

# Primjena daljinskih istraživanja u mjerenju klimatskih veličina

---

**Tanković, Jana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:963996>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ZAVRŠNI RAD

# Primjena daljinskih istraživanja u mjeranju klimatskih veličina

Student: **Jana Tanković**

Mentor: **prof. dr. sc. Damir Bekić**

Zagreb, 2023.

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	5
<b>2. Tehnologija daljinskih istraživanja</b> .....	7
2.1.Senzori .....	10
2.2.Satelitske misije u daljinskim istraživanjima .....	13
<b>3. Mjerenje hidroloških veličina</b> .....	19
3.1.Mjerenje količina oborina .....	20
3.2.Mjerenje snježnog pokrivača .....	22
3.3.Mjerenje temperatura vode i mora .....	23
<b>4. Problemi tehnologije daljinskih istraživanja</b> .....	25
<b>5. Zaključak završnog rada</b> .....	27
<b>6. Literatura</b> .....	28

## **Primjena daljinskih istraživanja u mjerenju klimatskih veličina**

### **Sažetak:**

Tema ovog rada je primjene metoda daljinskih istraživanja u postupcima mjerenja klimatskih veličina. Prikazana je tehnologija mjerenja, satelitske misije kroz povijest i rezultati mjerenja klimatskih veličina. Prikazane su inovacije i princip rada senzorske tehnologije nužne za provođenje mjerenja te trenutne misije koje djeluju na geografskom području Europe. Dana je primjena rezultata daljinskim istraživanja u svim sferama djelatnosti, ali i njihove mane i negativni utjecaji.

Ključne riječi: daljinska istraživanja, klimatske veličine, satelitske misije, senzori

## **Application of remote sensing in measuring climate variables**

### **Summary:**

The subject of this paper is the application of remote sensing methods in the procedures for measuring climate variables. The measurement techniques, satellite missions throughout history and the results of the measurement of climate variables are presented. Innovations and the functioning of the sensor technology required to carry out measurements are presented, as well as the current missions operating in the geographical area of Europe. The application of the results of remote sensing in all fields of activity, as well as its shortcomings and negative effects, are presented.

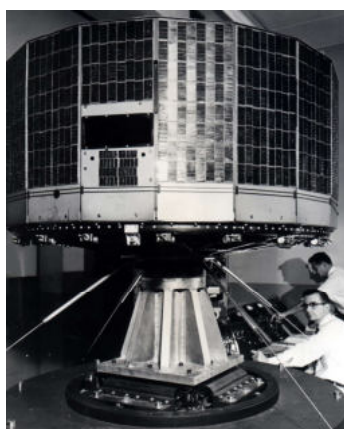
Key words: remote sensing, climate variables, satellite missions, sensors

**SLIKE**

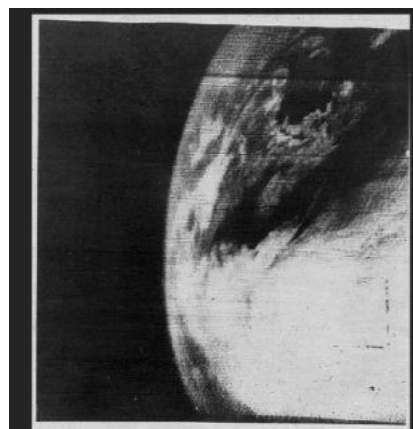
Slika 1. Fotografija replike satelita 'TIROS' [14] .....	5
Slika 2. Prva meteorološka slika Zemlje sa satelita 'TIROS' [14] .....	5
Slika 3. Prikaz drona 'Dragonfly' [9] .....	7
Slika 4. Fotografija UAV letjelice [8].....	7
Slika 5. Primjer fotografija Zemlje snimljene iz satelita u geostacionarnoj orbiti [12].....	8
Slika 6. Grafički prikaz kretanja satelita u niskoj, srednjoj i visokoj orbiti [12].....	9
Slika 7. Graf koji opisuje vezu postotka refleksije i valnu duljinu elektromagnetskih valova sa mjenom veličinom [10].....	10
Slika 8. Prikaz izgleda satelita 'Sputnik 1'[13] .....	13
Slika 9..Prikaz izgleda satelita 'Explorer 1' [13].....	13
Slika 10. Fotografija požara u Sjevernoj Americi sa satelita 'Aqua' [15] .....	14
Slika 11. Fotografija 'Zaljeva Morskih pasa' satelitom 'Terra' [16] .....	14
Slika 12. Fotografija ozonskog sloja satelitom 'Aura' (2013.)[17] .....	14
Slika 13. Fotografija oluje 'Joaquin' putem satelita 'CloudSat' instrumentom ATLAS (2015.) [18].....	15
Slika 14. Profil ledenjaka A-76 generiran mjerenjima sa satelita 'ICESat-2' instrumentom ATLAS [19].....	15
Slika 15. Grafički prikaz orbita sustava satelita 'Sentinel'[21].....	17
Slika 16. Fotografija Međunarodne Svemirske postaje[25].....	18
Slika 17. Grafički prikaz trodimenzionalnog prostora za potrebe klimatskog modela[26]...19	19
Slika 18. Fotografija obilnih oborina iznad Slovenije i Hrvatske, slikano pomoću satelita MSG (2023.)[30].....	20
Slika 19. Mjerenje energetske aktivnosti, Maracaibo ,TRMM (2012.) [31].....	21
Slika 20.Mjerenje količine oborina, Filipini(2014.)[31].....	21
Slika 21. 3D profil padalina nastalih zbog uragana 'Sandy' u SAD-u (2012.)[31].....	22
Slika 22. Fotografija Gorskog kotara 17. 7.2020. [32] .....	22
Slika 23. Fotografija Gorskog kotara 17. 2.2020. [32] .....	22
Slika 24. Mapa temperatura vode i mora, generirana mjerenjima sa satelita 'Aqua' [15] ....	23
Slika 24. Mapa temperatura mora i kopna Istre i dijela Kvarnera ,MODIS[32].....	24
Slika 25. Grafički prikaz umjetnih satelita u Zemljinim orbitama [12].....	25

## 1. Uvod

U ovom radu bavit ćemo se primjenom daljinskih istraživanja u svrhu mjerenja klimatskih veličina. Bilo da se radilo o sustavnom predviđanju izvanrednih prirodnih događaja, unaprjeđenju sustava odvodnje, prognoziranju oborina i kreiranju specifičnih podloga za izgradnju građevina ili o praćenju klimatskih promjena, prijeko nam je potrebna sustavno mjerenja i praćenje klimatskih veličina. Klimatske veličine su izravni utjecaji klimatskih elemenata koji su određeni cirkulacijom atmosfere kao što su: Sunčeva radijacija, naoblaka, insolacija, vlaga zraka, evaporacija, smjer i brzina vjetra, padaline, temperatura i snježni pokrivač. Tijekom povijesti ljudskog stvaralaštva javila se potreba da brojnim vrstama mjerenja čovjek opiše prirodu oko sebe u svrhu daljnjeg razvitka i prilagodbe. U Indiji su pronađeni spisi u kojima je zabilježeno promatranje oblaka i mjerenje sezonskih ciklusa tri tisuće godina prije Krista. Dok je početak meteorologije bio u Antičkoj Grčkoj, gdje je ona i dobila ime po grčkoj riječi 'meteoros' što znači 'ono u nebesima'. Prva sustavna mjerenja klimatskih veličina 'in-situ' metodama se počinju provoditi u Ujedinjenom Kraljevstvu početkom sedamnaestog stoljeća, potaknuta brojnim izumima mjernih instrumenata. Kroz rast i razvoj tehnologije, načini prikupljanja mjerenja 'in-situ' metodama postali su kompleksniji, precizniji i mnogo pouzdaniji nego tad. No to i dalje ne zadovoljava trenutne potrebe za potpunim praćenjem klimatskih, hidroloških, geoloških i ostalih vrijednosti koje nam služe za potpuni opis, praćenje i predviđanje procesa na našoj planeti. Nedostaci tradicionalnih 'In-situ' metoda mjerenja su visoka cijena i intenzitet rada potreban da se ona provedu i rezultati analiziraju, dugačko vrijeme trajanja prikupljanja mjerenja, mogućnost ljudske pogreške prilikom mjerenja, nemogućnost zahvaćanja velikog područja, nepristupačnost terena ili mjesta odvijanja mjerenja, te brojna druga. NASA ('National Aeronautics and Space Administration') 1960-ih počinje sa misijom 'TIROS', serijom satelita u nižoj orbiti Zemlje, čija je zadaća bila ustanoviti satelitsku primjenu u proučavanju Zemlje i efikasnije prikupljanje informacija. Bio je opremljen sa dvije Vidkon TV kamere, jednom širokog, a drugom uskog kuta snimanja i uspješno je snimio velike dijelove Zemljine površine omogućujući prognostičarima da prvi put vide velike značajke vremenskih sustava našeg planeta. Ta misija je započela revoluciju prikupljanja informacija, te smo uz razvitak daljinskih istraživanja i računalnih modela pokušali nadopuniti rezultate 'in-situ' istraživanja i stvoriti pouzdano praćenje prirodnih pojava.



Slika 1. Fotografija replike satelita 'TIROS' [14]



Slika 2. Prva meteorološka slika Zemlje sa satelita 'TIROS' [14]

Od kraja 2022. godine po pretpostavkama UNOOSA ('United Nations Office for Outer Space Affairs' ) oko naše planete kruži više od 8,261 aktivnih i neaktivnih satelita različitih namjena ,koji služe za komunikacijske svrhe, istraživanja, navigacije ,promatranja Zemlje ,razvoju tehnologije ,vojne svrhe itd.

Daljinska istraživanja su po definiciji metode prikupljanja informacija o nekom objektu ili fenomenu ,pomoću uređaja za snimanje ili istraživanje u realnom vremenu koji je bežičan ili nije u fizičkom ili bliskom kontaktu sa objektom. Daljinska istraživanja se danas provode aero snimanjima letjelicama ili satelitskim snimanjima. Daju nam mogućnost zahvaćanja velikog područja, sustavnog mjerenja nakon određenog vremenskog perioda, eliminaciju ljudske pogreške kod mjerenja i pristup nepristupačnom području. Iako je oprema i samo izvođenje znatnog troška proizvodnje i održavanja ,utjecaj koji ima na globalni rast, razvitak tehnologije i zaštitu našeg planeta je neizmjeran.

Klimatske veličine se putem daljinskih istraživanja mjere od samog početka provedbe daljinskih istraživanja ,te je njihovo sustavno mjerenje na velikim područjima bilo i sam cilj mnogih misija. Od kad imamo pristup tim informacijama ,imamo pouzdane vremenske prognoze, nadziremo kvalitetu vode i zraka u atmosferi, sustavno pratimo zračenje Sunaca i općenito znamo mnogo više o planeti na kojoj živimo. Primjena daljinskih istraživanja nalazi se u brojnim znanostima i djelatnostima. Koristi se u poljoprivredi za praćenje rasprostranjenosti biljnih vrsta, praćenje osobina tla poput vlažnosti i mineralnog sastava ,te identificirati štetočine i nadzor količine zdrave vegetacije putem normaliziranog indeksa vegetacijske razlike (NDVI- ' Normalized Difference Vegetation Indeks'). Poljoprivreda i uzgoj hrane su primarne djelatnosti koje su radi porasta populacije morale prihvatiti inovacije i tehnologiju kako bi vremenski i količinski mogle zadovoljiti svjetske potrebe. Jedna od inovacija su bile bespilotne letjelice za nadzor ,ali i sadnju i prikupljanje uzgoja. Također mjerenja daljinskim istraživanjima našla su primjenu u praćenju klimatskih promjena izazvanim globalnim zatopljenjem poput praćenja zalihe šuma, stalnih usporedba trenutnih mjerenja klimatskih faktora i fotografija Zemlje i njene vegetacije sa onima iz prošlosti ,te praćenju podizanja razine mora i kvalitete zraka u atmosferi. Svoju primjenu su našla i u analizi razvoja i ekonomskog statusa društva ,prateći broj automobila , bilježeći svjetlosne aktivnosti na zemljinoj površini i položaje asfaltiranih cesta kako bi globalno stvorili sliku o raspodijeljenosti svjetskog bogatstva. Ta ,možda neočekivana funkcija ,ima mnoge primjene u sociološkoj i ekonomskoj analizi društva ,a time i tržišta. Isto tako prate globalne katastrofe ili predviđaju gdje i kako bi se one mogle dogoditi prateći vulkansku aktivnost, moguću pojavu velikog vala i time poplava, pojavu tornada, praćenju štete nakon jednog od takvih događaja ,praćenje požara i mnogih drugih izvanrednih situacija. Kako su se zbog naglih klimatskih promjena u dvadeset i prvom stoljeću takvi događaji postali puno češći ,ovakav oblik nadzora daje nam prednost u pravovremenoj reakciji ,evakuaciji i saniranju posljedica. Tema daljinskih istraživanja u naslovima prirodnih znanosti 2022. godine našla se čak više od deset tisuća puta prema bazi podataka 'Journal Citation Reports' ,te je njezin faktor utjecaja časopisa ('Journal impact factor') 13.85. Daljinska istraživanja se i dalje razvijaju te imaju mnogo potencijala primjene u raznim djelatnostima ljudskog djelovanja kako bi nam pomogla se prilagoditi prirodnim promjenama i izazovima koje nosi rast ljudske populacije.

## 2. Tehnologija daljinskih istraživanja

Tehnologija daljinskih istraživanja je izuzetno složena zbog svoje udaljenosti od kontrolne baze, nepristupačnog terena i velikih područja koje zahvaća mjerenje. Daljinska istraživanja se provode sa težnjom sve veće neovisnosti tehnologije koja provodi mjerenja i radne snage koja njom upravlja. Zbog visoke cijene uređaja, letjelica i misija, većina tehnologije je višenamjenska, a misije imaju razne zadaće. Kada se definiraju potrebe za daljnjim razvitkom i informacije koje su nam za to potrebne, definira se i zadaća misije, te potrebna oprema kako bi se ona ostvarila. Kao što je već navedeno daljinska istraživanja se provode ponajviše aero snimanjima letjelicama ili satelitskim snimkama.

Jedan od najzastupljenijih tipova letjelica su dronovi, tj UAV ('Unmanned aerial vehicle') koji su letjelice bez pilota ili putnika u samoj letjelici i u njenoj neposrednoj blizini, upravljani iz daljine. Razvijene su u vojne svrhe nakon Drugog Svjetskog rata. Danas imaju doseg i do 670 kilometara, te imaju razne razine neovisnosti od samog pilota ili baze. Izrađuju se u raznim oblicima, sa različitim tehnologijama koje omogućuju nesmetan let s obzirom na uvijete leta i njegove zadaće. S obzirom na potrebe misije opremaju se s potrebnim sensorima i opremom. Rapidnim razvojem takvih letjelica u komercijalne svrhe dolazi potreba za regulacijom i ograničenjem područja gdje je letenje dozvoljeno. U Republici Hrvatskoj let dronom težim od 25 kilograma nije dozvoljeno, te se mora izbjegavati let iznad ljudi ako je dron teži od 250 grama. Dronovi, osim u vojne svrhe, imaju široku primjenu u komunikacijskim, zabavnim i znanstvenim svrhama. NASA 2023. godine planira misiju drona pod imenom 'Dragonfly' koji će istraživati prirodna svojstva i izvanzemaljsku nastanjivost površine Titana, Saturnovog najvećeg mjeseca.



Slika 3. Prikaz drona 'Dragonfly' [9]



Slika 4. Fotografija UAV letjelice [8]

Satelitska snimanja se provode isto tako u razne svrhe s raznovrsnom tehnologijom. Misija počinje lansiranjem satelita u svemir raketom nosačem ili raketo planom i pozicioniranjem istog u željenu orbitu. Trajanje misije je obično između pet do petnaest godina i ovisi o količini zalihe goriva koje je potrebno da korigira njegovu putanju u orbiti. Makar mu za samo kretanje nije potreban pogonski sustav, zbog trošenja radi svemirske prašine i nakupljanja statičkog elektriciteta postoji mogućnost izlaska iz orbite što se onda ispravlja pogonskim sustavom. Zabilježen je satelit Landsat-5 kao satelit s najdužom misijom od čak 29 godina i 3 mjeseca. Satelit se sastoji od mehaničke konstrukcije, upravljačkog sustava, sustava za komunikaciju sa bazom na Zemlji, sustava za orijentaciju, senzora za daljinska istraživanja, sustava za



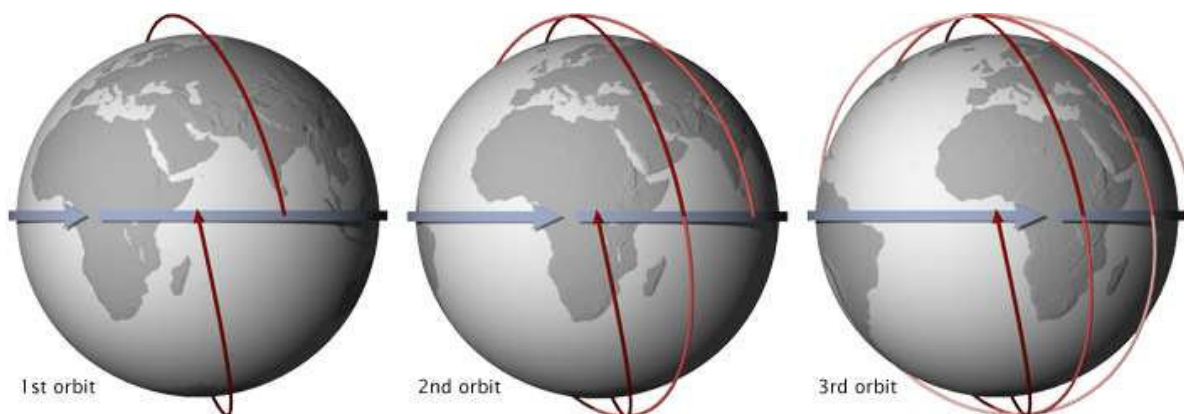
orijentaciju i za termoregulaciju. Najčešći materijali koji se koriste u izradi samog korpusa satelita su aluminij i njegove legure poput AA6061 koja u sebi sadrži magnezij i silicij ,zbog širokog područja primjene, zavarljivosti, dobrih osobina pri pritisku i dostupnosti. Materijal idealnih mehaničkih osobina za izradu bi bio titan ,no zbog samog volumena satelita i njegove cijene ,te nedostupnosti njegova primjena nije moguća. Manje komponente se rade još i od polimida ojačanim karbonskim vlaknima. Nemilosrdni uvjeti u svemiru poput visokog stupnja radijacije, bestežinskog stanja, ekstremnih temperatura, iznimne razlike ju pritisku i svemirske prašine uvjetuju kompleksnu izradu i visoke zahtjeve od samih materijala. Sustav napajanja je specifičan za potrebe i trajanje misije ,a može biti na baterije, solarne ćelije i nuklearne reaktore. Potreban je za napajanje elektroničkih uređaja i termoregulaciju kako bi zaštitio opremu od surove okoline ,koja se još i sastoji od dobre izolacije i reflektirajućih vanjskih površina.

Razlikujemo tri razreda umjetnih satelita s obzirom na orbitu u kojoj se nalaze: oni u niskoj orbiti (160 do 2000km iznad Zemljine površine) ,oni u srednjoj orbiti (2000 do 35,500km iznad Zemljine površine) i oni u visokoj orbiti (iznad 35,500km od Zemljine površine). Visoka orbita je još i geosinkrona orbita (GSO) ,tj. period ophoda visoko-orbitnog satelita jednak periodu rotacije Zemlje oko svoje osi. Ako je satelit pozicioniran u visokoj orbiti i giba se geosinkrono ,te pod inklinacijom orbite od  $0^\circ$  činit će se da miruje iznad određene točke na ekvatoru. Takav satelit je u geostacionarnoj orbiti (GEO) i ta pozicija je izrazito povoljna jer se period poklapa sa Zemljinim sideričkim danom koji iznosi 23 sata 56 minuta i 4 sekunde. Tamo je najpovoljniji prostor za meteorološke i komunikacijske satelite, poput GOES ('Geostationary Operational Environmental Satellite') koji svih par minuta prikuplja slike oblaka, vjetra i pare koje se onda koriste za meteorološke svrhe ,a zbog svoje pozicije se koristi i u izvanrednim slučajevima ,potragama brodova i akcijama spašavanja.



*Slika 5. Primjer fotografija Zemlje snimljene iz satelita u geostacionarnoj orbiti (producirane od strane Marit Jentoft-Nilsen and Robert Simmon putem instrumenta MODIS)[12]*

Visina orbite određuje i brzinu kruženja satelita oko Zemlje koja je definirana Zemljinom gravitacijom. Što je niža orbita jača je gravitacija ,i satelit će se gibati brže zbog jačeg utjecaja gravitacije. Srednja orbita satelitima pridodaje period od 12 sati i time dva puta u danu prijeđu pol ,što im daje dobru poziciju za navigacijske satelite poput satelita GPS-a ('Global Positioning system'). Sateliti najniže orbite imaju period od samo 90 minuta i time mnogo različitih funkcija. Ovdje se nalaze mnogi sateliti raznih organizacija koji nadgledaju određene životinjske i biljne vrste ,nadziru zaštićena područja ,prate klimatske promjene ,npr. Satelit TRMM-a ('Tropical Rainfall Measuring Mission') koji mjeri količinu padalina u područjima tropskih kišnih šuma.

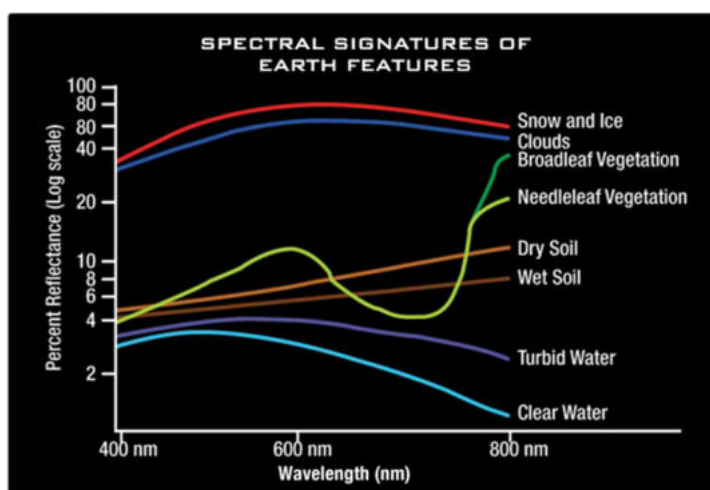


*Slika 6. Grafički prikaz kretanja satelita u niskoj, srednjoj i visokoj orbiti [12]*

Sateliti vrše mjerenja sensorima ,te njihova vrsta ovisi o faktoru mjerenja ,udaljenosti od same površine i obliku željenog mjernog zapisa. Nakon prikupljanja potrebnih mjerenja ,satelit šalje mjerenja zajedno sa informacijama o stanju satelita i njegovoj poziciji u bazu na Zemljinoj površini gdje su one obrađene. Sa samim mjerenjima, snimkama iz svemira i ostalim prikupljenim informacijama se provode istraživanja ,te se s određene koriste za izradu komercijalnih i znanstvenih softvera putem kojih su te informacije primjenjive na ostale sfere ljudskog djelovanja. To su grafički softveri koji mogu detektirati lokaciju mjerenje, uočiti promjenu u mjerenjima iz različitih razdoblja ,analizirati dio nevidljivog elektromagnetskog spektra u kojemu su mjerenja provedena i čitanje specijalnih formata podataka.

## 2.1. Senzori

Sateliti ili letjelice mjere veličine i prikupljaju informacije sensorima. Senzor ili pretvornik je mjerno osjetilo koje je dio mjernog sustava i u dodiru s mjernom fizikalnom veličinom, te nam daje povratnu informaciju. Senzori mogu biti aktivni ili pasivni. Pasivni senzori koriste prirodnu energiju Sunca kao izvor osvjetljenja, kako bi mjerili energiju koja se odbija, dok aktivni senzori daju vlastiti izvor osvjetljenja. Sve različite tvari na Zemljinoj površini imaju svoj vlastiti oblik zračenja na elektromagnetnom spektru koje upijaju, reflektiraju i prenose, tj. specifičnu frekvenciju i valnu duljinu zračenja. Ovisno o klimatskoj veličini koja se mjeri, senzor će emitirati valove tog dijela elektromagnetskog spektra, npr. mikrovalovi imaju mogućnost prolaska kroz oblake čime su idealni za meteorološke ili komunikacijske satelite, te infracrvene valove koji detektiraju toplinu. Valovi će se reflektirati ili apsorbirati, te kad senzor izmjeri energiju koja se odbila, izmjerio je i komponentu atmosfere.



Slika 7. Graf koji opisuje vezu postotka refleksije i valnu duljinu elektromagnetskih valova sa mjerenom veličinom [10]

Pasivni senzori, u daljinskim istraživanjima, obično funkcioniraju u vidljivom, infracrvenom, termalnom i mikro valovnom dijelu spektra kako bi mjerili Zemljinu površinu, vegetaciju, oblake, maglu, visinu mora i kvalitete zraka. Najčešće su to radiometri (uređaj koji mjeri isijavanje elektromagnetnog zračenja) ili spektrometri (uređaj koji direktno snimanjem elektromagnetskog spektra mjeri intenzitet zračenja), no postoje još i akcelerometri i sonde.

Jednostavni termalni radiometri su uređaji kojima se mogu mjeriti razni dijelovi elektromagnetnog spektra tako da prepoznaju valove dijela spektra kojeg mjere i materijal od kojega su napravljeni ih apsorbira, te se onda radiometar počne zagrijavati pa detektira promjenu temperature. Postoje mnoge varijacije ovih uređaja s obzirom na dio spektra koji mjere i na dizajn samog uređaja. Neki mjere ekspanziju materijala radiometra i pritisak, neki mehanički rad koji nastaje djelovanjem radijacije, a neki električnu energiju koju generira radiometar pri detekciji radijacije.

Spektrometar je uređaj kojim se mjeri intenzitet zračenja elektronskim detektorom, a njihov način rada ovisi o stupnju složenosti izvedbe samog uređaja. Dije se na dio spektra koji se

njima promatra poput optičkog, infracrvenog ,ultraljubičastog ,rendgenskog i gama spektrometra. Njime se najviše provode istraživanja na atomskoj razini poput otkrivanja svojstva plinova i atomskih veza.

Akcelerometar ili mjerač ubrzanja je uređaju koji mjeri promijene ubrzanja tijela po jedinici vremena. Upotrebljava se i za ispitivanje vibracija, udaraca i slične svrhe jer se u suštini sastoji od tijela određene tromosti koje je pričvršćeno elastičnim vezama.

Sonda ili visak je u tradicionalnim mjerenjima bio uređaj za mjerenje dubine vode ,no kad govorimo o sondi u daljinskim istraživanjima govorimo o radio sondi tj. uređaju koji služi za određivanje temperature, vlažnosti i tlaka zraka na velikim udaljenostima. Ponekad mjeri i postotak onečišćenosti zraka i ozonski sloj.

Aktivni senzori većinom funkcioniraju u dijelu spektra mikrovalova kako bi mogli prodrijeti i mjeriti topografiju morske površine ,debljinu leda ,sastav šuma ,Zemljane slojeve i tome slično. Obično kad govorimo o aktivnim sensorima, govorimo o radio detektorima i radarima (uređajima za određivanje dometa) ,te altimetrima (uređajima za mjerenje visine) i difuziometrima (uređajima za mjerenje vjetra). Najbolji primjer aktivnog senzora je LiDAR ('Light Detection and Ranging') koji koristi svjetlosnu energiju lasera i mjeri vrijeme njenog odbijanja i povratka. On je optička paralela radaru ,koji koristi energiju lasera koji je vidljivi dio elektromagnetskog spektra.

Radio detektori omogućuju satelitima da primaju i šalju radio signale koji im omogućuju komunikaciju sa bazom na Zemlji, komunikaciju sa drugim satelitima i navigaciju kroz svemir. Obično funkcioniraju a standardnim frekvencijama između 300 MHz i 50 GHz.

Radar ('Radio Detection and Ranging') je uređaj koji mjeri udaljenost odašiljući elektromagnetske valove i mjereći vrijeme potrebno da emitiran val se reflektira o njegov cilj i vrati nazad do radara. Njegov način rada mu omogućuje detektiranje cilja uz lošu vidljivost. U daljinskim istraživanjima najveće značenje ima meteorološki radar koji pozicionira oborine i oblaka, njihovo gibanje i promjene ,te daje opis zbivanja u atmosferi. Neki od radara u meteorologiji rade i na principu Dopplerovog efekta mjereći brzine čestica koje se gibaju u odnosu na radar.

Altimetar ili visinomjer služi za mjerenje visine u odnosu na neku referentnu točku. Poput radara ,mjere vrijeme za koje se emitirani val reflektirao i vratio do uređaja. Razlikuju se s obzirom na poziciju vala na elektromagnetskom spektru ,pa prepoznamo radar visinomjere, LiDAR visinomjere i one koji rade na frekvenciji vidljivog spektra.

S obzirom na zadaću misije ,pomno su izabrani senzori koji će nam dati tražene informacije i provesti mjerenja. Nekad se postavlja više različitih satelita iste zadaće ,ali različite tehnologije kako bi se upotpunila mjerenja i dobili poboljšani rezultati. Navest ćemo neke od najuspješnijih senzora za mjerenje klimatskih veličina.

AMSR-E ('Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS') je pasivni radiometar s dvanaest kanala i šest frekvencija napravljen tako da prati ciklus kruženja vode na Zemlji. Senzor takve vrste je postavljen na satelit 'Aqua' koji je lansirala NASA 2002. godine. Mjerio je padaline poput kiše ili snijega, isparavanje vode ,vjetar na površini mora ,zamrzavanje površine vode ,temperaturu vode ,vlažnost tla i promijene u ledu na Zemljinoj površini.

AMSU-A ('Advanced Microwave Souding Unit') je mikrovalna sonda sa petnaest kanala koja ima sposobnost troposferskog temperaturnog promatranja i prikupljanja informacija o temperaturama iz gornjeg dijela atmosfere. Također je takav senzor postavljen na satelitu 'Aqua' ,te se još proizvodi i u raznim varijacijama ,od kojih neke mjere temperaturu plinova i vodene pare.

DDMI ('Delay Doppler Mapping Instrument') je instrument koji se sastoji od prijammika 'Globalnog položajnog sustava' (GPS) sa raznim procesorima koji primaju refleksije, prijemnika za praćenje kašnjenja (DMR), tri nisko-šumna pojačala (LNA), jedne desno cirkularno polarizirane navigacijske antene okrenute prema zenitu i dvije lijeve cirkularno polarizirane okrenute znanstvene antene. Nalazi se na devet različitih satelita CYGNSS-a ('Cyclone Global Navigation Satellite System') i prihvaćaju signale s četiri glavna GPS satelita koji su prije toga bili reflektirani sa Zemljine površine. Ovim signalima se mjeri brzina vjetra posebno iznad oceana i predviđaju tropske ciklone.

PR ('Precipitation Radar') je izum japanske agencije JAXA ('Japan Aerospace Exploration Agency') i bio je prvi instrument za daljinska istraživanja iz svemira koji je davao trodimenzionalne karte oluja. Takav radar je postavljen i na satelit misije TRMM (' Tropical Rainfall Measuring Mission') koja proučava padaline u tropskim regijama i razvija tad novu tehnologiju obrade informacija kako bi poboljšala prijam signala tijekom velikih padalina specifičnih za to područje. PR može detektirati veliki raspon padalina ,čak i one do 0.68 milimetara po satu.

Nakon njegovog izuma proizveden je i DPR ('Dual-frequency Precipitation Radar') koji se sastoji od Ku-band radara oborina (KuPR) i Ka-band radara oborina (KaPR) . Služi za veoma precizno mjerenje oborina i snježnog pokrivača iznad tla i oceana. Takvi radari postavljeni su na satelitima misije 'Globalno mjerenje oborina' ili GPM(' Global Precipitation Measurement') koji su napravljeni u zajedničkoj suradnji japanske agencije JAXA ('Japan Aerospace Exploration Agency') i američke agencije NASA.

GMI('Global Precipitation Measurement Microwave Imager') je mikrovalni radiometar s trinaest kanala koji detektira različite frekvencije mikrovalova emitiranih od strane padalina ,te stvara 3D profile tih padalina. Po kanalima razlikuje različite jačine padalina kako bi zabilježio sve tipove padalina. Prvih pet kanala detektira jake i srednje kiše, idućih četiri led unutar oblaka ,te posljednja četiri snježni pokrivač i isparavanje vode. Također je postavljen na satelitima misije 'Globalno mjerenje oborina' ili GPM(' Global Precipitation Measurement') koji su napravljeni u zajedničkoj suradnji japanske agencije JAXA i američke agencije NASA.

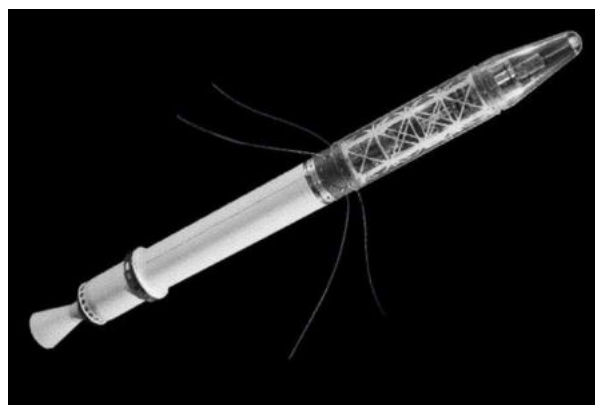
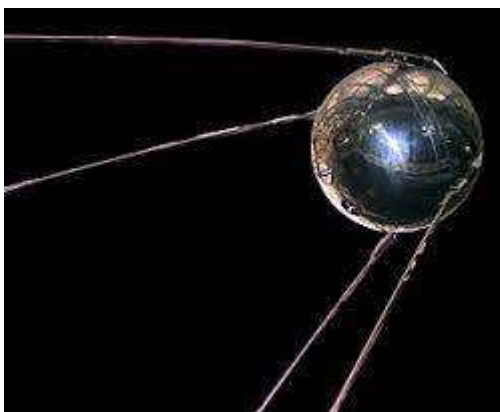
MAS ('MODIS Airborne Simulator') je skenirajući spektrometar koji mjeri reflektiranu solarnu i emitiranu termalnu radijaciju. Ima pedeset kanala i jako dobru rezoluciju ,čime nam daje brojne informacije o raznim geofizičkim i atmosferskim parametrima. Najveća namjena mu je upravo u daljinskim istraživanjima oblaka ,vode .tla i vegetacije unutar okolnostima dobra vidljivosti.

SLSTR ('Sea and Land Surface Temperature Radiometer') je radiometar koji mjeri temperaturu površine tla i površine mora za klimatsku bazu podataka ,sa odstupanjem od najviše 0.3 Kelvina. Takav radiometar se nalazi na satelitu Sentinel-3 Europske svemirske agencije.

## 2.2 Satelitske misije u daljinskim istraživanjima

U Zemljinoj orbiti kruži mnogo satelita raznih zadaća i funkcija poput navigacije, komunikacije, vojne potrebe i za potrebe daljinskih istraživanja. Trenutno u svijetu postoji veliki trend istraživanja svemira raznim metodama ,kao i raznih planeta u njemu. Isto tako mnoge organizacije ulažu u turističke letove u svemir i komercijalne satelite. To sve pridonosi povećanju količine popularno zvanog 'svemirskog smeča' tj. nefunkcionalnih i odbačenih satelitskih letjelica i opreme koja leti u Zemljinoj orbiti i stvara prijetnju trenutnim misijama. Za naše svakodnevne živote su najvažniji sateliti zaslužni za daljinska istraživanja klimatskih, atmosferskih ,hidrografskih i bioloških faktora na Zemlji.

Prvi umjetni satelit u Zemljinoj orbiti je bio lansiran tijekom Hladnog rata od strane SSSR-a pod imenom 'Sputnik-1'. Njegova misija je bila postaviti prvi radio odašiljač u svemir i prikazati Sovjetski Savez kao najveću svjetsku silu. 'Sputnik-1' bio je lansiran 4. listopada 1957. godine i ,iako kratkog životnog vijeka od samo tri mjeseca, otvorio je vrata čovječanstvu u svemir. Nedugo nakon lansiran je i 'Sputnik-2' sa prvim živim bičem u svemiru. 'Explorer 1' lansiran je 1958. godine i bio je prvi satelit Ujedinjenih Država. Imao je mnogo uspjeha u svojoj misiji i potvrdio je postojanje 'Van Alenovih pojaseva' ,te izmjerio utjecaje kozmičke prašine.



*Slika 8. Prikaz izgleda satelita 'Sputnik 1'[13]    Slika 9..Prikaz izgleda satelita 'Explorer 1' [13]*

Prvi satelit čija misija je bila daljinska istraživanja Zemlje lansiran je 1960. godine pod imenom 'TIROS-1' ,a lansirala ga je tad već oformljena NASA. 'TIROS'(Television InfraRed Observation Satellite) bio je opremljen sa dvije Vidkon televizijske kamere. Jedna kamera je bila sa širokom lećom koja je mogla gledati prostor širine 1300km ,dok je druga bila sa teleobjektivom koji je imao mogućnost uvećanja za deset puta. Kako bi se stabilizirao u orbiti okretao se oko svoje osi 136 puta u minuti ,a kako bi proveo slikanje morao se usporiti na 12 okretaja po minuti. Osim prve slike Zemlje iz svemira ,uključujući oblake i ostale vremenske pojave ,dokazao nam je ogromnu potrebu i primjenu za daljinskim istraživanjima iz svemira. Nakon njega je slijedila serija od deset satelita pod istim imenom koji su unaprijedili meteorologiju i predviđanje vremena na Zemlji , kao i dopremili nam nova saznanja o klimatskim pojavama i istraživanju Zemlje iz svemira. Također je utjecao na mnoge druge projekte svojim dizajnom i tehnologijom zbog svojeg uspjeha.

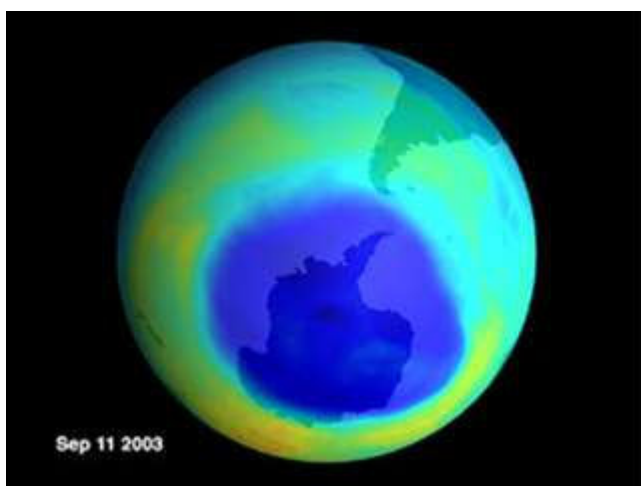
Nakon tog projekta NASA je razvila program 'Earth Observing System' (EOS) koji se sastoji oko 30 satelita u 2023. godini. Taj broj se konstantno mijenja kako se lansiraju nove misije ,a stare privode kraju. Misija cijelog programa je sustavno i dugotrajno praćenje Zemljine biosfere, atmosfere i oceana. Tri najduže misije u programu su sateliti 'Aqua', 'Terra' i 'Aura'. 'Aqua' je lansiran 2002. godine , i kao što mu i samo ime kaže , prikuplja informacije vezane za sve komponente kruženja vode u prirodi. Uz to prikuplja i informacije o fitoplanktonu u oceanima, vegetaciji, otopljenim organskim tvarima u vodama na Zemljinoj površini, aerosolima i mnoge druge. Opremljen je sa šest senzora : AIRS, AMSR-E, AMSU-A, CERES, HSB i MODIS senzorom. 'Terra' je lansiran 1999. godine i sa svojih pet senzora snima atmosferu, tlo, oceane ,snježni pokrivač i led na zemljinoj površini. Opremljen je sa : ASTER, CERES, MISR, MODIS i MOPITT senzorom. 'Aura' je lansiran 2004. godine i mjeri ponašanje Zemljine atmosfere, ozonski sloj i kvalitetu zraka. Njegovo djelovanje je usko vezano za praćenje klimatskih promjena i utjecaja čovjekovog razvoja na planetu Zemlju. Opremljen je sa HIRDLS, MLS, OMI i TES senzorima.



*Slika 10. Fotografija požara u Sjevernoj Americi sa satelita 'Aqua' [15]*

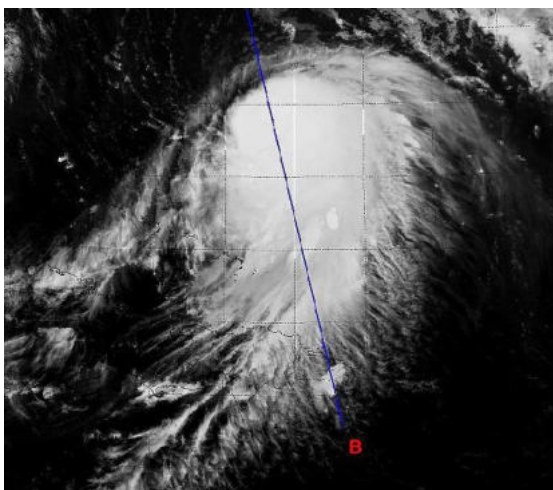


*Slika 11. Fotografija 'Zaljeva Morskih pasa' satelitom 'Terra' [16]*

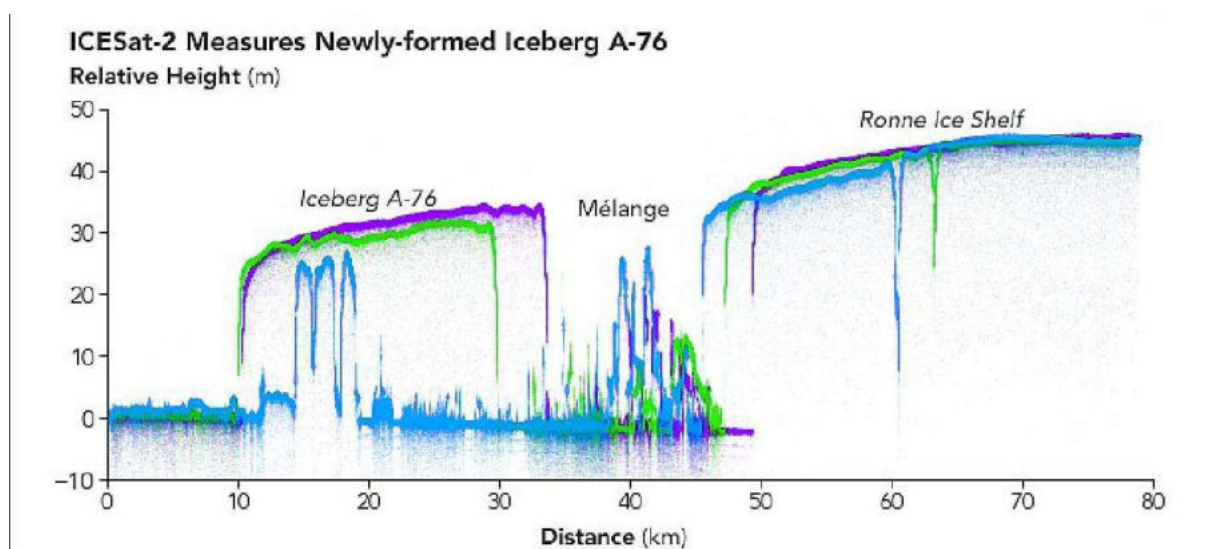


*Slika 12. Fotografija ozonskog sloja satelitom 'Aura' (2013.) [17]*

No 2022. godine NASA objavljuje da se njihove misije bliže uskoro kraju ,te daju veću važnost nešto 'mlađim' misijama poput 'CloudSat' i 'ICESat-2'. 'CloudSat' ,lansiran 2007. godine ,prvi mjeri vertikalnu strukturu oblaka s njihovim sastavom od vode i leda. Također mjeri i preklapanje sistema oblaka ,a te sve informacije nam pomažu u kreiranju pouzdanog klimatskog modela i što točnijih meteoroloških prognoza i predviđanja klimatskih promjena. Opremljen je radarom za izradu profila oblaka(CPR-'Cloud profiling radar'). 'ICESat-2' ili 'Ice ,Cloud and Land Evaluation Satellite' ,lansiran 2018. godine, mjeri promijene u volumenu ledenjaka ,te kako njihovo topljenje utječe na razinu površine oceana ,visine na kojima se nalaze oblaci i aerosoli ,te visinu vegetacije kako bi saznali promijene u biomasi. Opremljen je za ta mjerenja sensorima GPSP i ATLAS.



Slika 13. Fotografija oluje Joaquin putem satelita 'CloudSat' instrumentom ATLAS (2015.) [18]



Slika 14. Profil ledenjaka A-76 generiran mjerenjima sa satelita 'ICESat-2' instrumentom ATLAS [19]



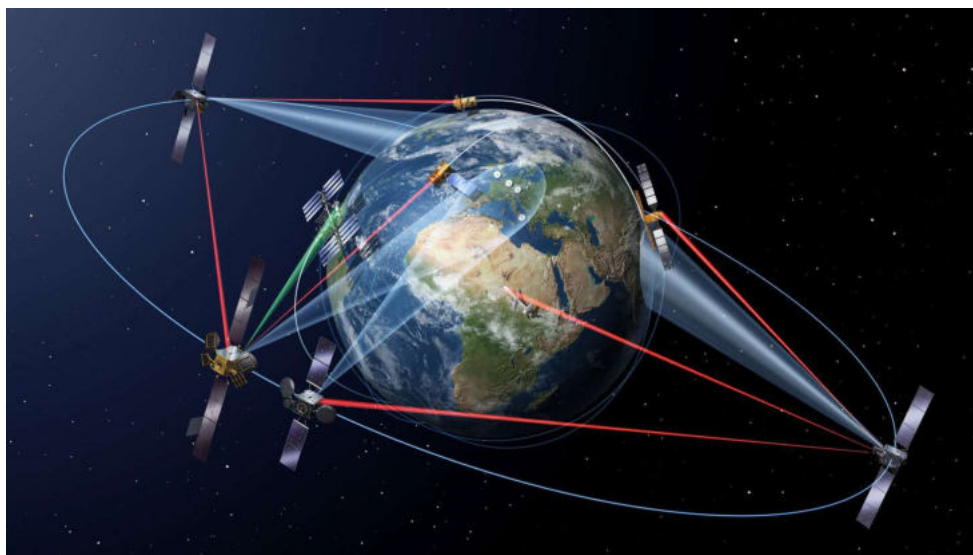
Nacionalna uprava za oceane i atmosferu (NOAA –'National oceanic and atmospheric administration') je agencija Sjedinjenih Američkih Država koja se bavi istraživanjem i zaštitom prirodnih resursa od ljudskog djelovanja. NOAA upravlja i posjeduje 2023. godine s jedanaest satelita ,od kojih su pet geostacionarni sateliti serije 'GOES', pet u polarnoj orbiti serije 'NOAA' i jedan u dubokom svemiru 'DISCOVER'. Uz njih upravlja još nekima u koje pripada satelit 'Suomi NPP' vlasništva organizacije NASA i 'Jason-3' kojeg posjeduje francuska svemirska agencija CNES ('Centre national d'études spatiales'). Iz njihove flote ,moramo izdvojiti seriju 'JPSS' ('Joint Polar Satellite System') koja se sastoji od pet satelita koji četrnaest puta u danu okruže Zemlju prolazeći iznad polova i ekvatora. Zadaća njihovih misija je prikupiti mjerenja vezana za uzorke klimatskih pojava, atmosferskih stanja, te mjerenja vezana za klimatske promijene i izvanredne klimatske događaje poput snježnih oluja ili tornada. Zaslužni su za sva mjerenja potrebna za vremenske prognoze Sjedinjenih Američkih Država. Najuspješniji je 'JPSS-2' lansiran 2022. godine koji je opremljen sensorima ATMS sandom koja radi na principu mikrovalova, OMPS za praćenje ozonskog sloja ,Cris infra crvenu sondu i VIIRS optički infa crveni radar. Njihova serija 'GOES' geostacionarnih satelita zaslužna je za snimanje zapadne Zemljine polutke uživo i solarne aktivnosti. Donosi nam napredne slike Zemljine atmosfere i jedan je od najnaprednijih sustava umjetnih satelita za promatranje i istraživanje Zemlje.

Suomi NPP je satelit udruženja 'National Polar-orbiting Partnership' u kojem sudjeluju NOAA, NASA i Ministarstvo obrane Sjedinjenih Američkih Država. Ime je dobio po meteorologu Verneru E. Suomi ,pioniru satelitske meteorologije. Njegova zadaće je osigurati trajna trenutna meteorološka mjerenja i praćenje klimatskih promjena ,te osigurati prelazak sa EOS satelita 'Terra' i 'Aqua' na novije tehnologije poput 'JPSS' satelita. Opremljen je novijom tehnologijom istom kao i na 'JPSS-2' makar je lansiran 2016. godine. Poseban je po tome što se nalazi u helio sinhronoj orbiti ,tj. u orbitalnoj ravnini gdje je satelit uvijek pod istim kutem u odnosu na Sunce.

Europska svemirska agencija (ESA) osnovana je 1964. godine u Parizu. Ima dvadeset i dvije države članice i nalazi se u strukturi Europske unije. Njihov cilj je istraživanje i opservacija Zemlje ,te istraživanje drugih planeta u galaksiji ,ali uz pritom smanjenog zagađenja okoliša i emisije raznih tvari u atmosferu. Njihov plan i program za 2025. godinu uključuje poboljšanje reakcije na katastrofe uzrokovane prirodnim pojavama ili ljudskim postupcima, osiguranje sigurnosti građanima zemljama članica, praćenje i smanjene posljedica klimatskih promjena i utjecaj na geopolitičke nestabilnosti u tim regijama. Postavljaju važna pitanja svemirskog prava i zaštite svemirskih imovina. Program 'Copernicus' Europske svemirske agencije bavi se istraživanjem Zemlje i svih faktora koji utječu na život na njoj, navigacijom i povezanošću ,te inovacijama u tehnologiji daljinskih istraživanja. Informacije nastale daljinskim istraživanjima ,kao i one nastale 'in-situ' mjerenjima , su dostupne javnosti u svrhe promocije znanosti i njene primjene u raznim drugim granama djelatnosti.

Skup od 6 misija pod imenom 'Sentinel' započetom 2014. godine prikuplja podatke za program 'Copernicus'. 'Sentinel-1' je misija koja se sastoji od dva satelita u istoj orbitalnoj ravnini koja sa svojim C-SAR radarom u svim vremenskim uvjetima i različitim rezolucijama pokriva područje i do 400km. Podatke prenosi u jako malim vremenskim intervalima ,nekad čak i periodom od deset minuta, poput podataka vezanih za praćenje oceana i ledenjaka. Dok prilikom onih vezanih za kopno period je i do tri sata. 'Sentinel-2' se također sastoji od dva satelita u istoj orbiti postavljena fazno na 180 stupnjeva zbog potrebe za učestalim prolaskom preko Ekvadora svakih 96 sati. On je napravljen po uzoru na satelit 'Landstat' i cilj misije mu je usko veza je pomoć pri katastrofama, praćenje rizika za pojavu takvih događaja ,te

upravljanje poljoprivrednim i šumskim resursima. 'Sentinel-3' svojim instrumentima mjeri boju i temperaturu tla i oceana ,prati klimatske i okolišne faktore ,te njima pruža jako točne vremenske prognoze. 'Sentinel-4' periodom od sat vremena mjeri sastav troposfere i ključne faktore kvalitete zraka poput količine ugljikovog dioksida, ozona, aerosola ,sumpornog dioksida, formaldehida i glioksala. Dok 'Sentinel-5' i 'Sentinel-5B' uz sve to nam daje informacije o udjelu ugljikovog mono oksida i metana ,te sa svojim spektrometrom visoke rezolucije koji radi u ultraljubičastom spektru mjeri količinu propuštenih UV zraka u Zemljinu atmosferu. 'Sentinel-6 Michael Freilich' je nastao kao kolaboracijski projekt organizacije ESA, NASA i NOAA. Dobio je ime po američkom oceanografu Michael Freilich-u koji je bio jedan od direktora organizacije NASA čiji životni rad bio posvećen istraživanju Zemlje. 'Sentinel-6 Michael Freilich' mjeri utjecaje klimatskih promjena putem mjerenja visine oceana i visine valova sensorima poput AMR-C i HRMR radio metara. Misija 'Santinel' nastavlja se i u budućnosti ,te se očekuje lansiranje 'Sentinel' satelita pod brojevima sedam, osam i devet.



*Slika 15. Grafički prikaz orbita sustava satelita 'Sentinel'[21]*

Japanska aeronautička i svemirska istraživačka agencija (JAXA) je oformljena 2013. godine i od tad je poznata po novitetima u tehnologiji daljinskih istraživanja i svemirskih letjelica poput rakete GX pogonjene tekućim prirodnim plinom i eksperimentalnog satelita 'IKAROS' kojim se dokazuje solarno jedrenje i pokušaj međuplanetarnog putovanja.

Sinteza ciljeva ovih organizacija nalazi se u misiji Međunarodne svemirske postaje čiji je rad započeo u 1998. godine lansiranjem ruskog modula 'Zarya'. Sudionici projekta su europska agencija ESA, japanska agencija JAXA ,ruska agencija RKA ('Roskosmos'), američka NASA i kanadska CSA ('Canadian Space Agency'). Postaja se nalazi u gotovo kružnoj orbiti na visini od 278 do 460 kilometara. No konstantno gubi na visini zbog otpora atmosfere pa ju se mora više puta godišnje podizati letjelicom imena 'Sojuz'. Postaju od 2000. godine okupiraju ljudi koji su također predmeti istraživanja poput ponašanja ljudskog tijela i svih tjelesnih funkcija u svemiru. Ciljevi misije su brojni poput utjecaj manjka gravitacije na ljudski živote ,mjerenje raznih vrijednosti na Zemlji kao što je ozon, zračenje i svemirske prašine, proučavanje tamne tvari, promatrati rad i prikupljati signale od drugih satelita.

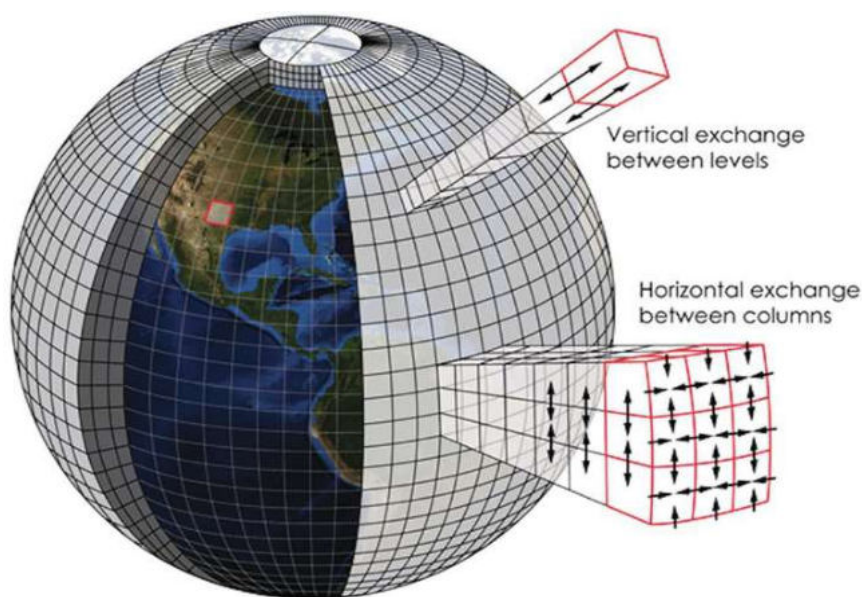
Još služi i kao međupostaja prilikom drugih raznih misija koje lete do drugih planeta. Imaju jako razvijen sustav opskrbe koju vrše ATV rakete. Sastoji se od šesnaest modula površine 1000 metara kubnih od kojih su većina spojni moduli, laboratoriji i prostori za život. Nalazi se u blizini Zemljine površine i u određenim trenucima se može vidjeti i sa Zemlje.



*Slika 16. Fotografija Međunarodne Svemirske postaje[25]*

### 3. Mjerenja klimatskih veličina

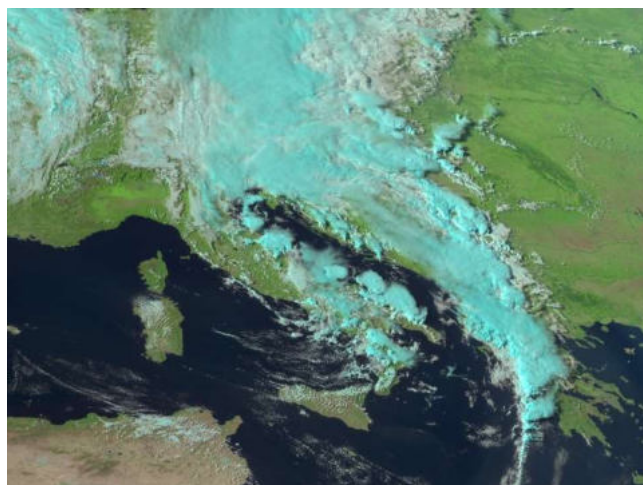
U dugoj tradiciji mjerenja klimatskih veličina daljinskim istraživanjima, znamo da sve ovisi o tome koji faktor klimatske veličine mjerimo i gdje se on nalazi u atmosferi. S obzirom na to biramo opremu koju ćemo koristiti i tehnologiju obrade podataka. Zbog rapidnog unaprjeđenja instrumenata, svakom misijom se informacije koje dobivamo proširuju. Senzori i instrumenti koji mogu opstati u oštrim uvjetima biraju se također s obzirom na parametre koji se mjere. Neobrađena mjerenja šalju se sa satelita na bazu na Zemljinoj površini radio odašiljačima. Tamo se uklanja pozadinska buka iz podataka i signal iz senzora se pretvara u čitljive zapise, zatim se potvrđuju tehnike mjerenja i kalibracija. Podatke interpretiraju znanstvenici i stručnjaci u poljima djelatnosti u kojima su provedena mjerenja, u ovom slučaju meteorolozi i klimatolozi, te se podaci koriste za izradu klimatoloških modela. Najčešći modeli su numerički klimatološki modeli koji koriste matematičke funkcije kojima opisuju izmjenu energije i klimatskih parametara u trodimenzionalnom prostoru. Neke od varijabli u tim funkcijama su vrijeme i veličina polja u rešetci kojom se opisuje taj trodimenzionalni prostor. Manje polje u rešetci nam pridonosi veću detaljnost opisa i točnost modela. Modeli se provjeravaju uspoređivanjem sa mjerenjima iz prošlosti i provjerava ih više skupina različitih timova stručnjaka kako bi rezultati bili dosljedni. Ima raznih vrsta klimatoloških modela poput modela energetske balanse, modela generalne cirkulacije energije i modela srednje složenosti. Oni su probabilistički i ukazuju na promjene klimatoloških faktora koje se predviđaju u budućnosti, kroz duge periode mjerene u godinama. Za razliku od njih postoje i meteorološki modeli za predviđanje prognoze vremena koji mogu biti globalni i regionalni za neko određeno područje. Opisuju se različitim rešetkama na različitim visinama kako bi što točnije, u što kraćim intervalima davali prognoze faktora poput vjetera, temperature, oblaka i vage zraka. Periodi predviđanja mjere se u satima, a rešetke se postavljaju u vertikalnim udaljenostima od samo nekoliko kilometara. Takvim modelima stvaramo sustavno praćenje i predviđanje svih klimatskih veličina poput oborina, snježnog pokrivača i temperature vode i kopna na Zemljinoj površini.



Slika 17. Grafički prikaz trodimenzionalnog prostora za potrebe klimatskog modela[26]

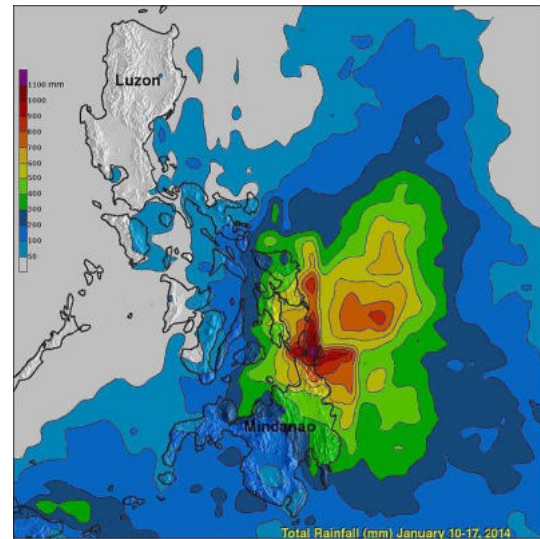
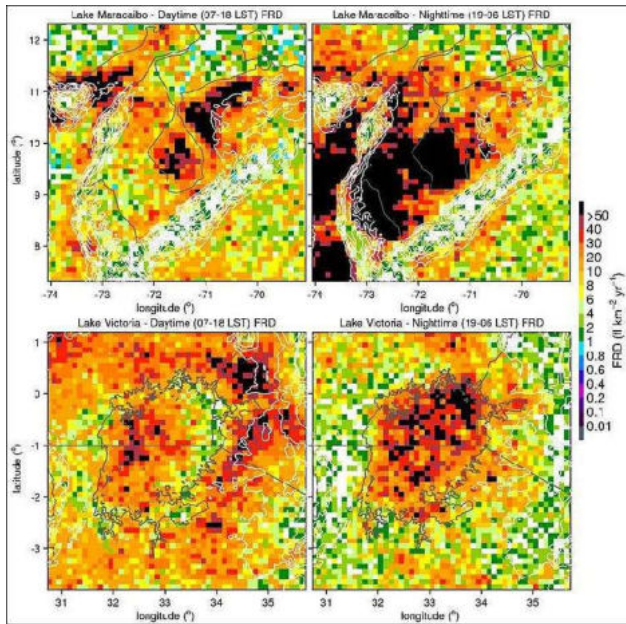
### 3.1. Mjerenja količine oborina

Oborina je voda koja pada iz oblaka na tlo ili nastaje depozicijom vodene pare iz sloja zraka koji se nalazi u dodiru s tlom. Mogu biti u tekućem ili čvrstom stanju, te produkt raznih procesa. Kad govorimo o mjerenju oborina daljinskim istraživanjima, govorimo o mjerenju količine oborina tijekom pada. In-situ istraživanjima one se mjere kišomjerom ili pluviometrom, koji nam ne može dočarati stvarno funkcioniranje prirodnih procesa kruženja vode i opis klimatskih čimbenika, nego samo količinu palih oborina u milimetrima. No da bi se provela sveobuhvatna mjerenja potrebne su razne metode mjerenja, skup satelita i različitih instrumenata. U Europskom geografskom području Europska svemirska agencija (ESA) mjerenja oborina provodi ponajviše sa serijom satelit 'Sentinel', ponajviše sa onima pod rednim brojem jedan ili tri. Opremljeni su sa instrumentima 'SRAL' radarskim altimetrom i 'MWR' mikrovalnim radiometrom koji frekvencijom svojih elektromagnetskih valova provode mjerenja i u slaboj vidljivosti, te nam je ta osobina veoma važna prilikom mjerenja količina oborina. Isto tako veoma bitnu ulogu ima i noviji satelit 'Meteosat Second Generation' (MSG) lansiran 2022. godine koji nam donosi mjerenja količine oborina u kraćim periodima. Od opreme opremljen je infra crvenom i ultraljubičastom sondom kojima nadgleda nestabilnosti u atmosferi u tri dimenzije. Isto tako opremljen je s opremom za detektiranje velikih oluja i munja što je revolucionarno u tehnologiji senzora. Kroz trodimenzionalno mjerenje može nam dati stvarni pogled u vertikalni profil oborina, kao i količinu kroz vremenski period trajanja.

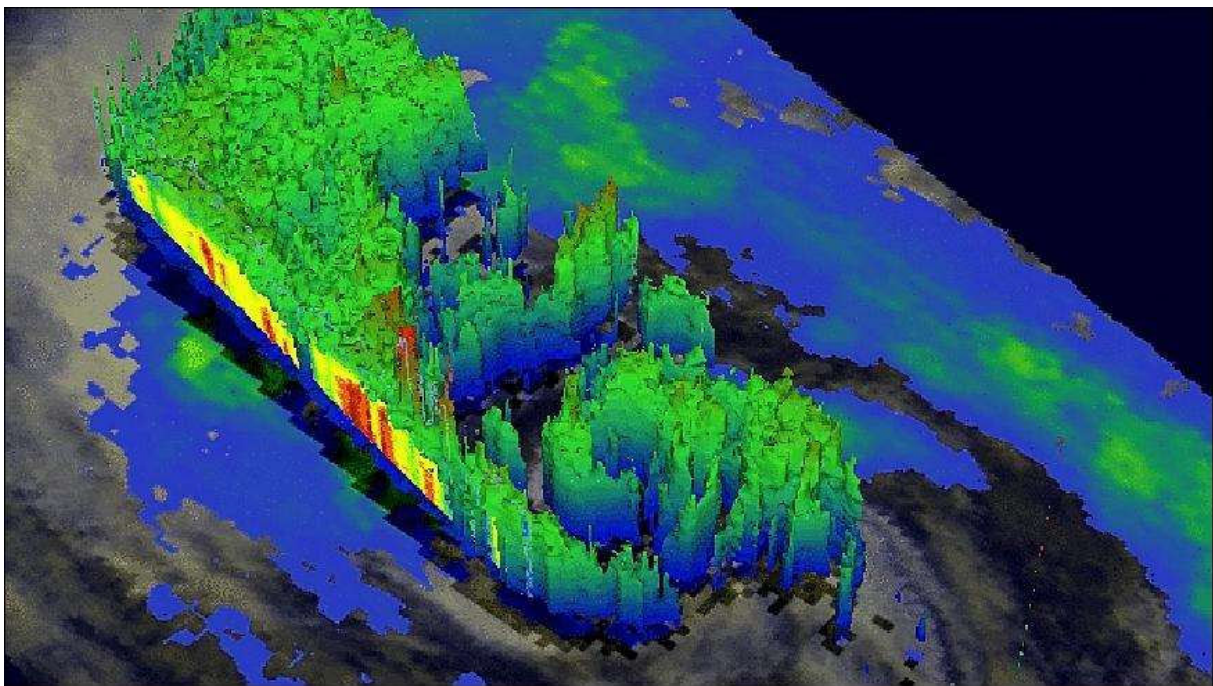


*Slika 18. Fotografija obilnih oborina iznad Slovenije i Hrvatske slikano pomoću satelita MSG (2023.) [30]*

Jedan od najpoznatijih satelita čija je misija bila posvećena mjerenju oborina na svjetskoj razini je satelit TRMM ('Tropical Rainfall Measuring Mission') čiji je životni vijek bio između 1999. i 2015. godine. Bio je opremljen revolucionarnim VIRS skenerom, PR radarom i TMI mikro valovnim instrumentom. Prvi je mjerio padaline u tri dimenzije zajedno sa energetsom aktivnošću poput munja koje je mjerio instrumentima CERES i LIS.



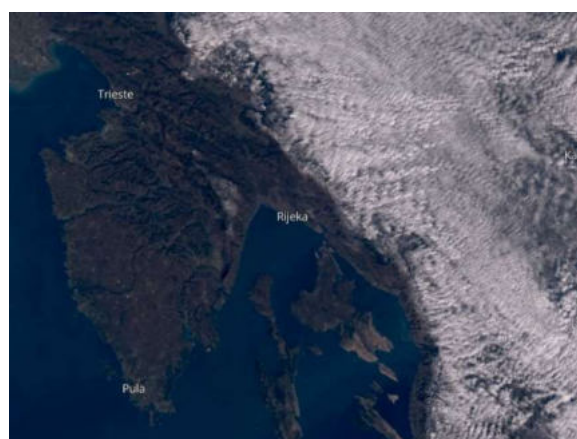
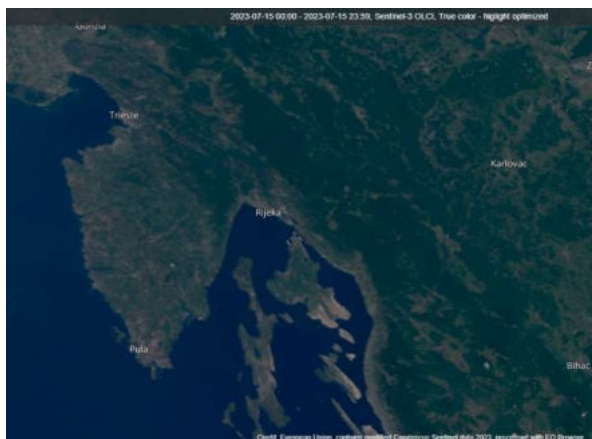
Slika 19. Mjerenje energetske aktivnosti iznad, Slika 20. Mjerenje količine oborina, Filipini (2014.) [31]  
Maracaibo, TRMM (2012.) [31]



Slika 21. 3D profil padalina nastalih zbog uragana 'Sandy' u SAD-u (2012.) [31]

### 3.2. Mjerenja snježnog pokrivača

Količina snježnog pokrivača mijenja se kroz godinu ,te se prate njegove količine u hladnijim godišnjim dobima ,kao i praćenje postotak područja površine vječito prekriven ledom. Praćenje njegove količine daje nam direktan uvid u trenutne klimatske promjene i globalno zagrijavanje Zemlje. On se mjeri elektromagnetnim valovima vidljivog spektra jer snijeg dobro reflektira sunčevu svjetlost ,te se ljudskom oku priviđa jarko bijelo. Također mjeri se termalnim infra crvenim sensorima zbog toga što je područje prekriveno snježnim pokrivačem hladnije ,nego to isto područje bez njega ,te ta razlika u temperaturi Zemljine površine se također koristi za provođenje mjerenja. Na Europskom kontinentu također se mjeri serijom satelita 'Sentinel' ,ali i 'Meteosat Second Generation' (MSG) ,te sateliti agencije NASA poput 'Terra' i 'Aqua'. 'SRAL' radarski altimetar ,kakav se nalazi na satelitu 'Sentinel-3' nam pribavlja podatke o debljini snježnog pokrivača i o promjenama u njegovom prekrivanju. MODIS instrumenti na satelitima poput 'Terra' i 'Aqua' nam donose dnevne snimke snježnog pokrivača koje se koriste za praćenje većih snježnih uzoraka jer generira mape snijegom zahvaćenih područja. Za predviđanje pada snježnog pokrivača koriste se EUMETSAT sateliti koji promatraju oblake i predviđaju moguće padaline. Sličnim instrumentima se prati i područje Zemlje prekriveno ledenjacima ,kao i njihov postotak ,te pukotine. Oni se prate zbog globalnog zagrijavanja Zemlje , kako bi se spriječilo njihovo topljenje i održala razina svjetske vode.

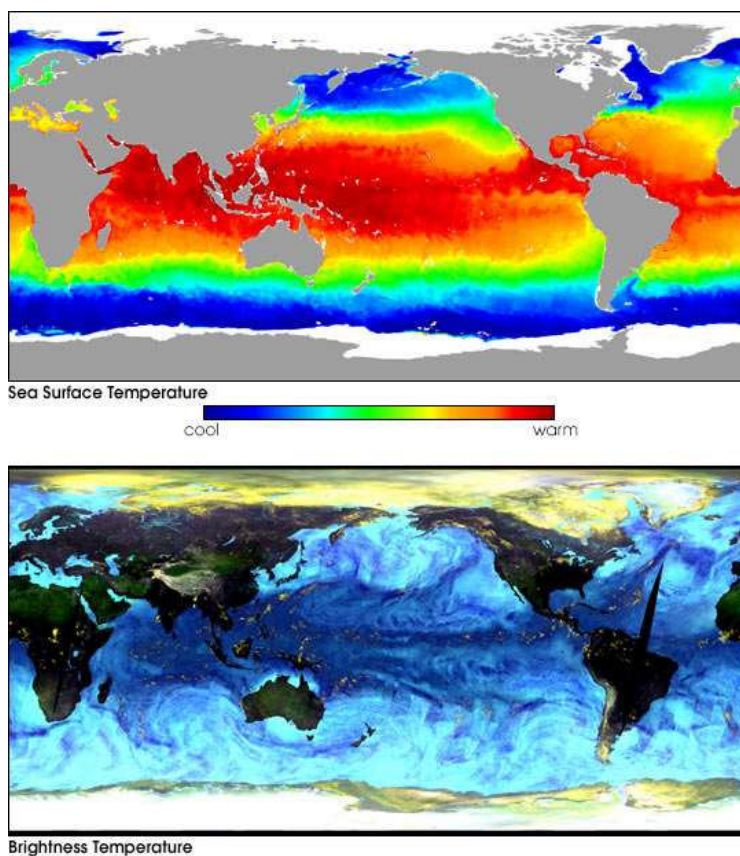


Slika 22. Fotografija Gorskog kotara 17. 7.2020. [32] Slika 23. Fotografija Gorskog kotara 17. 2 .2020.[32]

### 3.3. Mjerenja temperatura vode i mora

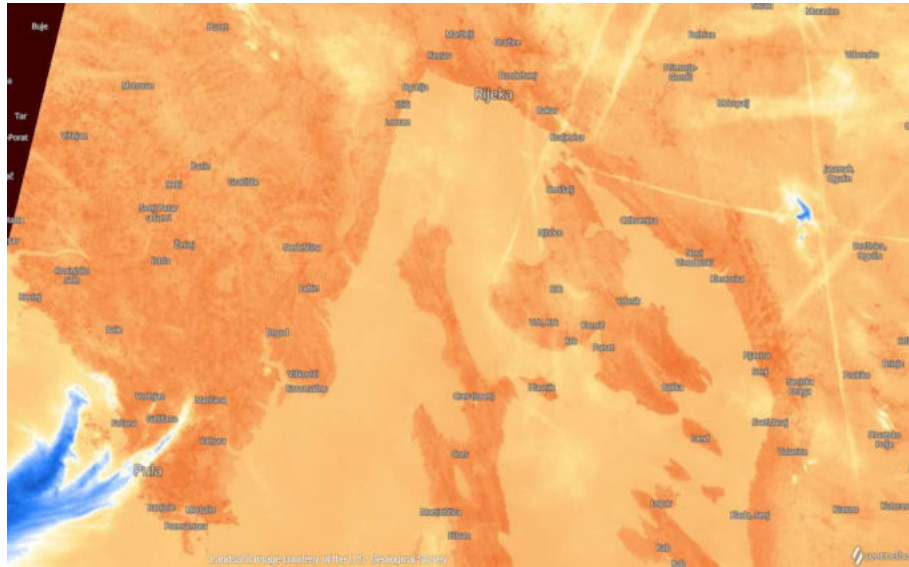
Temperatura vode i mora se mjeri kako bi se znalo više o njihovoj interakciji sa atmosferom ,kao i praćenje njihovog zagrijavanja u sklopu globalnog zatopljenja. Veće temperature znače ujedno i manje otopljenog kisika u tekućini ,te to direktno utječe na živi svijet u njoj što ima posljedice na ribarstvo i globalnu proizvodnju hrane i ostale ekonomske faktore. In-situ mjerenjem provodi se putem raznih instrumenata ,najčešće termistorima pričvršćenima za brodove. U ovom slučaju daljinska istraživanja dovela su veliko poboljšanje u kvalitetu mjerenja jer su mogla obuhvatiti cijelu površinu Zemlje svojim sensorima ,te smanjila potrebu za nekonzistentnim i točkastim mjerenjima putem brodova. U Europskom geografskom području mjeri se također se serijom satelita 'Sentinel' posebice onima pod rednim brojem tri koji je opremljen s instrumentom 'SLSTR' koji mjeri temperaturu tla i vode ,te oceana. Instrumenti poput takvog detektiraju infracrvene valove koje emitira toplina površine tekućine i osjetljivi su na različite valne duljine koje su specifične za razne temperature. Mjeri sa odstupanjem od 0,3 Kelvina ili 5 stupnjeva Celzijusevih. Svojim infra crvenim zračenjem nam prikuplja mjerenja dualno sa svoja dva kanala na različitim frekvencijama ,oko 200 skeniranja po minuti. Mjerenja služe za izradu mapa temperatura ,koje se uspoređuju tijekom vremena. Promjene temperatura tijekom duljih perioda ukazuju na globalne klimatske promjene i stvaraju pouzdanu sliku klimatskih procesa.

Satelit sa najvećim pokrićem Zemljane površine ,kad govorimo o mjerenju temperature voda i mora na Zemlji je i dalje satelit agencije NASA pod imenom 'Aqua'. On svojim radiometrom AMSR-E sa dvanaest kanala i šest frekvencija mjeri brojne klimatske faktore.



Slika 24. Mapa temperatura vode i mora, generirana mjerenjima sa satelita Aqua [15]

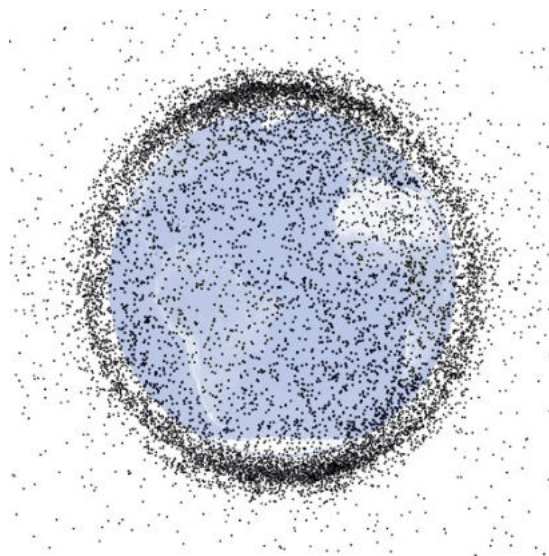




*Slika 24. Mapa temperatura mora i kopna Istre i dijela Kvarnera ,MODIS[32]*

#### 4. Problemi tehnologije daljinskih istraživanja

Rapidnim razvojem tehnologije u 21. stoljeću i brojem nadolazećim svemirskim i zemljanih misijama dolazimo do raznih problema s kojima se još nismo susretali. Povećao se broj komercijalnih i istraživačkih misija u Zemljinoj orbiti ,ali i izvan nje. Svemirski turizam ,nekoć ne zamisliv pojam, postaje opcija imućnima. Prva kompanija koja je pružala usluge takvih putovanja započela je radom još 2004. godine pod imenom 'Scaled Composites' ,no prvi putnici su u svemir letjeli tek 2021. godine. Slobodan prostor za pozicioniranje satelita se smanjuje i dolazi do opasnosti od sudara sa već postojećim objektima u svemiru ,te oštećenja opreme i tehnologije koja je od izrazite važnosti i vrijednosti. Svemirski otpad kruži u Zemljanoj orbiti koji se sastoji od dijelova letjelica završenih misija i odlomljenih dijelova opreme i tehnologije. Iako postoji orbita popularno nazvana 'Graveyard orbit' tj. orbita posljednjeg počivališta, u koju se postavljaju letjelice pri kraju svojih misija kako bi smanjili rizike od sudara i obuzdali širenje svemirskog otpada ,kada govorimo o svemirskom otpadu u niskoj orbiti govorimo o objektima promjera do desetaka centimetara. Agencija Sjedinjenih Američkih Država zaslužna za nadzor svemira 'US Space Surveillance Network' provela je istraživanje količine svemirskog otpada koje je rezultiralo u broju od 25,857 umjetnih objekata u Zemljinoj orbiti.



*Slika 25. Grafički prikaz umjetnih satelita u Zemljinim orbitama [12]*

Prvi veliki sudar satelita koji se dogodio 2009. godine bio je onaj satelita 'Kosmos 2251' i 'Iridium 33'. Sudarili su se oko 800 kilometara iznad sjevernog Sibira i oba satelita su prilikom udara bila uništena. Takvi događaju sve su češći i izazivaju mnoge pravne probleme zbog grupne odgovornosti za pojedine satelite i nesigurnost u pojedinostima nastanka takvih događaja. Također su potaknuli nove obrambene izume u svemirskoj tehnologiji poput Whipple štita ili Whipple branika koji štiti letjelice od udara preraspodjelom energije. Iako svemirski otpad nije direktna opasnost ljudima na Zemljinoj površini, izgaranje takvih objekata prilikom ulaska u atmosferu ispušta visoko toksične plinove i zagađuje okoliš. Iako postoje odredbe i internacionalni dogovori o smanjenju otpada u svemiru i smanjenju otpada koji se pojavljuje tijekom misija, povećanje broja lansiranja kroz vrijeme ne ide u korist ekologiji. Također veliki utjecaj na Zemljinu atmosferu i biocenuzu imaju objekti za let u svemir koji više nemaju

funkciju na Zemljinoj površini. Oni se potapaju na dno Tihog oceana , nedaleko od točke 'Nemo' koja je najudaljenija točka u oceanu od kopna gdje utječu na zdravlje života u oceanu. Uz nagle klimatske promjene poput zagrijavanja Zemlje, topljenja ledenjaka, brojne česte prirodne nepogode i brojne druge ,daljinska istraživanja nam postaju nužan alat kojim ćemo prilagoditi naše živote novim klimatskim okruženjem i svim poteškoćama koje nam on donosi.

## 5. Zaključak završnog rada

Daljinska istraživanja dovela su novu dimenziju prikupljanja informacija. Proširila su nam mogućnosti predviđanja i autonomnog praćenja klimatskih i mnogih drugih veličina ,te omogućila bar djelomičan nadzor prirode među kojom živimo. Imaju širok spektar primjene ,ali i dalje veliki prostor za napredak zbog okoliša provođenja mjerenja i same prirode koju tehnologija daljinskih istraživanja mora obuzdati.

Isto tako moramo provesti regulacije i ograničiti trošenje potrošnih resursa ,te smanjiti utjecaj tehnologije daljinskih istraživanja na klimatske promjene i doprinos zagađenju od kojeg nas pokušavaju takvi programi zaštititi. Njihova primjena je u zaštiti i nadziranju prirodnih ciklusa i resursa ,a ne u utrci između čovječanstva i nedostižnog prostranstva svemira koja se trenutno odvija lansiranjem komercijalnih i neopravdanih misija. Zbog naglih promjena uzrokovanih ljudskim akcijama ,moramo postati svjesni milosti i nemilosti prirodnih procesa o kojima ovisi naš razvoj i opstanak ,te moramo odustati od težnji da njima ovladamo i početi živjeti u simbiozi sa okolinom koja nas okružuje. Daljinska okruživanja su nužan korak u tom smjeru.

## 6. Literatura

- [1] Campbell, J.B. and Randolph H. W. (2011). Introduction to remote sensing
- [2] NASA Worldview, Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>
- [3] Europska svemirska agencija – ESA, <https://esa.int>
- [4] Daljinska istraživanja , Enciklopedija.hr -[enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=13774](https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=13774)
- [5] Dobrobiti daljinskog istraživanja ,Landsat science ,Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://landsat.gsfc.nasa.gov/benefits/>
- [6] Senzori, Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors>
- [7] Earth Observing System , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://eosps.nasa.gov/content/all-missions>
- [8] Bepilote letjelice (UVS) , Encyclopedia Britannica <https://www.britannica.com/technology/military-aircraft/Unmanned-aerial-vehicles-UAVs>
- [9] Misija 'Dragonfly' , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://www.nasa.gov/press-release/nasas-dragonfly-will-fly-around-titan-looking-for-origins-signs-of-life>
- [10] Daljinska istraživanja , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>
- [11] Razvoj senzora i novih materijala, Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://www.nasa.gov/feature/smart-sensing-and-sensor-development>
- [12] Katalog orbita umjetnih Zemljinih satelita , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA [,https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog/page1.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog/page1.php)
- [13] Sputnik 1, Encyclopedia Britannica <https://www.britannica.com/technology/Sputnik>
- [14] Tiros 1, Encyclopedia Britannica <https://www.britannica.com/science/meteorology>
- [15] Aqua , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://aqua.nasa.gov/>
- [16] Terra , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://terra.nasa.gov/about>
- [17] Aura , Američka nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir – NASA <https://aura.gsfc.nasa.gov/scinst.html>
- [18] Cloudsat Europska svemirska agencija – ESA <https://www.eoportal.org/satellite-missions/cloudsat#spacecraft>

- [19] ICE Sat-2 , Europska svemirska agencija – ESA <https://www.eoportal.org/satellite-missions/icesat-2>
- [20] Suomi NPP, Nacionalna agencija za istraživanje oceana i atmosfere –NOAA [https://www.avl.class.noaa.gov/release/data\\_available/npp/index.htm](https://www.avl.class.noaa.gov/release/data_available/npp/index.htm)
- [21] Sentinel-1 ,program 'Copernicus' , Europska svemirska agencija – ESA <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>
- [22] Sentinel-2 ,program 'Copernicus' , Europska svemirska agencija – ESA <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- [23] Sentinel-3 ,program 'Copernicus' , Europska svemirska agencija – ESA <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>
- [24] Sentinel-6 Michel Freilich program 'Copernicus' , Europska svemirska agencija – ESA <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-6>
- [25] Internacionalna svemirska postaja, , Encyclopedia Britannica <https://www.britannica.com/topic/International-Space-Station>
- [26] Klimatološki modeli ,NOAA <https://www.climate.gov/maps-data/climate-data-primer/predicting-climate/climate-models>
- [27] Sarač M. , Bekić D. , Gašparović M. (2021.) Analiza mogućnosti primjene daljinskih istraživanja u popunjavanju nedostajućih podataka u operativnom sustavu hidroloških prognoza
- [28] Klinkrad, H., Alby, F., Alwes, D., Portelli, C., & Tremayne-Smith, R (2005.) Space Debris Activities in Europe
- [29] Alpatov AP. (1999.)Space debris: the aspects of the problem
- [30] Serija satelita 'Meteosat' , EUMESTAT <https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series>
- [31] TRMM , Europska svemirska agencija – ESA <https://www.eoportal.org/satellite-missions/trmm#mission-status>
- [32] Snimke satelita, Sentinel Hub <https://www.sentinel-hub.com/explore/industries-and-showcases/water-resources-monitoring/>

