

UDK
62:502/504

ISSN 1849-4714 (Tisak)
ISSN 1849-5079 (Online)



INŽENJERSTVO OKOLIŠA

Scientific and professional journal in the area
of environmental engineering

GEOTEHNIČKI
FAKULTET,
SVEUČILIŠTE U
ZAGREBU
VARAŽDIN,
HRVATSKA



FACULTY OF
GEOTECHNICAL
ENGINEERING,
UNIVERSITY OF
ZAGREB
VARAŽDIN,
CROATIA

GODIŠTE / VOLUME 4
BROJ / NUMBER 1
SRPANJ / JULY 2017

IMPRESSUM

Izdavač/Publisher:

GEOTEHNIČKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, Hallerova aleja 7, HR - 42000 Varaždin
Tel.: + 385 (0)42 408 900, Faks: + 385 (0)42 313 387
OIB: 16146181375, e - mail: ured.dekana@gfv.hr, URL: <http://www.gfv.unizg.hr>

Adresa uredništva/Editorial address:

GEOTEHNIČKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, Hallerova aleja 7, HR - 42000 Varaždin
Tel.: + 385 (0)42 408 900, Faks: + 385 (0)42 313 387
OIB: 16146181375, e - mail: casopis@gfv.hr, URL: <http://www.gfv.unizg.hr/hr/journalio.html>

Glavni urednik/Editor in Chief:

Izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec, stjepan.strelec@gfv.hr

Urednički odbor/Editorial board:

Izv. prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić, aav@gfv.hr
Prof. dr. sc. Andrea Bačani, andrea.bacani@rgn.hr
Prof. emeritus Božidar Biondić, bbiondic@gfv.hr
Prof. dr. sc. Ranko Biondić, rbiondic@gfv.hr
Prof. dr. sc. Mladen Božičević, mladen.bozicevic@gfv.hr
Doc. dr. sc. Sanja Kalambura, sanja.kalambura@vvg.hr
Prof. dr. sc. Sanja Kapelj, sanja.kapelj@gfv.hr
Doc. dr.sc. Boris Kavur, boris.kavur@gvf.hr
Prof. emeritus Natalija Koprivanac, nkopri@fkit.hr
Prof. dr. sc. Davorin Kovačić, kovacic.geoekspert@gmail.com
Prof. dr. sc. Urška Lavrenčić Štangar, urska.lavrencic@ung.si (Slovenia)
Prof. dr. sc. Jakob Likar, jakob.likar@ogr.ntf.uni-lj.si (Slovenia)
Doc. dr. sc. Snježana Markušić, markusic@irb.hr
Prof. dr. sc. Josip Mesec, jmesec@gfv.hr
Doc. dr.sc. Anita Ptiček Siročić, anitaps@gvf.hr
Doc. dr. sc. Milan Rezo, mrezo@gfv.hr
Izv.prof.dr. sc. Zvezdana Stančić, zvezdana.stancic@gfv.hr
Doc. dr. sc. Radmila Šalić, r_salic@pluto.iziis.ukim.edu.mk (Macedonia)
Dr. sc. Josip Terzić, josip.terzic@hgi-cgs.hr
Prof. emeritus Ivan Vrkljan, ivan.vrkljan@igh.hr
Prof. dr. sc. Sabid Zekan, sabid.zekan@untz.ba (Bosnia and Herzegovina)
Doc. dr. sc. Željka Zgorelec, zzgorelec@agr.hr

Tehnički urednici/Technical board:

Doc. dr. sc. Hrvoje Meaški, hmeaski@gfv.hr
Doc. dr. sc. Bojan Đurin
Davor Stanko, mag. phys

Tisak/Printed by:

TISKARA ZELINA d.d., K.Krizmanić 1, HR-10380 Sveti Ivan Zelina, Hrvatska

Naklada/Edition:

200 primjeraka/200 copies

Časopis izlazi dva puta godišnje. Svi radovi objavljeni u časopisu su recenzirani od strane neovisnih recenzenata.

Journal is published biannually. All papers published in journal have been reviewed.

Časopis je referiran/Journal is referred in: Hrčak – Portal znanstvenih časopisa RH, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI).

ISSN 1849-4714 (Tisak)

ISSN 1849-5079 (Online)

UDK 62:502/504

Naslovna slika / Journal cover photo: Zavrtnik, slika 1, str.67.

Poštovano čitateljstvo,

pred vama se nalazi sedmi broj časopisa Inženjerstvo okoliša.

Zahvaljujući sinergiji nastavnika sa bivšim i sadašnjim studentima nastavlja se konstanta izdavanja članaka koji ukazuju na suradnju te znanstveno istraživački rad koji se njeguje na Geotehničkom fakultetu.

Ovim brojem napravljen je iskorak izdavanjem informativnog članka: Laboratorij za geokemiju okoliša – pregled 10 godina postojanja i djelovanja, kojim se upoznaje čitateljstvo sa poviješću i radom laboratorija. Zadovoljstvo nam je prikazati čitateljstvu kojim sve resursima laboratorij raspolaže te koji su nam ciljevi rada.

Tematikom u ovom broju radovi su vezani za problematiku inženjerstva okoliša u sklopu geoinženjerstva, upravljanjem vodama te okoliša. U svim radovima se nalazi poveznica sa granom inženjerstva okoliša.

U ovom broju ćete pronaći sljedeće naslove:

- Karte potresne opasnosti za područje zapadnog Balkana
- Usporedba margina sigurnosti koncepta dopuštenih naprezanja i granične analize stabilnosti kosina
- Procjena zalihe pitke vode temeljem hidrogeoloških obilježja na području sjeveroistočnog prigorja
- Karakteristike koncepta poboljšanja rada vodoopskrbnog sustava zasnovanog na korištenju solarne fotonaponske energije
- Analiza stabilnosti sidrenih stijenskih kosina prema EUKODU 7
- Analiza osjetljivosti ulaznih veličina vodoopskrbnog sustava pokretanog solarnom fotonaponskom energijom
- Laboratorij za geokemiju okoliša – pregled 10 godina postojanja i djelovanja

Srdačno Vas pozivamo da nam se pridružite sa svojim radovima kako bi održali kontinuitet izdavanja i u narednim godinama te unaprijed zahvaljujemo svima koji će časopis INŽENJERSTVO OKOLIŠA prepoznati kao mjesto prezentiranja svojih rezultata istraživanja.

Časopis Inženjerstvo okoliša izlazi dva puta godišnje, sredinom i krajem kalendarske godine, a osim u tiskanom izdanju, časopis se izdaje i u elektroničkom obliku, on – line izdanju, koje se može preuzeti na mrežnoj stranici časopisa: www.gfv.unizg.hr/hr/hr/journalio.html.

Citat časopisa Inženjerstvo okoliša možete pronaći u Chemical Abstracts Service Source Indeks (CASSI) koja nudi bibliografske podatke o publikacijama citiranim u međunarodnoj Chemical Abstract bazi podataka.

Uredništvo časopisa Inženjerstvo okoliša

**BESTSDI Project Objectives**

The wider objectives of the BESTSDI project is to improve the quality of higher education in Geographical Science and Technology field, SDI and geodesy, enhance its relevance for the labour market and society and to improve the level of competences and skills in HEI's by developing new and innovative education programmes within the field of SDI. These wider objectives are fully compliant with the priorities of the Capacity Building projects within the Erasmus+ program. The specific project objectives are to develop, test and adapt new curricula, courses, learning

BESTSDI Expected Results

To develop appropriate curricula, courses and their content for both target groups (SDI providers and SDI users) of academic institutions. This includes the development of:

- SDI compulsory course for undergraduate study programs in geodesy
- SDI modules for graduate study programs in geodesy and geoinformatics
- SDI user course components for undergraduate study programs of partner faculties
- SDI elective courses for graduate study program of partner faculties (SDI users)
- Development of sustainable training courses (life-long education) of broad scope of professionals.

Additional benefits:

- New level of communication and cooperation among the partner universities with the emphasis on SDI but expanding it on institutional and project cooperation.
- Exchange of students and staff will be fostered through the project activities and information about activities conducted by the partners communicated among the partner universities.

BESTSDI Partners

Coordinator: **University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Croatia**

Partner: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering, Croatia**

Other Partners:

Katholieke Universiteit Leuven (Catholic University of Leuven), Belgium

Sveučilište u Splitu (University of Split), Croatia

Univerzitet "Sv. Kiril i Metodij" Skopje (Ss. Cyril and Methodius University in Skopje), Macedonia

Hochschule Bochum (Bochum University of Applied Sciences), Germany

Universiteti Politekniki i Tiranës (Polytechnic University of Tirana), Albania

Universiteti Bujqësor i Tiranës (Agricultural University of Tirana), Albania

Univerzitet u Banjoj Luci (University of Banja Luka), Bosnia and Herzegovina

Sveučilište u Mostaru (University of Mostar), Bosnia and Herzegovina

Univerzitet u Sarajevu (University of Sarajevo), Bosnia and Herzegovina

Javna Ustanova Univerzitet u Tuzli Universitas Studiorum Tuzla (University of Tuzla), Bosnia and Herzegovina

Universiteti Nderkombetar per Biznes dhe Tehnologji UBT (University for Business and Technology), Kosovo

Javna ustanova Univerzitet Crne Gore Podgorica (University of Montenegro), Montenegro

Univerzitet u Beogradu (University of Belgrade), Serbia

Univerzitet u Novom Sadu (University of Novi Sad), Serbia

Universiteti "Ukshin Hoti" ne Prizren (University of "Ukshin Hoti" in Prizren), Kosovo

Associated Partners:

Republic Administration for Geodetic and Property Affairs of Republika Srpska, BiH

Federal Administration for Geodetic and Property Affairs of Federation of Bosnia and Herzegovina, BiH

Agency for Real Estate Cadastre, Macedonia

Subcontractors:

Lantmäteriet (Swedish National Mapping and Cadastre Authority), Sweden

Novogit AB, Sweden

SADRŽAJ – CONTENT

Zeynep Gülerce, Radmila Šalić, Neki Kuka, Snježana Markušić, Jadranka Mihaljević, Vladan Kovačević, Abdullah Sandıkkaya, Zoran Milutinović, Llambro Duni, Davor Stanko, Nataša Kaludjerović, Svetlana Kovačević	7
SEISMIC HAZARD MAPS FOR THE WESTERN BALKAN KARTE POTRESNE OPASNOSTI ZA PODRUČJE ZAPADNOG BALKANA	
Krešo Ivandić, Marija Trbljanić	
USPOREDBA MARGINA SIGURNOSTI KONCEPATA DOPUŠTENIH NAPREZANJA I GRANIČNE ANALIZE STABILNOSTI KOSINA	19
SAFETY MARGIN COMPARISON FOR THE CONCEPT OF ALLOWABLE STRESSES AND LIMIT STABILITY ANALYSIS OF SLOPES	
Filip Lovrić, Sanja Kapelj, Jelena Loborec	
PROCJENA ZALIHA PITKE VODE TEMELJEM HIDROGEOLOŠKIH OBILJEŽJA NA PODRUČJU SJEVEROISTOČNOG PRIGORJA	25
ASSESSMENT OF DRINKING WATER SUPPLIES BASED ON THE HYDROGEOLOGICAL FEATURES IN THE NORTH-EAST PART OF PRIGORJE	
Bojan Đurin	
KARAKTERISTIKE KONCEPTA POBOLJŠANJA RADA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA ZASNOVANOG NA KORIŠTENJU SOLARNE FOTONAPONSKE ENERGIJE	41
CHARACTERISTICS OF THE CONCEPT OF IMPROVING THE OPERATION WORK OF THE WATER SUPPLY SYSTEM BASED ON THE USE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY	
Jasmin Jug, Miljenko Špiranec, Stjepan Strelec	
ANALIZA STABILNOSTI SIDRENIH STIJENSKIH KOSINA PREMA EUROKODU 7	51
STABILITY ANALYSIS OF ANCHORED ROCK SLOPES ACCORDING TO EUROCODE 7	
Lucija Baić, Bojan Đurin	
ANALIZA OSJETLJIVOSTI ULAZNIH VELIČINA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA POKRETANOG SOLARNOM FOTONAPONSKOM ENERGIJOM	59
THE SENSITIVITY ANALYSIS OF INPUT VALUES IN WATER SUPPLY SYSTEM DRIVEN BY SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY	
Saša Zavrtnik	
LABORATORIJ ZA GEOKEMIJU OKOLIŠA – PREGLED 10 GODINA POSTOJANJA I DJELOVANJA	65
LABORATORY OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY – AN OVERVIEW OF 10 YEARS OF EXISTENCE AND ACTIVITY	
UPUTE AUTORIMA	78
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	79

Tehnix[®] EKO INDUSTRIJA

20 GODINA USPJEŠNOG RAZVOJA U ZAŠTITI OKOLIŠA

POSJEDUJEMO:

44 PATENTA

300 PROIZVODA

1000 PRODUKTA

Tehnix[®]

RAZVIJAMO,
PROJEKTIRAMO,
PROIZVODIMO,
SERVISIRAMO
I TRAJNO
ODRŽAVAMO
STROJEVE I
POSTROJENJA
ZA ZAŠTITU
OKOLIŠA



• ZNANJE • ISKUSTVO • TEHNOLOGIJA •



TVORNICE
KOMPANIJE
TEHNIX:

HRVATSKA 6

SRBIJA 1

RUMUNJSKA 1

MAĐARSKA 1

MAKEDONIJA 1

VODEĆA
KOMPANIJA U
EKOINDUSTRIJI

*Ta sam
prijatelj Tehnixa*

PRIMARNA SELEKCIJA OTPADA PRINCIP ODVOJENOG PRIKUPLJANJA OTPADA

PRIMARNA SELEKCIJA JE PRIJELAZNA FAZA ZA MBO-T TEHNOLOGIJU



IZDVAJAMO: PAPIR - METAL - STAKLO - PLASTIKA - TEKSTIL - ORGANSKI OTPAD



SA PRIMARNOM SELEKCIJOM ZAUZIMAMO PUNO PROSTORA ZBOG VIŠE KANTI I KONTEJNERA VELIKI SU TROŠKOVI SAKUPLJANJA I RECIKLIRANJA PRIMARNO SELEKTIRANOG KOMUNALNOG OTPADA



IZGRADNJA SORTIRNICA

DOPREMA, SORTIRANJE I BALIRANJE PRIMARNO SELEKTIRANOG OTPADA max. 20%

ZAKONOM O OTPADU RH I DIREKTIVOM EUROPSE UNIJE NIJE DOZVOLJENO ODLAGANJE KOMUNALNOG OTPADA NA DEPONIJE



DEPONIJE SU VELIKI IZVOR ŠTETNIH EMISIJA I CO₂.

NITKO NEĆE SMEĆE U SVOM PROSTORU

SKUPA SANACIJA POSTOJEĆIH ILI NOVIH DEPONIJA SMEĆA

NEMA NOVIH PROSTORA ZA SKUPA ODLAGALIŠTA

PROMAŠENA TEHNOLOGIJA GOSPODARENJA OTPADOM

PROČIŠĆAVANJE VODA NEMOGUĆE SA DEPONIJAMA

ODLAGALIŠTA OTPADA SU NAJVEĆI ZAGAĐIVAČI ZEMLJE VODE I ZRAKA

DIREKTIVA EUROPSE UNIJE ZA OTPADU

IZBJEGAVATI - PONOVO UPOTRIJEBITI - RECIKLIRATI - ISKORISTITI - UKLONITI

MBO-T TRAJNO ODRŽIVI NAČIN GOSPODARENJA KOMUNALNIM OTPADOM

TVORNICE ZA PRERADU KOMUNALNOG OTPADA

BEZ ODLAGANJA NA DEPONIJE

KOMPOST 30% - NOVE SIROVINE 30% - RDF GORIVO 40% = 100%



KOMUNALNO VOZILO

MBO - T TEHNOLOGIJA - ODLOŽI, ODVEZI, POTPUNO RECIKLIRAJ



PRESKONTEJNERI EKONOMIČNOST TRANSPORTA

EKO TVORNICE ZA OBRADU MIJEŠANOG I PREDSORTIRANOG KOMUNALNOG OTPADA



MEHANIČKA RECIKLAŽA SIROVINE ZA INDUSTRIJU BILOŠKA OBRADA KOMPOST TERMIČKA OBRADA RDF-a

MBO-T OSLOBODA MILIJUNE HEKTARA SMETIŠTA I MILIJARDE € UŠTEDE

M MEHANIČKA RECIKLAŽA KOMUNALNOG OTPADA PREMA UPORABNIM VRIJEDNOSTIMA SORTIRAMO: PLASTIKU - KARTON - PAPIR - PET - MET - TEKSTIL - STAKLO - METAL ≈30%

B BILOŠKA OBRADA BIO-RAZGRADIVOG MATERIJALA IZ KOMUNALNOG OTPADA PROIZVODNJA KOMPOSTA U NATKRIVENOM PROSTORU I KONTROLIRANIM UVJETIMA ≈30%

O OBRADA KOMUNALNOG OTPADA PREMA UPORABNIM VRIJEDNOSTIMA BEZ DEPONIRANJA BEZ NEGATIVNOG UTJECAJA NA OKOLIŠ. ZAŠTITA ZEMLJE - VODE - ZRAKA

T TERMIČKA O. RDF-BALIRANJE OSTATKA SITNOG OSUŠENOG GORIVOG OTPADA KORISTI SE KAO GORIVO U CEMENTARAMA ILI PROIZVODNJI EL. ENERGIJE ≈40% 100%

GOSPODARENJE OTPADOM U MBO-T JE DRUŠTVENO ODGOVORNO I ODRŽIVO

KOMUNALNI OTPAD JE SIROVINA I ENERGIJA

SEISMIC HAZARD MAPS FOR THE WESTERN BALKAN

KARTE POTRESNE OPASNOSTI ZA PODRUČJE ZAPADNOG BALKANA

Zeynep Gülerce ¹, Radmila Šalić ², Neki Kuka ³, Snježana Markušić ⁴, Jadranka Mihaljević ⁵, Vladan Kovačević ⁶, Abdullah Sandıkkaya ⁷, Zoran Milutinović ², Llambro Duni ³, Davor Stanko ⁸, Nataša Kaludjerović ⁵, Svetlana Kovačević ⁶

¹ Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, K1 Building, Ankara, Turkey

² Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Todor Aleksandrov str. 165, P.O. Box 101, 1000 Skopje, Macedonia

³ Institute of Geosciences, Energy, Water and Environment, Polytechnic University, Rr. "Don Bosko", 60, Tirana, Albania

⁴ Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, Zagreb, Croatia

⁵ Institute of Hydrometeorology and Seismology, Radosava Burića 2, P.O. Box 196, 81000 Podgorica, Montenegro

⁶ Seismological Survey of Serbia, Tašmajdan bb, Belgrade, Serbia

⁷ Hacettepe University, Civil Engineering Department, 06800 Beytepe, Ankara, Turkey

⁸ Faculty of Geotechnical Engineering, University of Zagreb, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Croatia

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: r_salic@pluto.iziis.ukim.edu.mk

Abstract: The Harmonization of Seismic Hazard Maps in the Western Balkan Countries Project (BSHAP) was funded for 7 years by NATO-Science for Peace Program to support the preparation of new seismic hazard maps of the Western Balkan Region using modern scientific tools. One of the most important outputs of the BSHAP is an updated and unified BSHAP earthquake catalogue that is compiled directly from the datasets of earthquake data providers of the region. In the framework of BSHAP, the regional free field strong motion network capacity was increased significantly by the purchased and installed recorders and the BSHAP strong motion database that includes both pre-BSHAP (mostly analog) and post-BSHAP (all digital) recordings was compiled. The BSHAP strong motion database is used for proper selection of the ground motion prediction equations (GMPEs) for the probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) by comparing the compiled strong ground motions with the predictions of candidate global, European, and Euro-Med GMPEs in a systematic manner. BSHAP collected relevant knowledge about the geological structure of southwestern Balkans provided a better understanding of the prevailing stress regime in the region. The main output of BSHAP is the new probabilistic seismic hazard maps for Western Balkans, obtained by implementation of the smoothed-gridded seismicity approach. The results are expressed in terms of peak horizontal acceleration (PGA) for 95 and 475 years return periods aligned with Eurocode 8 requirements. The seismic hazard maps derived in this project are a good basis to characterize the seismic hazard of Western Balkans. They will help the national authorities, public and private institutions, civil emergencies agencies, etc., for urban planning, disaster preparedness, and seismic hazard mitigation.

Keywords: BSHAP, seismic hazard, Western Balkan.

Sažetak: Projekt usklađivanja karata seizmičke opasnosti za područje Zapadnog Balkana (BSHAP) financiran je 7 godina od strane NATO programa „Science for Peace“ za pripremu novih karata seizmičke opasnosti za područje Zapadnog Balkana upotrebom modernih znanstvenih alata. Jedan od najvažnijih rezultata BSHAP programa je ažurirani i jedinstveni BSHAP katalog potresa direktno sastavljen iz baze podataka potresa iz pojedinih regija. U okviru BSHAP-a, znatno je povećana mreža „free-field“ uređaja za snimanje jakog gibanja tla kupnjom novih i postojećih uređaja (akcelerografa), te je BSHAP baza podataka zapisa jakih (akcelerografskih) potresa sastavljena od prijašnjih (većinom analognih zapisa) prije BSHAP projekta, i novih digitalnih zapisa nakon i u toku BSHAP projekta. BSHAP baza podataka jakih gibanja koristi se za odgovarajući odabir relacija za procjenu gibanja tla (GMPE) za procjenu vjerojatnosti potresne opasnosti (PSHA) usporedbom prikupljenih zapisa jakih gibanja s GMPE relacijama na globalnoj, europskoj i Euro-Med razini. U okviru BSHAP-a, prikupljeno je relevantno znanje o geološkoj strukturi jugozapadnog Balkana koje je omogućilo bolje razumijevanje prevladavajućeg smjera napetosti u regiji. Glavni rezultat BSHAP-a su nove karte potresne opasnosti za područje zapadnog Balkana dobivene primjenom pristupa tzv. mreže izgladivanja seizmičnosti. Rezultati su izraženi preko vršnih horizontalnih ubrzanja (PGA) za povratne periode 95 i 475 godina usklađeni s zahtjevima Eurocode 8. Izrađene karte potresne opasnosti u ovom projektu dobra su osnova za opis potresne opasnosti područja zapadnog Balkana. One će pomoći nacionalnim vlastima, javnim i privatnim institucijama, civilnim agencijama za hitne slučajeve i sl., te za urbanističko planiranje, pripremu za prirodnu katastrofu i smanjenje seizmičke opasnosti.

Ključne riječi: BSHAP, potresna opasnost, zapadni Balkan.

Received: 22.04.2017 / Accepted: 29.06.2017

Published online: 21.07.2017

Znanstveni rad / Scientific paper

1. INTRODUCTION

The Western Balkans is a seismically active region and characterized by significantly higher earthquake hazard and risk when compared to the rest of Europe. Local seismic design code regulations, seismic risk estimation, risk management and seismic safety improvements should be based on reliable hazard maps. However, relatively sparse seismological networks and limited cross-border seismic data exchanges restricted the adequacy of seismic hazard assessment and disaster management in the region. Minimizing of the loss of human lives and property damage, social and economical disruption due to earthquakes, essentially depends on reliable estimates of seismic hazard. The fact that current seismic provisions have been updated in early 1980-is (practically in all of participating countries) underlines an evident need to upgrade these technical norms. The foreseen logical step was harmonization with EU standards (EUROCODE 8), what impose the seismic hazard harmonization as the first step towards.

The Harmonization of Seismic Hazard Maps for the Western Balkan Countries Project (BSHAP) funded by NATO Science for Peace and Security Program was launched in 2007 and continued until the end of 2011 with the main objective of preparing new seismic hazard maps for the Western Balkan Region as an important step towards the seismic safety improvement and seismic risk management.

2. SUMMARY OF ACCOMPLISHMENTS

Development of the seismic hazard maps as a final project goal presedes an updated and unified earthquake catalogue, strong motion database compilation, proper selection of the ground motion prediction equations (GMPEs), compilation of all relevant regional geological knowledge and development of seismotectonic model.

2.1. Earthquake catalogue

One of the most important outputs of the BSHAP project is an updated and unified earthquake catalogue (Markušić et al. 2016). For this purpose, the national earthquake catalogues of 12 countries in the region; Albania, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Greece, Hungary, Italy, Montenegro, Macedonia, Romania, Serbia and Slovenia were accessed and assembled together. The compiled catalogue is enriched with data from global catalogues, especially for large magnitude events. One of the biggest challenges was to build a standard data format due to the large number of events in the national and regional catalogues and variety of the data format.

The BSHAP earthquake catalogue (Figure 1) covers the geographic area limited by 38.0–47.5°N, 12.5–24.5°E and includes 26,118 earthquakes that occurred in the region between 510 BC and 2012.

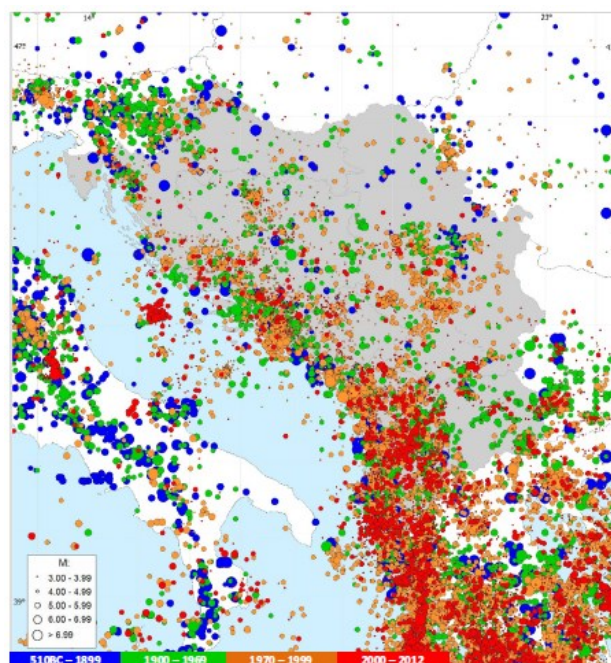


Figure 1. Spatial distribution of the earthquakes in the proposed BSHAP catalogue (earthquakes $M \geq 3.5$ in the period 510BC–1969, and earthquakes $M \geq 3.0$ in the period 1970–2012 (Markušić et al. 2016)

Since the primary objective was to provide input to the PSHA and seismic hazard maps, the M_w proxy is estimated for all entries in the BSHAP catalogue. Various magnitude scales, even from the same data provider, were assigned to the events in the compiled catalogue; therefore, separate empirical relationships between the local and other magnitude scales and M_w are developed for Albania, Croatia, Macedonia, Montenegro and Serbia using errors-in-variables regression technique (Table 1).

Table 1. Empirical relationships between moment magnitude M_w and local magnitude M_L (Markušić et al. 2016)

Agency	Regression equation $M_w = b_0 + b_1 M_L$	Number of events	Determination coefficient, R^2	SD of regression, s_e
Tirana	$M_w = 1.22 + 0.813 M_L$ a (0.25) (0.056)	96	0.715	0.256
Podgorica	$M_w = -0.01 + 1.028 M_L$ a (0.16) (0.033)	75	0.930	0.184
Zagreb	$M_w = -0.11 + 1.011 M_L$ a (0.38) (0.080)	31	0.852	0.229
Belgrade	$M_w = -0.70 + 0.858 M_L$ a (0.21) (0.049)	50	0.953	0.182
Skopje	$M_w = -0.56 + 0.913 M_L$ a (0.48) (0.101)	28	0.773	0.267

^a In the second rows, in parenthesis are given the standard errors of regression coefficients.

The data pairs collected from regional and global catalogues are employed in the regression analysis. The catalogue completeness thresholds are analyzed (Table 2) and incorporated into the seismotectonic model developed within the BSHAP Project. The unified and updated

BSHAP catalogue, as demonstrated, is fully compatible with the current well-established European and worldwide catalogues.

Table 2. Catalogue completeness intervals of BSHAP catalogue (Markušić et al. 2016)

Mw ≥	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Complete From year	1982	1978	1965	1945	1900	1850	1605	1280

2.2. Fault plane solution (FPS) database

The BSHAP countries mostly lie in the Adria-Eurasia collision zone, characterized by great differences in seismicity rate, present-day stress direction, strain rate, and consequently in fault slip rate among neighboring regions.

To study dominant tectonic regime, we collected FPS database covering area bounded by 38-48° N and 12-24.5° E. Included are 714 FPS for $M \geq 4.0$ earthquakes that occurred between the years of 1909 and 2015 in this area (Figure 2). For 332 earthquake events FPS were analyzed by the project participants or gathered from data held by partner institutes (An updated Croatian FPS Database first described by Herak et al. (1995) – current version of which is presented in Herak et al. (2016), the updated Montenegrin FPS database (Kaluderović 2015), and the FPS databases of Seismological Survey of Serbia and Institute of Geosciences, Energy, Water and Environment, Albania). All remaining FPS were collected from global resources.

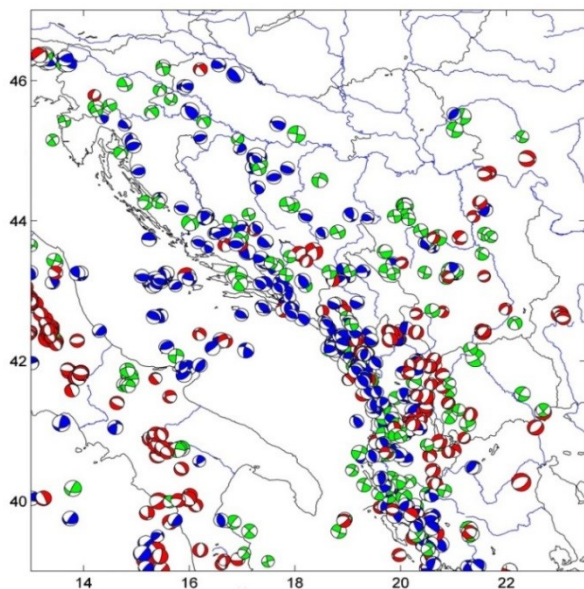


Figure 2. BSHAP FPS database, insert for the geographical area 13-23.5°E, 39-47°N. Color of symbols marks the FPS for different mechanisms: the blue, red and green symbols stand for the reverse, normal and strike-slip events, respectively (Mihaljević et al. 2017).

The general pattern of the FPS indicates that the majority of the earthquakes observed along the coastlines of Croatia, Montenegro and Albania have reverse mechanism, correlated to the thrusting in the most part of

the External Dinarides and Albanides. Tectonic compressions are directed in SW-NE direction in the southern and eastern parts and in S-N direction in the northern and western parts of the coastline. Moving away from the coast towards inland, the faults are active as strike-slip to oblique strike-slip or even as reverse faults. This distribution reflects the counter-clockwise motions of Adria and its compression against the Dinarides. In the Albanides, the boundary between normal faulting to east and thrust faulting to west runs through central Albania. The extension is observed in eastern Albania and Macedonia

2.3 Seismic source characterisation (SSC)

It is well known that hazard results are sensitive to the seismic sources comprised within as well as outside the area of calculation. Thus, the broader area 12-24.5°E and 38-48°N has been considered in SSC modelling. To develop the SSC models we used the uniform and updated BSHAP earthquake catalogue (Markušić et al. 2016) while utilizing relevant knowledge about the geological and seismotectonic structure of Western Balkans as well as the stress information indicated by the BSHAP FPS database. Additionally, sets of sensitivity analyses are performed to support final estimates of some models' parameters (Mihaljević et al. 2017).

The super zone model (SZM) (Figure 3) consists of seven larger and two smaller zones that were delineated based on the seismotectonic characteristics. The purpose was to avoid undue fluctuations in the recurrence model parameters (b-value, mean annual rate of earthquake occurrence, etc.) that are commonly present when addressing smaller areas - particularly in the zones of low seismicity.

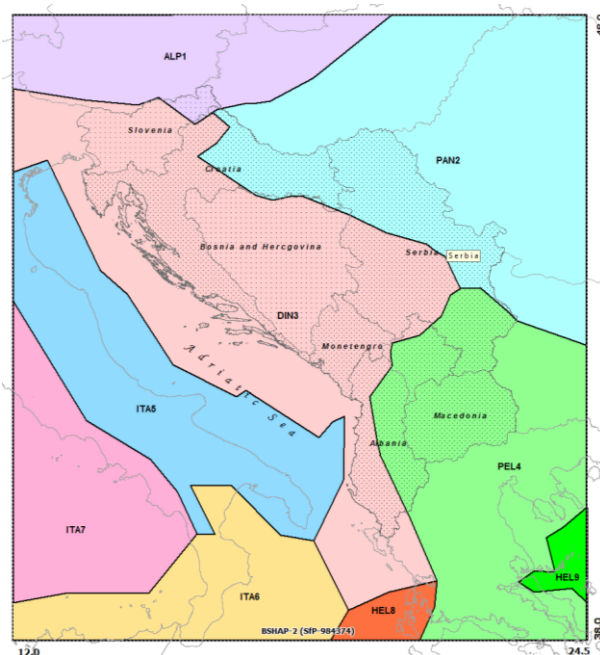


Figure 3. Super zone model (SZM) is defined for influence area covering 12-24.5°E and 38-48°N. (Mihaljević et al. 2017)

Since the BSHAP earthquake catalogue - for the out of BSHAP countries (Figure 3) zones strongly depends on the global catalogues, the completeness levels of the catalogue show a large temporal and spatial variability. Completeness time intervals of the BSHAP earthquake catalogue in each super zone are estimated for different magnitude of completeness M_c (Table 3). Considering that spatial variability of M_c -the smallest value of magnitude at which the catalogue is thought to have included all seismic events, can lead to erroneous results of the seismicity recurrence parameters, the minimum magnitude (m_0) is set to 4.0 for all super zones.

Table 3. Completeness of the BSHAP earthquake sub-catalogues over magnitude classes (Mihaljević et al. 2017)

Completeness (M_c) / Complete from year	[4.0, 4.5)	[4.5, 5.0)	[5.0, 5.5)	[5.5, 6.0)	[6.0, 6.5)	6.5, 7.0)	[7.0, 7.5)	[7.5, 8.0)
ALP1	1958	1935	1920	1900	1640	1300	1300	1300
PAN2	1965	1915	1880	1835	1565	1300	1300	1300
DIN3	1965	1955	1905	1830	1600	1400	1250	1100
PEL4	1932	1908	1870	1820	1760	1400	1400	1400
ITA5	1960	1930	1850	1750	1650	1360	1360	1360
ITA6	1945	1910	1895	1840	1780	1650	1650	1650
ITA7	1930	1910	1850	1740	1640	1300	1300	1300
HEL8	1950	1902	1870	1825	1770	1625	1625	1625
HEL9	1975	1960	1940	1908	1590	1300	1300	1300

For each super zone, b-value was calculated using the maximum likelihood estimation (MLE) that considers unequal completeness intervals for different magnitude ranges (Weichert 1980) and the MLE procedure developed by Kijko and Sellevoll (1992, KS-92). The magnitude recurrence parameters (b , m_{max}) estimated by the KS-92 procedure are compared to the relevant values from the MLE approach defined by Weichert (1980) (Table 4), as well as to the relevant estimates obtained in the framework of the SHARE project for the areal source model (AS Model, Basili et al. 2013).

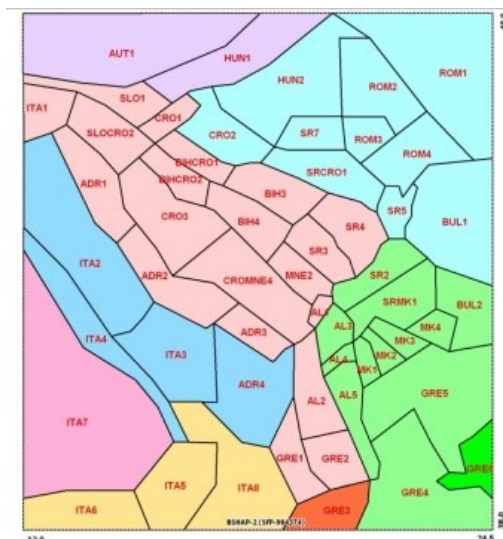
Two alternative estimates for the b-value are used for each source zone: (1) the average value of the relevant estimates derived using the super zones sub-catalogs, considering the variable magnitude completeness MLE (Weichert 1980) and the estimates obtained using the Kijko and Sellevoll (1992) approach on the same sub-catalogs; and (2) $b=1.0$ for all the source zones, as comparable to the AS model of the SHARE project (Giardini et al. 2013).

While the super zone model has been implemented with the purpose of estimating statistically-stable b-values, other parameters of the SSC model (m_{max} , dominant style of faulting and fault directions) were estimated for smaller areas, delineated within two alternative zonation models. Seismic source 1- SSM1 and Seismic source 2 - SSM2 (Figure 4) representing the local tectonic features

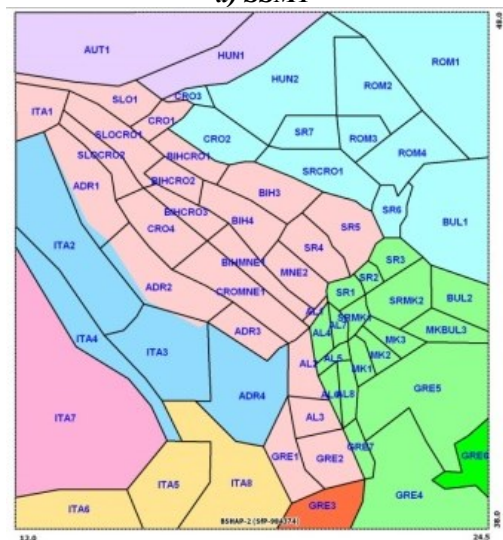
provided input data for the two-stage (circular and elliptical) smoothing procedure.

Table 4. The recurrence parameters for the super zones (Mihaljević et al. 2017)

	MLE ($M_w \geq 4.0$)				KS-92 ($M_w \geq 4.0$, $R=30km$)		
	# Ev.	b-value	m_{max}^{obs}	m_{max}	# Ev.	b-value	m_{max}
ALP1	11	0.79	6.54	6.75	38	—	—
PAN2	56	0.83	6.50	6.75	197	1.02	6.20
DIN3	1505	1.00	7.37	7.65	1935	1.09	7.98
PEL4	1659	1.16	7.51	7.75	1751	1.02	7.59
ITA5	195	0.68	6.95	7.15	143	1.03	6.84
ITA6	111	0.77	6.95	7.15	250	1.00	7.17
ITA7	35	0.68	6.54	6.75	515	0.98	7.23
HEL8	386	1.10	7.40	7.65	185	1.09	7.55
HEL9	186	1.34	7.16	7.45	391	1.10	7.64



a) SSM1



b) SSM2

Figure 4. Geographical partition of SSM1's and SSM2's zones and their position vs. super zone model. (Mihaljević et al. 2017)

In Western Balkans, SSM1 and SSM2 were delineated considering a detailed analysis of tectonic settings, known active faults, activity rates, observed magnitudes, and foci depths. Zones covering the neighboring (out-of-BSHAP) region are preserved in both models and were delineated considering SHARE project (Basili et al. 2013; Giardini et al. 2013), and according to Vamvakaris et al. 2013. Borders of the source zones are mostly consistent with the borders of the super zones since the b-value estimated for the corresponding super zone is directly implemented for the zones of SSM1 and SSM2. Each zone is attributed by a zone ID, covered area, maximum observed magnitude, average foci depth, and sets of weighted parameters: b-value, m_{max} , style of faulting and fault strike angle. To assign the weights related to tectonic information, faults were grouped based on the mechanism and the median strike azimuth. Their weights were calculated based on measured length of the (grouped) faults (Poljak et al. 2000). In SSM1 and SSM2, the m_{max} for each source zone was chosen by considering the largest observed magnitude in the zone. Taking into account the uncertainties related to this parameter - two alternative estimates of m_{max} are included by adding 0.25 and 0.5 magnitude units to the largest observed magnitude in each zone. We assumed that the minimum m_{max} value in any zone cannot be lower than $M_w=6.0$ even if largest observed magnitude is much smaller.

Conditioned by the lacking of sufficient data to define a fault-based model for BSHAP region, we decided to use the seismicity-based background models in the hazard calculations. The overall method for modeling background seismicity is based on the spatial smoothing approach (Frankel 1995; Lapajne et al. 1997, 2003), whereby the rate of past earthquakes and a regionally consistent MFD are used to forecast the rate of future earthquakes. To smooth the annual rates of earthquake occurrence (λ -grid) in each grid cell, a two-stage spatial smoothing method is used. Sets of sensitivity analyses are performed to support final estimates of some models' parameters affecting the smoothed seismicity rate (Mihaljević et al. 2017).

For the adopted BSHAP seismic source characterization models incorporated epistemic uncertainties associated with construction of the seismic source models (uncertainty of the b-value, choice of SSM, maximum magnitude), type of smoothing and ground motion prediction equations are provided in the logic tree scheme (Figure 9).

2.4. Strong ground motion database

In the framework of BSHAP project, the regional free field strong motion network capacity was significantly increased by deployed recorders. During the implementation of BSHAP project, 46 in total strong motion stations were deployed in the territories of participating countries (Albania, Croatia, Macedonia, Montenegro and Serbia). As shown in Figure 5, newly installed stations have significantly increased the available regional strong motion network capacity (Šalic et al. 2016).

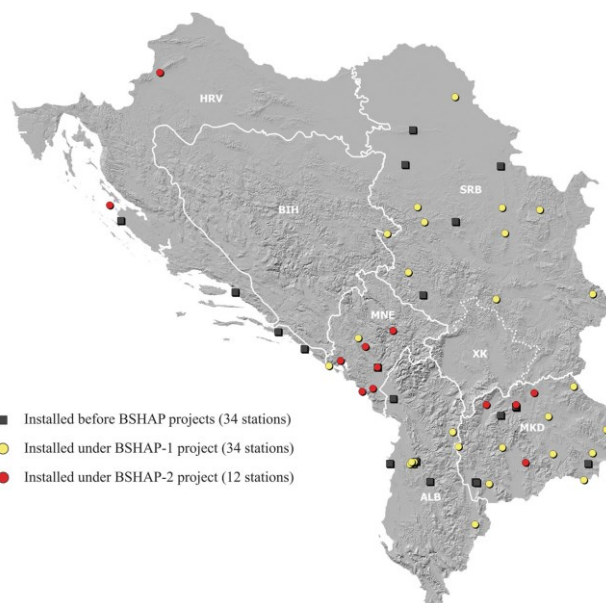


Figure 5. Geographic distribution of the digital strong motion stations deployed before and during the course of BSHAP Project (Šalic et al. 2016)

One of the main goals of this project was to provide a reliable and uniformly processed strong motion database that contains all of the available regional free field strong motion data. Therefore, all free field strong motion data found in the archives of Albanian, Croatian, Macedonian, Montenegrin, Serbian, and Slovenian seismological networks were collected (Table 5 and Table 6). In total BSHAP strong motion database consists of 672 three-component accelerograms from 358 earthquakes recorded (Figure 7) at 121 strong motion stations (Figure 6). After the initial strong motion database was compiled, the waveform quality of all ground motion recordings was checked and some recordings were eliminated from the dataset due to non-standard errors (Douglas 2003). Remaining recordings in the database were associated to the earthquakes in the BSHAP earthquake catalogue (Markušić et al. 2016) and the moment magnitude (M_w) values from the catalogue were directly adopted.

Table 5. General statistics of the digital portion of the BSHAP strong motion database (Šalic et al. 2016).

Country	No. of Records	M_w	Hypocentra l depth (km)	Repi (km)	Period (year from-to)	No. of records used in the analysis
Albania	163	3.70–6.10	0.0–24.0	2.2–500.0	2003–2015	155
Croatia	3	4.73–5.10	5.2–21.9	55.8–62.1	2003–2005	3
Macedonia	37	3.00–5.20	0.0–21.0	11.4–301.3	2013–2014	0
Montenegro	50	3.07–5.50	0.0–33.0	15.9–180.1	2009–2012	33
Serbia	24	3.50–5.50	1.0–15.0	16.9–137.9	2006–2013	3
Slovenia ^a	21	2.92–5.64	7.0–18.3	4.0–103.5	1998–2011	1
Total	298	2.92–6.10	0.0–33.00	2.2–500.0	1998–2015	195

^a Slovenia was not directly part of NATO SJP-983054 (BSHAP-1) and NATO SJP-984374 (BSHAP-2) project. Data provided was courtesy of ARSO (Dr. Mladen Zivcic).

Table 6. General statistics of the analogue portion of the BSHAP strong motion database (Šalic et al. 2016).

Country	No. of Records	M _w	Hypocentral depth (km)	Repi (km)	Period (year from-to)	No. of records used in the
Albania	1	5.91	5.0	14.8	1998	1
Croatia	36	3.20–5.99	1.1–16.4	4.6–157.2	1986–1996	19
Macedonia ^a	337	2.10–7.40	0.0–94.0	0.9–527.4	1975–1994	235
Total	374	2.10–7.40	0.0–94.0	0.9–527.4	1975–1998	255

^a Provided data from Macedonia are related to the territories of all former Yugoslavian Countries (By alphabetic order: Bosnia and Herzegovina, Croatia, Macedonia, Montenegro, Serbia and Slovenia.

After the strong motions were collected, earthquake metadata information of the strong motion database was enriched with the fault plane parameters based on the fault plane solutions (FPS) of the earthquakes gathered either from the relevant global resources (e.g. Global Centroid Moment Tensor Project) or the FPS analysis performed by the project participants (Mihaljević et al. 2017) using different softwares (developed within the institutions or commercial). Unfortunately, for the majority of the data (64 %), any information regarding the fault plane parameters still does not exist in the BSHAP database. Using the M_w values and double-couple solutions, the style-of-faulting of each event was determined by P- and T- angle definitions given in Boore and Atkinson (2007) and the source-to-site distance metrics (epicentral distance: R_{epi}; hypocentral distance: R_{hyp}; Joyner–Boore distance: R_{JB}; rupture distance: R_{rup}) were computed using the procedure described for Reference Database for Seismic Ground-motion in Europe (RESORCE; Akkar et al. 2014).

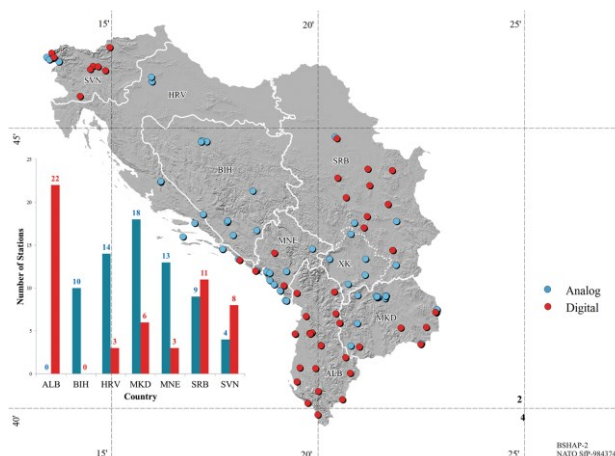


Figure 6. Geographic distribution of the free field strong motion stations related with the records in the BSHAP strong motion database (Šalic et al. 2016)

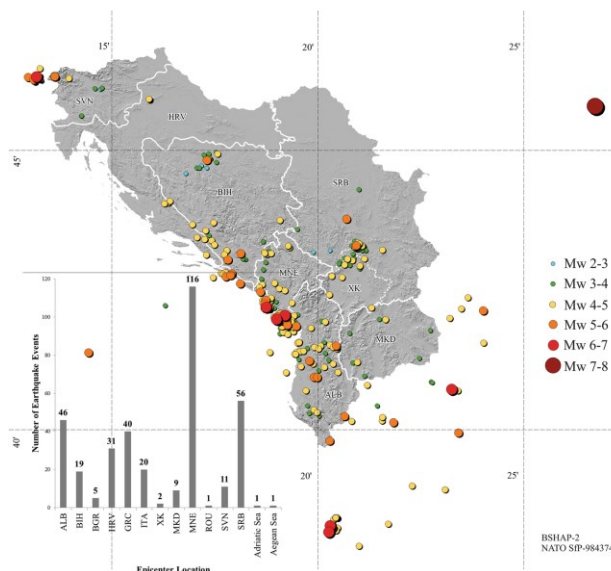


Figure 7. Geographic distribution of the earthquake events in the BSHAP strong motion database (Šalic et al. 2016)

All digital records in the BSHAP database were processed by uniform processing technique for the elimination of high and low frequency noise. Processing of the digital records was performed using the USDP (Utility Software for Data Processing) (Boore et al. 2011) and the analog waveforms were processed using the standard CALTECH procedure, modified due to use of different type of data processing equipment (Petrovski and Naumovski 1979; Petrovski et al. 1982). Details are presented in Šalic et al. (2016).

2.5. Selection of ground motion models

The established strong motion database is used for selection of the ground motion prediction equations (GMPEs) to be employed in the probabilistic seismic hazard assessment by comparing the compiled strong ground motions with the predictions of candidate global and Euro-Mediterranean GMPEs in a systematic manner (Šalic et al. 2016).

Guidance provided by the recent world-wide projects (such as SHARE-Seismic Harmonisation in Europe and GEM-Global Earthquake Model) was followed in addition to the well-known criteria proposed by Cotton et al. (2006) and Bommer et al. (2010) for building the list of candidate models. Therefore, the set of candidate models chosen by the BSHAP working group (Figure 8) was quite similar to the candidate list of Delavaud et al. (2012) and Stewart et al. (2015) except that the updated versions of the NGA-W1 and European models were included in this study (Abrahamson et al. 2014; Boore et al. 2014; Campbell and Bozorgnia 2014; Chiou and Youngs 2014; Akkar et al. 2014; Bindi et al. 2014 and Cauzzi et al. 2015).

On the other hand, provided is a comprehensive methodology for testing the applicability of candidate GMPEs for the PSHA studies in the Western Balkan area based on the collected BSHAP ground motion database. Our approach combines the residual analysis methods, evaluation of the median predictions for the scaling and

functional form of candidate GMPEs, and recently published quantitative model-data comparison methods (Scasserra et al. 2009 and Gülerce et al. 2016). Four GMPEs (2 global NGA-West-2 models and 2 recently published European models) are selected based on the behavioral analysis i.e their satisfactory fit in the BSHAP strong motion dataset with these approaches. Accordingly selected are: [BSSA14] Boore et al. (2014), [CY14] Chiou and Youngs (2014), [Aeta14] Akkar et al. (2014) and [Beta14] Bindi et al. (2014).

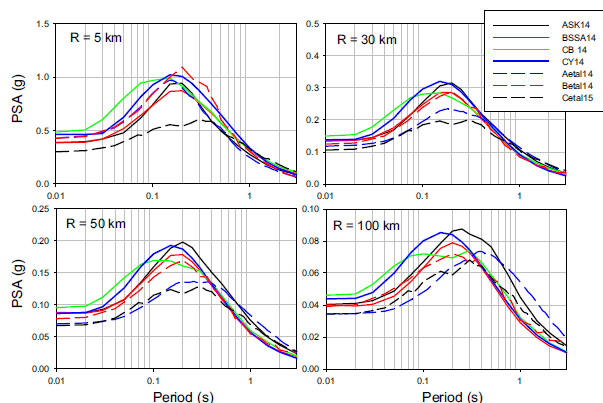


Figure 8. Comparison of the median predictions of the candidate GMPEs for EC site class A ($V_{S30} = 800$ m/s, Faulting style: SS, Earthquake size: $M_w = 7.5$ (Šalić et al. 2016)

In Table 7 are presented calculated and combined (EDR, LLH) weighting factors as well as the adopted ones employed in PSHA calculations. The procedure used, allows that weighting factors are calculated based on either EDR (Kale and Akkar 2013) or LLH (Scherbaum et al. 2009) method, in which cases either $LLH_i=1$ or $EDR_i=1$, respectively.

Table 7. EDR and LLH scores of the selected GMPEs and calculated/adopted logic tree weights (Šalić et al. 2016).

GMPE	Period	EDR Score	LLH Score	Rank (EDR)		Rank (LLH)		Logic Tree Weights (w)	
				SR	GR	SR	GR	Calculated	Adopted
BSSA14	PGA	1.485	2.647	2	(1)	1	(1)	0.28199	0.30
	0.2s	1.500	2.687	1		1			
	1.0s	1.275	2.249	1		2			
CY14	PGA	1.425	3.320	1	(1)	4	(4)	0.25022	0.30
	0.2s	1.439	3.038	1		4			
	1.0s	1.256	2.469	1		4			
Aeta14	PGA	1.644	3.227	4	(4)	4	(3)	0.23516	0.20
	0.2s	1.543	2.878	2		3			
	1.0s	1.415	2.289	4		2			
Beta14	PGA	1.641	3.120	4	(4)	3	(3)	0.23262	0.20
	0.2s	1.777	3.008	4		4			
	1.0s	1.261	2.111	1		1			

The calculated logic tree weights (Table 7) are much more in favor of EDR than LLH scoring scheme, attributing larger weights of 0.25 - 0.28 to CY14 and BSSA14, respectively, than to Aeta14 and Beta14 being of ~0.23. While the subsequent PSHA analyses could incorporate the epistemic uncertainty by using the calculated logic tree weights, the consensus decision of the BSHAP team was to additionally stipulate the CY14 and BSSA14 GMPEs attributing them the equal weights of 0.3 in respect to Aeta14 and Beta14, being de-stipulated to weights of 0.2.

2.6. Seismic Hazard Assessment

Conditioned by the lacking of sufficient data to define a fault-based model for BSHAP region, we decided to use the seismicity-based background models in the hazard calculations. The overall method for modeling background seismicity is based on the spatial smoothing approach (Frankel 1995, Lapajne et al. 1997, 2003), whereby the rate of past earthquakes and a regionally consistent MFD are used to forecast the rate of future earthquakes. The method accounts for the spatial variability of seismicity rate, and is used for areas where faults are not known or cannot be parameterized. A grid with the dimensions of 10 km by 10 km is superimposed on the region (12.0-24.5°E, 38.0-48.0°N). In methodology applied - the areal seismic sources are modelled as set of the grid points included within the relevant SSMs' polygons (zones). Earthquakes with $M_w \geq 4.0$ that passed the completeness test of BSHAP catalogue are counted in each grid cell. Then, the annual rate of earthquakes occurrence is computed by maximum-likelihood (Weichert 1980) method - using the b-value from the corresponding super zone and the number of the events in the cell - adjusted to account for the magnitude completeness levels. Finally, a two-stage spatial smoothing method is used to smooth the annual rates of earthquake occurrence (λ -grid) in each grid cell. At first, the two-dimensional isotropic Gaussian smoothing (Frankel 1995), hereinafter circular smoothing (CS), is applied to smooth the λ -grid. In the second stage, the fault-oriented smoothing (Lapajne et al. 1997, 2003), hereinafter elliptic smoothing (ES) that employs the seismotectonic knowledge in the relevant source zones of SSM1 and SSM2 (main directions and types of the tectonic structures, as well as m_{max}) is used to model smoothed seismicity rates.

The PSHA analysis indicate that the choice of seismicity smoothing methods has significant influence on seismic hazard estimates. To evaluate the effects of spatial smoothing, alternative seismicity smoothing methods are investigated. Based on the sensitivity analysis we decided to use the circular spatial smoothing (CS) with a correlation distance of 30 km, as well as both the circular and elliptic smoothing which also considers the rupture directions in the seismic source zones, based on the seismotectonic data. Spatial smoothing approach is considered as a branch in the logic-tree structure describing the epistemic uncertainties associated with construction of the seismic source model. We assign the same weight (0.5) to both CS and CES smoothing approaches.

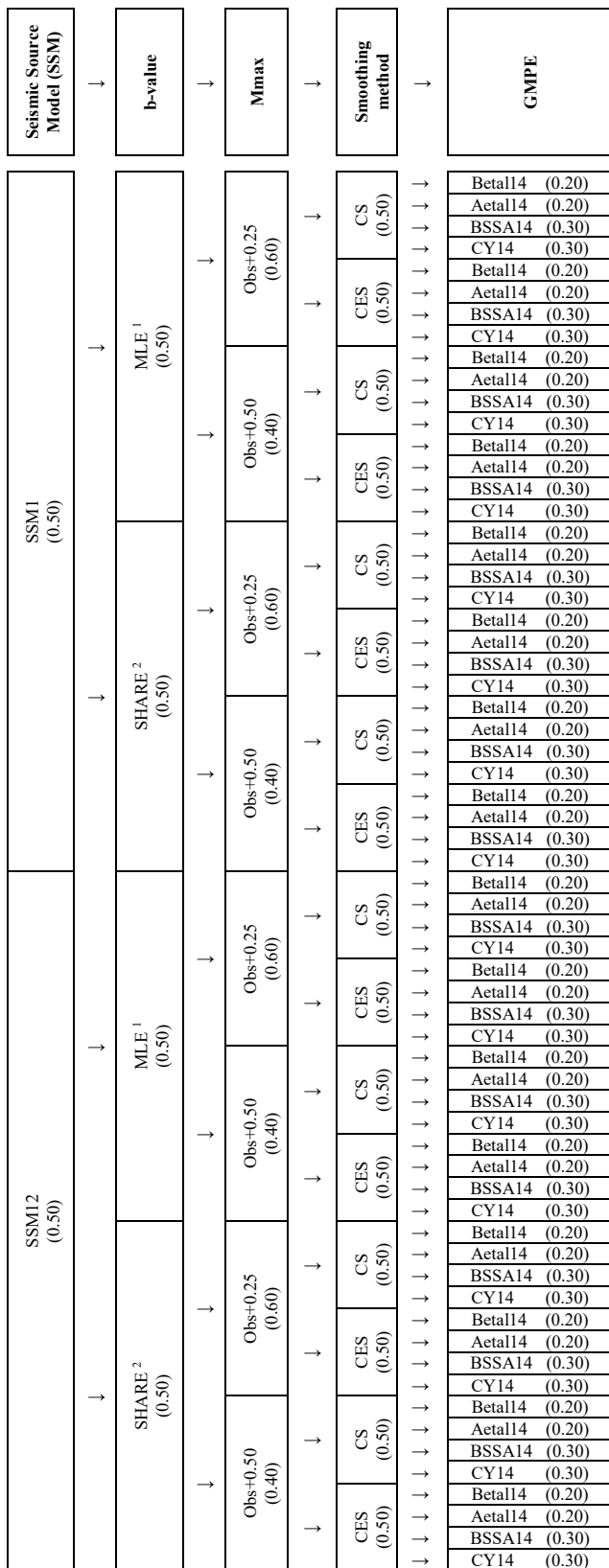


Figure 9. Logic-tree for the seismicity based background source model in the Western Balkans. Assigned branch weights shown in parentheses.

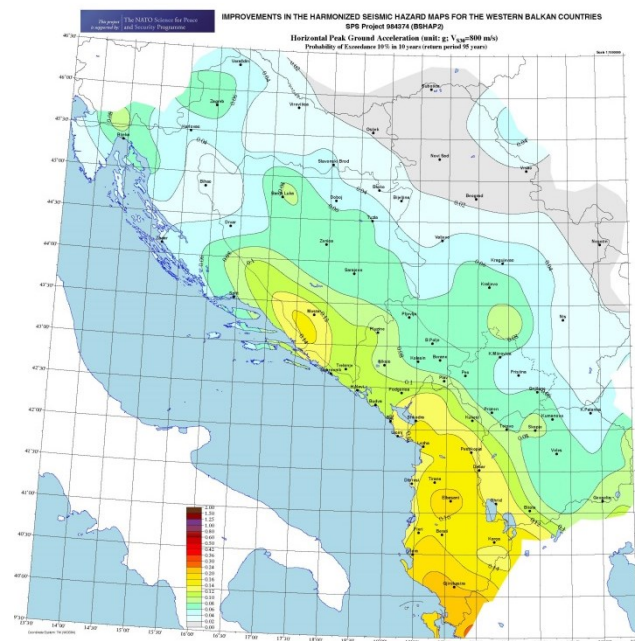
¹⁾ Average value of Weichert and KS-92 MLE, ²⁾ AS denotes Areal Source model of SHARE (Kuka et al. 2017)

It is evident the prehistoric and historical earthquakes in each source zone provide a lower bound on m_{max} . That is, m_{max} must be at least as large as the largest observed

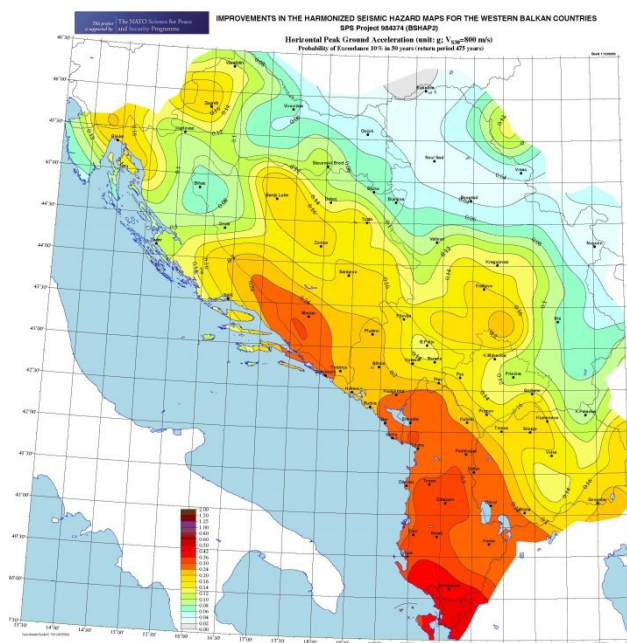
earthquake. We cannot know, however, if the largest observed earthquake is the largest possible earthquake. We represent the uncertainty in m_{max} by assigning weights to two alternative estimates. For each source zone, two alternative estimates for m_{max} are considered adding an increment of 0.25 and 0.50 magnitude units, respectively, to the maximum magnitude observed in the zone. To the both branches is assigned the same weight, 0.5.

Logic tree with 64 branches (Figure 9) has been designed for deriving the hazard maps of the Western Balkans using the seismicity-based background source model. The logic tree includes two background-seismicity source models (SSM1 and SSM2), two alternative estimates for the b-value, two alternative estimations of the maximum magnitude for each source zone, two alternative algorithms for smoothing of the seismic rates (CS with 30 km correlation length, and CS+CES), and four GMPEs (Aetal14, Betal14, BSSA14 and CY14) for ground motion prediction. Hazard calculation for each branch of logic tree are performed using the computer code OHAZ (Zabukovec and Kuka et al. 2007), jointly developed by ARSO (Slovenian Environment Agency) and IGewe (Institute of GeoSciences, Energy, Water and Environment, Albania), and recently updated and improved by Kuka (OHAZ 2015) to fulfil requirements of the BSHAP project.

Hazard assessment is applied for firm rock conditions, with 800 m/sec shear-wave velocity in the upper 30 m of the soil section (CEN, 2004). Based on the hazard results taken according to the above mentioned procedure, the probabilistic seismic hazard maps that characterize the spatial variability of maximum horizontal acceleration (PGA) were compiled. In compliance with EC8 standards, the hazard was calculated for two characteristic return periods: 95 (Figure 10a) and 475 years (Figure 10b), which correspond to the exceedance probabilities of 10% in 10 years and 50 years, respectively.



a) Seismic hazard map of Western Balkans showing peak ground acceleration for 10-percent probability of exceedance in 10 years (RP 95 years).



b) Seismic hazard map of Western Balkans showing peak ground acceleration for 10-percent probability of exceedance in 50 years (RP 475 years).

Figure 10. Seismic hazard maps of Western Balkans showing peak ground acceleration for VS30 site condition of 800 meters per second (Kuka et al. 2017).

3. CONCLUSIONS

One of the most important outputs of the BSHAP is an updated and unified earthquake catalogue that is compiled directly from the datasets of earthquake data providers of the region. New magnitude conversion equations for various local magnitude scales of the data providers are developed with the aim of having homogeneous moment magnitude estimates. Completeness time intervals for the catalogue data are provided as inputs to the seismic source models for updated seismic hazard of Western Balkan Region. The unified and updated BSHAP catalogue is found to be compatible with the current well-established European and world-wide catalogues and represents a sound basis for analysis of the seismicity of this region.

BSHAP collected relevant knowledge about the geological structure of southwestern Balkans. Database of focal plane solutions, held by BSHAP partners, provided a better understanding of the prevailing stress regime in the region. Entire influence area covered by earthquake catalogue data is represented by logic-tree branches of seismic source models: each model is composed of full set of seismogenic zones (groups of cells with the same attributes that are grouped into regions). The weighted b -values are adopted from the Super zone model and using MLE (Weichert 1980) and Kijko and Selevoll (1992) approaches and in accordance to estimates of SHARE Area Source model (Basili et al. 2013). Presented Seismic source models SSM1 and SSM2 - represented by its geometry, seismicity and seismotectonic information is

provided as the input to perform the spatial smoothing of seismic activity rates for the hazard calculations.

In the framework of BSHAP, the regional free field strong motion network capacity was increased significantly by the purchased and installed recorders and the BSHAP strong motion database that includes both pre-BSHAP (mostly analog) and post-BSHAP (all digital) recordings was compiled. The BSHAP harmonized strong motion database includes the uniformly processed strong motions along with the related earthquake metadata and station information; therefore, it provides a solid background for the ground motion characterization studies in the surrounding region. The BSHAP strong motion database is used for proper selection of the ground motion prediction equations (GMPEs) for the probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) by comparing the compiled strong ground motions with the predictions of candidate global, European, and Euro-Med GMPEs in a systematic manner.

The main output of BSHAP are the new probabilistic seismic hazard maps for Western Balkans (Figure 10), obtained by implementation of the smoothed-gridded seismicity approach. They are prepared based on the BSHAP earthquake catalogue, selected GMPEs and developed seismotectonic model. Hazard calculations are carried out following a logic-tree structure with 64 branches describing the epistemic uncertainties associated with construction of the seismic source model, and of the GMPEs selected for ground motion prediction. The results are expressed in terms of peak horizontal acceleration (PGA) for 95 and 475 years return periods. The assessment has been carried out for rock conditions with average velocity of shear waves $V_s \geq 800$ m/sec in the upper 30 meters of soil section (classified as soil type A according to Eurocode 8 soil definitions). Thus, obtained results are in full agreement with the Eurocode 8 standard for seismic zonation and aseismic design. The seismic hazard maps derived in this project are a good basis to characterize the seismic hazard of Western Balkans. They will help the national authorities, public and private institutions, civil emergencies agencies, etc., for urban planning, disaster preparedness, and seismic hazard mitigation.

4. ACKNOWLEDGMENTS

This work is funded by NATO SpS Program under: "Improvements in the Harmonized Seismic Hazard Maps for the Western Balkan Countries Project" (NATO SpP Award Number: 984374). BSHAP participants are indebted to the institutions/data providers for positive cooperative attitude in data releasing and continuous support. We, the BSHAP Projects teams and authors of this paper, do expect that NATO, Public Diplomacy Divisions' expectations and policies are meet, in terms of technical and synergic achievements, and that BSHAP's results justify granting that we highly acknowledge.

5. REFERENCES

- Abrahamson NA, Silva WJ, Kamai R (2014) Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthq Spectra* 30(3):1025–1055.
- Akkar S, Sandikkaya MA, Senyurt M, Sisi AA, Ay BO, Traversa P, Douglas J, Cotton F, Luzi L, Hernandez B, Godey S (2014) Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE), *B. Earthq Eng* 12:311–339.
- Basili, R., V. Kestelic, M.B. Demircioglu, D. Garcia Moreno, E.S. Nemser, P. Petricca, S.P. Sboras, G.M. Besana-Ostman, J. Cabral, T. Camelbeeck, R. Caputo, L. Danciu, H. Domac, J. Fonseca, J. Garcia-Mayordomo, D. Giardini, B. Glavatic, L. Gulen, Y. Ince, S. Pavlides, K. Sesetyan, G. Tarabusi, M. M. Tiberti, M. Utku, G. Valensise, K. Vanneste, S. Vilanova and J. Wössner (2013). The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, DOI: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
- Bindi D, Massa M, Luzi L, Ameri G, Pacor F, Puglia R, Augliera P (2014) Pan-European ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5 %-damped PSA at spectral periods up to 3.0 s using the RESORCE dataset. *Bull Earthq Eng* 12(1):391–430. doi:10.1007/s10518-013-9525-5.
- Bommer JJ, Douglas J, Scherbaum F, Cotton F, Bungum H, Fakh D (2010) On the selection of ground-motion prediction equations for seismic hazard analysis. *Seismol Res Lett* 81:783–793.
- Boore DM, Kale O, Akkar S (2011) Utility software for data processing (USDP). <http://web.boun.edu.tr/sinan.akkar/usdp1.html>.
- Boore DM, Stewart JP, Seyhan E, Atkinson GM (2014) NGA-West 2 equations for predicting PGA, PGV, and 5 %-damped PSA for shallow crustal Earthquakes. *Earthq Spectra* 30(3):1057–1085. doi:10.1193/070113EQS184M.
- Boore M, Atkinson GM (2007) Boore–Atkinson NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. In: PEER Report 2007/01. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Campbell KW, Bozorgnia Y (2014) NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5 %-damped linear acceleration response spectra. *Earthq Spectra* 30(3):1087–1115. doi:10.1193/062913EQS175M.
- Cauzzi C, Faccioli E, Vanini M, Bianchini A (2015) Updated predictive equations for broadband (0.01–10 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bull Earthq Eng* 13(6):1587–1612. doi:10.1007/s10518-014-9685-y.
- CEN (2004). EN-1998-1:2004 - Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- Chiou BS-J, Youngs RR (2014) Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthq Spectra* 30(3):1117–1153. doi:10.1193/072813EQS219M.
- Cotton F, Scherbaum F, Bommer JJ, Bungum H (2006) Criteria for selecting and adjusting ground-motion models for specific target regions: application to Central Europe and rock sites. *J Seismol* 10:137–156.
- Delavaud E, Cotton F, Akkar S, Scherbaum F, Danciu L, Beauval C, Drouet S, Douglas J, Basili R, Sandikkaya A, Segou M, Faccioli E, Theodoulidis N (2012) Toward a ground-motion logic tree for probabilistic seismic hazard assessment in Europe. *J Seismol* 16(3):451–473.
- Douglas J (2003) Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth Sci Rev* 61:43–140.
- Frankel, A. (1995). Mapping seismic hazard in the central and eastern United States, *Seismological Research Letters*, Vol. 66, No. 4, July–August 1995, 8–21.
- Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu, H. Crowley, F. Cotton, G. Grünthal, R. Pinho, G. Valensise, S. Akkar, R. Arvidsson, R. Basili, T. Camelbeeck, A. Campos-Costa, J. Douglas, M.B. Demircioglu, M. Erdik, J. Fonseca, B. Glavatic, C. Lindholm, K. Makropoulos, C. Meletti, R. Musson, K. Pitilakis, K. Sesetyan, D. Stromeyer, M. Stucchi and A. Rovida (2013). Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Repository. DOI: 10.12686/SED-00000001-SHARE.
- Gülerce Z, Kargiöglu B, Abrahamson NA (2016) Turkey-adjusted NGA-W1 horizontal ground motion prediction models. *Earthq Spectra* 32(1):75–100. doi:10.1193/022714EQS034M.
- Herak M., D. Herak and S. Markušić (1995). Fault-plane solutions for earthquakes (1956–1995) in Croatia and neighbouring regions. *Geofizika*, 12, 43–56.
- Herak, M., D. Herak, I. Dasović (2016). Fault-plane solutions and stress orientation in the greater region of Northern and Central Dinarides. 35th General Assembly of the European Seismological Commission. Trieste, Italy, 4–11 September 2016.
- Kaluderovic N., (2015): Focal mechanisms and tectonic stress in Montenegro. 4th NATO Project No 984374 Meeting. Podgorica, Montenegro, 26–27 March 2015.
- Kale O, Akkar S (2013) A new perspective for selecting and ranking ground-motion prediction equations (GMPs): the euclidian distance-based ranking method. *Bull Seismol Soc Am* 103(2A):1069–1084.
- Kijko A. and M.A. Sellevoll (1992). Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II: incorporation of magnitude heterogeneity. *Bull Seismol Soc Am*, 82(1):120–134.
- Kuka, N., Gülerce Z., Milutinović Z., Mihaljević J., Šalić, R., Duni L, Markušić, S., Kovačević S., Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Western Balkans, in preparation for Bulletin of Earthquake Engineering.
- Lapajne, J.K., B. Šket Motnikar and P. Zupančič (2003). Probabilistic Seismic Hazard Assessment Methodology for Distributed Seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, No. 6, 2502–2515.
- Lapajne, J. K., B. Šket Motnikar, B. Zabukovec & P. Zupančič (1997). Spatially-smoothed seismicity modelling of seismic hazard in Slovenia“, *Journal of Seismology*, Vol. 1, No. 1, 73–85.
- Markušić S, Gülerce Z, Kuka N, Duni L, Ivancic I, Radovanovic S, Glavatic B, Milutinović Z, Akkar S, Kovačević S, Mihaljević J, Šalić R (2016) An updated and unified earthquake catalogue for the Western Balkan Region. *Bull Earthq Eng* 14(2):321–343. doi:10.1007/s10518-015-9833-z.
- Mihaljević, J., P. Zupančič, N. Kuka, N. Kaludjerović, R. Koci, S. Markušić, R. Šalić, E. Dushi, E. Begu, L. Duni, M. Zivcic, S. Kovačević, I. Ivancic, V. Kovačević, Z. Milutinović, M. Vakilinezhad, T. Fikret and Z. Gülerce (2017). BSHAP Seismic Source Characterization Models for the Western Balkan Region, *Bulletin of Earthquake Engineering* (Accepted for publication).
- Petrovski D, Naumovski N (1979) Processing of strong motion accelerograms, Part I-Analytical methods. IZIIS Publication No. 66. Skopje, November 1979.
- Petrovski D, Naumovski N, Stamatovska S (1982) Processing of strong motion accelerograms, Part II Computer programs. IZIIS Publication No. 69. Skopje, April 1982.
- Poljak M., P. Zupančič, J.K. Lapajne and B. Šket Motnikar (2000). Seismotectonic Input for Spatially Smoothed Seismicity Approach. *Proceedings of Seismicity Modeling in seismic Hazard Mapping Workshop*, Poljče, Slovenia.

Šalić, R., Sandıkkaya, M.A., Milutinović, Z., Gülerce, Z., Duni, L.L., Kovačević, V., Markušić, S., Mihaljević, J., Kuka, N., Kaludjerović, N., Kotur, N., Krmpotic, S., Kuk, K., and Stanko, D. (2016). BSHAP Project Strong Ground Motion Database and Selection of Suitable Ground Motion Models for the Western Balkan Region, *Bulletin of Earthquake Engineering*, DOI 10.1007/s10518-016-9950-3.

Šalić, R., Sandıkkaya, M.A., Milutinović, Z., Gülerce, Z., Duni, L.L., Kovačević, V., Markušić, S., Mihaljević, J., Kuka, N., Kaludjerović, N., Kotur, N., Krmpotic, S., Kuk, K., and Stanko, D. (2017). Reply to “Comment to BSHAP project strong ground motion database and selection of suitable ground motion models for the Western Balkan Region” by Carlo Cauzzi and Ezio Faccioli, *Bulletin of Earthquake Engineering*, DOI 10.1007/s10518-017-0095-9.

Scassera G, Stewart J, Bazzurro P, Lanzo G, Mollaioli F (2009) A comparison of NGA ground-motion prediction equations to Italian data. *Bull Seismol Soc Am* 99(5):2961–2978.

Scherbaum F, Delavaud E, Riggelsen E (2009) Model selection in seismic hazard analysis: an information theoretic perspective. *Bull Seismol Soc Am* 99(6):3234–3247.

Stewart JP, Douglas J, Javanbarg M, Abrahamson NA, Bozorgnia Y, Boore DM, Campbell KW, Delavaud E, Erdik M, Stafford PJ (2015) Selection of ground motion prediction equations for the Global Earthquake Model. *Earthq Spectra* 31(1):19–45. doi:10.1193/013013EQS017M.

Vamvakaris, D. A., C.B. Papazachos, C Papaioannou, E.M. Scordilis and G.F. Karakaisis (2013). A detailed seismic zonation model for shallow earthquakes in the broader Aegean area. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1, 6719–6784, DOI:10.5194/nhessd-1-6719-2013.

Weichert, D.H. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes, *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 1337-1346.

Zabukovec, B., Kuka, N., Sostaric, M., Motnikar, B. S., Sulzer, T. (2007). OHAZ: Computer Program for Seismic Hazard Calculation, User Manual, Environmental Agency of Slovenia and Institute of Seismology of Albania, 65p.



- Oformljen 1974. god. u sastavu tadašnje Više geotehničke škole
- Godine 2006. potpuno obnovljen, moderniziran i proširen
- Član udruge Hrvatski laboratoriji CROLAB
- Akreditiran od HAA prema normi HRN EN ISO/IEC 17025

Sudjeluje u

- Znanstvenim projektima čiji su nositelji djelatnici Geotehničkog fakulteta
- Stručnim i gospodarskim projektima iz područja geoinženjerstva, inženjerstva okoliša i graditeljstva

- Opremljen za provođenje svih standardnih geomehaničkih ispitivanja tla prema zahtjevima nacionalnih i svjetskih normi
- Raspolože s modernom opremom za znanstvena istraživanja iz područja mehanike tla
- Razvija vlastite uređaje za specijalna ispitivanja

Opća fizikalna svojstva tla

- vlažnost
- gustoća ; vlažna, suha, najmanja, najveća, čvrstih čestica tla
- relativna zbijenost nekoherentnog tla
- poroznost
- zasićenost vodom

2. Klasifikacijski testovi

- Atterberg-ove granice koherentnog tla: tečenja, plastičnosti, stezanja
- granulometrijski sastav: metoda sijanja, metoda areometrija

3. Čvrstoća tla

- aksijalna čvrstoća sa slobodnim bočnim širenjem
- posmična čvrstoća; izravni posmik: UU, CD, reversni, po metodi Krey-Tiedemann
- troosni posmik: UU, CIU, CID
- nedrenirana čvrstoća: krilnom sondom, konusnim penetrometrom

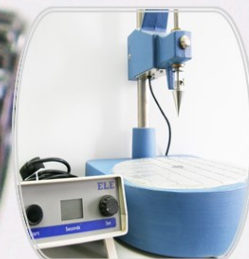
4. Deformabilnost tla

ispitivanja u:

- standardnom edometarskom uređaju
- hidrauličkom edometarskom uređaju s mjerenjem purnog tlaka
- hidrauličkom edometarskom uređaju s ćelijom promjera 50 cm
- troosnom uređaju s dirigitiranim odnosima vertikalnih i horizontalnih deformacija ili opterećenja

5. Posebna svojstva tla

- koeficijent hidrauličke vodljivosti (vodopropusnost) u ćelijama tipa FH i CH
- optimalna vlažnost prema standardnoj ili modificiranoj energiji zbijanja
- sadržaj organskih i gorivih tvari
- sadržaj kalcij-karbonata
- kut trenja suhog, rahlo nasipanog tla
- pH vrijednost



USPOREDBA MARGINA SIGURNOSTI KONCEPATA DOPUŠTENIH NAPREZANJA I GRANIČNE ANALIZE STABILNOSTI KOSINA

SAFETY MARGIN COMPARISON FOR THE CONCEPT OF ALLOWABLE STRESSES AND LIMIT STABILITY ANALYSIS OF SLOPES

Krešo Ivandić^{1*}, Marija Trbljanić²

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za geotehniku, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: kreso.ivandic@gfv.hr

Sažetak: *Provodi se općenita analiza između starih i novih regulatornih koncepata provedbe analiza u geotehničkom inženjerstvu. Detaljizira se problem proračunskih postupaka u svijetlu uporabe graničnih stanja u odnosu na koncept dopuštenih naprezanja. Kvantificira se međusobni odnos zadanih margina sigurnosti pri analizama stabilnosti kosina. Daju se prijedlozi vezani za novu terminologiju, a u svijetlu novih obrazaca proračuna. Predlaže se novi pristup pri određivanju razina sigurnosti kod analiza seizmički opterećenih kosina prirodnog tla i odlagališta otpada.*

Ključne riječi: *granična stanja, dopušteno naprezanje, stabilnost kosina, Eurokod 7.*

Abstract: *The general analysis between the old and new regulatory concepts implementation in geotechnical engineering is performed. Design procedures problems in the light of the use of limit states in relation to the concept of allowable stresses is detailed in. The interrelationship between the safety margins in the stability analysis of slopes is quantified. In the light of the new design patterns new terminology proposals are given. It is proposed a new approach in determining the margin of security at the analysis of seismic loaded slopes of soil and waste.*

Keywords: *limit states, allowable pressure, slope stability, Eurocode 7.*

Received: 22.04.2017 / Accepted: 02.07.2017

Published online: 21.07.2017

Znanstveni rad / Scientific paper

1. UVOD

Donedavni koncept projektiranja u geotehničkom inženjerstvu je promijenjen. Dosadašnja provedba i kontrola računskih postupaka i analiza, bila je definirana prema Pravilniku (1990). Usvajanjem novih proračunskih obrasaca, u skladu s Eurokodom 7 (2008 i 2012), pojavljuje se potreba za uspostavljanjem mosta između starog i novog koncepta projektiranja. Pokazuje se da se u rješavanju zadaća iz područja geotehničkog inženjerstva spomenuti, novi koncept, znatno sporije usvaja. Stariji je pristup bio baziran na analizama prema dopuštenim naprezanjima. Novije, mjerodavne postavke, bazirane su na analizi odgovarajućih graničnih stanja. Mogućnost usporedbe spomenutih pristupa materijalizira se u pokušajima da se ostvare rješenja, koja će biti što sličnija dotadašnjoj, uobičajenoj, inženjerskoj praksi. Navedeni pristup unaprijed onemogućava ispunjavanje osnovnog uvjeta uvođenja novih proračunskih postupaka, a to je izvedba jeftinijih konstrukcija, uz istu ili povećanu marginu sigurnosti. Razlog za usvajanje spomenutog pristupa istovrsnosti novih rješenja, a na bazi dosadašnjeg iskustva, jest u nemogućnosti dosljedne primjene novih koncepata projektiranja. Isto tako nema pokušaja objektivne evaluacije pojedinog rješenja.

2. KONCEPT GRANIČNIH STANJA

Uporaba postupaka granične analize u geotehničkom inženjerstvu nije tako novijeg datuma. Koncept je prvi puta uveden sredinom prošlog stoljeća u Danskoj Hansen (1956). U Americi i Kanadi sredinom 70-tih godina usvaja se tzv. koncept proračunskog faktoriranja opterećenja i otpora (*Load and Resistance Factor Design*), što je na tragu prema Hansen (1956). Navedeni pristupi usvojeni su dominantno u konstrukterstvu. U geotehničkom inženjerstvu prevladavao je obrazac proračuna prema dopuštenim naprezanjima.

Temeljem opisanog stanja, pojavila se potreba da se metodologija proračuna usvojena u konstrukterstvu uskladi sa segmentom, koji se tiče geotehničkog inženjerstva. Zapaženo je da primjena ovog zajedničkog, holističkog koncepta, ne ide glatko.

Princip proračuna prema graničnim stanjima u konstrukterstvu je uveden kako bi projektanti mogli adekvatno vrednovati efekte različitih kombinacija opterećenja. Kao baza za odabir ovih kombinacija određena je vjerojatnost njihova pojavljivanja. Pretpostavlja se da je poznata i vjerojatnosna distribucija otpora. Nakon definiranja kriterija sloma, potrebno je odrediti koliko daleko moraju biti očekivane vrijednosti odgovarajućih parametara u odnosu na uvjete njegova dosezanja. Pri tome je kriterij prihvaćanja proračuna taj da je vjerojatnost po-

jave sloma manja od unaprijed definirane brojčane veličine. Kao rezultat ovog postupka izraženi su skupovi vrijednosti parcijalnih proračunskih koeficijenata za djelovanja i otpore.

Pri rješavanju zadaća geotehničkog inženjstva nije moguće primijeniti principe analize graničnih stanja na način da se automatski preslikaju obrasci iz područja konstrukterstva. Raspodjela vjerojatnosti pojave pojedinih sastavnica proračuna u geotehničkom inženjstvu nije unaprijed poznata. Potrebno ju je tek utvrditi na korrektna način, uz redoviti problem nedovoljnog broja uzoraka za ostvarenje uvjeta statističke značajnosti. U geotehničkom inženjstvu fundamentalna osnova jest uočavanje međusobne ovisnosti pojavnosti djelovanja i otpora, dok je u konstrukterstvu vanjsko djelovanje neovisno o otporu.

Posljedica spomenutih, ne i svih relevantnih, prijepora, jest da u svakodnevnoj praksi u geotehničkom inženjstvu nema unificirane strukture projektantskih postupaka. Drugim riječima analize prema graničnim stanjima inženjeri geotehničari *doživljavaju* na subjektivan, a ne na strogo propisani i objektivan način.

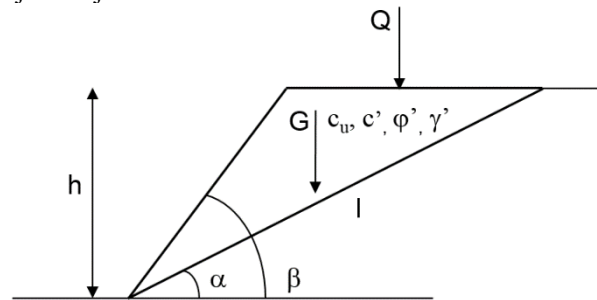
3. DOSADAŠNJA INŽENJERSKA PRAKSA

U Hrvatskoj je na snazi bio [Pravilnik \(1974\)](#), odnosno s preinakama mjernih jedinica [Pravilnik \(1990\)](#). Formalno, pri definiranju obrazaca usvojen je izraz *dopušteno (specifično) opterećenje* za procjene nosivosti plitkih temelja i pilota. Zbog uvođenja posebnih proračunskih koeficijenata za parametre tla, struktura proračuna inklinira konceptu graničnih stanja na osnovu materijalnog pristupa projektiranju (*Material Design Approach*). Deklarirani raspon vrijednosti spomenutih proračunskih koeficijenata (parcijalnih faktora sigurnosti), određen je na osnovu različitih razina pouzdanosti njihova određivanja. Oni se apliciraju isključivo za svojstva materijala, kao postupak proračuna otpora u geotehničkom modelu. Za vanjska djelovanja parcijalni koeficijenti imaju jedinične vrijednosti. Interpretacija odabira vrijednosti materijalnih parcijalnih koeficijenata pri određivanju nosivosti plitkih temelja i pilota su određene s ciljem da konačni rezultat ima za posljedicu dobivanje željenog ekvivalentnog globalnog faktora sigurnosti.

Analiza gravitacionih konstrukcija (potpornih zidova) se provodila s potrebom ostvarenja određenih vrijednosti globalnih faktora sigurnosti pri dokazima na prevrtanje i klizanje. Spomenute vrijednosti nisu bile definirane u [Pravilniku \(1990\)](#). Načini proračuna stabilnosti kosina su definirani u [Pravilniku \(1990\)](#) kroz vrijednosti globalnih faktora sigurnosti i to u samo jednom članku (čl. 163.) u rasponu $FS = 1.3 - 1.7$ za privremene iskope. Za razliku od pristupa proračuna plitkih temelja i pilota, nema apliciranja parcijalnih faktora sigurnosti na materijal.

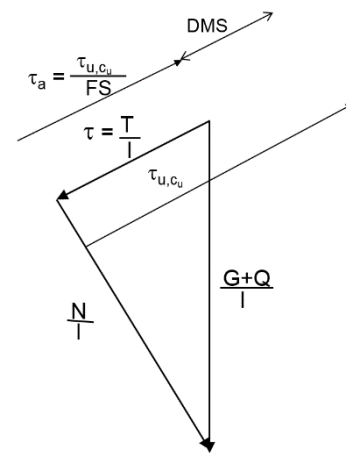
Za razliku od [Pravilnika \(1990\)](#), novi koncept proračuna stabilnosti kosina prema [Eurokodu 7 \(2008 i 2012\)](#) usvaja postupke provedbe faktoriranja vanjskih nepovoljnih i povoljnih djelovanja (stalnih i promjenjivih), te materijala u propisanim kombinacijama.

Na [Slici 1](#) dan je shematizirani prikaz kosine s odgovarajućim parametrima posmične čvrstoće homogenog tla ($c_u, c', \varphi', \gamma'$), zadanom visinom i nagibom (h, β) pretpostavljenom ravnom kliznom plohom (α, l), te vanjskim nepovoljnim trajnim (G) i povremenim (Q) djelovanjima.

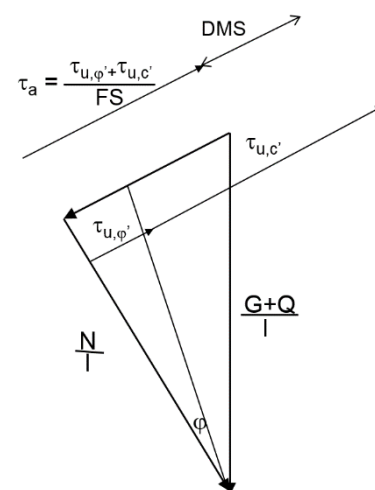


Slika 1. Shematski prikaz kosine s pretpostavljenom ravnom kliznom plohom

Na [Slici 2](#) daje se grafički prikaz dopuštene margine sigurnosti (DMS) – koncept dopuštenih napreznja – za slučaj prema [Slici 1](#) za nedrenirano, dok na [Slici 3](#) za drenirano stanje, gdje su N/l – normalna i T/l – posmična komponenta rezultantnog vanjskog djelovanja ($G+Q$)/ l na pretpostavljenu ravnu kliznu plohu.



Slika 2. Dopuštena margina sigurnosti (DMS) za nedrenirano stanje



Slika 3. DMS za drenirano stanje

Dopušteno posmično naprezanje τ_a je funkcija graničnog posmičnog naprezanja τ_u i dogovorene margine sigurnosti izražene preko vrijednosti globalnog faktora sigurnosti FS. Spomenuta vrijednost FS određena je na osnovu iskustva, odnosno dokazanog uvida nemogućnosti poznavanja veličina svih relevantnih parametara pri provedbi proračunskih analiza, bez uzimanja u obzir njihovih vjerovatnosnih razdioba.

Generalno, vanjska djelovanja, te otpornost temeljnog tla, određeni su na način da se pokuša odrediti stvarno stanje naprezanja. Potrebno je da vrijednosti odgovarajućih sastavnica proračuna budu što je moguće bliže realnima. Odgovarajuća vrijednost rezultatnog, odnosno potrebnog posmičnog naprezanja za ostvarenje ravnoteže, tada mora biti manja od potencijalne vrijednosti graničnog naprezanja u omjeru globalnog faktora sigurnosti FS.

Za nedrenirani slučaj može se eksplicitno globalni FS transformirati u parcijalni faktor sigurnosti za materijal γ_{cu} (oznaka prema Eurokodu 7 (2008 i 2012)), i/ili za ekvivalentnu vrijednost za vanjsko nepovoljno djelovanje $\gamma_{G,Q}$ iz koncepta graničnih stanja. Za drenirani slučaj to nije moguće, jer su mjerodavna tri parametra posmične čvrstoće c' , φ' , γ' , svaki sa svojim parcijalnim proračunskim koeficijentom γ_c , γ_{φ} , γ_{γ} .

Neovisno o spomenutoj mogućnosti transformacije vrijednosti FS, moguća je relativno jednostavna grafička interpretacija njegove usvojene vrijednosti **Slike 2 – 7**.

Raspon DMS, prema **Pravilniku (1990)**, ali i uobičajenoj, svakodnevnoj inženjerskoj praksi, je ovisio o karakteru vanjskog djelovanja na kosinu. Generalno, ustalile su se slijedeće vrijednosti: za stalna djelovanja FS = 1.5, stalna + povremena FS = 1.3 i stalna + povremena + izvanredna (seizmika) FS = 1.0 – 1.1. Ovakav pristup za analizu stabilnosti kosina razlikovao se od načina provjere nosivosti plitkih temelja i pilota, gdje je bio omogućen određeni raspon materijalnih faktora sigurnosti, također bez množenja vanjskih djelovanja.

4. USPOREDBA KONCEPATA DOPUŠTENIH NAPREZANJA I GRANIČNIH STANJA

Dosadašnji koncept dopuštenih naprezanja obuhvaća analizu stvarnog stanja naprezanja potrebnog za ostvarenje ravnoteže. Na takvom stanju, primjenjuje se margina sigurnosti.

Novi koncept graničnih stanja analizira neželjeno stanje rezultatnih sila. Ono dovodi do neprihvatljivih granica ponašanja. Potrebno je osigurati da je pojava ovako opisanog, graničnog stanja nerealistična, odnosno da je zadovoljena dogovorena, unaprijed propisana i prihvaćena, margina sigurnosti.

Simbolički osnovni zahtjevi graničnih stanja u konstrukterstvu i geotehničkom inženjerstvu.

Konstrukterstvo:

$$E\{\gamma_F F_{rep}; a_d\} = E_d \leq R_d = R\{X_k/\gamma_M; a_d\}$$

Geotehničko inženjerstvo (Projektni pristup 3):

$$E\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\} = E_d \leq R_d = R\{X_k/\gamma_M; \gamma_F F_{rep}; a_d\}$$

gdje su:

- E – efekti djelovanja generalno,
- E_d – proračunska djelovanja,
- F_{rep} – reprezentativna vrijednost vanjskog djelovanja (opterećenja)
- R – otpornost generalno,
- R_d – proračunska otpornost,
- X_k – karakteristično materijalno svojstvo,
- a_d – proračunski utjecaj geometrije,
- γ_F – proračunski koeficijent na vanjsko djelovanje,
- γ_M – proračunski koeficijent na materijalno svojstvo.

Fundamentalna razlika konstruktorskog i geotehničkog principa proračuna je u pojavnosti materijala i materijalnih proračunskih koeficijenata u području vanjskog djelovanja. Parametri posmične čvrstoće materijala c_u , c' , φ' , γ , značajno utječu na intenzitet vanjskog nepovoljnog djelovanja. Konkretno kod kosina, za drenirano stanje, zapreminska težina tla γ daje vrijednost normalne komponente stalnog nepovoljnog vanjskog djelovanja N. Istovremeno ona daje i komponentu otpora $\tau_{u,\varphi'} = N \times \text{tg} \varphi'$.

Unutar geotehničkog inženjerstva se, prema novim obrascima, razlikuju proračunski pristupi (*Design Approaches* DA1, DA2, DA3) PP1, PP2, PP3. Predložena i usvojena norma Eurokod 7 (2008 i 2012) (Eurocode7, EC7) ne koristi eksplicitno izraženu vrijednost globalnog faktora sigurnosti. Utjecaj pojedinog elementa proračuna određuje se množenjem s odgovarajućim parcijalnim proračunskim koeficijentom. Definirane su određene kombinacije faktoriranja vanjskih trajnih, povremenih, nepovoljnih i povoljnih djelovanja, materijalnih karakteristika i otpornosti (A – Action - djelovanje, M – Material – materijalna svojstva, R – Resistance – otpornost).

Tablica 1 prikazuje shematizirani prikaz kombinacije proračunskih koeficijenata različitih (većih) od jedinične vrijednosti ($\gamma \neq 1$) usvojenih proračunskih pristupa.

Tablica 1. Shematski prikaz relevantnih proračunskih koeficijenata

Pr.	PP1 1	PP1 2	PP2	PP3
Ko.	$\underline{A1} + M1 + R1$	$\underline{A1} + \underline{M2} + R1$	$\underline{A1} + M1 + \underline{R2}$	$\underline{A1}(\underline{A2}) + \underline{M2} + R1$

gdje je u PP3:

- A1 - konstruktorsko djelovanje,
- A2 - geotehničko djelovanje.

U Hrvatskoj (RH) je na snazi PP3, za sve segmente proračunskih analiza. Za analizu pilota i geotehničkih sidara moguć je, osim navedenog, i PP2.

Dokaz graničnog stanja globalne stabilnosti kosina u RH provodi se prema PP3. Sva vanjska djelovanja definirana su kao geotehnička, odnosno A2. U **Tablici 2** se vide vrijednosti parcijalnih koeficijenata za djelovanja za granična stanja STR i GEO.

Tablica 2. Parcijalni koeficijenti za djelovanja (γ_F) ili učinke djelovanja (γ_E) (STR i GEO)

Djelovanje		Simbol	Skupina	
			A1	A2
Trajno	Nepovoljno	$\gamma_{G;sup}$	1.35	1.0
	Povoljno	$\gamma_{G;inf}$	1.0	1.0
Promjenjivo	Nepovoljno	γ_Q	1.5	1.3
	Povoljno	γ_Q	0	0

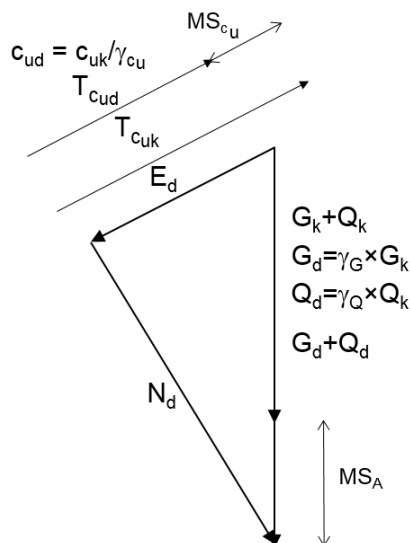
S obzirom da je skup vrijednosti pod A2 – geotehnička djelovanja - uglavnom jediničan (osim za nepovoljno promjenjivo djelovanje), dominantna pozicija djelovanja proračunskih koeficijenata je na svojstva materijala. Iz tog razloga se PP3 naziva i *materijalnim pristupom*.

U **Tablici 3** su dane vrijednosti parcijalnih proračunskih koeficijenata (γ_M) oznake M2 za granična stanja STR i GEO.

Tablica 3. Parcijalni koeficijenti za parametre tla (γ_M)

Parametri tla	Simbol	Vrijednost
Kut unutarnjeg trenja	$\gamma_{\phi'}$	1.25
Efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1.25
Nedrenirana posmična čvrstoća	γ_{cu}	1.4
Jednoosna tlačna čvrstoća	γ_{qu}	1.4
Gustoća (težine)	γ_γ	1.0

Na **Slikama 4 i 5** dani su shematizirani grafički prikazi pozicija margina sigurnosti s obzirom na mjesto i vrijeme djelovanja parcijalnih faktora (MS_A – margina sigurnosti za djelovanje – *action*, MS_{cu} , $MS_{c'}$, $MS_{\phi'}$ - margina sigurnosti za materijal, odnosno parametre posmične čvrstoće - nedrenirana čvrstoća, efektivna kohezija i kut unutarnjeg trenja.). U PP3 parcijalni faktori djeluju na izvoru djelovanja, konkretno na parametre tla.



Slika 4. Pozicije fragmentiranih MS za nedrenirano stanje

U odnosu na klasičan pristup uporabom dopuštenih naprezanja, noviji princip proračuna ima za posljedicu smanjenu vidljivost pozicije i mjere zahtjevanje margine sigurnosti. Vrijedi samo djelomična analogija između formata dokaza dopuštenih napona i usvojenih graničnih stanja:

- format dokaza prema dopuštenim naprezanjima:

$$\tau_a = \tau_u / FS_z$$

- format dokaza prema graničnim stanjima: $E_d \leq R_d$

R_d

gdje su:

τ_a – dopušteno naprezanje,

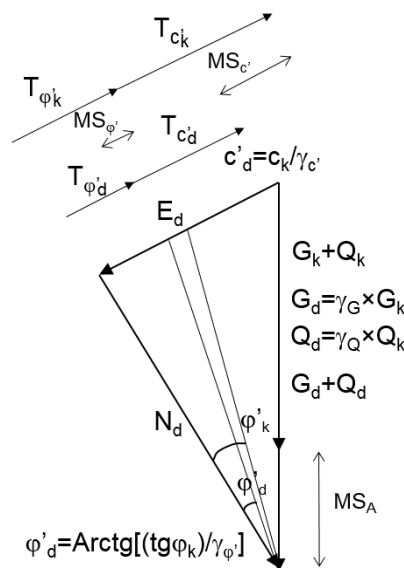
τ_u – granično naprezanje,

FS_z – zahtjevani globalni faktor sigurnosti

E_d – proračunsko djelovanje,

R_d – proračunska otpornost.

Generalno, formati dokaza u sustavu dopuštenih naprezanja su u specifičnim vrijednostima. Provodi se usporedba aktualnog i dopuštenog naprezanja. Margina sigurnosti je eksplicitno izražena. U analizama graničnih stanja format dokaza je tvoren usporedbom resultantnih sila, odnosno provodi se komparacija zahtjevanje u odnosu na aktualnu čvrstoću. Propisana margina sigurnosti je fragmentirana.



Slika 5. Pozicije fragmentiranih MS za drenirano stanje

Vrijednost zahtjevanog globalnog faktora sigurnosti FS_z ovisi o proračunskoj projektnoj situaciji, odnosno kombinaciji vanjskih djelovanja. Potrebno je ostvariti uvjet da stvarni faktor sigurnosti FS (potreban za ostvarenje ravnoteže) bude veći ili jednak zahtjevanom faktoru sigurnosti, odnosno $FS \geq FS_z$ (stalno i promjenjivo djelovanje) ili $FS_{se} \geq FS_{zse}$ (seizmičko djelovanje). U situaciji kada to nije slučaj zahtjev nije zadovoljen. U rasponima vrijednosti - $1 < FS \leq FS_z$ i $1 \leq FS_{se} \leq FS_{zse}$ postoje rezerve margine sigurnosti, gdje je $FS_z > FS_{zse}$ ($1.5 > (1.0 - 1.1)$).

Iz formata dokaza graničnog stanja vidljivo je da je optimalna margina sigurnosti dosegnuta kada je $E_d = R_d$, odnosno kada je $R_d/E_d = 1$. Kada se pojavi slučaj $R_d < E_d$, odnosno kada je $R_d/E_d < 1$, ne znači da je margina sigurnosti posve iscrpljena, kao što je to bio slučaj kod dokaza formata dopuštenih naprezanja. I za ovaj slučaj ona postoji, ali nije eksplicitno vidljiva. Ne može se razvidno definirati određena vrijednost koeficijenta R_d/E_d kada dolazi do ostvarenja sloma, kao što je to bio slučaj u postupcima dopuštenih naprezanja.

Pri proračunima dokaza protiv ostvarenja graničnih stanja globalne stabilnosti kosina, prema PP3, potrebno je primijeniti parcijalne koeficijente na parametre tla, neovisno o projektnoj situaciji (stalne, prolazne, izvanredne projektno situacije). Razlika između projektnih situacija se pojavljuje u apliciranju proračunskih koeficijenata na vanjska djelovanja. Za PP3, prema **Tablici 2**, vidljivo je da su proračunski koeficijenti za vanjska djelovanja jedinični, osim za promjenjivo nepovoljno djelovanje.

Daje se prikaz nekoliko međusobno različitih slučajeva usporednih dosezanja potrebnih margina sigurnosti za dva modela u ovisnosti o pojavnosti i veličini promjenjivog nepovoljnog djelovanja Q , za nedrenirano stanje i seizmičko djelovanje za geotehnički proračunski model prema **Slici 1**.

Za nedrenirano stanje, $Q = 0$, stalnu i prolaznu projektnu situaciju, te PP3, razlika u margini sigurnosti predstavljena je omjerom vrijednosti globalnog faktora sigurnosti FS koncepta dopuštenih naprezanja i proračunskog faktora za nedreniranu čvrstoću γ_{cu} koncepta graničnih stanja prema Eurocodu 7 (OMS – omjer margina sigurnosti): $OMS = FS/\gamma_{cu}$. FS ovisi o procjeni projektanta, dok je γ_{cu} zadana i nepromjenjiva vrijednost. Za $FS = 1.5$, $\gamma_{cu} = 1.4$, $OMS = 1.5/1.4 = 1.07$. Slijedi da je noviji koncept manje konzervativan

Za slučaj kada $Q \neq 0$ i prema oznakama na **Slici 1**, generalno omjeri R/E i R_d/E_d :

$$\frac{R}{E} = FS = \frac{\frac{h}{\sin \alpha} c_u}{\gamma \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{\text{tg} \alpha} - \frac{1}{\text{tg} \beta} \right) \sin \alpha + Q \sin \alpha}$$

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{\frac{h}{\sin \alpha} c_{uk}}{\gamma_G \left[\gamma \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{\text{tg} \alpha} - \frac{1}{\text{tg} \beta} \right) \sin \alpha \right] + \gamma_Q Q \sin \alpha}$$

gdje su:

R, R_d – karakteristična i proračunska otpornost,

E, E_d – karakteristično i proračunsko djelovanje,

γ_G – proračunski koeficijent za vanjsko nepovoljno stalno djelovanje, za PP3 $\gamma_G = 1.0$ - sva djelovanja su geotehnička pri analizama kosina,

γ_Q – proračunski koeficijent za vanjsko nepovoljno promjenjivo djelovanje, za PP3 $\gamma_Q = 1.3$.

Sada nije moguće eksplicitno izraziti OMS faktora sigurnosti i margina sigurnosti iz novog koncepta. Razlog je taj što se u izrazu za vanjska djelovanja pojavljuje proračunski koeficijent γ_Q , koji je veći od jedinične vrijednosti. Upravo će o zadanoj vrijednosti Q ovisiti u kojoj

će mjeri noviji obrasci proračuna imati manji ili veći stupanj konzervativnosti u odnosu na rješenja prema starijem konceptu proračuna. Za slučaj djelovanja izvanredne projektno situacije i nedreniranog stanja $OMS = 1.5/1.4 = 1.07$, kao i u slučaju $Q = 0$.

Unutar novih obrazaca proračuna, za uobičajeni odnos vrijednosti nepovoljnog promjenjivog Q i stalnog djelovanja G , te za zadovoljenje iste margine sigurnosti, slijedi da je mjerodavna projektna situacija izvanrednog djelovanja. Ona djeluje s većim nepovoljnim učincima na kosinu u odnosu na slučajeve samo stalnog i promjenjivog djelovanja. Navedeno je posljedica činjenice da nema promjene u vrijednostima proračunskog koeficijenta na materijal, dok su vrijednosti na vanjska djelovanja jedinične, tj. nema promjene zahtjevanje margine sigurnosti.

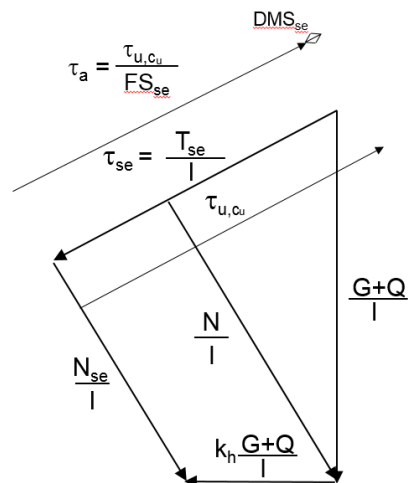
Projektna situacija izvanredno djelovanje (slučaj $k_h \neq 0$, $k_v = 0$ – koeficijenti povećanja sile u horizontalnom i vertikalnom smjeru):

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{\frac{c_{uk}}{\gamma_{cu}}}{\left[\gamma \frac{h}{2} \left(\frac{1}{\text{tg} \alpha} - \frac{1}{\text{tg} \beta} \right) + \frac{Q}{h} \right] (\sin^2 \alpha + k_h \cos \alpha \sin \alpha)}$$

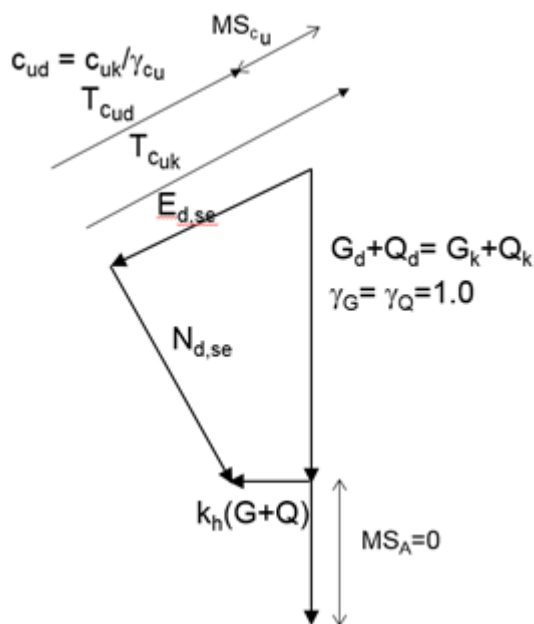
Određeni dio vanjskog promjenjivog nepovoljnog djelovanja Q kompenziran je jediničnom vrijednosti proračunskog koeficijenta za izvanrednu projektnu situaciju. Međutim, s obzirom na vrijednost seizmičkog ubrzanja tla, te relativno mali odnos promjenjivog, u odnosu na stalno opterećenje, spomenuta kompenzacija nije značajna.

Potrebno je istražiti za koliko je moguće smanjiti odnos proračunske otpornosti i proračunskog djelovanja od jediničnog, kako bi se dosegla odgovarajuća margina sigurnosti dosegnuta obrascima dopuštenih naprezanja. Ili drugim riječima kvantificirati povećanu količinu radova, koja eventualno nastaje kao posljedica strogog pridržavanja predloženih obrazaca graničnih stanja, odnosno fiksne margine sigurnosti.

Izrađen je pokazni numerički primjer s određivanjem potrebnog trajnog nagiba kosine prema obrascima dopuštenih naprezanja i graničnih stanja za relevantne projektno situacije.



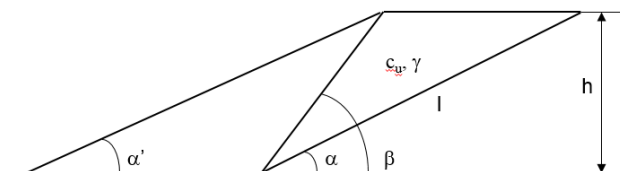
Slika 6. DMS za djelovanje seizmičkih sila



Slika 7. Pozicije fragmentiranih MS za nedrenirano stanje za djelovanje seizmičkih sila

5. NUMERIČKI PRIMJER

Na Slici 8 prikazan je geotehnički model projektne situacije zatečenog prirodnog terena pod nagibom α' . Potrebno je odrediti nagib β trajno stabilne kosine od homogenog materijala za ravnu kliznu plohu pod kutem α za sljedeće projektne uvjete: $h = 6$ m, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\gamma = 20$ kN/m³, $c_u = 27$ kN/m², $\gamma_{cu} = 1.4$, $k_h = 0.3$.



Slika 8. Geotehnički model proračuna trajnog nagiba kosine β

Stalno djelovanje:

Faktor sigurnosti

$$FS = 1.56.$$

Faktor konzervativnosti (Over design factor)

$$ODF = 1.11$$

Izvanredno djelovanje - seizmika:

Faktor sigurnosti

$$FS_{se} = 1.02. - \text{zadovoljavajuće}$$

Faktor konzervativnosti

$$ODF_{se} = 0.73 - \text{nezadovoljavajuće}$$

Trajni nagib kosine iz uvjeta dobivanja jediničnog faktora konzervativnosti ODF_{se} jednak je $\beta = 48^\circ$.

Za $\alpha' = 25^\circ$ povećanje količine iskopa za slučaj prema novim obrascima u odnosu na postupak prema dopuštenim naprezanjima je cca 20 %.

6. ZAKLJUČAK

Primjena novih propisa ima za posljedicu potrebu za stvarnom prilagodbom proračunskim principima graničnih stanja, odnosno omogućavanjem uniformnog načina analiza inženjerskih zadaća. Generalno, nije moguće jednoznačno poklapanje procedura verifikacije graničnih stanja s onima u segmentu konstrukterstva. Razlozi su nemogućnost potpune dosljednosti zajedničke probabilističke osnove proračuna, te fundamentalan utjecaj materijalnih svojstava na vrijednosti vanjskih nepovoljnih djelovanja i obrnuto, utjecaj vanjskih djelovanja na otpornost. Posljedično, nije moguće provoditi zasebna faktoriranja proračunskim koeficijentima, kao u konstrukterstvu.

Dominantan kriterij za odabir vrijednosti proračunskih koeficijenata, ponajviše materijalnih, s obzirom na usvojeni proračunski pristup, nije probabilistička osnova, već usklađivanje s dosadašnjom, iskustvenom marginom sigurnosti.

Pri analizama stanja stabilnosti kosina, kod značajnijih vanjskih povremenih i/ili seizmičkih djelovanja, pojavljuje se, strogo primjenom usvojenih obrazaca iz novih propisa, povećana konačna, ekvivalentna margina sigurnosti. Posljedica je pojava konzervativnijih rješenja. Konkretno, pri određivanju nagiba kosina od prirodnog tla ili odlagališta otpada, posljedica je potreba za smanjenjem njihovih nagiba, a time i skupljim i neracionalnijim rješenjima.

Za ilustraciju opisanih zadaća napravljena je analiza margina sigurnosti za pojednostavljen i idealiziran slučaj proračuna stabilnosti homogene kosine za nedrenirano stanje i ravnu kliznu plohu, za dvije projektne situacije. Pokazano je da se primjenom novih obrazaca, na pokaznom primjeru, dobiva konzervativnije rješenje, s povećanjem obima radova iskopa za cca 20 %.

Daljnji rad na istraživanju treba obuhvatiti općenitije slučajeve s tečenjem vode, uslojenim tlom, kružnim i poligonalnim kliznim ploham, utjecajem vanjskog povremenog djelovanja i dr. Rezultati budućih analiza bi trebali imati za posljedicu eventualnu korekciju usvojenih, regulatornih obrazaca, a u cilju postizanja racionalnijih tehničkih rješenja zadaća iz geotehničkog inženjerstva. Mogući pristup je smanjenje potrebne vrijednosti faktora konzervativnosti (ODF) za projektne situacije izvanrednih djelovanja.

7. LITERATURA

Hansen, Brinch. J. (1956) Limit state and safety factors in soil mechanics, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, Bulletin No. 1

HRN EN 1997-1:2008 (2008) Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – 1. dio, Opća pravila (EN 1997-1:2004)

HRN EN 1997-2:2008 (2008) Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – 2. dio, Eurocode 7, Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla, (EN 1997-2:2007)

HRN EN 1997-1:2012/NA (2012) Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila – Nacionalni dodatak; HRN EN 1997-1:2012

Pravilnik o tehničkim normativima za projektiranje i izvedbu radova na temeljenju građevinskih objekata (1974) Sl. List. 34/74.

Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (1990) HRN 1990. Sl. List. 15/90

PROCJENA ZALIHA PITKE VODE TEMELJEM HIDROGEOLOŠKIH OBILJEŽJA NA PODRUČJU SJEVEROISTOČNOG PRIGORJA

ASSESSMENT OF DRINKING WATER SUPPLIES BASED ON THE HYDROGEOLOGICAL FEATURES IN THE NORTH-EAST PART OF PRIGORJE

Filip Lovrić¹, Sanja Kapelj¹, Jelena Loborec^{1*}

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za hidrotehniku Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: jloborec@gfv.hr

Sažetak: Cilj ovog rada je na temelju hidrogeoloških obilježja procijeniti vrijednost zaliha pitke vode u području tzv. sesvetskog Prigorja koji pripada jugoistočnim obroncima Medvednice. Izvori Medvednice su općenito male izdašnosti, ali mnogobrojni, što omogućuje opskrbu vodom manjih naselja. Poznatih izvora je oko 230. Naselja koja imaju vodozahvate pod lokalnom samoupravom na području istraživanja su: Kašina, Planina Gornja, Planina Donja, Blaguša, Jesenovec, Glavnica Donja, Glavnica Gornja, Prepuštovec, Vurnovec, Gajec, Vugrovec Gornji, Goranec i Šimunčevac. Na području južnih obronaka Medvednice kao najznačajniji vodonosnici su izdvojeni dobro do srednje propusni mramorizirani (rekristalizirani) vapnenci paleozojske starosti, zatim dolomitno vapnenački kompleks srednjeg i gornjeg trijasa te karbonatno-klastične naslage badenske starosti. Izdašnosti izvora kreću se u rasponu od 1,0 l/s do 10 l/s. Prema rezultatima hidrogeoloških istraživanja koje se odnose na količine i kakvoću vode razvidno je da su raspoložive količine vode dostatne za broj stanovnika koji žive na tom području, ali raspodjela količina vode nije ujednačena po pojedinim naseljima. Raspoložive količine podzemnih voda mogu se povećati izgradnjom dodatnih kaptažnih objekata i zdenaca. Budući da će područje Seseveta u vrlo skorjoj budućnosti imati sve veće potrebe za vodom dijelom tehničke razine kakvoće, a dijelom i za ljudsku uporabu potrebno je spomenute resurse uzeti u obzir.

Ključne riječi: vodne zalihe, količina, kakvoća, Medvednica, Sesevete

Abstract: The aim of this paper is to assess the value of potable water supplies based on the hydrogeological features in the area called Sesevsko Prigorje, which belongs to the southeastern slopes of Medvednica mountain. Springs of Medvednica are generally numerous but with low flow, providing the water supply of small settlements in that area. Known springs are about 230. The villages that have water management under local self-government in the study area are: Kašina, Gornja Planina, Donja Planina, Blaguša, Jesenovec, Glavnica Donja, Glavnica Gornja, Prepuštovec, Vurnovec, Gajec, Vugrovec Gornji, Goranec and Šimunčevac. In the southern slopes of Medvednica, the most important aquifers are the well-to-medium marbled (recrystallized) limestones of the Paleozoic age, then the dolomitic limestone complex of the middle and upper thersias and the carbonate-clastic deposits of the Middle Ages. The flow of the springs ranges from 1.0 l/s to 10 l/s. According to the results of hydrogeological surveys related to the quantity and quality of water it is obvious that the available quantities of water are sufficient for the number of inhabitants living in the area, but the distribution of water quantities is not uniform for individual settlements. The quality of the affected groundwater is mostly bacteriologically contaminated due to the old and unmanaged local water supply network and the absence of wastewater drainage systems from households and commercial facilities. The rehabilitation and reconstruction of local waterworks and the introduction of modern methods of treatment of affected waters would significantly improve their quality. The available amounts of groundwater can be increased by building additional wells. Since the Sesevete area will have an increasing demand for water in the very near future, partly because of the technical quality level, and partly for human consumption, investigated resources should be taken into account.

Keywords: Water supplies, quantity, quality, Medvednica, Sesevete

Received: 10.05.2017 / Accepted: 11.07.2017

Published online: 21.07.2017

Znanstveni rad / Scientific paper

1. UVOD

Sve veća potreba za vodnim zalihama usmjerava nas na vrednovanje svakog potencijalnog izvora pitke vode. Stoga je i cilj ovog rada procijeniti vrijednost zaliha vode u području tzv. sesvetskog Prigorja koji pripada jugoistočnim obroncima Medvednice. Područje istraživanja je jednim dijelom zadržalo svojstva tipičnog prigrorskog, odnosno zagorskog krajobraza u kojemu se isprepliću gradska, prigradska i seoska naselja s okolnim poljoprivrednim površinama (voćnjaci, vinogradi, obradive površine) i izdvojenim šumarcima. Naselja tipično seoskog karaktera koja su zadržala tradicionalni izgled u ovom dijelu Prigorja

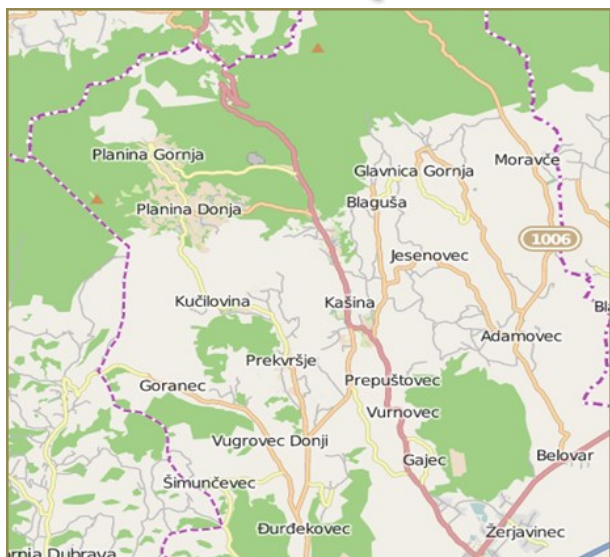
više ne postoje. Postoje samo relikti u obliku drvene gradnje pojedinih kuća i tradicijskih gospodarskih objekata. Većina vinograda ima male klijeti koje su samo jednim dijelom još tradicionalne gradnje, a jednim dijelom su izgrađene u obliku kućica za odmor.

Medvednica se ističe kao izdvojeni planinski masiv u širem prostoru savske nizine. Cjelinu Medvednice čine prividno odvojeni zapadni i istočni dio. Glavni masiv zapadnog dijela proteže se u dužini od 24 km. Nekoliko zaobljenih vrhova ujednačene visine čini vršnu zonu dugu oko 4,5 km s najvišim vrhom Sljemenom (1033 m n.m.). Glavni

masiv završava strmim poprečnim grebenom Lipa-Rog na kojega se nastavlja naizgled izdvojeni, znatno niži, istočni dio s najvišim vrhom Drenova (576 m n.m.). Izvori Medvednice su općenito skromnog kapaciteta, ali mnogobrojni, što omogućuje opskrbu vodom manjih naselja. Poznatih izvora je oko 230, a većih potoka je približno 75. Postoji i nekoliko toplih izvora različite kvalitete i izdašnosti (Stubičke Toplice, Zelina, Gornja Dubravica, Sutinska Vrela). Potoci Medvednice su u svojem donjem toku većinom onečišćeni otpadnim vodama, odlaganjem krupnog otpada i ugroženi vodnotehničkim zahvatima (retencijama, akumulacijama, kanaliziranjem) koje ujedno utječu i na kvalitetu i količinu podzemnih voda (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2008).

Naselja na obroncima Medvednice već se stoljećima koriste izvorima na svom području, a prije nekoliko desetaka godina mnogi su izvori kaptirani i izgrađena je lokalna vodoopskrbna mreža koju su financirali sami stanovnici. Nažalost, u većini slučajeva zbog neodržavanja i dotrajlosti lokalnih sustava vodoopskrbe, kakvoća vode u domaćinstvima često nije prikladna za ljudsku uporabu. U međuvremenu su neka naselja priključena na vodoopskrbni sustav grada Zagreba, ali se i dalje nastavljaju koristiti i izvorske vode i lokalna mreža za opskrbu pojedinih naselja i za druge potrebe. Naselja koja imaju vodozahvate pod lokalnom samoupravom na području istraživanja su: Kašina, Planina Gornja, Planina Donja, Blaguša, Jesenovec, Glavnica Donja, Glavnica Gornja, Prepuštovec, Vurnovec, Gajec, Vugrovec Gornji, Goranec i Šimunčevac.

Pregled dosadašnjih spoznaja i rezultati istraživanja provedeni za potrebe ovog rada trebaju potaknuti interes za očuvanje količine i kakvoće izvorskih vodnih zaliha kao pričuvnih količina vode koje se mogu dodatno koristiti za vodoopskrbu, na primjer u akcidentnim situacijama i/ili namijeniti lokalnoj zajednici za druge potrebe.



Slika 1. Prostorni položaj istraživanog područja

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

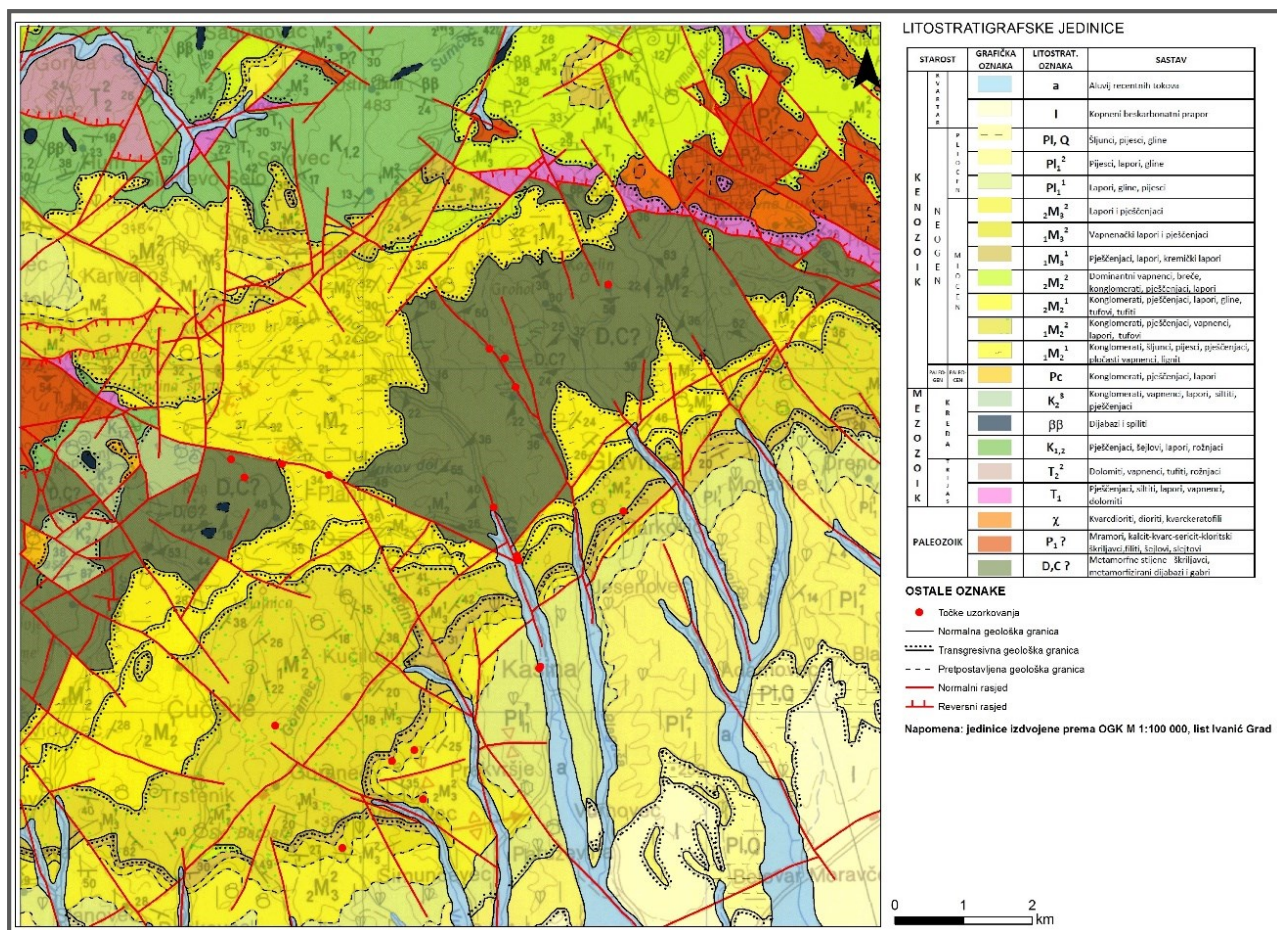
Područje istraživanja obuhvaća ruralni dio naselja na sjeveroistočnom dijelu Grada Zagreba, ograničeno na dio sjeveroistočnog, tzv. sesvetskog Prigorja koji pripada jugoistočnim obroncima Medvednice. Naselja koja se nalaze na tom području su: Kašina, Planina Gornja, Planina Donja, Blaguša, Jesenovec, Glavnica Donja, Glavnica Gornja, Prepuštovec, Vurnovec, Gajec, Vugrovec Gornji, Goranec i Šimunčevac (Slika 1). Sva naselja imaju vodozahvate pod lokalnom samoupravom stoga su vrlo zanimljiva za temu ovoga rada.

2.1. GEOLOŠKA OBILJEŽJA

Planina Medvednica u širem opsegu okružena je naplavnim riječnim dolinama Save, Krapine i Lonje i proteže se od Podsuseda na jugozapadu do Donjeg i Gornjeg Orešja na sjeveroistoku, u približnoj dužini od 40 kilometara. Kako je njezina predtercijarna jezgra okružena mlađim neogenskim i kvartarnim sedimentima, te tako geološki izolirana u odnosu na južnoalpske i dinarske predjele, zajedno sa ostalim izdvojenim planinama u južnom dijelu Panonskog bazena, u starijoj geološkoj literaturi svrstana je u hrvatsko-slavonsko „otočno gorje“ (Šikić 1995). Medvednica je neogenskim sedimentima podijeljena u tri gorske cjeline (jezgre), izgrađene od predtercijarnih stijena. Jugozapadni dio planine od Podsuseda do prijevoja Kašina-Laz tvori glavni trup Medvednice, koji je u ovom užem opsegu još nazvan Zagrebačka gora s najvišim vrhom Sljemenom (1033 m n.m.), a izgrađen je od paleozojskih, mezozojskih, paleogenskih i neogenskih stijena (Basch 1983; Šikić 1995). Donjotrijaski sedimenti (T₁) su zastupljeni u građi jugozapadnog i sjeveroistočnog dijela Medvednice. U sjeveroistočnom su dijelu donjotrijaski sedimenti otkriveni u gornjem toku Slanog potoka, širem području doline potoka Bistrice, južno od Žitomira, te tektonskoj zoni od Laza do sela Velika (Zelinska) Gora.

Medvednica, relativno mala planina okružena neogenskim i kvartarnim sedimentima, vrlo je složene strukturne (navlačne) građe. Gorjanović je Zagrebačku goru opisao kao borani i duboki pukotinama razlomljeni stršenjak (horst), koji je reduciran do otočne gore, a od Samoborske je gore odijeljen pukotinama i erozijskim djelovanjem Save. Starija jezgra Medvednice, izgrađena od paleozojskih, mezozojskih i paleogenskih stijena, bila je već uglavnom strukturno formirana i približno smještena u današnji položaj, do uoči taloženja neogenskih sedimenata. U građi Medvednice od svih su stijena pozornost geologa najviše privlačile upravo te neogenske naslage čitavim slijedom od otnanga (M₂), karpata (M₃), badena (M₄), sarmata (M₅) i panona (M₆) prema Geološkoj karti Medvednice (Avanić et al. 1995). Privlačila ih je uočljiva brojnost i raznovrsnost fosila u njima, kao i dostupnost brojnih izdanaka, većim dijelom i umjetno otvaranih (kamenoloma) za potrebe izgradnje grada i prigradskih naselja. Gorjanović-Kramberger je napravio prikaz o tercijaru duž jugoistočnih padina od Podsuseda do Planine i Zeline, koji su i danas osnova za sva istraživanja neogena u Hrvatskoj.

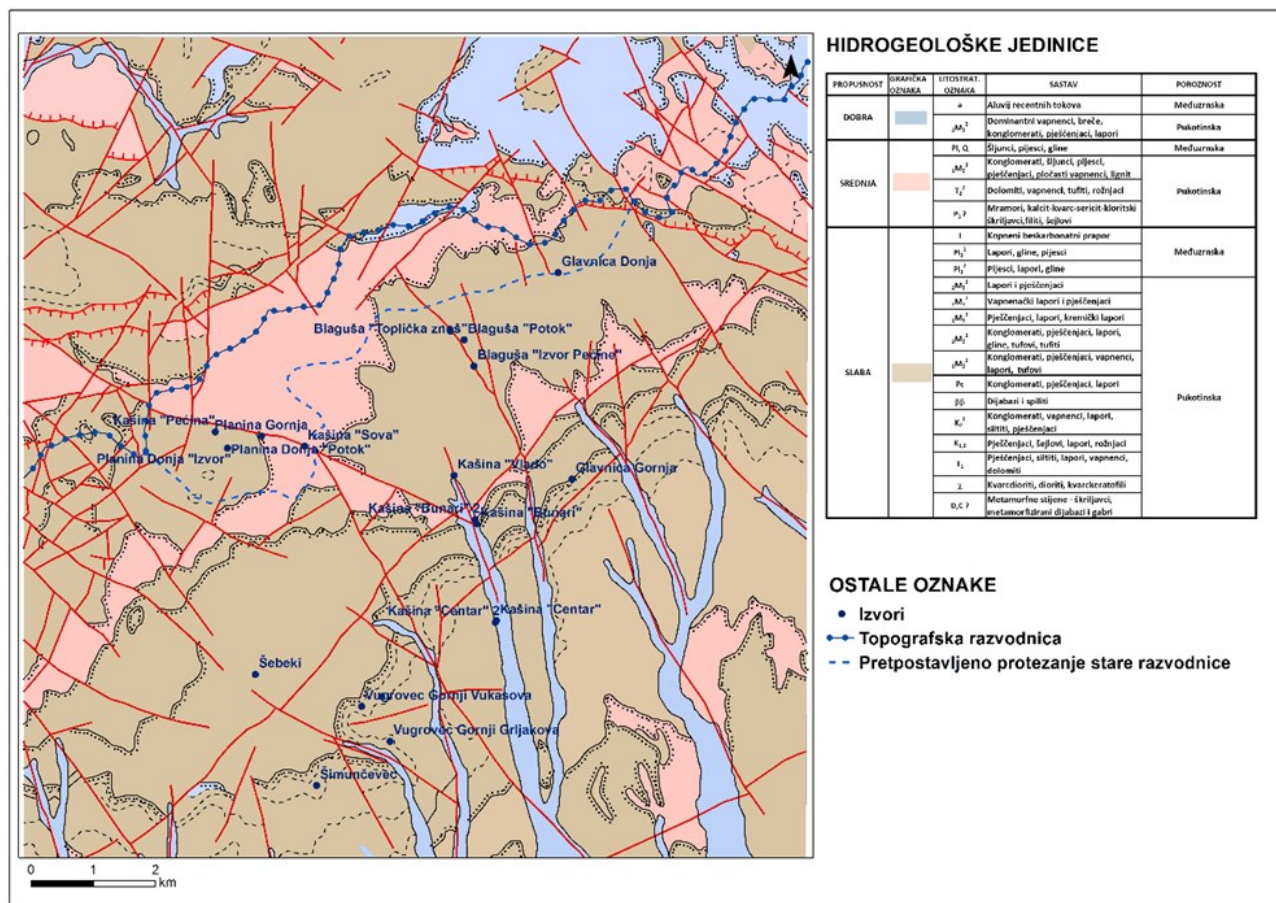
Pregledna geološka karta područja istraživanja načinjena na osnovu Osnovne geološke karte i prikazana je na Slici 2. U Tumaču oznaka se koriste litostratigrafske oznake iz OGK list Ivanić-Grad 1:100000 (Basch 1983).



Slika 2. Pregledna geološka karta područja istraživanja (prema: Basch 1983).



Slika 3. Potok Kašina - neuređeni i uređeni tok



Slika 4. Pregledna hidrogeološka karta istraživanog područja

2.2. HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA

Obronci Medvednice obiluju potocima (75) i izvorima (oko 230). Oborinske se vode brzo slijevaju, ovisno o nagibu i sastavu terena (Farkaš-Topolnik 2015). Vodno područje Južni obronci Medvednice omeđeno je na sjeveru topografskom razvodnicom po bilu Medvednice, na zapadu sa slivom Krapine, istočna je granica sa slivom Lonje, a na jugu je dolina Save. Površina iznosi 230 km². Područje obuhvaća slivove brojnih potoka, a od većih to su: Vrapčak, Kustošak, Črnomerec, Medveščak, Bliznec, Štefanovec, Trnava i Rijeka. Vugrov potok i Kašina, kao i brojni drugi njihovi pritoci nalaze se na istraživanom prostoru (Schaller et al. 2016). Zalihe podzemnih voda na ovom području nisu određivane. Srednji godišnji bazni dotoci potoka Kašina (uključuju podpovršinski i podzemni dotok) u sušnim godinama iznose na profilu Gornja Kašina $Q_b = 0,052 \text{ m}^3/\text{s}$, a na profilu Popovec $Q_b = 0,100 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji godišnji bazni dotoci potoka Kašina (uključuju podpovršinski i podzemni dotok) u vlažnim godinama iznose na profilu Gornja Kašina $Q_b = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}$, a na profilu Popovec $Q_b = 0,271 \text{ m}^3/\text{s}$ (Slika 3). Potoci i izvori većim dijelom se napajaju ovisno o količini oborina. Vodonosnici su većinom dobro propusne vapnenačke i dolomitne stijene.

Na temelju litoloških i hidrogeoloških značajki naslaga i njihove hidrogeološke funkcije u sklopu istraživanog područja, u hidrogeološkom smislu izdvojene su: dobro, srednje i slabo propusne naslage. Pregledna hidrogeološka karta istraživanog područja prikazana je na Slici 4, a izrađena je na osnovu Pregledne geološke karte sa Slike 2.

Na području južnih obronaka Medvednice kao najznačajniji vodonosnici su izdvojeni dobro do srednje propusni mramorizirani (rekristalizirani) vapnenci paleozojske starosti, zatim dolomitno vapnenački kompleks srednjeg i gornjeg trijasa te karbonatno-klastične naslage badenske starosti. U karbonatnim dijelovima javlja se veći broj izvora manjih izdašnosti. Moguća je ograničena eksploatacija podzemnih voda za potrebe individualne vodopskrbe. Prihranjivanje podzemnih voda ograničeno je zbog značajnog površinskog otečanja s nagnutih površina terena. Izdašnosti izvora kreću se u rasponu od 1,0 l/s do desetak l/s. Neogenski sedimentni kompleks prevladava u brežuljkastim pobrđima s pretežito slabo propusnim stijenama međuzrnske poroznosti, bez mogućnosti značajne akumulacije podzemne vode. U manjoj mjeri se javljaju karbonatne naslage – šupljikavi vapnenci koje možemo ovisno o njihovoj zastupljenosti mjestimično karakterizirati kao srednje propusne stijene. Poroznost im je pukotinska, što omogućuje infiltraciju površinskih voda u podzemlje i formiranje vodonosnika koji se dreniraju na izvorima male izdašnosti. Zona kvartarnih naslaga u dolinama potoka predstavljena je aluvijalnim sedimentima s promjenjivim granulometrijskim sastavom te naslagama prapora koje su slabo propusne. Aluvijalne naslage su vezane uz potoke koji teku s masiva Zagrebačke gore prema jugu (Kašina, Blaguša, Glavnica) i prema sjeveru (Bistrica). Litološki su to vrlo heterogeni sedimenti, od šljunka preko pijeska i silta do gline. Stoga im i propusnost varira obzirom na učešće vodonepropusnih gline. Kako su aluvijalne naslage vodotoka Kašine i Blaguše te Bistrice uglavnom deficitarne

šljunkovitim slojevima, tako su i vodonosnici ograničenih dimenzija. Bušenim zdencima u kvartarnim taložinama izdašnosti su manje od 5 l/s.

2.3. KLIMATOLOŠKA OBILJEŽJA

Medvednica se, u odnosu na okolne nizinske krajeve, u klimatološkim svojstvima ponaša kao «otok» s više oborina, nižim temperaturama, duljem trajanju i količini snježnog pokrivača. Područje Medvednice nalazi se u temperaturnoj zoni u kojoj se temperatura zraka smanjuje za 0,5 °C na svakih 100 metara (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2008). Srednja godišnja temperatura zraka je 6,2 °C, u usporedbi sa 11,4 °C u Zagrebu. Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka -3,1 °C, a najtopliji srpanj s prosječnom temperaturom od 15,2 °C. Insolacija je veća od one u Zagrebu za otprilike 100 sati godišnje. Ta je razlika prisutna u hladnom dijelu godine od listopada do ožujka kada je više magle u Zagrebu.

Godišnja količina oborina na Medvednici se kreće oko 1200 mm, dok za Zagreb iznosi 844 mm. Prosječan broj dana s injem je 40 (Zagreb 4). Godišnji broj dana sa snježnim oborinama na vrhu Medvednice iznosi 54 dana. Snijeg najčešće pada u siječnju i veljači. Dominantni vjetrovi su sjevernjak i sjeveroistočnjak. Broj dana s relativnom vlagom većom od 80 % je najveći na Puntijarki (158 dana godišnje) i smanjuje se smanjenjem nadmorske visine. Najveći broj dana s maglom iznosi 148 dana godišnje na postaji Puntijarka, gdje je zabilježeno i najviše dana s grmljavinom (32) i tučom (3) (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2008). Za vrijeme kišnog razdoblja koje je najveće u proljeće, dolazi do maksimalne količine istjecanja na izvorima, dok za vrijeme sušnih razdoblja koja su evidentirana ljeti, neki izvori i potoci znaju i presušiti.

3. STANJE VODOZAHVATA

Sjeveroistočni dio Prigorja specifičan je kako po bogatstvu vode tako i po mnoštvu lokalnih vodozahvata. Poznato je oko 230 lokacija istjecanja, od kojih su neki izdvojeni kao značajniji za vodoopskrbu (Tablica 1). Na većini vodozahvata ispravnost vode za piće kontrolira Hrvatski zavod za javno zdravstvo (HZJZ), dok troškove i obrade uzoraka vode financira Grad Zagreb. Vrijednosti istjecanja izvora navedene u ovom radu rezultat su terenskog mjerenja autora.

Tablica 1. Popis vodozahvata

BR	NAZIV
1	Kašina „Sova“
2	Kašina „Bunari“
3	Kašina „Pećina“
4	Kašina „Centar“
5	Blaguša "Potok"
6	Planina Gornja
7	Planina Donja "Izvor"
8	Planina Donja "Potok"
9	Glavnica Donja

10	Glavnica Gornja
11	Šimunčevac
12	Vugrovec Gornji Grljakova
13	Šebeki
14	Vugrovec Gornji Vukasova
15	Vugrovec Gornji Grljakova - gornji
16	Kašina "Vlado"
17	Kašina "Centar" 2
18	Blaguša "Izvor Pećine"
19	Blaguša "Petrovska znoš"
20	Blaguša "Toplička znoš"
21	Kašina "Bunari" 2

3.1. KRATKI OPIS I MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA VODOZAHVATA

Trenutna situacija samih vodozahvata na istraživanom području, nakon terenskog pregleda nije u dobrom stanju. S obzirom da se radi o rubnim dijelovima grada Zagreba, to su uglavnom ruralna područja s poljoprivrednim zemljištem (nasadi žitarica – pretežito kukuruza, vinogradi, voćnjaci, vrtovi) koje se obrađuje i bez odvodnje otpadnih voda iz domaćinstava i gospodarskih objekata (staja, kokošnjaca itd.) pa je mogućnost onečišćenja površinskih i podzemnih voda velika. Potrošači ove vode mahom su seoska domaćinstva koja vodu trebaju i za napajanje domaćih životinja, zalijevanje vrtova i poljoprivredne radove. Zabrana uporabe trebala bi se donijeti samo za vodu za piće, a izvršenje takvog rješenja nije moguće kontrolirati.

Vodovod Kašina sastoji se od jednog zahvaćenog izvora i četiri bušena zdenca koji se nalaze na zasebnim mjestima. Zahvaćeni izvor smješten je oko 500 m jugozapadno ispod Velike peći koja se nalazi na lokaciji Lipa-Rog. Izvor je silazni, a na izdašnost izvora, koji varira od 1 do 3 l/s, ima utjecaj i količina padalina na tom području. Bušeni zdenac nalaze se neposredno pokraj ceste Kašina-Laz. Prvi zdenac dubine 9 metara nalazi se uz potok „Kašina“ u Gornjoj Kašini. Procijenjena maksimalna izdašnost ovog bunara ja 3 l/s. Druga dva zdenca su u centru Kašine. Situacija vodonosnika je slična kao i kod prvog zdenca. Oba zdenca su 9-10 m dubine i rade zajedno. Procijenjena izdašnost ovih zdenaca je 4 l/s. Četvrti zdenac se nalazi na samom ulazu u Kašinu iz smjera Laz, neposredno kod table Kašina. Izdašnost mu je procijenjen na 2 l/s, a koristi se samo kao rezerva u slučaju kada nema dovoljno vode. Postoji još jedan izvor koji se nalazi pokraj ceste Vukov dol - Planina Gornja prije samog ulaza u Planinu Gornju. Izdašnosti je od 0,5-8 l/s, međutim izvan upotreba je zbog jakog zamućenja vode. Kašinski vodozahvati su dotrajali ali još uvijek u uporabnom stanju, što se može vidjeti i na Slici 5.



Slika 5. Izvor Kašine, Zdenac 1, Zdenac 2 i 3.



Slika 6. Izvori „Pečina“, „Petrovska Znoš“, „Toplička Znoš“

Vodozahvat Blaguša se sastoji od tri zahvaćena izvora „Petrovska znoš“, „Toplička znoš“ i „Pečina“. Sva tri izvora nalaze se neposredno uz potok „Blaguša“ i to u zoni samog izvora potoka, dok se „Pečina“ nalazi nizvodnije za oko 500 m. Izvori se nalaze u strmom zasjeku između brda „Kamenjak“ i „Brezje“. Na izvoru „Petrovska znoš“ procjenjuje se izdašnost 1,3 l/s, na izvoru „Toplička znoš“ od 2,3 do 3,3 l/s a na izvoru „Pečina“ od 0,7 do 1,6 l/s.

Sva tri zahvaćena izvora Blaguškog vodovoda također su kaptirana prije više desetaka godina. Zbog velikih gubitaka pri zahvaćanju vode, sredinom devedesetih godina, rađena je sanacija vodozahvata, gdje se poboljšao zahvaćeni kapacitet izvora, te su se smanjili nepotrebni gubici. Sadašnje stanje vodozahvata je prihvatljivo (Slika 6), s time da ponovna sanacija vodozahvata ne bi bila loša. Vodozahvat se sastoji od komore za dotok i preljeva gdje se zahvaća voda. Vodozahvat „Pečina“ je nešto drugačiji jer se nalazi nizvodnije od ostale dvije kaptaze, tako da ona ima i komoru za dotok vode s druga dva izvora

Planina Gornja ima samo jedan zahvaćeni izvor koji se nalazi u samom selu na početku Podjezerske ulice oko 500 m u smjeru Lipe. Uz izvor teče mali potok srednjeg protoka 0,4 l/s, koji presuši u ljetnim sušnim razdobljima, obično tijekom srpnja i kolovoza. Izvor je silazni te se nalazi u podnožju Lipe, a procijenjena izdašnost ovog izvora varira od 1-3 l/s.

Sadašnje stanje zahvaćenog izvora Planina Gornja u odličnom je stanju. Izvor je potpuno zatvoren s jednim oduškom za zrak (Slika 7). Voda direktno otječe u sabirnu komoru koja se nalazi desetak metara dalje, te se od tamo dalje transportira do vodosprema.



Slika 7. Izvor Planina Gornja

Vodovod Planine Donje se napaja jednim zahvaćenim izvorom, te jednim bušenim zdencom. Zahvaćeni izvor nalazi se oko 1 kilometar jugoistočno od zahvaćenog izvora „Kašina“, te je isto tako udaljen od puta Planina Donja-Lipa. Spada u silazne izvore, a izdašnost mu varira od 0,7-2 l/s. Uz izvor teče potok srednjeg protoka 0,65 l/s, koji je bio zahvaćen za vodoopskrbu u ljetnim sušnim razdobljima. Bušeni zdenac se nalazi 10 m od vodospreme. Zdenac je dubine 53 m, a izdašnost mu je 0,8 l/s.

Izvor Planine Donje je zatvoren, s time da je oko njega izgrađena mala komora iz koje dalje voda ide u drugu komoru i preljev (Slika 8). Vodozahvat je rađen prije nekoliko desetaka godina, a u novije vrijeme je doručivan još

jednim spremnikom koji služi kao preljev viška vode. Bušeni zdenac koji se nalazi pokraj vodospreme u Planini Donjoj, bušen je prije nekoliko godina te je u dobrom stanju.



Slika 8. Izvor i bušeni zdenac u Planini Donjoj

Glavnica Donja ima dva zahvaćena silazna izvora. Prvi izvor nalazi se oko 700 m južno od prijevoja asfaltirane ceste Moravče-Marija Bistrica. Uslijed tektonike glavna žila izvora je većim dijelom presječena te se voda zahvaća iz potoka koji teče neposredno pokraj izvora. Izdašnost izvora procjenjuje se na 2 l/s. Drugi izvor se navodno nalazi oko 500 m jugozapadno od prvog izvora, međutim nije ga bilo moguće identificirati na terenu čak i uz pomoć mještana.

Vodozahvati Glavnice Gornje se sastoje od tri kopana zdenca, koja se nalaze u dolini između brda Gornji Levaki i Glavnice Gornje. Prva dva su dubine 5 i 6 m te su promjera 3 m, dok je treći dubok 22 m, a promjer mu je 1 m. Vodonosnik je otvorenog tipa u pretežito slabo propusnim naslagama, a u dubljim dijelovima nalazi se laporovita podina. Procjenjuje se da su sva tri bunara ukupne izdašnosti 0,7 l/s.

Oba izvora Glavnice Donje su u lošem stanju radi dotrajalosti kaptaža na izvorima i neodržavanja postojećeg sustava vodozahvata. Zdenaci Glavnice Gornje su u prihvatljivom stanju što se tiče samih građevina vodozahvata, međutim voda u njima stoji već nekoliko godina jer se ne eksploatiraju. U slučaju potrebe uzimanja vode za javnu uporabu, potrebno je prethodno napraviti sanacijsko čišćenje zdenaca. (Slika 9).

Šimunčevac ima jedan bušeni zdenac koji se nalazi 300 m sjeveroistočno od kraja ceste koja vodi od autobusnog okretišta u Šimunčevcu prema sjeverozapadu. Procijenjena izdašnost mu se kreće od 3-4 l/s.

Bušeni zdenac u Šimunčevcu je također u dotrajalom stanju, međutim još uvijek je u funkciji (Slika 10). Zahvaćena voda se gravitacijski odvodi do vodospreme, a u novije vrijeme ugrađena je pumpa zbog bržeg dotoka vode u vodospremu.



Slika 9. Izvor Glavnice Donje i zdenaci u Glavnici Gornjoj



Slika 10. Bušeni zdenac u Šimunčevcu

Vugrovec Gornji ima više bušenih i kopanih zdenaca koji se nalaze u Vukasovoj i Grljakovoj ulici u Vugrovcu Gornjem. Izdašnost tih zdenaca je mala, dok neki od njih i presuše u ljetnim sušnim razdobljima.

Zaseok Šebeki nalazi se u Gorancu, te koristi jedan zahvaćeni silazni izvor, koji se nalazi na kraju zaseoka. Izdašnost izvora nije poznata jer se voda preljeva direktno u vodospremu koja se nalazi neposredno poslije izvora.

Zdenci u Vugrovcu Gornjem su u lošem stanju radi neodržavanja vodozahvata, a izvor „Šebeki“ koji se nalazi u Gorancu, također je u lošem stanju zbog dotrajalosti (Slika 11). Potrebno je napraviti sanacijsko čišćenje postojećih građevina.



Slika 11. Izvor „Šebeki“ i zdenac u Vukasovoj ulici u Vugrovcu Gornjem

Na području istraživanja nalazi se ukupno 6089 stanovnika prema Popisu stanovništva, kućanstava i stanova iz 2011. godine (Bursić et al. 2011), a raspoređeni su u 13 naselja (Tablica 2). Za Goranec i Vugrovec Gornji podaci su uzeti za cijelo naselje, dok se vodozahvati odnose samo za pojedine zaseoke, točnije „Šebeki“ u Gorancu te Vukasova i Grljakova ulica u Vugrovcu Gornjem, što znači da bi broj stanovnika korisnika vodozahvata bio i nešto manji.

Broj stanovnika kao i broj kućanstava poprilično je velik, te se taj podatak ne smije zanemarivati. Ako uzmemo da je prosječna potrebna specifična količina vode 130 litara po stanovniku na dan, ispada da je na ovom

području potrebno prosječno 791,7 m³ vode na dan. Zbroj svih izdašnosti na istraživanom području otprilike iznosi 25 l/s (prosječna vrijednost), što ukupno iznosi 2160 m³/dan. Prema tome, potvrđeno je da je sadašnja količina raspoloživih zaliha vode dovoljna za napajanje cijelog istraživanog područja. Problem je u činjenici da količine nisu pravilno raspoređene po svim naseljima, tako da negdje postoje dovoljne količine vode, čak i iznad potrebnog, dok na drugim mjestima postoji nedostatak vode za ljudsku potrošnju. Isto tako, potrošači ove vode uglavnom su seoska domaćinstva koja vodu trebaju i za napajanje domaćih životinja, zalijevanje vrtova i poljoprivredne radove što uvelike povećava ukupnu potrošnju vode.

Tablica 2. Izvod iz Popisa stanovništva (Bursić et al. 2011)

	Broj stanovnika	Broj kućanstava
Blaguša	593	182
Gajec	321	95
Glavnica Donja	552	177
Glavnica Gornja	225	71
Goranec	446	139
Jesenovec	462	119
Kašina	1535	484
Planina Donja	553	173
Planina Gornja	249	80
Prepuštovec	321	115
Šimunčevac	275	96
Vurnovec	201	78
Vugrovec Gornji	356	114
Σ	6089	1923

3.2. UPRAVLJANJE VODOZAHVATIMA

Sukladno odredbama Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine 56/13), Grad Zagreb osigurava financijska sredstva za provođenje monitoringa kakvoće vode za ljudsku potrošnju. Gradski ured za zdravstvo, Odjel za zdravstvenu ekologiju u suradnji s Nastavnim zavodom za javno zdravstvo Dr. Andrija Štampar, već duži niz godina obavlja monitoring vode za ljudsku potrošnju, kojim je obuhvaćen centralni vodoopskrbni sustav i lokalni vodovodi na području gradske četvrti Brezovica i Sesvete. Monitoring se provodi prema godišnjem Programu monitoringa izrađenom u skladu s važećom zakonskom regulativom: Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine 56/13) i Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine 125/13).

U rubnim područjima grada, na području gradskih četvrti Brezovica i Sesvete, dio stanovništva opskrbljuje se vodom za ljudsku potrošnju putem malih lokalnih vodovoda, kojima upravljaju, na volonterskoj osnovi, Odbori za upravljanje vodovodom osnovani pri gradskim četvrtima. Tijekom 2014. godine Programom monitoringa vode za ljudsku potrošnju na području gradske četvrti Sesvete obuhvaćeno je 9 lokalnih vodovoda: Planina Gornja, Šimunčevac, Paruževina, Prekrvršje, Šebeki,

Glavnica Donja, Glavnica Gornja, Planina Donja, Kašina i Blaguša.

Uzorkovanje se obavlja jednom mjesečno na slavina u privatnim i javnim objektima te jednom godišnje na izvorištima lokalnih vodovoda. O svakom rezultatu obavljenih ispitivanja, Odjel za zdravstvenu ekologiju pisanim putem obavještava stranku kod koje je uzet uzorak vode (fizička ili pravna osoba) i predsjednika Vijeća mjesnog odbora pojedinog lokalnog vodovoda, kad je utvrđena nesukladnost uzetog uzorka s vrijednostima iz Pravilnika. Mjesečni izvještaji s analitičkim rezultatima i mišljenjem dostavljaju se od Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Dr. A. Štampar, Odjelu za zdravstvenu ekologiju Gradskog ureda za zdravstvo, uz obavijest Sanitarnoj inspekciji Ministarstva zdravlja i Vodoopskrbi i odvodnji d.o.o. O svakom nesukladnom uzorku Nastavni zavod za javno zdravstvo Dr. A. Štampar, obavještava i epidemiološku službu Zavoda i Stručno povjerenstvo za vodu za ljudsku potrošnju Ministarstva zdravlja. S obzirom na dosadašnje rezultate, od strane Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Dr. Andrija Štampar, preporučeno je uvođenje sustavne, stručne i dokumentirane dezinfekcije vode, te izmjene i sanacija razvodne mreže do ostvarenja najboljeg dugoročnog rješenja - priključka na "Javni centralni vodoopskrbni sustav Grada Zagreba". Prema postojećem stanju, dezinfekcija se provodi samo klorom. U neke lokalne vodovode ugrađeni su automatski klorinatori (Slika 12), i to na sljedećim vodovodima: Kašina, Planina Gornja, Planina Donja i Blaguša. Ostali vodovodi dezinficiraju svoju vodu ili jednom mjesečno ili par puta godišnje, što uvelike omogućava rast nepoželjnih bakterija u vodi za ljudsku potrošnju.

Lokalnim vodovodima ne upravlja pravna osoba koja obavlja djelatnost javne vodoopskrbe, već upravljaju Vijeća gradskih četvrti putem Odbora lokalnih vodovoda ili Mjesnih odbora. Grad Zagreb po potrebi (za vrijeme sušnih perioda ili neočekivanih incidentnih situacija), osigurava opskrbu građana u naseljima koja još imaju lokalne vodovode, vodom za piće putem autocisterni iz sustava javne vodoopskrbe. Odbori lokalnih vodovoda i Mjesni odbori na području Gradske četvrti Sesvete, u većini slučajeva ne vode adekvatnu brigu o svojim lokalnim vodovodima. Suština problema leži u tome da ti odbori nisu pravne osobe. Svaki lokalni vodovod potrebno je redovito održavati i renovirati, a za to su potrebna novčana sredstva. Naplata vode po domaćinstvima je na dobrovoljnoj osnovi, te se često puta i ne provodi. To je vidljivo i na dotrajalosti lokalne vodovodne mreže što predstavlja još veći problem budući da dotrajalost vodovodne mreže može ozbiljno pogoršati kakvoću vode zbog nepostojanja odvodnje otpadnih voda iz domaćinstava i gospodarskih objekata. Otpadna voda može kroz oštećene vodovodne cijevi onečistiti i vodu za piće. Iznimka je Planina Gornja gdje se Mjesni odbor dobro organizirao, te se vodozahvati i vodovodna mreža adekvatno održavaju.



Slika 12. Automatski klorinator postavljen u vodospremi (Planina Donja), i postavljen direktno na vodovodnoj cijevi koja ide od izvora (Planina Gornja)

4. HIDROKEMIJSKA ISTRAŽIVANJA

Monitoring na istraživanom području se obavljao i obavlja na slavina u privatnim i javnim objektima i to jednom mjesečno, te izvorištima lokalnih vodovoda, jednom godišnje. O svakom rezultatu obavljenih ispitivanja, Odjel za zdravstvenu ekologiju pisanim putem obavještava stranku kod koje je uzet uzorak vode (fizička ili pravna osoba) i predsjednika Vijeća mjesnog odbora pojedinog lokalnog vodovoda, kad je utvrđena nesukladnost uzetog uzorka (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2008).

Za potrebe ovog rada izdvojeni su podaci mjerenja koja su rađena u 2008. godini samo za lokalne vodovode na istraživanom području, i to na sljedećim mjestima: Kašina, Blaguša, Planina Gornja, Planina Donja, Glavnica. Ispitivanje uzoraka proveo je HZJZ (Hrvatski zavod za javno zdravstvo) u suradnji sa Gradskim uredom za zdravstvenu ekologiju. Od analiziranih 9 uzoraka, 2 uzorka (22 %) je u potpunosti zadovoljilo odredbe Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine 125/13). Po pokazatelju ukupne tvrdoće pet voda su bile umjereno tvrde, a četiri vode su bile tvrde. Nije bilo jako tvrdih voda. Po pokazatelju ukupno otopljene krute tvari (engl. kratica total dissolved solids – TDS), pet voda bilo je odlične, a četiri dobre ukusnosti.

Nije bilo voda dovoljne i loše ukusnosti. Od 9 uzetih uzoraka 7 nije zadovoljavalo jedan ili više pokazatelja (78 %), a 7 uzoraka nije odgovaralo odredbama navedenog Pravilnika zbog neispunjavanja mikrobioloških standarda. Mikrobiološko onečišćenje je očekivano. Uglavnom se radi o prisutnosti ukupnih koliformnih bakterija (44 %). Fekalne koliformne bakterije pojavljuju se u samo jednom uzorku (11 %). Iz rezultata provedene ankete vidljivo je da niti na jednom crpilištu ne postoji prerada vode. U samo 3 (33 %) voda se dezinficirala stalno s nekim klornim preparatom, a u ostalim povremeno (67 %), najčešće svaki drugi dan. Na sreću, prema podacima kojima raspolaže Hrvatski zavod za javno zdravstvo na ovom području nije zabilježena niti jedna hidrična epidemija u proteklih 15 godina. Po fizikalnim i kemijskim pokazateljima sve su vode ispunile odredbe navedenog Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine, 125/13).

4.2. TEHNIKE I METODE PROVEDENIH HIDROGEOKEMIJSKIH ISTRAŽIVANJA

Tijekom travnja i svibnja 2016. godine sakupljeno je 14 uzoraka vode, koji su svi na području sjeveroistočnog dijela Prigorja. Uzorci vode su uzimani na izvorima, kaptažama i zdencima za potrebe vodoopskrbe lokalnih vodovoda, te potocima smještenim neposredno pokraj izvorišta. Na terenu su se mjerili sljedeći parametri u vodi: tem-

peratura (°C), pH, elektrovodljivost (EC) i ukupno otopljena kruta tvar (eng. kratica TDS – total dissolved solids). Ti su se parametri određivali digitalnim konduktometrom i pH metrom tvrtke WTW, na način da se elektroda za svaku skupinu parametara stavi u određeni uzorak, te se na uređaju očita vrijednost temperature vode, pH, električne vodljivosti i ukupno otopljene krute tvari.

Uzorci vode su uzimani u bocama od jedne litre i u dvije bočice od 100 ml za određivanje elementarnog sastava. Jedna skupina uzoraka za određivanje elementarnog sastava je profiltrirana kroz 0,45 µm filtar i zakiseljena s ultrapure HNO₃ tvrtke MERCK. Sve laboratorijske metode istraživanja su provedene u Laboratoriju za geochemiju okoliša Geotehničkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, u Varaždinu prema normiranoj metodologiji (APHA, 2005). Tijekom pripreme uzoraka za analizu, uzorci vode su temperirani na sobnoj temperaturi.

Rezultati mjerenja dobiveni tijekom terenskog dijela istraživanja i određivanje fizikalnih i kemijskih parametara prikupljenih uzoraka i izvorskih voda, voda iz zdenaca i kaptaža prikazani su u **tablicama 3 i 4**. U **tablicama 5 i 6** prikazani su rezultati određivanja koncentracije pojedinih elemenata u nefiltriranim i u **tablici 7 i 8** filtriranim uzorcima. Oznaka < DL označava koncentracije koje su manje od granica određivanja pokazatelja pojedinom tehnikom i metodom (eng. detection limit). Oznake uzoraka (prikazane u prvoj koloni **tablica 3 – 8**) označavaju najprije lokaciju uzorkovanja, zatim pojedini objekt na lokaciji te datum uzimanja uzorka.

Tablica 3. Rezultati mjerenja fizikalnih i kemijskih parametara

UZORAK	T _t	T _l	pH	EC _t	EC _l	TDS _t	TDS _l	KPK	TOC
Mjesto / datum	(°C)	(°C)		(µS/cm)	(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg O ₂ /L)	(mg/L)
1/1/070516	10,80	18,20	7,41	374	343	721	686	4,67	1,545
1/2/200416	11,00	17,00	7,47		328		656	2,91	0,423
1/3/070516	14,60	16,80	7,69	159	150,7	305	301	2,37	<DL
1/4/050516	13,40	16,80	7,34	415	387	799	774	2,42	0,168
2/1/070516	13,90	16,50	7,56	228	212	436	424	1,81	<DL
2/2/070516	13,80	16,90	7,67	209	195,6	402	391	3,75	1,533
3/200416	11,30	17,10	7,73	188	175,1	360	350	1,14	0,420
4/1/200416	9,00	17,90	7,77		154,1		308	2,08	0,150
4/2/080516	10,90	17,30	7,80	134	126,9	258	254	3,28	0,828
5/050516	13,00	17,20	7,63	220	206	421	412	2,21	<DL
6/050516	11,30	17,90	7,28	507	472	975	944	2,26	1,220
7/070516	12,40	17,60	7,27	425	396	817	792	2,26	0,299
8/100516	12,70	16,90	7,29	435	407	836	813	3,28	2,465
9/090516	12,40	17,70	7,45	351	330	675	659	2,64	0,568
MDK	<25	<25	6,5-9,5	<2500	<2500			5	

Tablica 4. Rezultati mjerenja hidrokemijskih parametara

UZORAK	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NT	NH ₃	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
Mjesto / datum	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1/1/070516	54	37,3	1,326	0,03	1,60	0,003	0,46	322
1/2/200416	38	25,8	1,408	0,03	2,00	0,003	0,12	342
1/3/070516	12	1,7	0,924	0,04	0,90	0,004	0,10	168
1/4/050516	34	23,8	2,164	0,01	3,40	0,007	0,14	385
2/1/070516	12	2,7	0,714	0,02	0,40	0,004	0,12	268
2/2/070516	7	2,4	0,706	0,03	0,30	0,004	0,28	240
3/200416	8	2,0	0,787	0,03	0,60	0,003	0,13	230
4/1/200416	10	1,5	0,682	0,02	0,40	0,003	0,12	211
4/2/080516	10	1,2	0,707	0,01	0,40	0,004	0,20	144
5/050516	6	1,9	0,933	0,01	1,00	0,004	0,12	326
6/050516	64	47,4	2,217	0,09	3,50	0,004	0,18	408
7/070516	71	2,6	0,634	<DL	0,30	0,000	0,24	418
8/100516	54	15,8	1,605	0,01	2,40	0,004	0,28	417
9/090516	19	2,7	0,813	0,01	0,70	0,002	0,31	498
MDK	250	250		0,5	50	0,5		

Tablica 5. Rezultati određivanja koncentracije pojedinih elemenata – nefiltrirani uzorci

UZORAK	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr
Mjesto / datum	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1/1/070516	106,75	16,55	19,33	3,602	0,557	<DL	0,037	<DL	0,011
1/2/200416	102,46	18,30	16,68	2,224	0,131	0,007	0,016	<DL	0,009
1/3/070516	53,34	5,54	3,09	0,550	7,667	0,046	0,010	<DL	0,009
1/4/050516	128,55	14,90	12,38	3,496	0,683	0,015	0,018	<DL	0,008
2/1/070516	72,92	11,46	7,24	0,801	1,808	0,023	0,010	<DL	0,009
2/2/070516	78,04	6,94	4,28	0,856	<DL	0,003	0,013	<DL	0,007
3/200416	70,78	5,64	2,64	0,462	<DL	<DL	<DL	<DL	0,008
4/1/200416	49,08	13,45	6,82	0,512	<DL	<DL	<DL	<DL	0,011
4/2/080516	44,48	4,88	3,04	0,631	<DL	<DL	<DL	<DL	0,010
5/050516	81,50	8,16	20,40	0,545	0,261	0,133	<DL	<DL	0,014
6/050516	143,05	21,45	20,09	4,655	1,058	0,006	<DL	<DL	0,010
7/070516	141,90	13,45	4,71	1,234	2,334	0,406	0,069	<DL	0,010
8/100516	142,50	19,50	10,06	5,370	0,705	<DL	<DL	<DL	0,011
9/090516	135,75	11,62	15,75	1,069	17,9	0,103	<DL	<DL	0,013
MDK		250	<200	<12	2	3000	<200	<50	50

Tablica 6. Rezultati određivanja koncentracije pojedinih elemenata – nefiltrirani uzorci

UZORAK	Pb	Cd	As	Hg
Mjesto / datum	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
1/1/070516	<DL	<DL	1,474	0,875
1/2/200416	<DL	<DL	0,715	0,947
1/3/070516	<DL	0,02	2,121	0,147
1/4/050516	<DL	<DL	0,205	0,796
2/1/070516	<DL	<DL	8,084	0,068
2/2/070516	<DL	<DL	2,392	0,147
3/200416	<DL	<DL	1,756	<DL
4/1/200416	<DL	<DL	4,713	<DL
4/2/080516	<DL	0,03	4,486	0,087
5/050516	<DL	<DL	0,847	0,232
6/050516	<DL	<DL	0,814	<DL

7/070516	<DL	0,18	0,168	<DL
8/100516	<DL	<DL	1,077	<DL
9/090516	<DL	<DL	0,771	0,042
MDK	10	5	10	1

Tablica 7. Rezultati određivanja koncentracije pojedinih elemenata - filtrirani uzorci

UZORAK	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr
Mjesto /datum	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1/1/070516	105,55	15,40	21,01	3,90	0,495	0,073	0,047	<DL	0,014
1/2/200416	98,70	18,65	15,27	2,31	<DL	0,071	0,039	<DL	0,016
1/3/070516	49,74	5,64	2,49	0,51	7,672	0,089	0,057	<DL	0,015
1/4/050516	119,40	14,25	12,66	3,66	0,904	0,091	0,051	<DL	0,013
2/1/070516	67,82	11,82	8,28	0,80	1,808	0,084	0,041	<DL	0,013
2/2/070516	67,38	6,62	5,39	0,81	<DL	0,058	0,028	<DL	0,011
3/200416	67,38	6,10	2,90	0,41	<DL	0,067	0,046	<DL	0,01
4/1/200416	50,25	13,05	3,08	0,47	<DL	0,056	0,021	<DL	0,011
4/2/080516	41,56	4,80	3,14	0,59	<DL	0,057	0,015	<DL	0,010
5/050516	77,10	8,34	22,83	0,52	0,167	0,181	0,014	<DL	0,011
6/050516	135,45	20,85	20,26	4,48	0,959	0,066	0,018	<DL	0,008
7/070516	142,10	13,70	4,40	1,17	2,014	0,452	0,022	<DL	0,008
8/100516	129,95	17,90	10,40	5,20	0,705	0,071	0,024	<DL	0,009
9/090516	137,20	11,90	18,45	0,98	0,188	0,159	0,010	<DL	0,009
MDK		250	<200	<12	2	3000	<200	<50	50

Tablica 8. Rezultati određivanja koncentracije pojedinih elemenata - filtrirani uzorci

UZORAK	Pb	Cd	As	Hg
Mjesto /datum	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
1/1/070516	<DL	<DL	1,608	<DL
1/2/200416	<DL	<DL	0,688	<DL
1/3/070516	<DL	0,02	2,498	<DL
1/4/050516	<DL	<DL	0,907	<DL
2/1/070516	<DL	<DL	7,772	<DL
2/2/070516	<DL	<DL	2,758	0,155
3/200416	<DL	<DL	2,178	0,476
4/1/200416	<DL	0,02	4,527	0,700
4/2/080516	<DL	<DL	4,107	0,200
5/050516	<DL	<DL	0,224	0,222
6/050516	<DL	<DL	0,878	0,949
7/070516	<DL	0,18	0,401	0,344
8/100516	<DL	<DL	0,682	0,222
9/090516	<DL	<DL	0,664	0,800
MDK	10	5	10	1

4.3. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Rezultati mjerenja fizikalnih i kemijskih pokazatelja kakvoće voda iz kaptaža i zdenaca sa istraživanog područja korištenu su kao ulazni nizovi za statističku obradu podataka. Na taj način izračunavanje statističkih parametara srednje vrijednosti, medijana i standardne devijacije nastojalo se na što egzaktniji i objektivniji način usporediti rezultate mjerenja tijekom 2008. i 2016. godine. Srednja vrijednost i medijan (uz mod) rabe se u procjeni središnjih

tendencija statističke razdiobe, ali je medijan manje osjetljiv na fluktuacije i ekstremne koncentracije u promatranom skupu podataka (Peh 2009). U tablicama 9 i 10 prikazani su osnovni statistički parametri izračunati za uzorke izvorskih voda. U usporednu analizu nisu prikazane vrijednosti za Mn, Pb, Cd budući da je glavovina izmjerenih vrijednosti ispod detekcijskog limita metode.

Tablica 9. Osnovni statistički parametri pokazatelja kakvoće vode (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2008)

	Broj uzoraka N	Srednja	Medijan	Minimum	Maksimum	SD
T _t (°C)	9	11,46	11,10	8,40	16,20	2,44
pH	9	7,18	7,15	6,54	7,78	0,38
EC _t (µS/cm)	9	526,00	435,00	277,00	816,00	215,78
TDS _t (mg/L)	9	334,27	258,00	194,00	522,40	138,16
KPK (mgO ₂ /L)	9	0,59	0,52	0,45	1,05	0,20
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	9	30,31	18,80	13,60	66,10	21,04
Cl ⁻ (mg/L)	9	8,18	2,80	1,50	46,20	14,52
NH ₃ (mg/L)	9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
NO ₃ ⁻ (mg/L)	9	1,17	0,99	0,38	3,77	1,05
NO ₂ ⁻ (mg/L)	9	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	9	317,11	263,30	185,50	470,60	116,71
Ca (mg/L)	9	96,28		44,90	148,00	41,77
Mg (mg/L)	9	11,71	11,90	4,50	19,10	4,69
Na (mg/L)	9	5,54	3,40	1,30	19,60	5,71
K (mg/L)	9	1,17	0,64	0,20	4,95	1,47
Fe (mg/L)	9	9,37	5,00	5,00	24,60	7,87
Mn (µg/L)	9	1,39	0,50	0,50	5,90	1,78
As (µg/L)	9	2,07	1,00	1,00	6,30	1,82
Aer. Mez. Bakt	9	88,78	27,00	1,00	395,00	138,27
Aer. Mez. Bakt	9	147,00	92,00	3,00	480,00	163,70
Ukupni koliformi	9	26,22	2,00	0,00	200,00	65,61
Fekalni koliformi	9	12,11	0,00	0,00	109,00	36,33

Tablica 10. Osnovni statistički parametri pokazatelja kakvoće vode (izmjereno u LGO, 2016)

	Broj uzoraka N	Srednja vrijednost	Medijan	Minimum	Maksimum	SD
T _t (°C)	14	12,18	12,4	9	14,6	1,53
pH	14	7,53	7,52	7,27	7,8	0,19
EC _t (µS/cm)	12	303,75	289,5	134	507	127,09
EC ₁ (µS/cm)	14	277,39	270	126,9	472	114,63
TDS _t (mg/L)	12	583,75	555,5	258	975	244,92
TDS ₁ (mg/L)	14	554,57	540	254	944	229,19
KPK (mgO ₂ /L)	14	2,65	2,4	1,14	4,67	0,88
TOC (mg/L)	14	0,66	0,36	0,01	2,465	0,761
NT (mg/L)	14	1,12	0,869	0,634	2,217	0,545
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	14	28,5	15,5	6	71	23,53
Cl ⁻ (mg/L)	14	12,06	2,65	1,2	47,4	15,51
NH ₃ (mg/L)	14	0,024	0,02	0,01	0,09	0,023
NO ₃ ⁻ (mg/L)	14	1,28	0,8	0,3	3,5	1,13
NO ₂ ⁻ (mg/L)	14	0,004	0,004	0,001	0,007	0,001
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	14	0,2	0,16	0,1	0,46	0,1
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	14	312,67	323,99	144	498	105,77
Ca _F (mg/L)	14	92,11	87,9	41,56	142,1	36,11
Mg _F (mg/L)	14	12,07	12,48	4,8	20,85	5,17
Na _F (mg/L)	14	10,75	9,34	2,49	22,83	7,58
K _F (mg/L)	14	1,84	0,89	0,41	5,2	1,72
Zn _F (mg/L)	14	0,112	0,072	0,056	0,452	0,105
Fe _F (mg/L)	14	0,031	0,026	0,01	0,057	0,016
Cr _F (mg/L)	14	0,011	0,011	0,008	0,016	0,003

Cu_F (mg/L)	14	1,657	0,342	0	7,672	2,016
As_F (µg/L)	14	2,14	1,26	0,224	7,772	2,118
Hg_F (µg/L)	14	0,291	0,211	0,001	0,949	0,3226
Ca (mg/L)	14	96,51	91,98	44,48	143,05	36,85
Mg (mg/L)	14	12,27	12,54	4,88	21,45	5,49
Na (mg/L)	14	10,47	8,65	2,64	20,4	6,83
K (mg/L)	14	1,86	0,96	0,46	5,37	1,71
Fe (mg/L)	14	0,012	0,006	0,001	0,069	0,019
Cr (mg/L)	14	0,01	0,01	0,007	0,014	0,002
Cu (mg/L)	14	2,364	0,62	0	7,667	4,9
As (µg/L)	14	2,115	1,276	0,168	8,084	2,222
Hg (µg/L)	14	0,242	0,078	0,01	0,947	0,349

5. RASPRAVA

Vodonosnici na istraživanom području su većinom dobro propusne vapnenačke i dolomitne stijene, ali i srednje propusne stijene međuzrnske poroznosti. Zbog litološkog sastava vodonosnika izvorske vode pripadaju kategoriji srednje tvrdih vrlo ukusnih voda. Izvori vrlo brzo reagiraju na hidrološke prilike, što znači da za vrijeme kišnih razdoblja godine dolazi do maksimalne količine istjecanja na izvorima, dok za vrijeme sušnih razdoblja koja su evidentirana uglavnom ljeti, neki izvori i potoci znaju i presušiti. Količina napajanja potoka i izvora na ovom području većim dijelom ovisi o količini oborina.

Poznata je činjenica da su vodne zalihe Zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika iako znatne, vrlo ranjive zbog različitih izvora opasnosti na njihovom priljevnom području, kao i od potencijalno akcidentnog utjecaja uzvodnih objekata od kojih se neki nalaze na prostoru druge države. U tom slučaju stanovništvo grada Zagreba osjetilo bi potrebu za velikim količinama vode za ljudsku potrošnju kao i za različite tehničke potrebe. Trenutno je kakvoća izvorskih i zahvaćenih podzemnih voda kaptažnim objektima i zdencima ugrožena uglavnom bakteriološkim onečišćenjem zbog stare i neodržavane lokalne vodovodne mreže i ne postojanja sustava odvodnje otpadnih voda iz domaćinstava i pratećih gospodarskih objekata.

Prema rezultatima dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja koje se odnose na količine i kakvoću vode na području jugoistočnih obronaka Medvednice koje pripadaju svesvetskom dijelu Prigorja može se zaključiti da su raspoložive količine vode dostatne za ukupan broj stanovnika koji žive na tom području. Najveći dio problema leži u činjenici da raspodjela raspoloživih količina izvorske vode prema broju stanovnika pojedinih naselja nije ujednačena, što znači da neka naselja ipak imaju problem s vodoopskrbom. U tom slučaju dolazi u obzir samo povezivanje lokalnih vodozahvata, odnosno povezivanje vodovoda u zajedničku mrežu sa zajedničkim vodospremama, što bi sve zajedno s vremenom moglo postati jedan dio vodoopskrbnog sustava Grada Zagreba za različite potrebe. Jedna od mogućnosti je korištenje tih dodatnih zaliha vode za ljudsku potrošnju za slučajeve akcidentnih situacija do korištenja zaliha kao tehničke vode za neku drugu namjenu (navodnjavanje, pranje prometnica i slično) (Kapelj 2010).

Rezultati najnovijih istraživanja mjerenja fizikalnih i kemijskih pokazatelja kakvoće voda iz kaptaža i zdenaca

na istraživanom području pokazuju da je voda zadovoljavajuće kvalitete. Na nekim lokacijama ustanovljena je koncentracija bakra koja je nešto malo viša od MDK vrijednosti što može biti posljedica dotrajalosti kaptažnih objekata. Sanacija i rekonstrukcija lokalnih vodovoda te uvođenje suvremenih načina obrade zahvaćenih voda bitno bi poboljšala njihovu kakvoću. Važno je napomenuti da nisu mjereni mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode, koji, zbog ranije navedenih razloga, mogu predstavljati značajan problem u vodoopskrbi ovog područja.

Usporedbom identičnih pokazatelja kakvoće voda sa izvorišta nisu uočene bitno promijenjene statističkih parametara od 2008. do 2016. godine. Takav rezultat statističke analize tumači se u svakom slučaju pozitivno, jer to znači da u periodu od 8 godine nije došlo do dodatnog pogoršanja kakvoće voda sa izvorišta.

6. ZAKLJUČAK

Izvori Medvednice su općenito skromnog kapaciteta, ali mnogobrojni. Poznatih izvora je oko 230, a većih potoka je približno 75. Brojnost izvora male izdašnosti predstavlja resurs koji se ne smije zanemariti već na njega treba računati kao vrijednost s mogućnosti različite uporabe. Interesantno je da zalihe podzemnih voda na ovom području, kao i na području cijelog prigorskog i zagorskog dijela Medvednice nikada nisu detaljno određivane, već postoje samo okvirne hidrološke procjene koje se najvećim dijelom odnose na procjene opasnosti od bujičnih vodotoka koji svoje slivove imaju na Medvednici. Bez obzira na spomenute nedostatke, raspoložive zalihe podzemnih voda na području istraživanog dijela Prigorja mogle bi se povećati izgradnjom dodatnih kaptažnih objekata i zdenaca nakon provedenih detaljnih hidrogeoloških istraživanja.

Kakvoća zahvaćenih podzemnih voda uglavnom je bakteriološki onečišćena zbog stare i neodržavane lokalne vodovodne mreže i ne postojanja sustava odvodnje otpadnih voda iz domaćinstava i gospodarskih objekata. Sanacija i rekonstrukcija lokalnih vodovoda te uvođenje suvremenih načina obrade zahvaćenih voda bitno bi poboljšala njihovu kakvoću.

Budući da će područje Seseva i pripadajućeg dijela Prigorja u vrlo skoroj budućnosti imati sve veće potrebe za vodom dijelom tehničke razine kakvoće, a dijelom i za ljudsku uporabu zbog sve većeg prirasta stanovništva, optimalizacija korištenja vodnih resursa na području grada

Zagreba i gradske četvrti Sesvete treba i spomenute resurse uzeti u obzir.

Iznimno je važno istaknuti da najveći prioritet treba dati zaštiti priljevnog područja pojedinih izvora od otpadnih voda naselja koja velikim dijelom upuštaju otpadne vode direktno u okoliš. To se može postići izgradnjom sustava odvodnje otpadnih voda koji treba povezati sa sustavom odvodnje grada Zagreba.

7. LITERATURA

American Public Health Association APHA (2005): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 Edition, USA.

Avanić, R., Pavelić, D., Miknić, M., Brkić, M. i A. Šimunić (1995): Geološki vodič Medvednice, 168 str., Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Basch, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ i pripadajući tumač, list Ivanić-Grad 1: 100000 L 33-81. Geološki zavod Zagreb (1980), Savezni geološki zavod, Beograd.

Buršić I., Lasan I., Stolnik G., i dr. (2011). Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011.

Farkaš-Topolnik N. (2015): Prirodne vrijednosti parka prirode Medvednica. Plan upravljanja Park prirode Medvednica.(74.) 22-33 str.

Kapelj, S. (2010): Geokemija voda u upravljanju vodama, inženjerstvu okoliša i geoinženjerstvu, Skripta, Geotehnički fakultet u Varaždinu, Sveučilište u Zagrebu.

Peh, Z. (2009): Statistička obradba u Halamić, J. i Miko, S. (ur): Geokemijski atlas Republike Hrvatske, Hrvatski geološki institut, 27-28, Zagreb

Schaller A., Anić I., Vlahović T. (2014): Hidrogeološke značajke. Studija o utjecaju na okoliš za zahvat- Brza cesta Popovec – Marija Bistrica – Zabok: čvor Kašina – čvor Zlatar Bistrica (321.) 66-92. str.

Šikić, K. (1995): Prikaz geološke građe Medvednice. Geološki vodič Medvednice, 7-30 str., Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine 125/13),

Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine 56/13),

Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba (2008): Rezultati monitoringa kakvoće vode na području Prigorja, HZJO, Zagreb.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET
ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU

DJELATNOSTI ZAVODA ZA HIDROTEHNIKU:

Nastava:

Preddiplomski i diplomski studijski program
«Inženjerstvo okoliša»

Međunarodni doktorski studij
«Geo-Engineering and Water Management»

Poslijediplomski specijalistički
studij «Ekoinženjerstvo»

Znanstvena istraživanja:

Iz područja upravljanja i zaštite podzemnih i površinskih voda

Stručni rad:

Zaštita krških vodonosnika
Vodoistražni radovi

Upravljanje površinskim i podzemnim vodama

Hidrogeološka, hidrološka i inženjerskogeološka istraživanja

Hidrogeokemijske analize i istraživanja

Agrokemijske analize tla

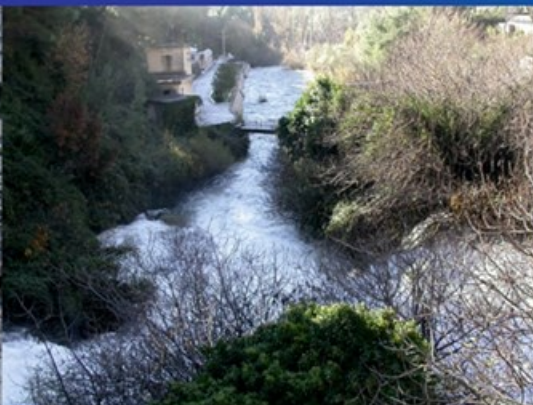
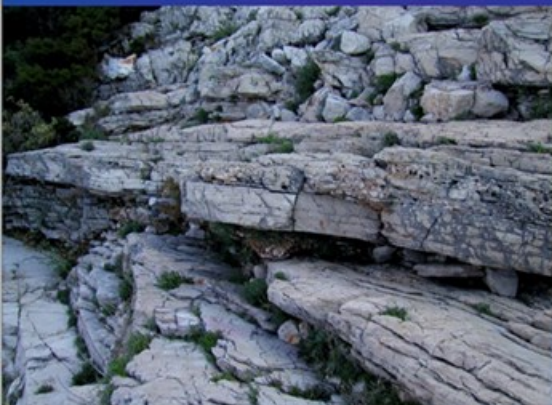
Geografski informacijski sustav

Izrada karata prirodne ranjivosti vodonosnika

U sklopu Zavoda djeluje **Laboratorij za geokemiju okoliša**

Varaždin, Hallerova aleja 7, Tel: +385 (0) 42 408 900, Fax: +385 (0) 42 313 587

Email: hmeaski@gfv.hr, www.gfv.unizg.hr



KARAKTERISTIKE KONCEPTA POBOLJŠANJA RADA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA ZASNOVANOG NA KORIŠTENJU SOLARNE FOTONAPONSKE ENERGIJE

Bojan Đurin¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: bojan.djurin@gfv.hr

Sažetak: U radu se opisuje primjena solarne fotonaponske energije za opskrbu vodom urbanih vodnih sustava. Predloženi koncept temelji se na čistim i obnovljivim izvorima energije kao što je solarne energija. Rad sustava temelji se na solarnoj energiji koja je besplatna i široko dostupna. U ovom radu solarni fotonaponski sustavi su primijenjeni za proizvodnju "zelene" električne energije. Zbog važnosti za održivost vodoopskrbe urbanog područja i zbog značajnih potrošača energije, čija cijena raste svaki dan, alternativno rješenje za energetske sustave traži se u obliku vodoopskrbnih sustava koji koriste solarne fotonaponske generatore. To je sustav čiji je rad definiran nizom čimbenika kao što su: klima, tlo, hidrološki podaci, potrebe za vodom itd. Taj sustav mora biti analiziran i optimiziran primjenom sustavnog pristupa. U ovom radu prezentirati će se osnovne karakteristike sustava koji se sastoji od solarnih fotonaponskih generatora, crpne stanice i vodospreme, te glavni hidraulički i energetski odnosi između tih elemenata. Metodologija za analizu i projektiranje sustava, kao i ekonomski čimbenici također će biti prikazani.

Ključne riječi: solarni fotonaponski generator; vodoopskrba; ekonomski čimbenici; optimizacija; sustavna održivost

Abstract: This paper describes the application of a solar photovoltaic energy for urban water supply. Proposed concept is based on the clean and renewable energy sources, as it is solar energy. Operation of the system is based on solar energy which is free and widely available. In this paper, solar photovoltaic systems have been applied for green electric energy production. Due to the importance of water supply for urban area sustainability, and due to a significant energy consumer whose price is increasing each day, alternative solution to power systems are sought in the form of water supply systems which uses solar photovoltaic generator. It is a system, whose operation is defined by a range of factors such as: climate, soil, hydrological data, water demand etc. It has to be analyzed and optimized with the application of a systematic approach. In this paper, basic characteristics of the system consist of solar photovoltaic generator, pump station and water supply service reservoir and main hydraulic and energy relationship between his elements will be presented. The methodology for the system analysis and design as well as economical factors will be also presented.

Keywords: solar photovoltaic generator; water supply; economical factors; optimization; sustainability

Received: 14.10.2016 / Accepted: 23.06.2017

Published online: 21.07.2017

Pregledni rad / Review paper

1. UVOD

Urbani vodni sustavi (UVS) su prirodni, modificirani i od strane ljudi izgrađeni elementi kruženja urbanih voda, koji se mogu naći u gradovima. Vodne komunalne usluge su funkcije koje pruža izgrađeni sustav infrastruktura vodoopskrbe, odvodnje otpadne vode i odvodnje oborinske vode (Slika 1), (Margeta 2011).

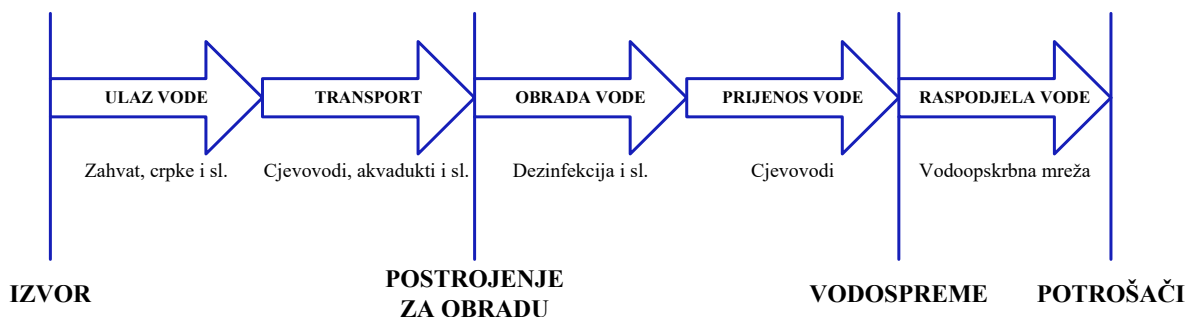
Postojeće stanje u mnogim područjima u svijetu zahtijeva pomak od postojećeg linearnog trenda u eksploataciji resursa na održivo upravljanje urbanim vodama, koje će biti dio stalnog kretanja u sklopu postizanja "održivih gradova". Upravljanje urbanim vodama treba pridonijeti cilju održivog urbanog razvoja, uključujući i resurse poput vode, energije i dr. (Margeta, 2011)

Potrošnja energije i vode u gradovima općenito je usklađena sa satnom i dnevnom insolacijom (Slika 2) (Margeta 2011; DHMZ 2007). To znači da korištenje solarne fotonaponske energije iz FN generatora za vodoopskrbu može dovesti do učinkovitog i prihvatljivog rješenja.

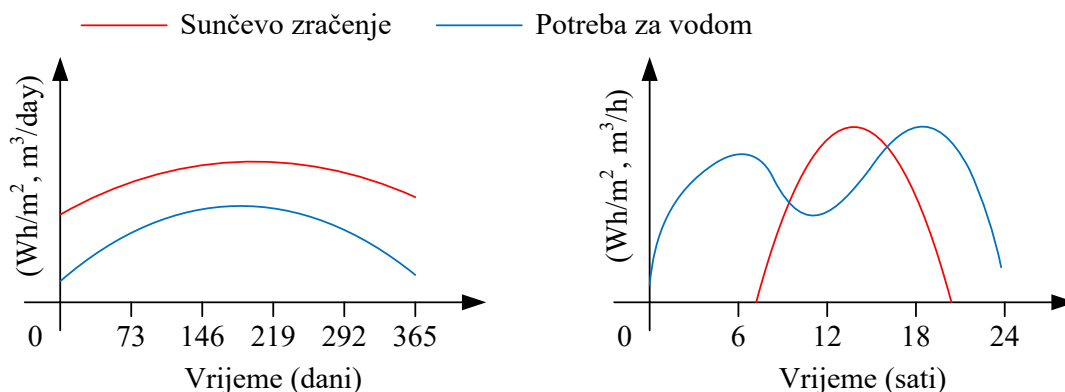
Različiti povremeni obnovljivi izvori energije (OIE) (vjetar, solarne toplinska (ST) energija, solarne fotonaponska (FN) energija) će imati različite produktivnosti i proizvodnje energije (Glasnović i Margeta

2011; Patel 1999). Ulazna solarne energija je redovita svaki dan, ali s različitim zračenjem i trajanjem insolacije. Ulaz solarne energije u većem dijelu dana podudara se s dinamikom življenja u gradovima, a time i s potrebama za vodom, što je posebice naglašeno u gradovima male i srednje veličine (Slika 2). Solarni fotonaponski proces samostalno i bez buke proizvodi energiju, budući da nema nikakvih pokretnih dijelova. To znači da korištenje Sunčeve energije omogućava široku uporabu solarnog fotonaponskog postrojenja za dovod električne energije u vodoopskrbni sustav.

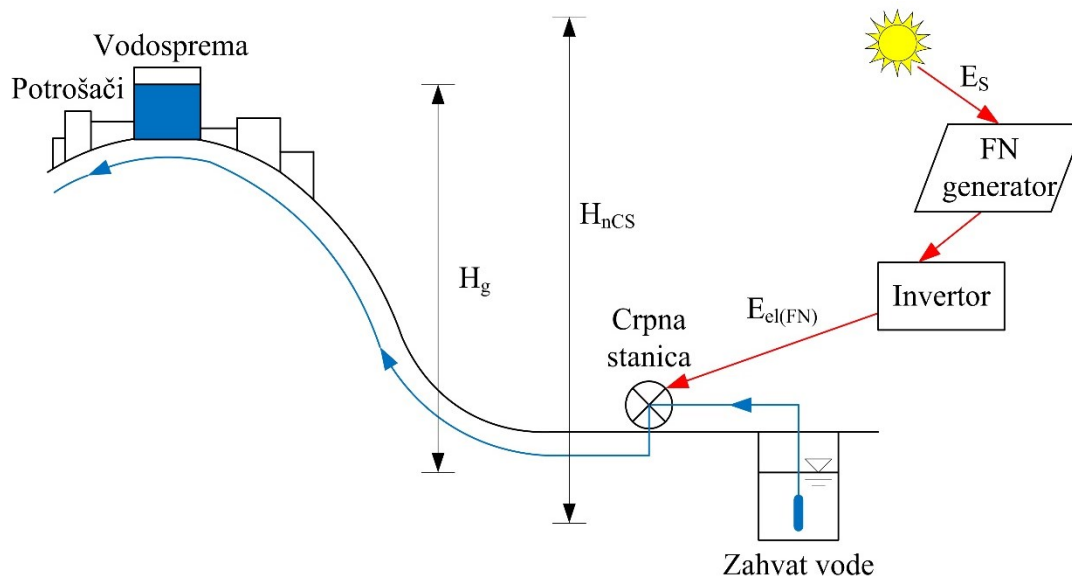
Korištenje solarne energije za crpljenje vode je već obrađivano u literaturi (Bakelli et al. 2011; Ghoneim 2006 i Margeta 2011). U stvari, korištenje solarnih FN generatora za crpne sustave već je neko vrijeme predmet istraživanja (Glasnović 2007; Kenna & Gillett 1985). Međutim, danas ne postoje značajne publikacije vezane uz hibridni sustav "FN generator-crpna stanica-vodosprema", koji je analiziran u ovom znanstvenom radu. Ovakav sustav može funkcionirati kao samostalni sustav kod kojeg je opskrba vodom osigurana potrebnim volumenom vodospreme. Ovaj rad je više orijentiran na prikaz sustavne održivosti analiziranog sustava.



Slika 1. Tipični elementi vodoopskrbnog sustava



Slika 2. Odnosi između raspoložive solarne energije i potreba za vodom



Slika 3. Koncept kontinuirane opskrbe energijom vodoopskrbnog sustava

2. METODOLOGIJA

2.1. KONCEPT HIBRIDNOG SUSTAVA "FN GENERATOR-CRPNA STANICA-VODOSPREMA"

Koncept hibridnog sustava "FN generator-crpna stanica-vodosprema" (Slika 3) koristi FN postrojenje koje zajedno s vodospremom i crpnom stanicom osigurava kontinuirani dotok vode stanovništvu. Tijekom dana

solarna energija se prvenstveno koristi za opskrbu energijom glavne crpne stanice koja vodu crpi u vodospremu, a sve u skladu s dostupnim dnevnim sunčevim zračenjem. Voda iz vodospreme koristi se u skladu s potrebama potrošača. Vodosprema treba biti projektirana tako da ima dovoljan kapacitet za ravnotežu između precrpljene vode i potrebe za vodom. FN postrojenje treba imati dovoljnu snagu za opskrbu crpne stanice električnom energijom u cijelom planskom razdoblju.

Prikazani energetski sustav "obnovljivi izvor energije-crpna stanica-vodosprema" ili FN-CS-V sastoji se od tri glavna dijela:

- FN generator i inverter (FN);
- Crpna stanica (CS);
- Vodosprema (V).

To je tehnološki sustav koji se može promatrati kao otvoreni sustav u kojem je masi vode dozvoljeno ući i izaći. Masa vode koja ulazi u sustav zamjenjuje jednaku količinu mase vode koja izlazi.

Sunčevo zračenje koristi se za proizvodnju električne energije $E_{el, FN(i)}$ (kWh) (Margeta & Glasnović 2011):

$$E_{el, FN(i)} = i \cdot P_{el(i)} = E_{S(i)} \cdot \eta_{FN} \cdot A_{FN} \quad (1)$$

gdje je i vremenski interval proračuna, $P_{el(i)}$ je izlazna snaga iz FN sustava (W) (koji ima površinu solarnih ćelija A_{FN} (m²)) kao prosječna vrijednost kada je ukupno Sunčevo zračenje $E_{S(i)}$ (kWh/m²) u periodu i okomito na površinu solarnih ćelija A_{FN} . η_{FN} je ukupna učinkovitost FN sustava. Ta energija se pretvara u rad crpke koja omogućava dovoljan tlak da se voda sa potrebnom protokom kreće kroz sustav.

Volumen vodospreme V određuje se na osnovi procjene ravnoteže ulaza vode kojeg generira solarna energija i planiranih izlaza vode generiranih od strane potrošača (Margeta 2011). Na taj način, volumen vodospreme znatno utječe na veličinu/snagu FN postrojenja P_{el} i obrnuto.

2.2. BILANCA VODE I ENERGIJE

Prema (Fontane & Margeta 1988) te prema Slici 1, jednačba za stanje sustava za vodospremu može se izraziti na slijedeći način:

$$V_{(i)} = V_{(i-1)} + V_{CS(i)} - V_{OV(i)} - V_{gub(i)} \quad (2)$$

gdje prirast i preuzima vrijednost $i = 1$ do n (n je ukupan broj vremenskih faza, npr. dana ili sati), $V_{(i-1)}$ i $V_{(i)}$ su volumeni vodospreme u $(i-1)$ i i -tom vremenskom razdoblju odnosno (m³); $V_{CS(i)}$ je voda crpljena korištenjem FN postrojenja u i -tom razdoblju (m³); $V_{OV(i)}$ je voda ispuštena iz vodospreme prema potrošačima i $V_{gub(i)}$ su gubici vodospreme u i -tom razdoblju (m³). Jednačba stanja sustava uključuje najvažnije varijable vodne bilance. Vodosprema za opskrbu vodom grada je zatvorena i vodonepropusna. Dakle, veličina $V_{gub(i)}$ jednaka je 0 za sve praktične svrhe. Veličina $V_{OV(i)}$ je potreba za vodom tijekom dana i općenito je poznata i propisana u procesu projektiranja sustava. Voda crpljena posredstvom FN postrojenja $V_{CS(i)}$ je rezultat raspoložive solarne energije i stoga je promjenjiva s obzirom na solarnu energiju.

FN postrojenje, nominalne snage $P_{el(i)}$, formira stacionarno polje FN kolektora međusobno spojenih serijski i paralelno, kako bi se dobio potrebni napon i jakost struje. Inverteri su potrebni kako bi FN postrojenje davalo izmjeničnu struju (Rashid 2001). Snaga FN generatora $P_{el(i)}$ koristi se za precrcpljivanje vode $V_{CS(i)}$ u

spremnik, uzimajući u obzir manometarsku visinu H_{nCS} . Učinkovitosti invertera i crpke je η_{CSI} , temperaturni koeficijent FN ćelije je α_c (°C⁻¹), T_{cel} je temperatura FN ćelije i jednaka je $2.7 \cdot E_S + T_a$, T_a je srednja dnevna temperatura zraka, dok je T_0 temperatura solarne ćelije u standardnim testnim uvjetima (25 °C) u skladu s dostupnom solarnom energijom, $E_{S(i)}$ (Kenna & Gillet 1985):

$$P_{el(i)} = \frac{2.72 H_{nCS}}{[1 - \alpha_c (T_{cel} - T_0)] \eta_{CSI} \eta_S} \frac{V_{CS(i)}}{E_{S(i)}} \quad (3)$$

Iz jednačbe (3) mogući volumen vode $V_{CS(i)}$ (m³) koja se crpi u vremenskom periodu i u vodospremu je:

$$V_{CS(i)} = P_{el(i)} \frac{[1 - \alpha_c (T_{cel} - T_0)] \eta_{CSI} \eta_S}{2.72 H_{nCS}} E_{S(i)} \quad (4)$$

Prosječni kapacitet crpne stanice $Q_{CS(i)}$ u razdoblju i je:

$$Q_{CS(i)} = \frac{V_{CS(i)}}{T_{S(i)}} = \frac{P_{el(i)}}{T_{S(i)}} \frac{[1 - \alpha_c (T_{cel} - T_0)] \eta_{CSI} \eta_S}{2.72 H_{nCS}} E_{S(i)} \quad (5)$$

gdje je $T_{S(i)}$ prosječni broj sati Sunčevog zračenja u jednom danu i .

Ukoliko se sva raspoloživa energija (iz dana u dan) koristi za crpljenje vode u rezervoar, tada je kapacitet crpne stanice Q_{CS} :

$$Q_{CS} \geq \max Q_{CS(i)}; i=1, \dots, t \quad (6)$$

gdje je t broj dana korištenih za planiranje/projektiranje sustava.

2.3. ALGORITAM RAZVOJA SISTEMA

Opći cilj definiranja sustava je pronalaženje dovoljne snage postrojenja FN postrojenja, koja će na najbolji mogući način zadovoljiti sve potrebe potrošača za vodu s minimalnim troškovima konstrukcije i rada sustava "obnovljivi izvor energije-crpna stanica-vodosprema" ili OIE-CS-V. Međutim, (ulazna) solarna energija je besplatna.

Postoje različiti mogući pristupi rješavanju problema u skladu s ciljevima analize, odnosno fazama rješenja. Rješavanje problema uglavnom se provodi u sljedećim koracima:

- Prikupljanje svih potrebnih podataka za procjenu potrošnje vode u planskom periodu;
- Prikupljanje klimatskih i svih ostalih potrebnih podataka za projektiranje solarnog fotonaponskog FN postrojenja;
- Odabir broja dana za bilancu vode u sustavu i period projektiranja odnosno za definiranje nekoliko varijanti za projektiranje sustava; $t_b = 1$ do 5 dana tj. varijante od 1 do 5;
- Odabir kritičnog perioda t^* iz raspoloživih vremenskih serija E_S u skladu s odabranim periodom bilanciranja;

- Potrebna snaga FN generatora P_{el} se određuje prema odabranom kritičnom dnevnom periodu bilanciranja t_b ;

- Za odabranu snagu FN generatora P_{el} i za vrijeme njegovog rada tijekom dana, određuje se potrebni volumen vodospreme V ;

- Potrebni volumen vodospreme V određuje se za svaki dan u godini (kritični period) shodno potrebnim količinama vode i raspoloživom dotoku vode. Mjerodavni je najveći volumen;

- Kapacitet Q_{CS} glavne crpne stanice je definiran na način da se odredi potrebni kapacitet crpne stanice za svaki dan u godini (kritični period) i pripadno trajanje insolacije. Rezultat je potrebni kapacitet crpne stanice za satno izravnjanje. Mjerodavni je najveći kapacitet;

- Višekriterijska analiza varijanti (različite konfiguracije) i rangiranje varijanti rješenja: snaga FN generatora P_{el} , volumen vodospreme V i kapacitet glavne crpne stanice Q_{CS} .

Ulazni podaci: Glavni ulazni podaci za analizu su: klimatski podaci, konfiguracija vodoopskrbnog sustava (ulazni podaci, crpna stanica, vodosprema) te potrošnja vode kao i odstupanja potrošnje. Osim tih podataka, potrebno je utvrditi ograničenja vezana uz izgradnju FN generatora, crpne stanica i vodospreme, kao i pravne, ekološke, socijalne i druge zahtjeve.

Na početku analize potrebno je definirati satnu i dnevnu količinu vode u naselju prema karakteristikama naselja, te režim potrošnje vode tijekom godine u planskom periodu. To su količine koje se moraju crpiti svaki dan u vodospremu korištenjem FN generatora.

Dimenzioniranje FN generatora: Potrebna snaga FN generatora mora osigurati dovoljno energije u skladu sa dnevnim režimom insolacije i drugim klimatskim značajkama, tako da se u razdoblju rada FN generatora, potrebna dnevna količina vode crpi u vodospremu tijekom cijele godine. Ovaj postupak je jednostavan, jer je odnos između P_{el} i V linearan.

Na osnovu odabrane/proračunate početne vrijednosti $P_{el(i)}$ i $V_{CS(i)}$, (**jednadžbe (3) i (4)**), minimalna potrebna snaga FN generatora P_{el}^* određena je iz utvrđene razlike:

$$\Delta V_t = V_{CS,t} - V_{dnevno,t} ; t = 1, \dots, 365, \quad (7)$$

gdje je $V_{dnevno,t} (Q_{dnevno,t})$ dnevna potreba za vodom.

Kritični dan t^* određen je iz dnevne minimalne razlike:

$$\min \Delta V_t \Rightarrow t^* \quad (8)$$

Dakle, to je dan kod kojeg je odnos između hidrauličke i Sunčeve energije (E_H/E_S) maksimalan.

Određivanje minimalnog potrebnog volumena vodospreme: Potrebni volumen vodospreme V_{ib} određuje se preko satne potrošnje vode u naselju i režima dotoka vode u vodospremu, odnosno rada crpne stanice (**Margeta 2011**):

$$V_{ib} = \max \left[\sum_{t=1}^j (Q_{CS,t} - Q_{OV,t}) \right], \quad 1 \leq t \leq j \leq t_b = x \cdot T, \quad (9)$$

$T = 24 \text{ h}$

gdje je x broj dana, a t_b je vremenski korak za dimenzioniranje vodospreme. Općenito, gradske vodospreme nisu izgrađene za razdoblje uravnoteženja duže od 5 dana, dakle:

$$1 \leq x \leq 5 \quad (10)$$

Definiranje rada crpne stanice: dostupna insolacija E_S , odnosno snaga FN generatora P_{el} određuje period rada crpne stanice. U ovom radu se pretpostavlja da će crpna stanica raditi sa konstantnim potrebnim kapacitetom Q_{CS} (m^3/h) tijekom insolacije T_S (h), u skladu s jednadžbom (5). Stoga, proračun se odnosi na prosječni intenzitet i trajanje Sunčeve svjetlosti u kritičnom razdoblju rada sustava.

Izbor kompromisnog rješenja: željeni rezultat optimizacije procesa je najbolje kompromisno rješenje između parova P_{el} i V koji najbolje zadovoljavaju postavljene ciljeve. Optimalna kombinacija x snage FN generatora $P_{el} (f_1)$, operativnog volumena vodospreme $V_{ib} (f_2)$ te potrebnog kapaciteta crpne stanice $Q_{CS} (f_3)$ traži se za odabranu skupinu parova - varijante X :

$$DR[f_1(x), f_2(x), f_3(x)], x \in X \quad (11)$$

DR znači primijeniti odgovarajuću odluku/pravilo i pronaći najbolje kompromisno rješenje x^* iz skupa varijanti X . Standardna "trade-off" metoda može se, između ostalog, koristiti za odabir kompromisnog rješenja, (**Chankong & Haimes 1983**). Operativni volumen $V_{ib} (f_2)$ je funkcija broja dana x , korištenog za period izravnjanja vodospreme. U tom slučaju gospodarski kriterij je dominantan. Međutim, problem se može analizirati proširenjem kriterija od kojih je pouzdanost opskrbe vodom najvažniji.

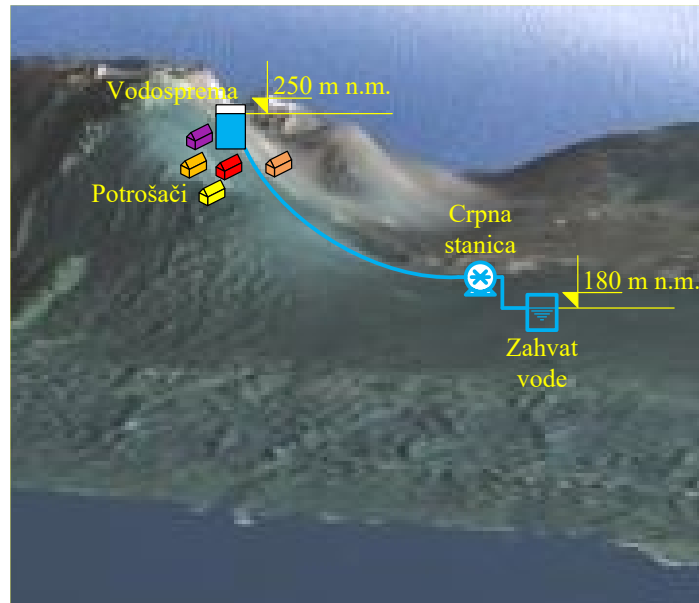
3. REZULTATI

3.1. ULAZNE VELIČINE

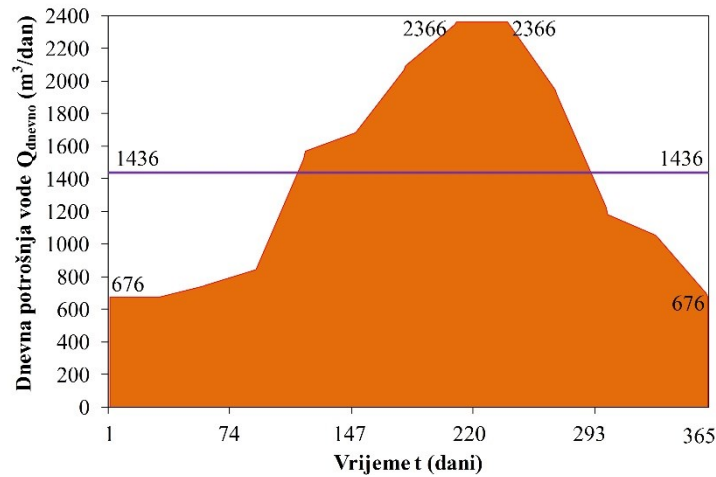
U ovom se slučaju analizira hipotetski primjer naselja (modificirano iz **Turbosquid 2012**) sa brojem stanovnika jednakim 8970. Naselje je smješteno na brdovitom području otoka u južnom dijelu mediteranske Hrvatske i ima jednu vodospremu smještenu na nadmorskoj visini od 250 m iznad mora. Voda dotiče u vodospremu iz crpnog bazena crpne stanice, smještenog na razini od 180 m iznad razine mora. Voda u crpni bazen dotiče gravitacijski iz izvora. Kvaliteta vode je zadovoljavajuća, tako da obrada vode nije potrebna. Položaj osnovnih objekata vodoopskrbnog sustava prikazan je na **Slici 4**.

Analiza je provedena prema metodologiji predstavljenoj u poglavlju 2. Specifična potrošnja vode q_{sp} je 160 l/dan/stan. Godišnja dnevna potrošnja vode Q_{dnevno} prikazana je na **Slici 5**.

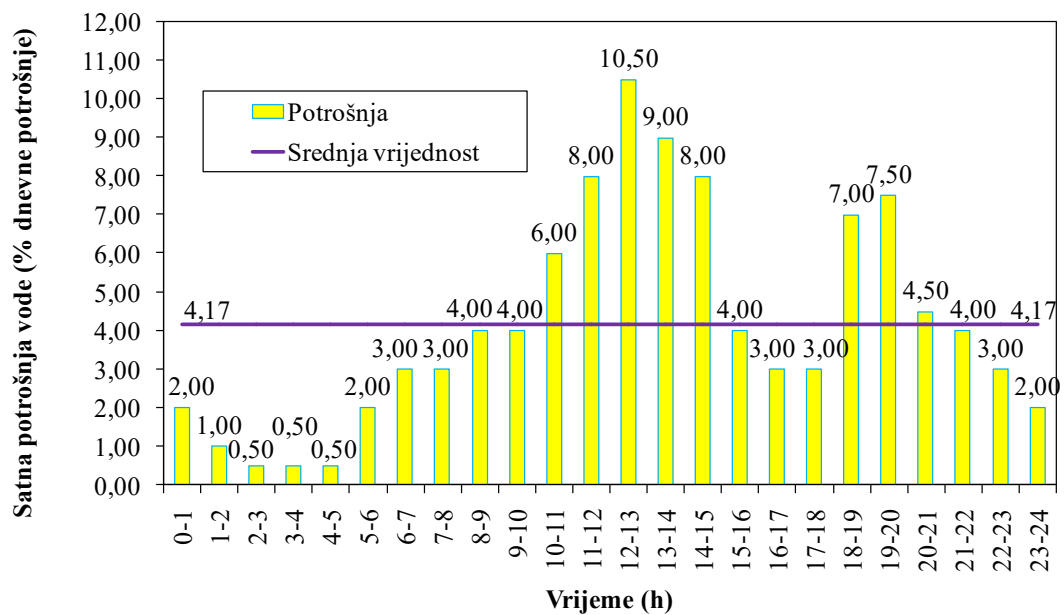
Satna potrošnja vode u naselju određena je sa dnevnim režimom potrošnje vode (**Slika 6**).



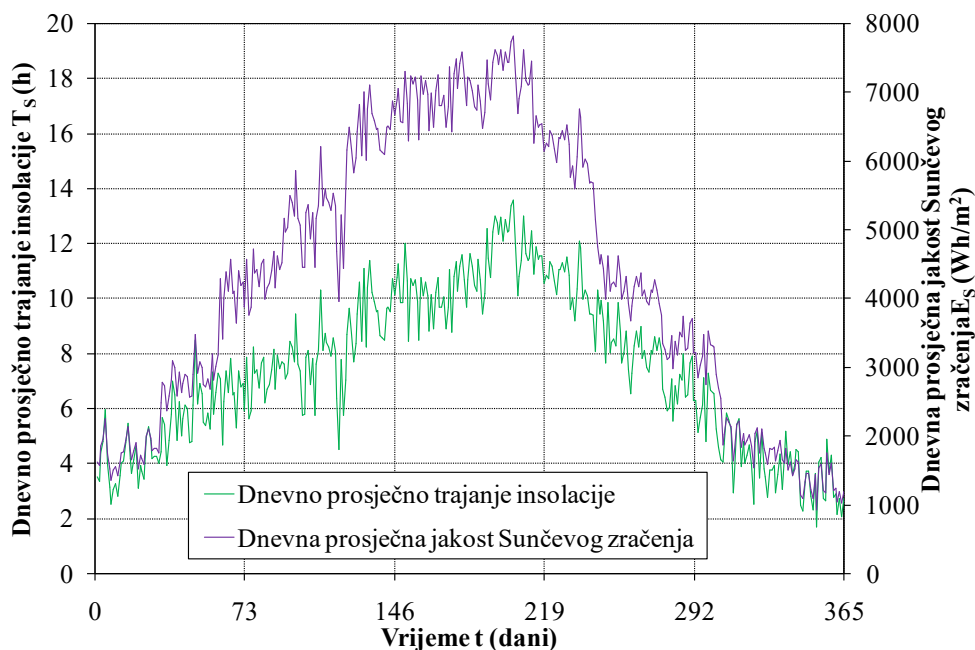
Slika 4. Položaji osnovnih objekata vodoopskrbnog sustava



Slika 5. Dnevna potrošnja vode u naselju u tipičnoj godini



Slika 6. Satna potrošnja vode u naselju u tipičnom danu



Slika 7. Prosječni dnevni period insolacije T_s (h) i prosječna solarna energija E_s (Wh/m^2)

Tablica 1. Kritični dani t^* u odnosu na duljinu perioda bilanciranja t_b

Periodi bilanciranja t_b (dani)	1	2	3	4	5
Kritični dani t^* za P_{el} (dani u godini)	344	344-345	343-345	349-352	346-350
Kritični dani t^* za V_{ib} (dani u godini)	244	244-245	244-246	241-244	241-245

Za promatranu lokaciju, manometarska visina je $H_{nCS} = 82.41$ m, dok je učinkovitost invertera i crpke $\eta_{CSI} = 0.75$, a_c je temperaturni koeficijent FN ćelije ($^{\circ}C^{-1}$) i iznosi 0.005, T_0 je temperatura FN generatora u standardnom testnom stanju ($25^{\circ}C$), a T_{cel} je temperatura FN generatora ($^{\circ}C$). E_s se uzima kao prosječna dnevna vrijednost za svaki tipičan dan u godini.

Izračun je napravljen sa sigurnošću odnosno 50 % vjerojatnosti iskorištavanja solarne energije $\eta_s = 0.5$ (jer je za izračun korištena prosječna godina, dok se kod detaljne analize ulaznih podataka vrijednost η_s može mijenjati u skladu s postavljenim ciljevima analize).

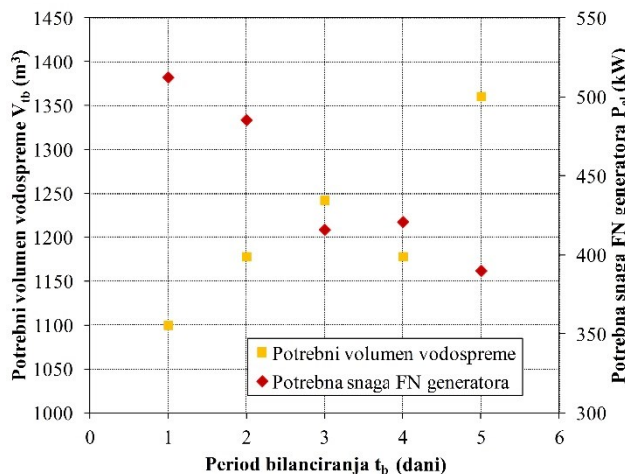
Prosječni dnevni period insolacije T_s (h) i prosječna solarna energija E_s (Wh/m^2) prikazana je na Slici 7, (DHMZ 2007).

3.2. REZULTATI

Predloženi sustav je analiziran u skladu s predstavljenom metodologijom. Na početku, periodi bilanciranja t_b za projektiranje sustava su odabrani od 1 do 5 dana. Na temelju poznatih veličina raspoložive solarne energije i potrebe za vodom, primjenjujući **jednadžbu (8)**, kritični periodi za određivanje snage FN generatora i potrebnog volumena vodospreme V_{ib} prikazani su u **Tablici 1**.

Potrebno je naglasiti da se kritični dani za dimensioniranje P_{el} poklapaju sa kritičnim danima za dimensioniranje crpne stanice P_{CS} , stoga se oni nisu naveli u **Tablici 1**. Snaga FN generatora P_{el} izračunata je pomoću **jednadžbe (3)**, dok je potrebni volumen vodospreme V_{ib}

izračunat pomoću **jednadžbe (9)**. Rezultati dobiveni za različite periode bilanciranja t_b prikazani su na **Slici 8**.



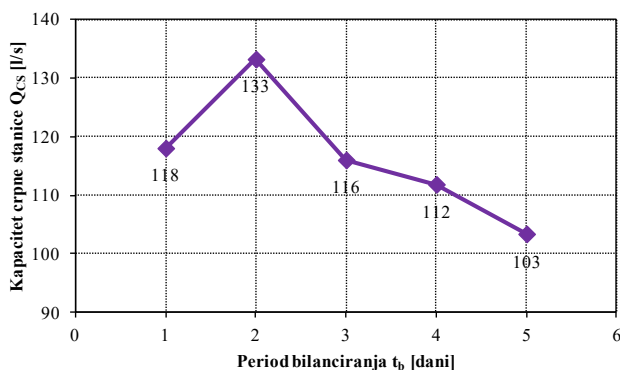
Slika 8. Potrebni volumen vodospreme V_{ib} i snaga FN generatora P_{el} u funkciji perioda bilanciranja t_b

Korištenjem **jednadžbe (5) i (6)**, proračunati kapacitet crpne stanice Q_{CS} prikazan je na **Slici 9**.

Povećanjem koraka bilanciranja t_b vidljivo je da dolazi do tendencije smanjenja potrebne snage FN generatora P_{el} . Navedeno se događa jer se povećanjem perioda bilanciranja t_b ujednačavaju razlike između ukupne potrošnje vode i ukupnog dotoka vode u vodospremu, tako da kad se te razlike svedu na jedan dan, one postaju sve manje i

manje. No, s povećanjem perioda bilanciranja t_b potrebni volumen vodospreme V_{tb} ima tendenciju povećanja, što je za očekivati budući da se sumiranjem potreba za vodom za više dana dobije i veća količina vode koja se mora precrpsti u vodospremu odnosno koja mora biti na raspolaganju stanovništvu.

Produženjem perioda bilanciranja t_b smanjuje se utjecaj varijabilnosti srednje jakosti zračenja E_S , odnosno povećava se ukupna raspoloživa E_S za crpljenje vode (srednja vrijednost). Kapacitet crpne stanice Q_{CS} nadovezuje se na gore navedeno.



Slika 9. Potrebni kapacitet crpne stanice Q_{CS} u funkciji perioda bilanciranja t_b

3.3. EKONOMSKE KARAKTERISTIKE DOBIVENIH VARIJANTI

Očito je da se osnovna ekonomska analize treba provesti dok se optimiziraju veličine FN generatora, crpne stanice i vodospreme. Ekonomski pristup, prema konceptu životnog ciklusa troškova (LCC) (Euro), razvijen je u smislu da bude najbolji pokazatelj ekonomske isplativosti analize troškova sustava (Bakelli et al. 2011). Sustav se sastoji od tri glavna dijela: (1) FN generator i inverter, (2) vodosprema i (3) glavna crpna stanica. LCC uzima u obzir sadašnju vrijednost kapitalnih troškova ulaganja ($C_{kapital}$), sadašnju vrijednost troškova zamjene ($C_{zamjena}$) i sadašnju vrijednost troškova pogona i održavanja ($C_{(R\&O)}$):

$$LCC = C_{kapital} + C_{replacement} + C_{(O\&M)} \quad (12)$$

Sadašnja vrijednost kapitalnih troškova (troškova ulaganja): Temeljni kapital/trošak svakog dijela sustava sastoji se od udjela cijene samog podsustava, troškova građevinskih radova, troškova montaže i troškova spajanja:

$$C_{kapital} = C_{FN} \cdot c_{FN} + C_V \cdot c_V + C_{CS} \cdot c_{CS} + C_{const} \quad (13)$$

Gdje su C_{FN} , c_{FN} ukupna snaga (W) i jedinična cijena (€/W) FN postrojenja, C_{SR} , c_{SR} su potrebni volumen (m^3) i jedinična cijena (€/m³) vodospreme; C_{CS} , c_{CS} su ukupni kapacitet (l/s) i jedinična cijena (€/l/s) crpne stanice; C_{const} je ukupni konstantni trošak uključujući ostale konstantne troškove (projektiranje, cijena zemljišta, porezi,...).

U ovom istraživanju c_{FN} uključuje ukupne troškove FN generatora i invertora; c_{CS} uključuje ukupne troškove crpne stanice i tlačnih cjevovoda; c_{SR} obuhvaća ukupni trošak vodospreme.

Sadašnja vrijednost troškova zamjene: Svi troškovi zamjene, nastali tijekom perioda funkcioniranja sustava, moraju se uračunati u skladu s posebnim periodom funkcioniranja svake komponente. Sadašnja vrijednost troška zamjene ($C_{zamjena}$) može se odrediti preko Soras & Makios (1988):

$$C_{zamjena} = C \cdot c \sum_{i=1}^{N_{zam}} \left[\frac{(1+f_0)}{(1+k_d)} \right]^{N_i / N_{zam} + 1} \quad (14)$$

gdje je f_0 stopa inflacije od zamjene sastavnih dijelova, k_d je kamatna stopa, C je kapacitet zamjene komponenti sustava, c je jedinični trošak komponenti, dok je N_{zam} broj zamjena komponenti u periodu funkcioniranja rada sustava.

Sadašnja vrijednost troškova pogona i održavanja: Sadašnja vrijednost troškova pogona i održavanja sustava izračunava se pomoću (Groumos & Papageorgiou 1987):

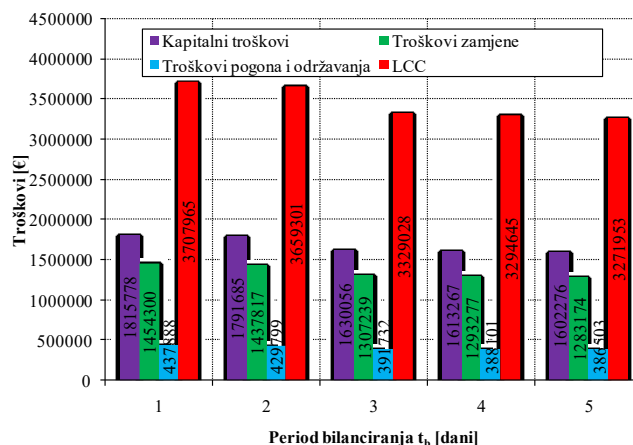
$$C_{(R\&O)} = C_{(R\&O)_0} \left(\frac{1+f_1}{k_d - f_1} \right) \cdot \left[1 - \frac{1+f_1}{1+k_d} \right]^{L_p} ; \text{ za } k_d \neq f_1$$

$$C_{(R\&O)} = C_{(R\&O)_0} \cdot L_p ; \text{ za } k_d = f_1 \quad (15)$$

gdje je f_1 stopa inflacije, k_d je kamatna stopa i L_p je razdoblje funkcioniranja sustava u godinama. $C_{(R\&O)_0}$ su troškovi rada i održavanja u prvoj godini; oni se mogu izračunati kao postotak k temeljnog kapitala $C_{kapital}$:

$$C_{(R\&O)_0} = C_{kapital} \cdot k \quad (16)$$

U ovoj analizi pretpostavlja se da se sve cijene povećavaju po istoj kamatnoj stopi. Na temelju **jednadžbi (12)-(16)** i na temelju podataka iz literature (Hidroing 2004; Hrvatske vode, 2008; Penstar 2012, PVX Change 2015; Solar electricity costs 2016; White International 2012), životni ciklus troškova (LCC) je napravljen i prikazan je u **Tablici 2** i na **Slici 10**.



Slika 10. Životni ciklus troškova (LCC) u Eurima za različite periode bilanciranja t_b

Tablica 2. Troškovi sa svim davanjima i vrijeme trajanja dijelova analiziranog sustava

Dio sustava	Jed. cijena, c (srednja vrijednost iz literature)	Troškovi održavanja u prvoj godini, k (%)	Vrijeme funkcioniranja, L _P (godine)	Kamatna stopa, k _d (%)	Stopa inflacije	
					f ₀ (%)	f ₁ (%)
FN generator i inverter (FN)	2-3 (€/W)	1	25	8	4	8
Vodosprema (V)	400-540 (€/m ³)	1	25	8	4	8
Crpna stanica (CS)	400-1200 (€/l/s)	1	8	8	8	8

4. DISKUSIJA I BUDUĆE SMJERNICE

Na temelju prethodno prikazanih rezultata jasno je da je najjeftinija varijanta ona s periodom bilanciranja $t_b = 5$ dana. U stvari, varijante sa $t_b = 2$ do $t_b = 5$ dana su slične, kao što se i očekuje. Također je vidljivo da su s povećanjem koraka perioda bilanciranja t_b prirasti prikazanih veličina relativno mali.

Analiza sadašnjih rezultata može se proširiti prema prikazanoj metodologiji. Kao zaključak – predloženi koncept do sada u literaturi nije obrađen. Mogući koncept rada FN generatora je objavljen i detaljno elaboriran, kao i rad crpnih sustava (Bakelli et al. 2011; Ghoneim 2006 i Hamidat & Benyoucef 2009). Ono što nije elaborirano je primjena FN generatora u gradskim vodoopskrbnim sustavima vezano za koncept "smart city" odnosno "sustainable city" kao i primjena sustavnog inženjerstva.

Može se analizirati sigurnost opskrbe i moguće povećanje snage FN generatora P_{el} ili volumena vodospreme V ili kapaciteta crpne stanice Q_{CS} ili moguće kombinacije navedenog. U svakom slučaju, povećanje perioda bilanciranja smanjuje rizik odnosno povećava pouzdanost rada ovakvog sustava. Ne smije se zaboraviti da je silazni trend u cijenama FN generatora u posljednjih 5 godina vrlo značajan (Campoccia et al. 2009; PVX Change 2015 i Solar electricity costs 2016), te će i dalje biti tako. To znači da će troškovi izgradnje vodosprema imati presudnu ulogu. Veći FN generatori osiguravaju značajan višak energije tijekom cijele godine, što omogućuje dodatni prihod (Slika 8).

Potrebno je postaviti pitanje dali je izgradnja FN postrojenja isplativa. Ako se problem promatra iz ekonomske točke gledišta, odgovor je ne, ali ako se uzima u obzir ekološko i društveno stajalište, odgovor i nije tako jednostavan. Zbog toga će se naredno istraživanje baviti detaljnije sa ekonomskom analizom sustava te utjecajem sustava na cijenu vode i prihvatljivost vezano za socijalne, ekonomske, ekološke kriterije te pouzdanost rada. Isto bi bilo ulaz za primjenu višekriterijalnih metoda u izboru optimalnog rješenja. Preduvjet za sve ove analize je izrada simulacionog modela rada sustava, što će isto biti sastavni dio narednih istraživanja. Analizu treba prilagoditi stvarnim karakteristikama problema. Detaljnije analize, analize senzitivnosti s obzirom na ulazne podatke, trend promjene cijene FN generator (i ćelija) i energije iz energetskog sustava, subvencije za "zelenu" energiju, itd. prikazale bi potpuniju sliku o problemu koji treba riješiti. Takva analiza nadilazi ovu fazu znanstvenog istraživanja, te će biti predmet budućih istraživanja.

Također je potrebno optimizirati rad vodosprema, glavnih crpnih stanica kao i ostalih elemenata koji sudjeluju u funkcioniranju i održivosti vodoopskrbnog sustava. Da bi se navedeno napravilo, planira se izraditi simulacijski model sustava koji bi se kasnije integrirao sa optimizacijskim modelom u cilju cjelovite analize predložene rješenja. U sklopu navedenog simulacijskog modela, svakako je potrebno uklopiti analizu rizika zbog stohastične naravi Sunčevog zračenja.

5. ZAKLJUČCI

Dokazano je da je usvojeni koncept održiv. Prikazano je moguće korištenje FN generatora u opskrbi energijom glavne crpne stanice urbanog vodnog sustava. Ovi rezultati jasno pokazuju da predloženi koncept može biti realiziran i da pruža veliku priliku usklađivanja rješenja (kombinacija P_{el} , V i Q_{CS}) na stvarnim potrebama problema kojega treba riješiti.

Postizanje održivosti i korištenje "zelene" energije ima svoju cijenu. Iako je osnovni izvor energije besplatan (Sunce), tako da tu otpada značajan dio troškova, troškovi izgradnje su znatno veći i uglavnom se odnose na troškove izgradnje FN generatora. Međutim, troškovi izgradnje FN generatora stalno se smanjuju i na odgovarajući način povećava se njihova učinkovitost, (Green et al. 2017). Štoviše, tržište PV ćelija je toliko napredovalo da je trenutno energija iz PV sustava jeftinija od energije nastale korištenjem ugljena u Njemačkoj, Australiji, SAD-u, Španjolskoj i Italiji (Bloomberg 2017). Dakle, smanjenjem troškova izgradnje FN generatora, isplativost primjene planiranog koncepta se povećava.

Održivost opskrbe vodom također ima svoju cijenu, počevši od važnosti vodoopskrbe za svako urbano naselje. Dakle, neće biti potrebno rješavati sve crpne kapacitete na taj način. Postupno uvođenje "zelene" energije povećava održivost vodoopskrbnih sustava, smanjuje rizik i postiže druge ciljeve u konceptu održivog življenja, kao što je smanjenje emisije CO₂, odnosno zaštita okoliša.

Kroz različita razdoblja korištenja i povoljnije uvjete za rad FN generatora, cijeli proces (ujedno i moguća rješenja) mogu se racionalizirati. Na primjer, ako je FN generator dimenzioniran za ljetne uvjete, kada je insolacija veća, troškovi izgradnje mogu se značajno smanjiti. Tijekom zimskog razdoblja nedostatak energije rješava se kombiniranjem dostupne solarne i konvencionalne energije. To omogućuje značajno niže troškove izgradnje, ali realizacija primarnog cilja "održivosti" je niža. Slično tome, energija iz FN generatora može se koristiti tijekom dana kada je energija iz konvencionalnog energetskog

sustava najskuplja, dok se energija iz tog istog energetskog sustava koristi tijekom noći kada je najjeftinija. Postoje različite kombinacije koje uvijek treba sveobuhvatno razmotriti.

Klima ima dominantni utjecaj na rješenje, stoga je jasno da su lokacije s većom količinom insolacije i sa stalnom insolacijom tijekom cijele godine povoljnije za primjenu predloženog rješenja. Povećanjem učinkovitosti FN generatora može se postići bolje skupljanje solarne energije i time omogućiti povoljne primjene predloženih rješenja u područjima s manje insolacije, kao i sa promjenjivom insolacijom. Jasno je da predloženo rješenje uvijek pruža održivu opskrbu energijom vodoopskrbnog sustava s različitim učinkovitostima, jer solarna energija varira od lokacije do lokacije, ali je uvijek dostupna na mjestima gdje ljudi žive.

Ključni zaključak je da postavljeni koncept osigurava održivost opskrbe energijom vodoopskrbnog sustava, koja se može realizirati sadašnjim raspoloživim tehnologijama. Ovaj koncept se uklapa u postojeće trendove vezane za razvoj održivih urbanih sredina koje ne mogu biti održive bez održivih vodoopskrbnih sustava. Time je jasno potvrđena važnost ove teme za buduće potrebe razvoja struke.

Problem koji se rješava je složen, zahtijeva sustavni i cjeloviti pristup i široko je primjenjiv na svim lokacijama na kojima egzistiraju naselja i vodoopskrbni sustavi.

6. LITERATURA

Bakelli, Y., Hadj, A. A., Azoui, B. (2011) Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept, *Solar Energy*; 85(11): 288-294.

Bloomberg - New Energy Outlook 2017 (2017) 23.06.2017., <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>.

Campoccia, A., Dusonchet, L., Telaretti, E., G. Zizzo, G. (2009) Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar PV and Wind systems: Four representative European cases, *Solar Energy*, 83(3): 287-297.

Chankong, V., Haimes, Y. (1983) *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*, prvo izdanje, Elsevier - North Holland, New York, 424 p.

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) (2007) *Klimatski podaci za Palagružu i Komižu od 1995. do 2006.*, Zagreb, Hrvatska.

Fontane D. G., Margeta J. (1988) *Uvod u sustavno inženjerstvo u projektiranju i upravljanju vodosprema*, prvo izdanje, Građevinski fakultet, Sveučilište u Splitu, Hrvatska.

Ghoneim, A. A., Design optimization of photovoltaic powered water pumping system (2006) *Energy Conversion and Management*, 47(11-12): 1449-1463.

Glasnović, Z., Margeta, J. (2007) A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems, *Solar Energy*, 81(12): 904-916.

Glasnović, Z., Margeta, J. (2011) Vision of total renewable electricity scenario, 15(12): 1873-1884.

Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. (2017) Solar cell efficiency tables (version 49), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25: 3-13.

Groumpos P. P., Papageorgiou G. (1987) An optimal sizing method for stand-alone photovoltaic power systems, *Solar Energy*; 38: 341-51.

Hamidat, A., Benyoucef, B. (2009) Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage, *Energy Policy*, 37(4): 1489-1501.

Hydroing d.o.o. Split (2004) Regionalni vodoopskrbni sustav: Neretva, Pelješac, Korčula, Lastovo, Mljet - Novelacija pred-investicijskog programa, 26p, Split, Hrvatska.

Hrvatske vode (2008) *Vodoopskrbni plan Splitsko-Dalmatinske županije*, 306p, Split, Hrvatska.

Kenna, J., Gillett, B. (1985) *Solar Water Pumping: A Handbook*, prvo izdanje, Intermediate Technology Publications, London, Velika Britanija, 132 p.

Margeta, J. (2011) *Vodoopskrba naselja: planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode*, prvo izdanje, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Sveučilište u Splitu, Split, Hrvatska, 737 p.

Margeta, J., Glasnović, Z. (2011) Exploitation of temporary water flow by hybrid PV-hydroelectric plant, 36(2): 2268-2277.

Patel, M. R. (1999) *Wind and Solar Power Systems*, prvo izdanje, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, SAD, 351 p.

Penstar Ltd. (2012) *Cjenik, Cardigan, Velika Britanija*.

PVX spot market price index solar PV modules (PVX change) (2017) 05.06.2017. www.pvxchange.com

Rashid, M. H. (2001) *Power Electronics Handbook*, prvo izdanje, Academic Press, San Diego, SAD, 1000 p.

Solar electricity costs (2016) 14.06.2016. http://solarcellcentral.com/cost_page.html

Soras C., Makios V. (1988) A novel method for determining the optimum size of stand-alone photovoltaic systems. *Solar Cells*; 25: 127-142.

Turbosquid - digital media supply company - 3D models (2012) 20.02.2012. <http://www.turbosquid.com>

White International - CNP industrial pumps (2012) *Cjenik 2011, Mippera, Australija*.



ZAVOD ZA GEOTEHNIKU

GEOFIZIČKO-GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADovi



GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADovi

- Geoelektrična istraživanja (sondiranje, profiliranje, tomografija)
- Seizmička refrakcija (P i S valovi)
- Višekanalna analiza površinskih valova (MASW)
- Seizmička karotaža
- Seizmički efekti miniranja
- Mikrotremor
- Georadar



GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADovi

- Istražno bušenje u svim vrstama tla i stijena
- Statički penetracijski test (CPT, CPTU, SCPT)
- Standardni penetracijski test (SPT)
- Bušenje, ugradnja i pokusno crpljenje zdenaca i piezometara
- Izrada geotehničke dokumentacije (izvješća, elaborati, projekti)
- Geotehnički nadzor i savjetovanje

ANALIZA STABILNOSTI SIDRENIH STIJENSKIH KOSINA PREMA EUROKODU 7

STABILITY ANALYSIS OF ANCHORED ROCK SLOPES ACCORDING TO EUROCODE 7

Jasmin Jug ^{1*}, Miljenko Špiranec ², Stjepan Strelec ¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Republika Hrvatska

² SPP d.o.o., Trstenjakova 3, 42000 Varaždin, Republika Hrvatska

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: jasmin.jug@gfv.hr

Sažetak: Osiguravanje stabilnosti stijenske kosine tijekom i nakon iskopa propisivanjem dugoročnih zaštitnih mjera jedna je od čestih zadaća praktičnog geotehničkog inženjerstva i mehanike stijena. U radu je prikazan primjer određivanja optimalnih parametara čvrstoće karbonatne stijenske mase i procjene stabilnosti sidrene stijenske kosine. Kriterij sloma stijenske mase definiran je generaliziranim Hoek-Brownovim kriterijem čvrstoće, pri čemu su korišteni rezultati geotehničkih istražnih radova, kojima je stijenska masa podijeljena u pet različitih geotehničkih zona. Analiza globalne stabilnosti kosine formirane iskopom zasjeka visine do 25 metara provedena je prema pravilima Eurokoda 7, projektni pristup 3. Kod procjene stabilnosti odabrana je mjerodavna klizna ploha. Provedena je analiza nestabilnog bloka za slučaj globalnog sloma i ravninskog klizanja po diskontinuitetu. Pretpostavljeno je pružanje diskontinuiteta u smjeru iskopa. U cilju usporedbe dobivenih rezultata, faktori sigurnosti proračunavani su sa i bez seizmičkih potresnih djelovanja te je provedena kontrola primjenom komercijalnog računalnog programa za analizu stabilnosti kosina.

Cljučne riječi: Stabilnost stijenskih kosina, Geotehnička sidra, Eurokod 7, Seizmička djelovanja, Faktor konzervativnosti.

Abstract: Ensuring the rock slope stability during and after excavation by prescribing long-term protection measures is one of the frequent tasks of practical geotechnical engineering and rock mechanics. The paper presents an example of determining optimal carbonate rock mass strength parameters and assessing the stability of the anchored rock slope. The rock mass failure criterion is defined by the generalized Hoek-Brown's strength criteria, using the results of geotechnical investigations, where the rock mass is divided into five different geotechnical zones. Analysis of global slope stability formed by excavation the cut height up to 25 meters is carried out according to the rules of Eurocode 7, project approach third. For the stability estimation the relevant sliding surface was selected. An analysis of the unstable block in the case of global sloping and flat sliding was performed on discontinuity. It is assumed that discontinuity is provided in the direction of excavation. In order to compare the obtained results, the safety factors were calculated with and without seismic earthquake effects and control was carried out using a commercial computer program for slope stability analysis.

Keywords: Rock slope stability, Geotechnical anchors, Eurocode 7, Seismic activities, Factor of conservatism.

Received: 08.05.2017 / Accepted: 27.06.2017

Published online: 21.07.2017

Pregledni rad / Review paper

1. UVOD

Okolišem se smatra cijela čovjekova okolina, kako živa i neživa priroda, tako i čovjekove tvorevine. Očuvanje okoliša nije potrebno samo na mjestima gdje dolazi do onečišćenja, već i na mjestima gdje se zbog prirodnih pojava (potresi, klizišta) ili ljudskih aktivnosti, kao što je to primjer u ovom radu, naruši izgled i/ili stabilnost prirodnog terena.

Za potrebe izgradnje Centra zdravstvenog turizma u Segetu Donjem bilo je potrebno izvesti građevinsku jamu iskopom zasjeka visine do 25 metara. Da bi se prikupili relevantni podaci potrebni za projektiranje, na predmetnoj lokaciji izvedeni su geotehničko-geofizički istražni radovi, kojima je utvrđeno da je istražna lokacija geološki izgrađena od karbonatne stijenske mase.

Kako bi projektirana stijenska kosina izvedena iskopom bila sigurna, trebalo je analizom dokazati njezinu stabilnost i propisati dugoročne zaštitne mjere, u skladu s propisima Eurokoda 7. Analize su provedene korištenjem

parametara čvrstoće karbonatne stijenske mase, koji su usvojeni na temelju rezultata in situ istraživanja, uz djelovanje stabilizacijske sile u vidu geotehničkih sidara.

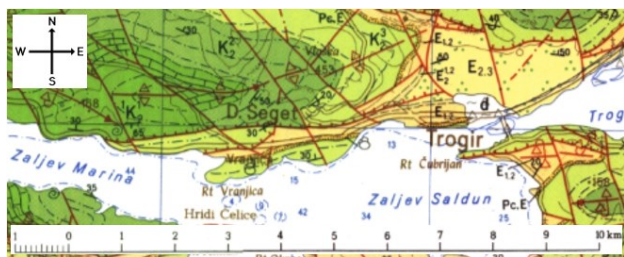
Konačno rješenje zaštite iskopa određeno je temeljem rezultata provedenih istražnih radova, kojima je utvrđeno da postoji velika mogućnost pojave dominantnog diskontinuiteta, pa je kod proračuna stabilnosti kosine pretpostavljen nepovoljni diskontinuitet kroz razlomljene zone stijenske mase po kojem može doći do ravninskog klizanja.

2. ISTRAŽNI RADOVI

2.1. Opća geologija istraživanog područja

Prije samog izvođenja terenskih istražnih radova proučena je opća geološka situacija na istražnoj lokaciji, te je prema osnovnoj geološkoj karti, list K 33-21 Split

(Marinčić et al. 1971), utvrđeno da uže područje zahvata pripada masivnim krednim naslagama (K_2^2 , K_2^3), a koje odgovaraju vapnencima s rijetkim prosljocima dolomita, zatim gromadastim i uslojenim vapnencima te vapnenačkim dolomitima (Slika 1).



Slika 1. Isječak osnovne geološke karte, list K 33-21 Split (Marinčić et al. 1971)

2.2. Geofizički istražni radovi

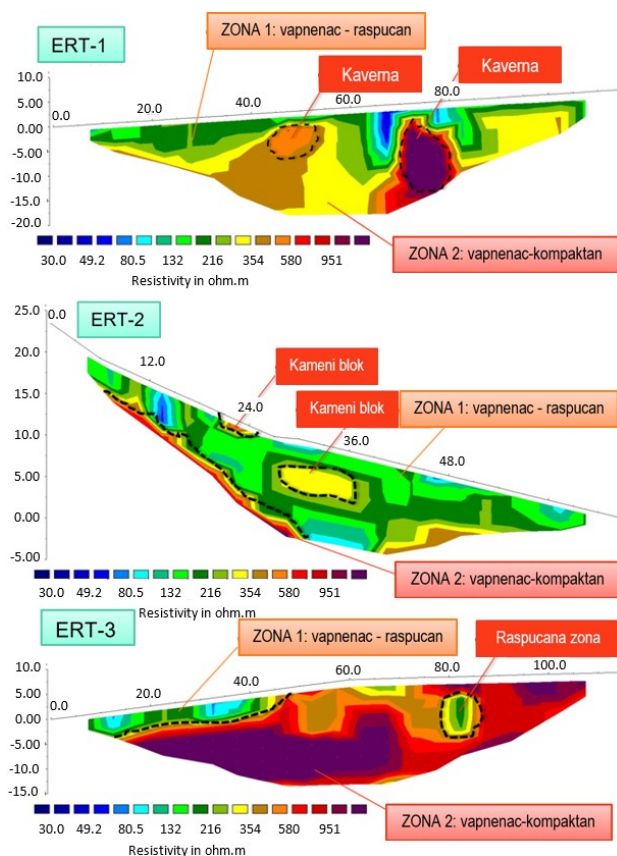
Geotehnički istražni radovi uglavnom su izvedeni primjenom geofizičkih metoda ispitivanja. Prema pravilima Eurokoda 7 (HRN EN 1997-2:2012 hr) izrađen je program istraživanja prema kojem su izvedena tri geofizička presjeka metodom geoelektrične tomografije (ERT) (Slika 2), tri presjeka metodom višekanalne analize površinskih valova (Slika 3), te četiri presjeka metodom georadara.

Na temelju iskustvenih podataka autora ovog rada, a za slične geoelektrične sredine, uz podatke iz literature o specifičnom električnom otporu nekih materijala, interpretacijom su generalno utvrđene dvije različite zone otpornosti stijenskog materijala. Tako se u prvoj zoni nalazi materijal manjih električnih otpornosti (80–350 Ωm) koji se opisuje kao raspucani vapnenac, a u drugoj zoni materijal većih otpornosti (350–1000 Ωm) opisan kao čvrsti kompaktni vapnenac (Slika 2).

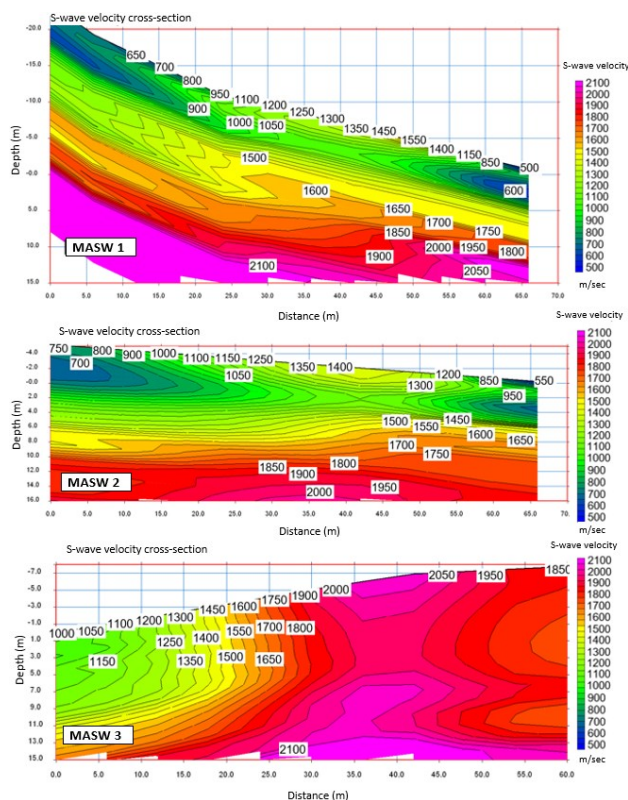
Seizmičkim istraživanjem metodom višekanalne analize površinskih valova (MASW) određene su brzine posmičnih valova v_s po dubini istraživanog temeljnog tla na dvodimenzionalnim presjecima prikazanim na Slici 3.

2.3. In situ geotehnička istraživanja

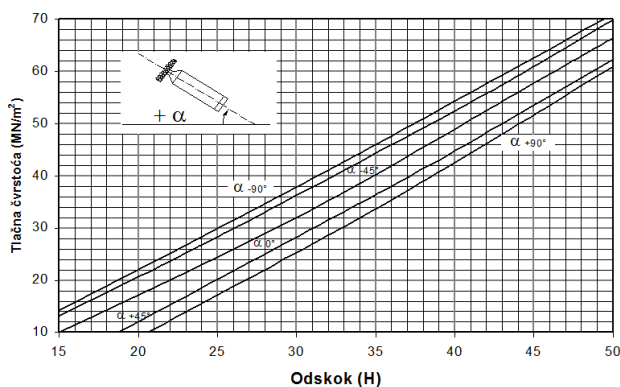
Osim geofizičkih istražnih radova, na izdancima stijene izvedena su ispitivanja Schmidtovim čekićem u pravcu okomitom na zidove stijene, prema preporukama Međunarodnog društva za Mehaniku stijena (ISRM 2007). Srednja vrijednost odskoka Schmidtova čekića R iskorištena je za određivanje čvrstoće stijenki diskontinuiteta i Youngova modula elastičnosti stijene E . Rezultati dobiveni pomoću korelacijskih dijagrama na Slikama 4 i 5 za odklon čekića $\alpha = 0^\circ$ prikazani su u Tablici 1.



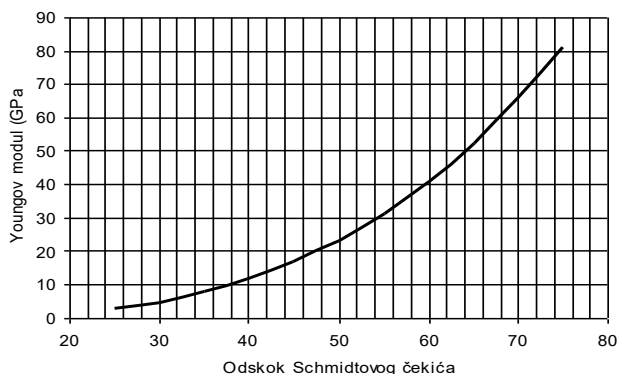
Slika 2. Rezultati geoelektrične tomografije (ERT)



Slika 3. Brzine posmičnih valova v_s po dubini ispitivane stijenske mase



Slika 4. Korelacijski dijagram tlačne čvrstoće prema vrijednostima odskoka Schmidtovog čekića



Slika 5. Korelacijski dijagram Youngovog modula prema vrijednostima odskoka Schmidtovog čekića

Tablica 1. Rezultati ispitivanja izdanaka stijene Schmidtovim čekićem

VRIJEDNOST ODSKOKA R [-]	JEDNOOSNA ČVRSTOĆA σ_c [MPa]	YOUNGOV MODUL E [GPa]
49	66	21
42	52	14
39	45	11

3. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE STIJENE NA ISTRAŽNOJ LOKACIJI

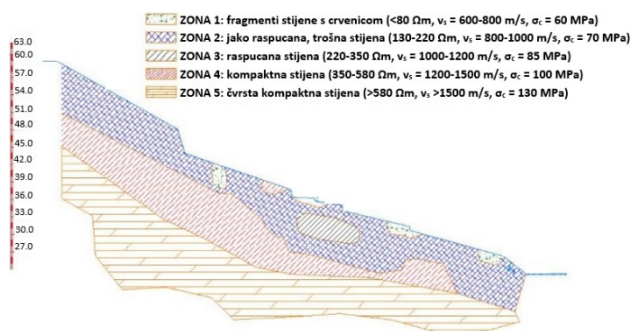
Na osnovi svih provedenih istražnih radova i svih prikupljenih informacija stijenska masa na istražnoj lokaciji podijeljena je u pet različitih geotehničkih zona. Detaljan opis temeljne stijenske mase dat je geotehničkim profilom (Slika 6), te opisno u Tablici 2. Istražnim radovima nije zabilježena pojava podzemne vode.

Sukladno rezultatu seizmičkih geofizičkih ispitivanja, odnosno izmjerenih brzina sekundarnih (posmičnih) valova v_s , napravljena je klasifikacija tla prema Eurokodu 8 (HRN EN 1998-1:2011), te temeljno tlo odgovara "A" kategoriji tla prema stupnju seizmičnosti, $v_s > 800$ m/s.

Prema karti potresnih područja Republike Hrvatske, koja je sastavni dio Nacionalnog dodatka za niz normi HRN EN 1998-1:2011/NA:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, određeno je vršno ubrzanje za tip tla A, a za istražni prostor iznosi: $a_{gR} = 0,22g$ (povratni period 475 godina), kako je prikazano na Slici 7.

Tablica 2. Detaljan opis temeljne stijenske mase podijeljene u pet različitih geotehničkih zona

GEOT. ZONA	NAZIV	OPIS
1	Fragmenti stijene sa ispunom	Sloj se pojavljuje lokalno u fragmentima, debljina sloja 1,0 do 5,0 m. Električna otpornost u granicama 45-80 Ω m, a brzina posmičnih valova $v_s = 600-800$ m/s. Posmični modul G_0 dobiven na osnovi brzine posmičnih valova iznosi oko 790 000 kN/m ² . Geološki indeks čvrstoće GSI = 20, konstanta materijala $m_i = 7$, a faktor poremećaja stijene zbog miniranja D = 1. Nosivost ovog sloja iznosi oko 590 kN/m ² .
2	Jako raspucana, trošna stijena	Debljina sloja 7,0 do 9,0 m unutar kojeg se mogu nalaziti izdanci kompaktnije stijene. Električna otpornost u granicama 130-220 Ω m, a brzina $v_s = 800-1000$ m/s. Posmični modul G_0 iznosi oko 1 800 000 kN/m ² . Geološki indeks čvrstoće GSI = 30, konstanta materijala $m_i = 7$, a faktor D = 1. Nosivost ovog sloja iznosi oko 1200 kN/m ² .
3	Raspucana stijena	Debljina sloja 5,0 do 9,0 m unutar kojeg se mogu nalaziti izdanci kompaktnije stijene ili područja jače okršene stijene. Električna otpornost u granicama 220-350 Ω m, a brzina $v_s = 1000-1200$ m/s. Posmični modul G_0 iznosi oko 2 900 000 kN/m ² . Geološki indeks čvrstoće GSI = 35, konstanta materijala $m_i = 7$, a faktor D = 1. Nosivost ovog sloja iznosi oko 1800 kN/m ² .
4	Kompaktna stijena	Debljina sloja 2,0 do 10,0 m, a može se naći i na površini terena u obliku istake. Električna otpornost u granicama 350-580 Ω m, a brzina $v_s = 1200-1500$ m/s. Posmični modul G_0 iznosi oko 4 200 000 kN/m ² . GSI = 50, konstanta $m_i = 7$, a faktor D = 1. Nosivost ovog sloja iznosi oko 4000 kN/m ² .
5	Čvrsta kompaktna stijena	Debljina sloja veća od 5,0 m, a nalazi se na većim dubinama. Električna otpornost u granicama 580-950 Ω m, a brzina $v_s > 1500$ m/s. Modul G_0 iznosi oko 5 600 000 kN/m ² . GSI = 70, konstanta $m_i = 7$, a faktor D = 1. Nosivost ovog sloja iznosi oko 12 000 kN/m ² .



Slika 6. Karakteristični geotehnički profil stijenske mase na istražnoj lokaciji u Segetu Donjem (Špiranec et al. 2013)



Slika 7. Isječak karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratni period 475 godina, područje Segeta Donjeg (Herak et al. 2011)

4. KRITERIJ SLOMA STIJENSKE MASE I PARAMETRI ČVRSTOĆE

Kako bi se odredile optimalne vrijednosti parametara čvrstoće karbonatne stijenske mase, korišten je kriterij sloma stijenske mase definiran generaliziranim Hoek-Brown-ovim kriterijem čvrstoće stijenske prikazan Izrazom 1 (Hoek et al. 2002).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (1)$$

gdje su:

σ_c – jednoosna tlačna čvrstoća homogenog uzorka stijene, σ'_1 i σ'_3 – veće i manje efektivno glavno naprezanje, m_b , a , s – iskustveni parametri stijenske mase.

Reducirana vrijednost konstante materijala m_i je vrijednost m_b , a daje se Izrazom 2. Parametri s i a su konstante stijenske mase, a dobivaju se pomoću Izraza 3 i 4 (Hoek et al. 2002).

$$m_b = m_i \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D} \right)} \quad (2)$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D} \right)} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \quad (4)$$

U Izrazima 2, 3 i 4 parametar D je faktor poremećenosti stijene, m_i je konstanta materijala ovisna o vrsti stijene, a GSI je geološki indeks čvrstoće stijenske mase.

Iskustveni parametri čvrstoće karbonatne stijenske mase na lokaciji u Segetu Donjem dobiveni proračunom generaliziranim Hoek-Brown-ovim kriterijem prikazani su u Tablici 3. Vrijednosti kohezija c i kutova unutarnjeg trenja ϕ dobivene su na temelju veze između maksimalnih i minimalnih vrijednosti glavnih naprezanja za Hoek-Brownov i ekvivalentni Mohr-Coulombov kriterij, koji se najviše koristi u geotehničkom inženjerstvu, pomoću računalnog programa RocLab (Rocscience Inc. 2005).

Tablica 3. Prikaz proračunatih parametara čvrstoće stijenske mase za pet različitih geotehničkih zona

GEOT. ZONA	PARAMETRI ČVRSTOĆE STIJENSKE MASE					
	m_b	s	a	σ_c [MPa]	c [kN/m ²]	ϕ [°]
1	0,023	$1,6 \times 10^{-6}$	0,544	60	5	25,0
2	0,047	$8,6 \times 10^{-6}$	0,522	70	77	25,0
3	0,067	$1,97 \times 10^{-5}$	0,516	85	106	29,9
4	0,197	0,0002	0,506	100	187	37,3
5	0,821	0,067	0,501	130	270	40,9

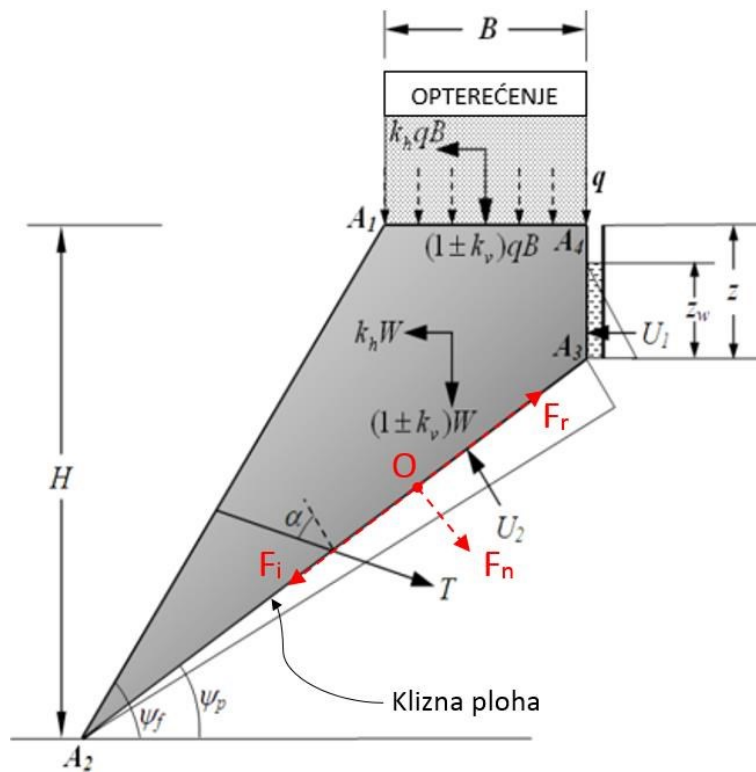
5. ANALIZA GLOBALNE STABILNOSTI KOSINE ISKOPA

Analiza stabilnosti provedena je u skladu sa Eurokodom 7, odnosno Hrvatskim normama HRN EN 1997-2:2012 i HRN EN 1997-2:2012/NA:2012, prema projektnom pristupu 3. U skladu s navedenim projektnim pristupom, korišteni su parcijalni koeficijenti $\gamma_c = 1,25$ i $\gamma_\phi = 1,25$, koji su utjecali na vrijednosti proračunatih parametara čvrstoće stijenske mase kako je prikazano u Tablici 4. Parcijalni koeficijenti su u Eurokodu 7 određeni tako da uvažavaju vjerojatnosti rizika od prekoračenja odgovarajućeg graničnog stanja.

Pomoću skice na Slici 8 postavljeni su izrazi za proračun ukupne vertikalne sile na plohu sloma F_n (Izraz 5) i ukupne sile koja prouzrokuje klizanje F_i (Izraz 6), dok je izraz za proračun faktora globalne stabilnosti kosine FS (Izraz 7) poznat otprije (Hoek & Bray 1981).

Tablica 4. Parametri čvrstoće stijenske mase korigirani s parcijalnim koeficijentima za potrebe analize stabilnosti stijenske kosine prema Eurokodu 7

G. ZONA	c [kN/m ²]	ϕ [°]	c_d [kN/m ²]	ϕ_d [°]
1	5	25,0	4	20
2	77	25,0	60	20
3	106	29,9	85	25
4	187	37,3	150	31
5	270	40,9	215	35
DISKONTINUITET	0	30	0	25



Slika 8. Mehanizam sloma stijenske kosine koja je pod djelovanjem opterećenja, vlastite težine, vlačne pukotine, potresa i stabilizacijske sile

$$F_n = (W + q \cdot B) \cdot \{(1 \pm k_v) \cdot \cos \psi_p - k_h \cdot \sin \psi_p\} - U_1 \cdot \sin \psi_p - U_2 + \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos \alpha_i \quad (5)$$

$$F_i = (W + q \cdot B) \cdot \{(1 \pm k_v) \cdot \sin \psi_p + k_h \cdot \cos \psi_p\} + U_1 \cdot \cos \psi_p - \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sin \alpha_i \quad (6)$$

$$FS = \frac{F_r}{F_i} = \frac{c \cdot A + F_n \cdot \tan \phi}{F_i} \quad (7)$$

gdje su:

- F_r – sila otpora klizanju, [kN];
- τ – posmična čvrstoća plohe sloma, [kN/m²];
- c – karakteristična kohezija diskontinuiteta (plohe sloma), [kN/m²];
- ϕ – karakteristični kut trenja diskontinuiteta (plohe sloma), [°];
- σ_n – vertikalno naprezanje na plohu sloma, [kN/m²];
- F_n – vertikalna sila na plohu sloma, [kN];
- A – površina plohe sloma, [m²];
- Ψ_p – kut nagiba plohe sloma, [°];
- Ψ_f – kut nagiba kosine, [°];
- F_i – sila koja uzrokuje klizanje, [kN];
- W – težina nestabilnog bloka, [kN];
- V – volumen nestabilnog bloka, [m³];
- q – vanjsko opterećenje, [kN/m²];
- k_h, k_v – horizontalni i vertikalni seizmički koeficijent;
- z – dubina vlačne pukotine, [m];
- z_w – dubina vode u vlačnoj pukotini, [m];
- U_1 – tlak vode u vlačnoj pukotini, [kN/m²];
- U_2 – tlak vode na plohu sloma, [kN/m²];
- H – visina pokosa, [m];
- α_i – kut nagiba plohe sloma i stabilizacijske sile, [°];
- T_i – stabilizacijska sila (sila u sidru), [kN];
- O – hvatište sila F_r, F_n i F_i .

U analizu globalne stabilnosti kosine uključena su djelovanja geotehničkih sidara koja predstavljaju stabilizacijske sile, odnosno sile koje povoljno djeluju na stabilnost kosine. Stabilnost sidrenih stijenskih kosina među prvima su proučavali Hoek & Bray (1981), a u novije vrijeme Shukla & Hossain (2011).

Analiza stabilnosti postaje još složenija kada se kosine podvrgavaju vibracijama uzrokovanim potresima, kao što je to u ovom radu. U takvim slučajevima koeficijenti k_h i k_v koriste se za izračun vodoravnih i okomitih seizmičkih inertnih sila uzrokovanih potencijalnim potresom. Te se sile zatim dodaju u ukupni izračun ravnoteže za pojedinačni blok koji predstavlja otklizanu masu (Melo & Sharma 2004), što je vidljivo iz Izraza 5 i 6.

Općenito se ovakav pristup integracije Eurokoda 7 u analize stabilnosti kosina sve više koristi posljednjih godina. Tako Pantelidis & Griffiths (2014) u svojem radu koriste propise EC7 kod određivanja parcijalnih koeficijenata ili faktora neuobičajenim strategijama faktoriranja s primjenom kod analize stabilnosti kosina.

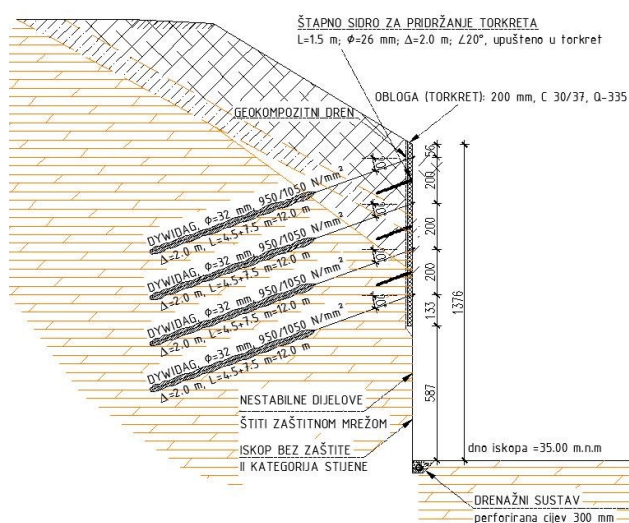
Na Slici 9 prikazan je karakteristični presjek za predmetnu lokaciju u Segetu Donjem, na temelju kojeg je provedena analiza stabilnosti. Na istoj slici se vidi da je projektom zaštite građevne jame isplanirana potporna konstrukcija u obliku zida koji se sastoji od obloge (torkreta) i pasivnih sidara u gornjem dijelu iskopa gdje je

stijena lošijih svojstava, dok u donjem dijelu iskopa nema dodatne zaštite, jer je iskop u čvrstoj kompaktnoj stijeni.

Visina sidrene dionice iskopa je do maksimalno 15 m. Iskop se vrši vertikalno, odnosno pod kutom od 90°. Maksimalna visina iskopa je 21 m. Sidra su pasivna i trajnog karaktera, ukupne duljine 10 - 12 m. Izvedena se u nagibu 20° s duljinom slobodne 4,5 m i sidrene dionice 7,5 m. Razmak sidara je 2 m u vertikalnom smjeru i 2 m u horizontalnom smjeru (Markić et al. 2014)

Iza obloge (torkreta) postavljen je drenažni materijal kojeg sačinjavaju geokompozitni drenovi. Procjedne vode koje prikupe geokompozitni drenovi sprovode se u sustav drenažnih cijevi u nožici kosine (Markić et al. 2014).

Za pridržanje torkreta, obzirom da je stijenka iskopa vertikalna, ugrađena su štapna sidra duljine 1,5 m između glavnih sidara. Na zidove pokosa koji nemaju zaštitnu konstrukciju na labilnim dijelovima postavljena je zaštitna mreža (Markić et al. 2014).



Slika 9. Karakteristični proračunski presjek za lokaciju u Segetu Donjem, pripremljen za analizu nestabilnog bloka, slučaj sloma po diskontinuitetu

Ulazni parametri proračuna stabilnosti stijenske kosine za karakteristični presjek na lokaciji u Segetu Donjem su:

- Parcijalni koef.: $\gamma_G = 1,0$, $\gamma_Q = 1,3$, $\gamma_c = 1,25$, $\gamma_\phi = 1,25$;
- Jedinična težina bloka stijene: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Vanjsko opterećenje: $q = 5 \text{ kN/m}^2$;
- Duljina djelovanja vanjskog opterećenja: $B = 7,5 \text{ m}$;
- Kut nagiba plohe sloma: $\psi_p = 36^\circ$;
- Koeficijent potresa: $k_h = 0,11$ (50% a_{gR}), $k_v = 0$;
- Karakteristični kut trenja plohe sloma: $\phi = 25^\circ$;
- Karakteristična kohezija na plohi sloma: $c = 0 \text{ kN/m}^2$;
- Kut nagiba plohe sloma i stabilizacijske sile: $\alpha_i = 34^\circ$;
- Nosivost sidra: $T_{\max} = 760 \text{ kN}$;
- Visina pokosa: $H = 18,8 \text{ m}$;
- Tlak vode: $U_1 = 0 \text{ kN/m}^2$, $U_2 = 0 \text{ kN/m}^2$;
- Volumen nestabilnog bloka: $V = 193 \text{ m}^3/\text{m}$;
- Težina nestabilnog bloka stijene: $W = 4825 \text{ kN/m}$;
- Stabilizacijska sila: $T_i = 380 \text{ kN/m}$.

S obzirom na činjenicu da istražnim radovima nije utvrđena prisutnost podzemne vode (nedrenirano stanje), za proračun sila F_n i F_i korišteni su pojednostavljeni Izrazi 5 i 6. Tako je za izračun sile okomite na plohu sloma bez seizmičkog djelovanja korišten Izraz 8, a sa seizmičkim djelovanjem Izraz 9. Za izračun sile koja uzrokuje klizanje analogijom su korišteni Izrazi 10 i 11. Za kontrolu stabilnosti izračunom faktora sigurnosti korišten je Izraz 7 (Hoek & Bray 1981), pri čemu su ulazni podaci bili parametri čvrstoće diskontinuiteta prema Tablici 4, odnosno proračunska kohezija $c_d = 0 \text{ kN/m}^2$, proračunski kut trenja $\phi_d = 25^\circ$. Rezultati provedene analize prikazani su u Tablici 5.

Kontrola proračunatih faktora konzervativnosti globalne stabilnosti provedena je primjenom računalnog programa SLIDE 6.0 (Rocscience Inc. 2011), a koji se koristi za analize stabilnosti kosina. Postavke računalnog programa bile su u skladu s HRN EN 1997-2:2012 hr i HRN EN 1997-2:2012/NA:2012 hr, prema projektnom pristupu 3. Na Slici 10 prikazana je analiza bez seizmičkog djelovanja (potresa), a na Slici 11 s uključenim seizmičkim djelovanjem.

Tablica 5. Rezultati proračuna sila koje djeluju na kosinu i faktora konzervativnosti ovisno o seizmičkom djelovanju

SEIZMIČKO DJELOVANJE (POTRES)	F_n [kN/m']	F_i [kN/m']	FK
NE	5518	1803	1,43
DA	5194	2229	1,08

6. GEOTEHNIČKO OPAŽANJE STABILNOSTI KOSINE ISKOPA

Za potrebe opažanja horizontalnih pomaka prilikom iskopa predmetnog zasjeke u Segetu Donjem, prema opisu i parametrima prikazanim u ovom radu, ugrađen je vertikalni inklinometar dubine 23 m na najvišoj lokaciji prema mogućem pristupu, uz sam rub zasjeke. Poslije referentnog ili nultog mjerenja, opažalo se još četiri puta, mjesečno jednom, za vrijeme izvedbe iskopa miniranjem i ugradnje sidara. Mjerenja su provedena pomoću digitalnog inklinometarskog sustava, primjenom najnovije biaxial digital MEMS mjerne sonde.

Rezultati inklinometarskih opažanja prikazuju izmjerena odstupanja pojedinih točaka inklinometarske cijevi od nulte linije izmjerene kod nultog očitavanja, a mogu se prikazivati u obliku dijagrama kumulativnih pomaka (Slika 12a) i inkrementalnih pomaka (Slika 12b).

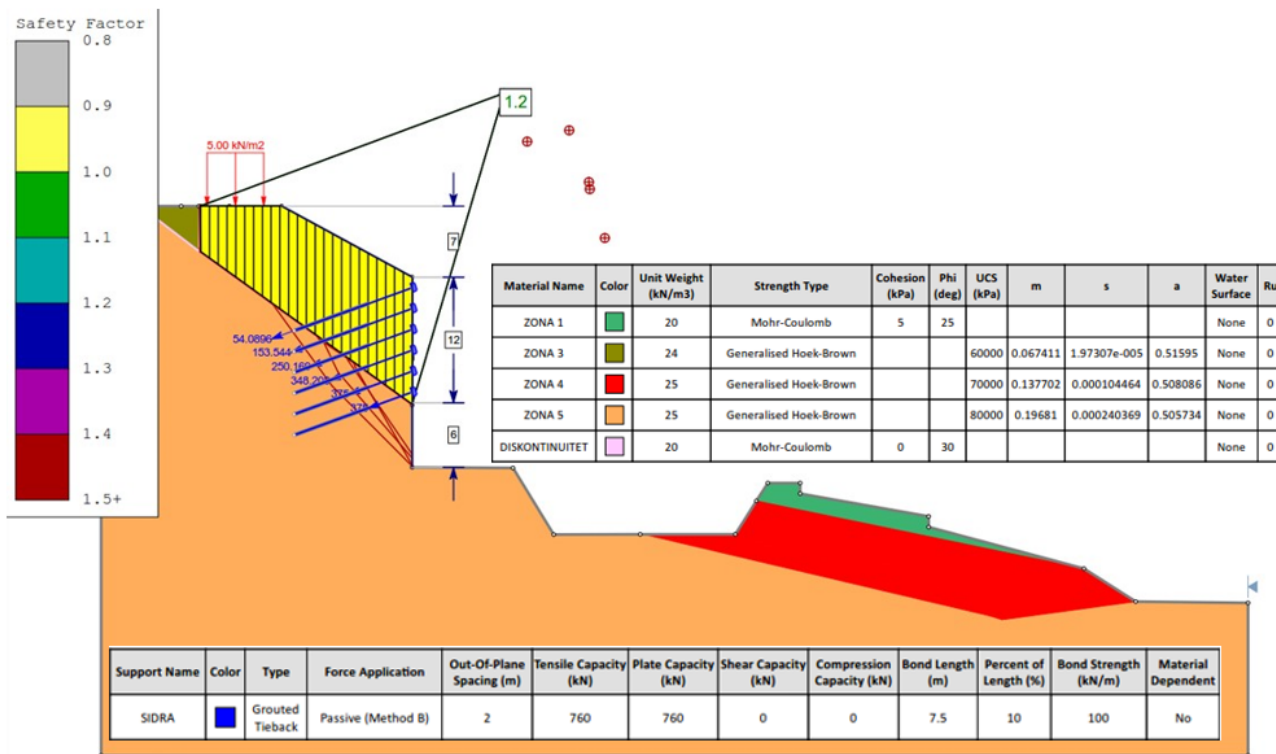
Kumulativni pomaci predstavljaju ukupne (pribrojene) pomake izmjerene kod svakog mjerenja u odnosu na referentno (nulto) mjerenje. Inkrementalni dijagrami prikazuju pojedinačne pomake na određenoj dubini, a koriste se za identificiranje dubina na kojima se pojavljuju pomaci. Može se zaključiti da izmjereni pomaci na inklinometru ukazuju da nema značajnijih pokreta u stijenskoj masi, a minimalni pomaci (<1,5 mm) koji su zabilježeni posljedica su miniranja, odnosno mehaničkog rastresanja stijenske mase (Grabar & Pažur 2016).

$$F_n = (W + \gamma_Q \cdot q \cdot B) \cdot \cos \psi_p + \sum_{i=1}^5 T_i \cdot \cos \alpha_i \tag{8}$$

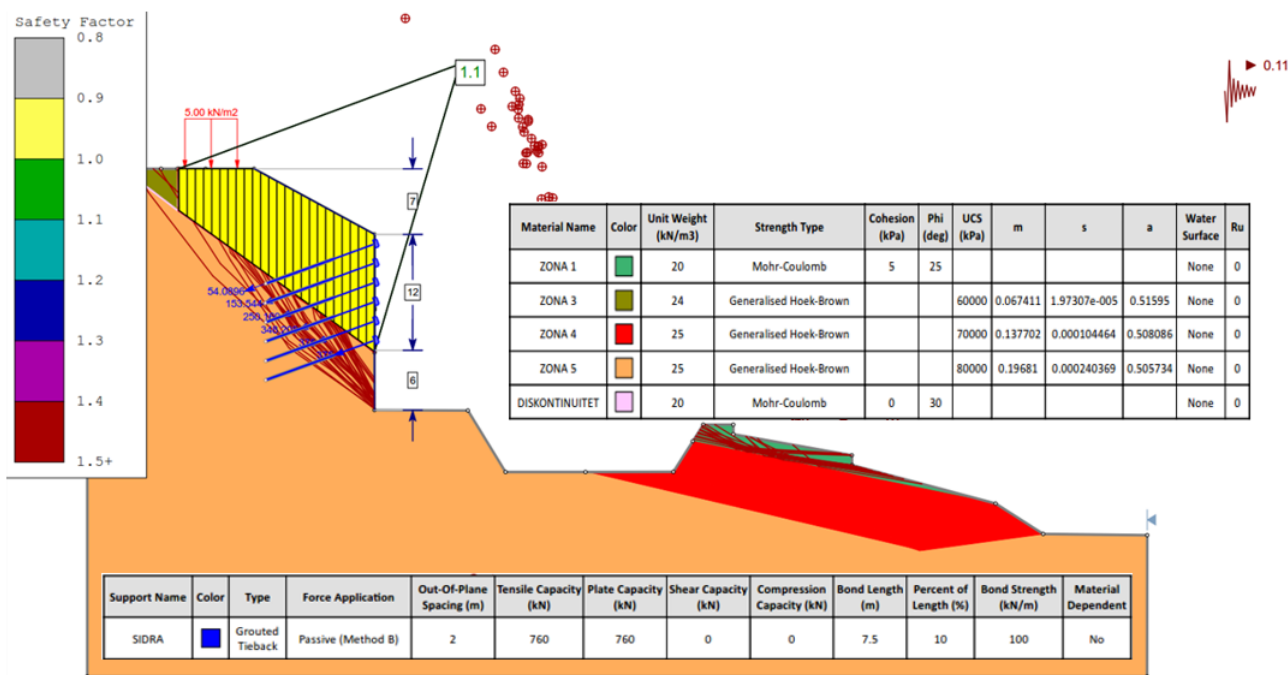
$$F_n = (W + \gamma_Q \cdot q \cdot B) \cdot \{ \cos \psi_p - k_h \cdot \sin \psi_p \} + \sum_{i=1}^5 T_i \cdot \cos \alpha_i \tag{9}$$

$$F_i = (W + \gamma_Q \cdot q \cdot B) \cdot \sin \psi_p - \sum_{i=1}^5 T_i \cdot \sin \alpha_i \tag{10}$$

$$F_i = (W + q \cdot B) \cdot \{ \sin \psi_p + k_h \cdot \cos \psi_p \} - \sum_{i=1}^5 T_i \cdot \sin \alpha_i \tag{11}$$



Slika 10. Analiza globalne stabilnosti programom Slide 6.0, bez seizmičkog djelovanja za karakteristični presjek u Segetu Donjem



Slika 11. Analiza globalne stabilnosti programom Slide 6.0, sa seizmičkim djelovanjem za karakteristični presjek u Segetu Donjem

7. ZAKLJUČAK

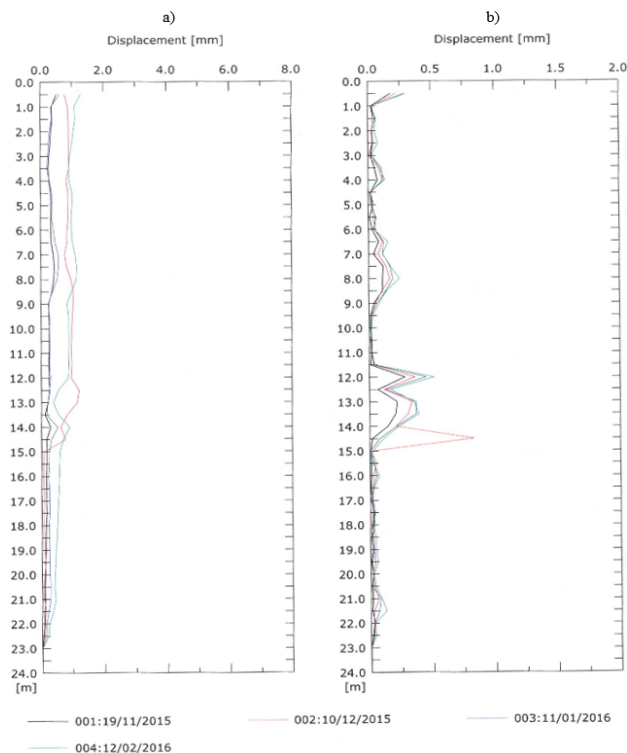
Ovaj rad primjer je praktičnog povezivanja znanja i zakonitosti iz geotehničkog inženjerstva i mehanike stijena, uz značajnu ulogu primijenjene geofizike i seizmologije, za potrebe analize stabilnosti stijenske kosine. Temeljem dovoljno kvalitetno izvedenih geotehničko-geofizičkih istražnih radova, a prema propisanim normama i obrascima za njihovo provođenje, moguće je, uz pomoć generaliziranog Hoek-Brownovog kriterija, odrediti optimalne parametre čvrstoće stijenske mase, kao ulazne podatke za analize.

Primjena propisa Eurokoda 7 osim statičkih djelovanja poput opterećenja na vrhu kosine, vlastite težine stijenske mase i stabilizacijske sile, u proračun uključuje i dinamička djelovanja koja se mogu javiti prilikom seizmičkih aktivnosti. Kao rezultat stroge primjene propisa postiže se propisana margina sigurnosti.

Analize izvedene u ovom radu pokazuju kako seizmička potresna djelovanja značajno utječu na vrijednost faktora konzervativnosti stabilnosti kosine te ih svakako treba uzimati u obzir prilikom rješavanja problema iz geotehničkog inženjerstva, iako povećavaju ukupnu cijenu koštanja tehničkog rješenja.

Kod budućih istraživanja treba razmotriti i slučajeve s tečenjem podzemne vode te složenim kliznim plohama koje su česte u stijenskoj masi, a rezultate iskoristiti za eventualne korekcije regulative s ciljem racionalizacije tehničkih rješenja. Do tada, s ciljem postizanja margine sigurnosti, analize stabilnosti stijenskih kosina treba provoditi u skladu s važećim Hrvatskim normama proizašlim iz Eurokoda 7. Potrebno je dobivene rezultate kontinuirano, na propisan način, provjeravati. Tijekom izvedbe zaštitne konstrukcije provoditi geotehnička opažanja.

Ovim radom također je pokazano kako se primjenom geotehničkih metoda može pridonijeti očuvanju okoliša.



Slika 12. ►

► **Rezultati inklinometarskih opažanja stijenske kosine u Segetu Donjem: a) Dijagram kumulativnih pomaka od dna prema vrhu, b) Dijagram inkrementalnih pomaka od dna prema vrhu**

8. LITERATURA

Eurokod 7 (2012): Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009); 1. dio: Opća pravila – Nacionalni dodatak; HRVATSKE NORME: HRN EN 1997-1:2012 hr, HRN EN 1997-1:2012/NA 2012

Eurokod 7 (2012): Geotehničko projektiranje - 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla; HRVATSKA NORMA, HRN EN 1997-2:2012 hr.

Eurokod 8 (2008, 2011): Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 5.dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja (EN 1998-5:2004); 5.dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja - Nacionalni dodatak; HRVATSKE NORME: HRN EN 1998-5:2008, HRN EN 1998-5:2011/NA.

Grabar, K.; Pažur, I. (2016): Izvještaj o mjeranju horizontalnih pomaka br. 4, Centar zdravog življenja Seget. SPP d.o.o., Varaždin, TD SPP/2015/141-4.

Herak, M.; Allegretti, I.; Herak, D.; Ivančić, I.; Kuk, V.; Marić, K.; Markušić, S.; Sović, I. (2011): Seismic hazard map of Croatia for a 475-year return period (<http://seizkarta.gfz.hr/>).

Hoek, E.; Bray, J. W. (1981). Rock slope engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, England.

Hoek, E.; Carranza-Torres, C.T.; Corkum, B. (2002): Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition. In: Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symp., Toronto, Canada, 2002: 1: 267–73.

ISRM - International Society for Rock Mechanics (2007): The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006, Edited by R. Ulusay and J.A. Hudson. Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey. ISBN: 978-975-93675-4-1.

Marinčić, S.; Magaš, N.; Borović, I. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ, list K 33-21 Split. Izradio Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1968. – 1969. Stručno-tehnološka redakcija seizmološkog zavoda, Beograd, 1971.

Markić, R.; Špiranec, M.; Pažur, I. (2014): Projekt zaštite građevne jame – Centar zdravstvenog turizma – Wellness, Spa i poliklinika u Segetu Donjem. METRION PROJEKT d.o.o., Zagreb. TD 04/2014-G.

Melo, C. and Sharma, S. (2004): Seismic coefficient for pseudo-static slope analysis. 13th world conference on earthquake engineering. 1-6 August 2004, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 369.

Pantelidis, L. and Griffiths D.V. (2014): Integrating Eurocode 7 (load and resistance factor design) using nonconventional factoring strategies in slope stability analysis. Canadian Geotechnical Journal, 51(2): 208-216.

Rocscience Inc. (2005): RocLab 1.0, Rock Mass Strength Analysis using the Generalized Hoek-Brown failure criterion. User Manual.

Rocscience Inc. (2011): Slide 6.0, Slope stability analysis software. User Tutorial.

Shukla, S. K. and Hossain, M. M. (2011): Analytical expression for factor of safety of an anchored rock slope against plane failure. International Journal of Geotechnical Engineering, USA, Vol. 5, No. 2.

Špiranec, M.; Grabar, K.; Filipović, A.; Sambolec, I.; Pažur, I. (2013): Geotehnički elaborat temeljenja poliklinike u Segetu Donjem. SPP d.o.o., Varaždin, TD 16-2/13.

ANALIZA OSJETLJIVOSTI ULAZNIH VELIČINA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA POKRETANOG SOLARNOM FOTONAPONSKOM ENERGIJOM

THE SENSITIVITY ANALYSIS OF INPUT VALUES IN WATER SUPPLY SYSTEM DRIVEN BY SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY

Lucija Baić^{1*}, Bojan Đurin¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska
*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: lucija.baic@gmail.com

Sažetak: Obnovljivi izvori energije i njihova primjena danas su vrlo aktualni radi sve veće ekološke svijesti. U ovome radu govorit će se o solarnoj fotonaponskoj (FN) energiji korištenoj za crpljenje vode, odnosno o njenoj primjeni u navodnjavanju. Sustav koji je pokretan takvom energijom sastoji se od solarnog fotonaponskog generatora i invertora, crpne stanice, vodospreme i cjevovoda. Kako je solarna fotonaponska energija stohastičke naravi, ona ima utjecaj na sve dijelove promatranog sustava ovisno o klimatskim i tehnološkim faktorima. S obzirom na klimatske i tehnološke parametre u ovome radu, napravljena je i analiza osjetljivosti pojedinih dijelova urbanog vodoopskrbnog sustava pokretanog solarnom fotonaponskom energijom. Time će se dobiti detaljniji uvid u značaj pojedinih ulaznih parametara na promjene njihovih vrijednosti, odnosno vidjet će se koji od tih faktora utječu najmanje a koji najviše, te koji od njih imaju proporcionalan i obrnuto proporcionalan utjecaj na urbani vodoopskrbni sustav pokretan FN energijom.

Gljučne riječi: analiza osjetljivosti, solarna fotonaponska energija, urbani vodoopskrbni sustav, klimatski parametri, tehnološki parametri.

Abstract: Renewable energy sources and their usage are very actual nowadays, due to greater environmental awareness. This paper deals about the solar photovoltaic (PV) energy, which is used for water pumping, or for her using in irrigation. A system which is driven by such energy consists of solar photovoltaic generator and inverter, pumping stations, water tanks and pipelines. Because solar photovoltaic energy has stochastic nature, she also has an impact on all parts of the observed system depending on climatic and technological factors. Due to climatic and technological parameters, in this paper, an analysis of the sensitivity of certain parts of urban watersupply system driven by a photovoltaic energy has been made. This will give a more detailed insight into the importance of individual input parameters due to change of their values, i.e. shows which of these factors affects at least or the most, or indicate which of them have proportional and inversely proportional impact to the urban water supply system driven by PV energy.

Keywords: sensitivity analysis, solar photovoltaic energy, urban water supply system, climate parameters, technological parameters.

Received: 15.11.2016 / Accepted: 15.05.2017

Published online: 21.07.2017

Prethodno priopćenje / Preliminary communication

1. UVOD

Solarna fotonaponska (FN) energija koristi se u mnogim granama ljudske djelatnosti kao izvor energije pa tako i u svrhu proizvodnje električne energije za crpljenje vode u sustavima za opskrbu vodom stanovništva (Chandel et al. 2015; Hamidat & Benyoucef 2009; Kelley et al. 2010) kao i za navodnjavanje (Bakelli et al 2011, Bouzidi 2013; Margeta & Glasnović 2012; Kenna & Gillett 1985; Cuadros et al. 2004). Crpljenje vode korištenjem FN energije dobiva na značaju posljednjih godina zbog smanjenih količina fosilnih goriva te povećanja njihove cijene (Chandel et al 2015). FN tehnologija je vrlo prilagodljiva, izgradnja FN sustava nije komplicirana te nadograđivanje iste na postojeće elektroenergetske sustave u svrhu njihovog unaprjeđenja može dovesti do smanjenja gubitaka energije, manjih troškova održavanja te smanjenja emisija CO₂ (Hamidat & Benyoucef 2009). Cuadros et al. (2004) u svome radu navode neke od prednosti korištenja crpki pokretanih FN energijom, kao što su lako održavanje, dugi životni vijek, izostanak potrebe za gorivom, ne onečišćuju okoliš te su jednostavne za instalaciju. Slično potvrđuju i Kelly et al. (2010)

zaključkom da je navodnjavanje korištenjem FN tehnologije tehnički i ekonomski primjenjivo sve dok postoji dovoljno velika površina na koju se mogu postaviti solarni paneli. Takve tehnologije, osobito su korisne na udaljenim mjestima u kojim postoji problem sa opskrbom gorivom (Bakelli et al. 2011). Budući da FN energija ovisi o Sunčevom zračenju, navedeno povlači sa sobom činjenicu da je takva vrsta energije stohastičke naravi (Đurin & Baić 2016). Samim time, nameće se pitanje pouzdanosti opskrbe takvom energijom. Najčešće korišteni (uobičajeni) sustav za navodnjavanje koji koristi FN energiju sastoji se od solarnog fotonaponskog (FN) sustava, crpke za vodu, vodospreme, cjevovoda, te uređaja za navodnjavanje (Đurin 2014). Vrlo je važno istaknuti da je dimenzioniranje crpne stanice, koje ovisi o površini FN sustava i o režimu rada vodospreme, značajni čimbenik koji može utjecati na pouzdanost rada cijelog FN sustava za navodnjavanje (Bouzidi 2013). U svom radu (Margeta & Glasnović 2012) također ističu da korištenjem solarne FN energije u takvim sustavima nastaju novi tipovi održive hibridne elektrane koja može raditi kontinuirano, koristeći

solarnu energiju kao izvor primarne energije te vodu za skladištenje energije. Dvije su metode pretvorbe solarne energije u mehaničku energiju potrebnu za crpljenje (Kenna & Gillett 1985). Prva, o kojoj se govori u ovoj knjizi, odnosi se na izravnu pretvorbu Sunčevog zračenja u električnu energiju pomoću FN ćelija (FN postrojenja), a druga se odnosi na pretvorbu Sunčeve energije u toplinu koja se zatim može koristiti za pogon crpke (Solarna termalna – ST postrojenja) (Kenna & Gillett 1985). Sustavi navodnjavanja pokretani solarnom FN energijom mogu osigurati pouzdanu, ekonomski isplativu i ekološki prihvatljivu energiju potrebnu za navodnjavanje. Mnoge su prednosti korištenja takvog izvora energije u svrhe navodnjavanja, što uključuje poboljšanje kvalitete ljudskog života u životnoj zajednici (povećana proizvodnja i doprinos sigurnosti opskrbe hranom), povećanu socijalnu korist (smanjenje siromaštva, kao i redukcija emisija u okoliš) te smanjenje potrošnje fosilnih goriva (IRENA 2016).

U ovom radu napravljena je analiza osjetljivosti kako bi se dobio pregled važnosti ulaznih parametara i uvid u njihovu osjetljivost na promjene njihovih vrijednosti. To daje mogućnost uvida u važnost pojedinog parametra, odnosno ulazne vrijednosti parametara, kao i mogućnost određivanja koliko će neka promjena vrijednosti pojedinog ulaznog parametra utjecati na veličinu svakog podsustava, odnosno na promjenu vrijednosti snage FN generatora, volumena vodospreme i kapaciteta crpne stanice. Postupak analize osjetljivosti, odnosno određivanja koeficijenta osjetljivosti K_k izvršen je uobičajenim izračunom parcijalnih derivacija izraza (Hamby 1994) za snagu FN generatora $P_{el, FN}$, volumena vodospreme V_{op} te potrebnog kapaciteta crpne stanice Q_{CS} po svim parametrima a_k koji ulaze u svaki pojedini izraz navedenih veličina pojedinih podsustava.

2. ANALIZA OSJETLJIVOSTI

Za potrebe ovog rada, analiza osjetljivosti napravljena je u svrhu pregleda ulaznih parametara te kako bi se vidjelo koji je od svih ulaznih parametara najosjetljiviji na promjene vrijednosti. Drugim riječima, analiza osjetljivosti napravljena je kako bi se vidjelo na koji od parametara treba obratiti pažnju kod zadavanja njegove ulazne vrijednosti (Hamby 1994). Time će se vidjeti i koliko će promjena vrijednosti pojedinog ulaznog parametara utjecati na vrijednosti podsustava, odnosno na promjenu vrijednosti snage FN generatora, operativnog volumena vodospreme i kapaciteta crpne stanice. Prvi korak je izrada analize osjetljivosti ulaznih parametara s obzirom na jednadžbe za snagu FN generatora $P_{el, FN}$, potrebni volumen vodospreme V_{op} , kao i kapacitet crpne stanice Q_{CS} . Tim korakom se želi vidjeti koji od ulaznih parametara ima(ju) najveći utjecaj na veličine $P_{el, FN}$, V_{op} i Q_{CS} , a koji najmanji utjecaj.

Izraz za snagu FN generatora $P_{el, FN}$ (W) glasi (Margeta & Glasnović 2011):

$$P_{el, FN(i)} = \frac{2.72H_{CS(i)}}{[1 - \alpha_c(T_{cel(i)} - T_0)]\eta_{CSI}\eta_S E_{S(i)}} V_{CS(i)} \quad i = 1, 2, \dots, 365 \text{ dana} \quad (1)$$

gdje je:

- H_{CS} manometarska visina crpljenja (m);
- E_s srednja dnevna jakost Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu (kWh/m^2);
- V_{CS} precrpljena količina vode posredstvom FN generatora (m^3);
- α_c temperaturni koeficijent solarne ćelije ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);
- η_S postotak iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja tj. koeficijent kojim se množi E_s zbog varijabilnosti Sunčeve energije tijekom dana (godine) (%);
- η_{CS} učinkovitost crpne stanice (%);
- η_I učinkovitost invertora (%);
- η_{CSI} prosječna učinkovitost invertora i crpke koja se može izraziti preko:

$$H_{CSI} = \eta_P \times \eta_I \quad (2)$$

- T_{cel} temperatura solarnih ćelija i ona je izražena preko meteoroloških parametara:

$$T_{cel(i)} = 2.7E_{S(i)} + T_{a(i)} \quad (3)$$

- T_a ulazna srednja dnevna temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$);
- T_0 temperatura u standardnim testnim uvjetima i iznosi 25°C (Kenna & Gillett 1985).

Potrebni volumen vodospreme V_{op} dobije se iz:

$$V_{op(i)} = \max \left[\sum_{i=1}^{24} (Q_{CS(i,t)} - Q_{OV(i,t)}) \right], I \leq t \leq i \quad (4)$$

gdje $t = 1, \dots, 24$ h, $i = 1, \dots, 365$ dana.

Kapacitet crpne stanice dobije se iz izraza:

$$Q_{CS(i)} = \frac{V_{CS(i)}}{T_{S(i)}} = \frac{P_{el, FN(i)}}{T_{S(i)}} \frac{[1 - \alpha_c(T_{cel(i)} - T_0)]\eta_{CSI} E_{S(i)}}{2.72H_{CS(i)}} \quad (5)$$

Potrebna snaga crpne stanice dobije se iz izraza:

$$P_{CS} = \frac{\rho g Q_{CS} H_{CS}}{\eta_{CS}} \quad (6)$$

Iz jednadžbe (6) vidljivo je da u stvari kapacitet crpne stanice Q_{CS} definira kolika će biti snaga crpne stanice P_{CS} , jer su sve ostale veličine konstantne. Veličine H_{CS} , α_c , T_0 , η_{CSI} , ρ , g , η_{CS} , T_{cel} , E_s , T_s i T_a su promjenjive za sve proračune navedene u jednadžbama (1), (4) – (6).

Analiza osjetljivosti primijeniti će se korištenjem parcijalnih derivacija. Općenito gledano, postupak analize osjetljivosti, odnosno određivanja koeficijenta osjetljivosti K_k sastoji se od slijedećih postupaka. U prvom koraku potrebno je odrediti prve parcijalne derivacije izraza za snagu FN generatora $P_{el, FN}$, volumena vodospreme V_{op} , te potrebnog kapaciteta crpne stanice Q_{CS} po svim parametrima a_k koji ulaze u izraz za svakoga od njih. U dobivene izraze za parcijalne derivacije potrebno je uvrstiti odgovarajuće veličine ulaznih parametara a_k .

Općeniti izraz za te parcijalne derivacije je:

$$K_k = \frac{\partial f}{\partial a_k} \quad (7)$$

gdje f označava određenu funkciju (u ovom slučaju to je snaga FN generatora $P_{el, FN}$, potrebni operativni volumen vodospreme V_{op} , te kapacitet crpne stanice Q_{CS}). Deriviranjem f po svakome od a_k i uvrštavanjem vrijednosti a_k u taj dobiveni izraz za derivaciju dobije se apsolutna vrijednost koeficijenta osjetljivosti K_k za svakoga od a_k (Hamby 1994). U tom slučaju je i jedinica od K_k jedinica funkcije f podijeljena sa jedinicom funkcije a_k . Ovakva veličina koeficijenta K_k nije pogodna za međusobno uspoređivanje te je tada preporučljivo tu dobivenu vrijednost pomnožiti sa vrijednosti a_k , odnosno sa vrijednošću parametra po kojem se radila derivacija, čime se dobiju vrijednosti pogodnije za međusobno uspoređivanje (Hamby 1994).

Ukoliko se pogleda **jednadžba (1)**, na snagu FN generatora $P_{el, FN}$ utječu klimatski faktori, kao i faktori vezani uz karakteristike FN ćelije i crpke za vodu. Jednadžba za određivanje potrebnog operativnog volumena vodospreme V_{op} , odnosno **jednadžba** bilance vodospreme **(4)** sastoji se od dotoka vode u vodospremu nastalog radom crpne stanice, odnosno pripadnim kapacitetom crpne stanice Q_{CS} . Izlaz vode iz vodospreme Q_{OV} generiran je potrebama stanovništva, a te potrebe imaju isti režim tijekom svakog dana, s time da se mijenjaju tražene količine vode tijekom godine. Što se tiče potrebnog kapaciteta crpne stanice Q_{CS} , na njega također utječu i klimatski parametri, kao i parametri crpne stanice. Isto se može primijeniti i sa snagom crpne stanice P_{CS} , no analiza osjetljivosti napravljena za kapacitet crpne stanice Q_{CS} ujedno pokazuje utjecaj ulaznih parametara i na snagu crpne stanice P_{CS} , budući da su tamo uključeni svi ulazni parametri i za snagu crpne stanice P_{CS} .

2.1. ANALIZA OSJETLJIVOSTI FN GENERATORA I INVERTORA $P_{el, FN}$

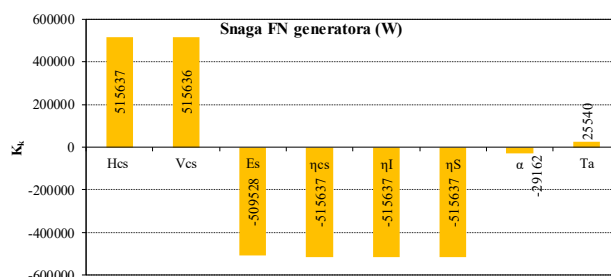
Ulazni parametri za analizu osjetljivosti potrebne snage FN generatora $P_{el, FN}$ su (Đurin & Margeta 2014; Đurin & Baić 2016):

- H_{CS} manometarska visina crpljenja, iznosi 82.41 m;
- E_s ulazna srednja dnevna jakost Sunčevog zračenja na horizontalnu plohu, 0.93 kWh/m²;
- T_a ulazna srednja dnevna temperatura zraka, iznosi 10.5 °C;
- V_{CS} precrpljena količina vode posredstvom FN generatora, iznosi 850 m³ na dan;
- α_c temperaturni koeficijent solarne ćelije, iznosi 0.005 °C⁻¹;
- η_s postotak iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja tj. koeficijent kojim se množi E_s zbog varijabilnosti Sunčeve energije tijekom dana (godine), usvojeno je radi sigurnosti da iznosi 0.5 (50 %);
- η_{CS} učinkovitost crpne stanice, iznosi 0.9 (90 %);
- η_I učinkovitost invertora, iznosi 0.833 (83.3 %);
- η_{CSI} prosječna učinkovitost invertora i crpke, iznosi 0.75 (75 %).

Proračunata snaga FN generatora iz **(1)** iznosi 512.50 kW. Za ovaj slučaj analize snage FN generatora, korištenjem **jednadžbe (7)** dobije se izraz:

$$K_k = \frac{\partial P_{el, FN}}{\partial a_k} \quad (8)$$

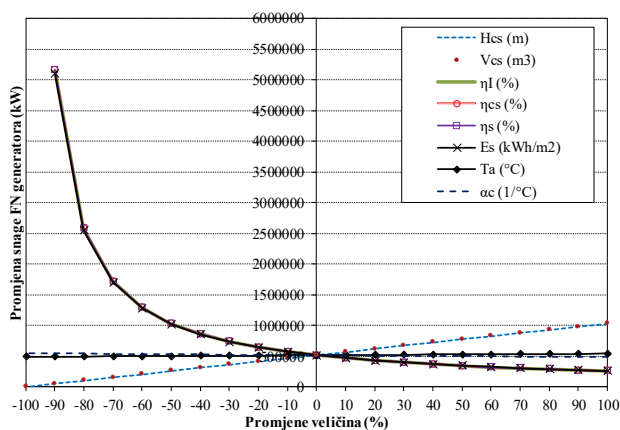
pri čemu su $a_k = H_{CS}, E_s, T_a, V_{CS}, \alpha_c, \eta_s, \eta_{CS}, \eta_I$. Jednostavnije rečeno, potrebno je derivirati **jednadžbu (1)**, $P_{el, FN}$, prema svim prethodno navedenim parametrima a_k . Tada se u dobivene derivacije po svakome od a_k trebaju uvrstiti njihove vrijednosti, čime se dobiju relativne vrijednosti koeficijenata osjetljivosti za svaki od ulaznih parametara snage FN generatora $P_{el, FN}$. Kako bi se dobile apsolutne vrijednosti koeficijenata osjetljivosti K_k prikazane na **Slici 1**, za svaki od tih parametara, potrebno je pomnožiti relativne vrijednosti koeficijenata osjetljivosti sa pripadajućom vrijednosti parametra po kojem se derivacija radila.



Slika 1. Apsolutne vrijednosti koeficijenata osjetljivosti K_k za svaki od ulaznih parametara snage FN generatora $P_{el, FN}$

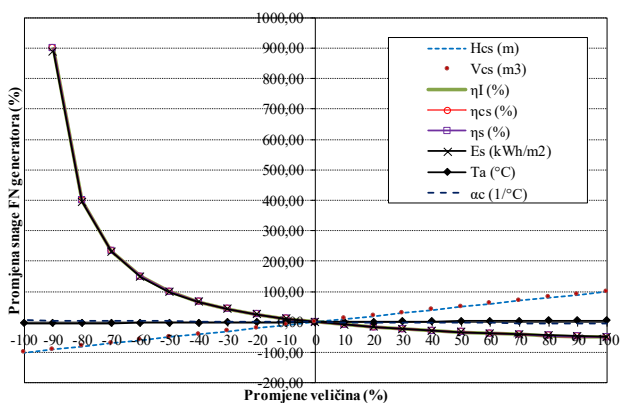
Iz **Slike 1** vidljivo je da najjači proporcionalni utjecaj (povećanje vrijednosti parametra - povećanje vrijednosti snage FN generatora $P_{el, FN}$) na snagu FN generatora $P_{el, FN}$ imaju manometarska visina crpljenja H_{CS} i količina precrpljene vode V_{CS} . Iz njihovih vrijednosti može se zaključiti da navedeni parametri imaju podjednaki učinak na snagu FN generatora $P_{el, FN}$, dok utjecaj temperature zraka T_a nije značajan. Isto tako, vidljivo je da jakost Sunčevog zračenja E_s , postotak iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja η_s , koeficijent učinkovitosti crpne stanice η_{CS} i koeficijent učinkovitosti invertora η_I imaju značajan obrnuto proporcionalni učinak (povećanje vrijednosti parametra - smanjenje vrijednosti snage FN generatora $P_{el, FN}$) na snagu FN generatora $P_{el, FN}$. Također se iz njihovih vrijednosti vidi da je njihov učinak podjednak, dok utjecaj temperaturnog koeficijenta solarne ćelije α_c nije značajan.

Dodatno je napravljena i analiza osjetljivosti snage FN generatora $P_{el, FN}$ na način da su vrijednosti svih ulaznih parametara mijenjane u rasponu $\pm 100\%$ u koracima od 10% s obzirom na svoju ulaznu vrijednost. Na **Slici 2** prikazano je kako i u kolikoj mjeri promjene ulaznih veličina utječu na snagu FN generatora $P_{el, FN}$, kao i kako su te promjene izražene apsolutno (u njihovim jedinicama).



Slika 2. Prikaz utjecaja apsolutnih promjena veličina ulaznih parametara na snagu FN generatora $P_{el, FN}$ (W)

Promjene pojedinih ulaznih podataka s matematičke strane jesu ispravne, ali nisu s praktične strane (npr. promjene učinkovitosti crpke η_{CS} i invertora η_I u rasponu od $\pm 100\%$ nisu stvarne jer se time dobije da se njihove učinkovitost kreću više od 100% , a to sa praktičnog pogleda nije moguće). Taj postupak dokazuje analizu osjetljivosti provedenu postupcima parcijalnih derivacija prikazanih na Slici 1. Također, na Slici 2 se vidi da se ovim postupkom dobije i uvid u utjecaj povećanja pojedinih vrijednosti parametara na snagu FN generatora $P_{el, FN}$. Isto tako se Slika 2 može prikazati i na osnovu relativnih promjena snage FN generatora $P_{el, FN}$ na način da se umjesto u kW izraze u postocima, što je i napravljeno te prikazano na Slici 3.



Slika 3. Utjecaj relativnih promjena veličina ulaznih parametara na snagu FN generatora $P_{el, FN}$ (W)

2.2. ANALIZA OSJETLJIVOSTI OPERATIVNOG VOLUMENA VODOSPHERE V_{op}

Analiza osjetljivosti operativnog volumena vodospreme V_{op} napravljena je tako da se promatra kako dotok vode u vodospremu, odnosno kapacitet crpne stanice Q_{CS} , te izlaz vode iz vodospreme utječu na volumen vodospreme. Drugim riječima, ovdje se promatra razlika između dotoka vode u vodospremu i izlaza vode iz vodospreme, budući da upravo ta razlika ΔV (manjak ili višak) definira volumen vodospreme (najveći višak

volumena vodospreme zbrojen sa apsolutnom vrijednosti najvećeg manjka), (Margeta 2010). Ulazni parametri koji ulaze u tu razliku ostaju isti kao i u prethodnoj analizi osjetljivosti snage FN generatora $P_{el, FN}$ s time da umjesto precrpjene količine vode V_{CS} ovdje ulazi snaga $P_{el, FN}$, te se radi analiza utjecaja vremena crpljenja T_S (h), kao i dnevne potrebne količine vode V_{OV} (podrazumijeva se da je ovo dnevna maksimalna potreba za vodom, izražena u m^3/dan) i koeficijenta satne neravnomjernosti potrošnje vode K_h . Prema tome, jednačba koja se analizira je:

$$\Delta V = Q_{CS} - Q_{OV} \quad (9)$$

odnosno:

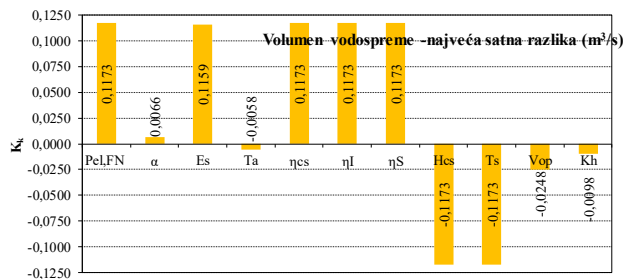
$$\Delta V = \frac{P_{el, FN(i)}}{T_{S(i)}} \frac{[1 - \alpha_c(T_{cel(i)} - T_0)] \eta_{CS} \eta_S E_{S(i)}}{2.72 H_{CS(i)}} - \frac{V_{OV}}{24} \times K_h \quad (10)$$

Trajanje Sunčevog zračenja T_S , će ovdje biti izraženo u (s), a ne u (h) radi dimenzijske korektnosti vremena trajanja Sunčevog zračenja. Dobivena vrijednost volumena vodospreme prema (4) iznosi $V_{op} = 1100 m^3$.

Opći izraz za koeficijent osjetljivosti potrebnog volumena vodospreme je:

$$K_k = \frac{\partial \Delta V}{\partial a_k} \quad (11)$$

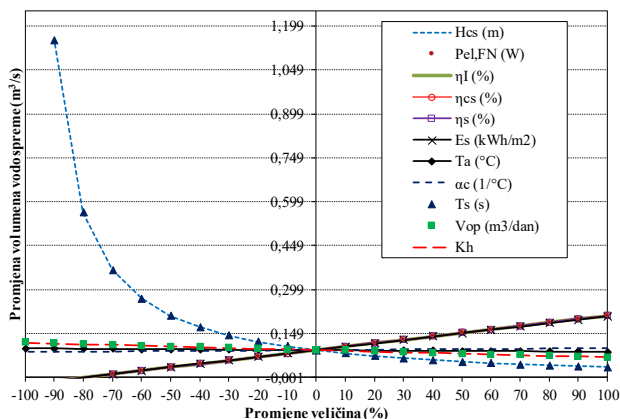
Ako se primijeni analogan postupak kao i kod analize osjetljivosti snage FN generatora $P_{el, FN}$, odnosno primjenjujući jednačbu (11), dobiju se vrijednosti koeficijenta osjetljivosti za potrebni volumen vodospreme V_{op} , što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Apsolutne vrijednosti koeficijenta osjetljivosti K_k za svaki od ulaznih parametara volumena vodospreme V_{op}

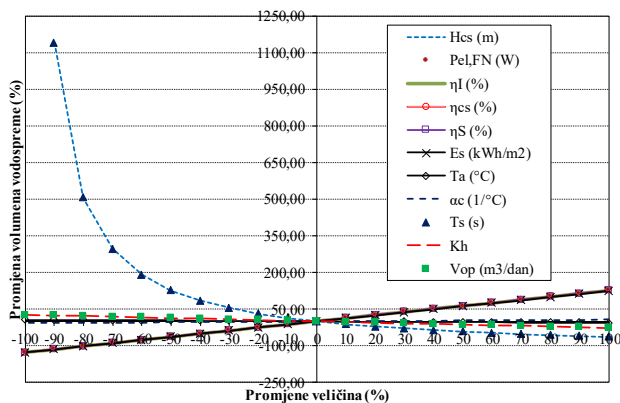
Iz Slike 4 vidljivo je da najveći proporcionalni utjecaj (veća vrijednost parametra - veća vrijednost operativnog volumena vodospreme) na operativni volumen vodospreme V_{op} imaju snaga FN generatora $P_{el, FN}$, jakost Sunčevog zračenja E_s , učinkovitosti crpne stanice η_{CS} i invertora η_I , te koeficijent iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja η_S , dok utjecaj toplinskog koeficijenta solarne ćelije α_c nije značajan. S druge strane, obrnuto proporcionalni utjecaj (veća vrijednost parametra - manja vrijednost operativnog volumena vodospreme) na V_{op} imaju manometarska visina dizanja H_{CS} (m) i trajanje Sunčevog zračenja T_S (s, h). Ovdje je zanimljivo da potreba za vodom V_{OV} (m^3) ima mali obrnuto

proporcionalni utjecaj na V_{op} , isto kao i koeficijent satne neravnomjernosti potrošnje K_h , što se objašnjava time da je kod crpljenja rad crpke, gdje on ovisi (između ostaloga) o trajanju Sunčevog zračenja, u kratkom periodu vremena T_S . Drugim riječima, u kratkom periodu vremena T_S mora se precrpsti velika količina vode, a samim time je i kapacitet crpke veći nego da se npr. crpi voda kroz 24 sata ili neki period vremena duži od T_S . Tražena satna potreba za vodom je sigurno manja od ovog dotoka vode u jednom satu. Nakon provedenog deriviranja, tj. nakon uvrštavanja svih vrijednosti, vidi se da je veću pažnju potrebno obratiti na rad crpne stanice. Isto se može vidjeti i kod koeficijenta satne neravnomjernosti K_h . U tom slučaju je maksimalna potreba za vodom upravo u onom satu kad se crpi voda u vodospremu. Ovdje se usvojilo (iz proračunatih volumena vodospreme) da se crpljenje odvija tijekom $T_S = 2$ sata gdje se poklopilo da je upravo u tom periodu i najveća potrošnja vode, no ipak postoji razlika između dotoka vode i potrošnje vode, pri čemu je dotok veći. Veličine ulaznih parametara volumena vodospreme V_{op} s obzirom na promjene svojih vrijednosti prikazane su na Slici 5.



Slika 5. Prikaz utjecaja apsolutnih promjena veličina ulaznih parametara na operativni volumen vodospreme V_{op} (m^3)

Sa Slike 5 može se vidjeti da se zaključci vezani uz Sliku 4 poklapaju i sa promjenama na Slici 5. Apsolutne promjene ulaznih parametara prikazanih na Slici 5, prikazane su i kao relativne promjene na Slici 6.



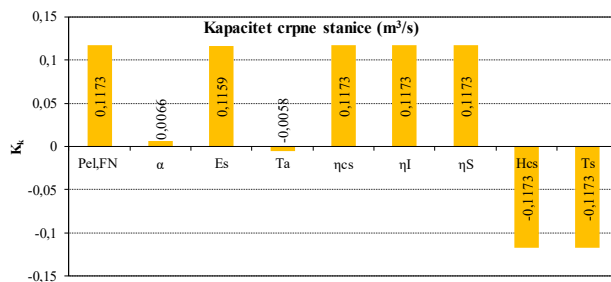
Slika 6. Prikaz relativnih promjena veličina ulaznih parametara na volumen vodospreme V_{op} (m^3)

2.3. ANALIZA OSJETLJIVOSTI KAPACITETA CRPNE STANICE Q_{CS}

Proračunati kapacitet crpne stanice prema (5) iznosi $Q_{CS} = 118$ l/s. Korištenjem jednadžbi (5) i (7) dobije se izraz na osnovu kojeg se izračunava koeficijent osjetljivosti kapaciteta crpne stanice Q_{CS} :

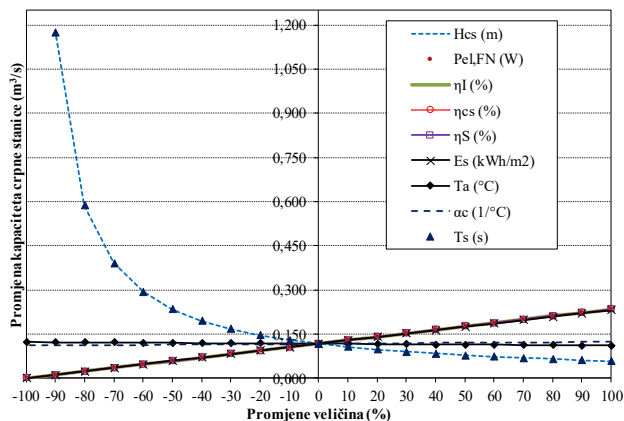
$$K_k = \frac{\partial Q_{CS}}{\partial a_k} \quad (12)$$

Kao i kod prethodnih analiza osjetljivosti snage FN generatora $P_{el, FN}$ i volumena crpne stanice V_{op} , analognim postupkom su dobiveni koeficijenti osjetljivosti K_k , što je prikazano na Slici 7.



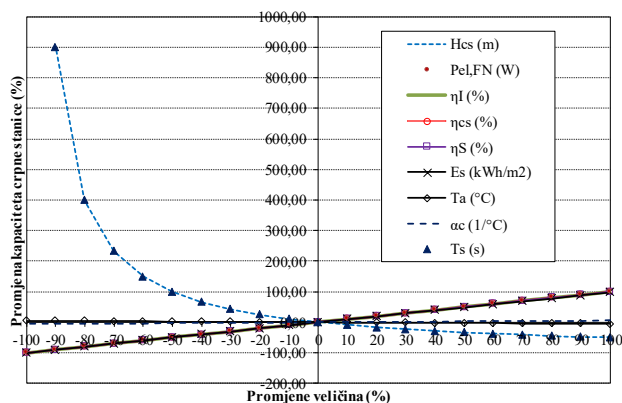
Slika 7. Apsolutne vrijednosti koeficijenta osjetljivosti K_k za svaki od ulaznih parametara kapaciteta crpne stanice Q_{CS}

Kao što je vidljivo iz Slike 7, najveći proporcionalni utjecaj (veća vrijednost parametra - veća vrijednost kapaciteta crpne stanice) na kapacitet crpne stanice Q_{CS} imaju snaga FN generatora $P_{el, FN}$, jakost Sunčevog zračenja E_s , učinkovitosti crpne stanice η_{CS} i invertora η_I , te koeficijent iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja η_S , dok utjecaj toplinskog koeficijenta solarne ćelije α_c , kao i srednje dnevne temperature zraka T_a nije značajan. S druge strane, obrnuto proporcionalni utjecaj na V_{op} imaju manometarska visina dizanja H_{CS} i trajanje Sunčevog zračenja T_S (s, h). Promjene vrijednosti ulaznih parametara kapaciteta crpne stanice Q_{CS} s obzirom na promjene njihovih vrijednosti prikazane su na Slici 8.



Slika 8. Prikaz utjecaja apsolutnih promjena veličina ulaznih parametara na kapacitet crpne stanice Q_{CS} (m^3/s)

Na Slici 8 prikazane su veličine na kojima se vidi preklapanje sa dobivenim zaključcima na osnovi Slike 7. Relativne promjene veličine ulaznih parametara na kapacitet crpne stanice Q_{CS} (m^3/s) prikazane su na Slici 9.



Slika 9. Relativne promjene veličine ulaznih parametara na kapacitet crpne stanice Q_{CS} (m^3/s)

3. ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazana je analiza osjetljivosti pojedinih dijelova urbanog vodoopskrbnog sustava pokretanog solarnom fotonaponskom (FN) energijom. Cilj je bio dobiti uvid u osjetljivost ulaznih parametara s obzirom na promjene vrijednosti. Time se dobio uvid u to koliko će promjena vrijednosti pojedinog ulaznog parametara utjecati na vrijednosti podsustava, odnosno na promjenu vrijednosti snage FN generatora, operativnog volumena vodospreme i kapaciteta crpne stanice. Analiza napravljena s obzirom na snagu podsustava FN (FN generator i inverter) pokazala je da najjači proporcionalni utjecaj na snagu FN generatora $P_{el, FN}$ imaju manometarska visina crpljenja H_{CS} i količina precrpljene vode V_{CS} , te da ti parametri imaju podjednaki značaj. Utjecaj temperature zraka ovdje T_a nije značajan. Također se može zaključiti da jakost Sunčevog zračenja E_s , postotak iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja η_s , koeficijent učinkovitosti crpne stanice η_{CS} i koeficijent učinkovitosti invertora η_I imaju značajan obrnuto proporcionalni učinak na snagu FN generatora $P_{el, FN}$. Iz njihovih vrijednosti se vidi da imaju podjednak učinak na podsustav, dok utjecaj toplinskog koeficijenta solarne ćelije α_c nije značajan. Analiza osjetljivosti s obzirom na operativni volumen vodospreme pokazala je da najveći proporcionalni utjecaj na operativni volumen vodospreme V_{op} imaju snaga FN generatora $P_{el, FN}$, jakost Sunčevog zračenja E_s , učinkovitost crpne stanice η_{CS} i invertora η_I , te koeficijent iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja η_s , dok utjecaj toplinskog koeficijenta solarne ćelije α_c nije značajan. Obrnuto proporcionalni utjecaj ovdje imaju manometarska visina dizanja H_{CS} (m) i trajanje Sunčevog zračenja T_s . Prema provedenoj analizi može se zaključiti da veliku pažnju treba obratiti na rad crpne stanice. Što se tiče rezultata analize osjetljivosti s obzirom na kapacitet crpne stanice, dobiveni su zaključci da najveći proporcionalni utjecaj na kapacitet crpne stanice Q_{CS} imaju snaga FN generatora $P_{el, FN}$, jakost Sunčevog zračenja E_s , učinkovitost crpne stanice η_{CS} i invertora η_I , te koeficijent

iskorištenja jakosti Sunčevog zračenja η_s , dok utjecaj toplinskog koeficijenta solarne ćelije α_c , kao i srednje dnevne temperature zraka T_a nisu značajni. Isto tako vidi se da obrnuto proporcionalni utjecaj na V_{op} imaju manometarska visina dizanja H_{CS} i trajanje Sunčevog zračenja T_s . Ovim analizama osjetljivosti pojedinih dijelova urbanog vodoopskrbnog sustava pokretanog FN energijom dobivene se smjernice temeljem kojih je vidljivo na koji od ulaznih parametara je potrebno obratiti veću pozornost, a na koji manju, s obzirom na njihov utjecaj. Vidljivo je da klimatski i tehnološki parametri podjednako utječu na snagu FN generatora, volumen vodospreme i kapacitet crpne stanice.

4. LITERATURA

- Bakelli Y, Hadj A A, Azoui B (2011) Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar Energy*, 85: 288-294
- Bouzidi B (2013) New sizing method of PV water pumping systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4: 1-10
- Chandel S S, Nagaraju Naik M, Chande R (2015) Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy*, 49: 1084-1099
- Cuadros F, López-Rodríguez F, Marcos A, Coello J (2004) A procedure to size solar-powered irrigation (photoirrigation) schemes. *Solar Energy*, 75: 465-473
- Đurin B (2014) Održivost rada urbanog vodoopskrbnog sustava. Disertacija. Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, Split.
- Đurin B, Baić L (2016) Functional dependencies of the size of certain parts of the energetically and hydraulically sustainable urban water supply system driven by solar photovoltaic energy, XXV. znanstveni skup o energiji i zaštiti okoliša, ENERGIJA I OKOLIŠ 2016, Rijeka, Hrvatski savez za sunčevu energiju Rijeka: 337-348
- Đurin B, Margeta J (2014) Analysis of the possible use of solar photovoltaic energy in urban water supply systems, *Water*, 6: 1546-1561
- Hamby D M (1994) A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models, *Environmental Monitoring and Assessment* 32(2): 135-154
- Hamidat A, Benyoucef B (2009) Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. *Energy Policy*, 37: 1489-1501
- IRENA (2016) Solar pumping for irrigation: Improving livelihoods and sustainability, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Kelley L C, Gilbertson E, Sheikh A, Eppinger S D, Dubowsky S (2010) On the feasibility of solar-powered irrigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 2669-2682
- Kenna, J, Gillett B (1985) *Solar Water Pumping: A Handbook*, Intermediate Technology Publications. London, United Kingdom.
- Margeta, J (2010) *Vodoopskrba naselja: planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode - 1. izd.* Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, Hrvatska.
- Margeta J, Glasnović Z (2011) Exploitation of temporary water flow by hybrid PV-hydroelectric plant. *Renewable Energy* 36(8): 2268-2277
- Margeta J, Glasnović Z (2012) Theoretical settings of photovoltaic-hydro energy system for sustainable energy production. *Solar Energy*, 86 (3): 972-982

LABORATORIJ ZA GEOKEMIJU OKOLIŠA – PREGLED 10 GODINA POSTOJANJA I DJELOVANJA

LABORATORY OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY – AN OVERVIEW OF 10 YEARS OF EXISTENCE AND ACTIVITY

Saša Zavrtnik^{1*}

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za hidrotehniku, Laboratorij za geokemiju okoliša, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: zavrtnik@gfv.hr

Sažetak: U radu je pružen pregled 10 godina povijesti postojanja i djelovanja Laboratorija za geokemiju okoliša Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Uvodno je dan osvrt na početke i razvoj Geotehničkog fakulteta u čijem se sastavu laboratorij nalazi. Laboratorij za geokemiju okoliša ustrojen je 2006. godine unutar Zavoda za hidrotehniku kao Hidrogeokemijski laboratorij. Njegov razvoj kasnije uključuje i osnivanje Kemijskog praktikuma. Laboratorij za geokemiju okoliša primarno ima i ispunjava svoju svrhu kroz sudjelovanje u izvođenju praktične nastave. Nastava se izvodi iz nekoliko kolegija preddiplomskog i diplomskog studija Inženjerstva okoliša kao i Zdrženog međunarodnog doktorskog studija. Uz nastavnu djelatnost laboratorij svojom analitikom sudjeluje u znanstvenim i stručnim projektima Zavoda za hidrotehniku kao i ostalih zavoda Geotehničkog fakulteta. Analitička djelatnost laboratorija uključuje terenske i laboratorijske analize uzoraka voda, tla i eluata otpada, a od analitičkih tehnika mjerenja koristi se atomska apsorpcijska i emisijska spektrometrija, spektrofotometrija, luminiscencijska spektrometrija, TOC/TN i druge metode. Laboratorij za geokemiju okoliša također pruža usluge agrokemijskih analiza tla čime pridonosi kontroliranijoj i racionalnijoj gnojivbi čuvajući tako naše prirodne resurse.

Ključne riječi: Laboratorij za geokemiju okoliša, Kemijski praktikum, analitika, inženjerstvo okoliša, Geotehnički fakultet

Abstract: This paper presents an overview of history and activity in the past 10 year period for the Laboratory of environmental geochemistry, Faculty of geotechnical engineering, Zagreb University. Introduction gives a reflection on the beginning and development of the Faculty of geotechnical engineering. Laboratory of environmental geochemistry, initially named Hydrogeochemical laboratory, was founded in 2006 as a part of the Department of hydrotechnics. Its development includes the foundation of Chemical Practicum. Laboratory of environmental geochemistry has and fulfils its purpose through practical classes. Exercises are on undergraduate and graduate level and on Joint doctoral study programme too. Laboratory also offers analytical services and participates on scientific and professional projects of Department of hydrotechnics and other departments of the Faculty of Geotechnical Engineering. Laboratory analytics includes field and laboratory analyses of water, soil and waste eluate samples using analytical techniques as atomic absorption spectrometry, spectrophotometry, TOC/TN and others. Laboratory provides agrochemical services by which it contributes to controlled and rationalized fertilization and protects our natural resources.

Keywords: Laboratory of environmental geochemistry, Chemical Practicum, analytics, environmental engineering, Faculty of geotechnical engineering

Received: 15.03.2017

Published online: 21.07.2017

1. UVOD

U rujnu 2016. godine navršilo se punih 10 godina postojanja i kontinuiranog djelovanja Laboratorija za geokemiju okoliša poznatog i pod skraćenicom LGO. Stoga se gotovo prirodno nameće cilj ovoga rada koji je pružanje povijesnog pregleda osnutka i cjelokupnog rada Laboratorija za geokemiju okoliša. Svrha mu je također sakupiti sve podatke koji su rezultat upravo njegove djelatnosti u prvom desetljeću te ih sumirati. Ovo može poslužiti kao prikaz svega što je dosad ostvareno, zatim može pružiti uvid u sadašnje stanje i položaj LGO-a, ali može biti od koristi i za eventualne buduće projekcije kroz davanje smjernica njegovih aktivnosti u nadolazećim godinama.

Prije pregleda početaka LGO-a dobro je ukratko osvrnuti se na početke Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u čijem se sastavu LGO nalazi. Oni sežu do godine 1969. kada je s radom započela Viša tehnička rudarska geoistraživačka škola. U to vrijeme bilo je potrebno obrazovati kadar rudarskih stručnjaka za rad u jamskom rudarenju. No ubrzo, jenjavanjem prakse kopanja ugljena u nas, 1975. godine dolazi do preimenovanja Više tehničke rudarske geoistraživačke škole u Višu geotehničku školu koja djeluje u okviru Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te obrazuje geotehnički i hidrotehnički stručni kadar. Nakon 15 godina rada Viša geotehnička škola 1990. godine prerasta u Geotehnički fakultet koji je samostalna i jedna od ravnopravnih sastavnica Sveučilišta u Zagrebu.

Geotehnički fakultet je do 1997. godine izvodio sveučilišni studijski program Geotehnike u polju rudarstva, a od 1997. godine pa do 2005. godine studij Geotehnike u polju građevinarstva. Od 2005. godine studenti upisuju studijski program

Geoinženjerstvo i po prvi puta Geotehnički fakultet ima smjer Inženjerstvo okoliša, a od akademske godine 2012./2013. i studij Inženjerstva okoliša. Na svom početku fakultet je imao ustrojena tri zavoda: Zavod za opće znanosti, Zavod za geotehniku i Zavod za hidrotehniku. Kasnije, u listopadu 2011. godine, osnovan je i četvrti zavod, Zavod za inženjerstvo okoliša (MZOPUG 2011).

Kako se Geotehnički fakultet postupno razvijao i upotpunjavao svoje djelatnosti, prvenstveno studentske programe u skladu s bolonjskim procesom, pokazala se velika potreba za poboljšanjem kvalitete nastave u njenom praktičnom obliku. U toj početnoj fazi promjene fokusa prema zaštiti okoliša i rastućem naglasku na praktičnoj nastavi vezanoj za kemiju i hidrogeokemiju, sve se više osjećao određeni manjak suvremenog analitičkog prostora i opreme kojeg se nastojalo na odgovarajući način popuniti. U to vrijeme se praktična nastava iz kemije izvodila doslovno „preko puta“ Hallerove aleje, u praktikumu podružnice Tekstilno tehnološkog fakulteta. Jedino trajno rješenje bilo je osnivanje vlastitog laboratorija u kojem bi se stečena teorijska znanja iz spomenutih kolegija mogla pretočiti u praksu na matičnom fakultetu. Ta ideja je zaživjela i projekt je započeo 2005. godine. Već 2006. godine na Geotehničkom fakultetu je ustrojen i opremljen Hidrogeokemijski laboratorij. Osnovan je u sklopu Zavoda za hidrotehniku. Svečanom otvorenju u rujnu 2006. godine prisustvovali su i predstavnici Rektorata Sveučilišta u Zagrebu, tadašnja rektorica prof.dr.sc. Helena Jasna Mencer i prorektor prof.dr.sc. Aleksa Bjeliš.

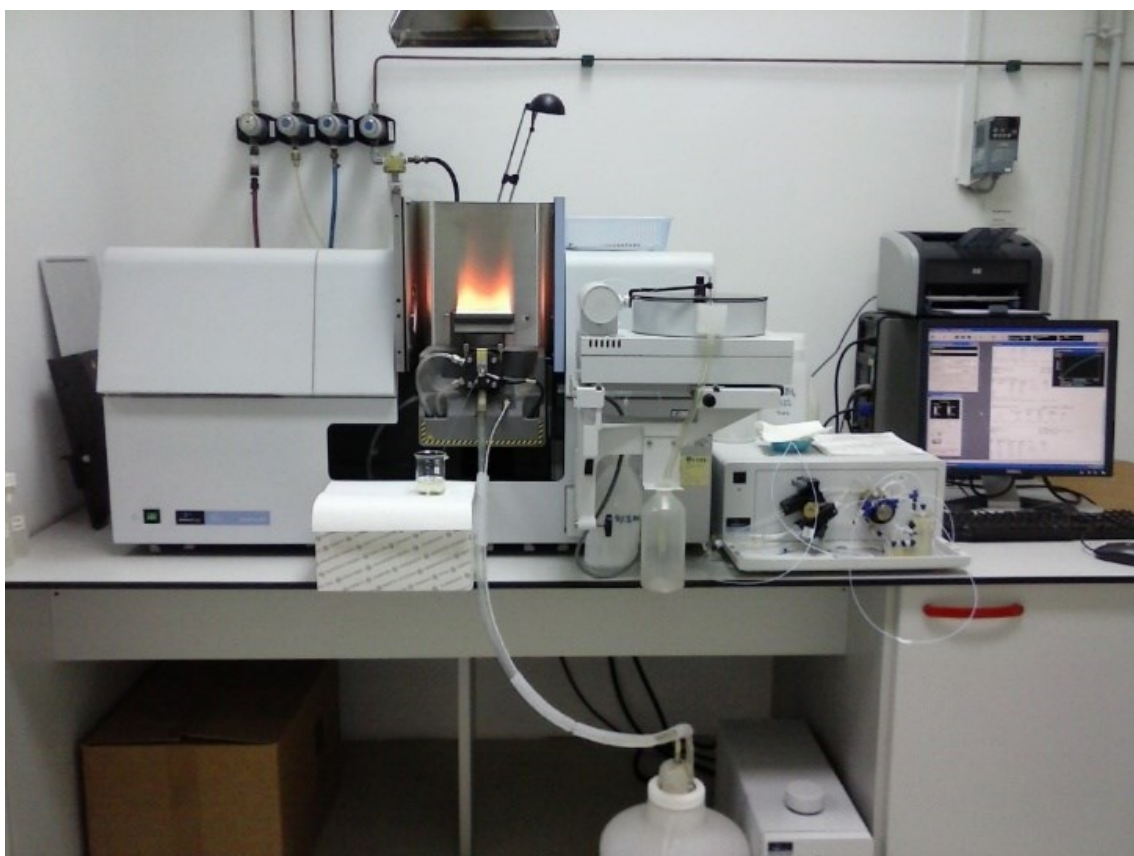
2. POČECI, USTROJ, OPREMANJE I RAZVOJ LABORATORIJA

Hidrogeokemijski laboratorij smješten je na 100 m² prostora bivše mineraloške zbirke koja se nalazila na polukatu zgrade Fakulteta odmah do predavaonice 1. Za njegovo opremanje korištena su financijska sredstva Ministarstva znanosti odnosno kredita Sveučilišta u Zagrebu za unapređivanje nastavne djelatnosti, zatim sredstva iz znanstvenih projekata kao i sredstva Fakulteta ostvarena kroz suradnju s gospodarstvom (ZHT 2012). Ovdje je potrebno istaknuti zasluge prof.dr.sc. Sanje Kapelj koja je na inicijativu prof.dr.sc. Božidara Biondića i uz podršku tadašnje uprave na čelu s dekanom prof.dr.sc.dr.h.c. Mladenom Kranjčecom idejni začetnik i pokretač cjelokupnog projekta. S inicijalnim sredstvima prostorija bivše mineraloške zbirke prilagođena je potrebama laboratorijske prakse tako što je prostor uređen postavljanjem prezida, potrebnih električnih i vodovodnih instalacija, odvoda, ventilacije te je kupljena kapitalna oprema uz nešto laboratorijskog pribora i posuđa.

Prvi djelatnici Laboratorija za geokemiju okoliša bili su doc.dr.sc. Sanja Kapelj, prva voditeljica laboratorija od njegova utemeljenja 2006. godine, koja je zahvaljujući financijskoj potpori Sveučilišta, Geotehničkog fakulteta, Zavoda za hidrotehniku i stručnih projekata uspjela opremiti laboratorij sa svim kapitalnim instrumentima (Pekin Elmer AAES, Perkin Elmer luminiscencijski spektrometar, HACH UV/VIS spektrofotometar, Shimadzu TOC/TN analizator, HACH turbidimetar, WTW i HACH pH metar/konduktometar/oksimetar, HACH terenskim laboratorijima za analizu voda i tala uz prateću opremu za uzimanje uzoraka iz bušotina i mjerenje u bušotinama SEBA, te ostalom potrebnom opremom. Tu je bio i Predrag Tepeš, dipl.ing.kem. koji je od siječnja 2006. godine zaposlen na radno mjesto asistenta te je svojim višegodišnjim laboratorijskim iskustvom stečenim u Plivi pomagao u daljnjem opremanju laboratorija te uspostavljanju i razvoju pojedinih analitičkih metoda. Zatim je u siječnju 2008. godine zaposlena Dragana Dogančić, dipl.ing.geol. u svojstvu stručnog suradnika, a nedugo za njom je na mjesto laboranta u travnju 2009. godine zaposlen Saša Zavrtnik, kem.teh. Nakon doc.dr.sc. Sanje Kapelj, 2009. godine voditeljem je postao dr.sc. Predrag Tepeš. U tom je razdoblju, točnije u svibnju 2009. godine, Hidrogeokemijski laboratorij postao Laboratorij za geokemiju okoliša. Doc.dr.sc. Predrag Tepeš svoju je dužnost voditelja laboratorija vršio predano do studenog 2012. godine, sve do nesretnog i preranog odlaska. Voditeljsko mjesto tada ponovno preuzima profesorica Kapelj, a nakon isteka njenog četverogodišnjeg mandata u listopadu 2016. godine voditeljstvo preuzima doc.dr.sc. Anita Ptiček Siročić.

Svojedobno, između 2009. i 2011. godine, Laboratorij za geokemiju okoliša imao je i svoj odvojeni analitički prostor namijenjen organskoj geokemiji. Taj se dio laboratorija nalazio u podrumskom prostoru Fakulteta, između prostorije Geotehničkog laboratorija i Laboratorija za oplemenjivanje sirovina. U njemu je bio smješten TOC/TN analizator te HPLC uređaj doniran od poduzeća Pliva na kojem je doc.dr.sc. Predrag Tepeš provodio probne analize herbicida i antibiotika u vodi te imao veliku želju i planove razviti i taj dio hidrogeokemijske analitike na Fakultetu. Nažalost, uslijed nesretnih i tužnih okolnosti do njegovog uspješnog i potpunog stavljanja u pogon nikada nije došlo. U tom je razdoblju LGO dobio i podrumski podstepenični prostor koji je uređen kao skladište laboratorija na način da je očišćen, postavljen je linoleum i montirane su police te doneseni ormari. Ovakvo je došlo do oslobađanja i rasterećenja laboratorijskih prostorija od terenske opreme, uzoraka, raznoraznih potrepština koje se rjeđe koriste i od zastarjele opreme, svega što je od tada odvojeno uskladišteno i čime je doprinijeto kvaliteti, ali i estetiци radnog okruženja u LGO-u.

Laboratorij je tako opremljen uređajima i popratnom opremom za provedbu hidrogeokemijskih ispitivanja, a to uključuje prikupljanje i terenske te laboratorijske analize uzoraka vode, tla i sedimenata. Od laboratorijske kapitalne opreme ističe se Perkin Elmer Atomski apsorpcijski spektrometar AAnalyst 800 (Slika 1), Shimadzu TOC/TN analizator (Slika 2), HACH UV/VIS spektrofotometar DR5000 (Slika 3), Perkin Elmer luminiscencijski spektrometar LS55, kuglični ahatni mlin Retsch PM100 (Slika 4) uz mnogo drugih pratećih laboratorijskih i terenskih uređaja i opreme (LGO 2017).



Slika 1. Atomski apsorpcijski spektrometar Perkin Elmer AAnalyst 800, FAES tehnika, analiza kalija



Slika 2. TOC/TN analizator SHIMADZU TOC-Vcpn + TN-1 + OCT-1, analiza ukupnog organskog ugljika



Slika 3. Spektrofotometar HACH DR5000, određivanje humusa



Slika 4. Kuglični ahatni mlin Retsch / PM 100

U LGO-u se ispituju fizikalna i kemijska svojstva prirodnih i otpadnih voda te eluata tla i otpada. Neki od elemenata koji se određuju, primjerice atomskom apsorpcijskom spektrometrijom su: Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Zn pri čemu se koriste plamena (FAAS) i grafitna (GFAAS) tehnika. Spektrofotometrijski se određuju: amonijak, nitriti, nitrati, fenoli, fluoridi, fosfati, kloridi, sulfati, sulfiti, sulfidi. Određuje se i: mutnoća, KPK, BPK, alkalitet, ukupna tvrdoća, kalcijeva tvrdoća, magnezijeva tvrdoća, koncentracija otopljenog kisika, pH, električna vodljivost, ukupna otopljena tvar – TDS, koncentracija trasera (natrijevog fluoresceina) kod podzemnih tokova, ukupni organski ugljik i ukupni dušik – TOC/DOC/TN i drugi pokazatelji. Uzorkovanje na terenu mogu obavljati i djelatnici laboratorija. (Slike 5 - 7) Uzorci tla se u laboratoriju suše i zatim melju u kugličnom ahatnom mlinu, razaraju se zlatotopkom, izmjenjivi kationi iz tla ekstrahiraju se različitim postupcima zavisno o potrebi.



Slika 5. Probno crpljenje piezometra PJ-2, Autokamp Korana, (travanj 2008.)



Slika 6. Uzorkovanje vode na terenu, Delovi, (2008.)



Slika 7. Uzorkovanje i analiza vode na terenu, Lipik, (rujan 2011.)

Djelatnici LGO-a osposobljeni su i kontinuirano se nastavljaju usavršavati za rad na uređajima i po metodama koje se koriste u analitičkom radu laboratorija.

LGO je bio akreditiran i od strane Hrvatske akreditacijske agencije prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Akreditacijsko područje obuhvaćalo je dvije metode za ispitivanje površinskih, podzemnih voda i voda za ljudsku potrošnju, a to su određivanje pH i TOC-a. Akreditacija je trajala od prosinca 2014. do svibnja 2016. godine. Proces akreditacije započeo je doc.dr.sc. Predrag Tepeš, a on je uspješno okončan pod voditeljstvom prof.dr.sc. Sanje Kapelj. Laboratorij je također od listopada 2007. godine redoviti član udruge Hrvatski laboratoriji Crolab (CROLAB 2007). LGO je zajedno s Geotehničkim laboratorijem u rujnu 2010. godine sudjelovao u organizaciji Crolab-ove godišnje konferencije u palači Županije i hotelu Turist u Varaždinu (Slika 8) (CROLAB 2010).



Slika 8. Doc.dr.sc. Predrag Tepeš, voditelj LGO-a na Crolab-ovoj konferenciji u Varaždinu, (listopad 2010.)

3. OSNIVANJE KEMIJSKOG PRAKTIKUMA

S vremenom je na Geotehničkom fakultetu došlo do povećanja upisnih kvota i broja upisanih studenata što je uzrokovalo povećati broj studenata na vježbama iz kolegija koji su se izvodili u LGO-u. Laboratorijski prostor određeno je vrijeme uspješno služio održavanju vježbi, no u jednom je trenutku postao premalen i više nije mogao primiti sve veći broj studenata, a da se u isto vrijeme održi kvaliteta nastave na visokom stupnju. Stoga je došao trenutak kada se pokrenuo postupak osnivanja Kemijskog praktikuma koji bi imao funkciju isključivo održavanja praktične nastave. Na taj bi način ona bila, iako povezana s Laboratorijem za geokemiju okoliša, fizički odvojena od analitičkog djelovanja LGO-a. Postupak je pokrenuo doc.dr.sc. Predrag Tepeš, a na tom putu pomagao mu je Saša Zavrtnik. Kemijski praktikum uspješno je osnovan, a prostor u potpunosti prilagođen i opremljen u prostorijama bivšeg Studentskog zbora na prvom katu zgrade Fakulteta. Za to su utrošena vlastita financijska sredstva Geotehničkog fakulteta. Svečano otvorenje bilo je 19.10.2011. godine (Slike 9 i 10) kada je otvoren i četvrti zavod na Fakultetu, Zavod za inženjerstvo okoliša (AZO 2012). Time su studenti Geotehničkog fakulteta dobili jedan suvremen i adekvatno opremljen nastavni prostor u kojem mogu svoja teoretska saznanja upotpuniti i proširiti u praktičnom obliku.



Slika 9. Svečano otvaranje Kemijskog praktikuma (19. listopada 2011.)

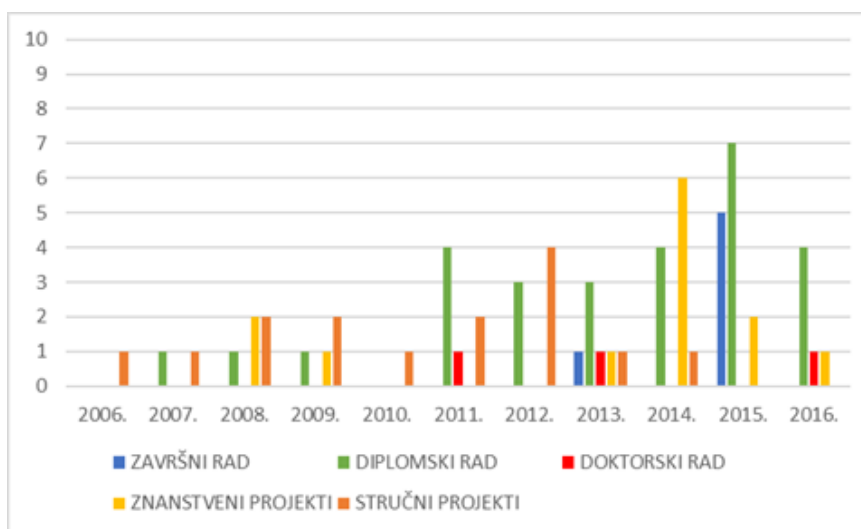


Slika 10. Svečano otvorenje Kemijskog praktikuma i Zavoda za inženjerstvo okoliša 19. listopada 2011., (na slici su doc.dr.sc. Predrag Tepeš, voditelj LGO-a, prof.dr.sc. Josip Mesec, dekan, doc.dr.sc. Aleksandara Anić Vučinić, predstojnica Zavoda za inženjerstvo okoliša i dr.sc. Mario Šiljeg, ravnatelj Agencije za zaštitu okoliša)

4. LGO DANAS I U BUDUĆNOSTI

Danas Laboratorij za geokemiju okoliša nastavlja svoje aktivnosti zacrtane pri njegovom osnivanju. Primarna mu je funkcija sudjelovanje u izvođenju praktične nastave i time poboljšavanje i osuvremenjivanje nastave u cjelini. Tako LGO sudjeluje u izvođenju laboratorijskih vježbi iz nekoliko kolegija preddiplomskog i diplomskog studija Inženjerstva okoliša te Združenog međunarodnog doktorskog studija. Kolegiji čiji se praktični dio izvodi u prostoru Kemijskog praktikuma, a vezano uz LGO su: Kemijski praktikum (u III. semestru preddiplomskog studija Inženjerstvo okoliša, nositelj je doc.dr.sc. Anita Ptiček Siročić), Analitička kemija okoliša (u VI. semestru preddiplomskog studija, nositelj je doc.dr.sc. Anita Ptiček Siročić), Hidrogeokemija (u II. semestru diplomskog studija Inženjerstvo okoliša, nositelj je prof.dr.sc. Sanja Kapelj) i Geokemija tla (u II. semestru diplomskog studija, nositelji su prof.dr.sc. Sanja Kapelj i prof.dr.sc. Goran Kniewald). Kemijski praktikum, kao produžetak Laboratorija za geokemiju okoliša, također služi i za potrebe održavanja praktične nastave iz kolegija Mikrobiologija okoliša (u III. semestru diplomskog studija, nositelj je doc.dr.sc. Zvezdana Stančić).

Osim praktičnih vježbi, od svog osnutka LGO je dostupan studentima za izvođenje analiza čiji rezultati predstavljaju podlogu za izradu završnih i diplomskih radova (GFV 2017a,b) (Slika 11) kao i studentskih radova koji se prijavljuju za rektorovu nagradu. Tako je od njegovih početaka 2006. godine pa do kraja 2016. godine izrađeno 6 završnih radova i 28 diplomskih radova (Tablica 1). Od spomenutih radova neki su nagrađeni rektorovom nagradom, a neki dekanovom nagradom. Prednost koju studenti ovdje imaju je u tome što oni sami, uz stručno vodstvo i nadzor, mogu sudjelovati u cijelom procesu analize određenog uzroka, prema potrebi od uzorkovanja, preko pripreme uzoraka, do analiziranja i dobivanja konačnog rezultata određenog parametra. Nadalje, LGO ostvaruje i svoju znanstvenu ulogu sudjelujući u znanstvenim projektima i izradi disertacija. Dosad je laboratorij sudjelovao u izradi 3 doktorska rada (Tablica 1), dok je jedan u završnoj fazi izrade, i na 13 znanstvenih projekta (Tablica 2).



Slika 11. Prikaz broja radova i sudjelovanja na projektima vezanih uz djelatnost LGO-a u proteklih 10 godina

Tablica 1. Završni, diplomski i doktorski radovi vezani uz LGO u razdoblju od 2006. – 2016. godine

GODINA	NASLOV RADA	ZAVRŠNI / DIPLOMSKI / DISERTACIJA	PRISTUPNIK	MENTOR
2007.	Zaštita potoka "Plitvica" i "Velikog slapa" u Nacionalnom parku Plitvička jezera	diplomski rad	Igor Popadić	Božidar Biondić
2008.	Trasiranje podzemnih tokova na širem području Plitvičkih jezera	diplomski rad	Vedran Žabka	Božidar Biondić
2009.	Uloga tla krškog polja na zaštitu podzemnih voda u slivu Jadra i Žrnovnice	diplomski rad (PMF)	Jasmina Martinčević	Ladislav Palinkaš, Sanja Kapelj
2011.	Model zaštite krških vodnih resursa na primjeru Nacionalnog parka "Plitvička jezera"	disertacija (RGN)	Hrvoje Meaški	Božidar Biondić, Darko Mayer
2011.	Analiza ugroženosti i kakvoće podzemne vode izvora Jadra i Žrnovnice	diplomski rad	Petra Antolašić	Sanja Kapelj
2011.	Prirodna raspodjela arsena u krškom polju	diplomski rad	Valentina Pavlek	Predrag Tepeš
2011.	Uloga tla i sedimenata u zaštiti krških podzemnih voda	diplomski rad	Tatjana Lačen	Sanja Kapelj
2011.	Utjecaj prometnica na kakvoću tla i voda u području sliva izvora Jadra	diplomski rad (PMF)	Petra Martić	Sanja Kapelj, Ladislav Palinkaš
2012.	Primjena adsorpcijskih materijala u obradi industrijske otpadne vode	diplomski rad	Sandra Lenček	Dinko Vujević
2012.	Primjena koagulacije/flokulacije za pročišćavanje otpadnih voda nastalih u procesu obrade pirolitičkih dimnih plinova	diplomski rad	Aleksandra Mikić	Dinko Vujević
2012.	Utjecaj komunalnih otpadnih voda na kvalitetu vode u Bednji kod Ludbrega	diplomski rad	Petra Sačer	Ivan Kovač
2013.	Hidrogeološki odnosi u priljevnom području izvora Čikole	diplomski rad	Andreja Tomašić	Sanja Kapelj
2013.	Sinteza rezultat provedenih trasiranja na području sliva Jadra i Žrnovnice	diplomski rad	Goran Kapeš	Sanja Kapelj
2013.	Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na primjeru sliva izvora Jadro i Žrnovnica	disertacija (RGN)	Jelena Loborec	Sanja Kapelj, Zoran Nakić
2013.	Pročišćavanje otpadnih voda opterećenih sastojcima proizvoda iz svakodnevne upotrebe	završni rad	Andrea Gredelj	Dinko Vujević
2013.	Recikliranje otpadnih brodova	diplomski rad	Ivana Kukec	Aleksandra Anić Vučinić
2014.	Hidrogeološke značajke izvora Crne i Bijele rijeke na području Plitvičkih jezera	diplomski rad	Karolina Sabol	Hrvoje Meaški
2014.	Hidrogeološke značajke izvora i vodotoka Plitvice na području Plitvičkih jezera	diplomski rad	Marina Marcuš	Hrvoje Meaški
2014.	Određivanje teških metala u najčešćim vrstama povrća uzgojenim u okolici Varaždina	diplomski rad	Saša Bogdan	Zvezdana Stančić
2014.	Uklanjanje teških metala iz tla fitoremedijacijom uz pomoć uskolisnog trputca (<i>Plantago lanceolata</i> L.)	diplomski rad	Zoran Bajsić	Zvezdana Stančić
2015.	Farmaceutici i zaštita okoliša – utjecaj na okoliš i uklanjanje antibiotika iz modelnih otpadnih voda	diplomski rad	Andrea Gredelj	Dinko Vujević
2015.	Mogućnosti recikliranja televizora	diplomski rad	Karla Bogdan	Aleksandra Anić Vučinić
2015.	Određivanje teških metala u naplavnom mulju uz tok rijeke Drave	završni rad	Davor Zemljak	Dinko Vujević
2015.	Određivanje teških metala u pojedinim biljkama uz tok rijeke Drave	završni rad	Dino Bosilj	Dinko Vujević
2015.	Prijedlog monitoringa površinskih voda - jezero Motičnjak	diplomski rad	Anja Hajdinjak	Anita Ptiček Siročić
2015.	Procjena mase teških metala (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) koju je moguće ukloniti s određene površine pomoću maslačka (<i>Taraxacum officinale</i> agg.)	završni rad	Mijo Košić	Zvezdana Stančić
2015.	Procjena mase teških metala (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) koju je moguće ukloniti s određene površine pomoću uskolisnog trputca (<i>Plantago lanceolata</i> L.)	završni rad	Nikolina Habulan	Zvezdana Stančić

2015.	Procjena masenog udjela teških metala (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) koji je moguće ukloniti pomoću bijele djeteline (<i>Trifolium repens</i> L.) sa zelenih gradskih površina Varaždina	završni rad	Valentina Filipašić	Zvezdana Stančić
2015.	Recikliranje fluorescentnih lampi	diplomski rad	Štefan Alapić	Aleksandra Anić Vučinić
2015.	Recikliranje LCD uređaja	diplomski rad	Tomislav Dokuš	Aleksandra Anić Vučinić
2015.	Recikliranje otpadnih tonera	diplomski rad	Janja Golub	Aleksandra Anić Vučinić
2015.	Usporedba geokemijskih obilježja tla na određenim lokacijama Varaždinske županije i Splitsko - dalmatinske županije	diplomski rad	Monika Sabolek	Sanja Kapelj
2016.	Hidrogeološka obilježja izvora vode na području sjeveroistočnog dijela Prigorja	diplomski rad	Filip Lovrić	Sanja Kapelj
2016.	Oporaba otpadnih tiskanih pločica metodama oplemenjivanja mineralnih sirovina	disertacija (RGN)	Vitimir Premur	Gordan Bedeković, Aleksandra Anić Vučinić
2016.	Recikliranje stakloplastike	diplomski rad	Laura Strupar	Aleksandra Anić Vučinić
2016.	Utjecaj mehaničkog miješanja na uklanjanje indija sa usitnjenog stakla LCD-a u različitim medijima	diplomski rad	Dario Canjuga	Aleksandra Anić Vučinić
2016.	Utjecaj ultrazvučnog medija na uklanjanje indija sa usitnjenog stakla LCD-a	diplomski rad	Marko Vuković	Aleksandra Anić Vučinić

LGO također djeluje i na stručnom polju tako što je uključen u stručne projekte. Do danas je sudjelovao na 15 stručnih projekata (Tablica 2) koji uključuju projekte djelatnika Fakulteta, projekte na drugim fakultetima i suradnju s privatnim sektorom (ZHT 2013, 2012). Vezano uz suradnju s gospodarstvom i privatnim subjektima, laboratorij od rujna 2010. godine u dogovoru s poljoprivrednim odjelom Varaždinske županije pruža usluge agrokemijskih analiza primarno poljoprivrednicima s područja Županije. Time sudjeluje u poticanju dobre poljoprivredne prakse i uspješnije proizvodnje kroz utvrđivanje stvarnog sastava tla. Na taj način omogućava racionalniju gnojidbu bez nepotrebnog opterećivanja tla i voda te čuva prirodne resurse u našem okolišu.

Tablica 2. Znanstveni i stručni projekti vezani uz LGO u razdoblju od 2006. – 2016. godine

GODINA	NAZIV PROJEKTA	ZNANSTVENI / STRUČNI	VODITELJ
2006.	Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice, I faza studijsko-istraživačkih radova	stručni projekt	Sanja Kapelj
2008.	Mountainous lakes: Sustainable utilisation of water in the pilot area Plitvice Lakes	znanstveni projekt	Božidar Biondić
2008.	Održivo korištenje i zaštita vodnih resursa u Nacionalnom parku Plitvička jezera	znanstveni projekt	Božidar Biondić
2008.	Studija hidrogeoloških i geokemijskih istraživanja vodocrpilišta Delovi	stručni projekt	Barica Kovačev-Marinčić
2008.	Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice, II faza studijsko-istraživačkih radova	stručni projekt	Sanja Kapelj
2009.	Izrada elaborata o zonama sanitarne zaštite izvorišta Čikole	stručni projekt	Sanja Kapelj
2009.	Osjetljivost krških hidrogeoloških sustava	znanstveni projekt	Sanja Kapelj
2009.	Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice, III faza studijsko-istraživačkih radova	stručni projekt	Sanja Kapelj
2010.	Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice, dodatak II, Tehnički izvještaj o provedenom trasiranju Bazinog ponora kod Biska	stručni projekt	Sanja Kapelj
2011.	Hidrogeološka istraživanja na području gornjeg toka rijeke Čikole – II faza	stručni projekt	Sanja Kapelj, Stjepan Strelec
2011.	Vodoistražni radovi u svrhu povećanja kapaciteta crpilišta Kakma u općini Biograd - Geološki, hidrogeološki, geofizički i geotehnički istražni radovi	stručni projekt	Sanja Kapelj, Stjepan Strelec
2012.	Istraživanje podrijetla geotermalnih voda Lipika	stručni projekt	Ivan Dragičević, Sanja Kapelj
2012.	Izrada elaborata o hidrogeološkim istražnim radovima za izradu prijedloga zona sanitarne zaštite izvorišta Čikole usklađeni s važećim pravilnikom (Narodne novine, 66/11)	stručni projekt	Sanja Kapelj
2012.	Izrada elaborata o hidrogeološkim istražnim radovima za izradu prijedloga zona sanitarne zaštite izvorišta Jaruge i Torka	stručni projekt	Sanja Kapelj

2012.	Izvešće o probnom crpljenju eksploatacijskog zdenaca Z-2 unutar pogona industrija PG u industrijskoj zoni Prelog - Sjever	stručni projekt	Kristijan Grabar
2012.	Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice, IV faza studijsko-istraživačkih radova	stručni projekt	Sanja Kapelj
2013.	Rezultati laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla i podzemne vode sa lokacije "Chromos boje i lakovi" Zagreb	stručni projekt	Kristijan Grabar
2013.	Uklanjanje teških metala fitoremedijacijom na području Varaždina i okolice	znanstveni projekt	Zvezdana Stančić, Dinko Vujević
2014.	Cjelovit sustav zbrinjavanja otpadnog mulja uređaja za obradu otpadnih voda termičkom obradom	znanstveni projekt	Aleksandra Anić Vučinić
2014.	Određivanje prisutnosti teških metala u povrću	znanstveni projekt	Zvezdana Stančić, Dinko Vujević
2014.	Održivo recikliranje LCD zaslona	znanstveni projekt	Aleksandra Anić Vučinić
2014.	Remedijacija tla onečišćenog naplavnim riječnim muljem pomoću biljaka	znanstveni projekt	Dinko Vujević
2014.	Razvoj hrvatskog pristup ranjivosti krških vodonosnika Dinarida	znanstveni projekt	Sanja Kapelj
2014.	Spectra media	stručni projekt	Aleksandra Anić Vučinić
2014.	Verifikacija modela prirodne ranjivosti na primjeru krških vodonosnika Dinarida	znanstveni projekt	Sanja Kapelj
2015.	Kvantitativna evaluacija cirkularne ekonomije u gospodarenju električnim i elektroničkim otpadom	znanstveni projekt	Dinko Vujević
2015.	Verifikacija modela prirodne ranjivosti na primjeru krških vodonosnika Dinarida	znanstveni projekt	Sanja Kapelj
2016.	Mogućnosti izdvajanja indija iz LCD-a pomoću ultrazvučne kupelji	znanstveni projekt	Aleksandra Anić Vučinić

LGO svake godine aktivno sudjeluje u programu povodom Dana otvorenih vrata Geotehničkog fakulteta (**Slike 12 i 13**). Na taj se način primarno želi pružiti uvid u nastavne aktivnosti koje se provode na Fakultetu kako bi se zainteresiralo učenike, odnosno potencijalne studente za studiranje upravo na Geotehničkom fakultetu. Tada ja prilika svakom znatiželjniku da se поближе upozna s radom našeg laboratorija, našim djelatnicima i dobije odgovor iz prve ruke na bilo koji upit vezano uz djelatnost LGO-a ili se možda baš zbog laboratorijskog rada odluči za studij inženjerstva okoliša na Geotehničkom fakultetu. Kako god bilo – dobrodošli!



Slika 12. Prof.dr.sc. Sanja Kapelj s učenicima povodom Dana otvorenih vrata (4.svibnja 2015.)



Slika 13. Saša Zavrtnik, kem.teh. s učenicima povodom Dana otvorenih vrata (4. svibnja 2015.)

5. ZAHVALA

Autor srdačno zahvaljuje kolegama s Geotehničkog fakulteta za pruženu pomoć u prikupljanju podataka potrebnih za oformljivanje pregleda povijesti Laboratorija za geokemiju okoliša Geotehničkog fakulteta (pošto dio nje seže u vrijeme prije njegovog zaposlenja) kao i onih vezanih za evidenciju rada LGO-a. Veliko hvala i Martini Pižeta iz Varaždinskih vijesti na ustupljenim fotografijama. Autor ovdje koristi priliku da posebno zahvali Predragu Tepešu, koji nažalost više nije među nama, na predanom uvodu u praktičnu analitiku kroz koji je pokazao i prenio svoju ljubav prema laboratoriju.

6. IZVORI PODATAKA

Agencija za zaštitu okoliša (2012) U Varaždinu otvoren Zavod za inženjerstvo okoliša. AZO. Zagreb. <http://www.azo.hr/UVarazdinuOtvoren>, posjećeno 03.02.2017.

Crolab (2010) Konferencije / Varaždin 2010. http://www.crolab.hr/web/64_114_0_-1_-1_-1_podizbornik_Varazdin2010.aspx, posjećeno 08.02.2017.

Crolab (2007) Potvrda o članstvu. Crolab. Zagreb, listopad 2007.

Geotehnički fakultet (2017a) Pretraživanje knjižničnog fonda. Diplomski radovi. <https://library.foi.hr/m3/kb1.asp?B=405&rbr=1&G=Z>, posjećeno 30.01.2017.

Geotehnički fakultet (2017b) Pretraživanje knjižničnog fonda. Završni radovi. <https://library.foi.hr/m3/kb1.asp?B=405&rbr=2&G=Z>, posjećeno 30.01.2017.

Hrvatska akreditacijska agencija (2014) Akreditacija prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2007 i Prilog potvrdi o akreditaciji br: 1477. HAA, Zagreb

Laboratorij za geokemiju okoliša (2017) Popis laboratorijskih instrumenata. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (2011) Glasilo Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, broj 9, listopad 2011., http://www.hkis.hr/Upload/Documents/EV/EV26/Glasilo_MZOPUG_listopad_2011.pdf, posjećeno 07.02.2017.

Zavod za hidrotehniku (2013) Popis stručnih projekata. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. http://www.gfv.unizg.hr/modules/m_gfv/datoteke/Popis_strucnih_projekata_2009-2013.pdf, posjećeno 15.03.2017.

Zavod za hidrotehniku (2012) Strategija razvoja i djelovanja Zavoda za hidrotehniku za mandatno razdoblje 2011.-2013. godine. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

IZVOR FOTOGRAFIJA:

Fotoarhiva Laboratorija za geokemiju okoliša
Arhiva Varaždinskih vijesti

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7, 42 000 VARAŽDIN
tel.: 042 / 408 – 900
fax: 042 / 313 – 587
M.B. 03042316



GEOTEHNIČKI FAKULTET
Zavod za hidrotehniku
Laboratorij za geokemiju okoliša
tel.: 042 / 408 – 937
fax: 042 / 313 – 587



LABORATORIJ ZA GEOKEMIJU OKOLIŠA

- osnovan je 2006. godine sa znanstvenom, stručnom i obrazovnom svrhom
- opremljen instrumentima i pratećom opremom za prikupljanje uzoraka tala, sedimenata, prirodnih i otpadnih voda
- vrši terenske i laboratorijske analize prikupljenih uzoraka
- obavlja usluge agrokemijskih analiza tla za poljoprivrednike na temelju kojih se daje preporuka za gnojidbu

Zavod za hidrotehniku



LABORATORIJ ZA GEOKEMIJU OKOLIŠA

Tel.: 042 / 408 – 937
Fax: 042 / 313 – 587
E-mail: lgo@gfv.hr

LABORATORIJ ZA GEOKEMIJU OKOLIŠA

Laboratorij za geokemiju okoliša osnovan je u sklopu Zavoda za hidrotehniku Geotehničkog fakulteta u Varaždinu. Laboratorij sudjeluje u izvođenju praktične nastave iz kolegija preddiplomskog i diplomskog studija te Zdrženog međunarodnog doktorskog studija kao i u znanstvenim te stručnim projektima. Na taj način ispunjava svoju obrazovnu, znanstvenu i stručnu svrhu. Smješten je na 100 m² prostora i opremljen modernom opremom za provedbu geokemijskih terenskih i laboratorijskih ispitivanja, što uključuje prikupljanje uzoraka tla, sedimenata i vode. U laboratoriju se obavljaju i usluge agrokemijskih analiza tla.

Pokazatelji koje mjerimo u uzorcima voda, eluata tala i sedimenata:

- ~ atomskom apsorpcijskom spektrometrijom: Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Si, Sr, Ti, V, Zn
- ~ amonijak, nitriti, nitrati, ukupni dušik
- ~ bromidi, fenoli, fluoridi, fosfati, jodidi, kloridi
- ~ silikati, sulfidi, sulfati, sulfiti
- ~ suspendirana tvar, mutnoća, KPK
- ~ alkalitet, ukupna tvrdoća, karbonatna tvrdoća, nekarbonatna tvrdoća, kalcijeva tvrdoća, magnezijeva tvrdoća
- ~ slobodni CO₂, koncentracija otopljenog kisika i zasićenost kisikom
- ~ pH, električna vodljivost, ukupna otopljena tvar – TDS
- ~ trasiranje podzemnih tokova (koncentracija natrijevog fluoresceina)
- ~ ukupni organski ugljik i ukupni dušik – TOC/DOC/TN
- ~ razaranje tla zlatotopkom
- ~ ekstrakcija izmjenjivih kationa iz tla amonijevim acetatom i kalijevim kloridom



Ispitivanje fizikalnih i kemijskih svojstava prirodnih i otpadnih voda.



Provođenje agrokemijskih analiza tla u svrhu modernizacije poljoprivredne proizvodnje, racionalizacije gnojidbe, povećanja prinosa i zaštite prirodnih resursa.



Ispitivanje sastava eluata otpada.



Određivanje pH, pKCl, ukupnog CaCO₃, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, fosfora i kalija, humusa, teških metala i drugih kemijskih svojstava tla.

Kontakti: doc.dr.sc. Anita Ptiček Siročić
voditeljica laboratorija
tel: 042 / 408 – 957
e-mail: anita.pticek.sirocic@gfv.hr

Dragana Dogančić, dipl.ing.geol.
zamjenica voditeljice laboratorija
tel: 042 / 408 – 956 ili 042 / 408 – 937
e-mail: ddogan@gfv.hr

Saša Zavrtnik, dr.med.vet.
laborant
tel: 042 / 408 – 937
e-mail: lgo@gfv.hr

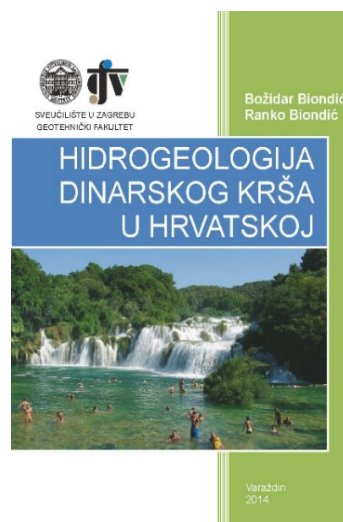
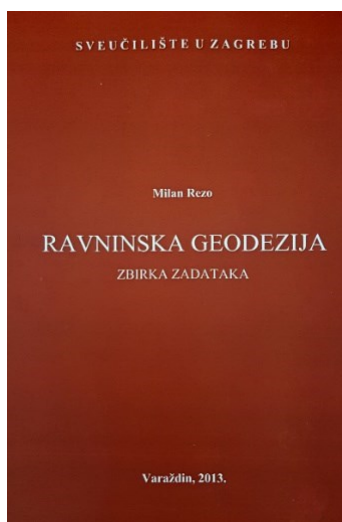
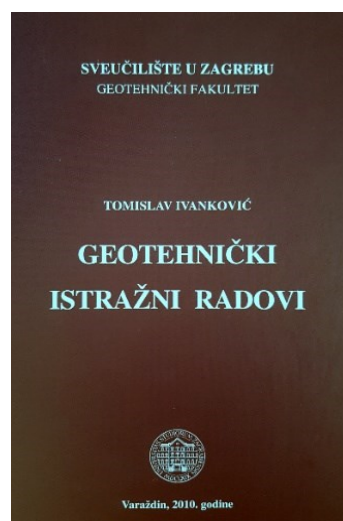
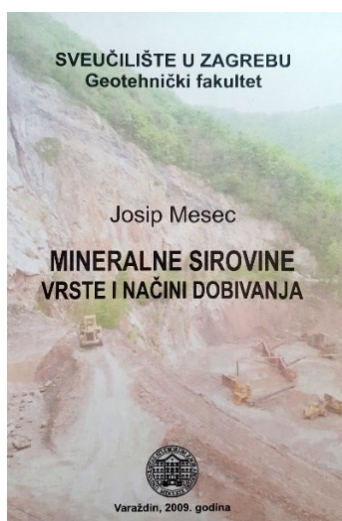
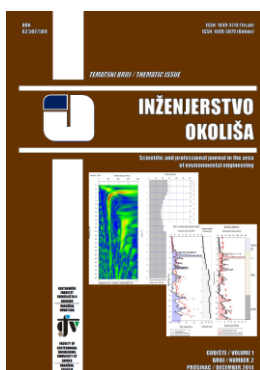
Knjižnica Geotehničkog fakulteta



Izdavačka djelatnost

Časopis „Inženjerstvo okoliša“

Sveučilišni udžbenici



UPUTE AUTORIMA

Časopis Inženjerstva okoliša objavljuje znanstvene i stručne radove te ostale priloge iz interdisciplinarnog područja inženjerstva okoliša. Znanstvena tematika časopisa uključuje geoinženjerstvo, upravljanje vodnim resursima, tehničke aspekte zaštite okoliša i srodna područja. Radovi se prihvaćaju za objavljivanje nakon pozitivne recenzije te se kategoriziraju kao izvorni znanstveni radovi, prethodna priopćenja, pregledni radovi ili stručni radovi.

Časopis objavljuje radove na hrvatskom ili engleskom jeziku. Naslov rada, sažetak i ključne riječi pišu se na hrvatskom i engleskom jeziku.

Časopis izlazi dva puta godišnje. Tiskanje rada se ne naplaćuje. Opseg rada u pravilu nije ograničen, ali preporuka je da sa svim priložima ne bude veći od 15 stranica A4 formata jednostrukog proreda.

Prilozi se tiskaju u greyscale formatu (sivo) i autori o tome trebaju voditi računa prilikom pripreme rukopisa. Ipak, autori mogu u dogovoru s uredništvom pripremiti i priloge u boji kada smatraju da je to neophodno za razumijevanje prikazanog. Prilozi u boji odobreni od strane uredništva dodatno se ne naplaćuju.

Dostava rada u postupak recenzije podrazumijeva da rad nije prethodno objavljen te da nije u postupku recenzije u drugom časopisu. Autor je odgovoran za sadržaj rada te za dobivanje mogućih suglasnosti vezanih za objavljivanje pojedinih podataka.

Prva stranica rada treba sadržavati naslov rada, imena autora, institucije zaposlenja i e-mail adrese autora, sažetak i ključne riječi. Preporuka je da naslov rada bude ilustrativan te da jasno odražava sadržaj rada. Ako naslov rada sadrži lokalne nazive tada treba navesti i opće prepoznatljivo ime šire regije. Sažetak rada treba sadržavati najviše 300 riječi, a ključne riječi 4 do 6 pojmova. Ako niti jedan od autora nije naveden kao vodeći, uredništvo će kontaktirati isključivo s prvim navedenim autorom.

Autori dostavljaju rad elektroničkom poštom na e-mail adresu: casopis@gfv.hr. Rad treba biti pripremljen u Microsoft Wordu, na A4 formatu stranice, s marginama od 25mm i proredom 1.5, u jednom stupcu s obostranim poravnanjem. Tekst se piše u Times New Roman fontu veličine 10pt, a stranice imaju automatsku numeraciju u desnom donjem kutu. Ovisno o sadržaju tekst se dijeli u nekoliko poglavlja čiji naslovi su pisani podebljano veličine 11pt i poravnani ulijevo. Rad se piše u

trećem licu jednine i mora biti terminološki usklađen s važećim zakonskim propisima i međunarodnim sustavom jedinica (SI). Sve jednadžbe moraju biti numerirane, a tablice i slikovni prilozi numerirani s naslovom i uključeni na odgovarajuće mjesto u članku. **Navoditi jednadžbe, slike i tablice u tekstu podebljanim fontom.** Svi slikovni prilozi (crteži, dijagrami, fotografije) trebaju biti pripremljeni za grafičku reprodukciju s minimalnom rezolucijom od 300 dpi i treba ih dostaviti u zasebnoj mapi.

Prilikom **citiranja radova u tekstu plavom bojom** navode se samo ranije objavljeni radovi. Ako autori smatraju potrebnim, tada se u radu mogu navesti i osobne komunikacije i neobjavljeni radovi, ali na prikladan način kao dio teksta ili u zahvalama na kraju rada. **Popis literature (References)** sadrži abecedni popis objavljenih radova citiranih u tekstu. Koristi se harvardski stil citiranja literature i popisa referenci.

U slučaju prihvaćanja rada za objavu autori imaju obavezu uskladiti rad s uputama recenzentata/uredništva. Ako autori ne prihvate primjedbe recenzentata/uredništva ili ako ne vrate ispravljenu verziju rada u roku od tri mjeseca, uredništvo će smatrati da su autori povukli rad iz procedure te da ga ne žele objaviti.

Autori će rad u obliku u kojem će biti objavljen prije same objave dobiti na uvid i završnu provjeru.

Rad koji je prošao sve faze pripreme teksta, najprije se objavljuje online, a nakon toga i u tiskanom izdanju. Autori dobivaju separat u .pdf obliku i jedan primjerak časopisa u kojem je rad objavljen.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The journal „Inženjerstvo okoliša“ (eng. Environmental Engineering) publishes scientific and technical papers and other articles in the interdisciplinary area of environmental engineering. The scientific topics covered by the magazine include geo-engineering, water resources management, technical aspects of environmental protection and similar areas. Papers are accepted for publication after they have received a positive review and are categorized as an original scientific paper, previous announcement, review paper or technical paper.

The journal publishes papers in Croatian or English. The title of the paper, the abstract and keywords are written in both Croatian and English.

The journal is published biannually. There are no charges for printing the paper. As a rule, the length of the paper is not limited. However, it is recommended that it should not be longer than 15 single-spaced A4 pages, all figures included.

Figures are printed in greyscale, and authors should take it into account when preparing their manuscript. However, authors may, in agreement with the editorial board, prepare figures in colour when they deem it necessary for the understanding of what the figure shows. The figures in colour approved by the editorial board will not be additionally charged.

When a paper is submitted for review, this implies that the paper has not been previously published or that it is not being reviewed by another journal. The author is responsible for the content of the paper and for obtaining consent, where applicable, to publish particular data.

The first page should contain the title of the paper, the authors' names, the institution of employment, the authors' email addresses, the abstract and keywords. It is recommended that the title of the paper should be illustrative and clearly reflect the content of the paper. If the title contains local names, then a generally recognizable name in a wider region should be included. The abstract should not exceed 300 words, and there should be 4 to 6 keywords. If none of the authors has been specified as lead author, the editors will exclusively contact the first mentioned author.

Authors should submit their paper by e-mail to: **casopis@gfv.hr**. The paper should be prepared in Microsoft Word in A4 page format, with 25mm margins and 1.5 line spacing, in one column aligned to both sides. The text should be written in 10pt Times New Roman, and the pages should have automatic numbering in the bottom right corner. Depending on the content, the text should be divided into several sections whose headings are in 11 pt

bold and aligned to the left. The paper should be written in the third person singular and has to be terminologically harmonized with legal regulations in force and the international system of units (SI). All equations have to be numbered; tables and figures should also be numbered with a heading and inserted in the appropriate place in the article. **For citation of equations, figures and table in text use bold font.** All figures (images, diagrams, photographs) have to be prepared for graphic reproduction at a minimum resolution of 300 dpi and submitted in a separate map.

When **citing papers in the text** with **blue colour**, only previously published papers should be mentioned. If authors consider it necessary, personal communication and unpublished papers may be cited in the paper, but in an appropriate manner, either as part of the text or in acknowledgements at the end of the paper. **References** include an alphabetical list of published papers that have been cited in the text. The Harvard citation and referencing style should be used.

If the paper is accepted for publication, the authors are obliged to harmonize the paper with the instructions given by the reviewers/editors. If the authors do not accept the reviewers'/editors' remarks or if they do not submit the corrected version of the paper within three months, the editorial board will deem that the authors have withdrawn their paper from the procedure and no longer wish to have it published.

Prior to its publication, the authors will receive the paper for inspection and final revision.

The paper which has been through all the phases of text preparation will first be published online, and then in the printed edition. Authors will receive a separate in pdf format as well as one copy of the journal in which the paper was published.