



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Karlo Dilber

**PODACI O OBORINI DOBIVENI POMOĆU
MASOVNE PODRŠKE I OPORTUNISTIČKIH
MJERENJA**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Karlo Dilber

**PODACI O OBORINI DOBIVENI POMOĆU
MASOVNE PODRŠKE I OPORTUNISTIČKIH
MJERENJA**

ZAVRŠNI ISPIT

izv. prof. dr. sc. Kristina Potočki

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Karlo Dilber

**RAINFALL DATA OBTAINED USING MASS
SUPPORT AND OPPORTUNISTIC
MEASUREMENTS**

FINAL EXAM

Assoc. Prof. Kristina Potočki

Zagreb, 2024.



OBRAZAC

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica:

Karlo Dilber	0082058732
(Ime i prezime)	(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Podaci o oborini dobiveni pomoću masovne podrške i oportunističkih mjerenja
(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

Precipitation data obtained by crowdsourced and opportunistic observations
(Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

Interakcija hidrotehničkih građevina i okoliša u uvjetima klimatskih promjena, 2024-GF17, Kristina Potočki
(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

/

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum: 17.09.2024.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Kristina Potočki

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Karlo Dilber, 0082058732

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Podaci o oborini dobiveni pomoću masovne podrške i oportunističkih mjerenja

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

17.9.2024.

Potpis:



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

Karlo Dilber, 88013705661

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

Podaci o oborini dobiveni pomoću u masovne podrške i oportunističkih mjerenja

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

izv. prof. dr. sc. Kristina Potočki

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

24.9.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

17.9.2024.

Potpis:

ZAHVALE

Zahvala mentorici izv. prof. dr. sc. Kristini Potočki na pomoći prilikom rada, iznimnoj susretljivosti, ažurnosti, pristupačnosti, ljubaznosti i trudu da bi ovaj rad zaživio.

SAŽETAK

Oborina predstavlja glavnu ulaznu veličinu u hidrološkim modelima kiša-otjecanje te je stoga bitno imati što bolja njena mjerenja. Razvoj tehnologija za mjerenje oborina ubrzano raste i daje nam nove mogućnosti mjerenja. Iz tog razloga razvoj svih meteoroloških mjerenja, pa tako i mjerenja oborina mora biti praćen razvojem drugih tehnoloških grana (računalstva, strojarstva, umjetne inteligencije...). Zbog činjenice da mjerenje oborina u glavnom nije komercijalna djelatnost ono se u velikoj mjeri oslanja na postojeće tehnologije koje se oportunistički iskorištavaju za razvoj mjerenja, tj. koriste se tehnologije koje nisu primarno namijenjene meteorološkim mjerenjima. Ovaj rad upravo daje pregled i usporedbu najaktualnijih modernih, oportunističkih i konvencionalnih metoda mjerenja. Rad je podijeljen u nekoliko dijelova. Kako same konvencionalne metode nisu dostatne za potrebe skupljanja podataka o oborinama, pojavljuju se i nekonvencionalne metode mjerenja iz kojih proizlazi i masovno prikupljanje podataka. Tako se u prvom dijelu objašnjava što je to mjerenje oborina i što se u stvari mjeri. Drugi dio rada odnosi na konvencionalne metode mjerenja gdje se opisuju kišomjeri, meteorološki radari i sateliti. U trećem dijelu su objašnjene nekonvencionalne oportunističke metode: masovna podrška, komercijalne mikrovalne veze, satelitske mikrovalne veze te osobne meteorološke stanice. Te u zadnjem dijelu prikazana je usporedba navedenih tehnologija skupljanja podataka. Sliku tehnološke razine pojedinih načina mjerenja oborina uvelike stvaraju znanstvena istraživanja koja se bave usporedbom pojedinih načina mjerenja. U ovom radu su prikazani i analizirani neki zaključci takvih istraživanja.

Ključne riječi:

oborina, konvencionalna mjerenja, oportunistička mjerenja, masovna podrška, obrada i analiza podataka.

SUMMARY

Precipitation represents the main input in rainfall-runoff hydrological models, and therefore it is important to have the best possible measurements for it. The development of technologies for measuring precipitation is growing rapidly and gives us new measurement possibilities. For this reason, the development of all meteorological measurements, including precipitation measurements, must be accompanied by the development of other technological fields (computer science, mechanical engineering, artificial intelligence...). Due to the fact that precipitation measurement is primarily not a commercial activity, it largely relies on existing technologies that are opportunistically utilized for the development of measurements, i.e., on the technologies that are not primarily intended for meteorological measurements. This paper provides an overview and comparison of the current modern, opportunistic and conventional measurement methods. The work is divided into several parts. Since the conventional methods alone are not sufficient for the needs of gathering data on precipitation, unconventional measurement methods are also emerging, which also results in mass data collection. Thus, the first part explains what precipitation measurement is and what is actually measured. The second part of the paper refers to conventional measurement methods where rain gauges, meteorological radars and satellites are described. In the third part, unconventional opportunistic methods are explained: mass support, commercial microwave links, satellite microwave links and personal weather stations. And in the last part, a comparison of the aforementioned data collection technologies is presented. The picture of the technological level of individual methods of precipitation measurement is largely created by scientific research that deals with the comparison of individual measurement methods. This paper will present and analyze some of the conclusions of such research.

Keywords:

precipitation, conventional measurements, opportunistic measurements, mass support, data processing and analysis

SADRŽAJ

ZAHVALE	i
SAŽETAK	ii
SUMMARY	iii
SADRŽAJ	iv
1. UVOD	1
2. METODE I TEHNIKE RADA	3
3. OPĆENITO O MJERENJU OBORINA	4
3.1. Početak, razvoj i smisao mjerenja oborina	4
3.2. Što mjerimo kada mjerimo oborine	5
3.3. Podjela načina mjerenja oborina	6
4. KONVENCIONALNI NAČINI MJERENJA OBORINA	7
4.1. Kišomjeri	7
4.1.1. Povijest nastajanja kišomjera	7
4.1.2. Vrste kišomjera	8
4.1.3. Kišomjeri u Hrvatskoj	10
4.1.4. Ombograf ili pluviograf	11
4.2. Vremenski radari	12
4.2.1. Način funkcioniranja radara	12
4.2.2. Primjena radara	13
4.2.3. Radari u Hrvatskoj	13
4.2.4. Zaključak o radarima	14
4.3. Disdrometar	15
4.4. Meteorološki sateliti	16
4.4.1. Podjela satelita	16
4.4.2. Tehnološka opremljenost satelita	18
4.4.3. Zaključak o meteorološkim satelitima	19
5. ALTERNATIVNI NAČINI MJERENJA OBORINA	20
5.1. MASOVNO SKUPLJANJE PODATAKA	20
5.1.1. Platforme za masovno skupljanje podataka	21
5.1.1.1. Meteonetwork	22
5.1.1.2. Pljusak.com	24

5.1.1.3.	Citizen Weather Observer Program	25
5.1.1.4.	Weather Underground	26
5.1.2.	Zaključak o masovnom skupljanju podataka	27
5.2.	Osobne meteorološke stanice	28
5.2.1.	Dijelovi osobnih meteoroloških stanica.....	29
5.2.2.	Korištenje osobnih meteoroloških stanica	29
5.2.3.	Zaključak o osobnim meteorološkim stanicama.....	29
5.3.	Komercijalne mikrovalne veze	30
5.3.1.	Način funkcioniranja komercijalne mikrovalne veze.....	31
5.3.2.	Korištenje komercijalne mikrovalnih veza	32
5.3.3.	Zaključak komercijalnim mikrovalnim vezama.....	32
5.4.	Satelitske mikrovalne veze	33
5.4.1.	Način funkcioniranja satelitske mikrovalne veze.....	33
5.4.2.	Zaključak o satelitskim mikrovalnim vezama.....	34
6.	USPOREDBA KONVENCIONALNIH I NEKONVENCIONALNIH METODA MJERENJA OBORINA.....	35
6.1.	REZULTATI PREGLEDA WOS BAZE PODATAKA.....	35
6.2.	USPOREDBA METODA MJERENJA OBORINA I NIJOHVI NEDOSTATCI.....	37
6.3.	PRIMJENA MODERNIH NEKONVENCIONALNIH MJERENJA OBORINA U HIDROLOŠKOM MODELIRANJU.....	41
6.4.	PRIJEDLOG DALJNJEG UNAPRIJEĐENJA MODERNIH NEKONVENCIONALNIH METODA MJERENJA OBORINA.....	41
7.	ZAKLJUČAK.....	43
	POPIS LITERATURE	45
	POPIS SLIKA.....	50
	POPIS TABLICA.....	51

1. UVOD

U svijetu u kojemu sve vrste tehnologije rapidno napreduju imamo obavezu praćenja istih. Građevinarstvo, za razliku od informacijskih sustava, je nešto tromije u uvođenju novih i suvremenih tehnologija, stoga ovaj rad pokazuje implementacije takvih sustava i rješenja za što bolje rješavanje potreba modernog društva. U vremenu sve većih vremenskih ekstrema koji utječu na sve dijelove društva nužno je razvijati nove tehnologije mjerenja svih meteoroloških čimbenika, pa tako i oborina. Europska agencija za okoliš [1] objavila je da su štete povezane s ekstremnim vremenskim prilikama koje su ogromne u smislu ljudskih i društvenih troškova -između 1980. i 2019. 27 država članica Europske agencije za okoliš pretrpjele su ekonomske gubitke u ukupnom iznosu od procijenjenih 500 milijardi USD [1]. Iz toga se vidi da je ulaganje u meteorološka mjerenja isplativo ne samo iz društvenog i tehnološkog gledišta, nego su i ekonomske koristi vrlo visoke.

Dosadašnji konvencionalni izvori još uvijek pružaju najtočnije podatke mjerenja, bez obzira na nedostatke istih: nemogućnost pokrivenosti područja, ograničena područje mjerenja, nemogućnost davanja informacije u realnom vremenu, itd. Svi nedostaci konvencionalnih načina mjerenja onemogućuju stvaranje točnih modela otjecanja oborina, naročito u ruralnim i urbanim dijelovima te sustavi prevencije ne mogu biti pravovremeni. Iz tog razloga se u svijetu sve više šire nekonvencionalne metode poput sve većeg broja osobnih meteoroloških stanica te korištenja mikrovalnih veza [2]. Ove inovativne metode imaju velik potencijal. Pružaju mogućnosti mjerenja oborina u svim na gotovo svim područjima Zemlje u realnom vremenu. Međutim to je konačni cilj, a trenutna istraživanja [3, 4 i 5] ukazuju na nedostatke oportunističkih mjerenja. Zbog toga je nužno iznaći rješenje za daljnji razvoj i implementaciju istih. Jedna od razvojnih točaka takvih načina mjerenja je stvaranje masovne podrške. Masovna podrška podrazumijeva mjerenja od strane široke javnosti, najčešće upravo korisnika oportunističkih metoda mjerenja. Oni stvaraju mreže koje koriste za razmjenu informacija, podižu čitavu disciplinu mjerenja na novu razinu i otvara niz mogućnosti [6]. Primjena takvih metoda je višestruka: one pružaju svakome pojedincu da sudjeluje u istraživanjima i doprinosi napretku, ali i podiže svijest o potrebi za meteorologijom. Takve metode nerijetko mogu nadomjestiti nedostatke konvencionalnih načina mjerenja kao što je prikazalo istraživanje [5]. Istraživanje [5] pokazuje ubrzan rast korištenja osobnih mjernih stanica u područjima izloženim poplavama, na onim izloženim dijelovima na kojima pokrivenost konvencionalnim metodama nije adekvatna. Istraživanje

konkretno navodi pokrivenost gradskih područja u SAD-u u kojem se vidi da dijelovi pokriveni osobnim stanicama imaju veći pritek informacija o oborinama, što doprinosi zaštiti od poplava, međutim još uvijek je velika neujednačenost raspodjele osobnih postaja.

Rad pruža presjek više metoda mjerenja, prikazuje njihove tehnologije, uspoređuje ih i ukazuje na njihove međusobne prednosti i nedostatke kako bi se moglo iznaći rješenje za unaprjeđenje pojedinačnih sustava ali i kompletnog mjerenja. Provedena istraživanja [7 i 8,] pokazuju da je najadekvatnije rješenje za dobivanje ispravnih podataka o oborinama i predviđanje njihovih posljedica kombinacija više metoda mjerenja. Razlozi tome leže u činjenici da sama oborina ima više elemenata koji su različitih karaktera. Količina oborine se mjeri kao volumen, može se mjeriti na određenom prostoru ili aproksimacijom dobivenom na bazi podataka iz određenih točaka u prostoru. Mjerenje trajanja oborine pokazuje određuje prisutnost oborine u vremenu. Intenzitet oborine prikazuje o odnosu prethodna dva parametra. Prepoznavanje vrste oborine i karakteristike pojedine čestice oborine su također predmet mjerenja. Zbog tolike raznovrsnosti mjerenja ne postoji instrument koji može mjeriti sve aspekte oborine u svakom trenutku na svakome mjestu. Stoga postoje do sada korišteni načini prikupljanja kiše, korištenja radara, zapisi o trajanju kiše i ostalih metoda koje će biti prikazane nazivamo konvencionalnim načinima mjerenja. Alternativne metode poput korištenja mikrovalnih veza, njihovoj primjeni na satelitima, osobnih mjernih stanica su sve prisutnije i nadopunjuju podatke alternativnih izvora. U tome pomaže i masovno prikupljanje podataka. Masovno prikupljanje se oslanja na nekonvencionalne izvore, podatci dobiveni iz izvora široke populacije se skupljaju na jednom mjestu te se pomoću njih stvaraju prognoze.

Rad je podijeljen četiri cjeline. Prva cjelina u kojoj se objašnjava što je oborina i koji njezini segmenti se mjere. U drugoj cjelini rad pokazuje konvencionalne načine mjerenja oborine. Tu se prikazuje pregled mjernih instrumenata, njihov nastanak, cilj i budući potencijal. Nakon konvencionalnih metoda, u trećoj cjelini rad opisuje nekonvencionalne moderne metode. U ovom dijelu je prikazana mogućnost adaptacije drugih tehnologija u svrhu mjerenja oborina uključujući i masovno prikupljanje podataka (prikupljanje mjerenja šire javnosti). Prikazane su platforme masovne podrške koje su pristupom inovativna metoda za doprinos stvaranju meteoroloških predviđanja i njihovih mjerenja te u njih uključuju i neprofesionalne pojedince. U trećoj cjelini dan je presjek metoda mjerenja i njihovi dosezi. Na kraju slijedi zaključak.

2. METODE I TEHNIKE RADA

Za potrebe izrade ovog preglednog rada korištene su metode analize i prikupljanja podataka iz stručne literature, namjenskih meteoroloških baza podataka te pregled javno dostupnih radova iz baze znanstvenih radova „Web of Science“ (skraćeno, WOS). Svi ranije navedeni izvori podataka su korišteni za opis metoda mjerenja oborine, a za alternativne načine mjerenja oborine dodatno je pretražena WOS baze podataka korištenjem unaprijed odabranih ključnih riječi kako bi se pronašli objavljeni pregledni radovi o određenim nekonvencionalnim metodama mjerenja oborina. Dodatni cilj je da se istraže pregledni radovi na tu temu te da se pruži brzi tematski pregled literature (fokusan na pregledne radove) koji ima za cilj ponuditi pregled smjera unaprjeđenja istraženih metoda mjerenja oborine. Izbor ključnih riječi za pretraživanje WOS baze je opisan u poglavlju 6 u kojem je napravljen sumarni prikaz prednosti i mana između ovdje prikazanih nekonvencionalnih i konvencionalnih metoda za mjerenje oborine.

3. OPĆENITO O MJERENJU OBORINA

U hidrologiji je mjerenje oborina vrlo značajna aktivnost, ono je glavna ulazna veličina svih hidroloških modela. Oborine utječu na gotovo svaku granu koja uključuje bilo kakav čovjekov odnos s vodom. U ovome poglavlju će ukratko i grubo biti naveden povijesni razvoj mjerenja oborina te interakcija mjerenja oborina s drugim znanstvenim disciplinama i čovjekovim aktivnostima. Sve one aktivnosti koje imaju odnos s mjerenjem oborina, to jest koriste informacije o oborinama, daju nam najbolji odgovor za što je motivacija čovjeka da se bavi mjerenjem oborina.

3.1. Početak, razvoj i smisao mjerenja oborina

Čovjek od svojih početaka živi u skladu s prirodom i shodno tome primjećuje pojave oko sebe, pa tako i padaline. Još se pećinski čovjek molio višim silama za kišu ili za prestanak iste, promatrao oborine i shodno njima kroji svoj način života. Konkretnije: „Mjerenje oborina ima dugu povijest; grubo mjerenje oborina započelo je u Indiji još 400. godine pr. Kr., no tek se u 17. stoljeću uvode u zapadnoj Europi registratori za oborine. Instrumenti za mjerenje ostalih meteoroloških elemenata izumljeni su i uvedeni u praksu meteoroloških stanica u 19. i 20. stoljeću, kad je to omogućio brzi razvoj instrumentalne tehnike mjerenja, radio-tehnike i elektronike [9].“

Meteorologija postaje sve više rasprostranjena, pa tako više nije predmet istraživanja pojedinaca, znanstvenika i inovatora, nego se osnivaju i nacionalni zavodi i službe koje provode mjerenja i prikupljaju podatke. Tako se i u Hrvatskoj 1947. godine u Zagrebu osniva Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), koji je i danas najznačajnija institucija, kako za čitavu meteorologiju, tako i za mjerenje oborina. Do današnjega dana se tehnologija mjerenja oborina razvija i usavršava. Dolazi do korištenja sve više instrumenata i alata kao što su radari, sateliti i svi oni konvencionalni i nekonvencionalni načini koji će biti obrađeni u ovome radu.

Čovjek kroz povijest ima razne potrebe za mjerenje oborina. Mjerenje oborina je ključna stavka mnogih vrsta znanosti, od kojih su neke: ekologija, meteorologija, geologija, građevina, hidrologija... Bez mjerenja oborina sve djelatnosti vezane uz navedene znanstvene pravce bi bili uvelike otežane, a neke i nezamislive. Smisao mjerenja oborina je olakšati što više ljudskih djelatnosti. Stoga što preciznijim, rasprostranjenijim i intenzivnijim

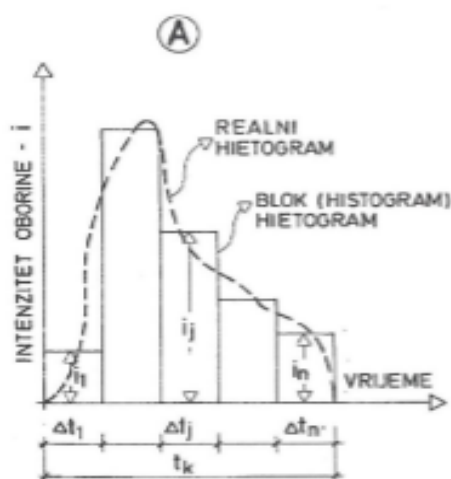
načinom mjerenja postizemo temelj za kvalitetniji rad i rast svih disciplina vezanih uz oborine što uzročnih, što posljedičnih. Na taj način lakše zadovoljavamo čovjekove potrebe i podižemo kvalitetu života, a upravo graditeljstvom, odnosno hidrotehnikom i hidrologijom, granama znanosti koje se bave vodom i regulacijom iste to postizemo. Tako pomoću hidroloških modela izrađujemo građevine za sakupljanje vode, zaštitu od vode, zaštitu vode i korištenje vode.

3.2. Što mjerimo kada mjerimo oborine

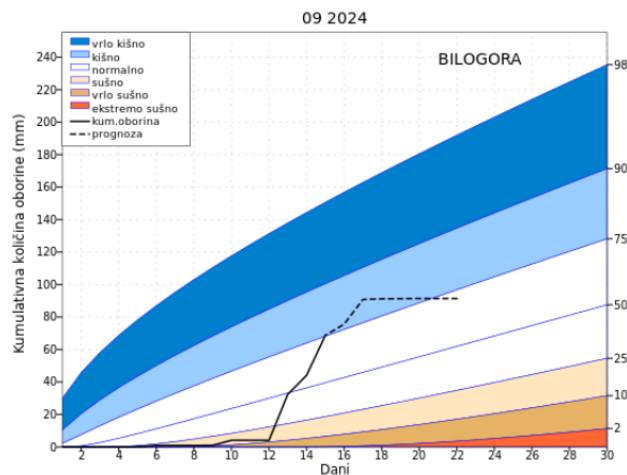
U procesu mjerenja oborina sadržane su tri osnovne komponente. Količina oborine (P) je volumen oborine koju mjerimo. Volumen se mjeri u kubnim jedinicama, odnosno litrama, međutim za potrebe mjerenja oborina volumen oborine se preračunava u milimetre [mm], odnosno u litre po metru kvadratnom [l/m^2]. Sljedeća komponenta bitna za mjerenje oborina je trajanje oborine (t). Trajanje oborina se mjeri u minutama [min] ili satima [h]. Trajanje oborine nam govori je li oborina neprekidna ili s prekidima. Konačno posljednja komponenta koja se mjeri kod oborina jest količnik volumena i trajanja: intenzitet oborine.

$$I_p = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Intenzitet oborine mjeri količinu oborine u nekom vremenu [11].



Slika 1: realni i blok hijetogram (Izvor: [12]).



Slika 2: kumulativna dnevna količina oborine (izvor: [12]).

3.3. Podjela načina mjerenja oborina

Ovdje je prikazan jedan od načina klasifikacije mjerenja oborina preuzetog iz preglednog rada koji su napisali Wang [13]. Wang i sur. dijele načine mjerenja na tradicionalne i nove pristupe. Pod pojmom tradicionalnih pristupa uzimaju mjerenja dobivena iz tri osnovne skupine: Mjerenja dobivena na bazi kišomjera (kišomjeri mjere količinu oborina u točki te se na bazi više točaka stvara slika kompletnog područja.), mjerenja na temelju daljinskih očitavanja (ovom metodom se služe uređaji poput radara ili satelita koji mjere oborinu na određenoj udaljenosti linijski ili prostorno.) te kombinacijom prethodna dva načina. Nove metode mjerenja oborina prema [13] se gdje u pet stavaka. Metode temeljene na socijalnim medijima (ljudi na socijalnim mrežama dijele vlastite opservacije vremena u trenutku koristeći fotografije i video uratke.), metode temeljene na općoj znanosti građana (suradnja volontera, amatera i ostalih građana koji uglavnom konvencionalnim metodama pridonose prikupljanju podataka.), Komercijalne mikrovalne veze (korištenje već postojećih mikrovalnih sustava za mjerenje oborina.), metode automobila u pokretu (automobili imaju velik broj senzora i spojeni su na vlastite informacijske sustave s kojim komuniciraju u realnom vremenu, stoga se korištenje takve metode može iskoristiti i za mjerenje oborina.), metode temeljena na pregledu nadzornih kamera (vizualnim i audio pregledom sveprisutnih nadzornih kamera se može ustanoviti prisutnost oborine.

4. KONVENCIONALNI NAČINI MJERENJA OBORINA

Hidrologija poznaje mnoge načine mjerenja oborina. U ovome poglavlju će biti obrađeni oni najkorišteniji i oni u čije smo podatke najsigurniji, odnosno oni čija se mjerenja pokazuju ispravnima. Kod konvencionalnih metoda tu se najčešće radi o mjerenju količine oborine. Njihova uporaba je zakonski određena i po njihovim podacima se kalibrira svaki inovativni način mjerenja. Konvencionalne metode primjenjuju stručnjaci te putem njih sve ostale discipline dobivaju informacije o oborinama koji su im potrebne za rad, a to se naročito odnosi na hidrologiju te hidrotehniku koje upravo na bazi tih informacija provode daljnje graditeljske aktivnosti. Kišomjeri (engl. Rain Gauge, kraće RG), vremenski radari i sateliti su tri najučestalija načina mjerenja oborina koja će biti obrađena u ovom poglavlju.

4.1. Kišomjeri

„Kišomjer je sprava za mjerenje količine oborina. Sastoji se od vanjske cilindrične posude, lijevka i unutrašnje posude (skupljača). Vanjska posuda ima s gornje strane točno određen otvor (obično 200 cm²). Kišnica skupljena u unutrašnjoj posudi prelijeva se i mjeri u menzuri (s podjelom na milimetre visine oborine). Snijeg treba prije mjerenja rastopiti [14].“

4.1.1. Povijest nastajanja kišomjera

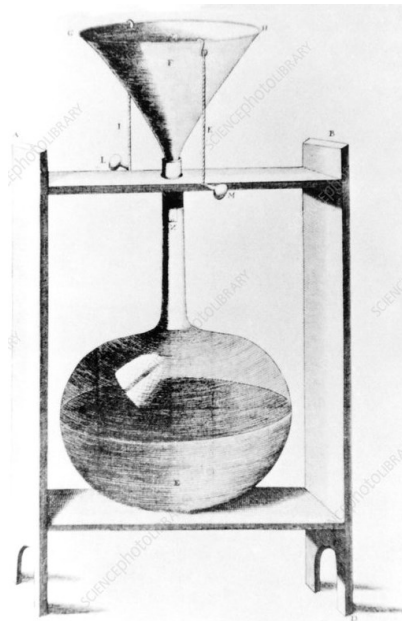
Prema časopisu Scinting [15] prvi izvještaj o nekoj vrsti kišomjera se pojavljuje Starom vijeku u Indiji u 4. st. prije Krista. U pronađenom tekstu se govori o zakonskoj odredbi širine kišomjera za potrebe određivanja vrste sjemena koje će biti sađeno. Također, u Palestini se pojavljuju izvori koji nam govore o izmjerenoj visini kiše, međutim iz toga izvora se ne iščitava način i vremensko razdoblje mjerenja.

U srednjem vijeku su kišomjeri, kao i u starome bili najkorišteniji u Aziji. U Kini je postojao sustav kišomjera u većim gradovima pomoću kojih se stvarala procjena količine kiše u cijeloj zemlji. Također kišomjeri su korišteni i u Koreji. U tome vremenu u Europi još nisu postojale slične tehnologije.

Na prijelazu u Novi vijek pojavljuje se kako navodi [16] Cheugugi, prvi standardizirani kišomjer nastao u Koreji 1441. geodine. Benedetto Custelli je 1639. godine napravio prvo

zabilježeno moderno mjerenje kišomjerom. Nedugo zatim, 1695. Rober Hooke je izumio kišomjer na kojem se principu rade

Kišomjeri danas variraju od jednostavnih plastičnih cijevi do potpuno automatiziranih uređaja. Istraživači su također razvili skup idealnih uputa za postavljanje mjerača kiše. U ostatku poglavlja ću navesti neke primjere suvremenih kišomjera.



Slika 3: Hookeov kišomjer (Izvor: [17]).

4.1.2. Vrste kišomjera

Osnovna podjela kišomjera je na pluviometar (ombrometar), koji mjeri količinu oborina očitanjem, očitanje se vrši jednom dnevno ili po potrebi češće i pluviograf (ombrograf) koji automatski bilježi količinu oborine u kratkom vremenskom intervalu. Osnovna razlika u očitanju je što ombrometar ne mjeri intenzitet jakih kiša, dok se pomoću ombrografa intenzitet oborine može mjeriti.

Dalje će biti objašnjeno nekoliko primjera automatskih kišomjera obzirom na tehnologiju mjerenja volumena padaline po uzoru na izvor [18].

Kišomjer s cilindrom za mjerenje (engl. Measuring Cylinder Rain Gauge) je klasični primjer kišomjera. Ovaj tip kišomjera sastoji se od tri dijela: lijevka, cilindra i menzure za mjerenje.

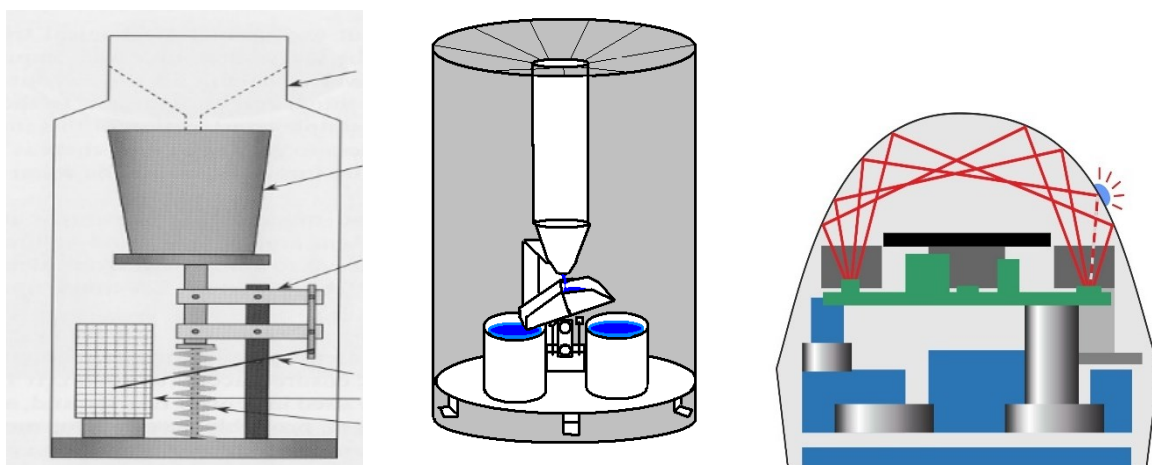
Pomoću lijevka, kroz cilindar voda putuje u menzuru na kojoj nakon određenog vremenskog intervala očitavamo razinu vode. Ovaj tip kišomjera spada pod ombrometre koji ne mjere intenzitet jakih kiša.

Kišomjer s vagom (engl. Weighing Rain Gauge) sadrži cilindar koji prikuplja oborinu i namješten je na vagu. Vaga je povezana s računalom ili drugim aparatom koji bilježi podatke. Visina oborine se računa pomoću gustoće vode i volumena cilindra. Vaga i cilindar moraju bit precizno kalibrirani. Ovaj tip kišomjera može mjeriti intenzitet oborine ukoliko je vaga elektronička te bilježi promjenu mase u manjim intervalima.

Kišomjer s klackalicom (engl. Tipping Bucket Rain Gauge) radi na principu dvije vezane posude. Kiša kroz lijevak ulazi u posudu. Kada voda u toj posudi postigne zadan volumen ona se iz nje preljeva, šalje signal i pomoću klackalice pomiče drugu posudu u položaj u kojem skuplja vodu. Taj proces se ovija u krug i na taj način se bilježi intenzitet oborine.

Optički kišomjer (engl. Optical Rain Gauge) radi na principu očitavanja laserskog svjetla. Sastoji se od izvora svjetlosti i optičkog detektora koji prima svjetlo. Kada oborina prolazi između lasera i detektora, detektor očitava smanjenje laserskog svjetla. Na taj način se mjere i količina oborina.

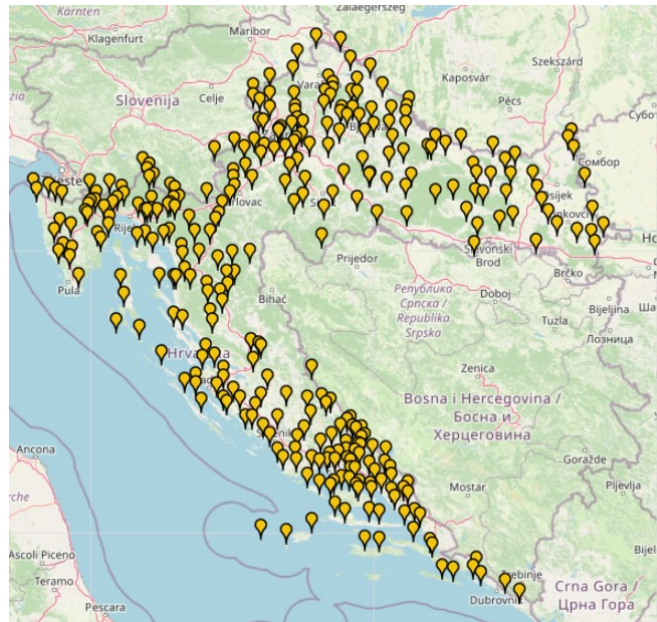
Akustični kišomjer je tip kišomjera koji radi na principu mjerenja zvuka ispod vode nakon pada kapljice kiše. Akustični kišomjer može: otkriti oborinu, odrediti veličinu čestice oborine i odrediti količinu oborine. Poput otiska prsta svaka kap vode stvara unikatan zvučni signal koji se može percipirati puno lakše od drugih podvodnih signala. Međutim, kao kod optičkog kišomjera, ovo je tehnički složen i zahtjevan kišomjer te nije u čestoj uporabi.



Slika 4.: Vagajući kišomjer, Kišomjer s klackalicom, Optički kišomjer(Izvor: [19, 20 i 21]).

4.1.3. Kišomjeri u Hrvatskoj

Pod upravom Državnog hidrometeorološkog zavoda postoji služba za prizemna meteorološka motrenja koja pod sobom sadrži glavne i automatske postaje, klimatološke postaje i kišomjerne postaje. „U Hrvatskoj postoji 339 kišomjernih postaja raspoređenih u 21 županiji, najviše u Splitsko-dalmatinskoj županiji, njih 63.“ Kišomjerne stanice u Hrvatskoj koriste kišomjere tipa Hellman za mjerenje. Većina tih postaja koriste klasični kišomjer s cilindrom za mjerenje. Mjerenje se odvija jednom dnevno u razdoblju od 7 do 7 sati (24 sata), glavne postaje količinu oborine mjere u 1, 13 i 19 sati. Oborina se mjeri na način da se tekućina izlije u menzuru te se vizualnim pregledom određuje količina vode u menzuri. Visina sloja oborine mjeri se milimetrima i desetinkama milimetra. Jedan milimetar oborine znači da je pala 1 litra oborine na 1 metar četvorni (l/m^2). Površina otvora (zjala) kišomjera je 200 cm^2 , tj. $1/50\text{ m}^2$, što znači da je 1 mm oborine u kišomjeru $1/50$ litre, odnosno 20 cm^3 ili 20 grama oborine. Odnosno 0,1 mm oborine je 2 cm^3 ili 2 grama oborine. Ovdje je korisno spomenuti vezu između visine snježnog pokrivača koja se mjeri u centimetrima (cm) i količine oborine (mm). U našim geografskim širinama visini svježe palog snijega od 1 cm odgovara količina oborine od približno 1 mm“ [22].



Slika 5: Raspodjela kišomjernih stanica na teritoriju RH (Izvor:[11]).

Brdski kišomjer koristi se u gorskim krajevima, u principu je isti kao i klasični, samo mu je površina otvora 500 cm², a postavlja se na visinu od 65 cm. Mjerenje brdskim kišomjerom je identično kao kod običnog kišomjera.

Totalizator je veliki tip kišomjera koji služi za prikupljanje oborina u razdoblju od pola do cijele godine. Obično se postavlja na teško dostupnim, nenaseljenim mjestima.

Sva tri tipa kišomjera spadaju u pluviografe i pomoću njih se ne može mjeriti konstantno intenzitet oborine, već služe kako bi se dobili podatci o prosječnoj visini padalina.

4.1.4. Ombograf ili pluviograf

Klasični ombografi: su instrumenti koji neprekidno bilježe količinu i trajanje svih vrsta oborine. Na temelju zapisa ombrografa moguće je odrediti početak, završetak, ukupno trajanje i jačinu oborine. Na gotovo svim meteorološkim postajama prikazanim na karti se nalazi Hellmannov ombograf (pluviograf) s grijanjem kako bi prikupljao podatke u svim vremenskim uvjetima. Ova vrsta ombrografa radi na principu plovka (plivača).

Automatski ombografi: dio su automatskog meteorološkog sustava ili samostalni mjerni uređaji koji obavljaju mjerenje količine oborine kontinuirano tijekom 24 sata. Svi podaci količine oborine arhiviraju se na medijima za računalnu obradu i dostupni su u realnom vremenu (svakih deset minuta) [22].

Zaključak o kišomjerima

Kišomjeri su osnovno sredstvo mjerenja oborina, kao takvi su najučestaliji i najrasprostranjeniji način na koji se mjeri količina oborine. Budući da se razvijaju još od prapovijesti do danas imamo vrste kišomjera koje odgovaraju većini uvjeta mjerenja oborine. Podaci skupljeni kišomjerom su točni, precizni i učestali te se koriste za kalibriranje svih ostalih metoda mjerenja oborine. Najveći problem kišomjera je mali opseg prostora koji pokrivaju, budući da kišomjer odgovara na stanje oborina u prostoru koliko je sam on sam, kišomjer nam ne daje informaciju o oborinama na većem području. Ta činjenica zahtjeva veći broj kišomjernih stanica, veće održavanje i veću logistiku za obradu i pohranu informacija, a to čini kišomjer nedostatnim za mjerenje oborina i prisiljava čovjeka na stvaranje i drugih tehnologija mjerenja oborine.

4.2. Vremenski radari

Vremenski radari (engl. Weather Radar, kraće WR) su vrsta radara namijenjena za mjerenje atmosferskih čimbenika, odnosno za mjerenje oborina. Vremenskim radarom je moguće mjeriti intenzitet oborina, kretanje oborine i vrstu oborine.

4.2.1. Način funkcioniranja radara

Radar se sastoji od pet glavnih dijelova. Odašiljač na radaru stvara elektromagnetske impulse. Antena te impulse odbacuje u atmosferu i kasnije ih prima. Antene se na radarima mogu okretati za 360 stupnjeva, kako ne bi bile limitirane samo na područje na koje su fiksno usmjerene. Prijemnik prima vraćene elektromagnetske signale te otklanja šumove. Radarski procesor služi za analizu i obradu primljenih signala. Nakon čitavog procesa, na kraju podatkovni sustav prikazuje rezultate korisniku.

Elektromagnetski val koji emitira antena radara sadrži sljedeće osnovne veličine: amplitudu, frekvenciju, valnu duljinu i polariziranost vala. Elektro magnetski impulsi se odašilju u pravilnim vremenskim intervalima, kada val udari u česticu oborine se izmjeni, rasprši i na osnovi povratnog signala se može iščitati vrsta čestice, obujam čestice, gustoća oborine u prostoru te njezino kretanje. „Snaga povratnog vala se može mjeriti po formuli:

$$I_p = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot r^4}$$

gdje je P_r primljena snaga, P_t odašiljena snaga, G pojačanje antene, σ radarski presjek i λ valna duljina odašiljača [23].“ Također korištenjem Dopplerovog efekta se prati kretanje oborina u prostoru.

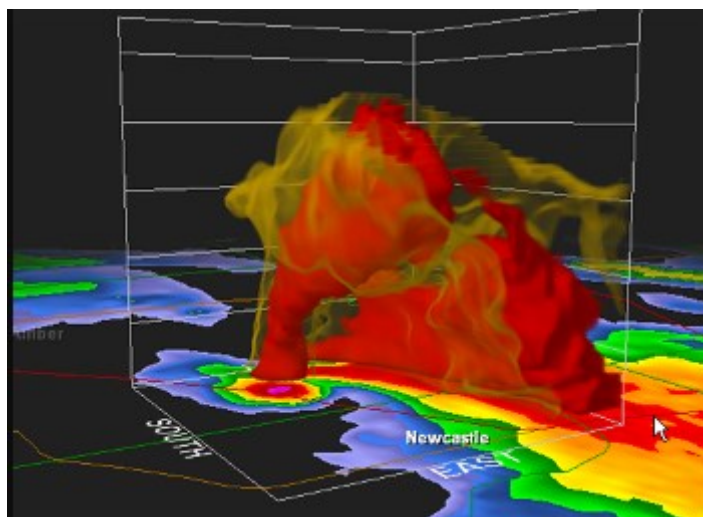


Slika 6: Shematski prikaz funkcioniranja radara (Izvor: [24]).

Suvremeni radari koriste i dvojnju polarizaciju. Elektromagnetski valovi se odašilju u dvije okomite ravnine, horizontalnoj te vertikalnoj. Na taj način se omogućuje točno određivanje vrste oborine i otkrivanje čestica u oblacima. Također tom tehnologijom se na bolji način otkrivaju šumovi u atmosferi koji ometaju elektromagnetske signale pri detekciji samih oborina [24].

4.2.2. Primjena radara

Radari su jedno od najmoćnijih alata za mjerenje oborina. Njima se praktički mogu odrediti sve veličine potrebne za analizu oborine, također imaju jako velik radijus djelovanja [25]. Radari mogu raditi mjerenja, ovisno o frekvenciji vala, na duljinama do tristo kilometara. Pomoću radara se mogu izraditi 2D i 3D prikazi oluja slika 7 koji omogućavaju da se vizualizira ponašanje padaline [23].



Slika 7: 3D prikaz oborina (Izvor: [25]).

Radari su između ostalog zbog svoje preciznosti i dalekometnosti signala najbolji način za predviđanje nevremena i poplava. Korelaciji više radara i ostalih mjernih instrumenata mogu stvarati sliku kretanja oborina u stvarnome vremenu [23].

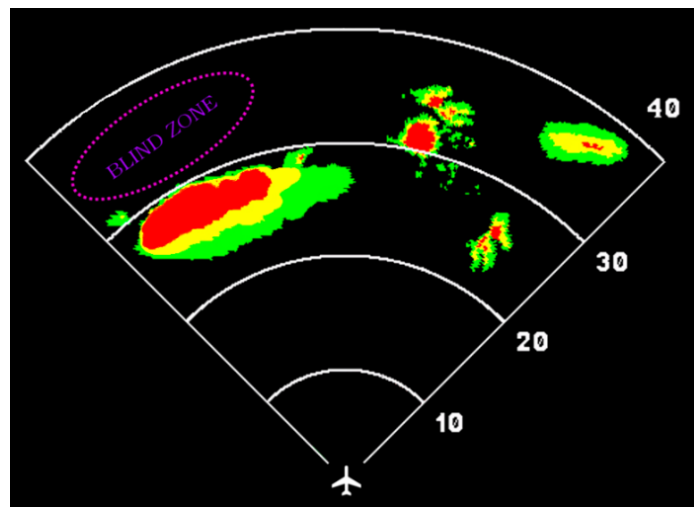
4.2.3. Radari u Hrvatskoj

Na teritoriju Republike Hrvatske trenutno se nalaze samo tri radara za mjerenje oborina. Njihov domet ne premašuje 250 km. Nalaze se redom na Puntijarki na Zagrebačkoj Gori, u Osijeku te na Bilogori. Njihova namjena je primarno u meteorologiji za određivanje

vremenske prognoze, te za poljoprivredu u svrhu obrane od grada. Važno je naglasiti kako su sami radari stariji od 25 godina te da je oprema i tehnologija zastarjela. Oni svakako ne mogu zadovoljiti potrebe Hrvatske, a ne možemo niti govoriti o zadovoljavanju standarda i mogućnosti koje suvremena tehnologija koje su moguće kod modernih radara. U Republici Hrvatskoj također postoji još pet manjih radara, ali njihova djelotvornost je minimalna. Oni datiraju još u 1957. godinu i osim lokalnog informiranja za zaštitu od tuče nemaju nikakav doprinos stvaranju meteorološke slike. U sklopu samog Državnog hidrometeorološkog zavoda (kraće DHMZ-a) postoji Radarski nacionalni centar (kraće RNC) koji sakuplja podatke s svih meteoroloških radara, međutim mreža radara U Republici Hrvatskoj nije na razini za stvaranje grafičkih prikaza na području cijele države. Važno je naglasiti da u priobalju nemamo niti jedan meteorološki radar i time je onemogućeno adekvatno vršenje mjerenja na Jadranskom moru što je za pomorstvo od izrazite važnosti. Međunarodne regulative propisuju da cjelokupni prostor Republike Hrvatske mora biti radarski pokriven. Važno je reći da postojeća mreža ne koristi dvojno polariziranje i da zbog tih razloga je u planu modernizacija iste. Unutar plana modernizacije se planiraju postaviti tri nova moderna radara na području priobalja te obnoviti dva postojeća u sjevernom dijelu. Na taj način bi bili zadovoljeni minimalni uvjeti za radarsku pokrivenost čitavog teritorija Republike Hrvatske [26].

4.2.4. Zaključak o radarima

Radari su svakako jedan od najboljih i najtočnijih alata za mjerenje svih vrsta oborina. Ovisno o tehnologiji koju posjeduju mogu mjeriti sve ključne segmente oborina: intenzitet, trajanje i volumen [25]. Također računalnim modeliranjem i kolaboracijom radarskih mreža i ostalih načina mjerenja oborina mogu se stvarati gotove karte koje omogućuju vizualan pregled stanja atmosfere. Međutim radari zahtijevaju visoku razinu poznavanja tehnologije, to znači da upravljanjem i održavanjem radara mogu manipulirati samo osposobljeni stručnjaci. Kada spojimo tu činjenicu i cijenu tehnologije dolazimo do zaključka da radari nisu nimalo pristupačan način mjerenja. Meteorološki radari zahtijevaju čitav nacionalni plan za stvaranje i održavanje radarske mreže, to obavezuje vladu da u svojim planovima i državnom proračunu osigura dovoljna sredstva kako bi radari uopće postojali te kako bi mogli obavljati svoju funkciju [28]. Također i sama tehnologija radara ima nedostatke kao što su smetnje u atmosferi koje ometaju elektromagnetske signale. Na primjeru 2D radarskog prikaza se jasno može vidjeti kako postoje zone koje radar ne može očitati slika 8 [27].



Slika 8: 2D prikaz vremenske radarske snimke zrakoplova (Autor: [27]).

Taj se problem može riješiti na način da se podatci dobiveni radarskim snimanjem upotpunjuju u i uspoređuju s podacima iz ostalih izvora kao što su sateliti, kišomjери i oni izvori koji će biti opisani u nastavku rada. Također problem kod radara je i dostupnost podataka s njih. „Pristup arhivama radarskih podataka je, nažalost, često ograničen nacionalnim politikama podataka koje je definirala nacionalna vlada i izvan je kontrole pojedinačnih meteoroloških službi [28].“

4.3. Disdrometar

Disdrometar je instrument koji se koristi za mjerenje veličine i brzine padalina, posebno kišnih kapi. Ovaj uređaj pruža detaljne informacije o distribuciji veličine kapljica, što je važno za razumijevanje različitih meteoroloških i klimatskih fenomena. Disdrometar koristi dva osnovna senzora za mjerenje. Optički senzori detektiraju kapljice. Optički senzori stvaraju snop lasera koji određuje veličinu kapljice u ovisnosti o vremenu koje kapljici treba da prođe. Mehanički senzori koriste fizičke mehanizme za detekciju i procjenu nekih svojstava kapi. Npr. mehanički sensor može mjeriti energiju kapi kiše prilikom udara kapi. Od dva tipa disdrometra optički je u značajno češćoj uporabi.

Istraživanje [29] je pokazalo da disdrometri nikako nisu pogodni za mjerenje količine oborina, budući da im je rasap podataka prevelik. Međutim disdrometri se niti ne koriste u te svrhe. Oni prije svega služe za detekciju i analizu kapi kiše. Odnosno glavna značajka koja se mjeri samim disdrometrima je distribucija veličine kapljice. „Pružajući znanje o distribuciji veličine

kapljica, instrument je pokazao veliki potencijal u radarskoj prilagodbi, praćenju refleksije i identificiranju ključnih izvora pogrešaka u radarskoj procjeni padalina [30].” Što će reći da je jedna od osnovnih zadaća disdrometra kalibracija ostalih uređaja za mjerenje svojstava čestica oborine.



Slika 9: 2D disdrometar(Izvor: [31]).

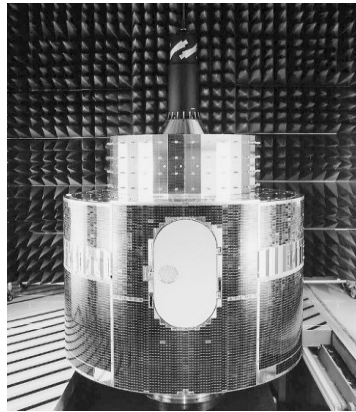
4.4. Meteorološki sateliti

Meteorološki sateliti (engl. Weather Satellite, kraće S) su uređaji koji se kreću u Zemljinoj orbiti. Orbitirajući oko Zemlje oni prikupljaju podatke o atmosferi Zemlje i svim meteorološkim čimbenicima, pa tako i oborinama. Meteorološki sateliti imaju širok opseg mogućnosti snimanja. To im omogućuju razne tehnologije kojima su opremljeni (infracrveni senzori, mikrovalni senzori, senzori vidljivog spektra...) Sateliti tako mogu mjeriti: vlagu u atmosferi, temperaturu površine Zemlje, slojeve oblaka, itd. Kao i ostali tehnologije meteorološki sateliti koriste se za praćenje promjene vremena, praćenje klimatskih promjena i predviđanje vremenskih ekstrema.

4.4.1. Podjela satelita

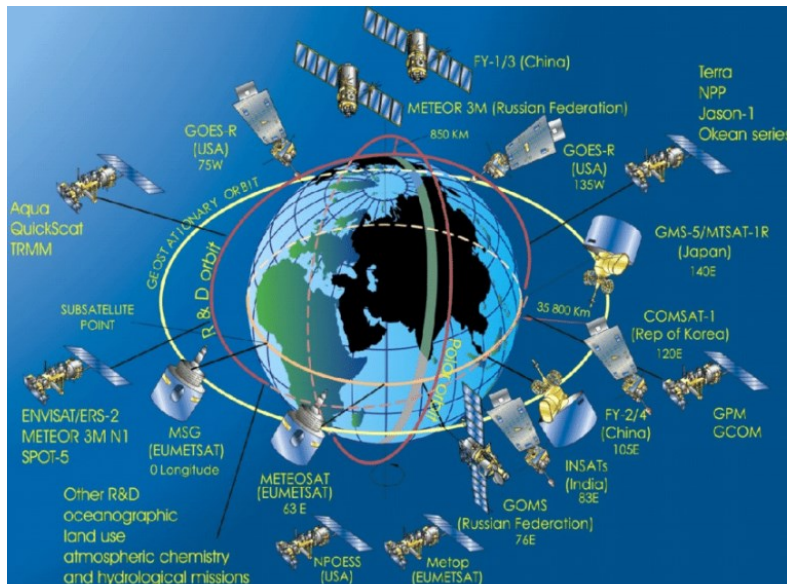
Geostacionarni sateliti su sateliti koji kontinuirano prate isto područje. Oni su stacionirani na visini od oko 36 000 kilometara iznad ekvatora. Budući da su statični, odnosno kreću se zajedno sa Zemljinom rotacijom, to znači da kontinuirano prate isto područje. Obzirom na njihovu statičnost mogu relativno dobro procijeniti gibanje oblaka i ostalih atmosferilija. Njihovi glavni nedostaci su slaba pokrivenost prema polovima i velika

udaljenost. Ovaj tip satelita služi i za primanje podataka iz ostalih izvora kao što su meteorološki baloni, plutače na morima i jezerima te meteorološke postaje koje su na nepristupačnim terenima. Najvažniji satelit ovoga tipa je Meteostat lansiran od Europske svemirske agencije. Prvi Meteostat je lansiran 1977. godine, a 2022. je lansiran Meteostat generacije 3 [32].



Slika 10: Meteostat 6 (Izvor: [32]).

Osim Meteostata Europske misije šalju i satelite kao što su sateliti Sentinel, ERS, Envisat i dr.) Sateliti polarne orbite su sateliti koji prolaze polarnom putanjom. Kreću se na visini od 800 do 1000 kilometara iznad Zemljine površine. U odnosu na geostacionarne satelite daju prikaze puno veće oštine i razlučivosti. Ovi sateliti su pogodni za područja koja ne pokrivaju geostacionarni sateliti i u korelaciji sa njima mogu dati potpuniju i točniju sliku Zemljine atmosfere i površine. Orbite satelita sa primjerima nekih od satelita su prikazani na slici 11.



Slika 11: orbite satelita (Izvor:[33]).

4.4.2. Tehnološka opremljenost satelita

Sateliti su opremljeni mnogim instrumentima i sensorima kako bi mogli odgovoriti na što više zahtjeva, tj. snimiti i obratit što detaljnije atmosferu i ono što se u njoj nalazi. Ovisno o opremi satelita on vrši mjerenja i snimanja za koja je namijenjen. Kvaliteta i suvremenost opreme satelita određuje kvalitetu snimki i samoga satelita.

Jedan od senzora na meteorološkim satelitima je infracrveni senzor. Budući da Zemljina površina, atmosfera, oblaci, svi oblici vode i prašina emitiraju infracrveno zračenje pomoću tih senzora se mogu odrediti karakteristike tih čimbenika atmosfere. Na primjer: pomoću infracrvenih senzora se može odrediti tip oblaka, jesu li od leda ili vode, veličina čestica, itd.

Senzori za snimanje vidljivog spektra su senzori koji su značajniji za satelite polarne orbite budući da su na manjoj udaljenosti i mogu dati detaljnije snimke. To su najčešće videokamere visoke rezolucije. Takvi senzori identificiraju oblake, njihova kretanja. Ovi senzori snimaju samo Sunčevo zračenje koje se odbija od oblaka ili Zemlje što znači da su funkcionalni isključivo u vremenu kada je područje snimanja obasjano Suncem, odnosno po danu.

Mikrovalni senzori su senzori koje sateliti koriste pomoću Zemaljskih stanica. Princip rada mikrovalova će biti objašnjen u sljedećim poglavljima. Pomoću mikrovalnih senzora se mjeri intenzitet oborine i oborine unutar samih oblaka [12].

4.4.3. Zaključak o meteorološkim satelitima

Meteorološki sateliti su tehnološki gledano najnapredniji mjerni instrument. Pomoću njih se može pokriti čitava Zemljina površina i praktično u realnom vremenu možemo dobiti prikaze kretanja oblaka na cijelom planetu. Pokrivenost satelitima omogućava komunikaciju ostalih mjernih sustava i satelita međusobno te na taj način značajno doprinose stvaranju meteoroloških slika i prognoza. Međutim sam satelit ne može vidjeti oborinu kao Zemaljski uređaji, nego s velike udaljenosti može vidjeti utjecaje oborine na površini, odnosno snimanjem oblaka pretpostaviti koje će utjecaje oborine napraviti [12].

Veliki problem satelita je njihova cijena. Sateliti kao tehnologija ovise, ne samo o nacionalnim, nego i međunarodnim zajednicama kao što su Europska Unija. Visoko sofisticirana tehnologija i zahtjevni projekti kao što su lansiranje satelita zahtijevaju višegodišnje pripreme i istraživanja, a nerijetko se ne mogu iznaći dovoljna sredstva za ostvarenje ideja i ciljeva. Tako možemo govoriti da su sateliti djelomično i oportunistički način mjerenja. „Na primjer, od mnogih znanstvenih satelita koji pružaju geofizička promatranja, samo nekoliko njih ima hidrologiju kao primarni cilj misije“ [34].

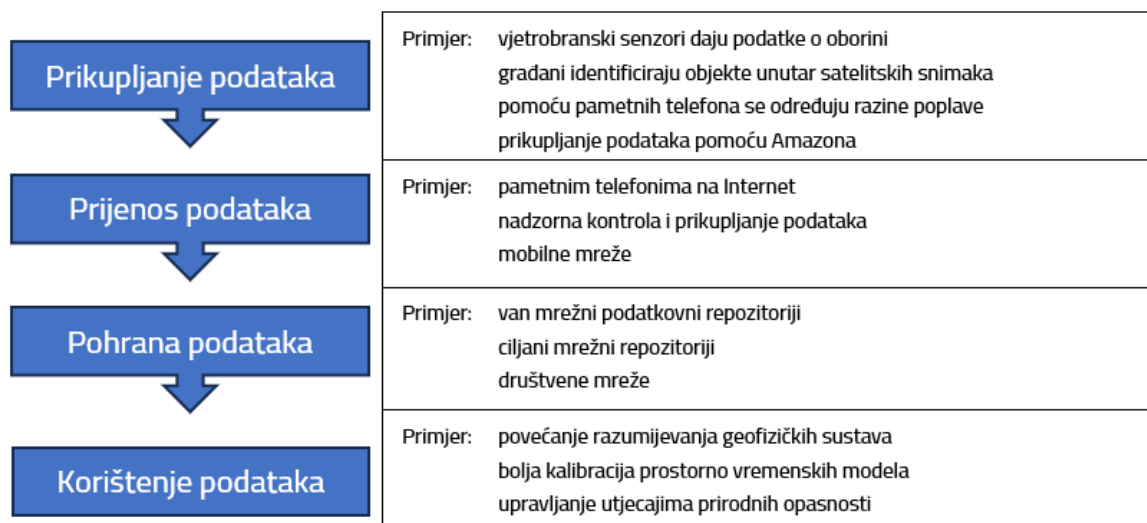
U vidu mjerenja samih oborina sateliti nikako nisu dostatan alat budući da njihovi senzori nisu niti namijenjeni za snimanje samih oborina, a oni koji jesu zbog velike udaljenosti ne mogu nam dati dovoljno točne podatke o intenzitetu, niti volumenu oborine. Zbog toga se sateliti svoj puni potencijal ostvaruju tek kada se koriste u interakciji s drugim tehnologijama mjerenja oborina i ostalih čimbenika atmosfere.

5. ALTERNATIVNI NAČINI MJERENJA OBORINA

Alternativni ili nekonvencionalni načini mjerenja oborina su nove tehnike mjerenja oborina koje se oslanjaju na općeniti tehnološki napredak i široku dostupnost tehnologije svakome pojedincu. Iz toga proizlazi masovna podrška za prikupljanje podataka o oborinama budući da svaki čovjek može posjedovati dostatnu tehnologiju za neku razinu mjerenja. Novi načini mjerenja oborina su oportunistički, što znači, da se oni oslanjaju na svima dostupne tehnologije koje se malim preinakama, odnosno korištenjem na adekvatan način mogu koristiti za potrebe mjerenja oborina.

5.1. MASOVNO SKUPLJANJE PODATAKA

Masovno skupljanje podataka (engl. Crowdsourcing) je način za skupljanje podataka iz svih mogućih mreža koje mjere podatke o padalinama. Kako navodi [35] masovna podrška je idejno bila način da se posao prikupljanja podataka izdvoji iz profesionalne sfere, koju su obavljali zaposlenici na građanstvo. Takvom metodom bi se zadatak prikupljanja podataka distribuirao na široko građanstvo što bi rezultiralo većom i količinom podataka i njihovim lakšim prikupljanjem. Danas, međutim, se masovna podrška smatra uključivanjem građana u znanost, ne samo prikupljanjem podataka već i stvaranjem vlastitih hipoteza. Nastavno na sve više rastući trend masovnih skupljanja podataka u gotovo svakom dijelu života, tako se i sve više znanstvene discipline oslanjaju na masovnu podršku. U posljednjih nekoliko godina, crowdsourcing je omogućen brzim razvojem informacijske tehnologije [36], koja je pomogla u prikupljanju podataka, prijenosu podataka i pohranjivanju podataka, što je sve potrebno kako bi se omogućilo korištenje podataka na učinkovit način, kao što je ilustrirano na slici 12.



Slika 12: Lanac masovnog prikupljanja podataka (izvor: [35]).

Mjerenja masovnih izvora se mogu pratiti u stvarnom vremenu, a pojava jeftinih senzora omogućuje uključivanje sve većeg broja građana u tu aktivnost.

U ovome poglavlju biti će prikazane neke odabrane platforme u Hrvatskoj i svijetu koje mogu biti korisne prilikom skupljanja podataka iz svih ranije navedenih načina i tehnologija. Upravo sve te tehnologije u suradnji s društvenim/masovnim bazama podataka omogućuju nam da mjerenje oborina dovedemo u sljedeću fazu razvoja.

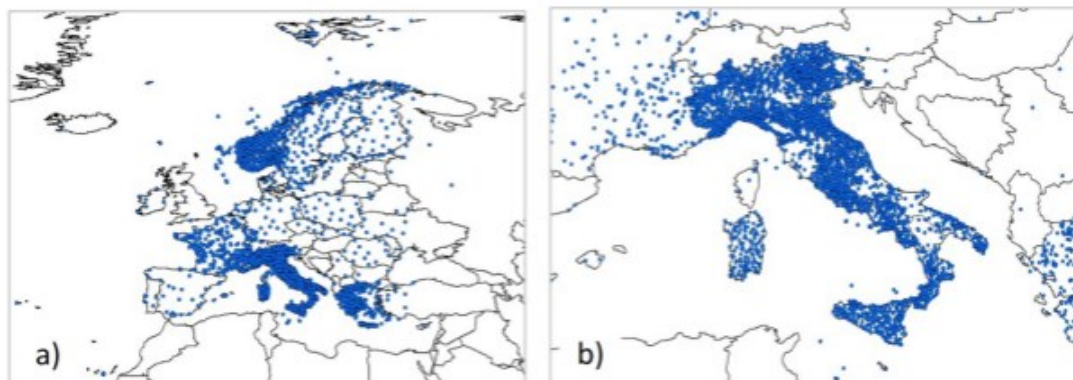
5.1.1. Platforme za masovno skupljanje podataka

U svijetu postoje razne platforme koje se bave masovnim skupljanjem podataka. Mogu biti određene namjenom, odnosno vrstom podataka koje mjere, lokacijom (Europa, Sjedinjene Američke Države, itd.), članovima (jesu li otvorene ili stručne), itd. Sve platforme imaju svoja pravila za pristupanje kao korisnik ili poslužitelj iste. Također one imaju ciljeve zbog kojih u uopće postoje, a ti ciljevi su nerijetko identični. Najčešći smisao platformi je davanje točnih i pravovremenih informacija i pristup podacima korisnicima. Također putem platformi korisnici se povezuju međusobno i stvaraju se baze za sticanje novih znanja i razvoj tehnologija. U ovom odjeljku će biti predstavljene četiri platforme na čijem primjeru će biti prikazan način funkcioniranja, pristupa te na kraju njihova svrha.

5.1.1.1. Meteonetwork

Meteonetwork [2] omogućuje prikupljanje meteoroloških podataka putem masovne podrške korisnika (en. Crowdsourcing). Masovna podrška je zapravo proces prikupljanja svih podataka, odnosno informacija od šire javnosti putem internetskih platformi. U smislu značaja za meteorologiju, ovo omogućuje da se amateri koji prate meteorološke događaje, pomoću svojih stanica umrežavaju i povezuju iste. Ta mogućnost nam pomaže da u trenutku možemo usporediti i pratiti padaline iz više izvora sa više područje te uspoređivati ista područja iz više izvora. Ove informacije mogu biti od velike važnosti za znanstvena istraživanja, lokalne zajednice i upravljanje resursima. Ova platforma omogućujući građanima da aktivno sudjeluju u prikupljanju i dijeljenju informacija skupljenih o oborinama i vremenu općenito. Ovaj sustav ima za cilj poboljšanje kvalitete i dostupnosti meteoroloških podataka, posebno u područjima gdje su službene meteorološke stanice rijetke ili apsolutno nedostupne. Meteonetwork za cilj ima povezati sve ljude koji se, što stručno, što amaterski žele baviti meteorologijom. Na taj način se stvara kohezija amateri i znanstvene zajednice što rezultira većim obujmom podataka koji se kasnije uspoređuju s konvencionalnim metodama. Na taj način se povećava svijest i potiče pojedinca na doprinos u odgovoru na sve što nam nose klimatske promjene i vrijeme općenito. Geografsko Područje Mreže na kojemu Meteontwork djeluje je zapravo beskonačno. On nam služi da masovna podrška svojim uređajima pokrije različita geografska područja (urbana, ruralna, itd.). Ta činjenica omogućava veću raznolikost, količinu, a nakon znanstvene analize i kvalitetu podataka.

Mreža se kontinuirano širi, a trenutna konzistencija uključuje razne tipove meteoroloških stanica, uključujući one koje mjere temperaturu, vlažnost, tlak, brzinu vjetra i oborine. Na primjer, korisnici mogu postaviti stanice s različitim sensorima, što omogućuje prikupljanje podataka o specifičnim vremenskim uvjetima na njihovom području.



Slika 13: Geografska raspodjela operativnih stanica u Meteonetworkovoj bazi podataka za Europu (a) i Italiju (b) (izvor [2]).

Meteonetwork postavlja smjernice po kojima će pojedinac instalirati svoje mjerne uređaje. One nam govore o nekim varijablama koje treba uzeti u obzir prilikom instaliranja sustava, npr. preporučene tipove lokacija (npr. udaljenost od zgrada, drveća i drugih prepreka) i raspored senzora. Na ovaj način se pokušava smanjiti količina pogrešnih podataka, što kasnije olakšava analizu istih. Mreža također koristi razne informatičke modele za obradu i pohranu podataka, uključujući WRF (Weather Research and Forecasting) model. Ovaj model omogućuje simulaciju vremenskih uvjeta i asimilaciju podataka prikupljenih putem Meteonetworka, što olakšava i poboljšava preciznost vremenskih prognoza. Naravno svi prikupljeni podatci Meteonetworka moraju proći kontrole kvalitete. Provjeravaju se jesu li podatci prikupljeni na način koji propisuju smjernice te se završnom analizom uspoređuju s onim podacima dobivenih konvencionalnim metodama i podacima drugih meteoroloških stanica.

Meteonetwork također nudi različite usluge, uključujući pristup podacima u stvarnom vremenu, interpolirane karte i analize vremenskih obrazaca. Ove usluge omogućuju korisnicima da prate lokalne vremenske uvjete i donose informirane odluke o aktivnostima na otvorenom, poljoprivredi ili upravljanju resursima. Također ti podaci omogućuju i suradnju svih čimbenika samog Meteonetworka.

Meteonetwork donosi ogroman iskorak prema uključivanju građana u prikupljanje meteoroloških podataka. Na taj način se kvaliteta i dostupnost informacija podiže na puno višu razinu u odnosu na one podatke kojima raspolaže samo znanstvena zajednica. Sustav omogućuje bolje razumijevanje klimatskih obrazaca i doprinosi znanstvenim istraživanjima. Ovaj rad naglašava važnost crowdsourcinga u meteorologiji i potencijal koji građani imaju u

prikupljanju podataka koji su ključni za vremensko prognoziranje i istraživanje klimatskih promjena. Neki primjer navedeni u [2] su:

- Mnogi korisnici postavljaju vlastite meteorološke stanice (u svojim dvorištima i dijele podatke putem Meteonetworka, omogućujući prikupljanje lokalnih podataka o vremenskim uvjetima koji bi inače bili nedostupni.
- Poljoprivrednici mogu koristiti podatke o oborinama i temperaturi prikupljene putem Meteonetworka kako bi optimizirali svoje navodnjavanje i planirali sjetvu, čime se povećava učinkovitost i smanjuje potrošnja vode.
- Integracija podataka iz Meteonetworka u WRF model omogućuje bolje predviđanje poplava i drugih ekstremnih vremenskih događaja, što može pomoći u pravovremenom upozoravanju i smanjenju šteta.

Ovi primjeri pokazuju kako Meteonetwork može imati utjecaj na lokalne zajednice, na taj način se omogućujući bolje upravljanje resursima i pripremu za ekstremne vremenske uvjete.

5.1.1.2. Pljusak.com

Pljusak.com [37] je meteorološka platforma koja pruža korisnicima razne informacije o vremenskim uvjetima, uključujući podatke o oborinama, temperaturi, vjetru i drugim meteorološkim parametrima. Platforma ima više aspekata, neke od njih su: prikaz vremenskih podataka, korištenje radarskih sustava, mobilna pristupačnost, društvene mreže, obrazovanje, itd.

Pljusak.com nudi detaljne informacije o vremenskim uvjetima za različite lokacije u Hrvatskoj. Korisnici mogu vidjeti trenutne uvjete, kao i prognoze za naredne dane. Platforma također uključuje interaktivne karte koje prikazuju radarske slike i oborinske podatke, koji omogućuju korisnicima da prate vremenske promjene u stvarnom vremenu.

Također platforma koristi radarske sustave za praćenje oborina, što omogućuje korisnicima da vide gdje se oborine trenutno nalaze i kakva je njihova intenzivnost u stvarnome vremenu. Korisnici mogu pregledavati animacije koje prikazuju kretanje oblaka i oborina, što pomaže u predviđanju vremenskih uvjeta.

Web stranica je optimiziran za mobilne uređaje, a korisnici mogu i skinuti aplikaciju za mobitel što omogućuje korisnicima da lako pristupe vremenskim podacima bilo kada gdje god im je dostupan pristup internetu.

Platforma ima aktivnu prisutnost na društvenim mrežama, gdje korisnici mogu dijeliti svoja iskustva i informacije o vremenskim uvjetima. Pljusak.com okuplja zajednicu meteorologa, entuzijasta i građana koji dijele svoje meteorološke podatke i iskustva.

Platforma nudi obrazovne resurse i savjete o vremenskim fenomenima, što pomaže korisnicima da bolje razumiju vremenske uvjete i njihovu dinamiku.

Podaci prikupljeni putem Pljusak.com mogu se koristiti u razne svrhe. Poljoprivrednici mogu koristiti vremenske podatke za planiranje sjetve i navodnjavanja, što može povećati prinos i smanjiti troškove. Korisnici mogu provjeriti vremenske uvjete prije aktivnosti na otvorenom, poput izleta, sportskih događaja, planinarenja ili drugih aktivnosti. Tijela za upravljanje krizama mogu koristiti podatke s Pljusak.com za pravovremeno reagiranje na ekstremne vremenske uvjete, poput poplava ili oluja.

Pljusak.com predstavlja vrijedan izvor meteoroloških informacija za korisnike u Hrvatskoj, omogućujući im pristup točnim i ažurnim podacima o vremenskim uvjetima. Kroz interaktivne karte, radarske sustave i angažman zajednice, platforma pomaže korisnicima da bolje razumiju i reagiraju na vremenske promjene [37].

5.1.1.3. Citizen Weather Observer Program

Citizen Weather Observer Program [38] (kraće: CWOP) je mreža privatnih elektroničkih meteoroloških stanica u glavnom stacioniranih u Sjedinjenim Američkim Državama, međutim na mrežu se spajaju stanice iz 150 država svijeta. Sudjelovanje u mreži omogućuje volonterima s računalo upravljanim meteorološkim stanicama da šalju automatizirane površinske vremenske opservacije Nacionalnoj meteorološkoj službi (NWS) putem Sustava za unos meteoroloških asimilacijskih podataka (MADIS). CWOP je izvorno osnovan od strane radio-amatera koji eksperimentiraju s paketnim radiom, ali sada uključuje i stanice povezane putem interneta, kao i stanice radio-amatera koje koriste automatski sustav izvještavanja (APRS). Od listopada 2017. godine, više od 13.000 stanica diljem svijeta redovito izvještava mrežu.

CWOP je javno-privatno partnerstvo s tri glavna cilja. Prvi cilj je prikupljanje vremenskih podataka koje doprinose svi pojedinci uključeni u mrežu. Za drugi cilj ima pružiti podatke vremenskim službama i državnim institucijama koje trebaju podatke za svoj rad. I posljednji od tri glavna cilja im je osigurati komunikaciju i dijeljenje informacija svih svojih sudionika kako bi imali način za provjeru i poboljšanje kvalitete svojih podataka.

Podaci prikupljeni putem CWOP-a koriste se za izradu vremenskih prognoza, a zatim se distribuiraju javnosti. Podaci prolaze kroz provjere konzistentnosti, a informacije se evaluiraju i ta evaluacija se objavljuje kako bi korisnici mogli pristupiti što pouzdanijim podacima. Promatranja prikupljena putem CWOP-a koriste brojne organizacije, od Nacionalne meteorološke službe do Nacionalnog centra za predviđanje okoliša i Ministarstva domovinske sigurnosti u Sjedinjenim Američkim Državama [38].

5.1.1.4. Weather Underground

Weather Underground (Wunderground) [39] je jedna od najpoznatijih platformi za vremenske informacije i meteorološke podatke, koja se ističe svojom snažnom zajednicom korisnika i osobnih meteoroloških stanica. Osnovana 1995. godine, platforma je prvotno započela kao projekt za dijeljenje vremenskih podataka putem interneta, a danas je postala ključni izvor za vremenske prognoze, analize i podatke o vremenskim uvjetima. Ključna stavka Weather Underground-a je njegova mreža meteoroloških stanica. Ove stanice, koje su često u vlasništvu entuzijasta i građana, pružaju podatke u stvarnom vremenu o različitim meteorološkim parametrima, uključujući: temperaturu, vlažnost, brzinu i smjer vjetera, količinu oborina, atmosferski tlak. Ova mreža omogućuje prikupljanje podataka s lokalne razine, što je posebno korisno u područjima gdje su službene meteorološke stanice rijetke ili nedostupne.

Weather Underground nudi interaktivne karte i grafove koji omogućuju korisnicima da vizualiziraju vremenske uvjete u stvarnom vremenu. Korisnici mogu pregledavati podatke prema različitim kriterijima, kao što su: lokacija (pretraživanje podataka prema gradu ili regiji), vrijeme (pregled povijesnih podataka o vremenskim uvjetima), određeni parametri (analiza određenih vremenskih uvjeta, kao što su ekstremne temperature ili oborine)

Za postati članom Weather Undergrounda treba ispuniti nekoliko koraka. Korisnici mogu registrirati svoje osobne meteorološke stanice na Weather Underground-u. Proces registracije zahtjeva kupnju i instalaciju meteorološke stanice. Korisnici kupuju meteorološke stanice koje su kompatibilne s platformom, informacije za to se nalaze na stranicama. Nadalje korisnici moraju registrirati svoju stanicu. Nakon instalacije, korisnici se registriraju na Internet stranici Weather Underground, unoseći podatke o svojoj stanici: lokaciju, tip uređaja i druge bitne informacije. Kada su svi koraci propisno zadovoljeni stanice su namještene da automatski šalju podatke u stvarnom vremenu omogućujući korisnicima da prate svoje lokalne uvjete i dijele podatke s drugima.

Podaci prikupljeni putem Weather Underground-a koriste se u različite svrhe. Nacionalne meteorološke agencije, uključujući Nacionalnu meteorološku službu Sjedinjenih Američkih Država, koriste podatke za izradu točnijih prognoza. Podaci se koriste u znanstvenim istraživanjima i obrazovnim programima za proučavanje klimatskih promjena i vremenskih obrazaca. Tijela za upravljanje krizama koriste podatke za pravovremeno reagiranje na ekstremne vremenske uvjete, poput poplava ili oluja.

Weather Underground također potiče interakciju među korisnicima. Platforma omogućuje korisnicima da dijele svoja iskustva, postavljaju pitanja i razmjenjuju informacije putem foruma i društvenih mreža. Ova zajednica meteoroloških entuzijasta doprinosi razvoju znanja o vremenskim uvjetima i potiče sudjelovanje u meteorološkim aktivnostima.

Weather Underground predstavlja značajan alat za prikupljanje i dijeljenje meteoroloških podataka, omogućujući korisnicima da bolje razumiju i prate vremenske uvjete u svojim lokalnim zajednicama. Kroz svoju mrežu osobnih meteoroloških stanica, interaktivne alate i zajednicu entuzijasta, Weather Underground igra ključnu ulogu u modernoj meteorologiji i pruža važne informacije za svakodnevni život, istraživanje i upravljanje resursima.

5.1.2. Zaključak o masovnom skupljanju podataka

Masovno skupljanje podataka o oborinama je svakako inovativna metoda koja doprinosi stvaranju meteoroloških prognoza u pravcu približavanja te grane znanosti svima. Ovaj način skupljanja i analize podataka omogućuje bilo kome da sudjeluje u kreiranju podataka i da se služi istima. Najveći problem masovnih podataka je količina dobivenih rezultata i njihov mogući nesrazmjer. Taj problem se rješava normiranjem svih aspekata koji su potrebni za pristupanje bazama podataka. Pravila pojedinih platformi moraju točno odrediti načine i tehnologije prikupljanja rezultata. Svaka jedinica koja prikuplja podatke i sudjeluje u stvaranju meteoroloških slika mora biti točno definirana. Stručnjaci koji drže platforme za razmjenu podataka moraju pratiti svaki korak svakoga pojedinca, od instaliranja osobnih postaja preko analize podataka do stvaranja meteoroloških slika i prognoza. Definicija masovnog skupljanja podataka je da se podatci dobivaju od nezavisnih pojedinačnih izvora, međutim bez upliva i kontrole stručnog elementa takvi podatci mogu biti pogrešni što bi dovelo do toga se stvaraju pogrešne meteorološke slike. Stoga sljedeći korak u unaprjeđenu ovakvog načina prikupljanja podataka je veća implementacija profesionalne zajednice i analiza podataka dobivenih konvencionalnim načinom zajedno s masovnim pristupom. Jedna od velikih prednosti masovnih platformi je omogućavanje zajednici neprofesionalnih pojedinaca, koji se bave meteorologijom, da povezuju izmjenjuju vlastita iskustva. Budući da

su takve platforme otvorene za sve pristup podacima je dostupan svima. Na taj način čitava zajednica: poljoprivreda, turizam, obrazovanje i ostale imaju benefit praćenja meteoroloških zbivanja u stvarnome vremenu. Nažalost, politički gledano to ne odgovara svima jer takve su platforme u glavnom neprofitne što može dovesti do odvajanja stručnog segmenta od istih i time bi ova inovativna metoda izgubila svoju vrijednost i čitav potencijal koji pruža.

5.2. Osobne meteorološke stanice

Osobne meteorološke stanice (en. Personal Weather Stations, kraće PWS) su moderan način za praćenje i analiziranje vremenskih uvjeta na lokalnoj razini. Razvoj tehnologije i sve veća dostupnost aparata i tehnologija običnom čovjeku omogućili su da meteorologija postane bliža svakome. Na ovaj način se mreža PWS-a razvija i širi sve više jer se interes za meteorologiju povećava kod običnih građana. Na primjeru države Texas u Sjedinjenim Američkim Državama možemo vidjeti da se između 2016 i 2019. količina PWS-a povećala s 0,06 na 0,24 PWS na km² [5]. Svaki čovjek koji za sebe mjeri meteorološke uvijete lokalno doprinosi i široj znanstvenoj zajednici dijeleći te podatke korištenjem raznih platformi koje će biti opisane u sljedećim poglavljima. To omogućuje znanstvenoj zajednici još bolji pregled meteoroloških promjena i predviđanje klime na bazi velike količine podataka koje mogu ponuditi PWS. Prema Fencl- u [40] podatci prikupljeni preko PWS-a su usporedivi s onim iz konvencionalnih meteoroloških mjerenja .



Slika 14: Osobna meteorološka stanica (izvor: [41]).

5.2.1. Dijelovi osobnih meteoroloških stanica

Senzori temperature mjere temperaturu. Moraju biti zaštićeni od izravnog sunčevog utjecaja kako bi što točnije očitavali temperaturu zraka.

Senzori vlage imaju sonde koje mjere promjenu vlage u zraku.

Barometri mjere promjenu tlaka zraka.

Kišomjeri su osnovna oprema PWS-ova. PWS-ovi su u glavnom opremljeni kišomjerima s cilindrom za mjerenje ili kišomjerima s klackalicom. Budući da su PWS-ovi osobne stanice pojedinca sukladno tome koriste i razinu tehnologije koja je dostupna svima.

Anemometri služe za mjerenje brzine i smjera vjetra.

Svaki PWS može sadržavati i neke dodatne senzore za razna mjerenja (UV zračenja, vlažnosti tla, itd.) i ne mora sadržavati neki od navedenih. Naravno što više senzora sadržava i što su oni precizniji podaci koje dobivamo će biti točniji i uporabljiviji za analizu [40].

5.2.2. Korištenje osobnih meteoroloških stanica

Osobne meteorološke stanice prikupljaju podatke u redovitim intervalima. Ovi podaci mogu se prikazivati na digitalnim konzolama ili se mogu slati na računala i pametne telefone putem bežičnih veza. Mnogi moderni modeli omogućuju korisnicima da prate vremenske uvjete u stvarnom vremenu i analiziraju povijesne trendove. Osim lokalne upotrebe, podaci prikupljeni s PWS mogu se dijeliti putem raznih platformi (Citizen Weather Observer Program (CWOP), Weather Underground, itd.). Ove platforme omogućuju korisnicima da doprinosi širem meteorološkom znanju i pomažu u unapređenju vremenskih prognoza. Također više o ovim platformama će biti napisano u sljedećim poglavljima.

Na primjeru zaštite od poplava u Sjedinjenim Američkim Državama možemo vidjeti učinke PWS-a. U ruralnim dijelovima gdje ne živi veliki broj ljudi PWS služi za popunjavanje rupa u mjerenjima oborina koje nude vladine agencije. Sam čin instalacije PWS-a u tom slučaju uključuje pojedinca u aktivno sudjelovanje u zaštiti od poplava. Na taj način ne samo da dijeli informacije i pospješuje komunikaciju s vlastima, nego i sam postaje čimbenik koji odlučuje u načinu zaštite na području na kojem se nalazi [5].

5.2.3. Zaključak o osobnim meteorološkim stanicama

PWS kao jedna od tehnologija masovne podrške može biti od velike pomoći znanstvenoj zajednici. PWS-ovi su vrlo pogodni za područja na kojima nemamo pristup konvencionalnih

načina mjerenja oborina, to su najčešće ruralna, rijetko naseljena područja. Nerijetko PWS-ovi mogu poslužiti i u urbanim dijelovima u kojima konvencionalne metode zbog gustoće građevina nisu u mogućnosti vršiti mjerenja na zadovoljavajući način [5]. Međutim: PWS-ovi zahtijevaju iznimnu razinu opreza. Budući da je svaki PWS postavljen od pojedinca mjerodavna tijela moraju biti na oprezu kada koriste podatke. Podatci prikupljeni ovom metodom mogu bit pogrešni. Razlog tome može biti interes pojedinca da njima manipulira ili da su uređaji krivo kalibrirani, odnosno nedovoljne kvalitete. Takvi podatci dovode do velikih odstupanja u prikazima, ne samo oborina nego čitave meteorološke slike. Tim načinom znanstvenoj zajednici stvaramo više štete nego koristi.

Moj stav oko uporabe PWS-a je da bi on trebao biti zakonski striktno reguliran te da bi državna tijela morala vršiti redovite provjere istih. Međutim to nas opet dovodi do problema isplativosti samih PWS-ova jer kada bi uračunali sve troškove od: postavljanja, održavanja i kontrole PWS-ova, a ranije rečeno u ruralnim dijelovima koji sami po sebi ne zahtijevaju hidrološku aktivnost kao naseljena područja upitna je isplativost.

Svakako sve platforme koje prihvaćaju podatke masovnih izvora moraju jasno naznačiti koji je podatak iz kojeg izvora i koliko pouzdan. Mjerodavna državna tijela stoga moraju uzimati u obzir samo one podatke za koje mogu biti sigurna da su validni. U tom smisli PWS-ovi mogu biti dobar način pomoći za prikupljanje podataka, ali svakako mislim da ne može zamijeniti konvencionalne metode.

5.3. Komercijalne mikrovalne veze

Razvojem mobilnih telekomunikacijskih sustava sve je više infrastrukture koja sadrži mikrovalne odašiljače []. Obzirom na to, naročito u urbanim dijelovima mreža odašiljača postaje sve gušća, naprednija (5G, uskoro 6G tehnologija) i dostupnija za ostale znanstvene discipline. Sredinom dvadesetog stoljeća otkriveno je da oborine imaju velik utjecaj na elektromagnetske valove. Shodno tome znanstvenici koji se bave hidrološkim mjerenjima su zaključili da bi telekomunikacijske odašiljače mogli koristiti za mjerenje količine oborine. Komercijalne mikrovalne veze (en. Commercial Microwave Links, kreće CMLs) su oportunistička metoda mjerenja oborina pomoću koje se dobiva informacija o količini padalina, intenzitetu i trajanju na određenom području [40].

5.3.1. Način funkcioniranja komercijalne mikrovalne veze

Mikrovalne komercijalne veze funkcioniraju na principu odašiljanja i primanja mikrovalova. Od jedne fiksne točke (odašiljača) mikrovalovi se odašilju prema drugoj fiksnoj točki (prijemniku). Bežične komunikacije koriste elektromagnetske valove koji se mogu širiti u slobodnom prostoru za prijenos podataka slika 15. Mikrovalovi se odnose na elektromagnetske valove frekvencije 300 MHz–300 GHz [42], tj. valne duljine 1 mm – 1 m. Mikrovalovi se dalje mogu podijeliti na decimetarske valove, centimetarske valove i milimetarske valove. Obično okrugle usmjerene antene imaju jače karakteristike fokusiranja snopa nego pravokutne višesmjerne antene. Komunikacijska veza između dvije takve usmjerene antene naziva se mikrovalna povratna veza ili skraćeno mikrovalna veza. Odnosno, kada mikroval poslan s jednog CML-a udari u česticu oborine on se rasprši, skrene, smanji intenzitet ili ga čestica apsorbira. Takav izmijenjen mikroval dolazi do prijemnika i iščitavanjem promjene vala možemo aproksimirati količinu padalina na području koje promatramo CML-om.



Slika 15: Prikaz funkcioniranja elektrovalova (Izvor: [43]).

Izmijenjen mikroval naziva se još prigušenim mikrovalom, a određuje ga specifično prigušenje k [dB/km].

$$k = aR^b$$

R označava intenzitet oborine [mm/h], dok su a i b funkcije frekvencije mikrovalnog signala, polarizacije i distribucije veličine čestica kiše [44].

5.3.2. Korištenje komercijalne mikrovalnih veza

Komercijalne mikrovalne veze su veoma pogodne za mjerenja u urbanim područjima. Budući da zbog specifične topografije gradova, gustoće građevina i onečišćenja zraka sitnim česticama nije moguće nad gradovima vršiti mjerenja radarima ili satelitima, a također gradovi nisu pogodni niti za kišomjerne stanice, CML svoju najbolju primjenu može ostvariti upravo u urbanim dijelovima. Guste mreže odašiljača koji su postavljeni na krovovima zgrada, dimnjacima ili stupovima mogu komunicirati međusobno. Svaki CML može na određenoj duljini slati mikrovalove drugom CML-u te zajedno mogu generirati karte padalina. Također CML-ovi su pogodni i za ruralna i teško dostupna područja na kojima održavanje drugih tipova uređaja za mjerenje oborina nije isplativo.

„Oborina mjerena pomoću CML-a ima široku perspektivu primjene u radarskoj korekciji prigušenja kiše, simulaciji gradskog otjecanja oborina, predviđanju protoka odvodnih cijevi i upozorenju na bujične poplave.“ [45]. S jedne strane, mjerenje temeljeno na CML-u pruža novi izvor podataka o oborinama za hidrološka istraživanja, a s druge strane, rezultati hidrološke primjene mogu potvrditi učinkovitost mjerenja oborina temeljenog na CML-u. Primjena CML-a prati i razvoj umjetne inteligencije, odnosno pomoću strojnog učenja se sve više razvija tehnologija koju pružaju CML-ovi. Strojno učenje odnosno razni algoritmi služe za prepoznavanje signala CML-ova na osnovu kojih mogu razlikovati tipove čestica oborina te prepoznavanje obrazaca unutar oborina pomoću kojih mogu predviđati događaje.

5.3.3. Zaključak komercijalnim mikrovalnim vezama

CML-ovi imaju veliki potencijal u budućnosti. Njihova napredna tehnologija svakako nadopunjuje konvencionalne izvore podataka o mjerenjima oborina. CML-ovi kao alat mjerenja oborina su čak pogodniji za praćenje padalina u trenutku, kratkoročno predviđanje budućih događaja i upozorenja na ekstremne situacije. Međutim sva ta mjerenja nisu još dosegla svoj puni potencijal. Tome doprinosi nagomilanost i nedostupnost podataka. Budući da CML-ovi koriste komercijalne telekomunikacijske sustave nije uvijek jednostavno dijeliti podatke s njih. Zbog toga bi se trebala izgraditi ciljana oprema za mikrovalnu vezu koja bi mogla analizirati pogreške u prikupljenim podacima i na taj način povećati točnost informacija o oborinama dobivenih CML-om. Nadalje kada se podatci CML-ova dijele njihovo iščitavanje uvelike ovisi o računalima, algoritmima i umjetnoj inteligenciji koja iz njih može točno iščitati ono bitno. Odnosno ti sustavi bi trebali prepoznati sve šumove signala kako bi rezultati mjerenja bili točni. Na kraju valja zaključiti kako su tehnologije CML-a još u

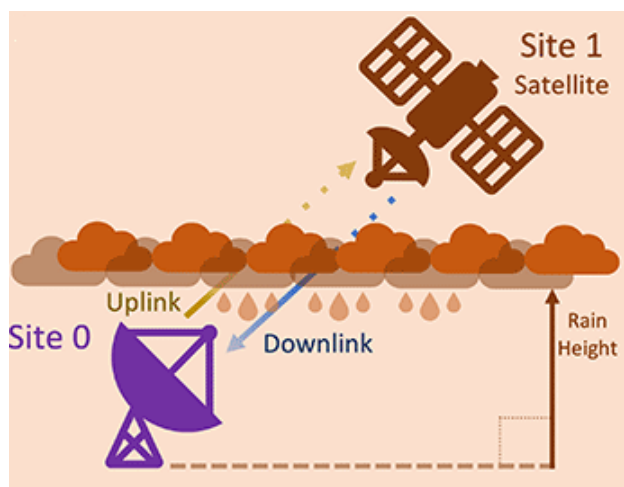
začetcima i kako suradnjom više znanstvenih disciplina tu tehnologiju treba podići na višu razinu. Za to su neophodni ljudi koji poznaju telekomunikacijske tehnologije, fizičari i oni koji se bave mjerenjem oborina, odnosno meteorolozi i hidrolozi.

5.4. Satelitske mikrovalne veze

Satelitske mikrovalne veze (en. Satellite Microwave Links, kreće SML) su još jedan od alata za oportunističko mjerenje oborina. Kao što je već napomenuto u poglavlju o meteorološkim satelitima, oni koriste mnoge tehnologije snimanja površine Zemlje i njezine atmosfere. Tako koriste i mikrovalove po sličnom principu na koji se koristi i na Zemlji.

5.4.1. Način funkcioniranja satelitske mikrovalne veze

Na satelitima koji su uglavnom namijenjeni za komunikacijske tehnologije interneta i televizije SML-ovi se mogu koristiti i za mjerenje oborina. Jednako kao i ranije navedeni CML-ovi, SML-ovi svoja očitavanja rade na bazi slabljenja i promjena mikrovalova [36]. Za razliku od CML-ova koji rade na principu Zemlja – Zemlja (odašiljač i prijemnik su na Zemlji), SML-ovi odašilju signale sa satelita koji orbitiraju oko Zemlje na prijemnik koji je na Zemlji i obrnuto. Značajna razlika u funkcioniranju SML-a u odnosu na CML je u tome što zbog kretanja satelita u odnosu na zemaljsku bazu prilikom prikupljanja podataka moramo voditi računa o promjeni položaja satelita. Iz istog razloga mikroval između satelita i Zemaljske stanice se kreće u ravnoj liniji, ali kosom putanjom u odnosu na Zemlju.



Slika 16: Shematski prikaz rada SML-a (Izvor: [40]).

SML-ovi većinu podataka o oborinama dobivaju na „visini kiše“ (en. Rain height). To je visina iznad površine zemlje na kojoj sve oborine postaju tekuća kiša, odnosno visina na kojoj je temperatura 0°C.

5.4.2. Zaključak o satelitskim mikrovalnim vezama

SML-ova najveća prednost je pokrivenost velikog područja i mogućnost komunikacija satelita sa puno više Zemaljskih postaja i obrnuto, komunikacija jedne zemaljske postaje s više satelita. Također moguća je komunikacija samih satelita međusobno. Pod pojmom komunikacija podrazumijevam da se mjerenja mikrovalovima mogu vršiti između navedenih točaka. Te mogućnosti satelita omogućavaju vršenje mjerenja u ruralnim i teško dostupnim područjima. Međutim informacije dobivene SML-ovima su zbog velike udaljenosti i ometanja unutar same atmosfere često netočne, nepotpune ili se iz njih jednostavno ne mogu iščitati valjani podatci. Za SML tehnologiju, zbog velike brzine promjene položaja satelita u odnosu na odašiljače i prijamnike na tlu, puno su pogodniji geostacionarni sateliti od onih koji mijenjaju svoj položaj u odnosu na Zemlju. Na kraju sama tehnologija SML-ova je izrazito skupa, pa se koriste već postojeći sustavi na satelitima koji nisu podobni za mjerenje oborina u dovoljnoj mjeri. Zbog toga podatci koje daju su vrlo često netočni zbog smetnji unutar atmosfere (gusti oblaci, ledeni oblaci, ostale pojave...) pri mjerenjima. Također SML-ovi imaju i problem sa dijeljenjem informacija jer podatci o oborinama dobiveni mjerenjima moraju proći telekomunikacijske sustave, a ti sustavi nisu namijenjeni za obradu tih podataka.

6. USPOREDBA KONVENCIONALNIH I NEKONVENCIONALNIH METODA MJERENJA OBORINA

U ovome poglavlju biti će prikazani rezultati pretrage WOS baze podataka za odabrane ključne riječi vezane uz nekonvencionalne metode mjerenja kako bi se dao Dodatno će biti sažeto prikazano koju vrstu podataka nam pružaju ranije objašnjene metode te koje su njihove prednosti i nedostaci kada ih međusobno usporedimo.

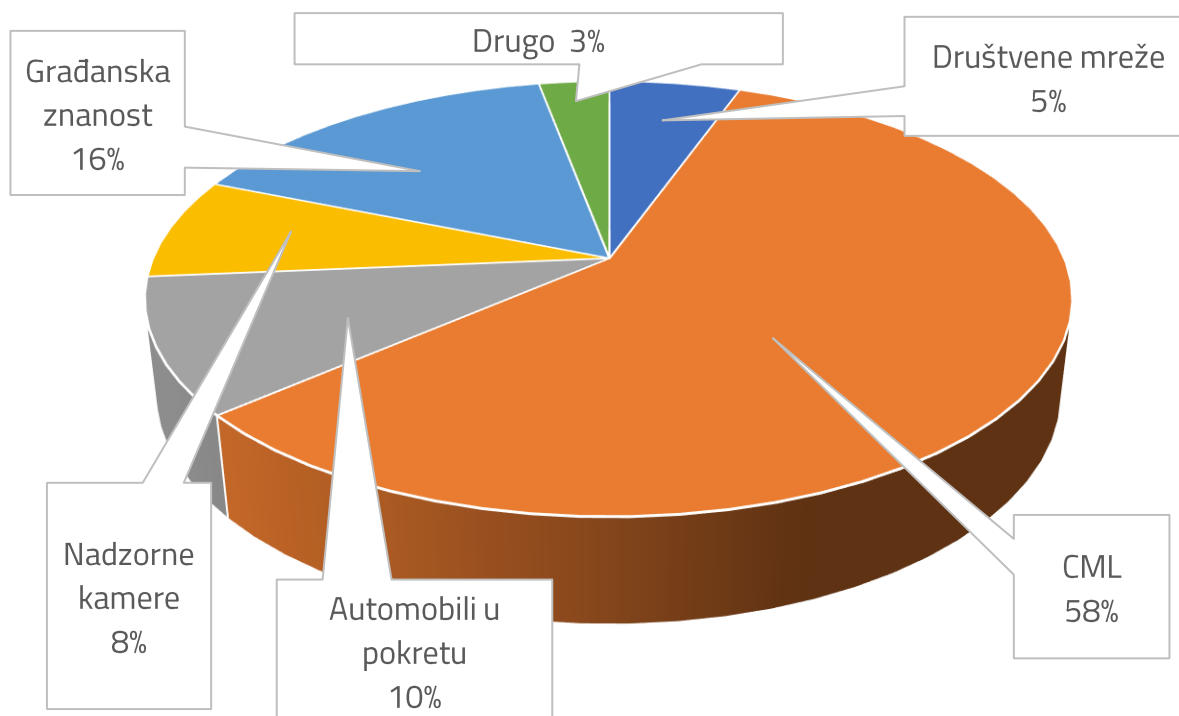
6.1. REZULTATI PREGLEDA WOS BAZE PODATAKA

Rezultati pretrage WOS baze podataka prema odabranim ključnim riječima prikazani su u tablici 1. Cilj pretrage je bio detektirati pregledni radove koji se bave nekonvencionalnim metodama mjerenja oborina prikazanim u ovom radu kako bi se mogao dati pregled literature i dati usporedbe metoda te smjernice za daljnji razvoj metoda. Ključne riječi (uz uključeni filter za pregledni tip rada) te detektirani radovi su u tablici 1.

Tablica 1: Rezultati pretrage WOS baze podataka prema odabranim ključnim riječima

Autor (godina)	Naslov preglednog rada	Ključne riječi pretrage	Fokus preglednog rada
Wang i sur. (2023) [13]	Traditional and Novel Methods of Rainfall Observation and Measurement: A Review	“precipitation” AND “crowdsourcing”	Pregled stanja suvremenih tehnologija mjerenja oborina
Belay i sur. (2022) [7]	Merging Satellite Products and Rain-Gauge Observations to Improve Hydrological Simulation: A Review	“precipitation” AND “crowdsourcing” OR “precipitation measurements” AND “flood”	Hidrološke simulacije dobivene satelitskim snimkama i kišomjerima
Chwala C., Kunstmann H (2019.) [46]	Commercial microwave link networks for rainfall observation: Assessment of the current status and future challenges	“precipitation” AND “commercial microwave link”	Nadopunjavanje kišomjera i radara podatcima CML-a
Dunkerley D (2023.) [47]	Recording Rainfall Intensity: Has an Optimum Method Been Found?	“precipitation” AND “commercial link”	Usporedba 15 metoda mjerenja oborine
Tapidor FJ i sur. (2012.) [48]	Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications	“precipitation” AND “satellite microwave link,,	Podatci dobiveni satelitima, numeričkim modelima i mjerenjima s tla

Pregledom radova je dalje izdvojen pregledni rad od Wang [13] kao mjerodavni za pregled smjernice prikazanih u poglavljima u nastavku. Cilj navedenog rada je bio dati pregled pristupa i istraživanja mogućnosti mjerenja oborina u hidrološkom kontekstu te je na temelju pregleda 239 objavljenih radova utvrđeno da su istraživanja na navedenu temu većinom provedena u razvijenim zemljama (npr. Nizozemska, Izrael, Kina, Njemačka, SAD, Švicarska, Francuska, Južna Koreja, Italija, Češka su zemlje s objavljenih 194 rada, odnosno 81% radova) te je prikazan pregled koncepata zastupljenih u radovima.



Slika 17: Udio novih metoda mjerenja padalina u pregledanim publikacijama (izvor: [13]).

6.2. USPOREDBA METODA MJERENJA OBORINA I NIJOHVI NEDOSTATCI

Primjena modernih načina mjerenja omogućuje odrediti trajanje oborine, prisutnost oborine, i njenu frekvenciju. Ovisno o metodi mjerenja možemo dobiti informacije o oborini prikazano u tablici 2. Ove informacije nam omogućuju pratiti hidrološke procese, i njihova pravila. Na bazi dobivenih podataka predviđaju se poplave, sustavi odvodnje i izrađuju se simulacije istih. Sumarni pregled i usporedba metoda mjerenja oborina prema prostornom dosegju mjerenja, učestalosti ažuriranja podataka, vrsti mjerenja te njihovim nedostacima prikazan je u Tablici 2

Ovisno o tipu kišomjeri precizno mjere volumen oborine. Ukoliko se radi o kišomjerima tipa pluviografa mogu mjeriti i intenzitet oborine budući da se promjena volumena bilježi u kratkim vremenskim intervalima. Kišomjer je najjednostavnija metoda mjerenja oborine, stoga većina kišomjera ne prepoznaje vrstu padaline, nego ju sam promatrač mora evidentirati. Većina kišomjera sakuplja krute oborine i tek kada se one otope daju volumen vode iz njih. Kišomjeri su izrazito točan način mjerenja, ali su limitirani područjem mjerenja budući da količinu oborina mjere isključivo u jednoj točki neposredno iznad tla.

Radari za mjerenje oborina mogu izmjeriti gotovo sve što je vezano uz oborine. Radari tako mjere volumen oborine, učestalost, intenzitet te prepoznaju tip oborine. Radari također mogu evaluirati oborine na visini od tla do nekoliko kilometara te im je radijus dosega između 100 i 300 kilometara.

Meteorološki sateliti snimaju čitavu atmosferu, međutim ne mjere samu oborinu već izračunavaju njezinu akumulaciju na tlu. Slike i prikazi satelitskih snimki se mogu koristiti za raspoznavanje određenih pojava kao što su: gustoće oblaka, prisutnost oborine, kretanje oborine, međutim sam satelit procjenjuje volumen oborine tek nakon što oborina padne na sliv.

Komercijalne mikrovalne veze u prosjeku mogu mjeriti na udaljenosti od 10 do 30 kilometara, ukoliko su uvjeti povoljni signal nam može davati informacije na udaljenostima od 50 kilometara. CML-ovi mjere do visine od desetak metara iznad tla. CML-ovi se u načelu mogu koristiti za mjerenje svih komponenta oborine, međutim istraživanje u radu „Comparison of CML Rainfall Data against Rain Gauges and Disdrometers in a Mountainous Environment“ [3] je pokazalo da CML-ovi imaju značajna odstupanja prilikom mjerenja visine oborine i tek da su povoljni prilikom prepoznavanja oborine. Toj činjenici doprinosi sama obrada podataka budući da količinu podataka koja se dobiva mikrovalovima ne možemo obraditi realnom vremenu u kojem CML-ovi rade mjerenja. Tako da se korištenje CML-ova obično koriste vremenski okviri te se podatci obrađuju u intervalima do pola sata.

Satelitske mikrovalne veze su dio opreme meteoroloških satelita, u glavnom geostacionarnih koji se kreću 36 000 kilometara iznad Zemlje. Njihova mjerenja se odvijaju linijskim snopom mikrovalova koji putuje pod određenim kutom do prijarnika na Zemlji. Satelitske mikrovalne veze ne mjere točnu količinu oborina, ali se pomoću njih radi procjena volumena na temelju refleksije o čestice u oblacima, na sličnom principu određuju i vrstu oborine. Većina tih podataka nije najpouzdanije rješenje zbog pojave raznih šumova u atmosferi. Sama gustoća oblaka i oborine smanjuje preciznost podataka Satelitskih mikrovalnih veza.

Svaka osobna kišomjerna stanica sadrži neki tip kišomjera koji nam pruža informacije o mjerenju. Osobne kišomjerne stanice, ovisno o razini opreme pružaju istu vrstu podataka kao i one konvencionalne. Nedostatak PWS-ova je u tome što ne možemo sa sigurnošću reći jesu li uređaji adekvatno namješteni i daju li sigurno točne podatke.

Društvene mreže se mogu koristiti kao platforma na kojoj pojedinci mogu slati svoje izvještaje o oborinama. Na društvenim mrežama se pomoću algoritama mogu pretraživati objave vezane na pojavu oborine, međutim Facebook ili X statusi nam ne mogu dati konkretno mjerenje. Oni više služe za detekciju same pojave i njeno načelno intenziviranje.

Senzori automobila u pokretu su nova oportunistička metoda mjerenja koja koristi sve naprednije tehnologije automobila za mjerenje oborine. Mogućnosti automobila pružaju da se oborine mjere u pokretu na svakome području na kojem postoji cesta. Također ovisno o sensorima oni mogu mjeriti gotovo sve aspekte oborine, međutim ovaj način mjerenja je u svojim začetcima. Protok informacija između automobila i bazi podataka treba uskladiti s proizvođačima, također kalibracija samih uređaja je znatno otežana budući da se ovom metodom oborina mjeri dok je senzor u pokretu.

Korištenje nadzornih kamera je još jedna inovativna metoda. Budući da su kamere sveprisutnije u društvo na taj način pokrivenost, naročito urbanih područja je sve jednostavnija. Međutim kamere u glavnom pružaju isključivo snimku područja i bez dodatne opreme ne mogu dati informacije o oborini osim njenog postojanja.

Tablica 2: Sumarni pregled i usporedba metoda mjerenja oborina prema prostornom dosegu mjerenja, učestalosti ažuriranja podataka, vrsti mjerenja te njihovim nedostacima (Izvori: [13] i [40])

	Duljina mjerenja	Visina mjerenja	Učestalost podataka	Mjerni segment oborine	Glavni nedostatak
Kišomjeri	U točki u kojoj su postavljeni (radijus do 0.5m)	Iznad tla (između pola do nekoliko metara)	Ovisno o tipu (od nekoliko sekundi do 24h)	Volumen	Ograničenost podataka i mal opseg mjerenja
Vremenski radari	Između 100 i 300 km	Od površine tla do 15 km	Mjere u realnom vremenu	Volumen, učestalost, intenzitet, tip oborine	Visoka razina tehnologije, ekonomičnost
Meteorološki sateliti	Više tisuća kilometara	Od površine do 36 000km	15 do 30 minuta	Volumen oborine, kretanje oborine	Ne prepoznaju samu oborinu
Komercijalne mikrovalne veze	Između 10 i 30 km,	Između 1 i 10 metara	Mjere u realnom vremenu*	Tip oborine, volumen, učestalost, intenzitet	Nepouzdanost rezultata
Satelitske mikrovalne veze	Više tisuća kilometara	Iznad tla do visine oblaka	Mjere u realnom vremenu	Tip oborine, kretanje oborine	Ne mjere najbitnije odrednice oborina
Osobne kišomjerne stanice	U točki	Iznad tla (između pola do nekoliko metara)	Ovisno o tipu (od nekoliko sekundi do 24h)	Volumen	Ograničenost podataka i mal opseg mjerenja, nepouzdanost rezultata
Društvene mreže	U točki	U području čovjeka	trenutno	Tip oborine, Kretanje oborine	Ne daje nikakve kvantitativne vrijednosti
Automobili u pokretu	Točka u pokretu	Do 2 metra iznad tla	trenutno	Tip oborine, volumen, intenzitet	Nerazvijena metoda problemi s kalibracijom
Nadzorne kamere	U manjem prostoru	Na visini kamere	trenutno	Tip oborine	Limitiran tipom kamere

6.3. PRIMJENA MODERNIH NEKONVENCIONALNIH MJERENJA OBORINA U HIDROLOŠKOM MODELIRANJU

Primjena modernih načina mjerenja omogućuje odrediti trajanje oborine, prisutnost oborine, i njenu frekvenciju. Ovisno o metodi mjerenja možemo dobiti informacije o oborini prikazano u tablici 2. Ove informacije nam omogućuju pratiti hidrološke procese, i njihova pravila. Na bazi dobivenih podataka predviđaju se poplave, sustavi odvodnje i izrađuju se simulacije istih. Svaki način mjerenja ima svoje prednosti i nedostatke te svaki doprinosi nekom segmentu hidrološkog modeliranja ovisno o karakteristikama oborine koju mjeri. Tako npr. primjenom CML-ova možemo iskoristiti ulazne podatke za modele otjecanja za urbane dijelove, dok se takva ista metoda ne može koristiti u ruralnim planinskim područjima [3 i 4]. Satelitske snimke pak mogu poslužiti za pregled slivova šireg ruralnog područja prema kojima se kasnije mogu graditi hidrotehničke građevine za zaštitu od poplava i usmjeravanje oborina. Kišomjeri, kao konvencionalni alat za prikupljanje podataka o oborini, u sklopu PWS-ova mogu poslužiti za kalibraciju svih ostalih naprednijih metoda mjerenja. Njihova pouzdanost se koristi za kontrolu grešaka ostalih instrumenata iako im je mjerenje u jednoj točki. Tako primjerice kada koristimo više metoda mjerenja pomoću njih možemo stvoriti ukupnu hidrološku sliku i 3D modele koje primjenjujemo, ne samo u hidrotehnici nego i u ostalim granama znanosti i gospodarstva [13].

6.4. PRIJEDLOG DALJNJEG UNAPRIJEĐENJA MODERNIH NEKONVENCIONALNIH METODA MJERENJA OBORINA

Za unaprjeđenje modernih nekonvencionalnih metoda mjerenja treba biti uključeno što više država i zajednica. Budući da države koje prednjače u korištenju oportunističkih načina mjerenja brže zadovoljavaju potrebe za mjerenjima koristeći njima optimalne načine dolazi do nejednolikog razvoja metoda. Međutim nerazvijene države koje nemaju razvijene tehnologije poput onih naprednih (sateliti, CML-ovi...), stoga trebaju same razvijati metode prilagođene svojim uvjetima (nadzorne kamere, automobili u pokretu...).

U svakoj metodi uočavamo manjkavosti koje mogu biti nadoknađene primjenom neke druge metode. To znači da se interakcijom više tehnologija mjerenja oborina mogu dobiti precizniji rezultati. Takve metode se već koriste, kao na primjer kombinacije radara i kišomjera, ili kišomjera PWS-ova, CML-ova i radara. Nadalje je uočljivo da je kod oportunističkih metoda

mjerenja najveći problem nepouzdanost rezultata, to znači da još uvijek oportunističke metode moramo pratiti konvencionalnim jer ne možemo biti sigurni u dobivene rezultate. Informacije dobivene iz osnovnih oportunističkih tehnologija često ne zadovoljavaju hidrološke potrebe budući da nisu namijenjene za iste. Prilikom korištenja oportunističkih metoda ključno je da se temelji metode nadograđuju ciljanim tehnologijama za potrebnih segmenata oborine. Ukoliko će meteorologija, hidrologija i hidrotehnika oslanjati razvoj pribavljanja informacija isključivo na strane tehnologije neće moći zadovoljiti svoje potrebe. Stoga, ključna stavka unaprjeđenja nekonvencionalnih metoda mjerenja mora biti razvijanje ciljane tehnologije za mjerenje, a ne isključivo adaptacija postojećih.

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad opisuje osnovne načine mjerenja oborina i pokazuje da svaki način mjerenja ima svoje mane. Niti jedan alat samostalno ne može dati točnu i kompletnu sliku oborina te niti jedan alat samostalno nema mogućnost mjerenja svih segmenata oborine (volumen, trajanje, intenzitet, vrsta oborine, specifikacije pojedine čestice oborine...). Konvencionalne metode mjerenja oborina su pretežno točne, ali imaju nedostatak pokrivenosti područja ili kod tehnološki naprednijih alata kao što su radari i sateliti problem je cijena i dostupnost. Iz tih razloga je sve više nekonvencionalnih i oportunističkih načina mjerenja. Iako je pretpostavka da su njihovi potencijali izrazito visoki i ideje inovativne sa širokim spektrom, istraživanja i analize nekonvencionalnih izvora pokazuju visoku razinu nepouzdanosti rezultata. Također studija [3] pokazuje da je kod oportunističkih metoda veliki problem obrada i prijenos podataka. Moderne tehnologije koje se koriste prilikom mjerenja kao što su mikrovalovi, laserski mjerači ili sustavi masovne podrške, u realnom vremenu generiraju ogromnu količinu podataka koju još uvijek pomoću računalne tehnologije i umjetne inteligencije nije moguće obraditi u tom istom realnom vremenu. Iz tog razloga se stvaraju pogrešne pretpostavke prilikom mjerenja jer se neobrađeni dio podataka zanemaruje. Budući da razvoj društva napreduje i da potreba za poznavanjem oborina se povećava na ruralne dijelove, teško dostupna mjesta te da prenapučenost gradova iziskuje sve točnije i učestalije analize oborina, ne sumnjivo je da će se u budućnosti nastaviti razvoj tehnologije za mjerenje oborina. Trenutno najbolje meteorološke slike se stvaraju pomoću kombinacije više načina mjerenja u kojima se metode nadopunjuju. Više različitih uređaja zajedno pokrivaju međusobne slabosti, te različiti uređaji na istome području mjere različita svojstva oborine.

Mjerenje oborina, odnosno podatci o mjerenju oborina se koriste u više svrha. Gotovo sve ljudske djelatnosti povezane sa vodom i otvorenim prostorima ovise o pojavi oborina. Tako su informacija o oborinama ključne za: meteorologiju, poljoprivredu, građevinu, praćenje klimatskih promjena, održavanje ekosustava... Također poplave uzrokovane oborinskim ekstremima su jedan od velikih izazova civilizacije, a njihovoj prevenciji upravo doprinosi mjerenje oborina.

Svi ti razlozi su motiv za još veće investiranje u projekte novih načina mjerenja. Većina istraživanja pokazuje da su još uvijek konvencionalne metode najbolji način mjerenja oborina. Sve nove tehnologije se oslanjaju na sustave koji nisu namijenjeni u tu svrhu i

shodno tome generiraju pogreške. S toga ključna odrednica za nastavak razvoja mjernih sustava je ciljano ulaganje i razvoj tehnologije za mjerenje oborina.

POPIS LITERATURE

- [1] European Environment Agency. Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe. European Environment Agency. 2023. Dostupno: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8> [Pristupljeno 11.rujna 2024.]
- [2] Giazzi M, Peressutti G, Cerri L, Fumi M, Riva IF, Chini A i dr. Meteonetwork: An Open Crowdsourced Weather Data System. *Atmosphere*. 2022; 13(6): 928.
- [3] Nebuloni R, Cazzaniga G, D'Amico M, Deidda C, De Michele C. Comparison of CML Rainfall Data against Rain Gauges and Disdrometers in a Mountainous Environment. *Sensors*. 2022; 22(9): 3218.
- [4] Lian B, Wei Z, Sun X, Li Z, Zhao J. A Review on Rainfall Measurement Based on Commercial Microwave Links in Wireless Cellular Networks. *Sensors*. 2022; 22(12):4395
- [5] Chen A., Goodall J., Chen D., Zhang Z. Flood resilience through crowdsourced rainfall data collection: Growing engagement faces non-uniform spatial adoption. *Journal of Hydrology*. 2022.; 609
- [6] Tauro F., Selker J., van de Giesen N., Abrate T., Uijlenhoet R., Porfiri M., i dr. Measurements and Observations in the XXI century (MOXXI): innovation and multi-disciplinarity to sense the hydrological cycle. *Hydrological Sciences Journal*. 2018.; 63(2): 169–196.
- [7] Belay H, Melesse AM, Tegegne G. Merging Satellite Products and Rain-Gauge Observations to Improve Hydrological Simulation: A Review. *Earth*. 2022; 3(4):1275-1289.
- [8] Zhu, Q., Gao, X., Xu, Y. P., & Tian, Y. Merging multi-source precipitation products or merging their simulated hydrological flows to improve streamflow simulation. *Hydrological Sciences Journal*. 2019; 64(8), 910–920.
- [9] *Tehnička enciklopedija*. Zagreb: Grafički zavod Hrvatske; 1987
- [10] Berbić J. *Pregled metoda za definiranje hijetograma projektne kiše* (Doctoral dissertation, Građevinski fakultet, Zagreb).
- [11] Bekić D. Osnovni pojmovi u hidrologiji. *Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*. 2019.

-
- [12] Državni hidrometeorološki zavod. Dostupno: <https://meteo.hr/index.php>
[Pristupljeno 2.rujna 2024.]
- [13] Wang X, Shi S, Zhu L, Nie Y, Lai G. Traditional and Novel Methods of Rainfall Observation and Measurement: A Review. *Journal of Hydrometeorology*. 2023 Dec;24(12):2153-76.
- [14] *Hrvatska enciklopedija*. Zagreb: Leksikografski zavod „Miroslav Krleža“; 2013. – 2024.
- [15] Michelle M. 2021. When Was the Rain Gauge Invented?. *Sciencing*. 2. prosinca 2021. Dostupno: <https://sciencing.com/rain-gauge-invented-23359.html>.
[Pristupljeno 1.rujna 2024.]
- [16] Korea Meteorological Administration. *The Rain Gauge 'Cheugugi' to become a National Treasure*.
Dostupno:
https://www.kma.go.kr/eng/aboutkma/notice.jsp?bid=eng_notice&mode=view&num=112&page=1&field=&text=[pristupano 1.9.2024.]
- [17] Biswas A. Rain Gauges in The Seventeenth and Eighteenth Centuries: Biswas A.(ur.) *History of Hydrology*. Amsterdam: Nortsh-Holland Publishing; 1970, 180.
- [18] Nystuen J.A., Proni J., Black P.G, Wilkerson J.C. A Comparison of Automatic Rain Gauges. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 1996; 13(1): 64-65
- [19] Cliff Mass Weather Blog. New Technology Rain Gauge. 2016. Dostupno: <https://cliffmass.blogspot.com/2016/03/new-technology-rain-gauge.html>
[Pristupljeno 28. kolovoza 2024.]
- [20] Measuring Rain and Drizzle. Dostupno:
<https://vortex.plymouth.edu/dept/tutorials/precip/precip3a.html> [Pristupljeno 28. kolovoza 2024.]
- [21] Dostupno:<https://www.fiedler.company/en/products/meteorological-stations-and-measuring-sensors/rain-gauges/rg-11-optical-rain-gauge> [Pristupljeno 28. kolovoza 2024.]
- [22] *NAPUTAK za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama*. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod
- [23] Binetti M. S. Campanale C. Massarelli C. Uricchio V. The Use of Weather Radar Data. *Earth*. 2022;3(1): 31-38

-
- [24] Cecinati F, Rico-Ramirez MA. Enhanced algorithms to quantify uncertainty in radar rainfall measurement. Zenodo; 2017.
- [25] WMO. Guide to Operational Weather Radar Best Practices Poster. *WMO* Dostupno: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/weather-radar-observations/bpg-poster> [Pristupljeno 2.rujna 2024.]
- [26] *PROJEKT MODERNIZACIJE METEOROLOŠKE MOTRITELJSKE MREŽE U RH – METMONIC*. Zagreb: DHMZ; 2017.
- [27] Wikimedia Commons. Weather-radar-blind-zone. Dostupno: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Weather-radar-blind-zone.png> [Pristupljeno 2.rujna 2024.]
- [28] Saltikoff E., Freidrich J., Siderholm K., Nelson B, Becker A. An Overview of Using Weather Radar for Climatological Studies: Successes, Challenges, and Potential. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2019; 100(9): 1739 - 1752
- [29] Islam T., Rico-Ramirez M., Han D., Srivastava P. A Joss–Waldvogel disdrometer derived rainfall estimation study by collocated tipping bucket and rapid response rain gauges. *Royal Meteorological Society*. 2012.; 13(2): 139-150
- [30] Johannsen L., Zambon N., Strauss P., Dostal T., Neumann M., Zumr D. i dr. Comparison of three types of laser optical disdrometers under natural rainfall conditions. *Hydrol Sci J*. 2020; 65(4): 524-535.
- [31] ACTRIS Centre For Cloud Remote Sensing. Dostupno: <https://www.actris.eu/topicalcentre/ccres/disdrometer> [Pristupljeno 2.rujna 2024.]
- [32] *Hrvatska enciklopedija*. Zagreb: Leksikografski zavod „Miroslav Krleža“; 2013. – 2024.
- [33] Dalezios NR, Dercas N, Eslamian S. Water scarcity management: Part 2: Satellite-based composite drought analysis. *International Journal of Global Environmental Issues*. 2018;17(2-3):262-95.
- [34] Tauro F., Selker J., van de Giesen N., Abrate T., Uijlenhoet R., Porfiri M., i dr. Measurements and Observations in the XXI century (MOXXI): innovation and multi-disciplinarity to sense the hydrological cycle. *Hydrological Sciences Journal*. 2018.; 63(2): 169–196.
- [35] Zheng F, Tao R, Maier HR, See L, Savic D, Zhang T, Chen Q, Assumpção TH, Yang P, Heidari B, Rieckermann J. Crowdsourcing methods for data collection in geophysics: State of the art, issues, and future directions. *Reviews of Geophysics*. 2018 Dec;56(4):698-740.

- [36] Buytaert W, Zulkafli Z, Grainger S, Acosta L, Alemie TC, Bastiaensen J, De Bièvre B, Bhusal J, Clark J, Dewulf A, Foggin M. Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*. 2014 Oct 22;2:26.
- [37] *Pljusak.com* Dostupno: <https://pljusak.com/info.php> [Pristupljeno: 1. rujna 2024.]
- [38] National Weather Service. Citizen Weather Observer Program (CWOP) Dana. 2021. Dostupno: https://madis.ncep.noaa.gov/madis_cwop.shtml [Pristupljeno 1. rujna 2024.]
- [39] Weather Undergrund. Dostupno: <https://www.wunderground.com/about/ourcompany> [Pristupljeno: 1. rujna 2024.]
- [40] FencI M, Nebuloni R, Andersson JC, Bares V, Blettner N, Cazzaniga G, Chwala C, Colli M, de Vos L, El Hachem A, Galdies C. Data formats and standards for opportunistic rainfall sensors. *Open Research Europe*. 2023;3.
- [41] Oussama MH. Internet of Things (IoT) Automatic Weather Station. *Universite de Biskra, Biskra*. 2020.
- [42] Wei W, Shao Z, Zhang Y, Qiao R, Gao J. Fundamentals and applications of microwave energy in rock and concrete processing—A review. *Applied Thermal Engineering*. 2019 Jul 5;157:113751.
- [43] Zhang P, Liu X, Pu K. Precipitation monitoring using commercial microwave links: current status, challenges and prospectives. *Remote Sensing*. 2023 Oct 4;15(19):4821.
- [44] FencI M, Rieckermann J, Sýkora P, Stránský D, Bareš V. Commercial microwave links instead of rain gauges: Fiction or reality?. *Water Science and Technology*. 2015 Jan 1;71(1):31-7.
- [45] Zhang Y, Ryu D, Zheng D. Using Remote Sensing Techniques to Improve Hydrological Predictions in a Rapidly Changing World. *Remote Sensing*. 2021; 13(19):3865.
- [46] Chwala C, Kunstmann H. Commercial microwave link networks for rainfall observation: Assessment of the current status and future challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2019 Mar;6(2):e1337.
- [47] Dunkerley D. Recording Rainfall Intensity: Has an Optimum Method Been Found?. *Water*. 2023 Sep 27;15(19):3383.

- [48] Tapiador FJ, Turk FJ, Petersen W, Hou AY, García-Ortega E, Machado LA, Angelis CF, Salio P, Kidd C, Huffman GJ, De Castro M. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*. 2012 Feb 1;104:70-97.

POPIS SLIKA

Slika 1: realni I blok hijetogram (Izvor: [12]).	5
Slika 2: kumulativna dnevna količina oborine (izvor: [12]).	6
Slika 3: Hooekov kišomjer (Izvor: [17]).	8
Slika 4.: Vagajući kišomjer, Kišomjer s klackalicom, Optički kišomjer(Izvor: [19, 20 i 21]).	9
Slika 5: Raspodjela kišomjernih stanica na teritoriju RH (Izvor:[11]).	10
Slika 6: Shematski prikaz funkcioniranja radara (Izvor: [24]).	12
Slika 7: 3D prikaz oborina (Izvor: [25]).	13
Slika 8: 2D prikaz vremenske radarske snimke zrakoplova (Autor: [27]).	15
Slika 9: 2D disdrometar(Izvor: [31]).	16
Slika 10: Meteostat 6 (Izvor: [32]).	17
Slika 11: orbite satelita (Izvor:[33]).	18
Slika 12: Lanac masovnog prikupljanja podataka (izvor: [35]).	21
Slika 13: Geografska raspodjela operativnih stanica u Meteonetworkovoj bazi podataka za Europu (a) i Italiju (b) (izvor [2]).	23
Slika 14: Osobna meteorološka stanica (izvor: [41]).	28
Slika 15: Prikaz funkcioniranja elektrovalova (Izvor: [43]).	31
Slika 16:Shematski prikat rada SML-a (Izvor: [40]).	33
Slika 17: Udio novih metoda mjerenja padalina u pregledanim publikacijama (izvor: [13]).	37

POPIS TABLICA

Tablica 1: Rezultati pretrage WOS baze podataka prema odabranim ključnim riječima.....	36
Tablica 2: Sumarni pregled i usporedba metoda mjerenja oborina prema prostornom dosegu mjerenja, učestalosti ažuriranja podataka, vrsti mjerenja te njihovim nedostacima (Izvori: [13] i [40])	39

