

# Preventivno termovizijsko snimanje elektroenergetskih postrojenja metodom IR termografije

Predrag Šaraba  
Služba za MRT i PN  
Elektroprenos- Elektroprijenos BiH a.d. Banja Luka  
TJ Višegrad, Bosna i Hercegovina  
[pedja\\_saraba@yahoo.com](mailto:pedja_saraba@yahoo.com)

Božidar Popović  
Elektrotehnički fakultet  
Univerzitet u Istočnom Sarajevu  
[bozidar.popovic@etf.unssa.rs.ba](mailto:bozidar.popovic@etf.unssa.rs.ba)

Dražan Krsmanović  
Služba za MRT i PN  
Elektroprenos- Elektroprijenos BiH a.d. Banja Luka  
TJ Višegrad, Bosna i Hercegovina  
[drazan.krsmanovic@teol.net](mailto:drazan.krsmanovic@teol.net)

*Sadržaj*— U radu je prikazana primjena IR termografije u analizi stanja pojedinih dijelova trafostanica u nadležnosti Elektroprenosa BiH, Operativno područje Sarajevo, TJ Višegrad a u svrhu preventivnog održavanja. Prednost primjene ove tehnologije se ogleda u beskontaktnom termovizijskom snimanju vizuelno dostupnih dijelova postrojenja, bez dodatne opreme i narušavanja radnih uslova samog postrojenja. Analiza se vrši na osnovu snimljenih termograma tj. na osnovu izmjerene temperature na pojedinim dijelovima postrojenja. Zadovoljavajući rezultati postižu se uz uslov da je opterećenje postrojenja veće od 50% nazivne snage. Za nadzor i dijagnostiku stanja elektroenergetskih postrojenja korišćene su kamere ThermaCAM PM 675 i Flir E40. Rezultati tih istraživanja prikazani su u ovom radu.

*Ključne riječi:* termovizija, termovizijska kamera, transformator, prekidač, rastavljač, izolator.

## I. UVOD

Termovizijsko snimanje predstavlja bezkontaktno mjerenje kojim se registruje emitovanje toplote sa posmatranog objekta, metodom IR termografije.

Primjena termovizije kao savremene metode za kontrolu stanja opreme i monitoringa na licu mjesta i kontrole elektroenergetskih postrojenja omogućava stvaranje tehničkih, eksploatacionih i organizacionih preduslova za povećanje pouzdanosti i raspoloživosti jednog elektroenergetskog postrojenja. [1]

Termovizijskom kontrolom mogu se postići značajni efekti kako u prevenciji kvarova, tako i u smanjenju prekida,

gubitaka električne energije. Termovizijsko snimanje omogućava detekciju "loših" spojeva na priključcima transformatora, rastavljača, prekidača, sabirnica i drugih elemenata elektroenergetskih postrojenja. Obradom i analizom termograma donose se zaključci kako bi se obezbjedila pravovremena intervencija i time smanjio broj kvarova i zastoja u eksploataciji, prenosu, distribuciji i potrošnji električne energije. Preporučuje se jednom godišnje, da se izvrše preventivna termovizijska kontrola postrojenja u periodu kada su najveća opterećenja, za obuhvaćena postrojenja to je u toku zimskog perioda. Takođe, preventivnu termovizijsku kontrolu preporučljivo je izvoditi po oblačnom vremenu, da bi se izbjegli neželjeni efekti usljed refleksije (od osunčanih djelova postrojenja) zbog koje mjerenja nisu vjerodostojna i prihvatljiva.

Bitan uticaj na efikasnije i preciznije mjerenje temperature metodom IR termografije ima stanje površina. U slučaju transformatorskog suda treba voditi računa o stepenu zaprljanosti (uljem, prašine), uticajima atmosfere i okoline, te o vrsti boje, kojom je sud prefarban. Adekvatna priprema površina za termovizijsku kontrolu podrazumjeva čišćenje površina, primjenu odgovarajućih premaza ili folija radi postizanja ujednačenog i poznatog emisiviteta površine. Ukoliko to nije izvodljivo, potrebno je kontaktnim termometrom (termoparom) izmjeriti temperaturu dijela površine od interesa i onda preračunati vrijednost emisiviteta na osnovu dobijenog izlaznog signala termovizijske kamere.

Kontrola nivoa zagrijanosti površine transformatorskog suda, svih dostupnih dijelova i pratećih sklopova transformatora je uvedena u praksu zbog mogućnosti detekcije unutrašnjih kvarova i praćenja toplotnih procesa u različitim režimima rada transformatora, [2]. Pored kontrole transformatorskog suda uobičajne su i kontrole prekidačkih i

rastavljačkih kontakata, priključaka sabirnica, strujnih mjernih transformatora itd.

## II. OPREMA ZA TERMOVIZIJSKA ISPITIVANJA

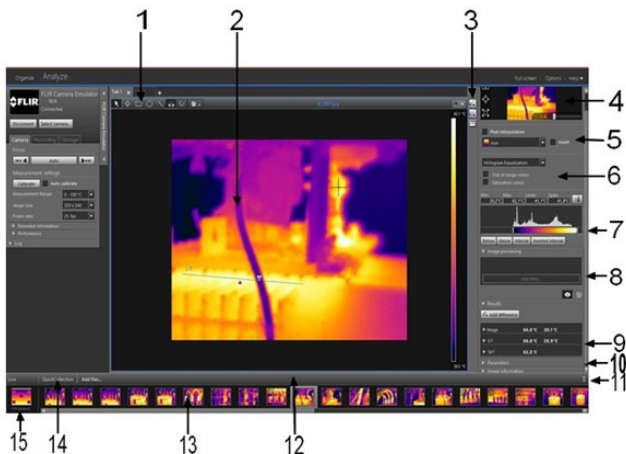
Za potrebe snimanja elektroenergetskih postrojenja korišćene su kamere proizvođača FLIR, modeli ThermaCAM PM 675 i E40.

Termovizijska kamera formira termalnu sliku mjerenjem infracrvene radijacije određenog tijela ili cjelokupne scene. Softver, koji kamera sadrži, vrši neophodnu korekciju pri konverziji termalne slike u odgovarajući termogram, koji predstavlja aproksimaciju tačne temperature snimljenog objekta ili temperaturnu raspodjelu u oblasti.

Opseg mjerenja kamere je od  $-40\div 120^{\circ}\text{C}$  (opseg 1), od  $80\div 500^{\circ}\text{C}$  (opseg 2). Tačnost kamere je  $\pm 2\%$  očitavanja. Dozvoljena radna temperatura okoline je od  $-15\div 50^{\circ}\text{C}$ . Mjerenja su izvršena prema uputstvu proizvođača. [3]

## III. FLIR R&D Software

Za analizu dobijenih termograma korišćen je FLIR R&D Software 3.3., koji ima mogućnost upravljanja režimom snimanja termograma, postavljanje uslova u pogledu temperature (min, max) pojedinih zona na termogramu, upozorenje korisnika o prekoračenju postavljenih uslova, generisanju izvještaja za odabrani termogram. Na slici 1. prikazano je radno okruženje aplikacije. [4]



Slika 1. Radno okruženje FLIR R&D Software 3.3.

1. *Measurement toolbar*: izbor tačaka ili oblasti za koju se analizira termogram.
2. *Image window*: prikaz termograma.
3. *Image Window*: izbor termograma, grafika i tabela sa mjernim parametrima.
- 4.-7. *Zoom, Controls, (Pixel interpolation, Color palette, Invert color palette), Image enhancements pane (Histogram equalization, Plateau equalization, Signal Linear, Temperature Linear, Digital Detail Enhancement), Scale pane*: opcije za podešavanje termograma.
8. *Image processing pane*: izbor filtera za obradu.

9. *Results pane*: pregled rezultata svih mjerenja.

10. *Display parameters*: fokus, kalibracija, mjerni opseg...

11.-15. *Button, Recording toolbar, Recording snapshot location, Quick Collection pane, Live source control*: upravljanje fajlovima.

## IV. REZULTATI TERMOVIZIJSKIH ISPITIVANJA

U cilju utvrđivanja trenutnog stanja opreme sa aspekta eksploatacije, preventivnog, tekućeg i havarijskog održavanja, izvršena je preventivna kontrola termovizijskim snimanjem trafostanica na području TJ Višegrad. Snimanja su izvršena u januaru, 2015. godine [5]. U radu su prikazana mjerenja za elemente postrojenja čije temperature odstupaju od standardnih vrijednosti. Sva snimanja su rađena sa udaljenosti od 5m do posmatranog objekta, dok je emisivnost iznosila 0.95.

Predmetni objekat je TS 400/220/110/35/10 kV Višegrad. Temperatura okoline  $2^{\circ}\text{C}$ , vlažnost vazduha 52%RH. Termovizijski pregled je urađen za:

### Postrojenje 400 kV

- DV 400 kV HE Višegrad (struja po fazi 97 A),
- DV 400 kV Tuzla (156 A),
- trafo polje 400 kV, T1 (70 A),
- trafo polje 400 kV, T2 (135 A),
- mjerno polje 400 kV, sistema sabirnica II,
- sistem sabirnica II, 400 kV.

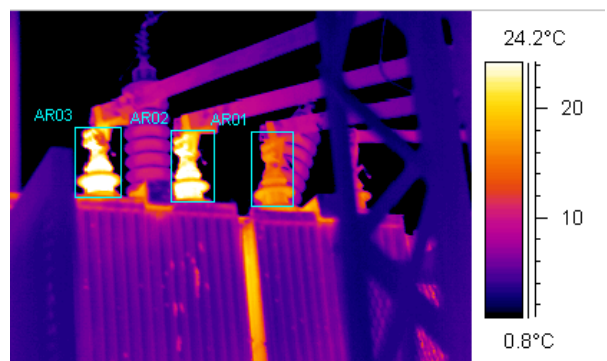
### Postrojenje 220 kV

- DV 220 kV Požega (struja po fazi 232 A),
- trafo polje 220 kV, T2 (232 A).

### Postrojenje 110 kV

- DV 110 kV Goražde 2 (struja po fazi 131 A),
- DV 110 kV Rogatica (92 A),
- trafo polje 110 kV, T1 (243 A),
- trafo polje 110 kV, T3 (26 A),
- mjerno polje 110 kV, sistema sabirnica I,
- sistem sabirnica I, 110 kV,
- dostupni vidljivi dijelovi postrojenja 35 kV i 10 kV.

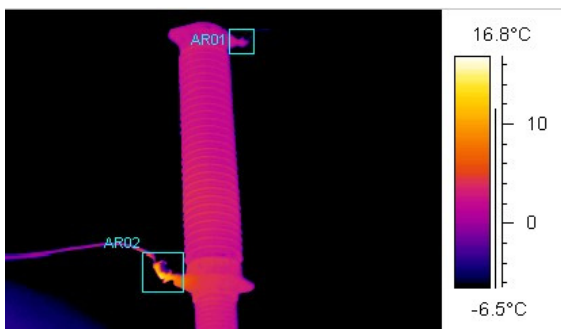
Na osnovu pregleda termograma primjetno je da postoji zagrijavanje na transformatoru T3 110/35/10 kV što je prikazano na slici 2. koje može biti prouzrokovano velikim prelaznim otporom kontakata, velikim opterećenjem, ili nesimetrijom faza.



Slika 2. Termogram transformatora T3 110/35/10 kV

Analizom termograma utvrđeno je da je temperatura provodnih izolatora na 10 kV strani u fazama „b“ i „c“, tj. označenim oblastima na slici 2, „AR02“ i „AR03“ 26.7°C odnosno 27.1°C, što u odnosu na fazu „a“ čija je temperatura 18.8°C znatno više ako se uzme u obzir da je struja po fazi 243A. Za dati slučaj preporuka je, detaljno izvrši pregled spojeva i izolatora.

U dalekovodnom polju DV 220kV Požega ustanovljeno je zagrijavanje na polu prekidača u fazi "0" prema strujnom mjernom transformatoru, označena oblast AR02 (slika 3).



Slika 3. Termogram prekidača F0 u DV 220 kV Požega

Izmjereno je temperatura na mjestu spoja prekidača prema strujnom mjernom transformatoru od 14.5°C što u odnosu na AR01 gdje je temperatura 2.9°C znatno više i preporučuje se saniranje mjesta zagrijavanja.

U transformatorskom polju T2, 400 kV ustanovljeno je zagrijavanje na kontaktu pokretnog i nepokretnog dijela sabirničkog rastavljača sistema II, (slika 4).



Slika 4. Termogram sabirničkog rastavljača sistema II u trafo polju T2 400 kV

Temperatura oblasti AR02 iznosi 15.8°C, a oblasti AR01, 3.2°C što ukazuje na povećano zagrijavanje na kontaktu pokretnog i nepokretnog dijela sabirničkog rastavljača sistema II.

Sljedeća termovizijska snimanja su rađena u TS 110/35/20/10 kV Goražde 1, gdje je temperatura okoline

iznosila 6°C, a vlažnost vazduha 53%RH. Termovizijski pregled je urađen za:

#### Postrojenje 110 kV

- DV 110 kV Foča (struja po fazi 39 A),
- DV 110 kV Pale (50 A),
- DV 110 kV Goražde 2 (128 A),
- trafo polje 110 kV, T1 (46 A),
- sistem sabirnica I, 110 kV.

#### Postrojenje 35 kV

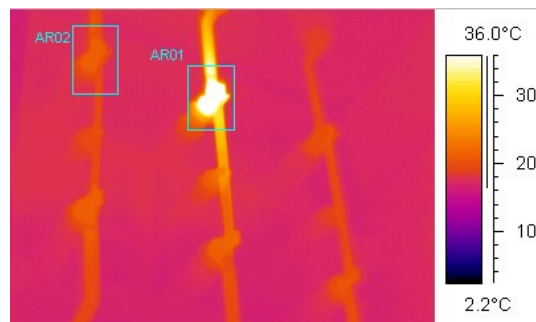
- DV 35 kV Pobjeda,
- trafo polje 35 kV trafoa T1,
- trafo T4 35/20 kV,
- sistem sabirnica II, 35 kV,
- dostupni vidljivi dijelovi postrojenja 20 kV i 10 kV.

Pregledom termograma primjetno je zagrijavanje na sabirničkom rastavljaču F4 sistema I u dalekovodnom polju DV110kV Goražde 2 (slika 5). Obradom i analizom termograma primjećeno je zagrijavanje na priključku rastavljača prema sabirnici sistema I, temperatura je iznosila 33.6°C, što je označeno na slici 5, kao oblast AR01, dok je na drugoj strani rastavljača, temperatura u oblasti AR02 9.9°C, te zbog primjetnog velikog odstupanja (temperaturne razlike) potrebno je interventno uraditi preventivni servis posmatranog priključka rastavljača na sabirnice.



Slika 5. Termogram sabirničkog rastavljača F4 u DV 110 kV Goražde 2

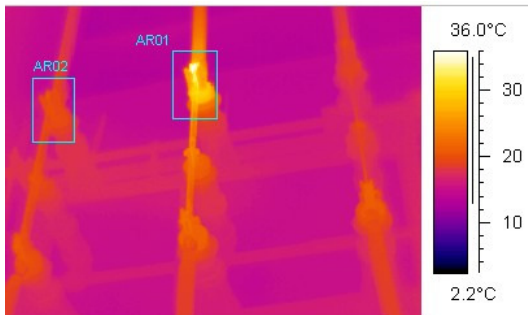
U transformatorskom polju T1 35 kV, na osnovu obrade i analize termograma utvrđeno je zagrijavanje na sabirničkom rastavljaču sistema II, faza "8", temperatura oblasti AR01 iznosi 41.1°C, (slika 6).



Slika 6. Termogram sabirničkog rastavljača sistema II u trafo polju T1 35 kV

U svrhu preventivnog održavanja i izbjegavanja neželjenih prekida u isporuci električne energije potrebno je interventno otklanjanje uzroka zagrijavanja i sanacija mjesta zagrijavanja.

Pregledom u dalekovodnom polju DV 35 kV Pobjeda uočeno je povećano zagrijavanje priključka izlaznog rastavljača, faza "8", prema dalekovodu, (slika 7).



Slika 7. Termogram izlaznog rastavljača u DV 35 kV Pobjeda

Na osnovu izvršene analize je utvrđeno da je priključak izlaznog rastavljača prema dalekovodu zagrijan na 37.4 °C, što takođe zahtjeva interventno otklanjanje uzroka zagrijavanja i sanaciju mjesta zagrijavanja.

Termovizijsko snimanje izvršeno za TS 110/20/10 kV Goražde 2, pri temperature okoline od 6 °C, vlažnost vazduha 79%RH. Termovizijski pregled je urađen za:

#### Postrojenje 110 kV

- DV 110 kV Višegrad (struja po fazi 130 A),
- DV 110 kV Goražde 1 (127 A),
- trafo polje 110 kV (3 A),
- mjerno polje 110 kV,
- ispitivanje za dostupne dijelove postrojenja 20 i 10kV.

U dalekovodnom polju DV 110 kV Višegrad primjetno je zagrijavanje na linijskom rastavljaču F4 (slika 8).

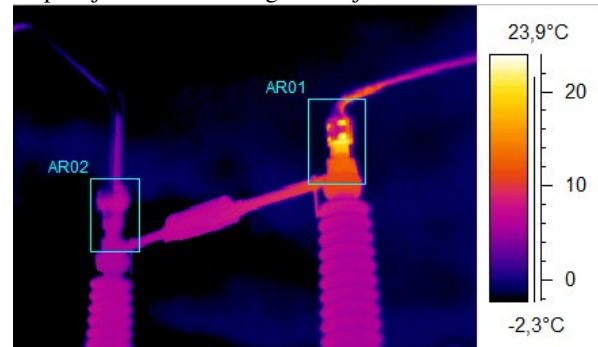


Slika 8. Termogram linijskog rastavljača F4 u DV 110 kV Višegrad

Obradom i analizom termograma je utvrđeno zagrijavanje na priključku linijskog rastavljača prema dalekovodu. Na označenoj oblasti na slici 8, AR01 temperatura je 22.3°C, dok je na drugoj strani rastavljača temperatura 7.4 °C.

Na sabirničkom rastavljaču u fazi „0“ u dalekovodnom polju DV 110 kV Goražde 1 evidentno je zagrijavanje na priključku prema sabirnicama (slika 9).

Sa datog termograma obradom i analizom utvrđuje se zagrijavanje na priključku rastavljača prema sabirnicama, oblast AR01, temperatura 22.8 °C, dok je na drugom priključku 7.1 °C. Preporučuje se saniranje mjesta zagrijavanja na priključku sabirničkog rastavljača.



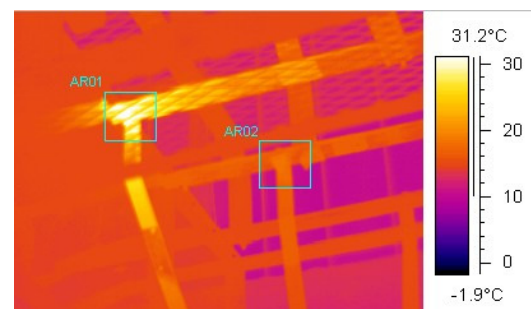
Slika 9. Termogram sabirničkog rastavljača F0 u DV 110 kV Goražde 1

Sljedeća transformatorska stanica za koju je izvršeno termovizijsko snimanje je TS 110/35/10 kV Sokolac. Prilikom ispitivanja, temperatura okoline je iznosila 4.5°C, a vlažnost vazduha 88%RH. Djelovi postrojenja za koje je rađeno snimanje su:

#### Postrojenje 110 kV

- DV 110 kV Rogatica (struja po fazi 75 A),
- DV 110 kV Sarajevo 4 (struja po fazi 35 A),
- trafo polje 110 kV (struja po fazi 40 A),
- mjerno polje 110 kV,
- dostupni dijelovi postrojenja 35 i 10 kV.

Na kablovskom odvodu KO 10 kV Unis primjetno je zagrijavanje na sabirničkom rastavljaču u fazi „0“ (slika 10). Temperatura zagrijanog dijela (AR01) je 35.5°C, dok je na dijelu AR02, 18.6°C. Na osnovu dobijenih rezultata obradom i analizom termograma potrebno je izvršiti interventno otklanjanje uzroka zagrijavanja na sabirničkom rastavljaču.



Slika 10. Termogram sabirničkog rastavljača FO na KO 10 kV Unis

Termovizijsko snimanje urađeno je i za TS 110/35/10 kV Rogatica, za temperaturu okoline od 3.5°C, vlažnost vazduha 70%RH. U vrijeme termovizijskog snimanja u pogonu su bili sljedeći dijelovi postrojenja, na kojima je bilo moguće obaviti snimanje:

### Postrojenje 110 kV

- DV 110 kV Višegrad (struja po fazi 90 A),
- DV 110 kV Sokolac (75 A),
- trafo polje 110 kV (15 A),
- mjerno polje 110 kV,
- dostupni dijelovi postrojenja 35 i 10 kV.

Na slici 11, prikazan je termogram pola prekidača (u fazi „4“) prema sabirničkom rastavljaču u dalekovodnom polju DV 110 kV Višegrad.



Slika 11. Termogram prekidača F4 u DV 110 kV Višegrad

Obradom i analizom termograma možemo vidjeti da je povećano zagrijavanje priključka prekidača prema sabirničkom rastavljaču (AR01). Temperatura je iznosila 15.1 °C, dok je na drugom priključku prekidača (AR02) iznosila 4.1 °C, što takođe povlači izvršenje preventivnog servisa kako ne bi došlo do daljih oštećenja.

## V. ZAKLJUČAK

Navedeni primjeri daju jasnu sliku o mogućnostima IR termografije kao preventivne metode u otkrivanju i analizi potencijalno mogućih pojava kvarova u elektroenergetskim postrojenjima. Primjenom infracrvenog termičkog zračenja dolazi se do informacija o stanju VN i SN opreme u eksploataciji, a praćenjem porasta temperature u odnosu na temperaturu okoline, trenutna opterećenja na karakterističnim mjestima, može se odrediti stepen opasnosti od povećanog zagrijavanja, te blagovremenom, preventivnom intervencijom znatno povećati pouzdanost i raspoloživost datog postojenja.

Na osnovu navedenih primjera može se zaključiti, zagrijavanja se najčešće dešavaju na priključcima rastavljača, ali i prekidača. Primjetno je da, ispravni spojevi, kontakti prekidača i rastavljača imaju temperaturu približnu temperaturi okoline, dok „loši“ spojevi i kontakti imaju temperature koje znatno odstupaju od temperature okoline, što direktno ukazuje na stanje tačke koje je potrebno sanirati. Najčešći uzrok ovoj pojavi su oksidacija i loši spojevi gdje zbog prelazne otpornosti kontakta dolazi do povećanog zagrijavanja. Da bi se umanjila ova pojava potrebno je redovno vršiti preventivnu termovizijsku kontrolu, tako da se na vrijeme mogu uočiti tačke u kojima je došlo do povećanja temperature koja može dovesti do oštećenja elemenata u postrojenju pa i do ispada dijelova ili cijelog postrojenja, sistema, što za posljedice može imati veliku materijalnu i finansijsku štetu kako za proizvođača tako i za potrošača.

Uzroci povećanog zagrijavanja ne moraju biti samo loši spojevi. Povećana temperatura na nekom od elemenata postrojenja, npr. na provodnim izolatorima na transformatoru, ukazuje da je posmatrani dio u lošem stanju i potrebno je taj dio zamjeniti u što kraćem roku.

## LITERATURA

- [1] Dj. Koruga, D. Vasiljević, J. Šakota, Osnove optike, optičkih pomagala i uređaja, Handout 12- 2012/2013
- [2] Ljubiša Čičkarić, Primena termografije u dijagnostici toplotnih stanja energetskih transformatora, Elektrotehnički institut “Nikola Tesla”, Beograd, 2009
- [3] Therma CAM PM 675 Operator's manual”, Decembar 2000 – Publ. No. 1 557 455 – Rev. A.
- [4] FLIR, User's manual Flir R&D Software 3.3.
- [5] Izvještaji o provedenoj preventivnoj IR termografiji u EEO TJ Višegrad, januar 2015.

## ABSTRACT

This paper presents the application of IR thermography in the situation of certain segments of substations within the jurisdiction of the Elektroprenos of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo operational area, TJ Višegrad for the purpose of preventive maintenance. The advantage of this technology is reflected in the contactless Thermal imaging visually accessible segments of the plant, without additional equipment and working conditions disrupting the plant. The analysis is based on the recorded thermograms i.e. based on the measured temperature of individual parts of the plant. Satisfactory results are obtained under the condition that the plant load greater than 50% of rated power. To monitor the condition of switch gear used the camera ThermaCAM PM 675 and Flir E40. The results of these investigations are presented in this paper.

### PREVENTIVE THERMAL IMAGING OF SWITCH GEAR USING IR THERMOGRAPHY

Predrag Šaraba, Božidar Popović, Dražan Krsmanović