

# BOSANSKO-HERCEGOVAČKA METEORSKA MREŽA

## UVOD

Meteori su lokalna pojava, tj. pojedini meteori vidljivi su samo iz jedne manje regije na Zemlji, ispod mjesta na kom su se upalili. Nastaju ulaskom manjih tijela iz međuplanetskog prostora (veličina u rasponu od zrnaca pijaska i šljunka do većih stijena) u Zemljinu atmosferu velikim brzinama (najčešće između 10 i 70 kilometara u sekundi). Uslijed trenja već sa gornjim slojevima atmosfere (termosfera) dolazi do jonizacije i zagrijavanja vazduha i na visinama od oko 100 km postaje vidljiv trag uslijed njihovog prolaska. Najveći broj ovih čestica istopi se ablacijom i nestane jako brzo (za 0.1 - 0.5 sekundi) na putu od oko 20 km i ovo je razlog zbog koga se vide iz relativno male oblasti. Osnovna ideja jedne meteorske mreže se sastoji u pravljenju video snimaka meteora, istovremeno sa bar dvije međusobno udaljene video kamere. Na osnovu toga je moguće odrediti atmosfersku trajektoriju meteora i njegovu brzinu u svakom frame-u videa. Poznavanje ove brzine omogućuje nam izračunavanje njegove heliocentrične brzine i orbite meteorske čestice prije sudara sa Zemljom, čime u određenim slučajevima možemo utvrditi njegovo porijeklo i vezu sa matičnim kometom ili asteroidom. Bosanskohercegovačka meteorska mreža je nastajala i razvijala se u prethodne dvije godine kao rezultat saradnje Astronomskog društva Orion Sarajevo i Federalnog hidrometeorološkog zavoda. U prvoj fazi (08.2012.-05.2013.) testirane su mnoge CCTV kamere, kućišta, lokacije i softver, a od 5. mjeseca 2013. godine krenulo se sa postavljanjem stalnih stanica po BiH i susjednim zemljama. U ovom radu predstavljamo rezultate prve godine rada BiH meteorske mreže.

## STANICE I OPREMA

Mnoge CCTV kamere koje se koriste za video nadzor pri lošim uslovima osvjjetljenja, imaju dovoljnu osjetljivost da, uz kvalitetan objektiv, na vidnom polju reda 80x60 stepeni detektuju zvijezde i do 4 prividne magnitute. Mnogi modeli ovih kamera se upotrebljavaju za praćenja okultacija zvijezda asteroidima i za snimanje meteora. Nakon određenog perioda testiranja raznih modela, nabavili smo 7 kamera proizvođača iDEA Classic iz Hrvatske, model DVC-CAM-SM234LX-Ex i 3 kamere proizvođača KT&C iz Koreje, model KPC-350BH. Oba tipa kamera koriste visokoosjetljive Sony EXview HAD CCD chipove čije su karakteristike date u tabeli 1. Za sve ove kamere su nabavljeni japanski objektiv Tokina, model TVR0398DCIR čije karakteristike su date u tabeli 2.

TABELA 1

Model	Format	System	Chip
DVC-CAM-SM234LX-Ex	1/3"	PAL 25 fps	ICX255AL
KPC-350BH	1/3"	NTSC 29.97 fps	ICX254AL

TABELA 2

Model	TVR0398DCIR
Focal length	3 - 8.2 mm manual
F number	0.98
Iris	automatic

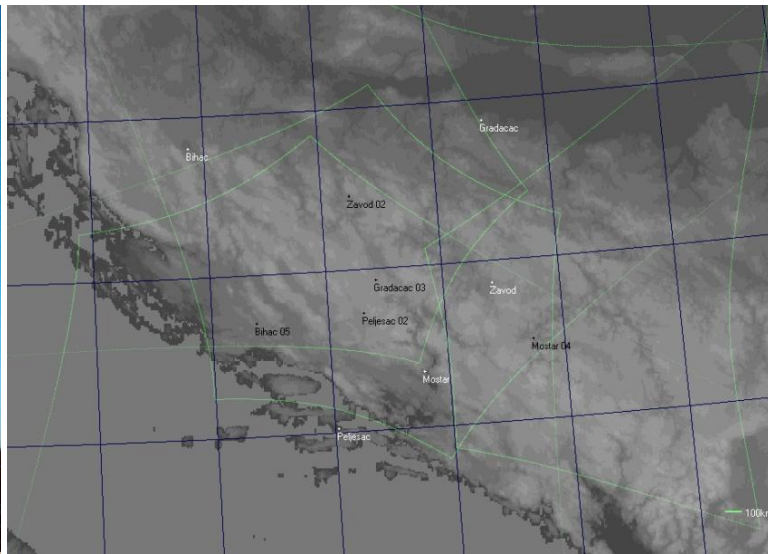


Slika 1. Dva modela kamera koje se koriste i objektiv Tokina.

Svaka stanica se sastoji od jednog računara, UPS uređaja i kamere postavljene u klasično kućište za nadzorne kamere sa grijanjem (slika 2). Računari moraju biti klase Pentium IV ~ 2 GHZ zbog procesorske snage koju zahtjeva obrada videa.



Slika 2.



Slika 3.

U saradnji sa Federalnim hidrometeorološkim zavodom BiH do sada smo postavili stalno 5 stanica, uglavnom na zgrade postojećih hidrometeoroloških u raznim gradovima u BiH. Osnovni podaci o lokacijama stanica, usmjerenju, veličini vidnog polja i preciznosti kamera dati su u tabeli 3. Mapa vidnog polja naših stanica na visini od 100 km je prikazana na slici 3.

TABELA 3

Location	Lat (°)	E long (°)	Alt (m)	Resolution	FOV (°)	Azimuth (°)	Elevation (°)	'/ pixel
Pelješac	43.0272	17.0318	10.0	704x528	80x60	15.07	47.16	7.0
Bihać	44.8078	15.8667	301.0	704x528	80x60	160.37	37.66	7.0
Gradačac	44.8700	18.4500	230.5	704x528	80x60	217.15	31.20	7.0
Mostar	43.3483	17.7933	97.0	704x528	70x52	78.81	51.29	6.0
Sarajevo	43.8676	18.4228	631.0	720x480	90x68	309.57	36.71	7.5
Bjelašnica*								

\* Postavljene su dvije kamere jedna kraj druge ali usmjerene na različite strane

## AKVIZICIJA I OBRADA PODATAKA

Kamere su monohromatske i imaju analogni izlaz, tako da je za njegovu digitalizaciju i snimanje potrebno koristiti TV karticu sa video ulazom ili specijalni video grabber. U našim kompjuterima se nalaze razni modeli PCI TV kartica, najčešće proizvođača Hauppauge ili USB video grabberi marke EasyCap. Akvizicija podataka, odnosno snimanje meteora iz digitalizovanog videa vrši se uz pomoć softverskog paketa UFO japanske meteorske mreže SonotaCo<sup>1</sup>. Ovaj paket se sastoji od tri programa: UFOCapture – za snimanje meteora, UFOAnalyzer – za kalibraciju vidnog polja kamere i mjerenje koordinata meteora u svakom frameu videa i UFOOrbit – za računanje atmosferske putanje i orbite simultano snimljenih meteora. Za traženje simultanih meteora u snimcima više raznih kamera ključno je da su sistemski satovi računara na svakoj stanici sinhronizovani na isto vrijeme. Ovo se vrši uz pomoć programa Dimension 4 koji sistemsko vrijeme računara usklađuje preko Interneta sa vremenskim serverima svake minute.

UFOCapture prati digitalni video sa kamere frame po frame, računa srednju vrijednost sjaja svih pixela u svakom frameu i na osnovu toga postavlja određeni prag sjaja koji treba biti prekoračen od strane određenog broja pixela u određenom broju sukcesivnih frameova da bi se to shvatilo kao dovoljno značajna promjena i bilo okidač za snimanje videa. Pri tome se u softveru mogu naštimati parametri koji će isključiti snimanje kratkotrajnih bljeskova, sporih objekata kao što su avioni u vidnom polju kamere ili takvih promjena kod kojih je rezultujuća putanja na nebu previše zakrivljena da bi se moglo raditi o meteoru. Program može čuvati u bufferu i zadani broj frameova tako da se skupa sa pojavom koja je pokrenula snimanje može snimiti i određeni broj frameova prije početka i nakon prestanka te pojave. Skupa s videom se snima i tekstualni log file u kome se navode koordinate pixela u kojima se desila promjena za svaki frame, broj piksela u kojima se desila promjena, trenutak u kome se to desilo i još neki podaci vezani za taj video. Osim toga, kako se u vidnom polju kamere nalaze i zvijezde koje takođe imaju sjaj iznad prosjeka, s tim da se u kratkim intervalima vremena ne pomjeraju zamjetljivo, program izdvaja i snima njihove pozicije u jednu bitmap sliku kao tzv. scintillation mask, što se dalje koristi u analizi videa.

Za vedre noći u vidnom polju reda veličine 80x60 stepeni se u videu naših kamera opaža između 50 i 200 zvijezda do magnitude 4. Ove zvijezde se koriste za kalibraciju vidnog polja kamere u programu UFOAnalyzer. Prilikom postavljanja kamere jedan video sa što je moguće više vidljivih zvijezda se koristi za pravljenje profila kamere. Ono što je prepoznato kao zvijezde od strane programa UFOCapture se ručno poklapa sa pozicijama zvijezda vidljivih u datom momentu s date pozicije u toj oblasti neba, iz kataloga koji koristi program UFOAnalyzer. Ovo omogućuje grubo pronalaženje orijentacije kamere, a zatim automatski postupak u softveru povezuje i sve ostale zvijezde sa koordinatama iz kataloga i računa tzv. konstante ploče. Kako se za ovako veliko vidno polje koriste objektivni kod kojih može biti značajne distorzije slike, u ovim računima se ide do koeficijenata četvrtog reda. U konačnici ovo daje jednačinu pomoću koje je moguće za bilo koje koordinate (x,y) na frameu videa dobiti nebeske koordinate datog pixela bilo u horizontalnim bilo u ekvatorskom koordinatnom sistemu, pri čemu je u slučaju ekvatorskih koordinata uračunata i atmosferska refrakcija. Ovo se skupa sa geografskim koordinatama stanice, vidnim poljem i rezolucijom kamere spašava kao profil kamere i koristi dalje u analizi snimaka meteora. Nakon svake noći snimanja, snimci se ručno pregledaju pri čemu se odstranjuju oni snimci koji nisu meteori, a UFOCapture ih nije odbacio. Ovo mogu biti npr. insekti ili ptice koji prolete jako blizu kamere i

za njihovo razlikovanje od meteora je potrebno određeno iskustvo u radu sa datom stanicom. Nakon toga se svaki meteorski snimak propušta kroz analizu u kojoj se u svakom frameu videa određuje pozicija meteora i zapisuje kao horizontske i ekvatorske koordinate, skupa sa brojem pixela koje pokriva meteor i ukupnim sjajem tih pixela. Konačno se vrši fitovanje ovih pozicija velikim krugom na nebeskoj sferi i kao rezultat dobija isječak velikog kruga koji odgovara prividnoj putanji meteora na nebeskoj sferi. Za svaki meteor se sve ovo skupa sa koordinatama stanice spašava u jedan fajl koji je izlaz analize. Rezultati za sve meteore iz određenog vremenskog intervala, npr. jedne noći, se mogu spasiti i u vidu Excel tabele u kojoj su zapisani samo oni podaci bitni za računanje atmosferske trajektorije i orbite, a to su podaci vezani za isječak velikog kruga koji odgovara tragu meteora, podaci o srednjoj ugaonoj brzini, vremenu pojave i trajanja meteora i pozicija stanice.

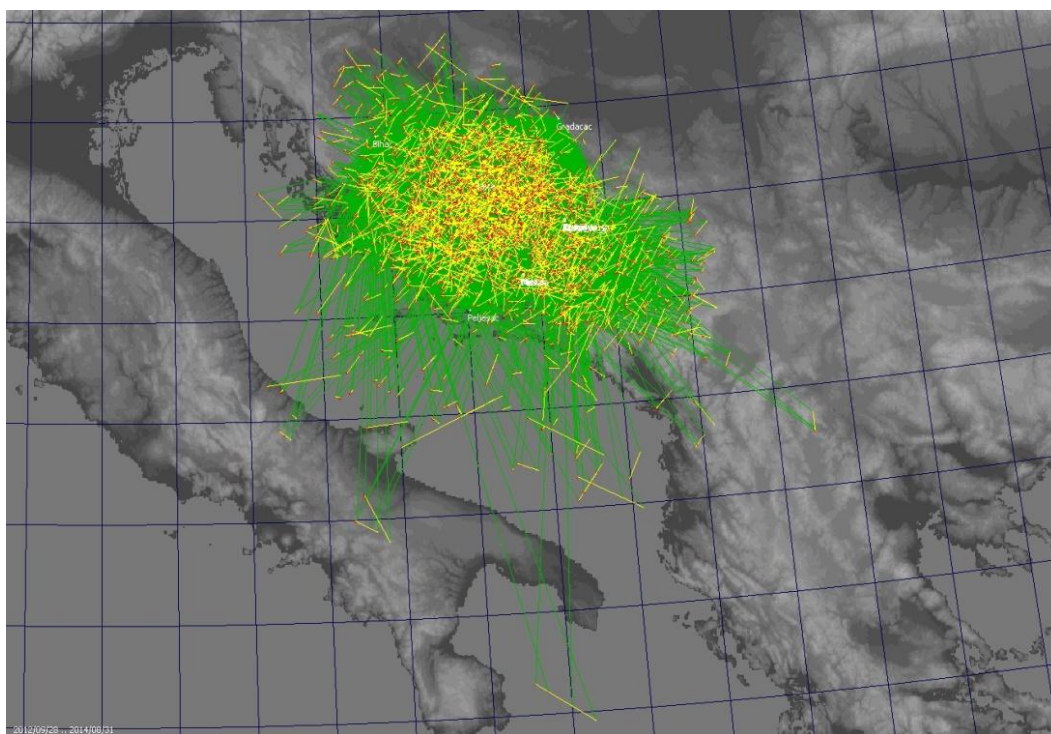
Kada se obrade snimci sa pojedinih stanica, rezultati se prikupljaju na jedno mjesto i predaju programu UFOOrbit koji prije svega provjerava da li su među snimljenim meteorima na svim stanicama neki od njih zabilježeni istovremeno sa dvije ili više stanica, u okviru određene vremenske tolerancije. Ako se utvrdi da je to slučaj, provjerava se da li su vidna polja tih kamera takva da je moguće da se radi o istom meteoru, tj. da su kamere tako usmjerene da su snimale istu oblast na visini od oko 100 km na kojoj se obično pale meteori i ako je to slučaj, slijedi račun atmosferske trajektorije i orbite. UFOOrbit za račun atmosferske trajektorije i orbite koristi tzv. metodu ravni opisanu u radu Zdeneka Cepelche iz 1987 godine<sup>2</sup> u kojoj se zbog njihovog veoma kratkog trajanja putanje meteora smatraju pravolinijskim. Ukratko, veliki krug sa jedne stanice skupa sa koordinatama te stanice određuje jednu ravan u prostoru, a presjekom dvije takve ravni sa dvije stanice za simultani meteor dobija se prava čiji je segment atmosferska putanja meteora. Ova prava probija nebesku sferu u radijantu i antiradijantu meteora, a podatak o trajanju i atmosferskoj putanji meteora omogućuje da se dobije i brojna vrijednost njegove brzine što skupa sa radijantom daje vektor brzine meteorske čestice pri susretu s atmosferom. Zatim se uračunava zenitsko privlačenje koje je efekat Zemljine gravitacije i računa heliocentrična brzina meteorske čestice izvan sfere Zemljinog uticaja. Poznavanje trenutnog položaja Zemlje na putanji daje heliocentrični položaj meteorske čestice što skupa s brzinom daje njenu heliocentričnu orbitu. Konačno se svi parametri meteora upoređuju sa parametrima poznatih meteorski rojeva i u slučaju poklapanja, meteor se asocira sa datim rojem. UFOOrbit daje i grafički prikaz heliocentrične putanje i projekciju atmosferske putanje na Zemljinu površinu. Kvalitet dobijenih orbita, tj. neodređenosti u putanjskim elementima i atmosferskoj putanji ovisi značajno o geometriji datog slučaja i o trajanju meteora. Najkvalitetnije orbite se dobijaju u slučaju da je ugao između ravni dvije stanice blizu 90° dok je brzina meteora bolje određena što je duže njegovo trajanje. Zbog ovoga UFOOrbit vrši klasifikaciju orbita prema određenim parametrima kvalitete. Najkvalitetnije orbite su tzv. Q3 orbite kod kojih se zahtjeva da je spomenuti ugao između dvije ravni bar 15°, trajanje bar 0.3 s. Pored toga zahtjeva se da je dužina traga meteora na obje stanice bar 3°, njihovo preklapanje makar 50% i da razlika u brzinama izračunatim s jedne i druge stanice ne prelazi 10%. Tu je još niz zahtjeva na visinu na kojoj se pojavio meteor, njegovu geocentričnu brzinu i neodređenost u određivanju njegovog radijanta.

## STATISTIKA ROJEVA I SPECIJALNI SLUČAJEVI

Tokom svog probnog i stalnog rada, zaključno sa avgustom 2014. godine, kamere BiH meteorske mreže snimile su ukupno 14792 meteora od čega je 2349 snimljeno simultano sa dvije ili više kamera tako da su im izračunate orbite. Snimljeni su meteori iz svih većih rojeva i podaci o njima dati su u tabeli 4.

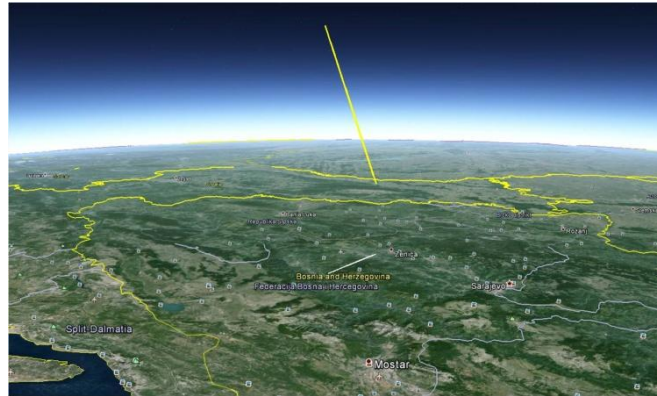
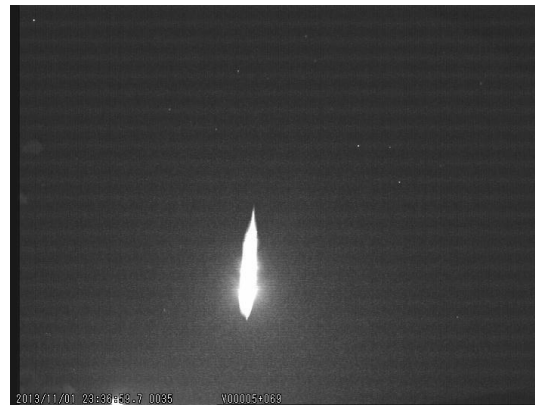
TABELA 4

Meteorski roj	Broj meteora	Broj orbita	Broj Q3 orbita
Orionids 2012.	286	33	2
Perseids 2013.	663	84	7
Orionids 2013.	333	47	3
Geminids 2013.	1081	202	52
Perseids 2014.	1978	410	56



Slika 4.

Snimljeno je i nekoliko jako dugih meteora, tzv. "earthgrazera" od kojih su 4 duža od 100 km, a najduži ima atmosfersku putanju od 154 km. Velika većina meteora ima trajanje od manje od 0.5 s dok je tokom cijelog rada mreže snimljeno 44 meteora sa trajanjem dužim od 1 sekunde. Snimljeno je i nekoliko tzv. bolida - sjajnih meteora čiji let je bio popraćen i eksplozijama od kojih neki imaju apsolutni sjaj veći od -5. Najznačajniji se desio 01.11.2013. u 23:36:59 UTC i snimljen je sa 3 stanice naše mreže, 2 stanice hrvatske meteorske mreže i jednom stanicom telijanske meteorske mreže. Svijetli let mu je trajao duže od 3 sekunde i počeo je na visini od oko 90 km, a završio na oko 34 km u blizini grada Zenice.



Slika 5. Bolid od 01.11.2013. snimljen iz Sarajeva, Gradačca i Pelješca.

Prema nekim našim procjenama njegov apsolutni sjaj je iznosio između -8 i -9, a moguće je da je početna masa tijela koje ga je uzrokovalo iznosila i preko 10 kg. Ove analize su otežane činjenicom da je bio jako sjajan i da nije moguće jednostavno izračunati njegov sjaj iz poređenja sa mnogo manje sjajnim zvezdama, a niti naći precizno koordinate centra svijetle slike zbog saturacije koju je izazvao u CCD-u kamere. Tokom leta desilo se više eksplozija i postoji mogućnost da su neki od fragmenata preživjeli atmosferski let i pali u blizini Zenice.