma_{avn} = 250\text{ kPa}$  and strip widths of  $B_1= 2.30\text{ m}$ ,  $B_2=1.95\text{ m}$  and  $B_3 = 1.45\text{ m}$ , taking into account appropriate geotechnical model of the terrain.

Settlement analyses were performed for the centric point, but the average values of the settlement were also calculated. The settlement values of building were determined by the conventional method [1]. The distribution of stresses under the foundation strips was determined by the Steinbrenner's method.

The maximum and average values of settlement for different footing strips and different geotechnical terrain models are presented in Table 2.



Slika 8. Geotehnički model terena GMT 2  
Figure 8. Geotechnical model of terrain GMT 2



Slika 9. Geotehnički model terena GMT 3  
Figure 9. Geotechnical model of terrain GMT 3

Analiza rezultata sleganja pokazuje da su se, samo usled opterećenja od objekta, temelji slegli u proseku za 9 -14cm. Ovim sleganjima od opterećenja objektom, svakako treba dodati i sleganja usled provlažavanja temeljnog tla, koja su u ovakvim inženjerskogeološkim sredinama i kod starih objekata neizbežna i koja, u našem slučaju, iznose i do 8.0 cm [4].

U vezi sa tim treba reći da su, prema Skemptonu i MekDonaldu, za ovakvu vrstu temelja, dozvoljena ukupna sleganja 6.5cm, a dozvoljena diferencijalna sleganja 4.0 cm [9].

Maksimalna sleganja su pretrpeli temelji koji se nalaze u središnjem delu zgrade, ispod glavnog stepeništa, gde su debljine lesnih naslaga najveće (≈ 3.0m), a gde njihovi moduli stišljivosti, istovremeno, imaju najniže vrednosti (≈ 3500 kPa u J-2).

Analysis of the results shows that the foundation settlements sank in average 9-14cm only due to the loading of the building. Sinking of the foundation soil due to the increase of soil moisture should be added as well [4]. That settlements are, in loess deposits and in the old buildings environment, almost inevitable. For the loess deposits the settlement due to the increase of the soil moisture could be additionally 8 cm.

Thus, according to Skempton and MacDonald (1956) the allowable total settlements for this type of foundation are 6.5 cm and allowable differential settlements are 4.0 cm [9].

Maximum sustained settlements arised in the central part of the building, underneath the main staircase, where the thickness of loess deposits is the largest (≈ 3.0m), and where their moduli of compressibility, at the same time, have the lowest value (≈ 3500 kPa in the J-2).

Tabela 2. Rezultati proračuna sleganja temeljnih traka  
Table 2. Results of the foundation settlement analyses

Geotehnički model terena (Geotechnical model of terrain)	Širina temeljne trake (Width of footing strip) B (m)	Debljina i modul stišljivosti sloja (Thickness and moduli of compressibility) H (m) <sup>Ms</sup> (kPa)	Neto prosečno kontaktno opterećenje (Net average contact pressure) • $av_n$ (kPa)	Najveće sleganje (Maximum settlement) s (cm)	Prosečno sleganje (Average settlement) s (cm)
GMT <sub>1</sub>	2.30	I 3.40 ^ 8 000	250	11.5	9.2
		LG 6.60 ^ 8 500			
GMT <sub>2</sub>	1.95	I 3.00 ^ 4 000	250	17.5	14.0
		LG 8.00 ^ 8 500			
GMT <sub>3</sub>	1.45	I 2.80 ^ 4 000	250	14.1	11.3
		LG 7.80 ^ 8 500			
T <sub>1</sub> u preseku (T <sub>1</sub> in section) VI-VI'	2.30	I 1.20 ^ 8 000	250	11.4	9.1
		LG 8.20 ^ 8 500			
T <sub>4</sub> u preseku (T <sub>4</sub> in section) IV-IV'	2.30	LG 11.60 ^ 8 500	250	12.1	9.7
T <sub>5</sub> u preseku (T <sub>5</sub> in section) IV-IV'	1.95	I 2.00 ^ 4 000	250	16.1	12.9
		LG 12.00 ^ 8 500			
T <sub>6</sub> u preseku (T <sub>6</sub> in section) IV-IV'	2.30	I 2.00 ^ 8 000	250	12.7	10.1

Za potrebu ove analize formiran je model na bazi metode konačnih elemenata, i to primenom domaćeg softverskog paketa Tower 6. Detaljniji prikaz numeričkog modela prikazan je u Idejnom rešenju, autorizovanom programu i projektnom zadatku sanacije konstrukcije Doma Narodne skupštine u Beogradu, urađenom 2010. godine od strane Građevinskog Fakulteta Univerziteta u Beogradu [6].

Svi armiranobetonski elementi konstrukcije modelirani su sadašnjom markom betona MB20. Zapreminska težina zidova od opeke je 1700 kg/m<sup>3</sup>. Modul elastičnosti zidanog zida određen je prema evropskim standardima EC 6 za proračun zidanih konstrukcija i tako je dobijena vrednost E=4835MPa. Tlo ispod temeljne konstrukcije modelirano je posebnim konačnim elementima čije su karakteristike određene na osnovu vrednosti koeficijenta vertikalne reakcije tla. Ova vrednost određena je saglasno EC 7, na osnovu prethodno izračunatih sleganja temelja, Tabela 2 i usvojeno je da iznosi k=2650 kN/m<sup>3</sup>.

Ovim proračunima dobijene su veličine sleganja ≈10.0-11.0 cm, što se dobro slaže sa veličinama sleganja dobijenim konvencionalnom metodom.

Ovim je potvrđeno da je model konstrukcije dobro napravljen [5]. Tako ovaj model može biti iskorišćen u daljoj analizi postojećeg stanja na konstrukciji, a pruža mogućnost i za proračun konstrukcije tokom eventualne sanacije objekta.

Ovde je potrebno istaći da se, uvođenjem adekvatnih modula elastičnosti za opeku, program Tower 6 može da koristi i za proračun zidanih građevina. Ovo predstavlja proširenje programa, što može da bude vrlo značajno, jer u Beogradu postoje mnoge zidane građevine koje imaju brojna oštećenja i zahtevaju primenu sanacionih mera.

For the purpose of the analysis in this paper, the numerical model is created on the basis of finite element method, using the domestic software package Tower 6. Detailed overview of the numerical model is given in Conceptual design, authorized program and project task for the rehabilitation of the structure for the Parliament building in Belgrade. This report was done by the Faculty of Civil Engineering, University in Belgrade in 2010 [6].

All reinforced concrete structural elements are calculated with concrete grade MB20. Volume weight of brick walls is 1700 kg/m<sup>3</sup>. Modulus of elasticity of brick wall was determined according to European standards for design of masonry structures (EC6) and it is obtained E = 4835MPa. The foundation soil is modeled by a special finite elements whose characteristics are determined by the value of the modulus of subgrade reaction. This value is determined according to EC 7, Table 2, on the basis of the calculated settlements, and has been adopted k<sub>s</sub> = 2650 kN/m<sup>3</sup>.

The settlement values determined by finite element analysis are ≈10.0-11.0 cm, which corresponds to the values obtained by conventional method.

This confirms that the model of this structure is well made and it can be used in further numerical analysis of the current state of this structure. Thus, the calculation of the structure during the possible rehabilitation can be performed.

It should be noted that taking into consideration equivalent values of modulus elasticity for brick walls, the software package Tower 6 can be also used for the calculation of masonry structures. This extension of this software can be very useful, because there are many masonry buildings in Belgrade which have structural damages and should be rehabilitated.

Sleganja terena na koti fundiranja, koja su nastala od opterećenja objekta su veća od dozvoljenih i konstruktivni sistem objekta, svojim elastičnim kapacitetom nije mogao da ih prihvati i podnese bez oštećenja. Samim tim, u zonama gde je bila iscrpljena nosivost konstrukcije, pojavila su se oštećenja koja su se manifestovala kao prsline, pukotine i slični diskontinuiteti na samom objektu, slika 2.

Posebno treba naglasiti negativan uticaj raskvašavanja lesnih naslaga ispod temelja koje dovodi do dodatnih sleganja objekta. Ovo izaziva ugaonu rotaciju delova objekta, oko mesta provlažavanja, koja je znatno veća od dozvoljene, a što neizbežno dovodi do novih oštećenja objekta. Ovo je karakteristično za mnoge stare zgrade u Beogradu.

Rezultati seizmičke mikrojeonizacije pokazali su da objekat treba računati sa koeficijentom seizmičnosti  $K_s=0.05$  (VIII seizmička zona) usvajajući prvu kategoriju objekta i drugu kategoriju tla. Izmereni periodi oscilovanja su: u podužnom pravcu 0.792 sec, a u poprečnom pravcu 0.890 sec [8].

Prema rezultatima seizmičkih proračuna, maksimalna horizontalna pomeranja vrha objekta – kupole, usled dejstva zemljotresa iznose: u podužnom pravcu 8.90 cm, a u poprečnom pravcu 7.40cm [6].

I pored uočenih oštećenja i nedostataka, objekat je u funkciji, služi nameni i koristi se bez većih problema. Da bi se ovakvo stanje zadržalo i u narednom periodu, neophodno je preduzeti mere i intervencije, kako na konstruktivnom sistemu objekta, tako i na temeljnoj konstrukciji. Preduzete mere i intervencije bi trebalo da spreče dalje širenje oštećenja i sačuvaju integritet čitavog objekta.

Zato su, s obzirom na geotehničku problematiku, razmatrana varijantna rešenja mera sanacije: ojačanjem temeljne konstrukcije mikrošipovima, dijafragmama ili kombinacijom dijafragmi i mikrošipova.

Primenom sistema mikrošipova sprečila bi se dalja sleganja, ali se ne bi uvećala sposobnost objekta da primi horizontalne sile od seizmičkih sila. Osim toga, naknadno raskvašavanje lesnih naslaga, u zoni fundiranja objekta, moglo bi da umani nosivost mikrošipova, a samim tim i omogući dalji razvoj sleganja objekta.

Sanacija temeljne konstrukcije sistemom dijafragmi obezbedila bi i dinamičku stabilnost objekta i njegovu bezbednost u pogledu oscilacija nivoa podzemnih voda. Međutim, zbog izrazite razuđenosti objekta, ne može se efikasno prići svim bitnim zonama unutar samog objekta.

Zbog toga je predloženo da se sanacija temeljne konstrukcije izvede kombinovanjem mikrošipova i dijafragmi sa pratećim adekvatnim intervencijama na konstruktivnom sistemu objekta (Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010).

Ground settlements at a footing level, arising from the building load and increase of soil moisture are larger than allowable values. Thus, the building structural system with its elastic capacity was not able to accept and submit these settlements without damages. Therefore, in places where construction capacity was exhausted, appeared the damages that were manifested as cracks, crevices and similar discontinuities on the some parts of construction, Fig. 2.

The negative impact of later soil moisture increasing on loess deposits underlying the foundation should be emphasized as well. It produces subsequent subsidence of the building. Additional settlements lead to the angular rotations of some parts of the building around the site of the increase of soil moisture which were significantly higher than the allowable values, and inevitably cause the additional damage of the building [5]. It characterizes many old buildings in Belgrade.

Results of performed investigations of the seismic microzoning showed that the seismic coefficient is  $K_s = 0.05$  (seismic zone VIII) by adopting the first category for building and the second category for soil. The measured periods of oscillations are: in the longitudinal direction 0.792 sec and 0.890 sec in the transverse direction [8].

According to the results of seismic calculations, the maximum horizontal displacements due earthquake to the top of the dome are: in the longitudinal direction 8.90 cm and 7.40cm in the transverse direction [6].

Despite the observed damages and deficiencies, the Parliament building is in operation. It serves to its purpose and it is in use without any problems. To retain this status in the future, it is necessary to take action and intervention to the building construction system as well as to the foundation structure. These actions and interventions should prevent further spread of damages and should preserve the integrity of the whole building. Therefore, from the geotechnical point of view, some solutions of remedial measures are considered: strengthening of foundation structure with micropiles, diaphragms, or with combination of micropiles and diaphragms.

Applying the system of micropiles would prevent additional settlements, but it would not increase the ability of structure to receive the horizontal seismic forces. Besides, subsequent leaching of loess deposits in the foundation soil could reduce the bearing capacity of micropiles. This would cause additional settlements of the building.

Rehabilitation of foundation structure using diaphragms would produce the dynamic stability of the structure as well as its safety in regard to the fluctuations of groundwater levels. However, due to exceptional indentation of the building, it is not possible to make diaphragms in all relevant areas within the object.

Therefore, it was proposed that rehabilitation of the foundation system can be performed using the suitable combination of micropiles and diaphragms, with additional appropriate interventions in the building structure system (Faculty of Civil Engineering, University in Belgrade, 2010).



## 6 ZAKLJUČAK

Zbog uočenih oštećenja na zgradi Doma Narodne Skupštine Republike Srbije u Beogradu, a i ugrožene dugoročne dinamičke stabilnosti objekta, izvedena su detaljna geotehnička istraživanja terena. Ova istraživanja izveo je Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010.god.

U prijemu i prenošenju opterećenja od objekta učestvuju kvartarne lesne naslage debljine od 1.5 do 3.8m i tercijarne ispucale laporovite gline kore raspadanja promenljive debljine od 6.60 do više od 13.0m. Nestišljivu podlogu, bedrock, predstavljaju tercijarni lapori, koji se nalaze na dubini od 13.0 do više od 20.0m.

Objekat je, u konstruktivnom smislu, krut zidani objekat, fundiran na betonskim temeljnim trakama, promenljive širine, od 1.45m do 2.30m, i na promenljivoj dubini fundiranja, od 1.41m do 5.50m

Izvršene analize graničnih opterećenja i faktora sigurnosti u pogledu opšteg loma tla, za sve, terenskim radovima utvrđene, širine temelja i dubine fundiranja, pokazuju da su faktori sigurnosti, u sadašnjim uslovima veći od 2.5 za sve temelje.

Analiza rezultata sleganja pokazuje da su se, samo usled opterećenja od objekta,  $\sigma_{sr} \approx 280$  kPa, temelji slegli u proseku za 9 -14cm. Ovim sleganjima od opterećenja objektom, svakako treba dodati i sleganja usled provlažavanja temeljnog tla, koja su u ovakvim inženjerskogeološkim sredinama i kod starih objekata, neizbežna. Ukupna sleganja terena su veća od dozvoljenih i konstruktivni sistem objekta nije mogao da ih prihvati i podnese bez oštećenja. Samim tim, u zonama gde je bila iscrpljena nosivost konstrukcije, pojavila su se oštećenja koja su se manifestovala kao prsline, pukotine i slični diskontinuiteti na samom objektu. Posebno treba naglasiti negativan uticaj raskvašavanja lesnih naslaga ispod temelja koje dovodi do dodatnih sleganja objekta.

Prema rezultatima seizmičkih proračuna, maksimalna horizontalna pomeranja vrha objekta-kupole, usled dejstva zemljotresa iznose: u podužnom pravcu 8.90 cm, a u poprečnom pravcu 7.40cm.

Radi obezbeđivanja statičke i dinamičke stabilnosti objekta, razmatrana su varijantna rešenja mera sanacije: ojačanjem temeljne konstrukcije mikrošipovima, dijafragmama ili kombinacijom dijafragmi i mikrošipova. Zaključeno je da bi se kombinovanjem mikrošipova i dijafragmi, sa pratećim adekvatnim intervencijama na konstruktivnom sistemu objekta, trajno rešili problemi sleganja i problemi dugoročne dinamičke stabilnosti i statičke održivosti konstruktivnog sistema objekta.

## 6 CONCLUSION

The observed damages and deficiencies over the Parliament building Republic of Serbia in Belgrade, as well as the endangered long-term structural dynamic stability of the building and public safety, caused the need to carry out detailed geotechnical explorations. These investigations were performed by the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade.

On the basis of these investigations it was concluded that the loading from the building is transmitted to Quaternary loess deposits of thickness from 1.5 to 3.8m and to Tertiary marly clays of weathering zone with variable thickness from 6.60 to more than 13.0m. Incompressible layer, bedrock, consists of Tertiary marls, at a depth of more than 13.0 to 20.0m.

Structurally, the building is a rigid masonry construction that is founded on the strip foundations, with variable widths of footing, from 1.45m to 2.30m and with variable depths of foundation, from 1.41m to 5.50m.

The bearing capacity analyses confirmed that, for all geotechnical models of terrain and for all foundation strips, safety factors with respect to the general failure of soil are higher than 2.5.

Due to total average load  $\sigma_{av} \approx 280$  kPa, settlements were 9-14cm. For these settlement values, due to the loading of the building, it has to be added the settlement (sinking) of the foundation soil due to the increase of the soil moisture. It is almost inevitable for these deposits and beneath the very old buildings. Thus, the total ground subsidence is higher than allowable and the building structural system was not able to accept and bear it without damages. Therefore, the damages that were manifested as cracks, crevices and similar discontinuities at the building appeared in parts where the construction capacity was exhausted. It should be emphasized that there is the negative impact of increased moisture of the loess deposits under the foundation that leads to the additional subsidence of the building.

According to the results of seismic calculations, the maximum horizontal displacements of the top of the dome, due to the earthquake, are as follows: in the longitudinal direction is 8.90 cm and 7.40cm in the transversal direction.

In order to provide static and dynamic stability of the building, some solutions for the remedial measures were considered: strengthening foundation structure by micropiles, diaphragms, or a with combination of micropiles and diaphragms. It was concluded that the combination of micropiles and diaphragms, with additional appropriate interventions in the building construction system, will solve problems of permanent subsidence and problems of dynamic stability as well as long-term sustainability of the building structure system.

## 7 LITERATURA REFERENCES

- [1] Ćorić, S. *Geostatički proračuni*, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu i Izgradnja, 2008.
- [2] Elaborat o rezultatima detaljnih geotehničkih istraživanja terena objekta Doma Narodne Skupštine Republike Srbije, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010.
- [3] FHWA (2006), *Soils and Foundations*, Vol. I & II. Report FHWA-NH-06-088, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2006.
- [4] Hadži-Niković, G. *Konstitutivne zavisnosti nezasićenih tla područja Beograda – doktorska disertacija*. Beograd, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
- [5] Hadži-Niković, G., Ćorić Slobodan i Ćorić Stanko, *Geotehnički uslovi sanacije Doma Narodne Skupštine u Beogradu*, Zbornik radova IV naučno-stručnog savetovanja Geotehnički aspekti građevinarstva, Ed. Prof. Radomir Folić, Zlatibor, 1-3. nov. 2011, 153-160.
- [6] Idejno rešenje, autorizovani program i projektni zadatak sanacije konstrukcije Doma Narodne skupštine u Beogradu, Građevinski Fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010.
- [7] Radovanović, S. *Seizmološka izučavanja u Srbiji*, Materijali i konstrukcije, 2008, vol.51, br.2, str. 66-74.
- [8] *Seizmička mikrorejonizacija Doma narodne Skupštine*, Izveštaj, Seizmološki zavod Srbije, Beograd, 2010.
- [9] Skempton, A.W. and MacDonald, D.H. *The allowable settlements of buildings*. Proc. Inst. Of Civ. Eng. Vol 5, Part III (1956).

## REZIME

### GEOTEHNIČKI UZROCI OŠTEĆENJA DOMA NARODNE SKUPŠTINE U BEOGRADU

Gordana HADZI-NIKOVIĆ  
Slobodan ĆORIĆ  
Stanko ĆORIĆ

Dom Narodne skupštine je jedan od najznačajnijih spomenika kulture u Srbiji iz prve polovine dvadesetog veka. Na njemu su uočena brojna oštećenja i u cilju njegove sanacije bilo je neophodno izvođenje detaljnih geotehničkih istraživanja koja je izvršio Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu. Ovim istraživanjima definisana su geotehnička svojstva terena u zoni njegove interakcije sa objektom, a određena su i sleganja temelja i nosivost temeljnog tla. Utvrđeno je da su stvarna opterećenja temelja manja od dozvoljenih, ali da su sleganja temelja višestruko veća od dopuštenih i da je to glavni uzrok oštećenja objekta. Ova sleganja su određena konvencionalnom metodom i metodom konačnih elemenata i dobijeni su slični rezultati. Osim toga, analizom sa konačnim elementima, utvrđeno je i da objekat ne zadovoljava uslove stabilnosti u slučaju dejstva zemljotresa. Stoga su, u saradnji sa projektantom sanacije objekta, predložene sanacione mere koje sa geotehničkog aspekta trajno rešavaju probleme kako statičke tako i dinamičke stabilnosti Doma Narodne skupštine u Beogradu.

**Ključne reči:** oštećenja konstrukcije, geotehnička istraživanja, nosivost tla, sleganja temelja, geotehnički model, statička i dinamička stabilnost, geotehničke mere sanacije.

## SUMMARY

### GEOTECHNICAL CAUSES OF DAMAGES FOR THE PARLIAMENT BUILDING IN BELGRADE

Gordana HADZI-NIKOVIĆ  
Slobodan ĆORIĆ  
Stanko ĆORIĆ

The Parliament building of the Republic of Serbia is one of the biggest and most beautiful cultural monuments in Serbia from the first half of 20th century. Right now, there are numerous structural damages over the building. In order to define remedial measures for rehabilitation of the Parliament building, it was necessary to carry out detailed geotechnical investigations. These investigations were performed by the Faculty of Mining and Geology, University in Belgrade. Thus, geotechnical properties of the terrain in a zone of its interaction with the building were defined according to the obtained results. The bearing capacity of foundation soil and settlements of footings were calculated, too. These analyses showed that the existing footings loads values are less than allowable values, but the settlements of footings are much larger than it is allowable, and it is a main reason of the structural damages over the building. The settlements were determined by two methods: conventional and finite element. The obtained values are very close. In addition, by the finite element analysis it was concluded that the building has no resistance to the effects of earthquakes. Remedial measures were proposed on the basis of these results, and in cooperation with engineers responsible for rehabilitation of the structure. These measures permanently solve the problems related to the static and dynamic stability of the Parliament building from the geotechnical point of view.

**Key words:** structural damages, geotechnical investigations, bearing capacity, footing settlement, geotechnical model, static and dynamic stability, remedial geotechnical measures.





## MODEL ZA PREDIKCIJU TEMPERATURA KOLOVOZA U SRBIJI

## MODEL FOR PAVEMENT TEMPERATURE PREDICTION IN SERBIA

Bojan MATIĆ  
Danka MATIĆ  
Nebojša RADOVIĆ

PRETHODNO SAOPŠTENJE  
UDK: 625.81.02(497.11) = 861

### 1 UVOD

Kolovozna konstrukcija je višeslojni sistem sastavljen od različitih materijala, čije je ponašanje manje ili više zavisno od temperature. Ukratko bi se mogle istaći sledeće posledice delovanja temperature:

- promene osnovnih fizičko-mehaničkih osobina materijala (naročito izraženo kod asfalta);
- pojavu nutrašnjih napona u materijalu (naročito izraženo kod betonskih ploča);
- dejstvo mraza;
- promena vlažnosti u kolovoznoj konstrukciji i podtlu [12].

Sa druge strane, toplotni režim u kolovoznoj konstrukciji nastaje kao posledica spoljnih uticaja, ali je u velikoj meri zavistan od toplotnih karakteristika materijala ugrađenih u pojedine slojeve.

Praktično se razmatranje uticaja toplotnog režima na kolovoznu konstrukciju može usmeriti u dva osnovna pravca:

- uticaj temperature na mehaničko ponašanje materijala u kolovoznoj konstrukciji
- mehanizam rasprostiranja toplote u kolovoznoj konstrukciji.

Sve ove pojave se moraju analizirati i utvrditi i kvalitativna i kvantitativna veza između promene temperature i promena koje se javljaju u kolovoznoj konstrukciji. Samo se tako može doći do realnih podataka sa kojima će se na osnovu odgovarajućeg matematičkog modela doći do realnog rešenja.

---

Bojan Matić, MSc, Faculty of Technical Sciences,  
TrgDositejaObradovića 6, Novi Sad, [bojanm@uns.ac.rs](mailto:bojanm@uns.ac.rs)  
Danka Matić, MSc, Faculty of Technical Sciences,  
TrgDositejaObradovića 6, Novi Sad,  
[d\\_modrakovic@hotmail.com](mailto:d_modrakovic@hotmail.com)  
Nebojša Radović, Assi. Prof., Faculty of Technical  
Sciences, TrgDositejaObradovića 6, Novi Sad,  
[radovic@drenik.net](mailto:radovic@drenik.net)

### 1 INTRODUCTION

Pavement construction is a multilayer system comprising of different materials, and its behavior is more or less dependant on temperature. Briefly, the following is directly dependant on temperature:

- changes in the basic physical and mechanical qualities and properties of materials (especially obvious in the case of asphalt);
- the appearance of internal stresses in a material (especially obvious in the case of concrete plates)
- the effects of sub zero temperatures
- variation of the levels of humidity inside a pavement construction and subgrade [12].

On the other hand, a heat regime inside a pavement construction is a result of external factors, but is also greatly dependant on heat conducting characteristics of materials built into different layers. Practically, there are two basic concerns when examining the influence of a heat regime:

- the influence of temperature on mechanical properties of materials in the pavement construction and
- the mechanism of heat distribution in a pavement construction.

It is necessary to analyze all these occurrences and to establish both qualitative and quantitative connections between fluctuations in temperature and changes in the pavement construction. This is the only way to obtain realistic data which can then be inputted into an appropriate mathematical model to produce a realistic solution.

---

Bojan Matić, MSc, Faculty of Technical Sciences,  
TrgDositejaObradovića 6, Novi Sad, [bojanm@uns.ac.rs](mailto:bojanm@uns.ac.rs)  
Danka Matić, MSc, Faculty of Technical Sciences,  
TrgDositejaObradovića 6, Novi Sad,  
[d\\_modrakovic@hotmail.com](mailto:d_modrakovic@hotmail.com)  
Nebojša Radović, Assi. Prof., Faculty of Technical  
Sciences, TrgDositejaObradovića 6, Novi Sad,  
[radovic@drenik.net](mailto:radovic@drenik.net)

Kad se radi o uticaju temperature, kao poseban problem se javlja određivanje toplotnog režima u kolovoznoj konstrukciji određene deonice puta, prema postojećim lokalnim i mikroklimatskim uslovima. Konkretno, za pravilnu analizu uticaja opterećenja i pojave zamora, potrebno je poznavati temperature i njihovo trajanje u pojedinim slojevima kolovozne konstrukcije. Tada se za određene vremenske periode sa relativno homogenim stanjem temperature u pojedinim slojevima, može sračunati parcijalna suma oštećenja koja se akumulira u sred dejstva pripadajućeg saobraćajnog opterećenja pri datim temperaturnim uslovima. Sabiranjem parcijalnih suma oštećenja za celu godinu, dobija se suma godišnjih oštećenja pa se na osnovu nje lako može odrediti vek trajanja kolovozne konstrukcije, što je krajnji cilj svih analitičkih postupaka [12].

Za razliku od materijala kao što su beton i čelik, kod kojih temperatura u prirodnim uslovima ima veći uticaj samo na dilatacije i unutrašnje napone u konstrukciji, kod asfaltnih mešavina se pri promeni temperature bitno menjaju osnovne fizičko-mehaničke osobine, jer vezivo – bitumen, od kruto elastičnog stanja pri niskim temperaturama pri povišenju temperature prolazi kroz visoko-elastično stanje da bi dospelo do viskoznog stanja pri višim temperaturama.

Zavisnost ponašanja bitumena, odnosno asfaltnih mešavina od temperature poznata je još od kada se zna za ove materijale, pa većina klasičnih metoda ispitivanja njihovih karakteristika uzima u obzir ovu činjenicu, bilo tako što se pripisuje temperatura pri kojoj se vrši opit (penetracija i duktilitet kod bitumena, Maršalov opit kod mešavina), bilo da se kao rezultat opita traži temperatura na kojoj dolazi do određene pojave (tačka loma po Frasu, tačka razmekšavanja pomoću prstena i kuglice – PK).

Poslednjih decenija dolazi do naglog porasta primene bitumenom obavijenih materijala kod izrade nosećih i završnih slojeva kolovozne konstrukcije. Debljine ovih slojeva su često veće od 20 cm tako da se svakodnevno, širom sveta ugrađuju ogromne količine asfaltnih materijala u slojeve novih ili pojačanih kolovoznih konstrukcija. Tako široka primena postavlja zahteve za preciznim poznavanjem osobina materijala pri vrlo različitim uslovima koji se u praksi javljaju, pa se u tom smislu u svetu vrše mnogobrojna istraživanja. Kao osnovni zadatak postavlja se određivanje fizičko-mehaničkih osobina materijala pri uslovima koji odgovaraju uslovima u stvarnoj kolovoznoj konstrukciji, a u tu svrhu je kod bitumenom vezanih materijala vrlo značajno odrediti njihove karakteristike u opsegu temperatura koje će se javljati u kolovoznoj konstrukciji, uz posebno razmatranje dejstva ekstremnih temperatura [12].

## 2 PRORAČUN TEMPERATURA KOLOVOZA

Fizičko-mehaničke osobine bitumena kao veziva, a tim i asfaltnih mešavina, u velikoj meri zavise od temperature, pa je neophodno da se osobine precizno odrede za različite temperaturne intervale. Tada se, uz poznavanje klimatskih uslova i saobraćajnog opterećenja može predvideti ponašanje određene asfaltno mešavine ugrađene u kolovoznu konstrukciju.

Determining a heat regime in a particular section of a pavement according to existing local and micro-climatic conditions is a problem when it comes to the influence of temperature. Namely, it is necessary to be aware of temperatures and their lasting in different layers of a pavement construction in order to correctly analyze the influence of stress and mechanical wear and tear. Then we can calculate a partial sum of damage accumulated under the influence of traffic stress and temperature factors. This can only be used during periods with relatively homogenous average temperatures in different layers. By adding up the partial sums of damage during the entire year, we calculate the yearly sum of damage based on which it is easy to determine the durability of pavement construction which is the ultimate goal of all analytical procedures [12].

With the change of temperature in asphalt mixes, the basic physical and mechanical properties change, unlike when materials like concrete and steel are used, in which the natural temperature conditions have a greater effect only to dilatations and internal stresses in construction. This happens because the binder – bitumen, from stiff elastic state in low temperatures, changes to highly elastic state under the influence of temperature increase, only to reach viscosity in high temperatures.

The behavior of bitumen or asphalt mixes in contact with different temperatures has been known ever since their discovery so the most common methods of examining their properties take this into consideration, either by noting the temperature at which the experiment is conducted (penetration and ductility in bitumen, Marshal's test in mixes) or having a particular temperature as the goal of the experiment (breaking point by Fraass, softening point using a ring and a ball – RB).

Great increase in the use of bitumen covered materials when constructing bearing and finishing layers of pavement construction occurred in the last few decades. These layers are frequently more than 20cm thick, which results in huge amounts of these materials added into new or reinforced pavement constructions. Such a wide range of use demands precise knowledge of the properties of these materials under the influence of various conditions they can be subjected to, which results in considerable research conducted around the world. The basic goal is to determine the physical and mechanical properties of the materials when influenced by those conditions that exist in actual pavement constructions. With materials containing bitumen it is very important to determine their behavior within the range of temperatures occurring in the pavement construction, with paying special attention to the effects of extreme temperatures [12].

## 2 CALCULATING PAVEMENT TEMPERATURE

Physical and mechanical properties of bitumen as a binder, and thus of asphalt mixes, greatly depend on temperature, so it is necessary to precisely determine them for different temperature intervals. Thus, knowing the climate conditions and traffic stress, it is possible to predict the behavior of a specific asphalt mix used in a pavement construction.

Poznato je da se danas sračunavanje napona i deformacija u kolovoznim konstrukcijama često vrši na bazi teorije elastičnosti, što ima opravdanja u „normalnom“ opsegu temperatura, u kome se asfaltne mešavine ponašaju približno elastično, naročito kada je dejstvo opterećenja kratkotrajno. Međutim, pojava visokih temperatura u najtoplijim periodima godine može znatno da poveća uticaj viskozne komponente u ponašanju asfaltne mešavine i da dovede do većih deformacija kolovoza, naročito pri dejstvu teško opterećenog točka koji se sporo kreće ili miruje (ekstreman slučaj su autobuske stanice, saobraćajne trake za teška vozila na uzbrdici i sl.).

Iz ovog razloga je naročito važno utvrditi opasnost od pojave deformacije u uslovima ekstremnih temperatura i pre svega utvrditi visinu i dužinu trajanja tih temperatura, kao i detaljno analizirati saobraćajno opterećenje. Najveći saobraćajni špic javlja se, između podneva i završetka radnog vremena kada je temperatura najviša i kada su asfaltni slojevi najpodložniji stvaranju trajnih deformacija. S druge strane, u zimskim uslovima, najniže temperature u kolovoznoj konstrukciji su u jutarnjim časovima, u vreme jutarnjeg saobraćajnog špica. Tada postoji opasnost od nastajanja pukotina usled savijanja slojeva pod saobraćajnim opterećenjem pri istovremenom dejstvu znatnih unutrašnjih napona zatezanja nastalih u materijalu usled niskih temperatura.

S obzirom na dosadašnja iskustva, kontinentalni deo naše zemlje je područje kome se velika pažnja mora posvetiti temperaturnoj osetljivosti asfaltnih mešavina, jer hladne zime ne dozvoljavaju primenu tvrdih asfalt-betona, a topla leta uslovljavaju suprotan zahtev. Rešenje se može tražiti kroz primenu bitumena sa malom temperaturnom osetljivošću, primenu elastomera i pogodnog granulometrijskog sastava mineralne mešavine kojim će se obezbediti čvrst i stabilan skelet asfaltnog sloja.

## 2.1 Pregled modela

Jedan od prvih istraživača koji je razmatrao problem proračuna maksimalnih temperatura kolovoza na osnovu izveštaja vremenskih uticaja je bio Barber 1957 godine [2]. Razmatran je kolovoz kao polu-beskonačna masa u kontaktu sa vazduhom. Ukupna dnevna radijacija je procenjena na osnovu geografske širine posmatranog kolovoza uzimajući u obzir njen uticaj na temperaturu vazduha blizu površine. Nedostatak ovog modela je bio to što je model uključivao faktor ukupne dnevne radijacije, umesto precizniji način-časovnu radijaciju. Rumny and Jimenez (1969) su razvili nomograf pomoću podataka sakupljenih u Tuksonu, Arizona za predviđanje temperature kolovoza na površini i na dubini od 50mm. Dempsey (1970) je razvio simulacioni model baziran na teoriji toplotne provodljivosti i energetske ravnoteže na površini kolovoza. Strategic Highway Research Program (SHRP) je formirao Long-Term Pavement Performance (LTTP) program 1987 godine kao 20-godišnje istraživanje za bolje definisanje karakteristika kolovoza na licumesta-na terenu. 64 (LTTP) lokacije su izabrane kao deo Seasonal Monitoring Program (SMP). SMP lokacije su izabrane kako bi se dobili podaci o uticaju temperaturnih varijacija na konstruktivne osobine kolovoza (test defleksija), definisanje klimatskih uslova

It is well known that the contemporary way of calculating stresses and deformation in pavement construction is often based on the theory of elasticity, which is justified when dealing with a “normal” range of temperatures in which asphalt mixes take on elastic properties, especially if the stress persists for short periods of time. However, high temperatures in the warmest periods of the year can significantly increase the effect of a viscous component and result in major deformations of the pavement, especially under the influence of a slow moving or stationary, heavily burdened wheel (bus stations and heavy vehicle uphill lanes being the extreme cases).

This is why it is critical to determine the danger of deformations appearing with extreme temperatures present and especially to establish these temperatures and their duration as well as to analyze traffic stress in detail. The greatest rush hour occurs between noon and the end of the working day when temperatures are the highest and when the asphalt layers are most susceptible to permanent deformation. On the other hand, in winter conditions, the lowest temperatures in the pavement construction occur in the morning hours, during the morning rush hour. This situation allows for cracks to form as a consequence of layers bending under traffic stress and internal resistance caused by low temperatures.

Based on previous experience, it is safe to say that the continental part of our country is an area that requires a lot of attention in terms of temperature sensitivity of asphalt mixes, because cold winters do not allow the use of solid asphalt-concrete, and warm summers dictate the opposite. The solution which will ensure a solid and stable skeleton of the asphalt layer can be attained through the use of bitumen with low temperature sensitivity, the use of elastomers and appropriate granulometric composition of the mineral mix.

## 2.1 Overview of the models

One of the first researchers who dealt with the problem of estimating maximum pavement temperatures based on the weather condition reports was Barber in 1957 [2]. The pavement was seen as half-infinite mass in contact with the air. The total daily radiation was estimated on the basis of the latitude of the observed pavement, while taking into account the effect of the radiation on the air temperature near the surface. The shortcoming of this approach was that it included the factor of the total daily radiation instead of the more precise way – hourly radiation. Due to the data collected in Tucson, Arizona, Rumny and Jimenez (1969) developed a nomograph for predicting pavement surface temperature and pavement temperature at the 50mm depth. Dempsey (1970) developed a simulation model based on the theory of thermal conductivity and energy balance on the pavement surface. Strategic Highway Research Program (SHRP) formed the Long-Term Pavement Performance (LTTP) program in 1987 as 20-year-long research for a more efficient defining of the pavement characteristics on the very spot. 64 (LTTP) locations were chosen as a part of the Seasonal Monitoring Program (SMP). The SMP sites were chosen to receive additional testing which included the following:

merenjem ambijentalnih temperatura i padavina, merenje temperatura donjih slojeva, sadržaja vlažnosti i dubine smrzavanja [1]. Kao rezultat SMP istraživanja, projektovanje asfaltnih slojeva prema SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) metodi se zasniva na očekivanim minimalnim temperaturama vazduha i maksimalnom sedmodnevnom prosečnom temperaturom vazduha. Najniža temperatura vazduha se smatra jednaka najnižoj temperaturi kolovoza. Maksimalna sedmodnevna prosečna temperatura vazduha se koristi za proračun maksimalnih temperatura kolovoza, prema Superpave-u [4.]

Od početnih (SHRP) testova do SMP, modeli koji definišu temperaturu kolovoza su razvijani da bi pomogli u formiranju odgovarajućih asfaltnih slojeva i dati su u uslovima PG (Performance Grade). Na primer PG 48-16 označava da je očekivani temperaturni opseg od minimalnih  $-16^{\circ}\text{C}$  do najviše sedmodnevne prosečne temperature  $48^{\circ}\text{C}$ . [4] Poređenje odabranih PG i stvarnih temperatura kolovoza je proučavao Mohseny and Symons (1998), Lukanen et al. (1998), Bosscher et al. (1988) [3,5,9,10]. Ove visoke i niske temperature su vodič za odabir odgovarajućih asfaltnih veziva - bitumena i mešavina, kako ne bi došlo do nepoželjnih deformacija i pukotina. Istraživanja Park et al. (2001), and Marshal et al., (2001) obezbeđuju empirijski model koji omogućava korisniku procenu temperaturnog profila kolovozne konstrukcije u toku bilo kog dela dana [7,11]. Oba ova istraživanja dovode u vezu važnost ovog određivanja posmatranjem različite nosivosti kolovozne konstrukcije tokom dana koristeći FWD (Falling Weight Deflectometer). Na osnovu kombinacije saobraćajnog opterećenja i uslova okruženja formirana je specifikacija koja služi za određivanje asfaltnih veziva-bitumena (SHRP,1994). Vrsta odabranog bitumena u velikoj meri zavisi od temperatura kolovoza (minimalnih i maksimalnih). Uslovi opterećenja koji su u vezi sa karakterističnim visokim temperaturama su brzina vozila od 100km/čas i opterećenje manje od  $10^7$  ekvivalentnih standardnih osovina (ESALs) [4].

### 3 ODREĐIVANJE TEMPERATURA KOLOVOZA PREMA SUPERPAVE METODI

Određivanje temperatura kolovoza može biti izvršeno direktnim merenjem ili izračunato pomoću temperature vazduha i drugih faktora. Višegodišnjim istraživanjem (LTTP - Long-Term Pavement Performance i SMP - Seasonal Monitoring Program) ponašanja kolovozne konstrukcije usled saobraćajnog opterećenja i uslova okruženja formiran je metod za projektovanje asfaltnih kolovoza koji se naziva SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement). Prema SUPERPAVE metodi bitumeni se određuju prema očekivanoj minimalnoj temperaturi vazduha i maksimalnoj sedmodnevnoj prosečnoj godišnjoj temperaturi.

Na osnovu procenjenih godišnjih visokih i niskih temperatura i definisanog PG x-y (Performance Grade, slika 1) bira se odgovarajuće vezivo-bitumen [4].

Oznaka (PG x-y) se koristi za određivanje bitumena u zavisnosti od temperature kolovoza.

PG - Performance Grade

x - visoka temperatura kolovoza za projektovanje

y - niska temperatura kolovoza za projektovanje

deflection testing to evaluate effects of temperature variation on structural performance; characterization of climatic conditions by measuring ambient temperature and precipitation; measurements of subsurface temperature, moisture content, and frost depth [1]. As a result of SMP research, according to SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) method, the design of asphalt layers is based on the anticipated minimum air temperatures and average 7-day maximum air temperature. The average 7-day maximum air temperature is used for measuring the max pavement temperature, according to Superpave [4].

Ever since the first (SHRP) tests up to SMP, the models defining pavement temperature were developed in order to help form the adequate asphalt layers and were listed under the conditions of PG(Performance Grade). For example, PG 48-16 means that the expected temperature range goes from the minimum  $-16^{\circ}\text{C}$  to the highest average 7-day temperature,  $48^{\circ}\text{C}$  [4]. Comparison of the chosen PG and the actual pavement temperatures was done by Mohseny and Symons (1998), Lukanen et al. (1998), Bosscher et al. (1988) [3,5,9,10]. These high and low temperatures are guides for choosing the adequate asphalt binders and mixtures, so that there would not be any undesirable deformities and fissures. Examinations of Park et al. (2001) and Marshal et al. (2001) provide the empirical model which enables a user to get the estimation of a temperature profile of the pavement construction any time during the day [7,11]. Both these examinations relate the importance of this estimation to the observation of different maximum loads of the pavement construction during the day by using FWD (Falling Weight Deflectometer). A specification for estimating asphalt layers was formed (SHRP,1994), based on the combination of traffic loads and environmental conditions. The type of the chosen asphalt layer to a large extent depends on the minimum and maximum pavement temperatures. Traffic conditions related to characteristic high temperatures are vehicle velocity of 100 kph and loads lower than  $10^7$  equivalent single axle loads (ESALs) [4].

### 3 DETERMINATION OF PAVEMENT TEMPERATURE ACCORDING TO SUPERPAVE METHOD

Pavement surface temperature can be determined either by direct measurement or calculated using air temperature and other factors. A model for designing asphalt pavements called SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) has been created after many years of research (LTTP - Long-Term Pavement Performance and SMP - Seasonal Monitoring Program) of behavior of pavement due to traffic load and environmental conditions. According to the method of SUPERPAVE, asphalts are designed according to the expected minimum air temperature and maximum seven-day average annual temperature.

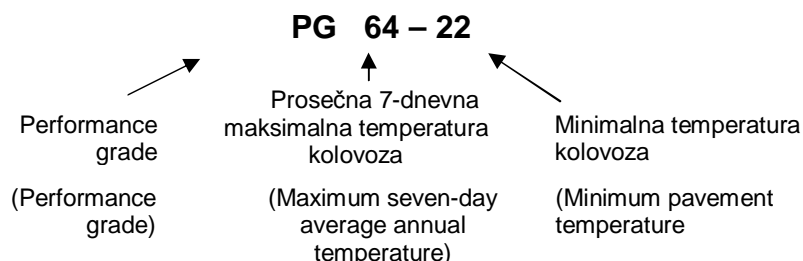
An appropriate asphalt-binder is based on estimates of annual high and low temperatures and a defined PG x-y (Performance Grade, Figure 1) [4].

Symbol (PG x-y) is used to determine asphalts depending on the pavement temperature.

PG - Performance Grade

x - high pavement design temperature

y - low pavement design temperature



Slika 1- Objašnjenje oznake PG  
Figure 1- Explanation of PG symbol

Odabir odgovarajućeg veziva za različite lokacije određuje se koristeći niz jednačina koje je definisao SHRP Superpave Binder System. PG sistem pokušava da naznači odgovarajuće bitumene-veziva u zavisnosti od temperature.

Selecting an appropriate binder for different locations is determined using a series of equations defined by SHRP Superpave Binder System. PG system attempts to indicate the appropriate layers of asphalt-binder depending on the temperature.

Tabela 1 – Specifikacija slojeva asfalta u zavisnosti od PG [4]  
Table 1 - Specification of asphalt layers, depending on the PG [4]

PERFORMANCE GRADE	PG 46-			PG 52-						PG 58-				PG 64-							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C <sup>a</sup>	<46			<52						<58				<64							
Minimum Pavement Design Temperature, °C <sup>a</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
<b>ORIGINAL BINDER</b>																					
Flash Point Temp, T48: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D4402: <sup>b</sup> Maximum, 3 Pa*s, Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5: <sup>c</sup> G'/sinδ, Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
<b>ROLLING THIN FILM OVEN (T240) OR THIN FILM OVEN RESIDUE (T179)</b>																					
Mass Loss, Maximum, percent	1.00																				
Dynamic Shear, TP5: G'/sinδ, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
<b>PRESSURE AGING VESSEL RESIDUE (PPI)</b>																					
PAV Aging Temperature, °C <sup>d</sup>	90			90						100				100							
Dynamic Shear, TP5: G'/sinδ, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Physical Hardening <sup>e</sup>	Report																				
Creep Stiffness, TP1: <sup>f</sup> S, Maximum, 300 MPa, m - value, Minimum, 0.300 Test Temp @ 60s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP3: <sup>g</sup> Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Način računanja temperatura kolovoza, prema SUPERPAVE metodi, na osnovu temperatura iz vazduha je sledeći:

- preračunavanje prosečne 7-dnevne maksimalne

Way of calculating pavement temperatures, according to the SUPERPAVE method, based on air temperature is as follows:

- convert average 7-day maximum air temperature to

temperature vazduha u temperaturu površine kolovoza (average 7-day maximum pavement design temperature)

– računanje 7-dnevne maksimalne temperature kolovoza na određenoj dubini (average 7-day maximum pavement design temperature at specified depth)

– preračunavanje minimalne temperature vazduha u minimalnu temperaturu površine kolovoza

– računanje minimalne temperature kolovoza na određenoj dubini [4].

Metod omogućava procenu temperature površine kolovoza i temperature na određenoj dubini u odnosu na površinu kolovoza. Prosečna 7-dnevna maksimalna temperatura kolovoza za projektovanje je prosek najviših dnevnih temperatura kolovoza za 7 najtoplijih uzastopnih dana u godini. Najmanja godišnja temperatura kolovoza je najhladnija temperatura u godini.

Projektna dubina za proračun maksimalnih temperatura kolovoza koje se koriste prema Superpave metodi je 20mm ispod posmatranog sloja kolovoza. Na primer, za 50mm debljine habajućeg sloja koji se nalazi preko nosećeg sloja, projektna dubina za habajući sloj (surface mixture) je 20mm ispod površine kolovoza. Projektna dubina nosećeg sloja (the base mixture) je 20 mm ispod površine nosećeg sloja, odnosno ukupno 70mm od površine kolovoza [4].

Maksimalna temperatura vazduha se može preračunati u maksimalnu temperaturu kolovoza, na osnovu teorijske energetske ravnoteže površine kolovoza. To se može predstaviti sledećim izrazom (Kennedy, T. et al., 1994):

$$133 \text{ lat} \frac{1}{\cos z} \cdot \text{Cos}Z + e_a s T_a^4 - h_c (T_s - T_a) - 164k - e s T_s^4 = 0 \quad (1)$$

$a$  - absorpcija površine kolovoza

$t_a$  - transmisioni koeficijent za vazduh

$z$  - geografska širina -  $20^\circ$

$e$  - emisija površine kolovoza

$S$  - Stefan Bolcmanova konstanta ( $5.67 \times 10^{-8}$  Wat/ $m^2 K^4$ )

$h_c$  - koeficijent prolaza toplote površine (Wat/ $m^2 C$ )

$k$  - koeficijent toplotne provodljivosti

$T_a$  - temperatura vazduha ( $^0K$ )

$T_s$  - temperatura površine ( $^0K$ )

Računanje maksimalne temperature kolovoza se vrši za sunčane dane (bez oblaka), treba pretpostaviti da je  $8^\circ C$  razlika između temperature površine i temperature na dubini od 50mm i koristiti sledeće vrednosti (default values):

$$t_a = 0.80 \quad a = 0.9 \quad e = 0.9$$

$$h_c = 19.88 \text{ watts} / m^2 C^\circ \quad k = 1.38 \text{ watts} / m^2 C^\circ$$

Jednostavniji izraz za računanje maksimalne temperature površine kolovoza je izveo (Huber, 1994):

$$T_{s(\max)} = T_{a(\max)} - 0.00618 \cdot f^2 + 0.2289 \cdot f + 24.38 \quad (2)$$

pavement surface temperature

• calculate 7-day maximum pavement temperature at design depth

• convert minimum air temperature to minimum pavement surface temperature

• calculate minimum pavement temperature at design depth [4].

The method allows the estimation of the pavement surface temperature and the temperature at specified depths from the surface. The average seven-day maximum pavement design temperature is the average of the highest daily pavement temperatures for 7 warmest consecutive days in a year. Minimum annual pavement temperature is the lowest temperature in a year. The design depth for calculation of maximum pavement temperature used in the Superpave system is 20 mm below the top of the pavement layer. When considering, for example, a 50-mm thick surface mixture over a base mixture, a design depth for the surface mixture is 20 mm below the pavement surface. Design depth for the base mixture is 20 mm below the top of the base mixture, that is, 70 mm below the pavement surface [4].

Maximum air temperature can be converted into maximum pavement temperature, based on the theoretical surface energy balance of a pavement. This can be represented as follows (Kennedy, T. et al., 1994):

$a$  - Pavement surface absorptivity

$t_a$  - Transmission Coefficient for Air

$z$  - Latitude -  $20^\circ$

$e$  - Pavement surface emissivity

$S$  - Stefan-Boltzman Constant ( $5.67 \times 10^{-8}$  W/ $m^2 K^4$ )

$h_c$  - Surface coefficient of heat transfer (W/ $m^2 C$ )

$k$  - Thermal conductivity coefficient (W/ $m C$ )

$T_a$  - Air temperature ( $^0K$ )

$T_s$  - Surface temperature ( $^0K$ )

The calculations for maximum pavement temperature were performed for sunny days (no cloud cover), assumed  $8^\circ C$  difference between the surface temperature and the temperature at a depth of 50 mm, and used the following default values:

$$t_a = 0.80 \quad a = 0.9 \quad e = 0.9$$

$$h_c = 19.88 \text{ watts} / m^2 C^\circ \quad k = 1.38 \text{ watts} / m^2 C^\circ$$

A simpler equation to calculate maximum pavement surface temperature was developed by (Huber, 1994):

$T_{a(max)}$  - maksimalna dnevna temperatura vazduha (°C)

$T_{s(max)}$  - maksimalna dnevna temperatura površine kolovoza (°C)

$f$  - geografska širina (stepeni)

Pored navedenih izraza razvijen je model za predikciju temperatura na određenoj dubini, baziran na LTPP podacima. Maksimalna temperatura kolovoza na određenoj dubini se može izračunati na osnovu sledeće formule (Mohseni 1998, Mohseni and Symons, 1998a and 1998b) [9,10]:

$$T_{d(max)} = (T_{s(max)} + 17.8)x(1 - 2.48x10^{-3}d + 1.085x10^{-5}d^2 - 2.441x10^{-8}d^3) - 17.8 \quad (3)$$

$T_{d(max)}$  = maksimalna dnevna temperatura kolovoza na određenoj dubini d (°C);

$T_{s(max)}$  = maksimalna dnevna temperatura površine kolovoza (°C);

d = dubina u odnosu na površinu kolovoza (mm).

Za temperature kolovoza na dubini od 20mm, izraz se pojednostavljuje

$$T_{20(max)} = 0.955T_{s(max)} - 0.8 \quad (4)$$

Minimalna temperatura površine kolovoza se računa pomoću minimalne temperature vazduha:

$$T_{s(min)} = 0.859T_{a(min)} + 1.7 \quad (5)$$

$T_{s(min)}$  - minimalna dnevna temperatura površine kolovoza (°C)

$T_{a(min)}$  - minimalna dnevna temperatura vazduha (°C)

Za određivanje minimalne temperature kolovoza na određenoj dubini dat je sledeći izraz:

$$T_{d(min)} = T_{s(min)} + 5.1x10^{-2}d - 6.3x10^{-5}d^2 \quad (6)$$

$T_{d(min)}$  = minimalna dnevna temperatura kolovoza na određenoj dubini d (°C);

Ovi modeli su formulisani za proračun godišnjih minimalnih i maksimalnih temperatura kolovoza, a ne za analizu dnevnih ili časovnih temperatura kolovoza.

Mohseni and Symmons su izveli novi izraz (prerađeni) za predviđanje minimalnih temperatura kolovoza na određenoj dubini, [9,10]:

$$T_{pav(min)} = -1.56 + 0.72 \cdot T_{air(min)} - 0.004 \cdot f^2 + 6.26 \log \cdot (d + 25) \quad (7)$$

$T_{pav(min)}$  = minimalna dnevna temperatura kolovoza na određenoj dubini d (°C);

$T_{air(min)}$  = minimalna dnevna temperatura vazduha (°C);

Prema ovoj jednačini (modelu), takođe se računaju godišnje minimalne temperature kolovoza. Standardna greška je 2.1 °C

Za procenjenu standardnu grešku modela (2.1°C) dobije se:

$T_{a(max)}$  - daily maximum air temperature (°C)

$T_{s(max)}$  - daily maximum pavement surface temperature (°C)

$f$  - latitude (degrees)

In addition to the aforementioned equations, a model for prediction of temperature at a specific depth was developed based on LTPP data. Maximum pavement temperature at a specific depth can be calculated based on the following equation, (Mohseni 1998, Mohseni and Symons, 1998a and 1998b) [9,10]:

$T_{d(max)}$  = daily maximum pavement temperature at a specific depth d (°C);

$T_{s(max)}$  = daily maximum pavement surface temperature (°C);

d = depth in relation to pavement surface (mm).

For pavement temperature at a depth of 20mm, the equation is simplified:

Minimum pavement surface temperature is calculated using minimum air temperature:

$T_{s(min)}$  - daily minimum pavement surface temperature (°C)

$T_{a(min)}$  - daily minimum air temperature (°C)

For determining minimum pavement temperature at a specific depth, the following equation is given:

$T_{d(min)}$  = daily minimum pavement temperature at a specific depth d (°C);

These models were developed for the calculation of the annual minimum and maximum pavement temperatures, not for the analysis of daily or hourly pavement temperatures

Mohseni and Symmons developed a new equation (revised) for predicting minimum pavement temperatures at a specific depth, [9,10]:

$T_{pav(min)}$  = daily minimum pavement temperature at a specific depth d (°C);

$T_{air(min)}$  = daily minimum air temperature (°C);

Annual minimum pavement temperatures are also calculated according to this equation (model). The standard error is 2.1 °C

For the estimated standard error of the model (2.1°C) it follows:

$$e = z\sqrt{4.4 + 0.52(s_{air})^2} \quad (8)$$

Izraz sa umanjenom greškom se može prikazati na sledeći način:

An equation with a reduced error would be as follows:

$$T_{pav(min)} = -1.56 + 0.72 \cdot T_{air(min)} - 0.004 \cdot f^2 + 6.26 \log \cdot (d + 25) - z\sqrt{4.4 + 0.52(s_{air})^2} \quad (9)$$

$\Phi$  - geografska širina tražene lokacije (stepeni);  
 $(\sigma_{air})$  - standardna greška srednje temperature vazduha;  
 $z$  - vrednost dobijena iz standardne normalne raspodele.

Model za predikciju maksimalnih temperatura kolovoza po dubini, može se predstaviti na sledeći način (Mohseny and Symons, 1998a):

$\Phi$  – latitude of the requested location (degrees);  
 $(\sigma_{air})$  – standard error of the mean air temperature;  
 $z$  – value obtained from the standard normal distribution

A model for predicting maximum pavement temperatures at depth can be presented as follows (Mohseny and Symons, 1998a):

$$T_{pav(max)} = 54.32 + 0.78 \cdot T_{air(max)} - 0.0025 \cdot f^2 + 15.14 \log \cdot (d + 25) - z\sqrt{9 + 0.61(s_{air})^2} \quad (10)$$

$T_{pav(max)}$  = maksimalna dnevna temperatura kolovoza na određenoj dubini  $d$  (°C);

$T_{air(max)}$  = maksimalna dnevna temperatura vazduha (°C);

Standardna greška ovog modela je 3.0 i  $R^2=0.76$

Model koji su formulisali (Mohseny and Symons, 1998), za minimalne temperature vazduha je uključen u Superpave standarde.

$T_{pav(max)}$  = daily maximum pavement temperature at a specific depth  $d$  (°C);

$T_{air(max)}$  = daily maximum air temperature (°C);

The standard error of this model is 3.0 and  $R^2=0.76$

The model for minimum air temperature developed by (Mohseny and Symons, 1998) is included in the Superpave standards.

#### 4 MODEL ZA PREDIKCIJU TEMPERATURE POVRŠINE KOLOVOZA U SRBIJI

Podaci koji su korišćeni za formiranje modela za predikciju temperatura kolovoza u Srbiji preuzeti su iz magistarskog rada (Uzelac, 1986) [12]. Formirane su regresione jednačine kojima se vrši predikcija maksimalne i minimalne temperature površine kolovoza, u zavisnosti od maksimalne (u 15:00h) i minimalne (u 07:00h) temperature vazduha. Merenja su vršena od 1977 (u jesen) pa sve do marta 1981. Merenje je nastavljeno u zimskim periodima do 1986, uz prekide zbog tehničkih i organizacionih razloga.

Model koji predviđa maksimalne temperature površine kolovoza može se predstaviti sledećom jednačinom [6]:

$$Y_{p,max} = 0.065567 + 1.268887x_{a,max} \quad (11)$$

gde je:

$Y_{p,max}$  – predviđena maksimalna dnevna temperatura površine kolovoza

$x_{a,max}$  – izmerena maksimalna dnevna temperatura vazduha (u 15:00h)

Standardna greška modela je 3.0016. Koeficijent korelacije je 0.972651.

Model koji predviđa minimalne temperature površine kolovoza može se predstaviti i sledećom jednačinom:

$$Y_{p,min} = 1.10967x_{a,min} + 0.318933 \quad (12)$$

gde je:

$Y_{p,min}$  – predviđena minimalna dnevna temperatura površine kolovoza

#### 4 THE MODEL FOR PREDICTING PAVEMENT SURFACE TEMPERATURE IN SERBIA

The data used for forming the model for predicting pavement temperatures in Serbia was taken from the master's thesis (Uzelac Đ. 1986) [12]. Regression equations were formed, due to which the prediction of maximum and minimum pavement surface temperature is made, depending on the maximum air temperature (at 3 p.m.) and minimum air temperature (at 7 a.m.). Measuring was conducted from 1977 (autumn) until March 1981. Measuring was continued during the winter period until 1986, with breaks related to technical and organizational issues.

The model which predicts maximum pavement surface temperatures can be presented by the following equation [6]:

Where we have:

$Y_{p,max}$  – predicted maximum daily pavement surface temperature

$x_{a,max}$  – maximum daily air temperature (measured at 3 p.m.)

Standard model error is 3.0016. Correlation coefficient is 0.972651.

The model which predicts minimum pavement surface temperatures can be presented by the following equation:

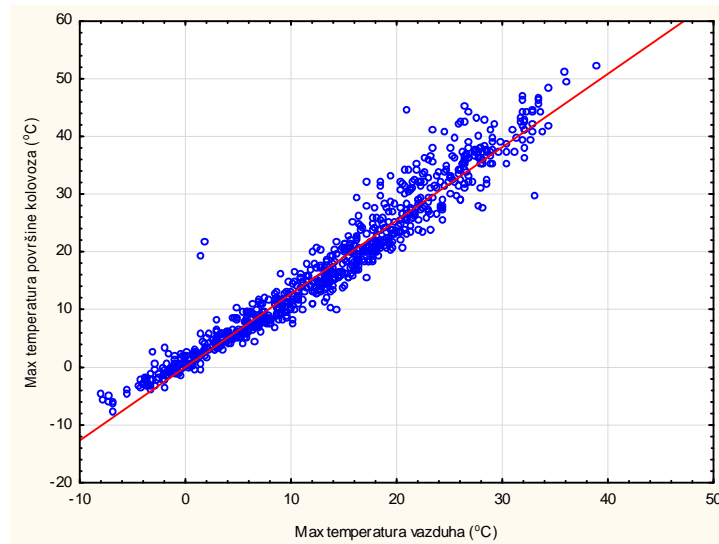
Where we have:

$Y_{p,min}$  – predicted minimum daily pavement surface temperature

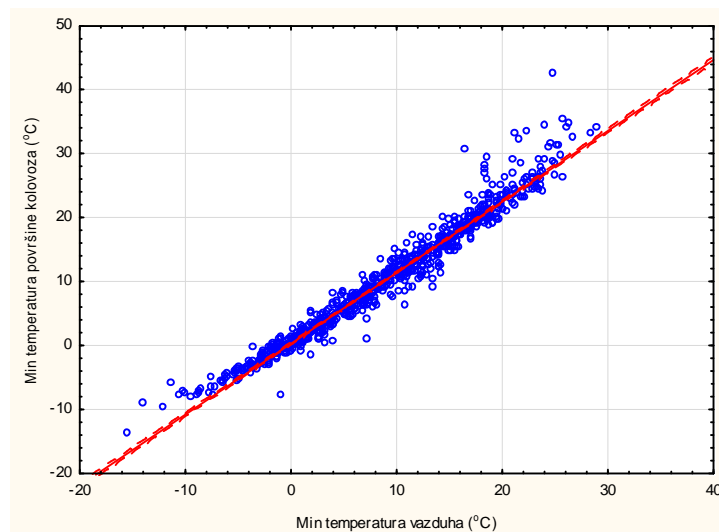


$x_{a,min}$  – izmerena minimalna dnevna temperatura vazduha (u 07:00h).

$x_{a,min}$  – minimum daily air temperature (measured at 7 a.m.)



Grafik 1 - Grafički prikaz regresione jednačine za predviđanje maksimalnih temperatura površine kolovoza  
Chart 1 – Graphical representation of a regression equation used for predicting maximum pavement surface temperatures



Grafik 2 – Grafički prikaz regresione jednačine za predviđanje minimalnih temperatura površine kolovoza  
Chart 2 – Graphical representation of a regression equation used for predicting minimum pavement surface temperatures

Standardna greška modela je 1.8569. Koeficijent korelacije je 0.980397.

Standard model error is 1.8569. Correlation coefficient is 0.980397.

## 5 VALIDACIJA MODELA

Na osnovu formulisano modela za predikciju maksimalnih i minimalnih temperatura površine kolovoza (11, 12) izvršena je validacija modela [6]. Dobijen je koeficijent korelacije 0.881483 za model koji predviđa maksimalne temperature površine kolovoza i 0.98679 za model koji predviđa minimalne temperature površine kolovoza (grafik 1,2).

Poređenjem izmerenih maksimalnih temperatura

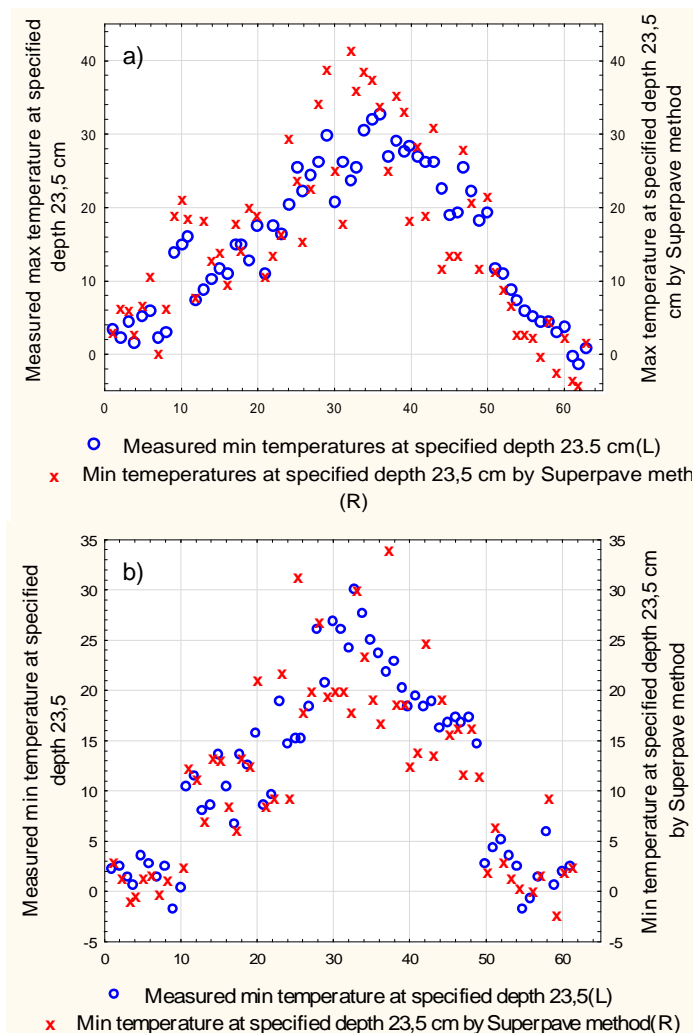
## 5 MODEL VALIDATION

On the basis of the formulated model for predicting maximum and minimum pavement surface temperatures (11,12), model validation was done [6]. Correlation coefficient for the model predicting maximum pavement surface temperatures turned out to be 0.881483, whereas the one for the model predicting minimum pavement surface temperatures was 0.98679 (Chart 1, 2).

By comparing the measured maximum pavement

kolovoza na dubini od 23.5 cm u odnosu na površinu kolovoza i temperature prema SUPERPAVE metodologiji (jednačina 3, grafik 3) utvrđeno je da je MAE (Mean Absolute Error) 3.62, a između izmerenih minimalnih temperatura kolovoza na dubini od 23.5 cm u odnosu na površinu kolovoza i temperature prema SUPERPAVE metodologiji (jednačina 6) MAE je 2.50

temperatures at a depth of 23.5 cm, to pavement surface and the temperatures according to the SUPERPAVE methodology (Equation 3, Chart 3), it was determined that the MAE (Mean Absolute Error) is 3.62; while between the measured minimum pavement temperatures at a depth of 23.5 cm compared to pavement surface and the temperatures according to the SUPERPAVE methodology (equation 6), the MAE is 2.50.



Grafik 3 – Grafički prikaz izmerenih i predviđenih temperatura prema Superpave metodi; a) za maksimalne temperature na dubini od 23.5 cm; b) za minimalne temperature na dubini od 23.5 cm  
 Chart 3 – Graphical representation of measured and predicted temperatures according to Superpave method; a) Max temperature at specified depth (23.5 cm); b) Min temperature at specified depth (23.5 cm)

## 6 ZAKLJUČAK

Kontinentalni deo naše zemlje je područje kome se velika pažnja mora posvetiti sa aspekta temperaturne osetljivosti asfaltnih mešavina, jer hladne zime ne dozvoljavaju primenu tvrdih asfalt-betona, a topla leta uslovljavaju suprotan zahtev. Ponašanje kolovozne konstrukcije manje ili više je zavisno od temperature.

U radu su predstavljeni modeli za predikciju temperatura kolovoza, Superpave model i novi model za predikciju temperatura površine kolovoza za prostor Srbije [6].

## 6 CONCLUSION

From the aspect of temperature sensitivity of asphalt mixtures great attention should be dedicated to the continental part of Serbia because cold winters hinder the implementation of solid asphalt-concrete, whereas warm summers require just the opposite. The behavior of the pavement construction is more or less dependent on temperature.

In this paper were presented models for pavement temperature predicting, Superpave model and a new one - for pavement surface temperature in Serbia [6].

Vrednovanjem modela za predikciju temperatura kolovoza na određenoj dubini (23,5cm) prema SUPERPAVE metodologiji, u odnosu na izmerene temperature u Srbiji, došlo se do zaključka da model predviđa temperature kolovoza sa odgovarajućom tačnošću.

Može se zaključiti da model koji bi predvideo bolje temperature kolovoza s obzirom na karakteristične klimatske uslove u Srbiji (topla leta i hladne zime) mora uključiti i dodatne parametre i opsežnija istraživanja, što će i biti zadatak u budućim istraživanjima.

## 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".

Takođe, autori potvrđuju podršku istraživačkog projekta 174019, koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete i nauke Srbije.

## 7 LITERATURA REFERENCES

- [1] Ali H., Lopez A., Statistical Analysis of Temperature and Moisture Effects on Pavement Structural Properties Based on Seasonal Monitoring Data, Transportation Research Record, No.1540, 1996, pp 48-55.
- [2] Barber E. S., Calculation of Maximum Pavement Temperatures from Weather Reports, Bulletin 168, Highway Research Board, National Research Council, 1957, pp 1-8.
- [3] Bosscher P. J., Bahia H. U., Thomas S., Russell J. S., Relationship Between Pavement Temperature and Weather Data: Wisconsin Field Study to Verify SuperPave Algorithm, Transportation Research Record No. 1609, 1998, pp 1-11.
- [4] Kennedy T. et al., Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The product of the SHRP Asphalt Research Program, National Research Council, Washington, DC, 1994.
- [5] Lukanen E. O., Han C., Skok E.L., Probabilistic Method of Asphalt Binder Selection Based on Pavement Temperature, Transportation Research Record No. 1609, 1998, pp 12-20.
- [6] Matić, B. et al., Development and evaluation of the model for the surface pavement temperature prediction, Metallurgy, Croatian Metallurgical Society, accepted paper No 1625, 2012.

By evaluating the model for predicting pavement temperature at specified depth (23.5 cm) according to the SUPERPAVE methodology in relation to the pavement temperatures measured in Serbia, it was concluded that the model predicts pavement temperature with appropriate accuracy.

Taking into consideration the characteristic climatic conditions in Serbia (hot summers, cold winters), it can be concluded that a model that would predict pavement temperatures with more accuracy would have to include additional parameters and more extensive research, which will be the task of future research.

## 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. Also the authors acknowledge the support of research project 174019, funded by the Ministry of Education and Science of Serbia.

- [7] Marshall, C., Meier, R. W., Welsh M., Seasonal Temperature Effects on Flexible Pavements in Tennessee, Presented at Transportation Research Board 80 th Annual Meeting, Washington, DC, 2001.
- [8] Mohseni, A., LTPP Seasonal Asphalt Concrete Pavement Temperature Models, Publication No. FHWA-RD-97-103, Federal Highway Administration, Washington, DC, 1998, 65p.
- [9] Mohseni A., Symons M., Improved AC Pavement Temperature Models from LTPP Seasonal Data, Presented at Transportation Research Board 77th Annual Meeting, Washington, DC, 1998a.
- [10] Mohseni A, Symons M., Effect of Improved LTPP AC Pavement Temperature Models on SuperPave Performance Grades, Presented at Transportation Research Board 77th Annual Meeting, Washington, DC, 1998b.
- [11] Park D., Buch N., Chatti K., Development of Effective Layer Temperature Prediction Model and Temperature Correction Using FWD Deflections, Presented at Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Washington, DC, 2001.
- [12] Uzelac Đ., Toplotni režim i njegov uticaj na mehanicko ponašanje materijala u kolovoznoj konstrukciji, Magistarska teza, Beograd, 1986.

## REZIME

### MODEL ZA PREDIKCIJU TEMPERATURA KOLOVOZA U SRBIJI

*Bojan MATIĆ  
Danka MATIĆ  
Nebojša RADOVIĆ*

Hot-Mix Asphalt (HMA) je visko-elastičan materijal. Na niskim temperaturama, ponaša se kao elastično kruto telo, a na visokim temperaturama kao viskozna tečnost. Ove temperature varijacije pokazuju koliko je važno razmotriti karakteristike HMA i predvideti temperaturu kolovoza na terenu – in situ. Temperatura kolovoza zavisi od više različitih faktora, ali je jedan od najznačajnijih faktora ambijentalna temperatura. U radu je izvršen pregled modela za predikciju temperatura kolovoza. Predstavljeni su Superpave i novi model za predikciju temperatura površine kolovoza u Srbiji. Takođe, izvršeno je i poređenje izmerenih temperatura i temperatura prema Superpave modelu za predikciju temperatura kolovoza na dubini od 23.5 cm ispod površine kolovoza.

**Ključne reči:** temperatura, model, predviđanje, kolovoz, Srbija

## SUMMARY

### MODEL FOR PAVEMENT TEMPERATURE PREDICTION IN SERBIA

*Bojan MATIĆ  
Danka MATIĆ  
Nebojsa RADOVIC*

Hot-Mix Asphalt (HMA) is highly flexible material. At low temperatures it behaves as flexible rigid body and at high temperatures as viscous liquid. These temperature variations show how important it is to consider HMA characteristics and predict temperature of the pavement surface on site – in situ. Pavement surface temperature depends on many different factors, but one of the most significant factors is ambient temperature. This paper examines existing models for predicting temperatures of pavement. The paper presents Superpave model and a new one - Serbian model for predicting surface pavement temperatures. Furthermore, correlation between measured temperatures and temperatures according to Superpave model for predicting pavement temperature at a depth of 23.5 cm was done.

**Keywords:** temperature, model, prediction, pavement, Serbia

## UPUTSTVO AUTORIMA\*

### Prihvatanje radova i vrste priloga

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Uputstva za pripremu rukopisa

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Potrebno je dati spisak svih skraćenica korišćenih u tekstu.

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

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

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

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

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

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

Radovi se mogu slati i na e-mail: [folic@uns.ac.rs](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**