

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geofizički odsjek

Suzana Panežić

**Analiza satelitskih oborinskih produkata nad Jadranom za  
vrijeme HyMeX SOP1 razdoblja**

Diplomski rad

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geofizički odsjek

Diplomski rad

**Analiza satelitskih oborinskih produkata nad Jadranom za  
vrijeme HyMeX SOP1 razdoblja**

Suzana Panežić

Voditeljica: doc.dr.sc. Nataša Strelec Mahović

Povjerenstvo:

doc.dr.sc. Nataša Strelec Mahović

prof. dr.sc. Zvezdana Bencetić Klaić

doc.dr.sc. Snježana Markušić

Zamjena:

doc.dr.sc. Ivana Herceg Bulić

dr.sc. Ivica Sović, viši predavač

## Sažetak:

Zbog rijetke mreže kišomjernih postaja i nepokrivenosti radarima, teško je analizirati i prognozirati ekstremne količine oborine na Jadranu. Postavilo se pitanje mogu li se kao dodatak trenutnim podacima iskoristiti satelitski oborinski produkti. Analizirani su NWC SAF satelitski oborinski produkti za 6 epizoda s ekstremnim količinama oborine tijekom HyMeX SOP1 razdoblja te uspoređeni sa satnim i dnevnim akumuliranim oborinama izmjerenim na kišomjernim postajama. Zbog bolje vizualizacije, napravljena je linearna interpolacija satelitskih oborinskih produkata s neuniformne na uniformnu mrežu, kako bi se zadržao originalni oblik domene. Vjerojatnost detekcije oborine i vizualna usporedba pokazale su da se satelitski oborinski produkti mogu koristiti za promatranje evolucije i gibanja konvektivnih sustava, ali zbog sustavnog potcjenjivanja intenziteta oborine nisu adekvatni za procjenu stvarnih satnih i dnevnih akumulacija oborine, osim u slučaju grubih procjena manjih količina oborine. Upotrebom četiri različite metode usporedbe pokazano je da se najbolji rezultati dobivaju ako se satelitski produkt usrednji za 9 piksela oko postaje. Također se pokazalo da korekcije vezane uz orografiju i pojavu paralakse nisu adekvatne te je potrebna dodatna korekcija.

## Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Materijali i metode.....	6
2.1. Odabrane meteorološke situacije.....	6
2.1.1. 12. - 14. rujna 2012. ....	6
2.1.2. 19. - 20. rujna 2012. ....	7
2.1.3. 1. - 2. listopada 2012. ....	8
2.1.4. 15. - 16. listopada 2012. ....	8
2.1.5. 26. - 29. listopada 2012. ....	9
2.1.6. 31.– 1. studenog 2012. ....	10
2.2. NWC SAF oborinski produkti.....	10
2.3. CRR satne akumulirane oborine.....	13
2.4. Normalizirana geostacionarna projekcija (GEOS).....	14
2.5. Domena CRR produkta.....	17
2.6. Vizualizacija CRR satnih akumuliranih oborina.....	17
2.7. Kišomjerni podaci.....	18
2.8. Metode usporedbe vrijednosti CRR produkata s izmjerenom količinom oborine .....	19
2.8.1. Linearna interpolacija .....	19
2.8.2. Pripadni piksel .....	19
2.8.3. Usrednjavanje 9 piksela .....	20
2.8.4. Maksimum od 9 piksela .....	20
2.9. Numerički eksperimenti .....	21
3. Rezultati .....	23
3.1. Analiza satnih akumuliranih oborina .....	23
3.2. Analiza dnevnih akumuliranih oborina .....	35
4. Diskusija i zaključak .....	51
5. Literatura .....	53
6. Prilozi .....	55

## 1.Uvod

Jadransko more ima bazen izduženog oblika, duljine oko 800 km, širine oko 200 km s dubinom koja opada prema sjeveru i s tri strane je okružen planinskim lancima: Apeninima na zapadu i jugozapadu, Alpama na sjeveru i Dinaridima na istoku. Takva orografija čini hrvatsku obalu iznimno podložnom ekstremnim količinama oborine, pogotovo u jesen kada je utjecaj azorske anticiklone slab, površinske temperature mora su još uvijek relativno visoke i pojave ciklona nad Jadranom su česte.

U 80 % slučajeva pojave ekstremne količine oborine u blizini područja na kojem je zabilježena ekstremna količina oborine nalazi se ciklona [1]. Prelazak polja niskog tlaka zraka preko Jadrana potiskuje relativno topao i vlažan zrak prema obali, čija složena orografija potiče razvoj konvektivnih oblaka. U slučaju da je konvektivni sustav dovoljno razvijen, dolazi do pojave ekstremnih količina oborine koje mogu napraviti veliku materijalnu štetu u naseljenim mjestima i ugroziti živote ljudi [2]. Na području Jadrana, ekstremnom oborinom smatra se količina oborine veća od 100 mm u jednom danu i statistički nije rijetka pojava (u prosjeku dva događaja godišnje na južnom Jadranu) [3]. U zaštiti ljudi i materijalnih dobara veliku ulogu imaju pravodobne prognoze i upozorenja na velike količine oborine.

Točnost prognoza izravno ovisi o kvaliteti podataka koji ulaze u prognostičke modele, ali je neophodno i dobro razumijevanje svih procesa u sustavu koji se promatra. Zbog kompleksne orografije Sredozemlja, slabog razumijevanja procesa na malim skalama i njihovog nelinearnog utjecaja na procese većih skala, prognoze ekstremnih vremenskih prilika još uvijek nisu dovoljno precizne.

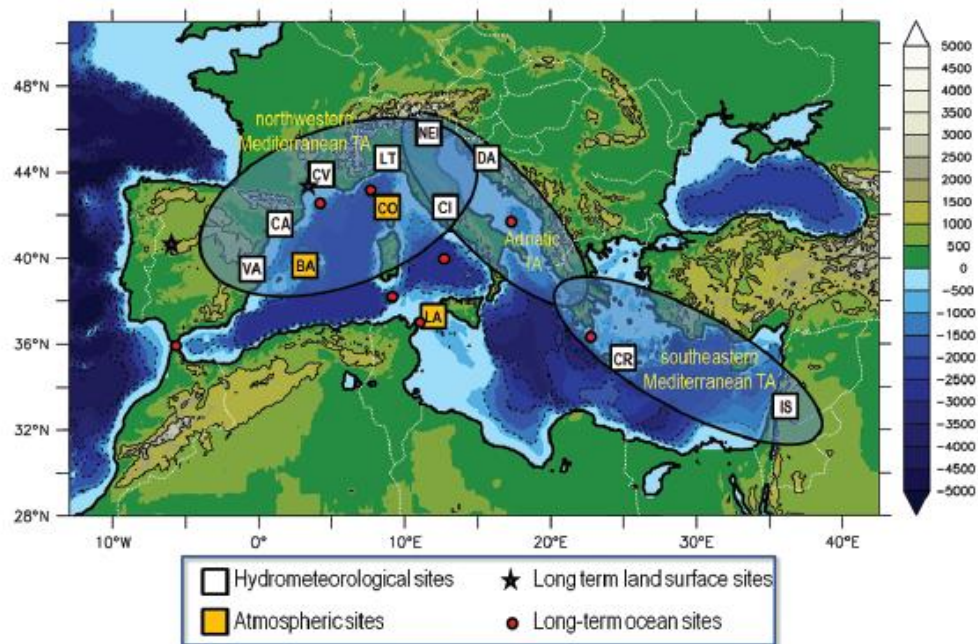
U svrhu poboljšanja kvalitete prognostičkih modela pokrenut je projekt HyMeX (HYdrological cycle in the Mediterranean EXperiment), koji se bavi proučavanjem hidrološkog ciklusa na Sredozemlju i svih vezanih procesa (Slika 1).



Slika 1: Hidrološki ciklus, [4]

Cilj tog projekta je stvoriti niz podataka dovoljno dobre vremenske i prostorne rezolucije koji bi omogućio dobar opis hidrološkog ciklusa, njegove varijabilnosti i povezanosti s klimom regije, ispitivanje prikladnosti postojećih operativnih modela te se razvile bolje parametrizacije istih. Zbog njihovog značaja, velika važnost se pridaje ekstremnim vremenskim prilikama, kao i utjecaju klimatskih promjena [5].

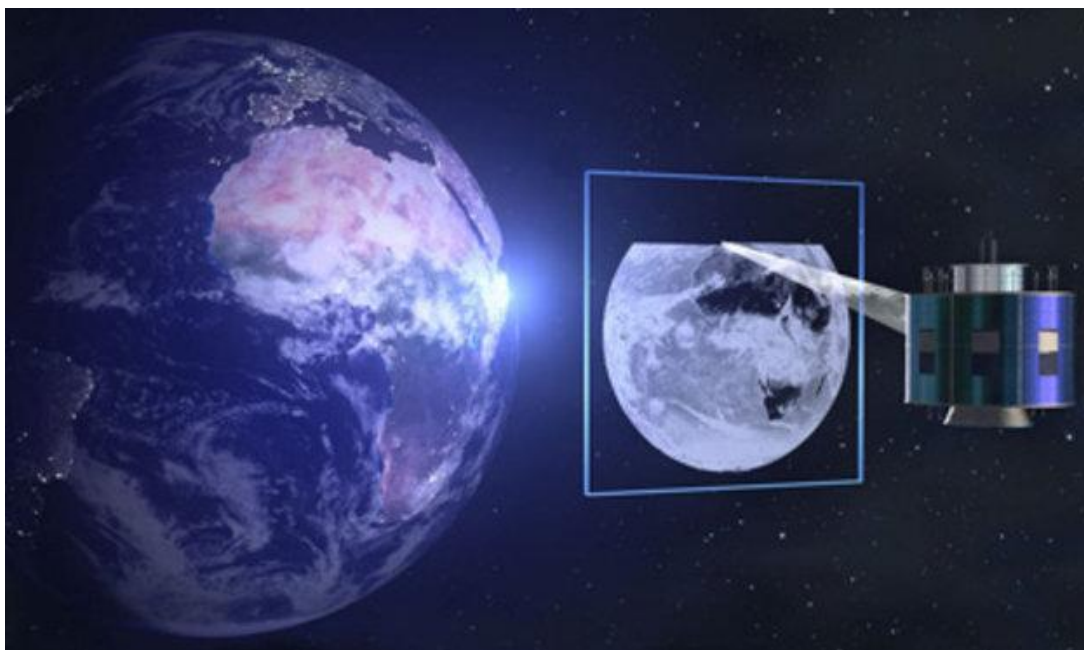
HyMeX projekt se sastoji od nekoliko ugnježdjenih perioda motrenja. Dugoročni period motrenja (LOP, Long-term observation period) je počeo u rujnu 2010. g. i trajat će do 2020. g. Pokriva cijelo područje Sredozemlja, a temelji se na proučavanju sezonske i godišnje varijabilnosti hidrološkog ciklusa. Pojačan period motrenja (EOP, Enhanced observation period) traje od 2012. g. do 2015. g., obuhvaćen je LOP periodom motrenja, a karakteriziran je dodatnim mjerenjima i instrumentima kako bi se poboljšala vremenska i prostorna rezolucija na tri područja: sjeverozapadnom Sredozemlju, Jadranu i jugoistočnom Sredozemlju (Slika 2). EOP posebni značaj pridaje proučavanju vodne bilance i vezanih procesa. Specijalni period motrenja (SOP, Special observation period) je obuhvaćen LOP i EOP periodima, a dijeli se na dva dijela. Prvi dio (SOP1) održan je u jesenskom periodu 2012. g. (5. rujna - 6. studenog) s ciljem dokumentiranja ekstremnih količina oborine i poplava. Tijekom tog razdoblja izvršena su dodatna avionska i balonska mjerenja te mjerenja pomoću plutača na području Francuske. Drugi dio (SOP2) održan je u zimskom periodu 2013. g. (2. veljače - 15. ožujka) s ciljem proučavanja interakcija između atmosfere i mora. Tijekom tog razdoblja izvršena su dodatna mjerenja pomoću plutača i driftera [6].



Slika 2: Područja obuhvaćena EOP periodom, [6]

U povijesti, glavni izvor podataka o oborini bile su kišomjerne postaje. U doba tehnološkog razvoja, te podatke su nadopunili podaci s automatskih kišomjernih postaja i radara te u najnovije vrijeme satelitski podaci. Radari, nakon što se kalibriraju s mjerenjima kišomjernih stanica, daju kontinuiranu procjenu intenziteta i količine oborine pri tlu na širem području. Radiometri na satelitima imaju manu da uglavnom ne mogu mjeriti dalje od gornjih slojeva oblaka pa se satelitski produkti oborine kompleksnim algoritmima izračunavaju iz podataka o zračenju tih gornjih slojeva oblaka iz kojih se može dobiti informacija o vrsti oblaka, temperaturi vrhova, visini, sadržaju vode u oblaku, strukturi u smislu sadržaja vodenih ili ledenih elemenata i slično. Na taj način satelitski produkti, uz brojne korekcije i kalibracije, daju kontinuiranu procjenu intenziteta i satnih akumulacija oborine pri tlu.

U ovom radu korišteni su podaci s MSG (Meteosat Second Generation) satelita Meteosat-10, koji se nalazi u geostacionarnoj orbiti na 36 000 km iznad ekvatora i nultog meridijana i daje sliku Zemljinog diska svakih 15 minuta (Slika 3).



*Slika 3: Meteosat-10, [7]*

Radiometar SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), koji se koristi na satelitu Meteosat-10, snima zračenje sa Zemlje u 12 spektralnih kanala (Prilog 1), što ga čini trenutno jednim od najboljih uređaja za praćenje raznih meteoroloških fenomena [8].

U izradi satelitskih produkata kombiniraju se svi infracrveni kanali, podaci u vidljivom dijelu spektra te kanali u apsorpcijskim vrpcama vodene pare. Podaci u vidljivom dijelu spektra prikazuju intenzitet reflektiranog Sunčevog zračenja i kao takvi su dostupni samo tijekom dana. Na slikama snimljenima u tim kanalima bijela (svijetla) su područja velikog albeda što označava guste oblake, dok su tamnija područja bez oblaka, a najtamnije je more koje ima najmanji albedo. U infracrvenom području senzor detektira dugovalno zračenje koje emitira Zemljina površina te daje dobru osnovu za mjerenje temperature pojedinih objekata, uključujući i vrhove konvektivnih oblaka. S obzirom na to da topliji objekti emitiraju jače zračenje nego hladni, kod izravnog prikaza zračenja u infracrvenim kanalima oblaci su crni, a tlo bijelo. Kako takav prikaz nije intuitivan, slika se prikazuje u invertiranom obliku u kojem svjetlije nijanse pripadaju oblacima, pri čemu su najsvjetliji oni najhladniji (cirusi i vrhovi kumulonimbusa), a tamne nijanse toplim objektima (tlo, more, itd.). Kanali u spektru vodene pare također su infracrveni kanali, ali su valne duljine odabrane tako da se mjerenje vrši u onim spektralnim područjima u kojima vodena para u atmosferi apsorbira gotovo svo zračenje. Mjerenjem zračenja u tim kanalima zapravo se mjeri ono zračenje koje je vodena para apsorbirala, a zatim ponovo emitirala prema satelitu. Na taj se način mjeri sadržaj vodene



pare u atmosferi. Svjetlija područja na ovakvim slikama označavaju veću koncentraciju vodene pare u srednjoj troposferi te izdizanje toplog zraka, dok tamnija označavaju manje koncentracije i spuštanje zraka [9].

Jedna od glavnih poteškoća kod izrade oborinskih produkata dobivenih na osnovi infracrvenih kanala je prepoznavanje cirusa. Kao i kod vrhova razvijenih kumulonimbusa, njihova temperatura je izrazito niska, ali oborina iz njih ne dopire do površine Zemlje. Zato se za svaki piksel radi dodatna analiza: uzima se veće područje (25x25 piksela), računa se srednja temperatura na tom području te ju se uspoređuje s pikselom najniže temperature. Velike razlike karakteristične su za kumulonimbuse, dok su male razlike karakteristične za ciruse. Kako se cirusi izostavljaju iz vizualizacije, postoji opasnost da u slučaju kada je jako veliko područje pokriveno cirusima previdimo oborinski sustav na manjim visinama, pogotovo u zimskim mjesecima [10][11].

S obzirom na to da je točnost procjene oborine pomoću satelitskih produkata ovisna o mnogo faktora (relativnoj vlažnosti zraka u nižoj troposferi, orografiji ispod baze oblaka, vertikalnoj strukturi oblaka, kvaliteti korekcija, itd.), a senzori ne mogu mjeriti puno dalje (dublje) od gornjih slojeva oblaka, oni se uglavnom koriste za procjenu intenziteta i količina oborine u područjima gdje radarska mjerenja nisu dostupna.

Gotovo cijela hrvatska obala je područje koje trenutno nije pokriveno radarskim mjerenjima (izuzev radara malog dometa u Istri i kod Dubrovnika). Cilj ovog rada je usporediti satelitske oborinske produkte s mjerenjima kišomjernih postaja na Jadranu tijekom HyMeX SOP1 perioda i procijeniti primjenjivost takvih podataka u prognozi neposrednog razvoja vremena (engl. nowcast).

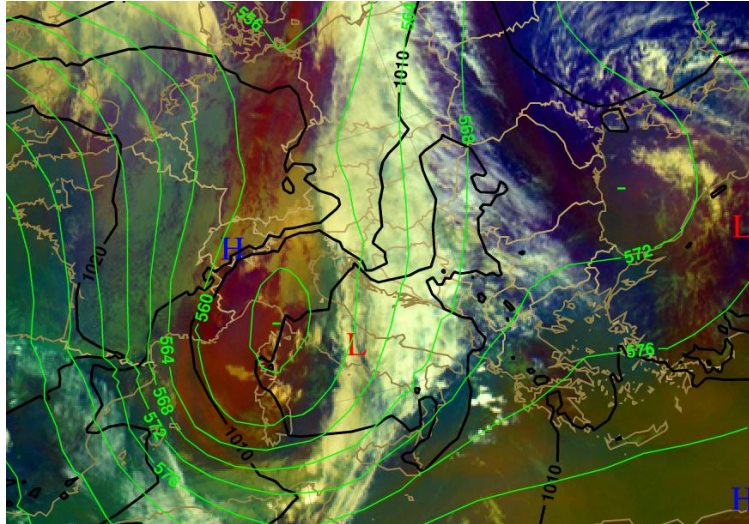
## 2. Materijali i metode

### 2.1. Odabrane meteorološke situacije

Iz razdoblja HyMeX SOP1 perioda, od 5. rujna do 6. studenog 2012., odabrano je šest situacija u kojima je zabilježena ekstremna količina oborine na nekoj od kišomjernih postaja na Jadranu. Birani su dani kad je veća količina oborine zabilježena na području cijelog Jadrana, s barem dvije postaje koje su imale vrijednosti dnevne akumulacije oborine veće od 100 mm, uz uvjet da je i na automatskim postajama zabilježena oborina [12]. U ovom poglavlju je prikazana kratka sinoptička analiza odabranih situacija.

#### 2.1.1. 12.–14. rujna 2012.

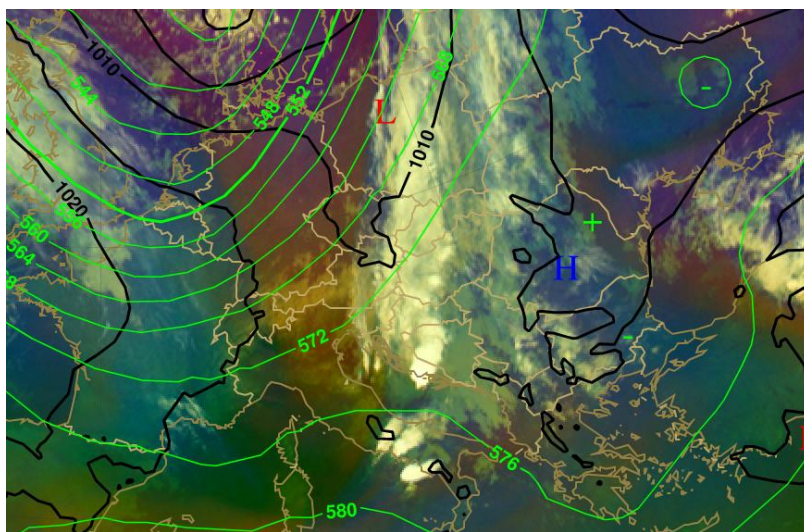
12. rujna 2012. preko srednje Europe se premještala hladna fronta. S njenim prelaskom preko Alpa, došlo je do stvaranja plitke ciklone u zavjetrini Alpa. Središta plitke ciklone bila su nad Genovskim zaljevom te nad sjevernim Jadranom. Tijekom 13. rujna ciklona se premještala prema istoku, dodatno se produbljujući, pri čemu je glavina frontalne naoblake bila položena preko Jadrana (Slika 4). Po visini, kao što je vidljivo u polju apsolutne topografije plohe 500 hPa na slici 4, došlo je do odsjecanja visinske ciklone sa središtem iznad Genovskog zaljeva. Intenzitet ciklone oslikava i crvenkasto područje na Airmass RGB kompozitu (kombinacija kanala WV6.2  $\mu\text{m}$  – WV7.3  $\mu\text{m}$  u crvenoj boji, razlike kanala IR9.7  $\mu\text{m}$  – IR10.8  $\mu\text{m}$  u zelenoj boji i invertiranog kanala WV6.2  $\mu\text{m}$  u plavoj boji). Crvenkasta nijansa na Airmass RGB kombinaciji posljedica je prodora suhog zraka s velikim vrijednostima potencijalne vrtložnosti iz viših slojeva troposfere i niže stratosfere u srednju troposferu, što je tipično kod intenzivnih ciklogenetičkih procesa. Najveća dnevna količina oborine izmjerena je 13. rujna u Rijeci i iznosila je 220,3 mm. Zbog iznimno visokih količina oborine vezanih uz ovu situaciju, ona je već analizirana za područje sjeverne Italije [13].



*Slika 4: Meteosat-10 Airmass RGB, prizemni tlak (crne linije) i AT 500 (zelene linije) iz ECMWF modela, 13. rujna 2012., 12:00 UTC (izvor: EUMeTrain)*

#### *2.1.2. 19. -20. rujna 2012.*

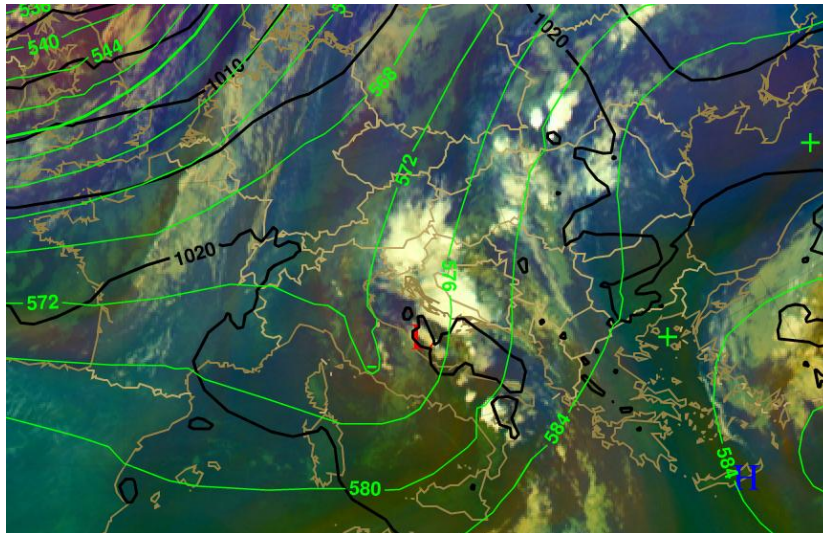
Na prednjoj strani duboke ciklone sa središtem nad sjevernim Atlantikom 18. rujna 2012. g. preko zapadne Europe premještala se hladna fronta. Poslijepodne 19. rujna fronta je stigla i nad Hrvatsku i s njenim premještanjem, 20. rujna nad Dalmacijom je došlo do konvektivnog razvoja oblaka (Slika 5). Konvekcija je u ovoj situaciji orografski uvjetovana jer je na prednjoj strani duboke visinske doline bilo prisutno vrlo jako jugozapadno strujanje koje je vlažan frontalni zrak tjeralo na obronke Dinarida. Najveća dnevna količina oborine (148,9 mm) također je izmjerena 20. rujna u Rijeci.



*Slika 5: Meteosat-10 Airmass RGB, prizemni tlak (crne linije) i AT 500 (zelene linije) iz ECMWF modela, 20. rujna 2012., 00:00 UTC (izvor: EUMeTrain)*

### 2.1.3. 1.– 2. listopada 2012.

U jugozapadnoj struji preko Jadrana se 1. listopada premještala os plitke visinske doline u polju tlaka zraka. Nestabilnost atmosfere izražena je na prednjoj strani spomenute doline, zbog čega dolazi do konvektivnog razvoja iznad južne Italije i na području cijelog Jadrana (Slika 6). Najveća dnevna količina oborine, 127,4 mm, izmjerena je 2. listopada na postaji Crni Lug na Risnjaku.

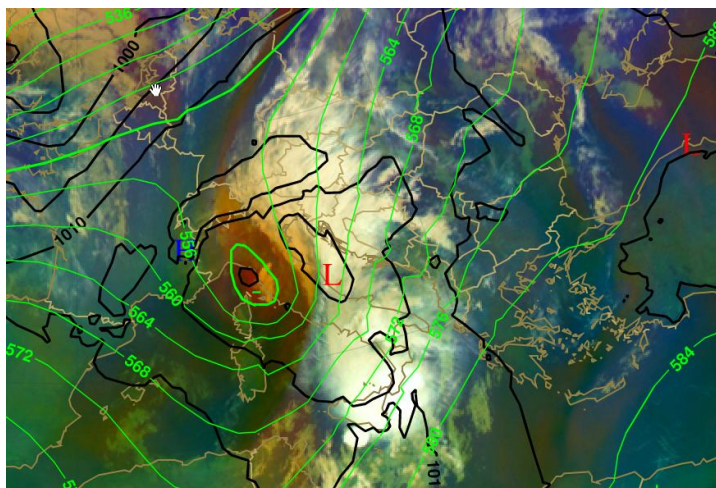


Slika 6: Meteosat-10 Airmass RGB, prizemni tlak (crne linije) i AT 500 (zelene linije) iz ECMWF modela, 2. listopada 2012., 00:00 UTC (izvor: EUMeTrain)

### 2.1.4. 15.– 16. listopada 2012.

S premještanjem hladne fronte preko zapadne i srednje Europe 15. listopada dolazi do stvaranja plitke ciklone nad Genovskim zaljevom. U višim slojevima atmosfere je 16. listopada vidljivo odsijecanje visinske ciklone te, slično kao kod prve situacije, crvenkasto područje na Airmass RGB slici. Ciklona se dalje premještala prema sjeveroistoku pri čemu je u sklopu fronte okluzije došlo do stvaranja konvektivnih oblaka nad cijelom Hrvatskom (Slika 7). Najveća dnevna količina oborine izmjerena je 16. listopada na postaji Slivno i iznosi 145,4 mm.

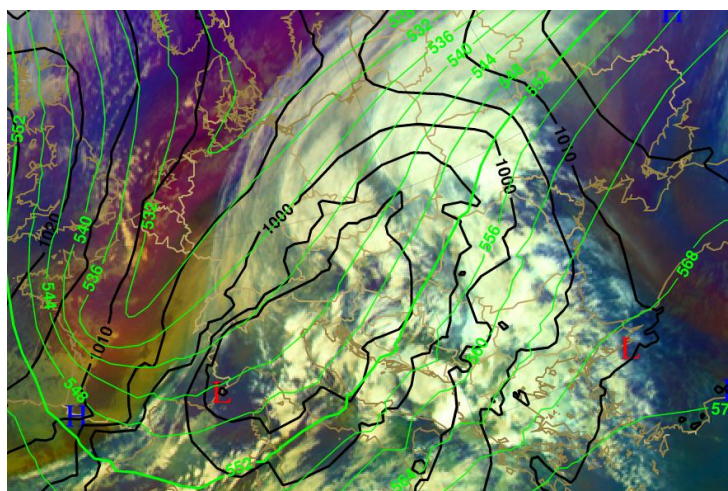




*Slika 7: Meteosat-10 Airmass RGB, prizemni tlak (crne linije) i AT 500 (zelene linije) iz ECMWF modela, 16. listopada 2012., 00:00 UTC (izvor: EUMeTrain)*

#### 2.1.5. 26. - 29. listopada 2012.

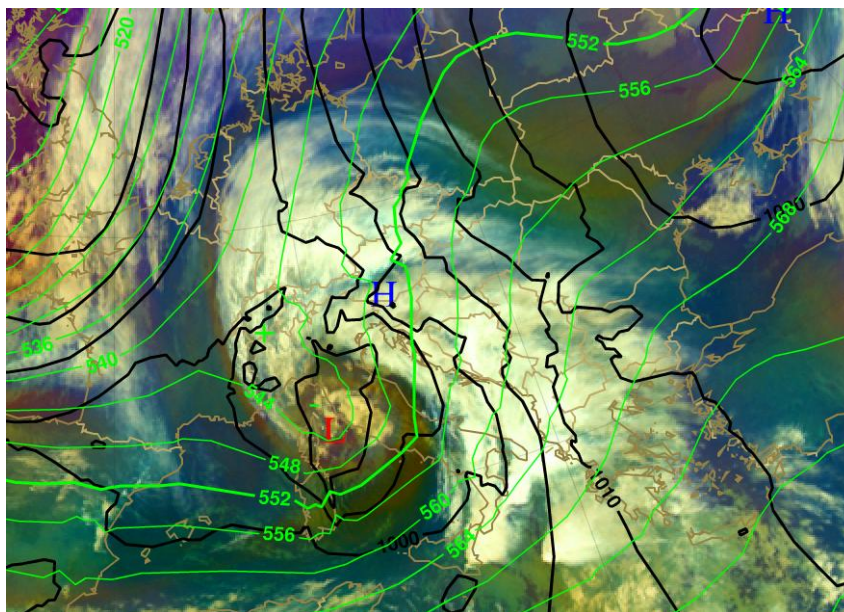
U ovoj situaciji došlo je premještanja duboke i prostrane ciklone iz središnjeg Atlantika preko zapadne, a zatim i srednje Europe, što je dovelo do iznimno velike nestabilnosti atmosfere nad cijelim područjem srednje Europe (Slika 8). 28. listopada došlo je do odsjecanja visinske ciklone sa središtem točno iznad središta prizemne ciklone, nad Genovskim zaljevom. Zbog izražene konvekcije u jakoj jugozapadnoj struji na prednjoj strani visinske doline, 27. i 28. listopada zabilježene su velike dnevne količine oborine. Najveće dnevne količine oborine zabilježene su 27. listopada na postaji Marčelji (180,1 mm) i 28. Listopada na postaji Crni Lug (173,5 mm).



*Slika 8: Meteosat-10 Airmass RGB, prizemni tlak (crne linije) i AT 500 (zelene linije) iz ECMWF modela, 27. listopada 2012., 00:00 UTC (izvor: EUMeTrain)*

### 2.1.6. 31.– 1. studenog 2012.

Ciklona iz srednjeg Atlantika koja se 30. listopada preko Pirenejskog poluotoka premjestila u Sredozemlje, 31. listopada se produbila u Genovskom zaljevu, a zatim se premjestila nad Jadran. Fronta okluzije vezana uz spomenutu ciklonu vidljiva je i na slici 9. Na području cijele Hrvatske bilo je razvoja konvektivnih oblaka. Najveća dnevna količina oborine izmjerena je 1. studenog na postaji Vela Učka i iznosila je 171,4 mm.



Slika 9: Meteosat-10 Airmass RGB, prizemni tlak (crne linije) i AT 500 (zelene linije) iz ECMWF modela, 1. studenog 2012., 00:00 UTC (izvor: EUMeTrain)

## 2.2. NWC SAF oborinski produkti

Glavni cilj NWC SAF (Nowcasting Satellite Application Facilities) je razvoj produkata iz satelitskih mjerenja geostacionarnih i polarnih satelita kojima upravlja organizacija EUMETSAT te opskrba meteoroloških službi istima, s ciljem poboljšanja kratkoročnih prognoza.

Jedan od takvih produkata koji se koriste u kratkoročnim vremenskim prognozama je procjena konvektivne oborine (CRR, Convective Rainfall Rate) koji daje informaciju o trenutnim intenzitetima i satnim akumuliranim oborinama vezanim uz konvektivni razvoj oblaka. Treba imati na umu da su ovi satelitski produkti dobiveni kombinacijom podataka mjerenih u infracrvenim kanalima i onima u vidljivom dijelu spektra te da su tako dobivene

informacije nužno indirektno jer ne mjere oborinske kapljice i kristale u oblaku na način na koji to radi radar [14].

CRR oborinski produkti, koji se računaju NWC SAF programima, su kodirani u HDF5 (Hierarchical Data Format, version 5) formatu. HDF5 format je dizajniran kako bi se u njega mogle učitavati velike količine numeričkih podataka, a sadrži dvije vrste objekata: numeričke podatke i grupe podataka. Svaka grupa sadrži izlazno polje kod kojeg jedan numerički podatak označava srednju vrijednost određenog parametra na području neke rezolucije (piksel) ili oznaku vezanu uz određeni piksel. CRR produkti sadrže nekoliko grupa podataka: CRR trenutni intenziteti oborine u mm/h, CRR razredi (Prilog 2), CRR satna akumulirana oborina u milimetrima, CRR kvaliteta koja svakom pikselu dodjeljuje osam brojeva koji daju podatak o izvedenim korekcijama te CRR\_DATAFLAG koji opisuje kako je koji piksel procesuiran.

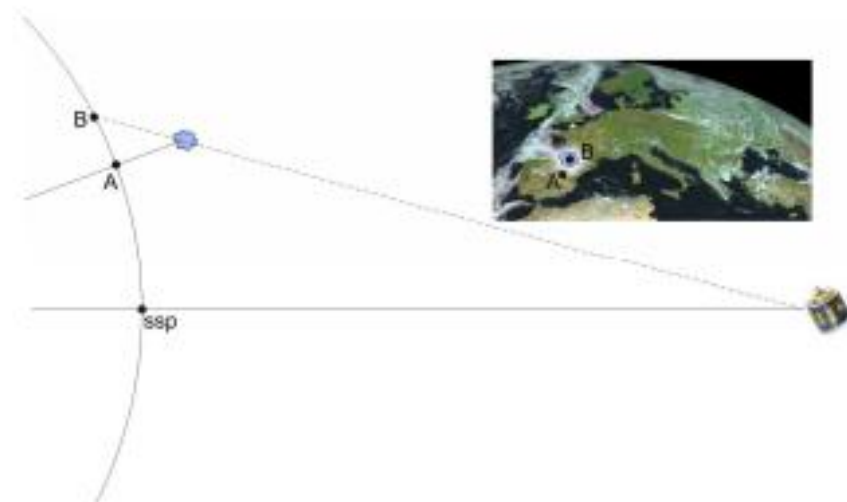
Algoritam kojim se računaju CRR produkti pretpostavlja da gušći i vertikalno razvijeniji oblaci imaju veću vjerojatnost za stvaranje oborine koja dopire do tla. U procesu računanja produkata koriste se funkcije kalibracije bazirane na usporedbama s radarskim podacima baltičke, mađarske i španjolske mreže radara.

Kako bi se uzeli u obzir utjecaji okoline i orografije može se dodati nekoliko korekcija. Prva korekcija vezana je uz pretpostavku da u suhoj okolini, zbog evaporacije, do tla dopire manje oborine nego bi to bio slučaj u vlažnoj okolini. Algoritam uzima srednju vrijednost relativne vlažnosti zraka u području između površine Zemlje i 500 hPa iz numeričkog modela za prognozu vremena (NWP), u ovom slučaju modela Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena (ECMWF), te s obzirom na vrijednost pridodaje korekcijski faktor koji smanjuje intenzitet CRR produkta na tom pikselu ako je relativna vlažnost zraka niska, odnosno povećava ako je visoka.

Druga korekcija vezana je uz pretpostavku da se intenzitet oborine povećava u rastućim konvektivnim sustavima, a smanjuje u onim sustavima koji su u fazi raspadanja. Za ovu korekciju uzimaju se uzastopne infracrvene slike te se gleda temperatura pojedinog područja. Ako se temperatura smanjuje, konvektivni sustav je rastući te se primjenjuje korekcijski faktor koji povećava intenzitet. Ako se temperatura promatranog područja povećava, radi se o raspadajućem sustavu te se primjenjuje korekcijski faktor koji smanjuje intenzitet oborine. Ako se temperatura piksela ne mijenja, korekcijski faktor se ne primjenjuje.

U slučaju da nemamo dvije uzastopne infracrvene slike, umjesto prijašnje korekcije upotrebljava se korekcijski faktor temperaturnog gradijenta vrha oblaka. Ova metoda koristi jednu infracrvenu sliku te na području od 3x3 ili 5x5 piksela traži temperature koje su niže od prosječne vrijednosti temperature vrhova oblaka (250 K). Takvi pikseli vezani su uz konvektivne sustave te se pretpostavlja da je intenzitet oborine pri tlu na tom području veći. Upotrebljavaju se različiti faktori korekcije, ovisno o tome da li je na tom području uočen lokalni minimum ili lokalni maksimum temperature. Ako je uočen lokalni minimum, na tom području korekcijski faktor povećava intenzitet oborine, a ako je uočen lokalni maksimum, korekcijski faktor smanjuje intenzitet. Ako nema ekstrema korekcija se ne upotrebljava.

Iduća korekcija vezana je uz pojavu paralakse zbog pozicije i udaljenosti samog satelita od površine Zemlje i oblaka. Za oblake koji se nalaze ispod satelita ova se korekcija ne primjenjuje. Za udaljenije sustave vrh oblaka prividno je udaljeniji od svoje baze i ta se razlika povećava s geografskom širinom (Slika 10). Na slici vidimo da satelit kod snimanja prividno stavlja lokaciju oblaka na točku B, iako ona u stvarnosti pripada točki A. Za ovu korekciju koriste se infracrvene slike iz kojih se na temelju temperature vrhova oblaka procjenjuje visina oblaka u svakom pojedinom pikselu. Ovisno o dobivenim visinama, radi se korekcija lokacije pojedinog piksela.



Slika 10: Geometrija paralakse, [15]



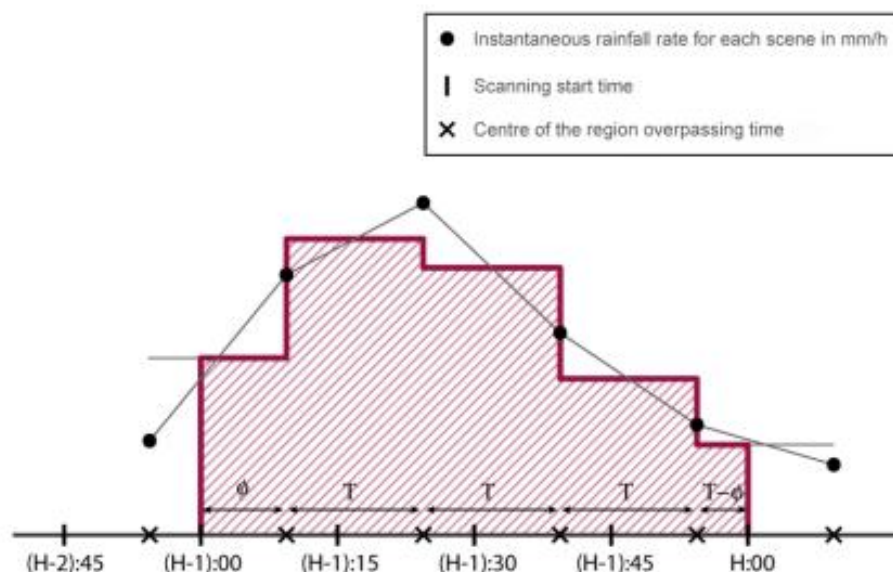
Raspodjela i intenzitet oborine također ovise o orografiji područja i polju vjetra koji tjera zrak preko prepreke. Intenzitet oborine se korigira ovisno o polju vjetra na 850 hPa dobivenog NWP modelom i lokalnom gradijentu visine terena.

Posljednja korekcija koja se može primijeniti je korekcija ovisna o zabilježenim munjama. Ova korekcija se temelji na pretpostavci da što je pojava munja na nekom području češća, to je intenzitet konvekcije, a time i konvektivne oborine, veći. Na taj način se primjenjuju i faktori korekcije koji onda povećavaju intenzitet oborine na takvim područjima. Za ovu korekciju uzimaju se u obzir samo munje koje dopiru do tla [15].

Za izračun satelitskih produkata oborine korištenih u ovom radu, izvršene su sve korekcije osim korekcije vezane uz pojavu munja.

### 2.3. CRR satne akumulirane oborine

U ovom radu korištena su polja satnih akumuliranih oborina izraženih u milimetrima. Da bi se dobila satna akumulirana oborina upotrebljava se trapezoidna integracija (Slika 11).



Slika 11: Trapezoidna integracija, [15]

Polje satnih akumuliranih oborina računa se svakih 15 minuta. Za svako polje satnih akumuliranih oborina koristi se šest slika intenziteta oborine, tj. slike nastale unutar posljednjih sat vremena, slika prije i slika poslije. Crtice s pripadnim vremenima na slici 11 predstavljaju trenutak kada satelit počinje skenirati područje, x predstavlja vrijeme kada

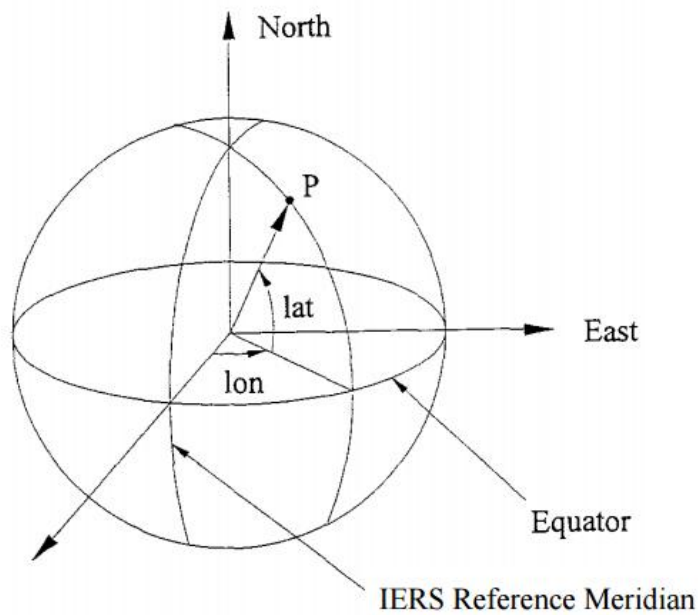
satelit počinje skenirati centar regije za koji se akumulacija računa i trenutak u kojem dobijemo sliku intenziteta oborine nad tim područjem. Satna akumulacija računa se po formuli:

$$A_6 = \frac{I_1 + I_2}{2} \phi + \frac{I_2}{2} T + I_3 T + I_4 T + \frac{I_5}{2} T + \frac{I_5 + I_6}{2} (T - \phi) \quad (1)$$

gdje  $A_i$  označava satnu akumulaciju oborine u trenutku  $i$ ,  $T$  interval između dvije slike (u ovom slučaju 15 minuta),  $\phi$  vrijeme koje je potrebno da satelit dođe do centra regije, a  $I_i$  intenzitet oborine u trenutku  $i$  [15].

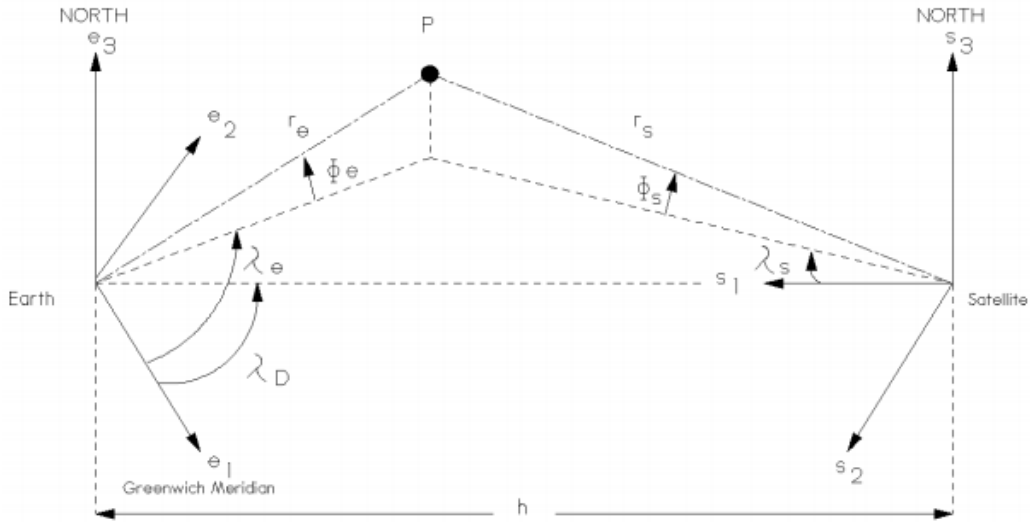
#### 2.4. Normalizirana geostacionarna projekcija (GEOS)

Za prikaz CRR oborinskih produkata na ravnoj plohi koristi se normalizirana geostacionarna projekcija. Ova projekcija opisuje sliku kako je vidi satelit u geostacionarnoj orbiti, uz pretpostavku da je Zemlja idealan elipsoid. Takva pretpostavka dosta je različita od uobičajenih projekcija koje Zemlju opisuju kao idealan sferoid (Slika 12).



Slika 12: Geografske koordinate, [16]

Koordinate točke  $P$  koja se nalazi na površini Zemlje se mogu opisati uz pomoć dva kuta koja predstavljaju geografsku dužina ( $lon$ ) i širinu ( $lat$ ). Da bi se slika sa satelita nacrtala u Kartezijevom sustavu, promatraju se oba sustava zajedno: sustav Zemlje i sustav satelita (Slika 13).



Slika 13: Geografske koordinate kod GEOS projekcije, [16]

Na ovoj slici je vidljivo da su osi sustava Zemlje definirane preko Kartezijevog trodimenzionalnog koordinatnog sustava u kojem os  $e_1$  gleda u smjeru nultog meridijana, a  $e_3$  u smjeru sjevernog pola. Sustav satelita okrenut je tako da os  $s_1$  gleda u smjeru središta Zemlje, a  $s_3$  bude paralelna s osi  $e_3$  sustava Zemlje. Koordinate točke P i dalje su definirane preko zemljopisne dužine i širine, ali s obzirom na to da kod elipsoida polumjer na polu i ekvatoru nisu jednake duljine, potrebna je konverzija tih veličina:

$$\lambda_e = lon \quad (2)$$

$$\phi_e = \arctan \left[ \left( \frac{r_{pol}^2}{r_{eq}^2} \right) \tan(lat) \right] \quad (3)$$

gdje je  $\lambda_e$  nova geografska dužina,  $\phi_e$  nova širina,  $r_{pol}$  polumjer Zemlje na polu, a  $r_{eq}$  polumjer Zemlje na ekvatoru. Kod idealiziranog elipsoida predloženi polumjer na polu iznosi 6356,7523 km, a polumjer na ekvatoru 6378,1370 km. Polumjer Zemlje točke P se definira kao:

$$r_e = \frac{r_{pol}}{\sqrt{1 - \frac{r_{eq}^2 - r_{pol}^2}{r_{eq}^2} \cos(\phi_e)}} \quad (4)$$

Ako se točka P promatra iz sustava satelita  $(s_1, s_2, s_3)$ , njezine koordinate se mogu definirati pomoću vektora:

$$\vec{r}_s = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h - r_e \cos(\phi_e) \cos(\lambda_e - \lambda_D) \\ -r_e \cos(\phi_e) \sin(\lambda_e - \lambda_D) \\ r_e \sin(\phi_e) \end{pmatrix} \quad (5)$$

gdje je  $\lambda_D$  kut između nultog meridijana i meridijana iznad kojeg se satelit nalazi, a  $h$  je udaljenost između satelita i središta Zemlje. U slučaju satelita Meteosat-10  $\lambda_D = 0$ , a  $h = 42164$  km.

Kutevi skeniranja satelita se mogu definirati kao:

$$\lambda_s = \arctan\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (6)$$

$$\phi_s = \arcsin\left(\frac{r_3}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2}}\right) \quad (7)$$

gdje  $\lambda_s$  označava kut između osi  $s_1$  i meridijana koji opisuje točku P, a  $\phi_s$  kut između ekvatora i geografske širine na kojoj se točka P nalazi. Primjećujemo da te dvije vrijednosti opisuju koordinate točke P, pa ih se može upotrijebiti za definiranje koordinata na plohi xy:

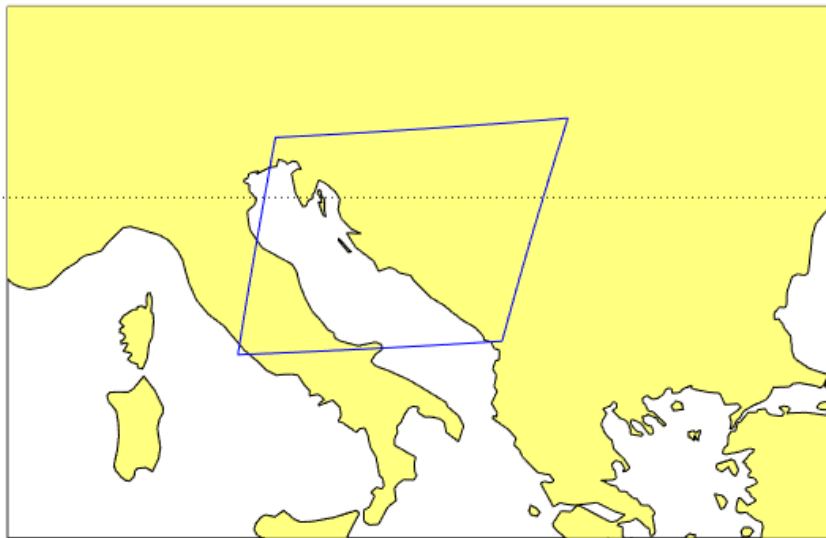
$$x = \arctan\left(\frac{-r_2}{r_1}\right) \quad (8)$$

$$y = \arcsin\left(\frac{-r_3}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2}}\right) \quad (9)$$

gdje su x i y koordinate točke P u Kartezijevom dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu. Minusi se dodaju jer smjerovi osi x i y gledaju u suprotnom smjeru od onih koje definiraju sustav satelita [16].

## 2.5. Domena CRR produkta

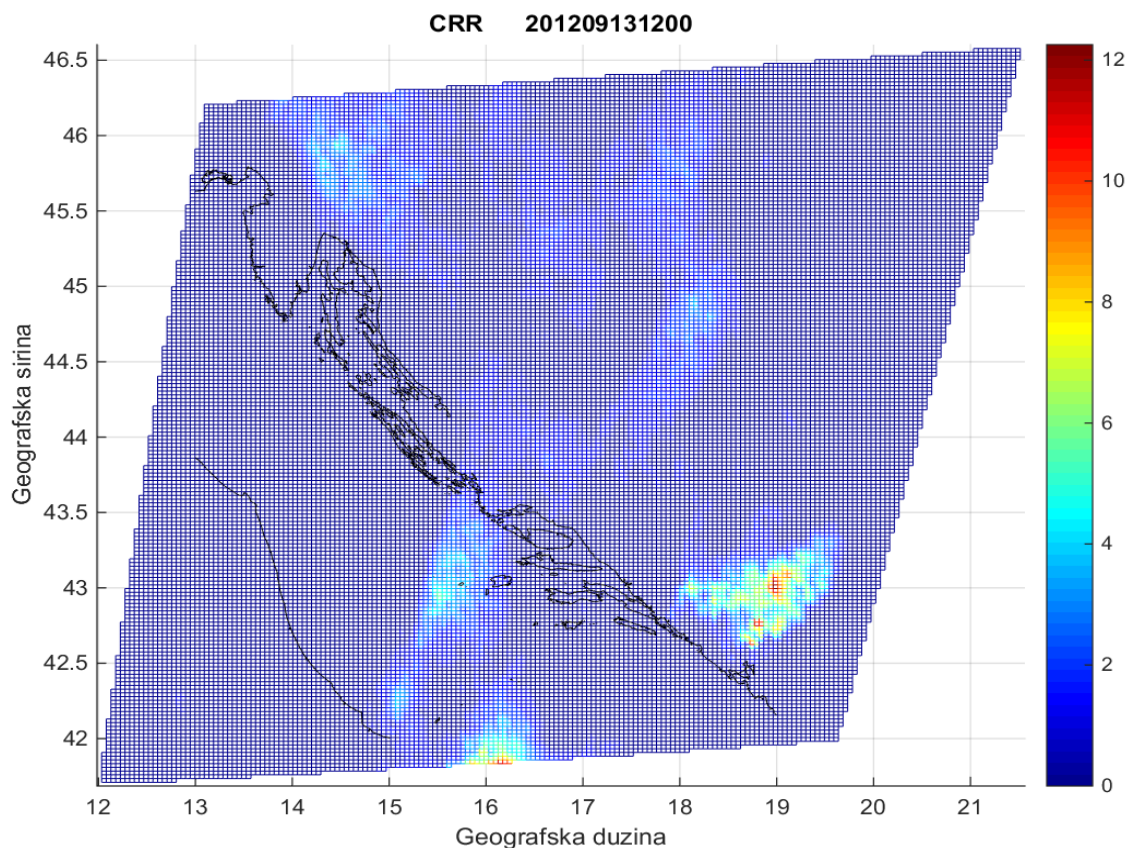
S obzirom da je promatrano područje hrvatska obala, odabrana je domena koju pokriva matrica veličine 191x101 piksela rezolucije 5x5 km (Slika 14). Zbog same projekcije, unatoč fiksnoj veličini matrice, dolazi do širenja domene s većim geografskim širinama te podizanja iste s većim geografskim dužinama, odnosno domena ima romboidan oblik. Na tom području se dalje vizualiziraju produkti i radi analiza.



*Slika 14: Domena CRR produkta*

## 2.6. Vizualizacija CRR satnih akumuliranih oborina

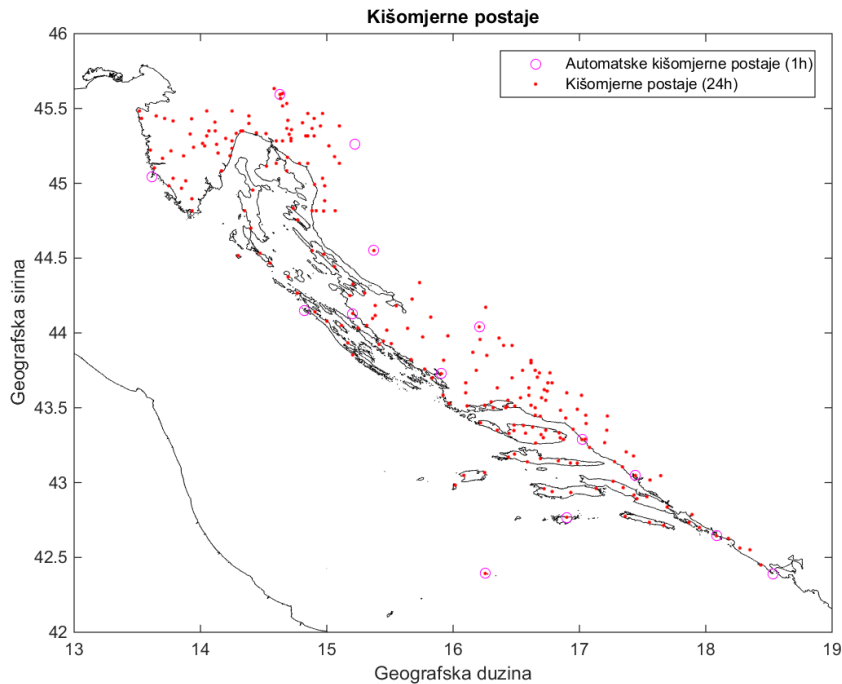
Odabrana domena, zbog svog oblika i rasporeda točaka, tvori neuniformnu mrežu. Kako bi CRR satne akumulacije što bolje prikazali napravljen je prijelaz s postojeće neuniformne mreže na uniformnu mrežu veličine 200x200 točaka. Za to je korištena MATLAB-ova već ugrađena funkcija za linearnu interpolaciju sa stare na novu mrežu. S obzirom da smo napravili linearnu interpolaciju, točke na novoj mreži koje u svojoj okolini nisu imale vrijednosti točaka sa stare mreže su definirane kao NaN (Not a Number) te se na taj način zadržao oblik odabrane domene (Slika 15). Crna linija na slici označava obalu, dok su pojedine vrijednosti satnih akumulacija označene bojama, ovisno o količini izraženoj u milimetrima.



*Slika 15: Prikaz satne akumulirane oborine, 13. rujna 2012., 12:00 UTC*

## **2.7. Kišomjerni podaci**

Podaci s kojima se uspoređuju satelitski produkti su satne akumulirane oborine s 14 automatskih kišomjernih postaja i dnevne akumulirane oborine (6-6 UTC) s 239 kišomjernih postaja (Slika 16). Treba primjetiti da su uspoređena dva različito dobivena podatka: mjerenja na automatskoj postaji označavaju mjerenje u točki, a satelitski produkti procjenu srednjih vrijednosti oborine na većem području. Iz tog razloga je slaganje između njih manje što je područje na kojem usrednjavamo vrijednosti veće. U ovom slučaju veličina piksela (5x5 km) je dovoljno mala da bi opis istog preko jedne kišomjerne postaje bio dovoljno dobar.



Slika 16: Karta kišomjernih postaja na Jadranu

## 2.8. Metode usporedbe vrijednosti CRR produkata s izmjerenom količinom oborine

### 2.8.1. Linearna interpolacija

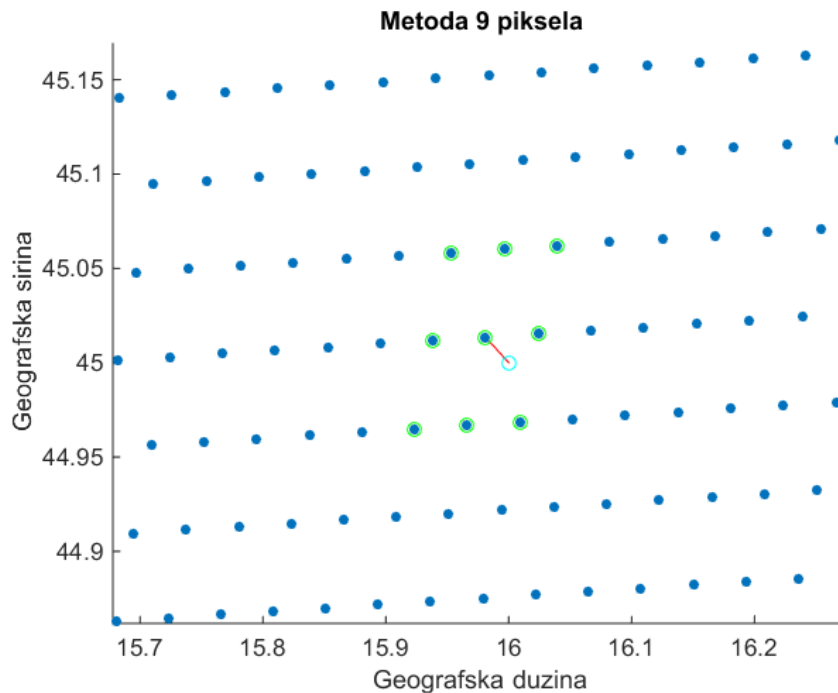
U ovoj metodi je iskorištena prethodno definirana uniformna mreža te su vrijednosti točaka dobivenih linearnom interpolacijom iskorištene za definiranje trodimenzionalne plohe s koje je moguće izvući vrijednosti satne akumulacije oborine u bilo kojoj točki, ne samo u točkama mreže. Za ovo je iskorištena MATLAB-ova funkcija *GriddedInterpolant(x,y,z)*. Na ovaj način dobili smo usporedbu dvije vrijednosti od koje je jedna mjerena, a druga interpolirana u točki na istoj lokaciji.

### 2.8.2. Pripadni piksel

Ova metoda uspoređuje vrijednosti izmjerene na kišomjernim postajama s vrijednostima piksela čiji je centar nablizi lokaciji te postaje. Ovdje treba uočiti da se radi s izmjerenim podacima, tj. s usrednjenim vrijednostima akumulirane oborine na određenom području. Za povezivanje postaje i pripadnog piksela korištene su MATLAB-ove funkcije *delatunayTraingulation(x)* koja na neuniformnoj mreži koju tvore lokacije središta piksela radi triangularizaciju i *nearestNeighbor(x,y)* koja traži najbliži vrh trokuta unutar kojeg se postaja nalazi [17].

### 2.8.3. Usrednjavanje 9 piksela

Kod ove metode uzimaju se vrijednosti piksela čije je središte najbliže lokaciji postaje i osam okolnih piksela te se računa srednja vrijednost CRR produkta s kojom se onda uspoređuje vrijednost količina oborine na postaji (Slika 17).



Slika 17: Metoda 9 piksela

Na slici 17 svijetloplavi kružić označava postaju, crvena linija ukazuje na središte najbližeg piksela unutar kojeg se postaja nalazi, plave točke označavaju koordinatu središta pojedinog piksela, a zeleni kružići središta piksela koji se uzimaju u obzir za ovu metodu. Ovdje možemo primijetiti da se sada širi područje čija je vrijednost usrednjena, zbog čega bi se slaganje među podacima s kišomjernih postaja i satelitskih produkta trebalo smanjiti [18].

### 2.8.4. Maksimum od 9 piksela

Kao i kod prethodne metode, uzimaju se najbliži i osam okolnih piksela, ali ovdje se ne radi prosjek, već se uzima maksimalna od devet vrijednosti te ju se uspoređuje s vrijednosti izmjerenom na kišomjernoj postaji.



## 2.9. Numerički eksperimenti

S obzirom na to da Jadran uglavnom nije pokriven radarima, postavilo se pitanje koliko dobro satelitski produkti opisuju konvektivne sustave i količinu oborine. U tu svrhu upotrebljene su satne akumulirane oborine izmjerene na 14 lokacija i uspoređene sa satnim akumuliranim oborinama koje je dao satelitski produkt. Napravljena je i analiza za dnevne akumulirane oborine tako da su izdvojeni datumi kada su satelitski podaci bili potpuni u razdoblju od 24 sata (6-6 UTC), sve satne akumulirane oborine su sumirane i uspoređene s dnevnim akumuliranim oborinama s 239 postaja. Datumi koji su imali potpune dnevne podatke su: 14. rujna, 27. listopada, 28. listopada i 1. studenoga. S obzirom na veliki broj postaja, napravljena je i usporedba apsolutnih razlika između dnevnih akumuliranih oborina na postaji i satelitskog produkta s nadmorskim visinama pojedinih postaja. Kako bi se što bolje usporedile količine oborine napravljene su i tablice kontingencije za pojedine metode, gdje su granice pojedinih grupa određene prema vrijednostima koje se koriste na DHMZ-u (Državni hidrometeorološki zavod) za izdavanje upozorenja vezanih uz oborinu (Tablica 1).

*Tablica 1: Meteoalarm, granice za izdavanje upozorenja vezanih uz oborinu*

PODRUČJE	mm/6h	mm/24h	mm/6h	mm/24h	mm/6h	mm/24h
Zagrebačka regija	15	20	35	50	50	70
Osječka regija	15	20	30	40	50	70
Karlovačka regija	20	35	45	75	65	100
Gospićka regija	25	30	45	65	65	105
Kninska regija	15	25	45	60	80	95
Riječka regija	25	35	45	55	75	90
Splitska regija	15	25	40	55	70	90
Dubrovačka regija	30	40	55	80	85	125

U tablici možemo vidjeti nekoliko boja, gdje svaka označava zasebnu vrstu upozorenja, a pripadni broj minimalnu količinu oborine potrebnu za izdavanje istog. Žuta tako označava upozorenje za umjerenu količinu oborine, narančasta veliku količinu oborine, a crvena ekstremne količine oborine. S obzirom da je promatrano područje čitavog Jadrana uzete su granice: 30, 60 i 90 mm/24 h, odnosno 10, 20 i 30 mm/1 h.

Nadalje, kako bi se procijenilo koliko dobro satelitski produkt detektira oborinu, napravljen je i račun koji daje vjerojatnost detekcije oborine i postotak lažnih uzbuna. Svakom pikselu se pridružuje oznaka koja opisuje odnos između izmjerene oborine na postaji i vrijednosti piksela unutar kojeg se postaja nalazi. U slučaju da je na postaji izmjerena oborina, piksel dobiva oznaku h (hit) ako je i produkt zabilježio oborinu ili m (miss) ako nije zabilježio. U slučaju da na postaji nije izmjerena nikakva oborina, piksel dobiva oznaku f (false alarm) ako je produkt zabilježio oborinu ili n (null) ako nije zabilježio. Postotak lažnih uzbuna (FAR, False Alarm Ratio) i vjerojatnost detekcije oborine (POD, Probability Of Detection) definiraju se kao:

$$FAR = \frac{F}{H + F} \quad (10)$$

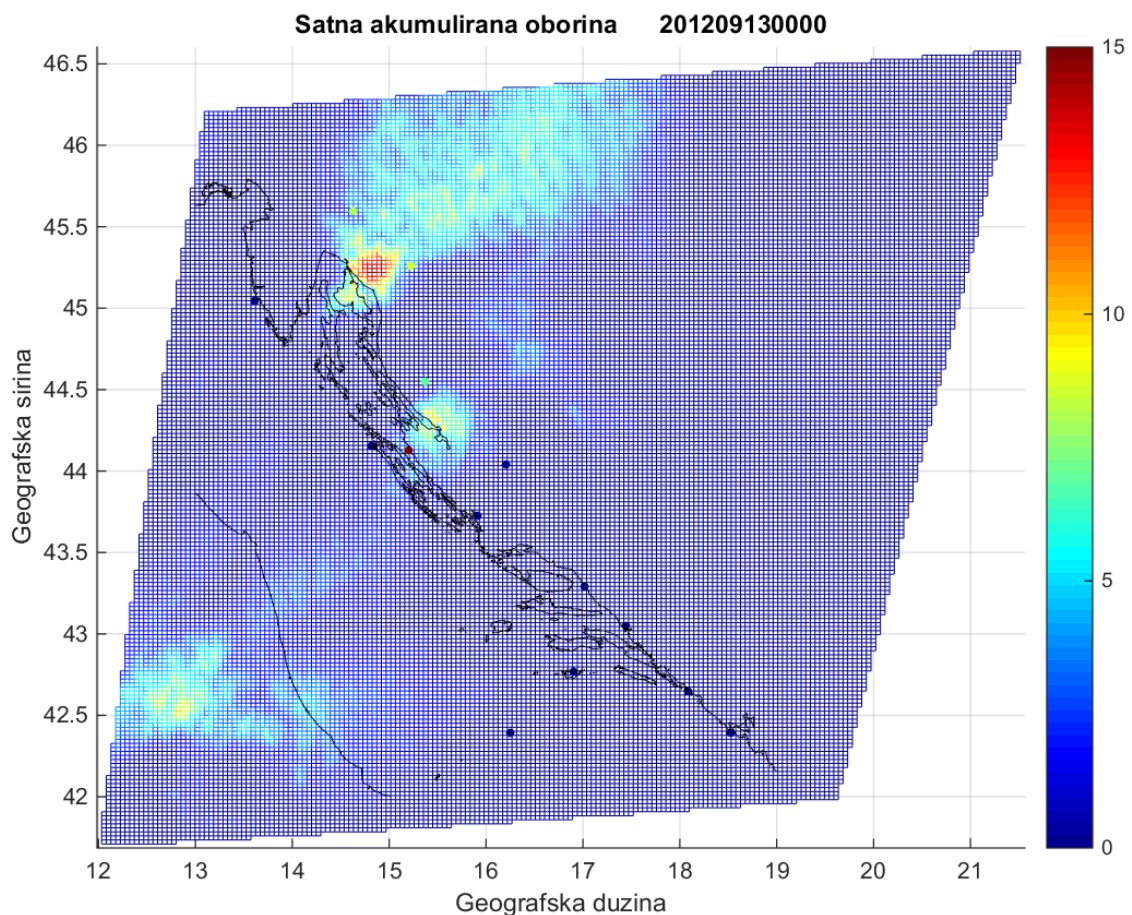
$$POD = \frac{H}{H + M} \quad (11)$$

gdje je H ukupni broj svih piksela koji su dobili oznaku h, M ukupni broj svih piksela koji su dobili oznaku m, a F ukupni broj svih piksela koji su dobili oznaku f [19][20].

### 3. Rezultati

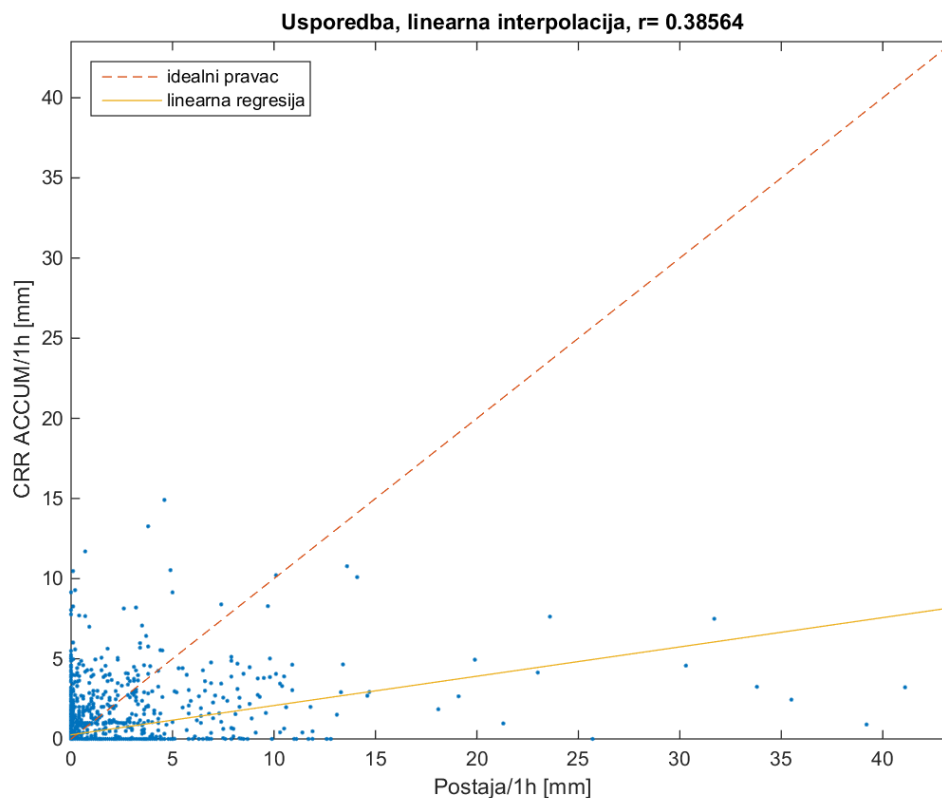
#### 3.1. Analiza satnih akumuliranih oborina

Nacrtani su satelitski produkti satnih akumulacija i na njima su naznačene lokacije automatskih postaja. Točke koje predstavljaju lokaciju postaje obojane su bojom koja odgovara količini oborine zabilježenoj unazad sat vremena, kako bi se mogle usporediti satne akumulacije satelitskog produkta i satne akumulacije zabilježene na automatskoj postaji. Za bojanje točaka prema količinama oborine na zadanim lokacijama postaja upotrebljena je MATLAB-ova funkcija  $scatter3(x,y,z,s)$ . Ovakvi usporedni prikazi korišteni su u analizama ekstremnih oborina na dubrovačkom području [21]. Na slikama se može uočiti da satelitski produkt dobro reproducira evoluciju konvektivnog sustava, ali ne i intenzitete vezane za isti (Slika 18).

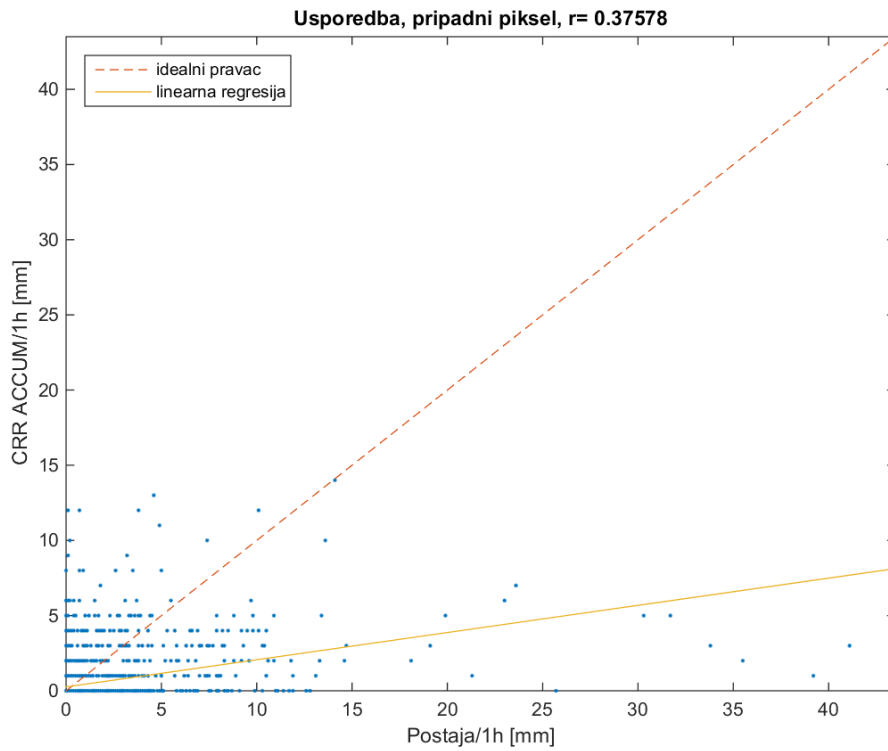


Slika 18: Satelitski produkt s postajama, 13. rujna 2012. u 00:00 UTC

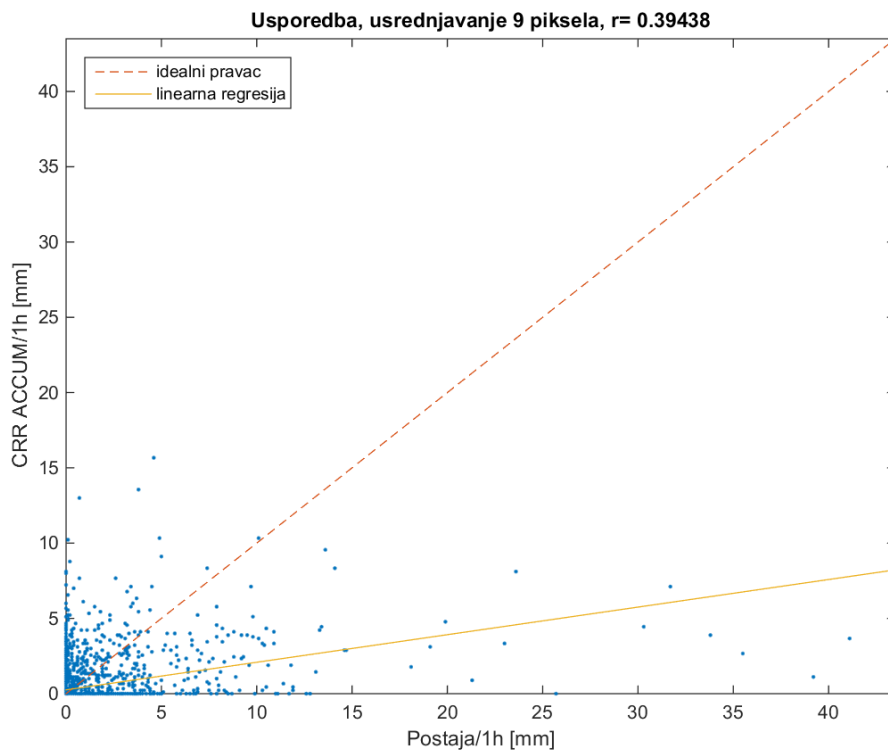
Analiza provedena na satnim akumuliranim oborinama pokazala je veliko potcjenjivanje količine oborine od strane satelitskih produkata. Za svaku metodu nacrtan je dijagram raspršenja s naznačenim idealnim pravcem koji prikazuje pravac linearne regresije u slučaju kada bi se produkt u potpunosti slagao s podacima izmjerenim na postajama (crvena linija) i pravcem linearne regresije koji opisuje realno slaganje podataka (žuta linija) [22][23][24]. Za svaku metodu izračunat je i koeficijent korelacije ( $r$ ).



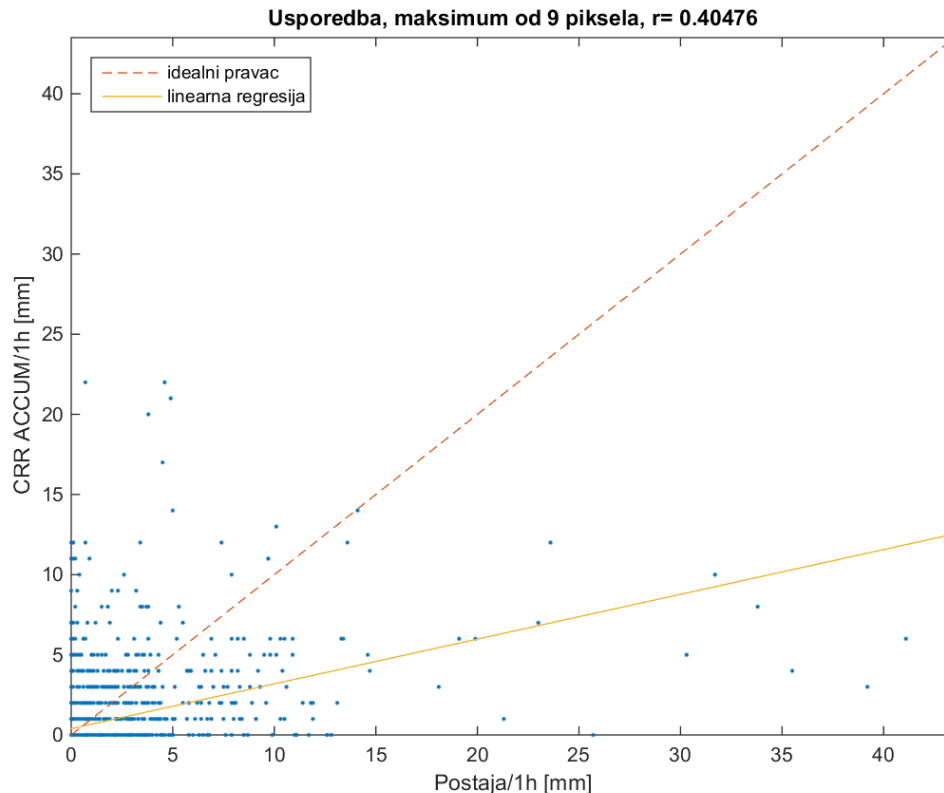
*Slika 19: Dijagram raspršenja, linearna interpolacija*



*Slika 20: Dijagram raspršenja, pripadni piksel*



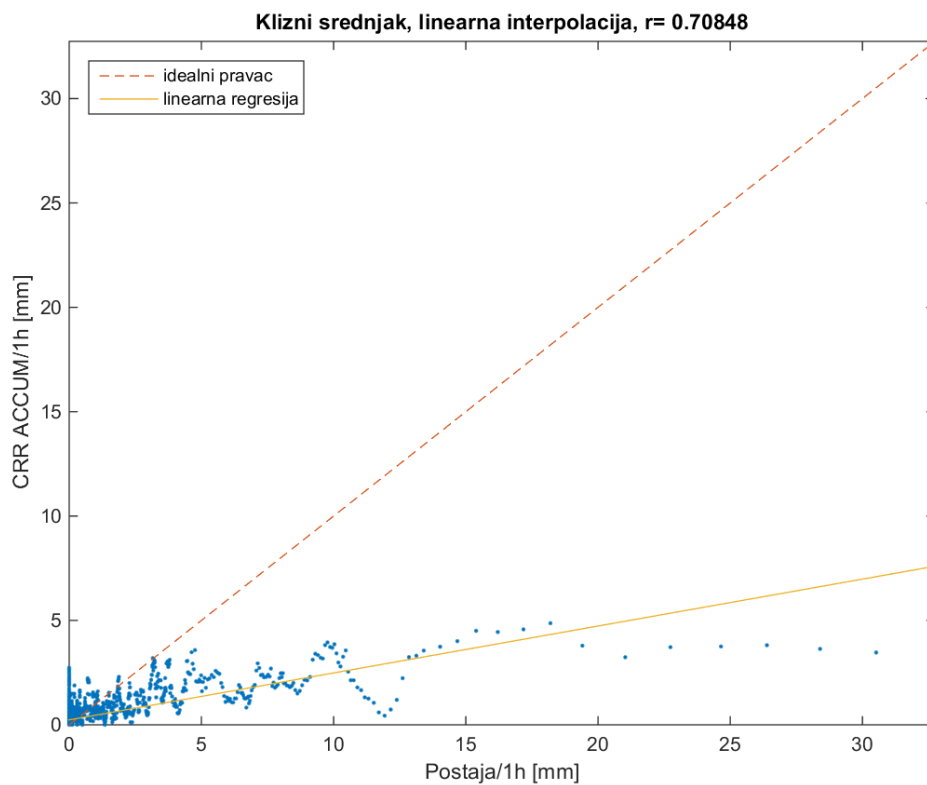
*Slika 21: Dijagram raspršenja, usrednjavanje 9 piksela*



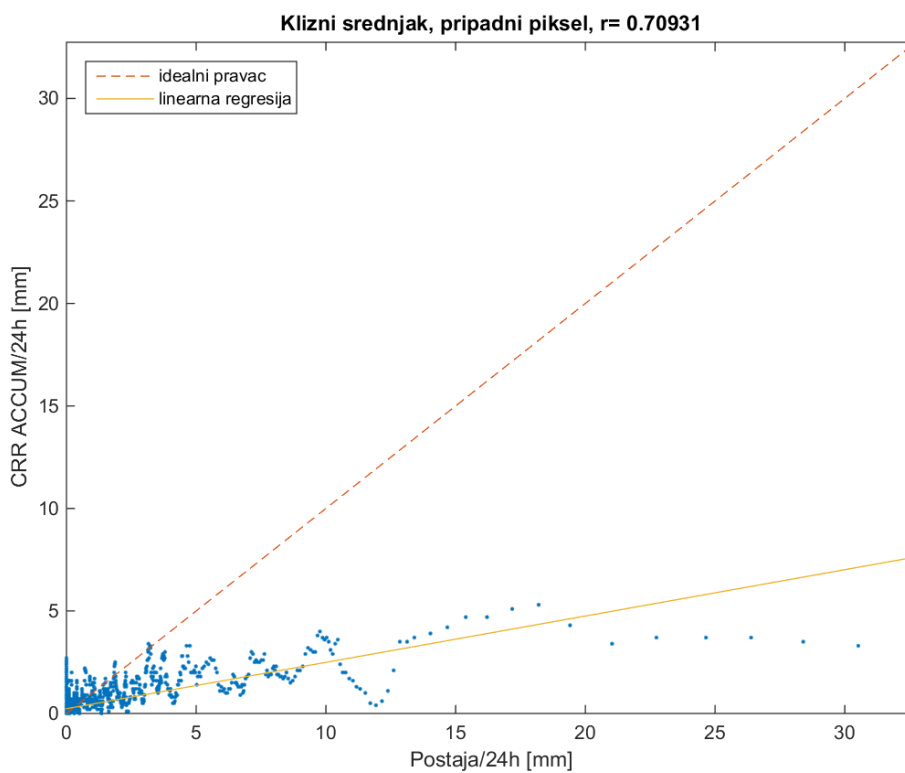
*Slika 22: Dijagram raspršenja, maksimum od 9 piksela*

Najveći koeficijent korelacije ima metoda gdje se uzimao maksimum od 9 piksela i on iznosi  $r=0.40476$ . Na svim dijagramima je vidljivo sustavno potcjenjivanje količine satne akumulacije oborine, s najvećim odstupanjem od idealnog pravca kod velikih i ekstremnih vrijednosti. Također je vidljivo da postoji velik broj situacija kada satelitski produkt nije uočio izmjerenu oborinu na postaji, pogotovo kod manjih vrijednosti. Usporedbom koeficijenata korelacije, vidljivo je da se slaganje podataka poboljšalo povećanjem područja na kojem je usrednjena količina oborine, suprotno očekivanom.

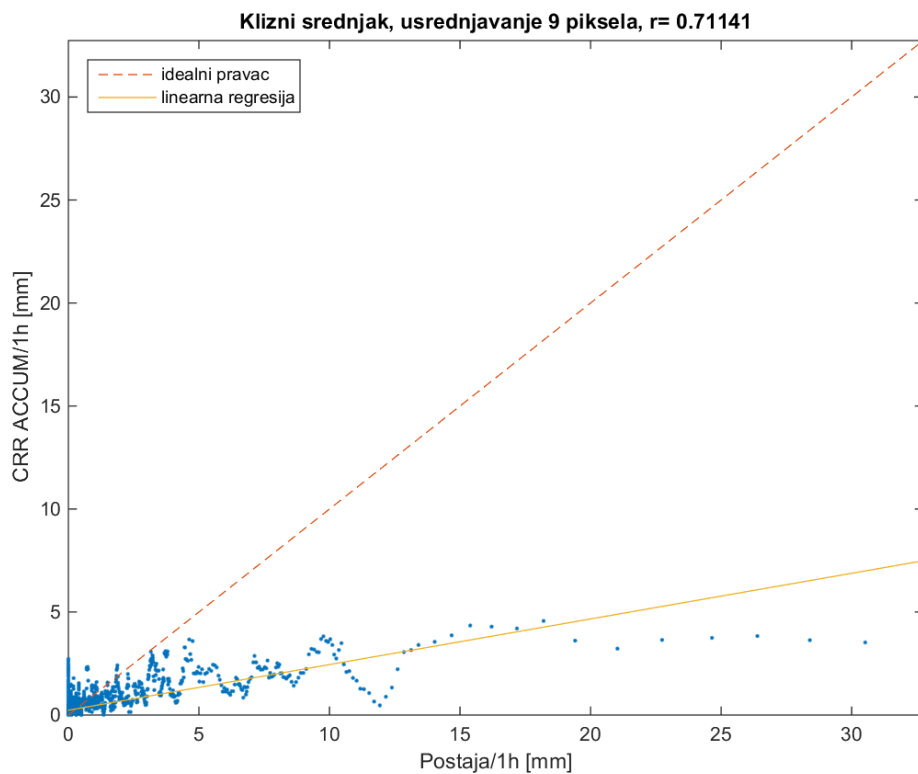
S obzirom da su koeficijenti korelacije kod svih metoda jako mali, tj. imamo veliko raspršenje, napravljen je klizni srednjak s rasponom od 10 članova niza kako bi se raspršenje smanjilo, a trend bio uočljiviji. Ovom metodom dobili smo koeficijente korelacije s vrijednostima iznad  $r=0.7$  i trend potcjenjivanja količine oborine je uočljiviji ( Slika 23, Slika 24, Slika 25, Slika 26).



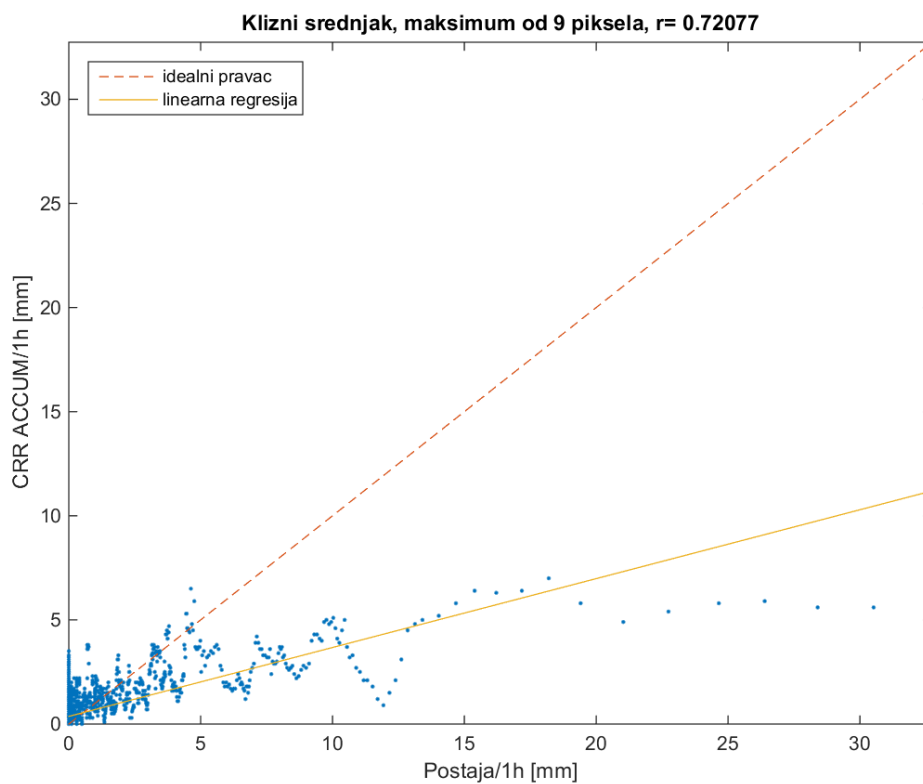
*Slika 23: Klizni srednjak, linearna interpolacija*



*Slika 24: Klizni srednjak, pripadni piksel*



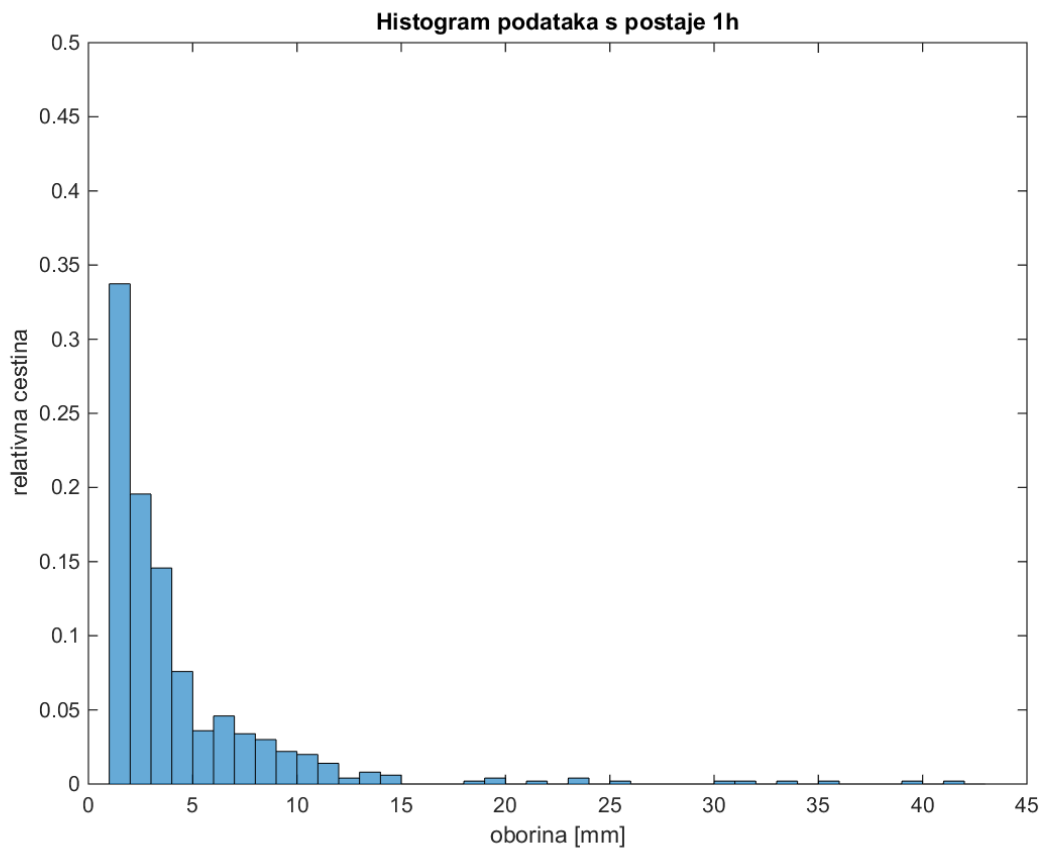
*Slika 25: Klizni srednjak, usrednjavanje 9 piksela*



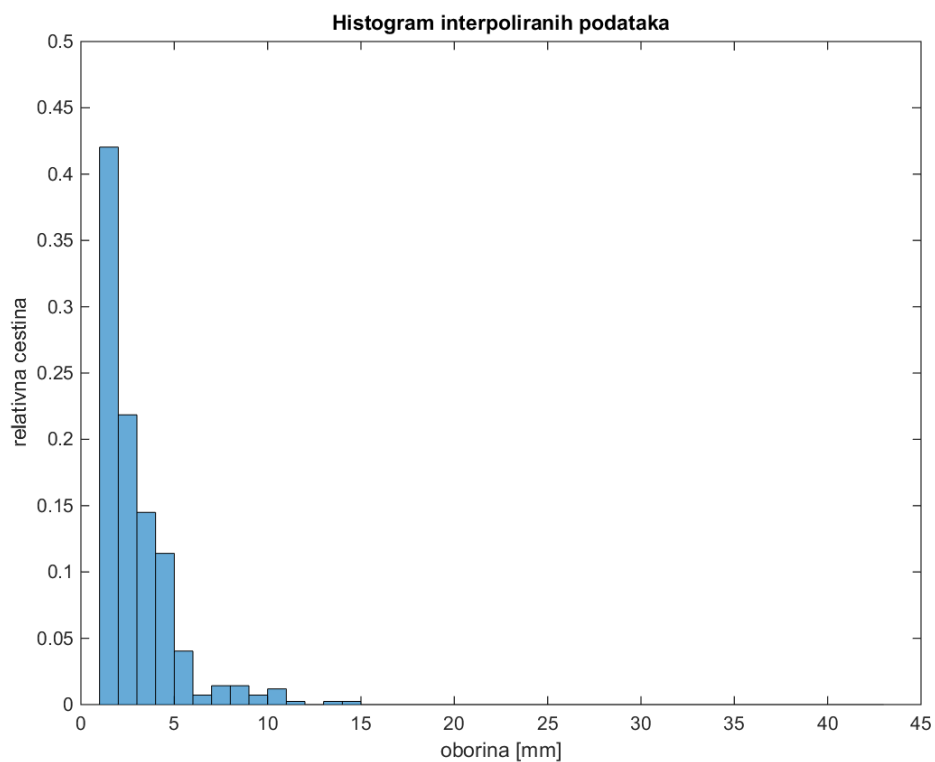
*Slika 26: Klizni srednjak, maksimum od 9 piksela*



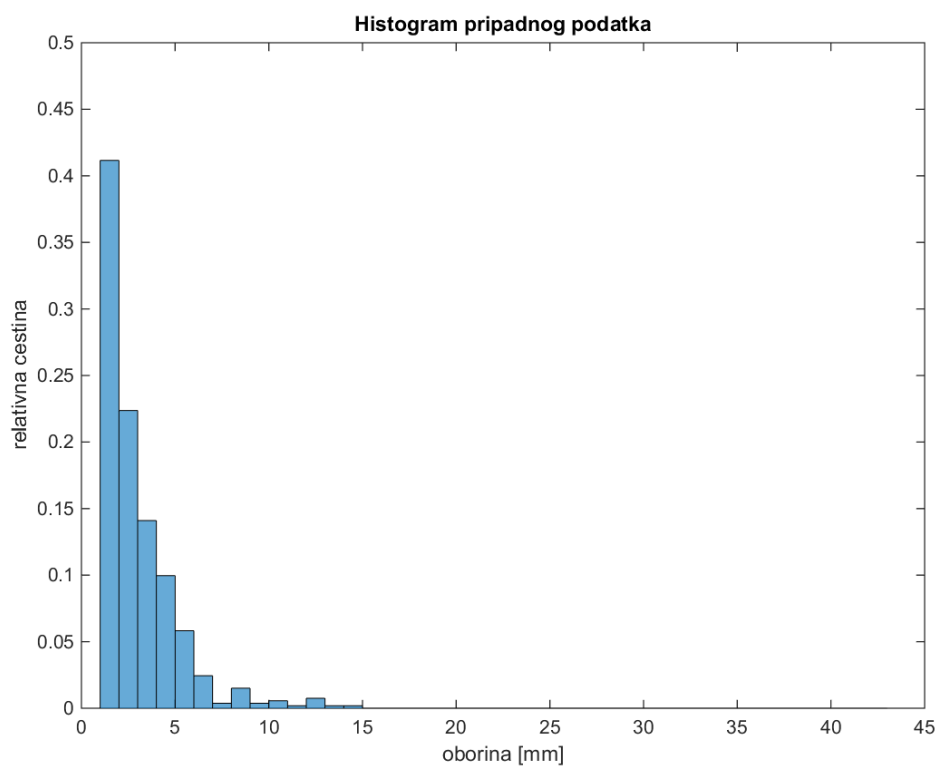
Nacrtni su i histogrami satnih akumulacija čije su grupe veličine jednog milimetra. U polju satnih akumuliranih oborina većina vrijednosti izmjenjenih na postajama je nula, tj. nije uočena oborina. Iz histograma su uklonjene vrijednosti satnih akumulacija oborine manje od 1 mm, kako bi ostale vrijednosti bile uočljivije. Kod svih metoda je vidljivo da su vjerojatnosti pojave velikih vrijednosti oborine manje nego što je to stvarni slučaj (Slika 27).



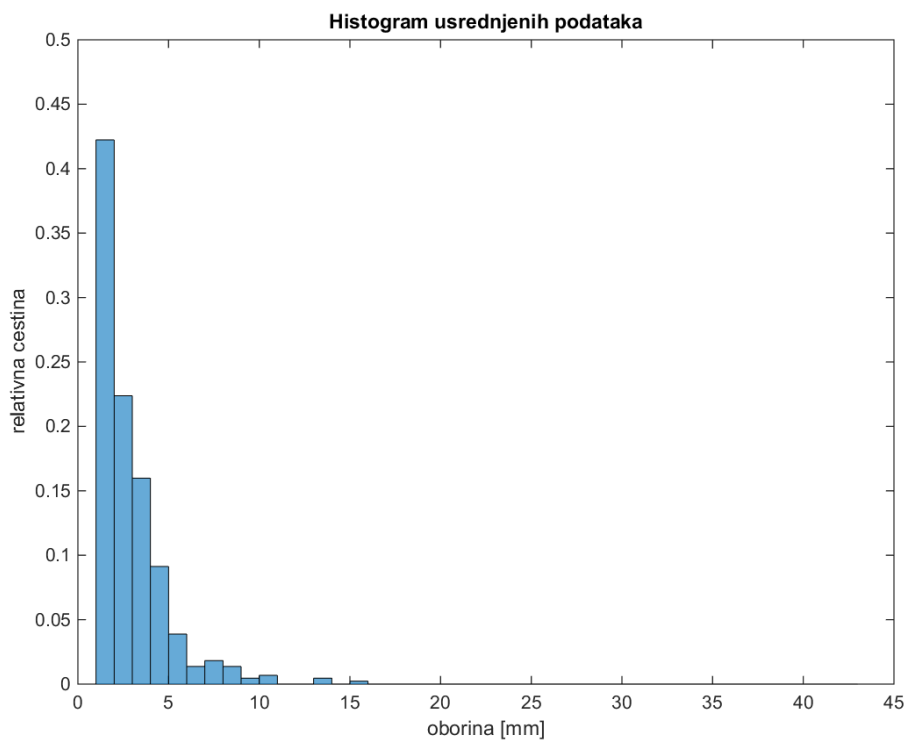
*Slika 27: Histogram podataka s postaja*



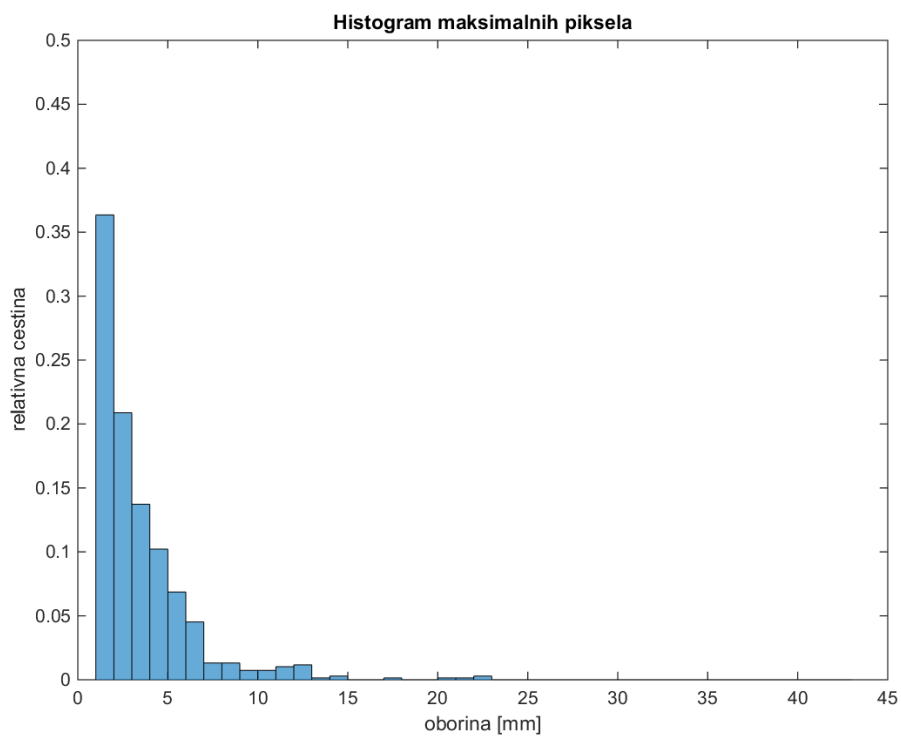
*Slika 28: Histogram, linearna interpolacija*



*Slika 29: Histogram, pripadni piksel*



*Slika 30: Histogram, usrednjavanje 9 piksela*



*Slika 31: Histogram, maksimum od 9 piksela*

Koliko su dobro prikazane količine oborine na satelitskim produktima moguće je procijeniti pomoću tablica kontingencije koje, ovisno o količini oborine na postaji i količini oborine na satelitskom produktu, svrstavaju taj podatak u određenu grupu. U ovom slučaju grupe su raspona 10 mm.

*Tablica 2: Tablica kontingencije, linearna interpolacija*

	Satelitski produkt					
	Grupe	0-10	10-20	20-30	30+	Suma
Podaci s postaja	0-10	3502	5	0	0	3507
	10-20	26	3	0	0	29
	20-30	4	0	0	0	4
	30+	7	0	0	0	7
	Suma	3539	8	0	0	3547

*Tablica 3: Tablica kontingencije, pripadni piksel*

	Satelitski produkt					
	Grupe	0-10	10-20	20-30	30+	Suma
Podaci s postaja	0-10	3500	7	0	0	3507
	10-20	26	3	0	0	29
	20-30	4	0	0	0	4
	30+	7	0	0	0	7
	Suma	3537	10	0	0	3547

*Tablica 4: Tablica kontingencije, usrednjavanje 9 piksela*

	Satelitski produkt					
	Grupe	0-10	10-20	20-30	30+	Suma
Podaci s postaja	0-10	3502	5	0	0	3507
	10-20	28	1	0	0	29
	20-30	4	0	0	0	4
	30+	7	0	0	0	7
	Suma	3541	6	0	0	3547

Tablica 5: Tablica kontingencije, maksimum od 9 piksela

	Satelitski produkt					Suma
	Grupe	0-10	10-20	20-30	30+	
Podaci s postaja	0-10	3483	18	4	0	3507
	10-20	26	3	0	0	29
	20-30	4	0	0	0	4
	30+	5	2	0	0	7
	Suma	3520	23	4	0	3547

Iz tablica kontingencije je vidljivo da su male količine oborine (0-10 mm) dobro prikazane. Od njih 3507, 3502 je dobro prikazano kod metode linearne interpolacije i usrednjavanja 9 piksela, 3500 kod metode pripadnog piksela i 3483 kod metode maksimuma od 9 piksela. Vrijednosti veće od 10 mm uglavnom su pogrešno prikazane kao manje vrijednosti.

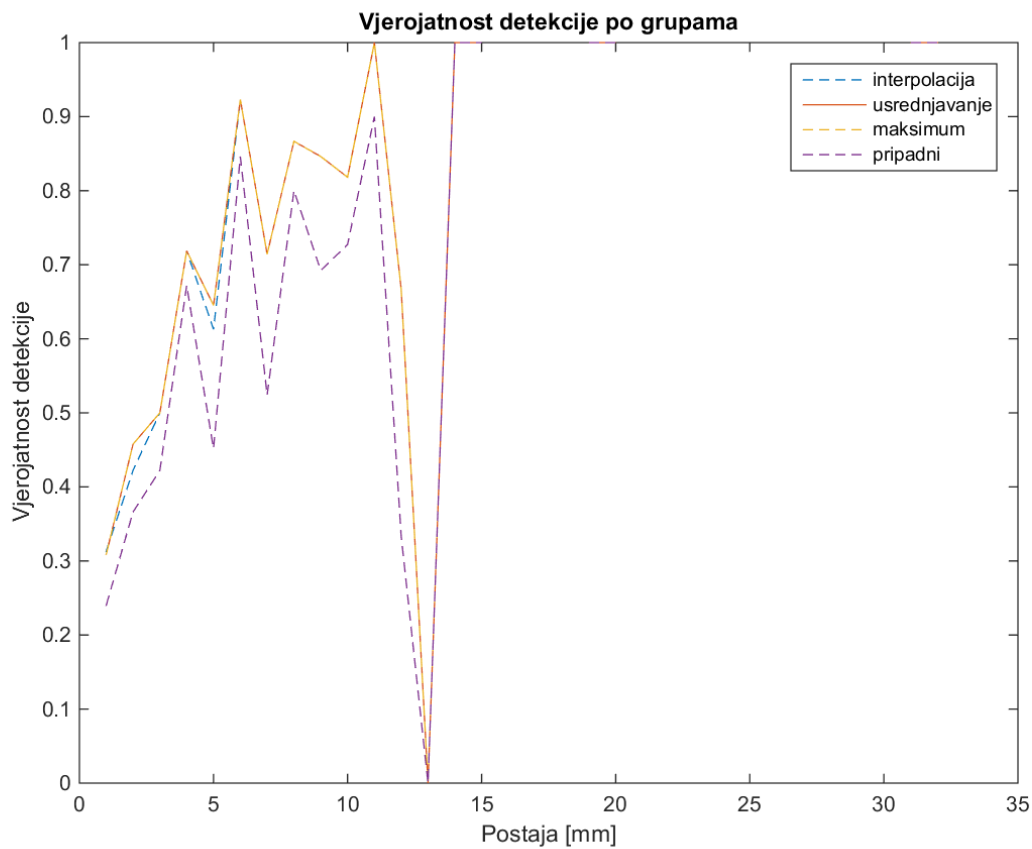
Za svaku metodu izračunate su vjerojatnost detekcije oborine (POD) i postotak lažnih uzbuna (FAR). Vrijednosti su prikazane u tablici 6.

Tablica 6: POD i FAR pojedinih metoda

	Linearna interpolacija	Pripadni piksel	Usrednavanje 9 piksela	Maksimum od 9 piksela
POD	0,5996	0,5080	0,6096	0,6096
FAR	0,4040	0,5207	0,4115	0,5533

Vidljivo je da metode linearne interpolacije, usrednjavanja 9 piksela i maksimuma od 9 piksela imaju gotovo jednaku vjerojatnost detekcije oborine od približno 60 %, dok metoda pripadnog piksela ima svega 52,07 %. Najmanji postotak lažnih uzbuna imaju metoda linearne interpolacije (40,40 %) i metoda usrednjavanja 9 piksela (41,15 %), dok su metode pripadnog piksela (52,07 %) i maksimuma od 9 piksela (55,33 %) nešto lošije. Može se zaključiti da su metoda linearne interpolacije i usrednjavanja 9 piksela najbolje, s najvećom vjerojatnosti detekcije oborine i najmanjim postotkom lažnih uzbuna. Najlošijom metodom pokazala se metoda pripadnog piksela s približno jednakom vjerojatnosti detekcije oborine i postotkom lažnih uzbuna.

Nadalje, izračunata je vjerojatnost detekcije oborine (POD) po grupama, gdje su grupe raspona 1 mm (Slika 32).

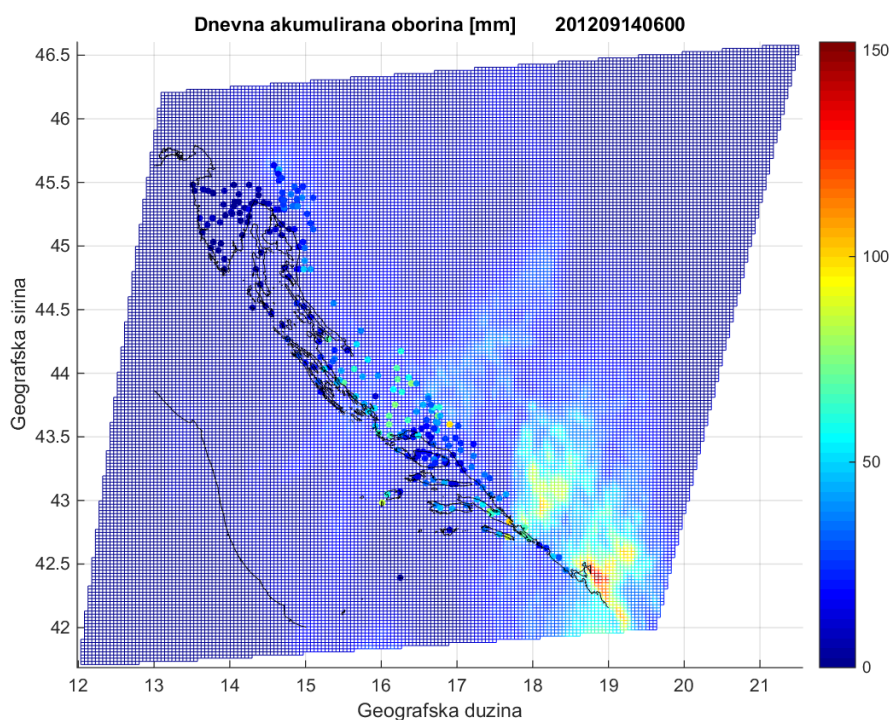


Slika 32: Vjerojatnost detekcije oborine po grupama

Na slici 32 je vidljivo da vjerojatnost detekcije oborine satelitskog produkta u prosjeku uglavnom raste s količinom oborine izmjerene na kišomjernoj postaji, s izuzetkom kod vrijednosti većih od 11 mm, nakon koje nizovi u promatranim grupama broje jako malo članova. Grupa s granicama od 12 do 13 mm, koja je prikazana minimumom na grafu, broji svega dva člana od kojih oba imaju oznaku m, tj. satelitski produkt nije uočio oborinu izmjerenu na kišomjernoj postaji. Taj rezultat nije statistički značajan zbog premalog uzorka, pa se sve vrijednosti iznad ove granice mogu zanemariti. Za detekciju konvektivne oborine kao najbolje metode pokazale su se metode usrednjavanja 9 piksela i metoda njihovog maksimuma, čije su vrijednosti identične. Metoda linearne interpolacije se pokazala nešto lošijom, dok se metoda pripadnog piksela pokazala najlošijom metodom.

### 3.2. Analiza dnevnih akumuliranih oborina

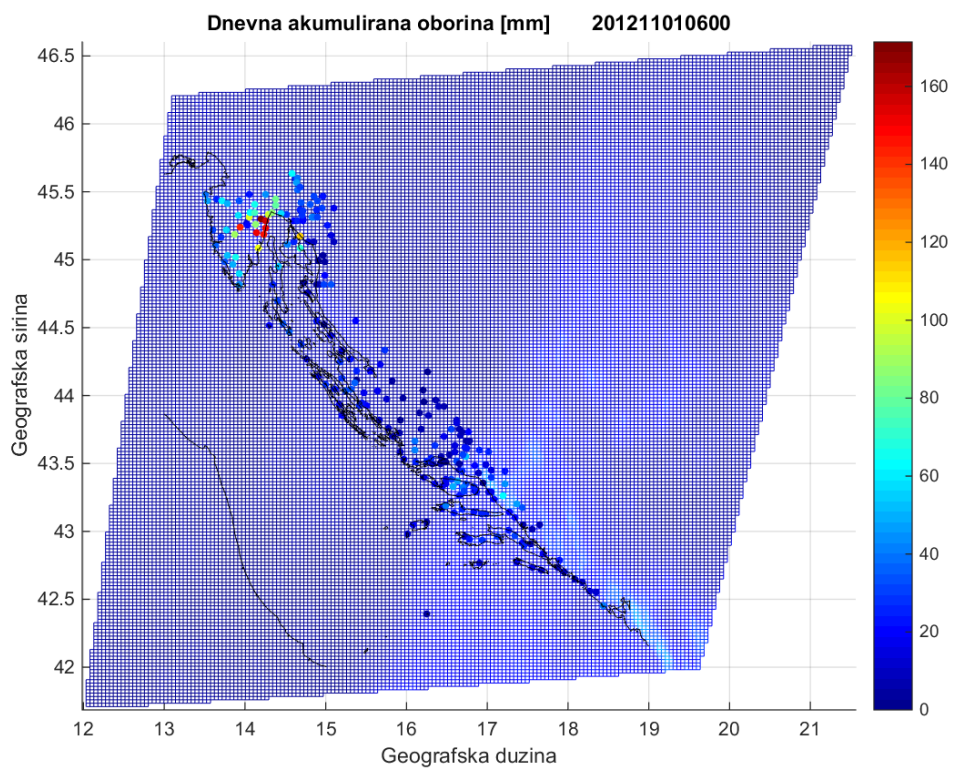
Dnevne akumulirane oborine dobivene su sumiranjem satnih akumuliranih oborina u razdoblju od 6 do 6 UTC. Takvi podaci uspoređeni su s dnevnim akumuliranim oborinama izmjerenim na kišomjernim postajama. Kod vizualiziranja tako dobivenih satelitskih produkata nacrtane su i točke koje odgovaraju kišomjernim postajama te su obojane prema odgovarajućim količinama izmjerene oborine. Na slikama je vidljivo da se položaj područja s malim i srednjim količinama oborine dobro poklapaju, iako su vrijednosti same oborine na satelitskim produktima nešto manje (Slika 33).



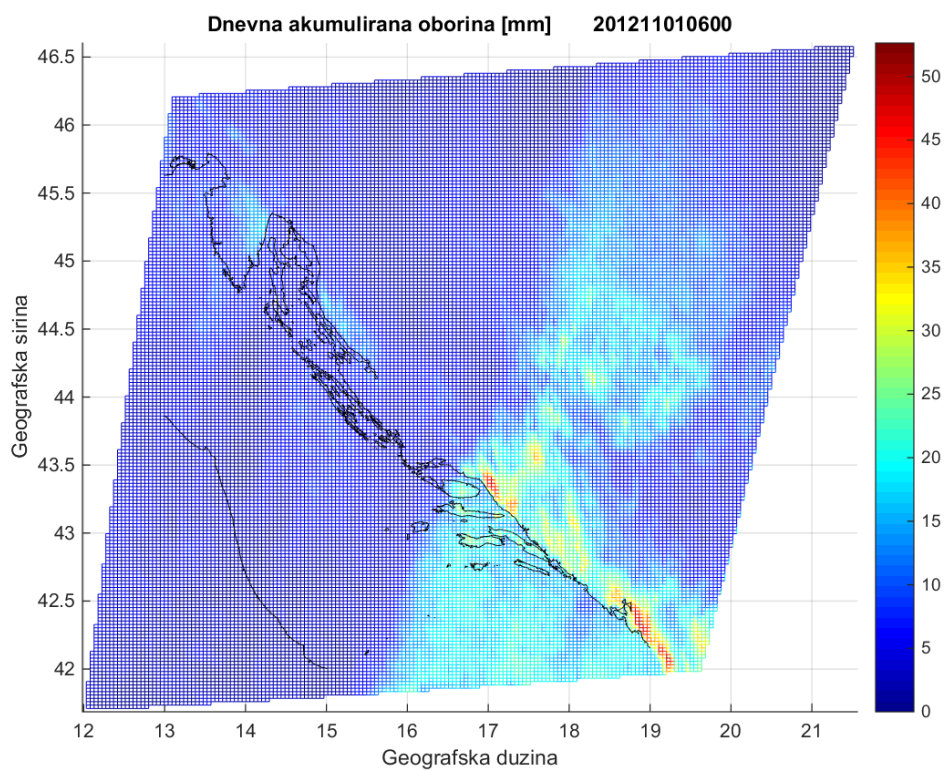
*Slika 33: Dnevna akumulirana oborina s postajama, 14. rujna u 6:00 UTC*

Kod ekstremnih količina oborine razlika u količinama je izrazito vidljiva te zajednički prikaz raspodjele oborine na temelju kišomjernih postaja i satelitskih produkata ne daje jasnu sliku za usporedbu (Slika 34). Slika iste situacije, bez točaka koje reprezentiraju kišomjerne postaje vidljiva je odmah ispod (Slika 35). Potrebno je uočiti da raspon vrijednosti količine oborine na te dvije slike nije isti. U ovom je slučaju iz satelitskih podataka dobro procjenjena količina oborine na području Dalmacije dok je oborina u Istri znatno potcijenjena. Tu se radilo o situaciji s hladnom frontom iznad Dalmacije i ciklonom sa središtem iznad sjeverne Italije pri čemu se Istra nalazila u području točke okluzije gdje je česta pojava izražene konvekcije.





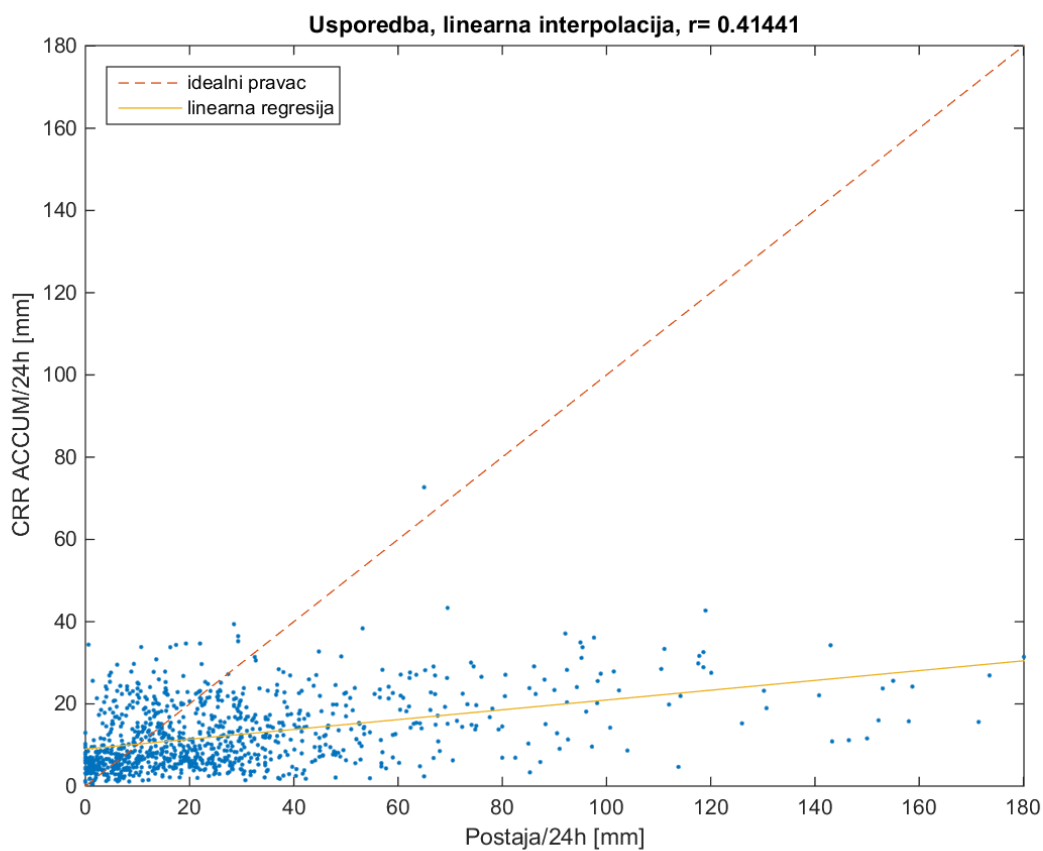
Slika 34: Dnevna akumulirana oborina s postajama, 1. studenog u 6:00 UTC



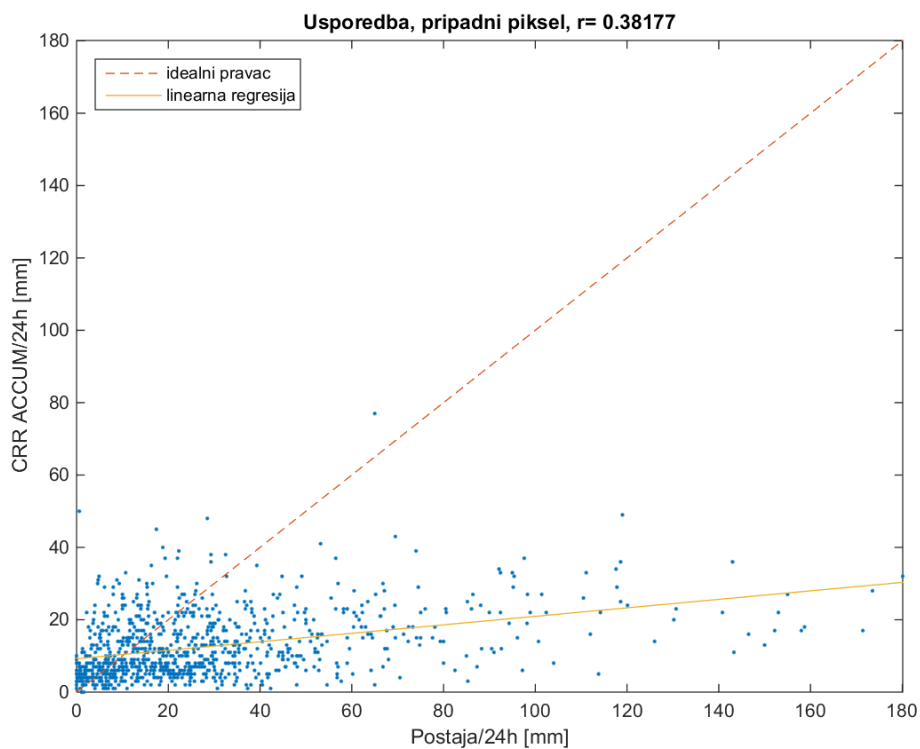
Slika 35: Dnevna akumulirana oborina, 1. studenog u 6:00 UTC



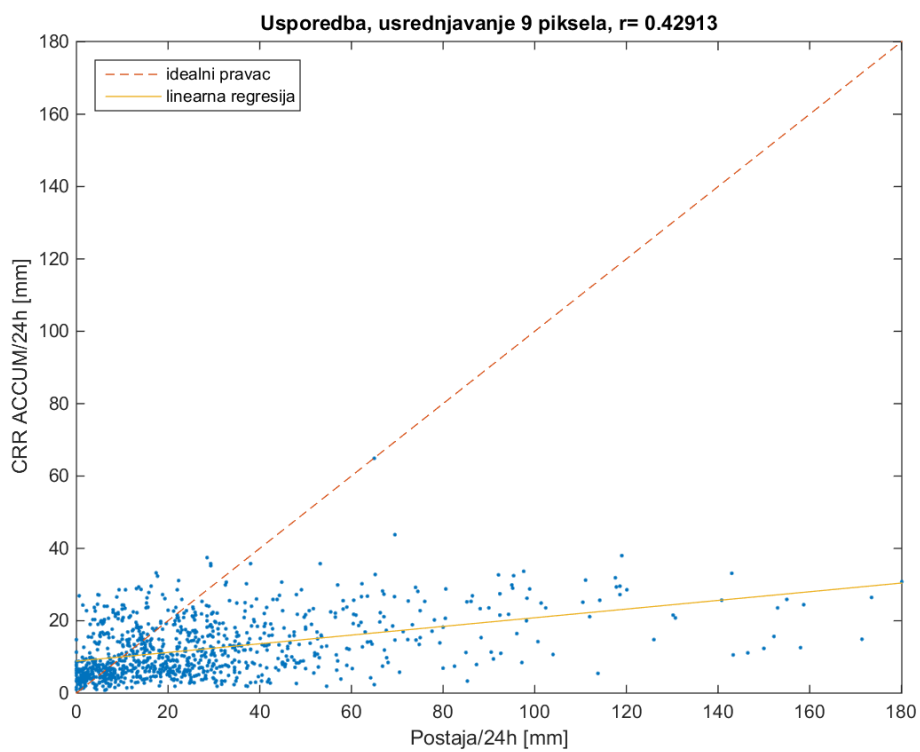
Kao i kod satnih akumuliranih oborina, nacrtani su dijagrami raspršenja za dnevne akumulirane oborine. Sve metode pokazuju znatno potcjenjivanje količine oborine, a razlike se povećavaju s većim vrijednostima dnevnih akumuliranih oborina (Slika 36, Slika 37, slika 38, Slika 39). Najveći koeficijent korelacije ( $r=0,42013$ ) ima metoda usrednjavanja 9 piksela, a najmanji ( $r=0,38117$ ) metoda pripadnog piksela. Kao i kod satnih akumuliranih oborina, vidljivo je da se slaganje podataka poboljšalo povećanjem područja na kojem je usrednjena količina oborine, što je suprotno očekivanom.



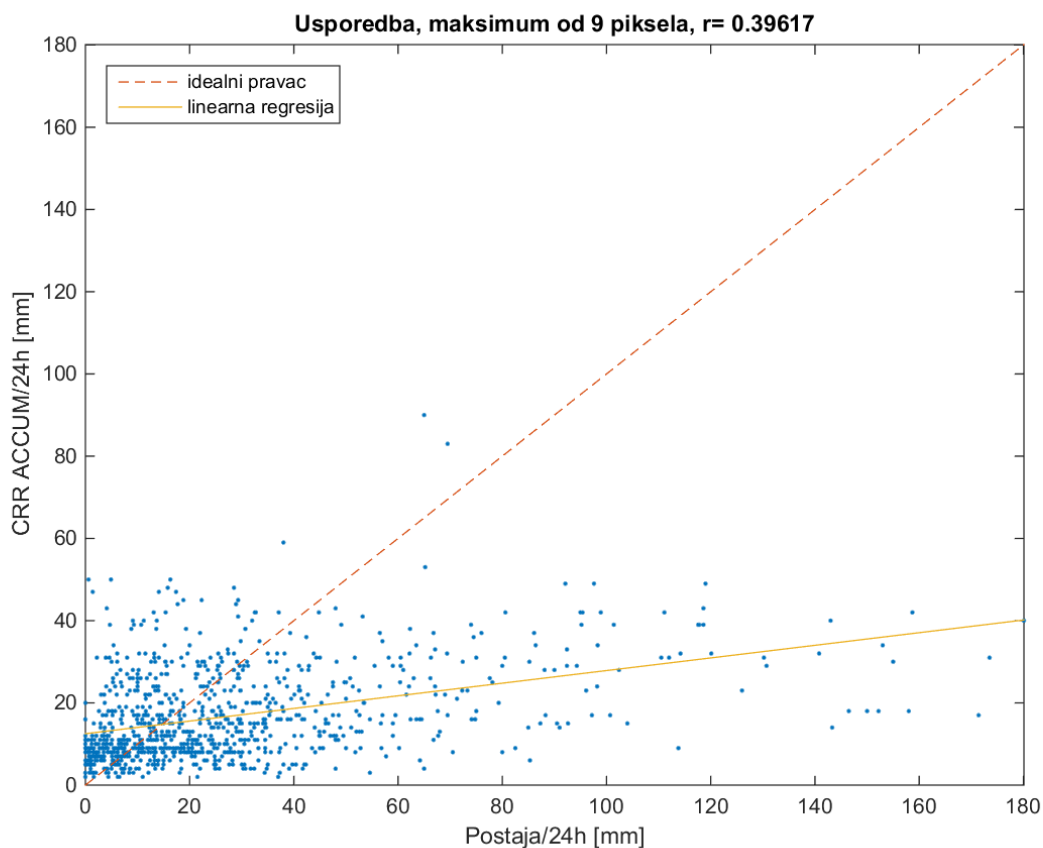
Slika 36: Dijagram raspršenja, linearna interpolacija



*Slika 37: Dijagram raspršenja, pripadni piksel*

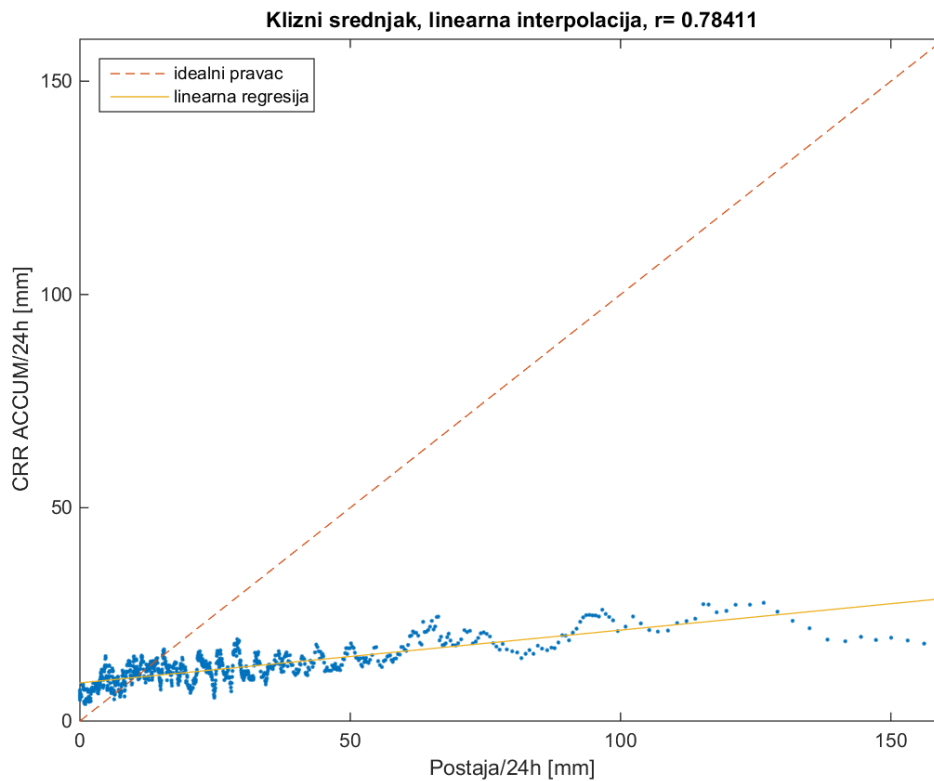


*Slika 38: Dijagram raspršenja, usrednjavanje 9 piksela*

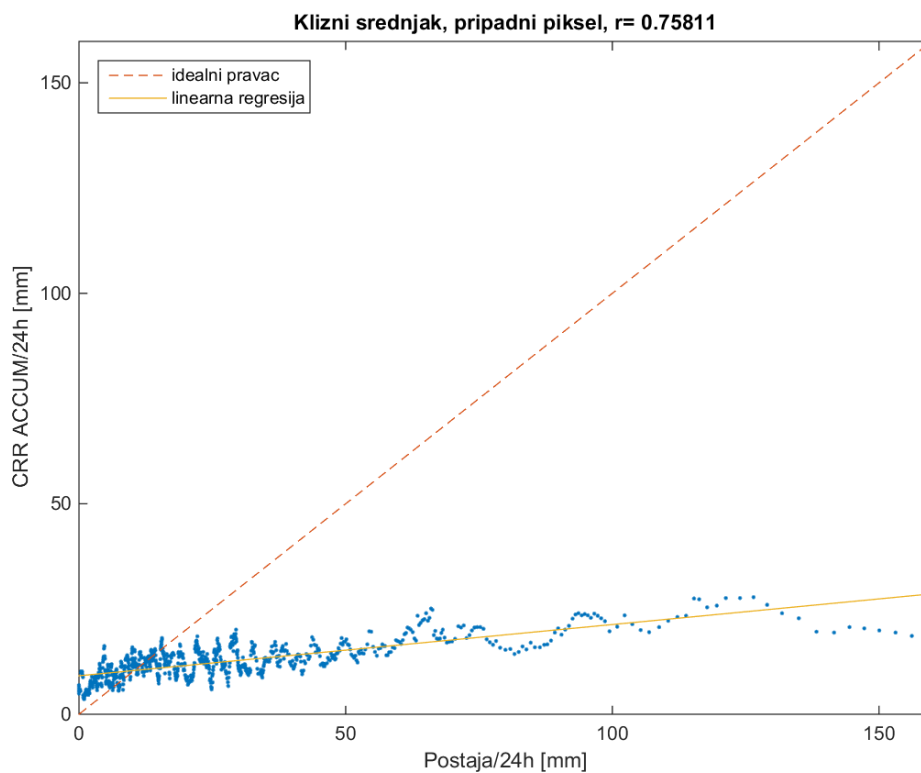


*Slika 39: Dijagram raspršenja, maksimum od 9 piksela*

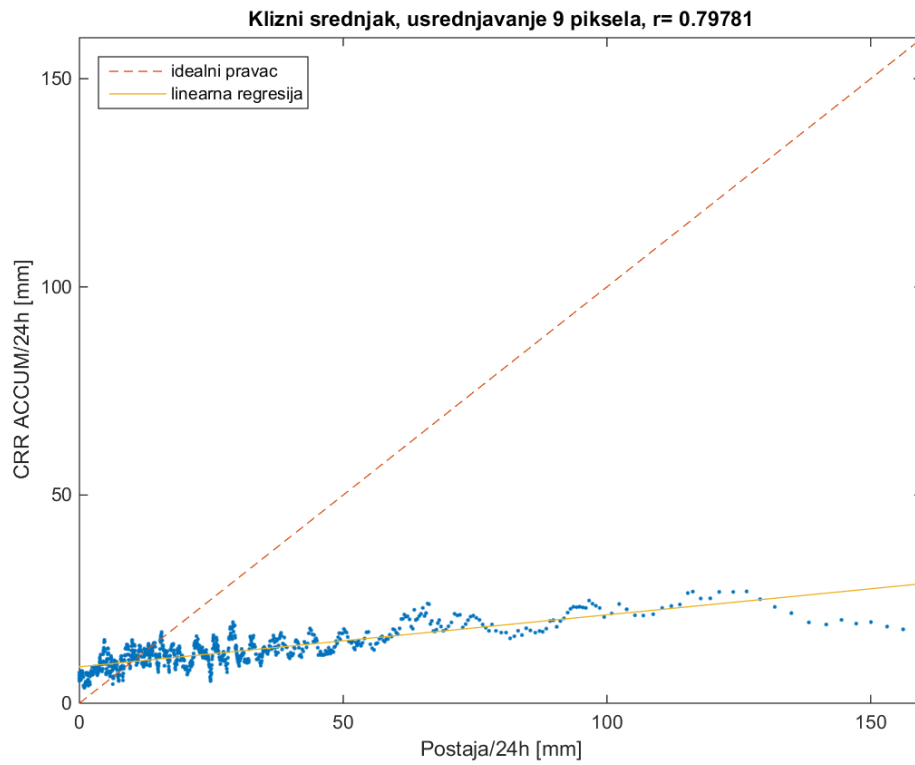
Upotrebom kliznih srednjaka uočljivo je da dnevne akumulirane oborine imaju manje raspršenje od satnih akumuliranih oborina te su koeficijenti korelacije veći. Najbolja slaganja pokazuju metode usrednjavanja 9 piksela ( $r=0,79781$ ) i linearne interpolacije ( $r=0,78411$ ). Na svim slikama uočljivo je značajno potcjenjivanje količine oborine (Slika 40, Slika 41, Slika 42, Slika 43).



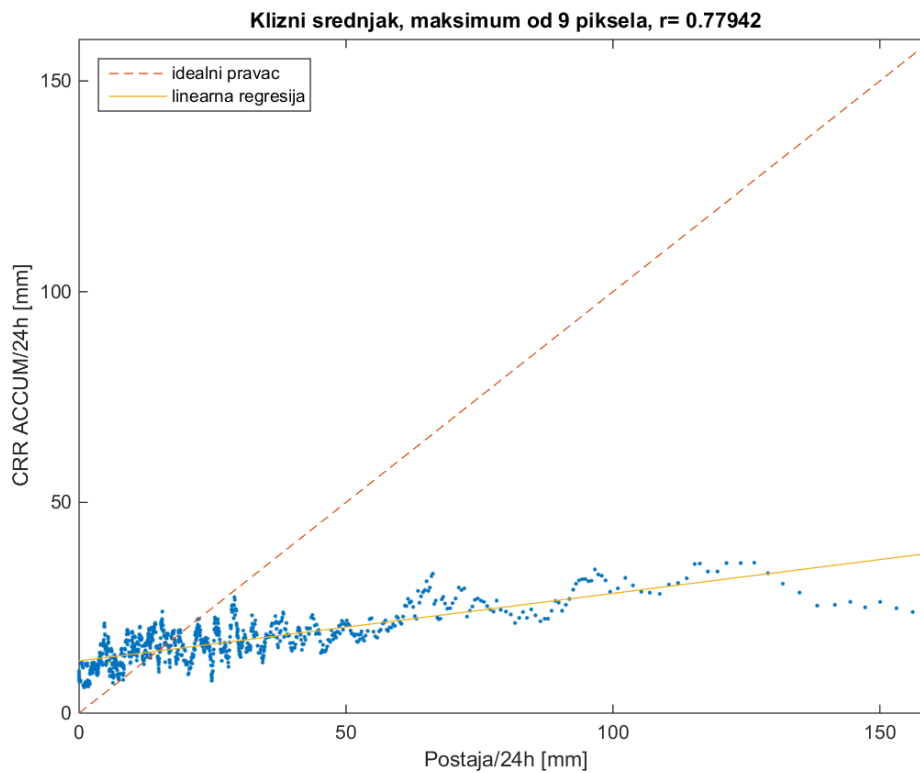
*Slika 40: Klizni srednjak, linearna interpolacija*



*Slika 41: Klizni srednjak, pripadni piksel*

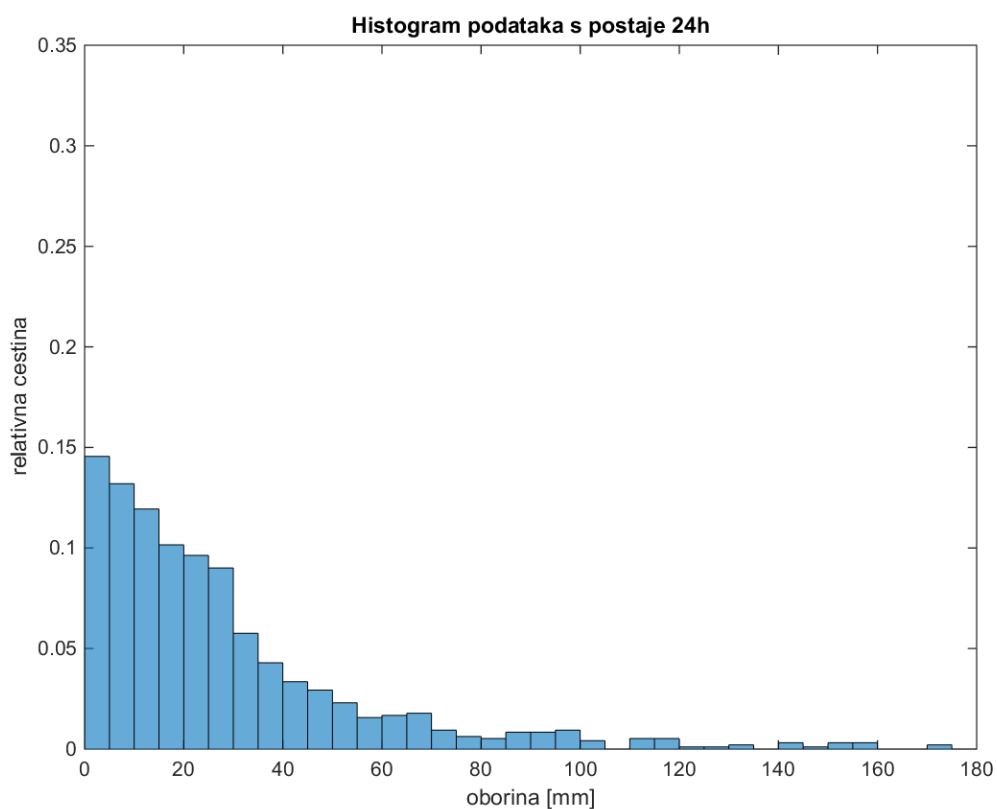


*Slika 42: Klizni srednjak, usrednjavanje 9 piksela*

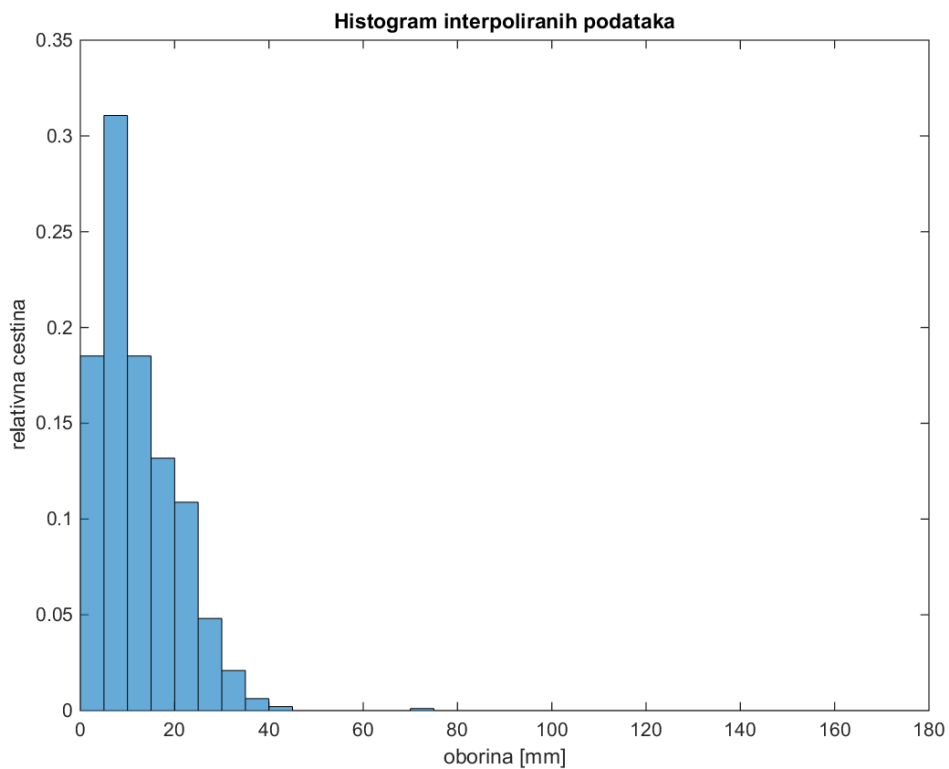


*Slika 43: Klizni srednjak, maksimum od 9 piksela*

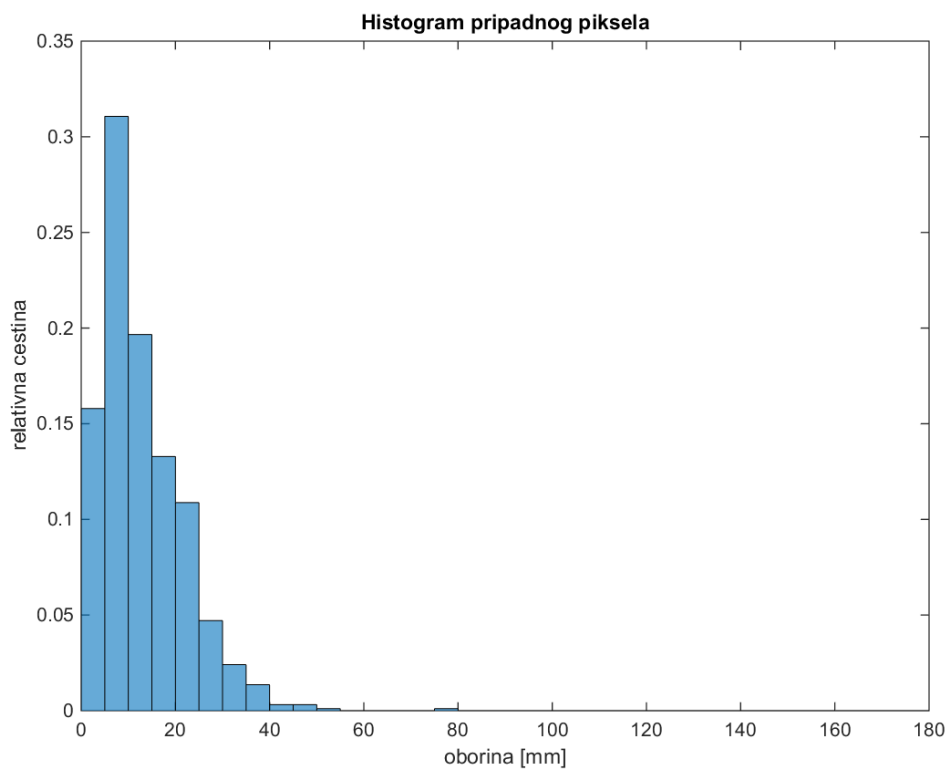
Iz histograma dnevnih akumuliranih oborina vidljivo je da satelitski produkt loše prikazuje količinu oborine. U promatranim situacijama satelitski produkt ni u jednom slučaju nije procijenio oborinu na više od 100 mm u 24 sata, čak ni kad je uzeta maksimalna količina oborine u 9 piksela oko postaje, iako je u podacima mjenenima na postajama bilo i dnevnih količina većih od 160 mm. Drugim riječima, veće vrijednosti oborine nisu vidljive, dok je puno više manjih vrijednosti oborine prikazano satelitskim produktima (Slika 44, Slika 45, Slika 46, Slika 47, Slika 48).



Slika 44: Histogram podataka s postaje

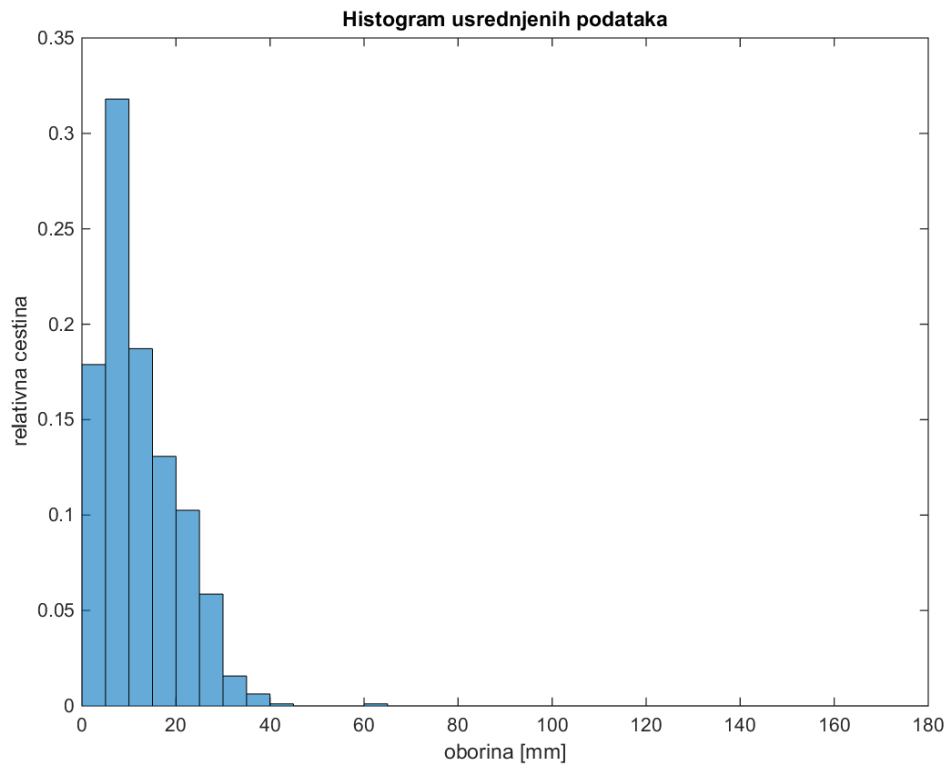


*Slika 45: Histogram, linearna interpolacija*

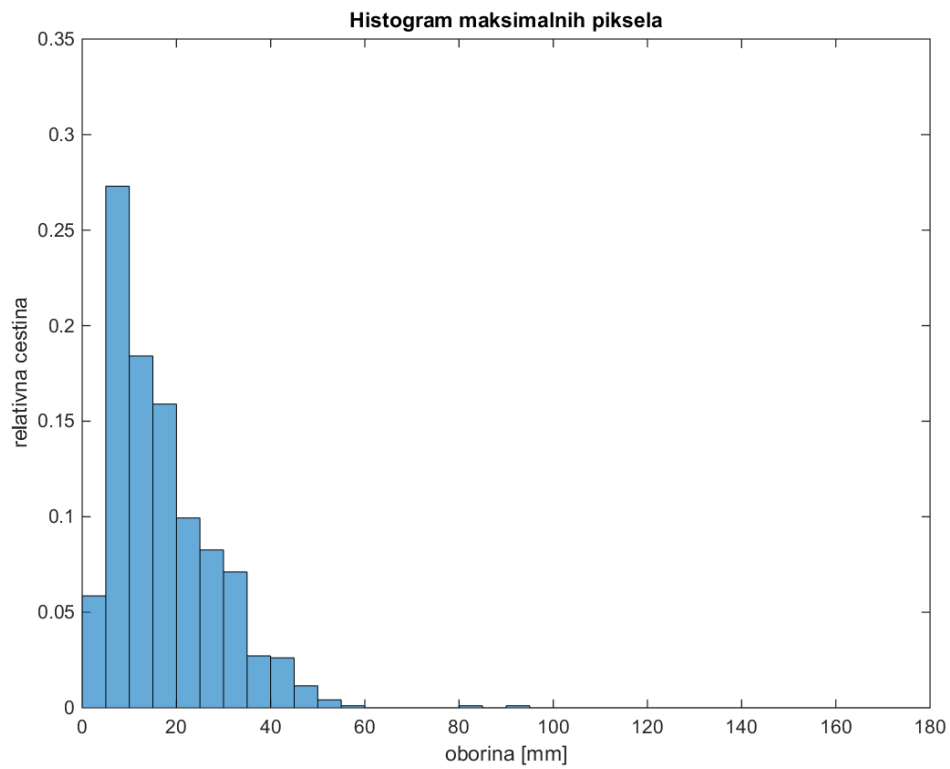


*Slika 46: Histogram, pripadni piksel*





*Slika 47: Histogram, usrednjavanje 9 piksela*



*Slika 48: Histogram, maksimum od 9 piksela*

Iz tablica kontingencije je uočljivo da su male dnevne količine oborine (0-30 mm) dobro prikazane. Od njih 654 izmjerenih na kišomjernim postajama, 644 pripada istoj grupi kod linearne interpolacije, 633 kod metode pripadnog piksela, 648 kod metode usrednjavanja 9 piksela i 593 kod metode maksimuma od 9 piksela. Ovdje također uočavamo da su veće vrijednosti dnevne akumulirane oborine uglavnom prikazane manjim vrijednostima, odnosno da satelitski produkt potcjenjuje velike količine oborine.

*Tablica 6: Tablica kontingencije, linearna interpolacija*

	Satelitski produkt					
	Grupe	0-30	30-60	60-90	90+	Suma
Podaci s postaja	0-30	644	10	0	0	654
	30-60	188	5	0	0	193
	60-90	58	2	1	0	61
	90+	37	11	0	0	48
	Suma	927	28	1	0	956

*Tablica 7: Tablica kontingencije, pripadni piksel*

	Satelitski produkt					
	Grupe	0-30	30-60	60-90	90+	Suma
Podaci s postaja	0-30	633	21	0	0	654
	30-60	185	8	0	0	193
	60-90	57	3	1	0	61
	90+	37	11	0	0	48
	Suma	912	43	1	0	956

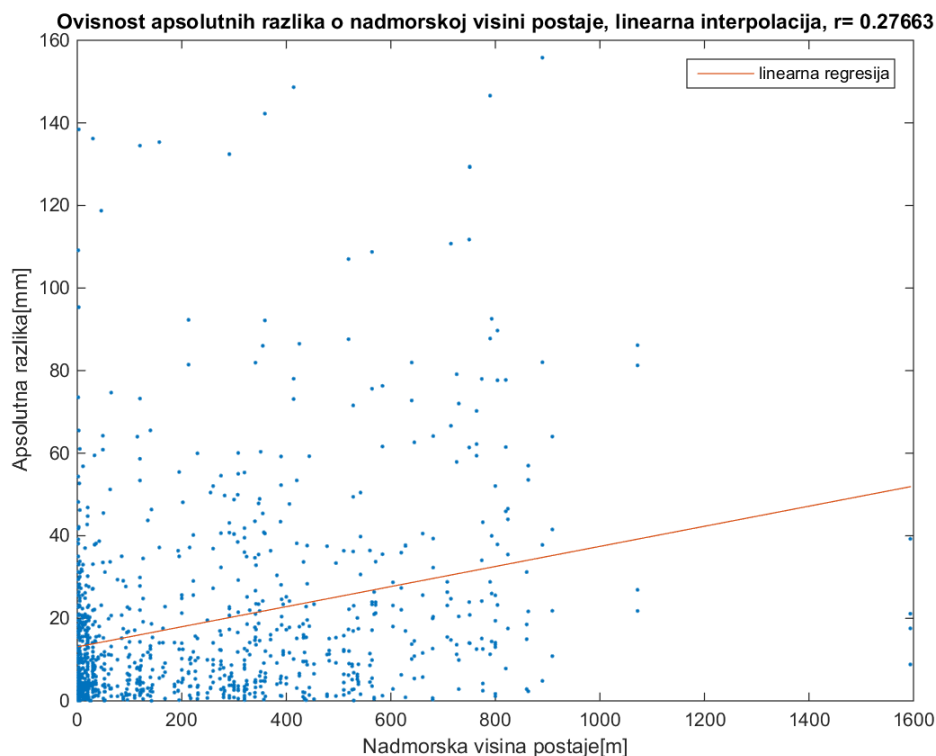
*Tablica 8: Tablica kontingencije, usrednjavanje 9 piksela*

	Satelitski produkt					
	Grupe	0-30	30-60	60-90	90+	Suma
Podaci s postaja	0-30	648	6	0	0	654
	30-60	188	5	0	0	193
	60-90	57	3	1	0	61
	90+	40	8	0	0	48
	Suma	933	22	1	0	956

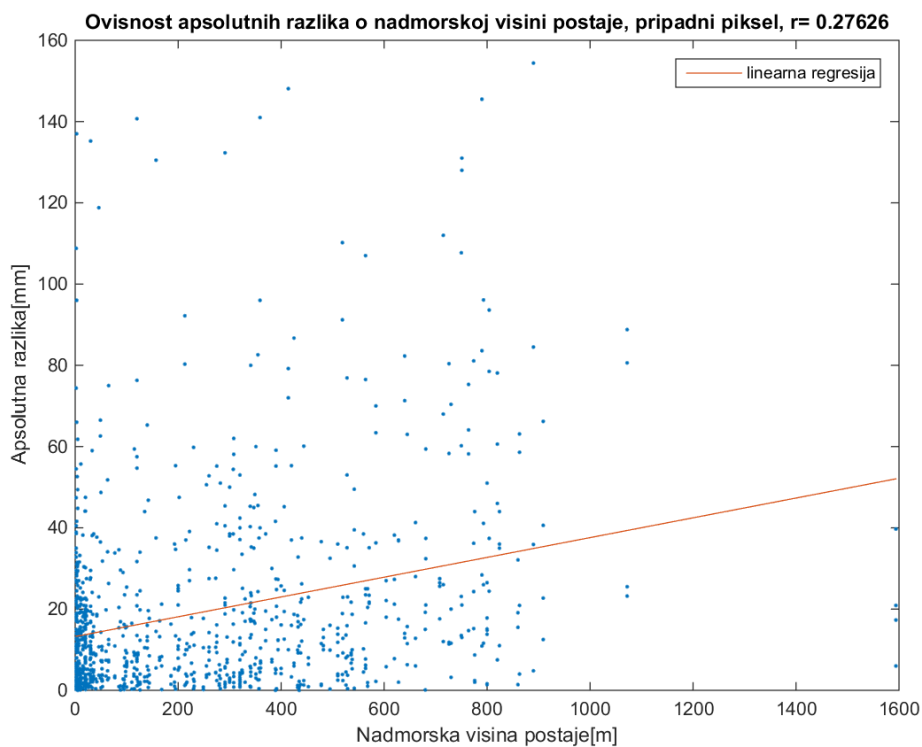
Tablica 9: Tablica kontingencije, maksimum od 9 piksela

Podaci s postaja	Satelitski produkt					Suma
	Grupe	0-30	30-60	60-90	90+	
0-30	593	61	0	0	654	
30-60	165	28	0	0	193	
60-90	40	19	1	1	61	
90+	21	27	0	0	48	
Suma	819	27	1	1	956	

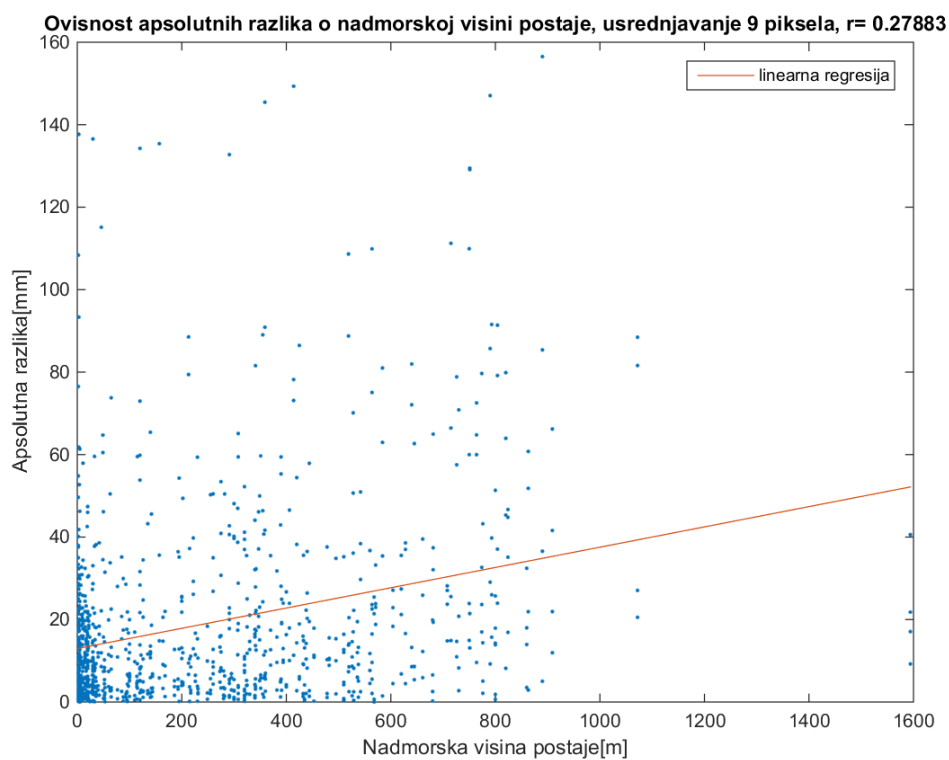
S obzirom na kompleksnost jadranske obale i pristup većem broju kišomjernih postaja, postavilo se pitanje da li je orografska korekcija koja se koristi u stvaranju satelitskih produkata dovoljno dobra. Proučavanjem apsolutnih razlika između satelitskih produkata i podataka izmjerenih na kišomjernih postajama te njihove ovisnosti o nadmorskim visinama na kojima se postaje nalaze, može se uočiti da se apsolutne razlike u prosjeku povećavaju s nadmorskom visinom postaje (Slika 49, Slika 50, Slika 51, Slika 52).



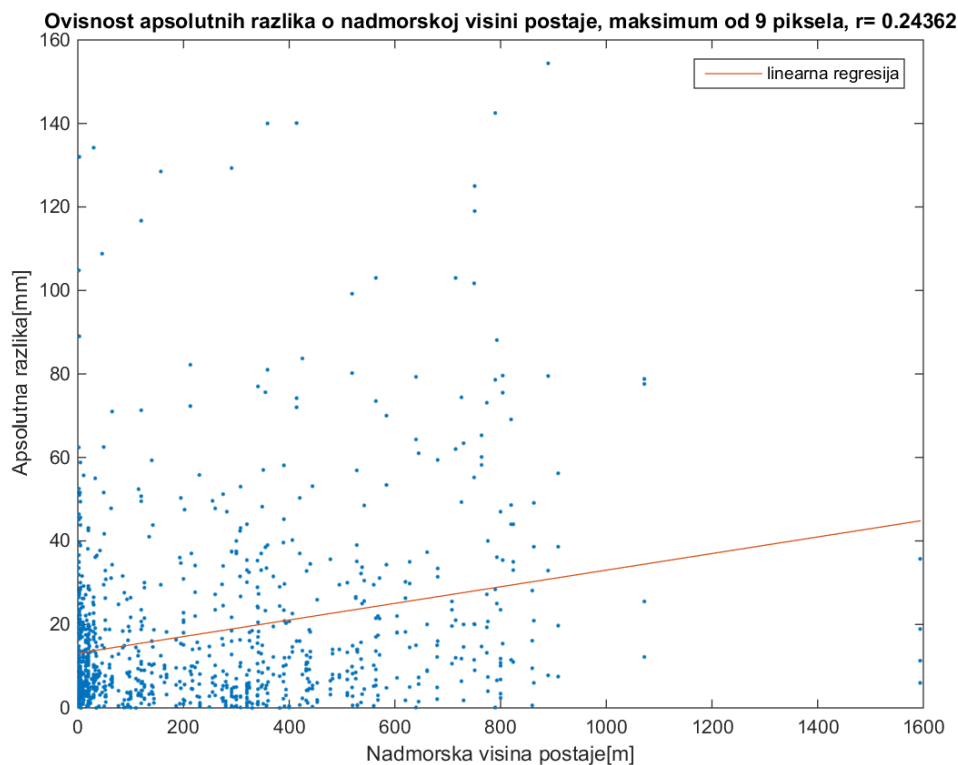
Slika 49: Ovisnost apsolutnih razlika o nadmorskoj visini postaje, linearna interpolacija



Slika 50: Ovisnost apsolutnih razlika o nadmorskoj visini postaje, pripadni piksel

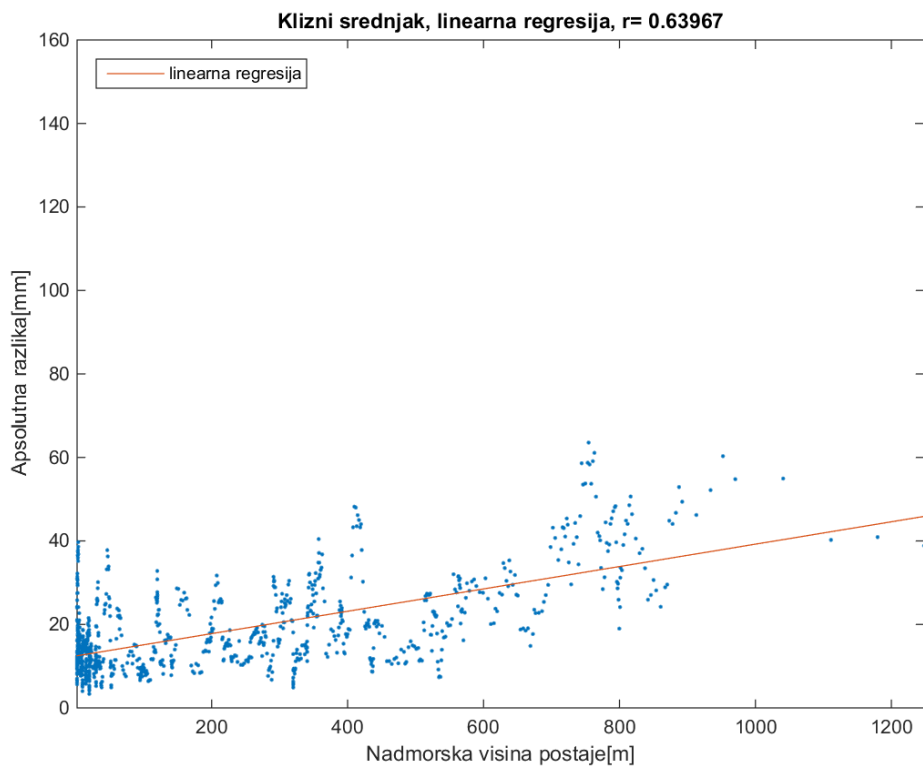


Slika 51: Ovisnost apsolutnih razlika o nadmorskoj visini postaje, usrednjavanje 9 piksela

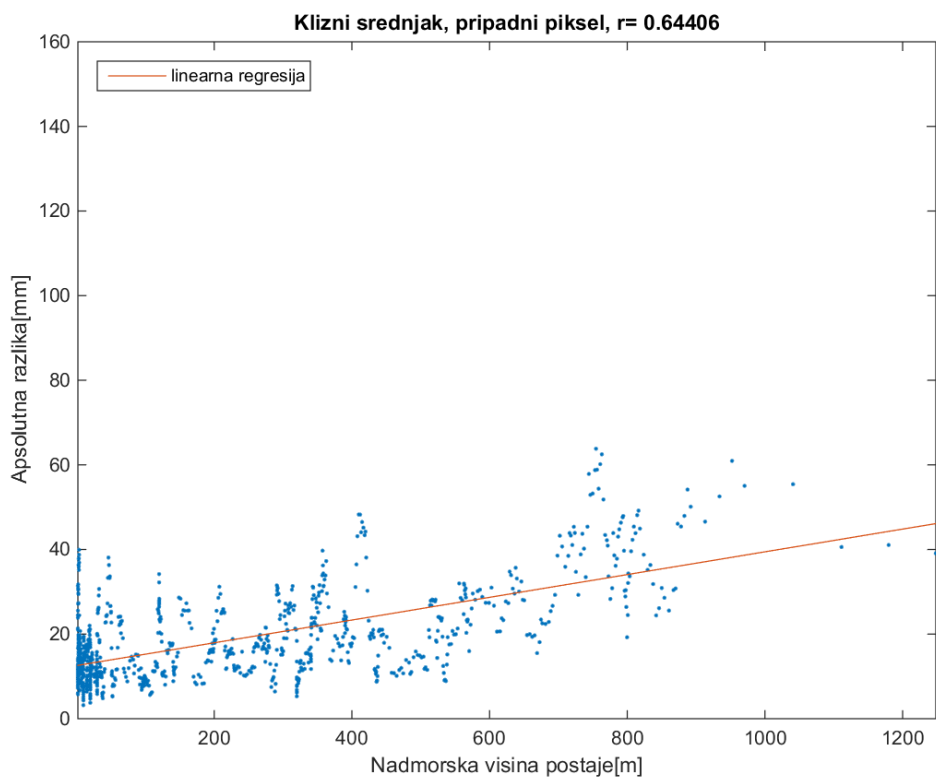


*Slika 52: Ovisnost apsolutnih razlika o nadmorskoj visini postaje, maksimum od 9 piksela*

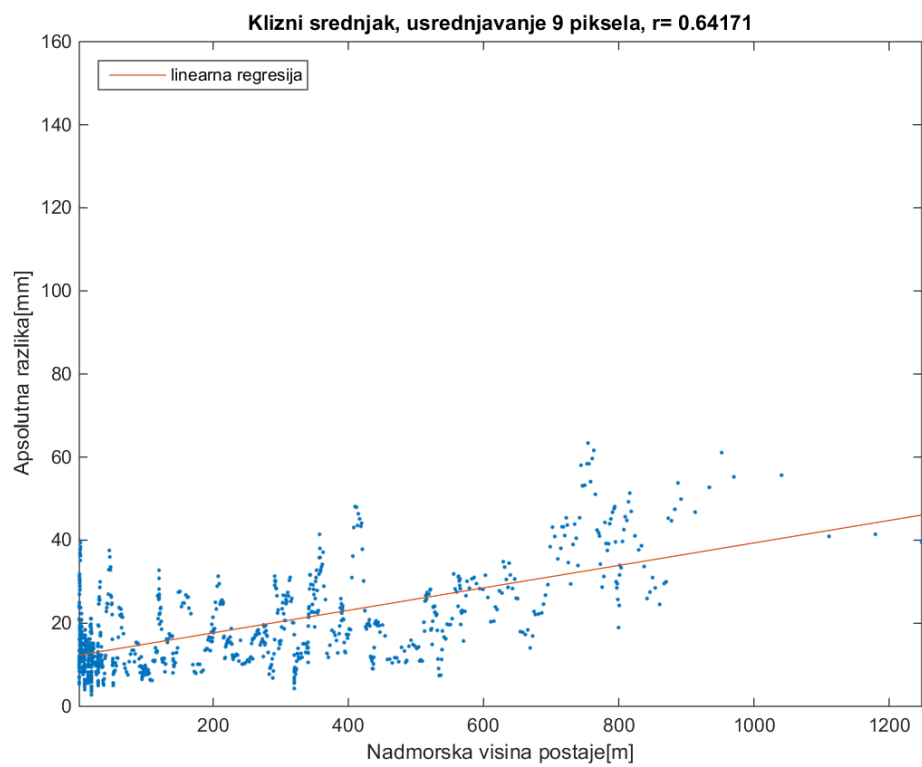
Zbog malih koeficijenata korelacije upotrebljen je klizni srednjak s rasponom od 10 članova niza. Na taj način smanjeno je raspršenje i trend povećanja apsolutnih razlika s nadmorskom visinom postaje je uočljiviji (Slika 53, Slika 54, Slika 55, Slika 56). Iz toga možemo zaključiti da orografske korekcije u slučaju jadranske obale nisu dovoljno dobre te ih treba poboljšati.



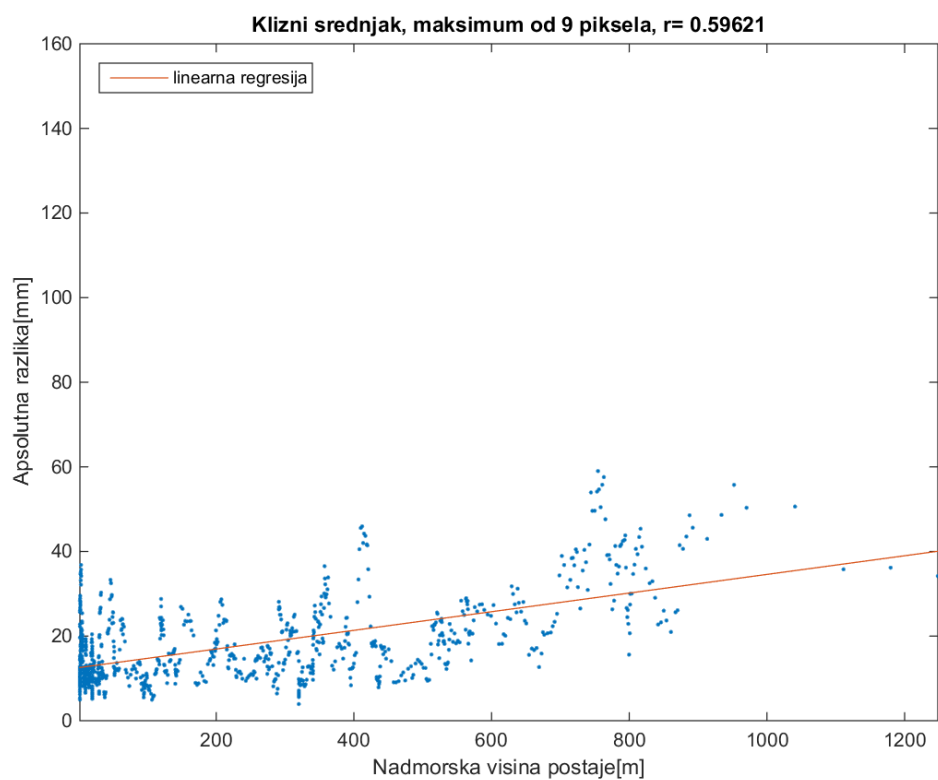
*Slika 53. Klizni srednjak, linearna regresija*



*Slika 54. Klizni srednjak, pripadni piksel*



*Slika 55. Klizni srednjak, usrednjavanje 9 piksela*



*Slika 56. Klizni srednjak, maksimum od 9 piksela*



#### 4. Diskusija i zaključak

U radu su uspoređene procijenjene satne i dnevne količine oborine dobivene iz NWC SAF CRR satelitskih produkata s količinama oborine izmjerenim na kišomjernim postajama na području cijelog Jadrana. Analiza je napravljena za šest situacija s ekstremnim količinama oborine tijekom HyMeX SOP1 razdoblja, s ciljem ispitivanja prikladnosti satelitskih oborinskih produkata i mogućnosti njihove primjene u prognozi neposrednog razvoja vremena.

Pokazalo se da je za usporedbu izmjerenih podataka i satelitskih produkata najbolja metoda usrednjavanja 9 piksela na satelitskom produktu raspoređenih oko lokacije kišomjerne postaje, iza koje slijedi metoda linearne interpolacije. Metoda u kojoj je uzeta maksimalna vrijednost satelitske količine oborine iz 9 piksela oko postaje, unatoč najboljem koeficijentu korelacije na satnim akumulacijama te vjerojatnostima detekcije indentičnima metodi usrednjavanja 9 piksela, pokazala se dosta lošom zbog većeg postotka lažnih uzbuna. Najlošijom metodom ipak se pokazala metoda pripadnog piksela, odnosno piksela na satelitskom produktu najbližeg lokaciji postaje, zbog manje vjerojatnosti detekcije i većeg postotka lažnih uzbuna.

Usporedbom koeficijenata korelacije i vjerojatnosti detekcije oborine vezanih uz pojedine metode, vidljivo je da se slaganje među podacima povećava sa širenjem područja na kojem se količina oborine dobivena iz satelitskog produkta usrednjava, što je suprotno očekivanom. Ova pogreška vjerojatno je rezultat krive procjene visine oblaka u korekciji paralakse pa je potrebna detaljnija analiza i moguće dodatna korekcija.

Analiza vjerojatnosti detekcije po grupama za svakih 1 mm oborine pokazala je da se vjerojatnost detekcije oborine sa satelita na pojedinoj lokaciji u prosjeku povećava s većom količinom oborine pa se može zaključiti da su CRR satelitski produkti adekvatni za promatranje prostorne raspodjele i evolucije konvektivnih sustava, pogotovo onih s ekstremnim količinama oborine.

Rezultati analize ekstremnih količina oborine prikazanih na satelitskim produktima pokazuju da su, unatoč dobroj prostornoj raspodjeli, količine oborine u satnim akumuliranim oborinama izrazito potcjenjene. Iz tog razloga možemo zaključiti da ovako dobiveni satelitski produkti nisu dovoljno precizni za analizu ekstremne količine oborine.

Također je, primjenom histograma, tablica kontingencije i dijagrama raspršenja, uočeno da se velike količine oborine izmjerene na kišomjernim postajama, u satelitskim produktima prikazuju kao znatno manje količine oborine. Istovremeno su male količine izmjerene oborine na satelitskim produktima prikazane u adekvatnim granicama. Stoga možemo zaključiti da se ovi satelitski produkti mogu upotrijebiti za grubu procjenu malih količina oborine, ali nije moguće raspoznati oborine većih intenziteta na istima.

Treba primijetiti da u ovim produktima nije upotrebljena korekcija vezana uz pojavu munja, što bi mogao biti glavni čimbenik pojave premalih intenziteta oborine prikazanih na CRR satelitskim produktima. S obzirom da ova korekcija povećava intenzitete oborine na mjestima gdje su munje opažene, upotreba ove korekcije mogla bi značajno popraviti i satne akumulirane oborine na satelitskim produktima.

Nadalje, s obzirom na to da je jadranska obala izrazito kompleksna, ispitana je i valjanost orografske korekcije. Analiza ovisnosti apsolutnih razlika količina oborine dobivenih mjerenjima i onih procjenjenih iz satelitskih produkata o nadmorskoj visini postaje na kojoj je količina oborine mjerena, pokazuje da se razlika u prosjeku povećava s nadmorskom visinom postaje. Iz toga možemo zaključiti da korekcija primjenjena u promatranim satelitskim produktima nije dovoljna te je potrebna dodatna korekcija vezana uz orografiju jadranske obale.

Ovaj rad je pokazao da se NWC SAF CRR satelitski oborinski produkti mogu koristiti za promatranje evolucije i gibanja oborinskih sustava, ali zbog potcjenjivanja velikih intenziteta oborine nisu adekvatni za procjenu stvarnih satnih i dnevnih akumulacija oborine, osim u slučaju grube procjene malih količina istih.

Za daljnji rad predlažem dodatne korekcije CRR satelitskih produkata koje bi uključile korekciju vezanu uz pojavu munja, detaljnu analizu orografske i korekcije paralakse te zamjenu postojećih korekcija novim koeficijentima, primjerenijima području jadranske obale. Nakon primjene novih koeficijenata za navedene korekcije zanimljivo bi bilo ispitati i u kojim sinoptičkim situacijama satelitski produkt najviše odstupa od izmjerenih podataka kako bi se dobiveni podaci o količini oborine iz satelitskih produkata mogli što bolje uklopiti u sustav kratkoročnih prognoza vremena.

## 5. Literatura

1. Jansa A. et al (2014), MEDEX: a general overview, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1965-1984
2. Claud C. et al (2012), A high resolution climatology of precipitation and deep convection over the Mediterranean region from operational satellite microwave data: development and application to the evaluation of model uncertainties, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 785-798
3. Kozarić T., Ivančan-Picek B. (2006), Meteorological features of extreme precipitation in the northern Adriatic, *Croatian Meteorological Journal*, 41, 53-67
4. Cindrić T., Kruženje vode u prirodi, S Interneta, <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/cindric/kruzenje.html>
5. Drobinski P. et al, HyMeX White Book, Version 1.3.2, February 2008, S Interneta, [http://www.hymex.org/public/documents/WB\\_1.3.2.pdf](http://www.hymex.org/public/documents/WB_1.3.2.pdf)
6. Drobinski, P. et al (2014), HYMEX, A 10-year multidisciplinary program on the Mediterranean water cycle. *Bulletin of the American Meteorological Society*, July, 1063-1082
7. Anonymus, European Space Agency, The geostationary orbit, S Interneta, [http://www.esa.int/Education/3. The\\_geostationary\\_orbit](http://www.esa.int/Education/3. The_geostationary_orbit)
8. Aminou, D.M.A. (2002), MSG's SEVIRI instrument, *ESA Bulletin*, 111, 15-17
9. Edward J. Hopkins (1996), Weather satellite image interpretation , S Interneta, <http://www.aos.wisc.edu/~hopkins/wx-doc/wxsating.htm>
10. Mamoudou B.B., Gruber A. (2000), GOES Multispectral Rainfall Algorithm (GMSRA), *Journal of Applied Meteorology*, 40, 1500-1514
11. Surussavadee C., Staelin D. H. (2009), Satellite Retrievals of Arctic and Equatorial Rain and Snowfall Rates Using Millimeter Wavelengths, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47, 3697-3707
12. Coordination group for meteorological satellites (2013), LRIT/HRIT Global Specification, S Interneta, [http://2014.cgms-info.org/documents/cgms-lrit-hrit-global-specification-\(v2-8-of-30-oct-2013\).pdf](http://2014.cgms-info.org/documents/cgms-lrit-hrit-global-specification-(v2-8-of-30-oct-2013).pdf)
13. Ferretti R. et al (2014), Overview of the first HyMeX Special Observation Period over Italy: Observations and model runs, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 1953-1977

14. Laviola S., Levizzani V. (2009), Observing precipitation by means of water vapor absorption lines: a first check of the retrieval capabilities of the 183-WSL rain retrieval method, *Italian Journal of Remote Sensing*, 41, 39-49
15. Anonymus, „Algorithm Theoretical Basis Document for „Convective Rainfall Rate“ (CRR-PGE05 v4.0), S Interneta,  
[http://www.nwcsaf.org/HTMLContributions/SUM/SAF-NWC-CDOP2-INM-SCI-ATBD-05\\_v4.0.pdf](http://www.nwcsaf.org/HTMLContributions/SUM/SAF-NWC-CDOP2-INM-SCI-ATBD-05_v4.0.pdf)
16. Ducrocq V. et al (2014), HyMeX-SOP1, The Field Campaign Dedicated to Heavy Precipitation and Flash Flooding in the Northwestern Mediterranean, *Bulletin of the American Meteorological Society*, July, 1083-1100
17. Glover D.M., Jenkins W., Doney S. C., (2011) *Modeling methods for marine science*, Cambridge University Press
18. Bowman K. P. ( 2004), Comparison of TRMM Precipitation Retrievals with Rain Gauge Data from Ocean Buoys, *Journal of Climate*, 18, 178-190
19. Sohn B. J. et al (2010), Validation of Satellite-Based High-Resolution Rainfall Products over the Korean Peninsula using Data from a Dense Rain Gauge Network, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 701-714
20. Chappell A. et al (2013), Evaluating geostatistical methods of blending satellite and gauge data to estimate real-time daily rainfall for Australia, *Journal of Hydrology*, 493, 105-114
21. Ivančan-Picek B. et al (2014), Forcing mechanisms of a heavy precipitation event in the southeastern Adriatic area, *Natural Hazards*, 72, 1231-1252
22. Liu M. et al (2015), Evaluation of high-resolution satellite rainfall products using rain gauge data over complex terrain in southwest China, *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 203-219
23. Grimes D.I.F., Pardo-Iguzquiza E., Bonifacio R. (1999), Optimal areal rainfall estimation using raingauges and satellite data, *Journal of Hydrology*, 222, 93-108
24. Hughes D.A. (2006), Comparison of satellite rainfall data with observations from gauging station networks, *Jornal of Hydrology*, 327, 399-410
25. Kanak J., (2011), Overview of the IR channels and their applications, S Interneta,  
<http://eumetrain.org/data/2/204/204.pdf>

## 6. Prilozi

Prilog 1: Popis SEVIRI kanala [25]

	Spektralni pojas	$\lambda_{cen} (\mu m)$	$\lambda_{min} (\mu m)$	$\lambda_{max} (\mu m)$	Predmet analize
1	VIS0.6	0.635	0.56	0.71	Površina, oblaci, polja vjetra
2	VIS0.8	0.81	0.74	0.88	Površina, oblaci, polja vjetra
3	NIR1.6	1.64	1.50	1.78	Površina, faza oblaka
4	IR3.9	3.90	3.48	4.36	Površina, oblaci, polja vjetra
5	WV6.2	6.25	5.35	7.15	Vodena para, visoki oblaci, analiza gornjeg sloja atmosfere
6	WV7.3	7.35	6.83	7.85	Vodena para, atmosferska nestabilnost, dinamika gornjeg sloja atmosfere
7	IR8.7	8.70	8.30	9.1	Površina, oblaci, atmosferska nestabilnost
8	IR9.7	9.66	9.38	9.94	Ozon
9	IR10.8	10.80	9.80	11.80	Površina, oblaci, polja vjetra, atmosferska nestabilnost
10	IR12.0	12.00	11.00	13.00	Površina, oblaci, polja vjetra, atmosferska nestabilnost
11	IR13.4	13.40	12.40	14.40	Visina cirusa, atmosferska nestabilnost
12	HRV	Širokopoljasni (0.4-1.1)			Površina, oblaci

## Prilog 2: CRR razredi

Intenziteti oborine dobiveni CRR algoritmom konvertirani su u jedan od razreda:

Razred	Intenzitet oborine (mm/h)
0	$I < 0,2$
1	$0,2 \leq I < 1$
2	$1 \leq I < 2$
3	$2 \leq I < 3$
4	$3 \leq I < 5$
5	$5 \leq I < 7$
6	$7 \leq I < 10$
7	$10 \leq I < 15$
8	$15 \leq I < 20$
9	$20 \leq I < 30$
10	$30 \leq I < 50$
11	$50 \leq I$