

# Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki meteoroloških radara u zrakoplovstvu

---

Živković, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:177241>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ivan Živković**

**ANALIZA TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKIH  
ZNAČAJKI METEOROLOŠKIH RADARA U  
ZRAKOPLOVSTVU**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2016.**

Zagreb, 20. travnja 2016.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Radio i radarski sustavi**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 3378**

Pristupnik: **Ivan Živković (0036470807)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki meteoroloških radara u zrakoplovstvu**

### Opis zadatka:

Navesti vrste meteoroloških radarskih sustava na zemlji i na zrakoplovima, te analizirati njihove karakteristike. Opisati i analizirati tehnologije obrade i prikaza slike na radarskom zaslonu. Analizirati prednosti i nedostatke integracije meteoroloških radara i detektora elektrostatičkog pražnjenja na zrakoplovu. Navesti i opisati vrste mreža, protokola i standarda u prijenosu radarskih podataka na zemlji i u zrakoplovu. Opisati razvoj budućih radarskih tehnologija.

Zadatak uručen pristupniku: 4. ožujka 2016.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Tino Bucak

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

# **ANALIZA TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI METEOROLOŠKIH RADARA U ZRAKOPLOVSTVU**

# **THE ANALYSIS OF TECHNICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF WEATHER RADAR SYSTEMS IN AVIATION**

Mentor: Prof. dr. sc. Tino Bucak

Student: Ivan Živković, 0036470807

Zagreb, 2016.

# ANALIZA TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI METEOROLOŠKIH RADARA U ZRAKOPLOVSTVU

## SAŽETAK

Meteorološki radari uređaji su koji odašilju radio-valove te ih primaju nakon njihove refleksije od čestica u zraku. Služe za prepoznavanje meteoroloških uvjeta i određivanje njihove pozicije, što je vrlo korisno u zrakoplovstvu kako bi se izbjegli nepovoljni uvjeti. Meteorološki radari postavljeni su na zemlji, ali koriste se i na zrakoplovima kako bi piloti imali točne i nove informacije o vremenskim pojavama oko zrakoplova. Koriste se zajedno sa detektorima elektrostatickog pražnjenja koji prepoznaju elektrostaticka pražnjenja te ih prikažu na prikazniku. Danas, a i u budućnosti razvijaju se mnoge nove tehnologije koje će poboljšati sadašnje meteorološke radare.

**KLJUČNE RIJEČI:** meteorološki radar; reflektivnost; prikaznik; detektor elektrostatickog pražnjenja

## SUMMARY

Weather radars are devices that emit radio waves and receive them after their reflection from particles in the air. They are used to identify meteorological conditions and determine their position, which is very useful in aviation in order to avoid unfavorable conditions. Weather radars are installed on the ground, but are also used on aircraft so the pilots would have accurate and updated information on weather phenomena around the aircraft. They are used together with electrostatic discharge detectors that detect electrostatic charges and present them on the screen. Today and in the future many new technologies are being developed that will improve the current weather radars.

**KEYWORDS:** weather radar; reflectivity; display; electrostatic discharge detector

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Pregled meteoroloških radarskih sustava na zemlji .....	2
2.1 Povijesni razvoj meteoroloških radarskih sustava .....	2
2.2 Princip rada meteoroloških radara .....	4
3. Meteorološki radari na zrakoplovima .....	9
4. Obrada i prikaz slike na radarskom zaslonu .....	18
5. Detektori elektrostatičkog pražnjenja na zrakoplovu .....	22
6. Mreže meteoroloških radara na zemlji i razvoj budućih tehnologija .....	25
6.1 Nexrad .....	25
6.2 Razvoj budućih tehnologija .....	28
7. Zaključak .....	31
Literatura .....	32
Popis slika .....	33
Popis tablica .....	34

# 1. Uvod

Meteorološki radar je od presudne važnosti za svaki zrakoplov, kako oni na zemlji tako i meteorološki radari ugrađeni na zrakoplov. Razvoj meteoroloških radara započeo je nakon Drugog svjetskog rata, a traje i danas. Meteorološki radari šalji radio-valove koji se reflektiraju od čestica u zraku, ali i od tla. Pravilno korištenje radara vrlo je važno, također je bitno da piloti znaju očitati zaslon meteoroloških radara u zrakoplovu te pravilno postupiti, prema viđenom, kako bi osigurali prije svega siguran, ali i ugodan let zrakoplova. Na prikazniku su prikazani različiti oblici različitih boja koje predstavljaju meteorološke pojave te njihov intenzitet. Osim meteoroloških radar u zrakoplovima koriste se i detektori elektrostatičkog pražnjenja, koji detektiraju elektrostatičko pražnjenje oko zrakoplova. Na zrakoplovima generalne avijacije uglavnom se zbog niske cijene i male mase koriste samo oni, dok su kod velikih komercijalnih zrakoplova koriste zajedno sa meteorološkim radarima. Meteorološki radari se povezuju u velike mreže radar radi veće točnosti, pokrivenosti i bržeg širenja podataka. Najveća takva mreža nalazi se u Sjedinjenim Američkim državama i zove se Nexrad. Meteorološki radari se i dalje razvijaju, pomoću novih tehnologija povećava se njihova točnost i brzina skeniranja podataka, što će pomoći za osiguravanje još sigurnijeg i ugodnijeg leta zrakoplova.

Završni rad sadrži 7. poglavlja:

1. Uvod
2. Pregled meteoroloških radarskih sustava na zemlji
3. Meteorološki radari na zrakoplovima
4. Obrada i prikaz slike na radarskom zaslonu
5. Detektori elektrostatičkog pražnjenja na zrakoplovu
6. Mreže meteoroloških radara na zemlji i razvoj budućih tehnologija
7. Zaključak

## 2. Pregled meteoroloških radarskih sustava na zemlji

### 2.1 Povijesni razvoj meteoroloških radarskih sustava

Tijekom Drugog svjetskog rata, vojni radarski operateri primijetili su smetnje na radarskim zaslonima koje su bile uzrokovane kišom, snijegom i ostalim meteorološkim pojavama. Nakon rata vojni znanstvenici vratili su se civilnom istraživanju, te su se bavili istraživanjem tih smetnji i kako ih iskoristiti u meteorologiji. David Atlas, na slici 1., koji je radio za Zrakoplovne snage Američke vojske, razvio je prve operativne meteorološke radare, provodio je razne studije o radarskom mjerenju veličine kapljica kiše i mjerenja jačine i smjera vjetra pomoću Doppler radara.

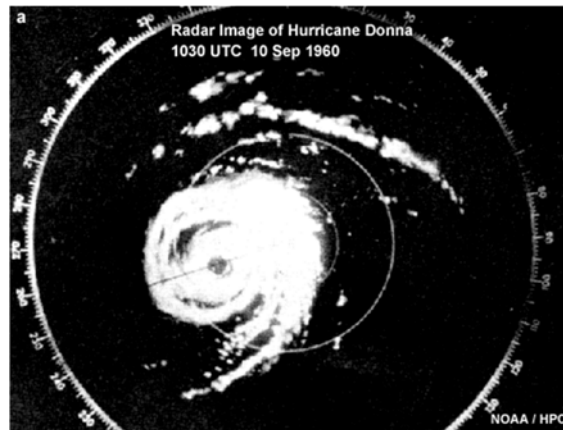


Slika 1. David Atlas

U Ujedinjenom kraljevstvu radile su se studije o refleksiji valova od meteoroloških elemenata poput stratiformne kiše i konvektivnih oblaka, te su se provodili eksperimenti sa raznim valnim duljinama od 1 do 10 centimetara. "Eric Kirkham Cole Limited" prva je kompanija koja je proizvodila radarsku opremu za upozoravanje na oblake i moguće sudare. 1953 Donald Staggs, inženjer elektrotehnike bio je prvi koji je snimio radarsku sliku olujnog tornada. Od 1950. do 1980. radari koji mjere jačinu i poziciju padalina su postali korišteni u meteorološkim stanicama diljem svijeta. 1970-ih radarski sustavi su standardizirani i organizirani u mreže, razvijeni su i prvi prikaznici radarske slike. Broj kutova skeniranja je povećan da bi se dobila trodimenzionalna slika meteoroloških pojava. "National Severe Storms Laboratory", NSSL je 1964. započeo eksperimente sa uporabom Dopplerovog efekta. 1973.



njihov Dopplerov radar valne duljine od 10 centimetara snimio je cijeli ciklus tornada, što je istraživačima pomoglo u otkrivanju rotacije u oblacima koja se pojavljuje prije pojave samog tornada na zemlji. NSSL je time uvjerio "National Weather Service" da je Dopplerov radar iznimno važan prognostički alat, a tako pomogao u sprječavanju velikih šteta i ljudskih žrtava u budućim tornadima(radarski prikaz tornada na slici 2.).



**Slika 2. Prikaz tornada 1960.**

Između 1980. i 2000. mreže meteoroloških radara postale su norma u Sjevernoj Americi, Europi, Japanu i ostalim razvijenim državama. Konvencionalni radari zamijenjeni su Doppler radarima, koji osim intenziteta i pozicije, mogu mjeriti i relativnu brzinu čestica u zraku. U Sjedinjenim Američkim Državama započela je konstrukcija mreže radara valne duljine 10 centimetara, zvana NEXRAD (Next-Generation Radar), započela je 1988. predvođena istraživanjem NSSL-a. Sličan razvoj u ovom razdoblju dogodio se i u Kanadi i razvijenim zemljama u Europi, također zbog naglog razvitka računalne tehnologije, došlo je do algoritama koji su mogli detektirati znakove te tako prognozirati nastanak opasnih vremenskih uvjeta. Istraživanja o dvostrukoj polarizaciji su dovoljno napredovala da se ona počne koristiti u operativi, što pomaže u otkrivanju informacije o kojoj padalini se radi. Dvostruka polarizacija označuje da su valovi polarizirani i vertikalno i horizontalno u odnosu na zemlju, te se tako emitiraju, do 2013. svi radari u Sjedinjenim Američkim Državama su prešli na dvostruku polarizaciju. 2003. godine počelo je eksperimentiranje sa antenskim nizovima, kao zamjena za obične parabolične

antene kako bi se poboljšala vremenska rezolucija. To bi znatno pomoglo pri otkrivanju olujnih nevremena te njihovom razvoju zbog redovitijeg pristizanja podataka. U 2003. je također osnovana "Engineering Research Center for Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere" koja je multidisciplinarno udruženje inženjera, računalnih znanstvenika, meteorologa i sociologa, sa namjenom da provode temeljno istraživanje i da razvijaju tehnologiju te isprobavaju prototipe sustava koji su dizajnirani za poboljšavanje trenutnih radarskih sustava.<sup>1</sup>

## **2.2 Princip rada meteoroloških radara**

Tehnički princip rada meteorološkog radara vrlo je sličan radu primarnog nadzornog radara. Glavna razlika je što kod nadzornog radara važna informacija gdje se cilj nalazi, a kod meteorološkog radara povratni se signal mora procijeniti da bi se otkrilo u kakvom intenzitetu i o kakvoj vrsti meteorološke pojave se radi. Još jedna razlika je u tome što je ono što promatramo drugačijeg oblika i veličine, također brzina zrakoplova uglavnom je veća od brzine meteoroloških pojava, pa se tako ovi radari razlikuju u frekvenciji rada otkrivanja objekata.<sup>2</sup> Radari u njihovom najjednostavnijem obliku sastoje se od četiri glavne komponente:

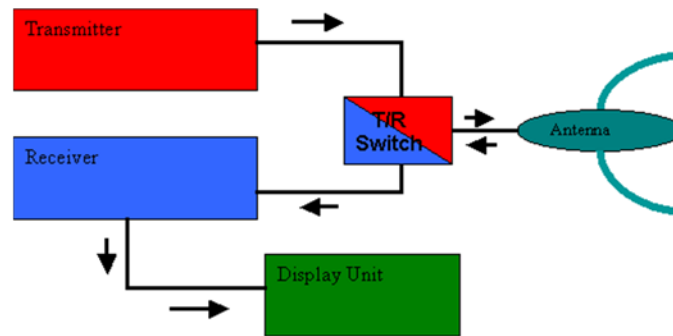
- odašiljač koji stvara signal
- sklopka koja određuje anteni kada odašiljati, a kada primati signale
- antena koja šalje signale u atmosferu, te prima reflektirane signale nazad
- prijarnik, koji detektira te pojačava primljeni signal te ga pretvara u video format

---

<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_radar](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar)

<sup>2</sup> <http://www.radartutorial.eu/15.weather/wx04.en.html>

- zaslon koji prikazuje primljeni signal

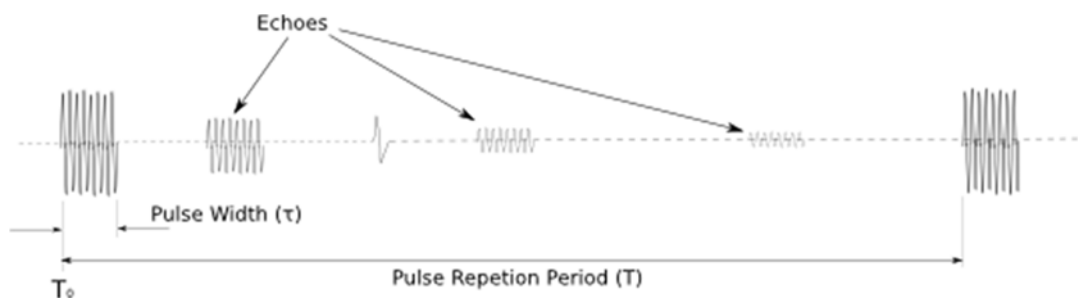


Slika 3. Osnovne komponente radara<sup>3</sup>

Meteorološki radari odašilju impulse mikrovalnog zračenja pomoću magnetronske šupljine ili elektronske cijevi povezane cjevovodom do parabolične antene. Ti impulsi se reflektiraju od čestica u zraku, točnije čestica oborine, kao što su čestice kiše ili snijega. Valne duljine radara, od 1 do 10 centimetara, su otprilike desetina promjera kapljice kiše ili čestice leda koja se promatra. Kod refleksije impulsa radara samo dio energija se vraća nazad u smjeru iz kojeg je impuls poslan, odnosno u smjeru radara. Kraće valne duljine su korisnije za manje čestice, ali korištenjem takvih kraćih valnih duljina signal brže slabi. Tako na primjer radar valne duljine 10 centimetara (S-band) je povoljniji za upotrebu, ali je skuplji od primjerice radara valne duljine 5 centimetara (C-band). Za kratke udaljenosti se koristi radar valne duljine 3 centimetara (X-band), a za istraživanja na manjim česticama, odnosno na česticama pojava kao što su magla ili rosulja se koriste radari valne duljine 1 centimetra (K-band). Radarski impulsi se šire sa udaljavanjem od samog radara, pa je tako volumen zraka, u kojem se impuls širi, sve veći, dok je kod samog radara

<sup>3</sup> [http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/what\\_is\\_radar.shtml](http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/what_is_radar.shtml)

najmanji. Na krajnjoj udaljenosti jedan impuls može prekriti čak i 1 kubični kilometar, a taj volumen zove se volumenom impulsa. Volumen zraka na kojem se impuls prostire može se izračunati u bilo kojem trenutku sa formulom:  $v = hr^2\theta^2$ .  $V$  predstavlja volumen zraka u kojem se impuls nalazi,  $h$  je širina impulsa,  $r$  je udaljenost koja je impuls prešao od samog radara,  $\Theta$  predstavlja širinu poslanih zraka izražene u radijanima. U vremenskom razdoblju između slanja impulsa radarska stanica, to jest prijamnik prima signale koji se vraćaju nakon refleksije od ciljeva. Duljina te faze u kojoj prijamnik prima poruke ovisi o vremenu koje je potrebno da bi impuls došao do cilja, reflektirao se, i vratio nazad, a to ovisi o udaljenosti na kojoj se cilj nalazi, koja može biti i do nekoliko stotina kilometara. Udaljenost se računa preko vremena potrebnog za put signala do čestice pomnoženo sa brzinom svjetlosti kojom putuje val, a to je prikazano i u formuli:  $d = c \frac{\Delta t}{2n}$ .  $C$  je brzina svjetlosti,  $\Delta t$  je vrijeme puta vala do cilja i nazad,  $n$  je refraktivni indeks zraka ( $\approx 1$ ) i  $d$  je udaljenost od radara do cilja (slika 4.). Ako se impulsi šalju prečesto povratak jednog impulsa biti će pomiješan sa drugim impulsom, što bi uzrokovalo izračunavanje krive udaljenosti.



Slika 4. Slanje i primanje impulsa

Osim udaljenosti cilja od radara bitno je znati i na kojoj visini se nalazi cilj, pa tako ovisno o kutu pod kojim je radar postavljen i još nekim elementima, visina se može izračunati sljedećom formulom:  $H = \sqrt{r^2 + (ka)^2 + 2rka \sin(\theta)} - ka + h$ . U formuli  $r$  je udaljenost od radara do cilja,  $k$  je  $\frac{4}{3}$ ,  $a$  je radijus zemlje,  $\Theta$  je kut pod kojim je antena postavljena u odnosu na tlo,  $h$  je visina antene iznad tla. Meteorološki radari koriste više tipičnih kutova koji su prilagođeni potrebama stanice. Nakon svake

rotacije, kut antene se mijenja, pa se to tako ponavlja dok se ne skenira cijeli volumen zraka oko radara unutar maksimalnog dometa. Obično skeniranje koje traje 5 do 10 minuta primi podatke do 15 kilometara iznad tla i unutar 250 kilometara udaljenosti. Na slici 5. je prikazan volumen skeniranja pri korištenju više kutova skeniranja. Zelenom bojom označen je volumen koji radar ne vidi zbog minimalnog kuta antene, a crvenom bojom prikazan je konus tišine koji je također nevidljiv zbog maksimalnog kuta antene.



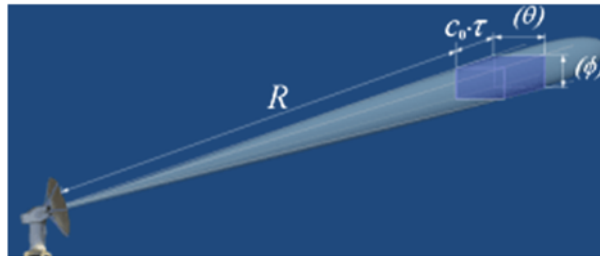
Slika 5. Volumen zraka pokriven radarom<sup>4</sup>

Radar je određen osnovnom radarskom formulom, kod meteorološkog radara ona se zbog reflektivnog područja (oborine, oblaci...) razlikuje od formule za primarne nadzorne radare. Počnimo od osnovne formule za primarne nadzorne radare koja glasi:  $P_e = \frac{P_s * G^2 * \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} * \sigma$ ,  $P_e$  je primljena snaga,  $P_s$  je snaga odašiljana,  $G$  je dobitak antene,  $\lambda$  je valna duljina radara i  $R$  je domet radara. Pošto se radarski ciljevi razlikuju u ciljevima, to jest u reflektivnom području cilja,  $\sigma$  je drugačija.

---

<sup>4</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_radar](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar)

$\sigma = V * \nu$   $\sigma$  je umnožak jedinice volumena na udaljenosti dometa i radarske reflektivnosti po jedinici volumena.  $V = \frac{\pi * \theta * \Phi * R^2 * c_0 * \tau}{8}$  U ovoj formuli za računanje volumena  $\Theta$  je horizontalna širina zrake impulsa,  $\Phi$  je vertikalna širina zrake impulsa,  $R$  je domet radara,  $c_0$  je brzina svjetlosti i  $\tau$  je širina impulsa.  $\nu = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 * Z$  pri čemu je  $Z$  radarska reflektivnost  $Z = \sum_{i=1}^n D_i^6$  ( $D_i$  je dijametar čestice), a  $|K|^2 = \left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right|^2$  i iznosi 0.93 za vodu te 0.2 za led ( $\epsilon$  je dielektrična konstanta). Pa tako onda konačna osnovna radarska formula za meteorološke radare glasi:  $P_e = \frac{P_s * G^2 * \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} * \frac{\pi * \theta * \Phi * R^2 * c_0 * \tau}{8} * \frac{\pi^5 * |K|^2 * D_i^6}{\lambda^4}$ .



Slika 6. Jedinca volumena na udaljenosti  $R^5$

<sup>5</sup> <http://www.radartutorial.eu/15.weather/wx05.en.html>

### 3. Meteorološki radari na zrakoplovima

Iako je sve više i više zrakoplova opremljeno jednim ili čak dva zrakoplovna meteorološka radara (slika 7), sudari i prolasci sa jako aktivnim kumulonimbusnim oblacima i dalje se događaju, a oni uzrokuju ozlijede i velike materijalne štete na zrakoplovima (prikazano na slici 8).



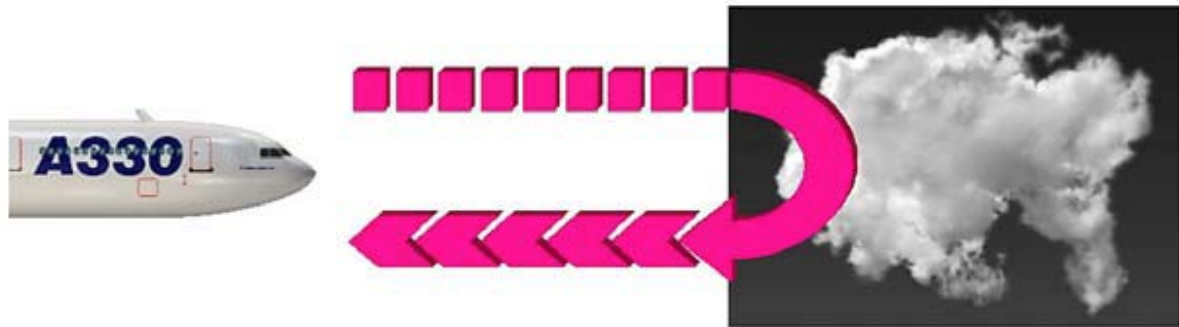
Slika 7. Meteorološki radar na krilu Pilatusa PC-12



Slika 8. Šteta na zrakoplovu zbog tuče

Bitno je da posada u zrakoplovu bude upoznata sa mogućnostima i ograničavajućim faktorima zrakoplovnih radara, da bi se povećalo njihovo razumijevanje opreme i da bi se smanjio broj incidenata povezanih sa meteorološkim uvjetima i nastanak materijalnih šteta na zrakoplovima. Radarska slika koja se nalazi na ekranu u kokpitu predstavlja ono što meteorološki radar prepozna te je jako bitan način na koji piloti

shvate tu sliku i što poduzmu. Za pravilno čitanje slike na ekranu bitno je da piloti razumiju i osnovne principe rada meteorološkog radara. Meteorološki radar detektira kapljice oborina, koliko ih detektira ovisi o veličini, vrsti i broju kapljica (slika 9). Čestice vode reflektiraju valove pet puta jače od čestica leda iste veličine.



Slika 9. Reflektiranje valova od oborina

Radar detektira:

- kišu
- mokru tuču i mokru turbulenciju
- čestice leda, suhu tuču i suhi snijeg, ali ova tri elementa daju manju refleksiju

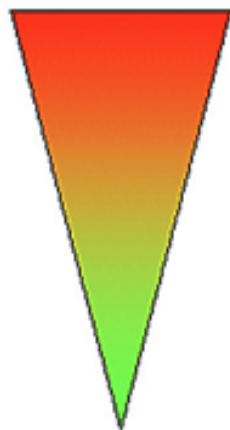
Radar ne detektira:

- oblake, maglu i vjetar
- suhu turbulenciju
- smicanje vjetra
- pješčane oluje (zato što su krute čestice gotovo nevidljive za radar)
- munje

Reflektivnost čestica oborina osim o intenzitetu ovisi i o vrsti oborine. Oborine koje sadrže vodu će reflektirati jače valove od suhih oborina. Na primjer u gornjem dijelu grmljavinskog nevremena, koje sadrži ledene kristale, slabo reflektira valove, za razliku od srednjeg dijela koji sadrži puno vode i mokre tuče, reflektivnost pojedinih vrsta oborina prikazana je na slici 10.



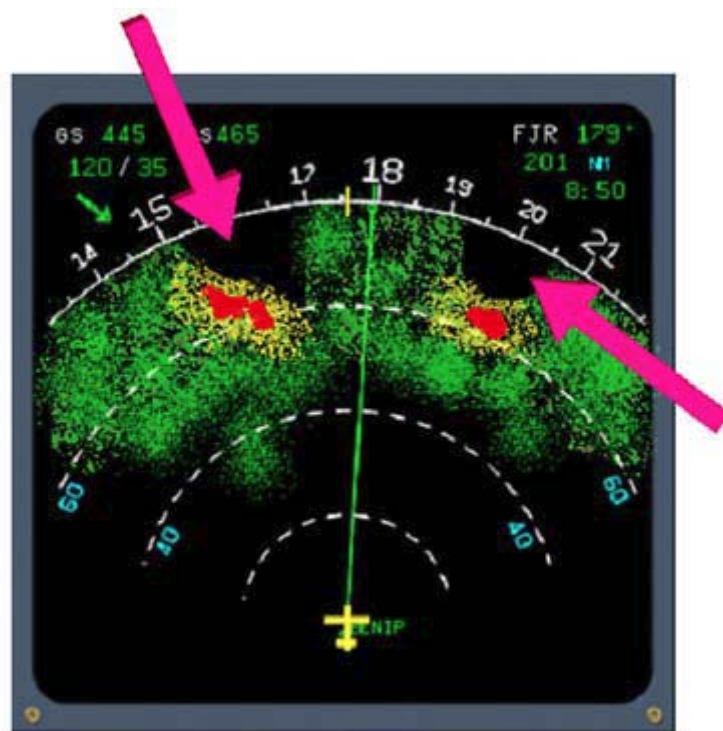
Reflectivity



Ground Clutter  
Wet Hail  
Rain  
Wet Snow  
Dry Hail  
Dry Snow  
Drizzle

Slika 10. Reflektivnost različitih vrsta oborina

Važno je napomenuti kako reflektivnost čestica nije direktno proporcionalna opasnosti meteoroloških pojava. Na primjer, zrak iznad mora može sadržavati puno vlage, u tome slučaju termalna konvekcija proizvodi oblake pune vode, oni će imati vrlo jaku reflektivnost, ali uglavnom neće predstavljati veću opasnost zrakoplovu. Sa druge strane područja iznad kopna na ekvatorijalnom području u kojima dolazi do konvergentnih vjetrova koji uzrokuju jake vjetrove koji se uzdižu vertikalno i predstavljaju velike probleme za zrakoplov. Turbulencije u ili iznad tako stvorenih oblaka mogu imati puno veći intenzitet od onog indiciranog na radarskoj slici na ekranu u kokpitu. Slično tako i snježne pahuljice imaju slabu reflektivnost kad su iznad temperature zamrzavanja, dok se spuštaju kroz razinu smrzavanja pahuljice se skupljaju zajedno i postaju prekrivene slojem vode. Njihova se reflektivnost tada znatno poveća te iako ne predstavljaju opasnost za zrakoplov, a na ekranu u kokpitu pokazana je veća opasnost. Zbog velike reflektivnosti čestica vode, može se doći do sakrivanja opasnijih pojava koje se nalaze iza tih pojava punih vodom (slika 11).

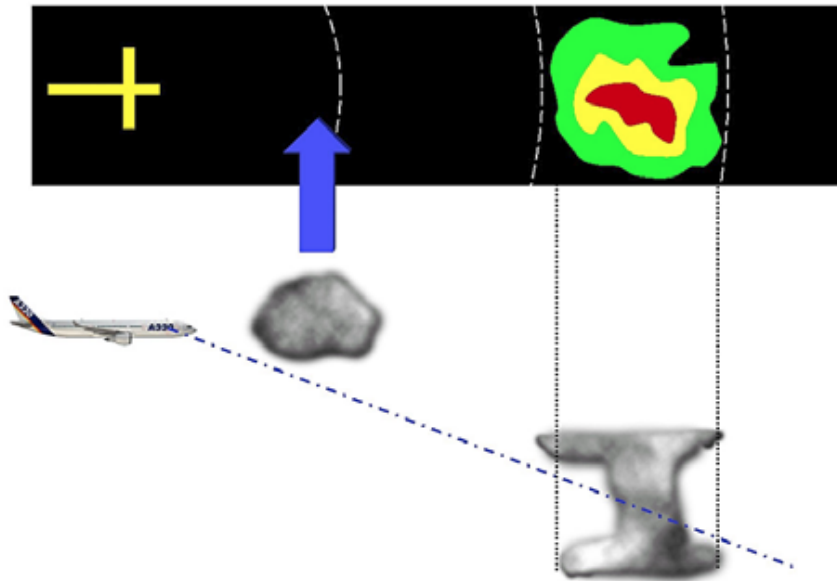


Slika 11. "Sakrivanje" meteoroloških pojava iza velikih količina kiše

Najveći dio signala je reflektiran odmah na početnom dijelu oborine, pa zadnji dio vraća slabe signale, a mogu predstavljati ozbiljne poteškoće. Moderni radarski sustavi mogu staviti korektivni signal kad postoji mogućnost da se nešto nalazi iza prvog sloja jako reflektirajuće meteorološke pojave. Prijašnje generacije meteoroloških radara koristile su parabolične antene i frekvencije od 4000 MHz do 8000 MHz, a noviji meteorološki radari koriste ravne antene i frekvencije od 8000 MHz do 125000 MHz što pruža više prednosti: veću energiju impulsa, užu zraku valova koja omogućuje bolju rezoluciju, veću reflektivnost pa tako i jaču povratnu energiju, detekciju turbulencija i smicanja vjetra, manje potrošnju energije. Korištenje ovih frekvencija smanjuje mogućnost probijanja i detektiranja čestica koje se nalaze iza prvog reda čestica, zbog toga se ovi radari koriste kao alat za izbjegavanje nepogodnih vremenskih uvjeta. Radari nove generacije imaju ili automatsko nagibanje antene koje će samo postaviti antenu i prilagoditi visini na kojoj zrakoplov leti, ili automatsko skeniranje koje će konstantno skenirati i vertikalno i horizontalno po pretpostavljenoj trajektoriji leta i tako pohranjuje i prikazuje trodimenzionalnu sliku na ekranu. Korištenje radara najbolje je zajedno sa prognozama vremena, pa se tako zna kakve se meteorološke pojave mogu očekivati, a onda pomoću radara i izbjeći. Piloti kontroliraju radar sa ove tri funkcije:

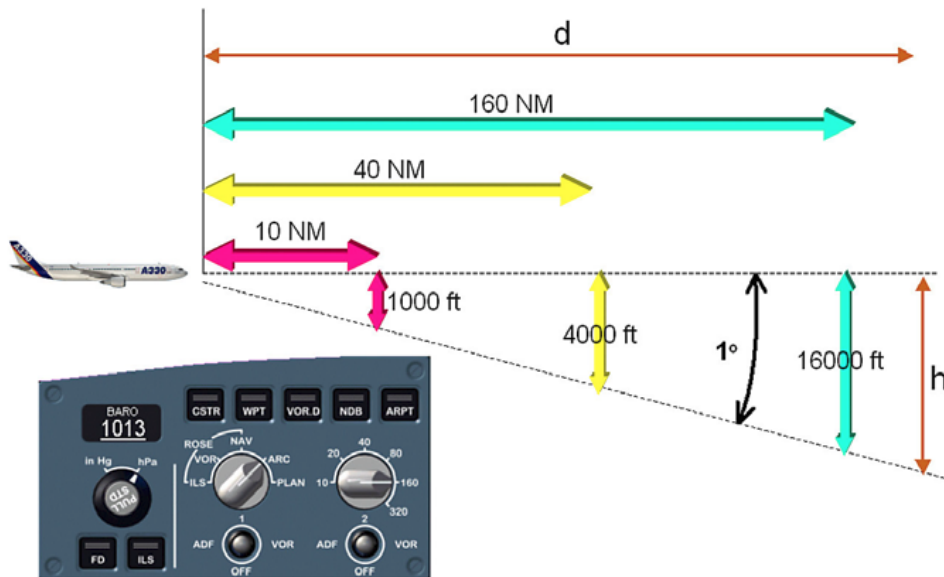
- nagib antene koji je kut između horizonta i središta zrake
- domet
- kontrola dobitka preko kojeg se mijenja osjetljivost prijarnika

Na svim meteorološkim radarima, a posebice na radarima nove generacije nagib antene je jako bitan da bi se omogućila optimalna detekcija i vizualizacija vremena na ekranu. Slika na ekranu ne predstavlja točno prostor ispred zrakoplova nego prostor prema kojem je usmjerena antena, što se vidi na slici 12.



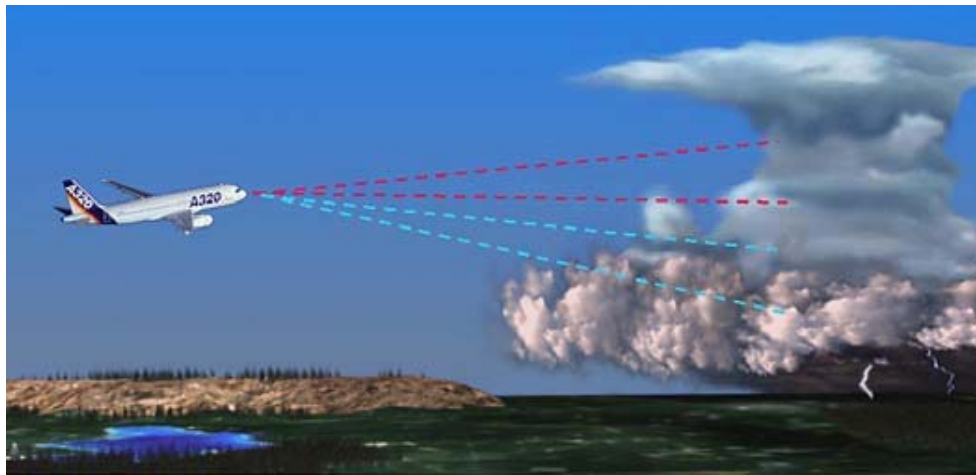
Slika 12. Radarski zaslon prikazuje prostor prema kojem je antena usmjerena

Piloti mogu procijeniti koliko je vertikalno protezanje oblaka iznad ili ispod visine zrakoplova prema sljedećoj formuli:  $h(ft) \sim d(NM) * nagib(^{\circ}) * 100$ . Na primjer jeka koja nestaje na 40 NM sa  $1^{\circ}$  nagiba prema dole ima vrh koji se nalazi 4000 ft ispod razine zrakoplova (slika 13).



Slika 13. Određivanje vertikalne pozicije oblaka

Idealni nagib antene u većini dijelova leta će vraćati i refleksiju valova od tla, ali tijekom polijetanja i penjanja nagib antene mora biti postavljen prema gore ako se očekuju lošiji vremenski uvjeti iznad zrakoplova. Nagib antene se mora mijenjati i optimizirati tijekom cijelog leta u ovisnosti o visini leta, očekivanom položaju loših meteoroloških uvjeta i selekciji dometa. Refleksije koje dolaze od vremenskih pojava i one koje dolaze od tla teško je razlikovati, pa su tako neki radari opremljeni sa funkcijama koje prepoznaju refleksije od tla te ih obrišu sa ekrana. Gornji slojevi kumulonimbusa mogu sadržavati ledene kristale, pa tako radarska slika ne prikazuje ozbiljnost vremenske aktivnosti koju prikazuje. Pa tako za bolju detekciju potrebno je usmjeriti antenu prema nižim razinama oblaka gdje je voda u tekućem stanju te se od nje valovi bolje reflektiraju (slika 14).



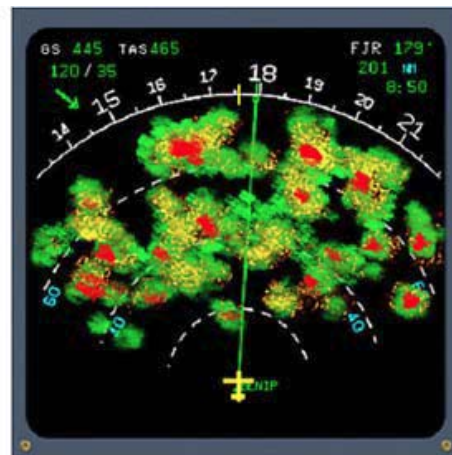
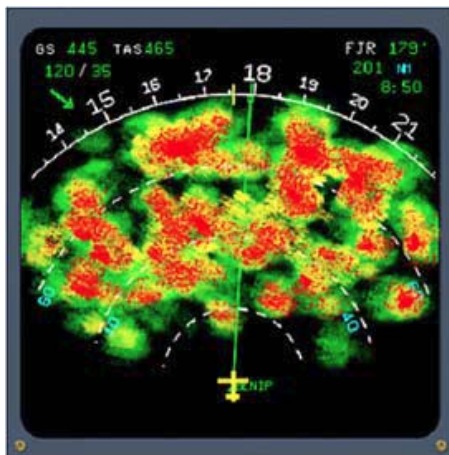
**Slika 14. Skeniranje olujnih oblaka**

Ako je opasno područje pronađeno na nižim visinama, antena treba biti postavljena da vertikalno skenira prostor, ako je na ekranu prikazano da je taj prostor čist postoji velika mogućnost da je to područje vrlo turbulentno te ga se treba izbjeći. Da bi piloti izbjegli veliku oluju moraju donositi odluke i poduzimati radnje 40 NM prije te oluje, pa je zato potrebno da odrede adekvatan domet. Za mijenjanje rute potrebno je skenirati prostor sa bližim i daljim dometom kako bi se spriječio efekt „slijepe ulice“, jer ako se koristi samo manji domet moguće je da se izvan njegovog dometa nalazi meteorološka pojava koja može zrakoplovu prepriječiti put (slika 15).



Slika 15. Efekt "slijepe ulice"

Na nižim visinama čestice su reflektivnije što može smetati pri prikazu slike na ekranu, koja je u tom slučaju prepunjena odjecima. To se može ispraviti smanjivanjem dobitka, pa se tako lakše vidi razlika u intenzitetu pojave i prepoznaje one koje predstavljaju opasnost (slika 16).



Gain decreased

Slika 16. Smanjivanje dobitka radi jasnije slike

Sa druge strane na višim visinama dobitak se mora pojačati radi slabo reflektirajućih zamrznutih čestica. Ispravno korištenje meteorološkog radara vrlo je važno, inače može doći do krivih procjena pilota, kao što su: kada je prostor opasne meteorološke pojave sakriven iza jake kiše, korištenje premalog dometa koje uzrokuje izabiranje loše rute koja je blokirana opasnim pojavama, suha oluja koja je slabo reflektivna, krivo postavljen nagib antene i krivo postavljanje dobitka.

**Tablica 1. Preporuke za namješavanje radara tijekom različitih faza leta**

Faza leta	Preporuka	Opaska
Taksiranje	Postaviti domet na 10 NM, mijenjanje nagiba antene i provjera reflektiranja valova od tla	Provjere radara moraju se obavljati dalje od ljudi
Uzlijetanje	Skenirati nagibom od 15° prema gore ako je očekivano vrijeme značajno, za polijetanje postaviti nagib na 4° prema gore	Skenirati po putanji odlaska
Penjanje	Postaviti negativan nagib, zadržavati refleksiju od tla za vrijeme penjanja	Mijenjati nagib sa obzirom na visinu i domet
Cruise	Postaviti negativan nagib i zadržati refleksiju od tla, kada se približava vremenskim pojavama treba: smanjiti domet, nagib antene prema dola, koristiti funkciju za otkrivanje turbulencija, i postaviti dobitak na automatski	Za razinu leta 370 domet 240 NM, a za razinu leta od 250 domet od 200 NM
Spuštanje	Iznad razine leta 150: svakih 10000 ft promijeniti nagib za otprilike 1°, a ispod razine leta 150: svakih 5000 ft promijeniti nagib za otprilike 1°	
Prilaz	Promijeniti nagib na 4° prema gore	Za izbjegavanje odjeka od tla

6

<sup>6</sup> [http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/safety\\_library\\_items/AirbusSafetyLib\\_-FLT\\_OPS-ADV\\_WX-SEQ07.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-ADV_WX-SEQ07.pdf)

## 4. Obrada i prikaz slike na radarskom zaslonu

Reflektirani valovi vraćaju se od čestica natrag do prijamnika te se analizira njihova jačina, kako bi se odredila količina i vrsta oborina u promatranom prostoru. Kako antena skenira atmosferu sa svakim pomakom vraćaju se različite jačine signala reflektirane od raznih čestica, pa se onda naše srednja vrijednost kako bi podaci bili točniji. Kako, zbog velike razlike u promjeru i dielektričnoj konstanti čestica, može doći do velike razlike u vraćenoj snazi, ona se izražava u decibelima. Ta vraćena snaga na radarskom prikazniku pokazana je različitim bojama, koje se uobičajeno prostiru od plave ili zelene za slabe povratne signale, do crvene i magenta boje za jake povratne signale. Američka nacionalna Doppler radar stranica koristi slijedeću skalu boja po razini reflektirane snage:

- magenta: 65 decibela
- crvena: 52 decibela
- žuta: 36 decibela
- zelena: 20 decibela

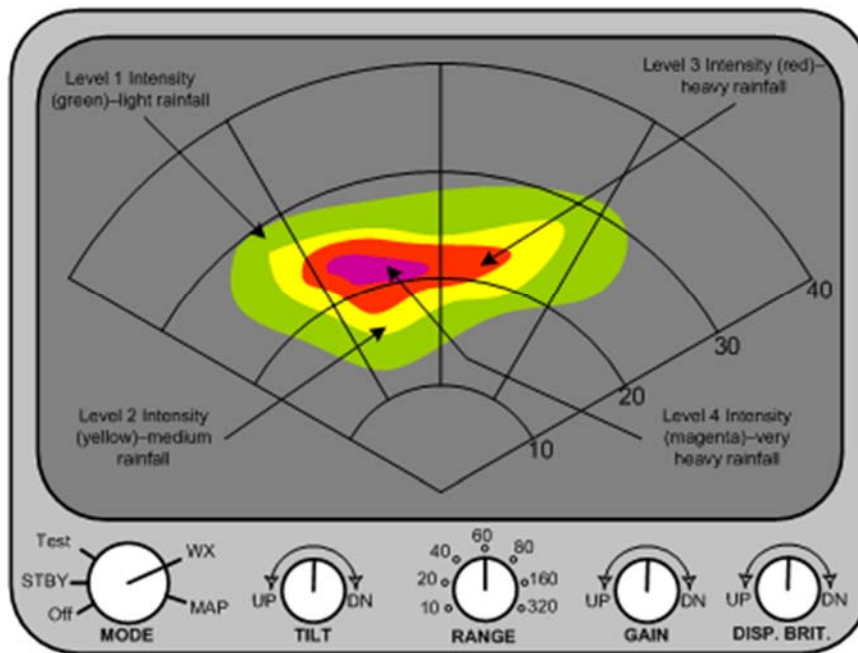
U avijaciji se uglavnom koriste 3 razine kada se govori o informacijama dobivenim od meteorološkog radara, a to su:

- razina 1 koja odgovara zelenoj boji na radarskom ekranu, i uglavnom označuje blage oborine, bez turbulencije i moguću smanjenu vidljivost
- razina 2 označava žutu boju na radarskom ekranu i označuje jače oborine, koje mogu uzrokovati vrlo slabu vidljivost i blažu turbulenciju
- razina 3 označuje crvenu boju na radarskom ekranu, i znači jake oborine, mogućnost grmljavine i jake turbulencije
- razina 4 odgovara magenta boju i označava jake oborine, uglavnom jake kiše

Na slici 17 prikazane su različite boje i razine koje se koriste i pojavljuju na ekranu meteorološkog radara.



### Weather Radar Display (Typical)



Slika 17. Boje i razine na radarskom prikazniku

Zrakoplovi će pokušavati izbjeći područja 2. razine, a područja 3. razine moraju obavezno izbjeći. Osim boja oblici su također jako važni za detektiranje opasnih meteoroloških pojava, prostori u kojem boje brzo prelaze iz zelene u žutu pa crvenu često predstavljaju područja turbulencija (slika 18).<sup>7</sup>

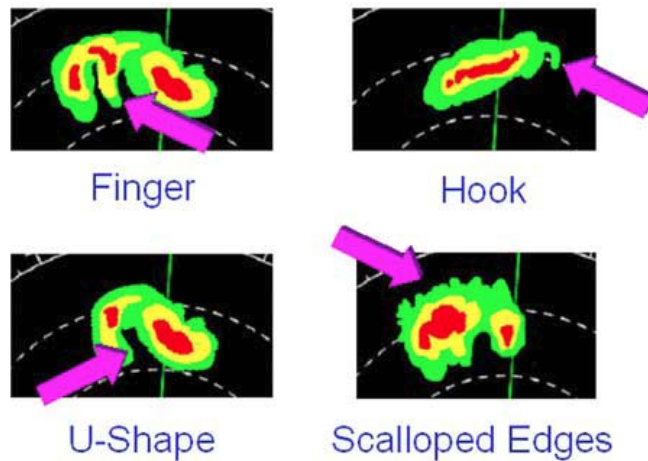


Slika 18. Nagla promjena intenziteta meteorološke pojave

Neki oblici, koji su prikazani na slici 19, su indikatori jakih tuča i snažnih vertikalnih puhanja.

---

<sup>7</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_radar](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar)



**Slika 19. Oblici koji predstavljaju opasne meteorološke pojave**

Na visokim razinama leta led zamjenjuje vodu, a on se slabije detektira, pa se zato na velikim visinama na bilo kakve boje na radarskom prikazniku mora obratiti pažnja zbog velike mogućnosti turbulencija. Neki meteorološki radari su opremljeni sa prikaznikom koji može prikazivati i turbulencije, taj način se bazira na Dopplerovom efektu te prepoznaje gibanje oborina. Da bi ta funkcija radila potrebna je barem minimalna količina oborine, na primjer prostor slabe oborine, koji bi inače bio prikazan zelenom bojom, prikazan je magentom kada je u tom prostoru povećana aktivnost turbulencije. Ovoj funkciji maksimalni domet je 40 NM i može se koristiti samo za mokre turbulencije.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> [http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/safety\\_library\\_items/AirbusSafetyLib\\_-FLT\\_OPS-ADV\\_WX-SEQ07.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-ADV_WX-SEQ07.pdf)

## 5. Detektori elektrostatičkog pražnjenja na zrakoplovu

Glavna funkcija detektora elektrostatičkog pražnjenja je detekcija i izbjegavanje olujnih nevremena koja mogu predstavljati problem u letu zrakoplova. Umjesto da koristi refleksiju valova od čestica oborine, kao što koristi meteorološki radar, on koristi radio prijamnik koji detektira elektrostatička pražnjenja. Očitavanja se obrađuju u računalu i njihov položaj se prikazuje na ekranu. Prikaznik prikazuje svako elektrostatičko pražnjenje do kojeg dođe u određenom vremenskom razdoblju, pa tako pilot može očitati intenzitet i učestalost elektrostatičkog pražnjenja i prema tome odrediti rutu kojom je najsigurnije putovati. Stariji uređaji imali su fiksirani prikaznik, pa bi tako promjenom smjera kretanja oznake na prikazniku ostale na krivim pozicijama, no noviji uređaji koriste žiroskope da se i nakon promijene smjera pozicije na ekranu ostaju točne. Uređaji prikazuju točan kut pod kojim dolazi do elektrostatičkog pražnjenja, ali su manje točni kod prikazivanja udaljenosti. Jaka elektrostatička pražnjenja uobičajeno su prikazana bliže nego što zapravo jesu, a ona slabija su prikazana dalje. Zbog ovih grešaka područja koja su označena na ekranu moraju se zaobilaziti sa velikim razmakom, osim ako se ne uspostavi vizualni kontakt sa olujom ili potvrdi na prikazniku meteorološkog radara. Prednosti detektora elektrostatičkog pražnjenja u odnosu na meteorološke radare je to što ne dolazi do prikrivanja pojava iza drugih jakih, koje se nalazi bliže. Također pružaju pogled na svih 360° oko zrakoplova i mogu se, za razliku od meteoroloških radara, koristiti i na zemlji prije polijetanja. Detektori elektrostatičkog pražnjenja koriste se zajedno sa meteorološkim radarima te se međusobno nadopunjuju, kod većih komercijalnih zrakoplova koriste se oba sustava, dok se kod manjih zrakoplova generalne avijacije koriste uglavnom samo detektori elektrostatičkog pražnjenja zbog male cijene i male mase. Najpoznatiji detektori elektrostatičkog pražnjenja su *Stormscope* (slika 20) i *Strike Finder* (slika 21), oni detektiraju valove niske frekvencije koje stvaraju elektrostatička pražnjenja, ovi uređaji su samo prijammnici jer ne odašilju ništa, za razliku od meteoroloških radara. Elektrostatička pražnjenja pružaju elektromagnetsku energiju u svim smjerovima, neki od njih su vidljive munje, ali većina nije vidljiva okom. Uređaji primaju tu energiju kroz antenu te određuju kut, a

udaljenost na kojoj se elektrostaticko pražnjenje dogodilo određuje se usporedbom sa pražnjenjem koje je pohranjeno u memoriji uređaja, te se preko algoritama izračuna udaljenost na kojoj se nalazi i prikaže na prikazniku. No ta udaljenost često nije precizna pa se mora uzeti sa određenom rezervom. Zato je daleko najbolje detektore elektrostatickog pražnjenja koristiti zajedno sa meteorološkim radarima, ali i meteorološkim izvješćima kako bi se osigurali čim bolji uvjeti za let.



Slika 20. Prikaznik detektora elektrostatickog pražnjenja *Stormscope*



Slika 21. Prikaznik detektora elektrostatickog pražnjenja *Strike Finder*

9

---

<sup>9</sup> <http://www.avweb.com/news/avionics/181954-1.html>

## 6. Mreže meteoroloških radara na zemlji i razvoj budućih tehnologija

### 6.1 Nexrad

Kako bi podatke koje meteorološki radari prikupe, čim brže i efikasnije prikupili na jedno mjesto i tamo ih obradili, oni se okupljaju u mreže meteoroloških radara. Najveća i najpoznatija mreža nalazi se u Sjedinjenim Američkim Državama, a zove se Nexrad (Nexrad meteorološki radar na slici 22), to je mreža od 160 radara visoke rezolucije, frekvencija od 2 do 4 GHz, a tehničko ime mu je WSR-88D (Weather Surveillance Radar 1988, Doppler).



Slika 22. Nexrad meteorološki radar

Detektira oborine i micanja atmosfere, te prihvaća podatke i prikazuje ih na prikazniku. Sustav može funkcionirati na dva različita načina:

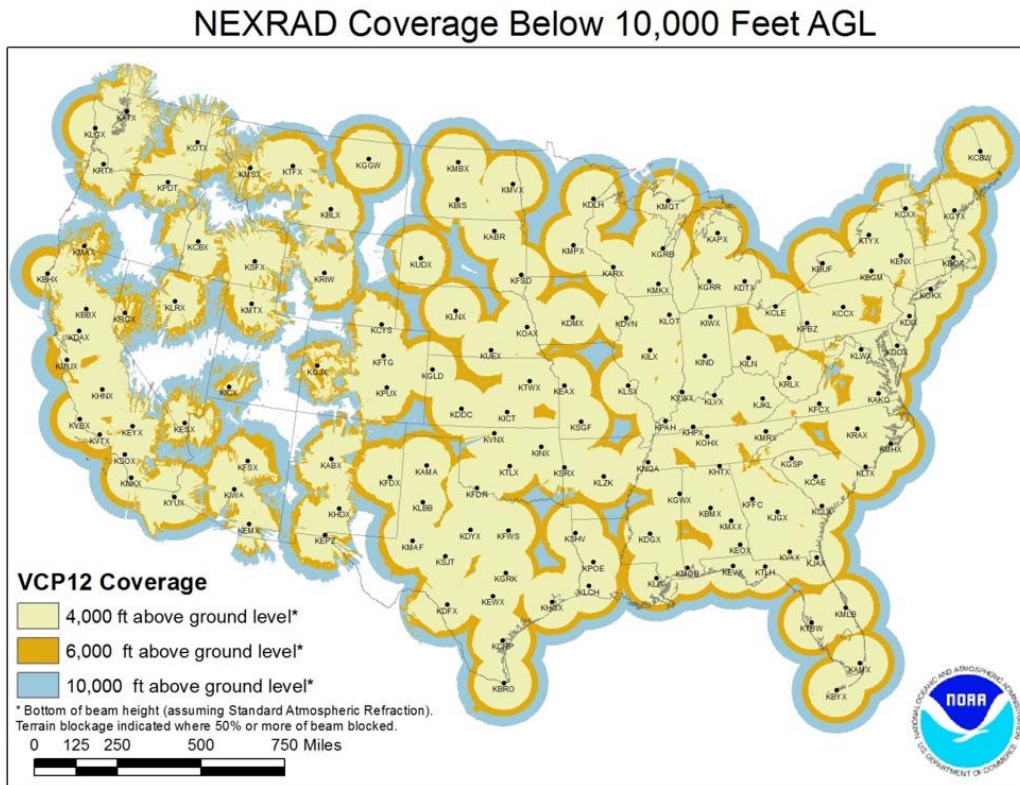
- sporo skeniranje, za analiziranje micanja zraka kad nema ili kad je mala meteorološka aktivnost u tom području
- oborinski način koji skenira brže i koristi se kad je aktivno vrijeme

1990-ih godina počela je instalacija Nexrad radara, njihovo korištenje donijelo je mnoge prednosti nad prijašnjim sustavom. Zbog korištenja Dopplerovog efekta, ovi

radari mogli su detektirati tornada u nastajanju, detektirajući rotacije u olujama. Također pružali su bolju rezoluciju i veću osjetljivost, što je omogućilo operaterima da vide hladne fronte, i male dijelove oluja koje prije nisu bile vidljive na radarskoj slici. Nexrad je omogućio volumno skeniranje prostora što je omogućilo proučavanje vertikalnih struktura oluja i bolje i detaljnije skeniranje vjetra. Domet radara također je znatno povećan što je pomoglo kod detektiranja meteoroloških pojava na puno većim udaljenostima nego prije. Za razliku od svojih prethodnika WSR-88D antena nije direktno kontrolirana od operatera nego sustav stalno skenira prema nekoliko unaprijed određenih uzoraka. Trenutno postoji devet uzoraka koji se koriste, a svi su određeni različitim brzinama rotacije antene, kutom antene, frekvencijom i širinom impulsa, a operateri ih biraju na temelju meteoroloških uvjeta koji su u okolini. 2014. došlo je do poboljšanja skeniranja prostora, pomoću novih tehnika vrijeme skeniranja je upola smanjeno. 2008. godine došlo je do poboljšanja rezolucije radara što je omogućilo puno višu rezoluciju, preciznije detektiranje oborina i veći domet korištenja Dopplerovog efekta, za sada je povišena rezolucija omogućena samo za niže visine. To povećanje rezolucije omogućava detektiranje tornado rotacija na puno većim udaljenostima, pa se tako brže dolazi do podataka i pomaže u brzom obavljanju opasnosti. Osim što pruža više detalja detektiranih oborina i drugih pojava, poboljšava mjerenje brzina te ih može mjeriti na većim udaljenostima. WSR-88D radari su dvostruko polarizirani što dodaje vertikalnu polarizaciju na horizontalne valove, da bi se moglo preciznije odrediti od čega se reflektira signal. To omogućuje radaru da odredi o vrsti padaline, kiši, tuči ili snijegu, a to kod jednostruko polariziranih radara nije bilo moguće. Pokazalo se da kiša, led, snijeg, tuča, ptice, insekti i refleksija od tla imaju drugačije povratne valove sa dvostrukom polarizacijom. Nexrad radari su opremljeni sa mogućnosti dvostruke polarizacije od 2010. do 2013. godine. Osim dvostruke polarizacije, slijedeći veliki pomak biti će uvođenje nizova antena što će omogućiti brže skeniranje velikih prostora, kroz neko vrijeme smatra se da će ova tehnologija biti postavljena na svim WSR-88D radarima. Nexrad ima "rupe" u pokrivenosti prostora ispod 10000 ft u mnogim kontinentalnim dijelovima Sjedinjenih Američkih Država, često zbog reljefa nekog područja ili zbog



nedostatka novaca za postavljanje novih radara. Takve "rupe" mogu uzrokovati probleme, ako na tom području krene stvaranje tornada neće ga se na vrijeme moći detektirati (pokrivenost SAD-a ispod 10000 ft Nexrad radarima na slici 23).



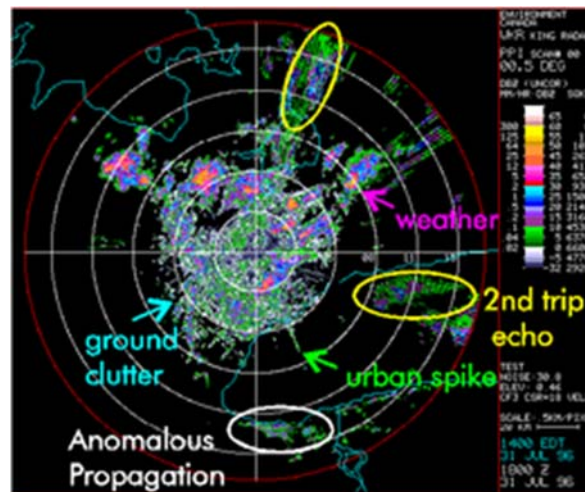
**Slika 23. Pokrivenost Nexrad radarima u SAD-u**

Glavni cilj Nexrada je pomaganje meteorolozima u prognoziranju vremenskih uvjeta i to najvažnije onih koji bi mogli prouzročiti probleme ljudima na zemlji, ali i u zraku. <sup>10</sup>

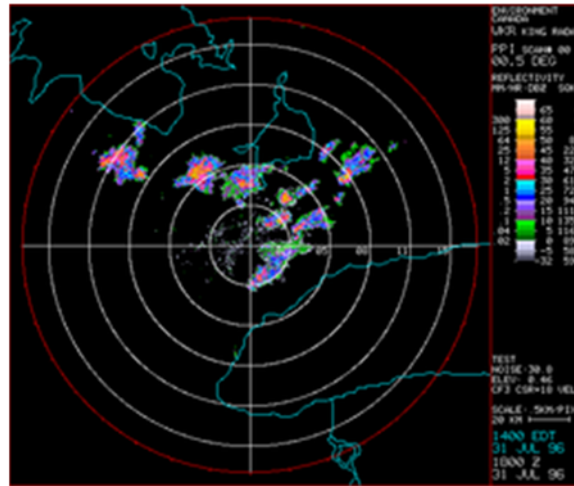
<sup>10</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/NEXRAD#Phased\\_array](https://en.wikipedia.org/wiki/NEXRAD#Phased_array)

## 6.2 Razvoj budućih tehnologija

U budućnosti meteorološki radari moraju konstanto napredovati i razvijati se da bi se detekcija meteoroloških pojava, posebno onih opasnih, poboljšala i ubrzala. Puno novijih tehnologija poput dvostruke polarizacije, pa čak i Dopplerovog efekta nisu još dio svih meteoroloških radara čak niti u razvijenim dijelovima svijeta. Ove dvije tehnologije će pomoći i u filtriranju radarske slike od raznih smetnji. Oborine koje promatramo se miču, pa se tako mogu isfiltrirati refleksije od nepomičnih stvari koje ne promatramo poput građevina i povišenog tla. No neki stvari koje nam smetaju na radarskoj slici su pokretne poput prašine, ptica, pijeska, insekata... filtriranje ovih refleksija nam omogućuje dvostruka polarizacija koja može prepoznati različite vrste čestica, na slici 24 i 25 prikazana je nefiltrirana i filtrirana radarska slika.



Slika 24. Nefiltrirani prikaz na zaslonu meteorološkog radara



Slika 25. Prikaz nakon filtriranja nepoželjnih odjeka

Drugo pitanje je poboljšanje rezolucije i bolje pokrivenosti radarima, što se može napraviti ili većim antenama ili gušćom mrežom. Pa tako u SAD-u planiraju nadopuniti Nexrad mrežu radara sa manjim meteorološkim radarima, valne duljine 3 cm, koji bi bili postavljeni na stupove od mobilnih mreža. Oni bi podijelili veliku mrežu Nexrad radara na još više manjih dijelova, te bi mogli skenirati prostor na niskim visinama na kojim Nexrad radari to ne mogu. Koristeći antene takve male valne duljine, antene same ne bi bile velike, tek oko jednog metra promjera, zbog te valne duljine, valovi ne bi probijali prve meteorološke pojave, ali bi ih bilo puno te bi mogli snimati iz više kutova što bi riješilo taj problem. <sup>11</sup>Najveći napredak biti će ugrađivanje nizova antena na meteorološke radare, što će jako smanjiti vrijeme skeniranja radara (radar sa antenskim nizom). Trenutni Doppler radari skeniraju jedan kut nagiba antenu u jednom trenutku, sa paraboličnom antenom koja se mehanički okreće. Nakon što se antena okrene za 360°, antena promjeni nagib i

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_radar](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar)

ponovno se krene okretati, za vrijeme aktivnih meteoroloških pojava obično se ponavlja 14 puta, te onda radar opet kreće od najmanjeg nagiba, pa mu tako za jedno skeniranje treba od 4 do 6 minuta. Radar sa antenskim nizovima šalje više zraka istovremeno i zbog toga nagnjanje antene nije potrebno, pa se vrijeme skeniranja smanji na manje od minute. Ovo poboljšanje će omogućiti meteorolozima da bolje shvate razvijanje oluja i brže primijete nastajanje tornada. Također ovakvi radari mogu prikupljati podatke o brzim promjenama vjetra koje sa prijašnjim radarima nije bilo moguće zabilježiti. Ova tehnologija mora se još razvijati, i biti će potrebno još desetak godina da ovakve antene postanu standard kod meteoroloških radara.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> <http://www.scientificamerican.com/article/a-better-eye-on-the-storm/>

## 7. Zaključak

Meteorološki radari ključan su dio zrakoplovstva, omogućuju siguran let zrakoplova što je najvažniji cilj zrakoplovstva. Radari funkcioniraju na principu slanja i primanja reflektiranih radio-valova, na temelju kojih se može odrediti pozicija meteoroloških pojava, a onda ako je potrebno i poduzeti radnje za izbjegavanje onih koje su nepovoljne.

Čitanje i razumijevanje slike na prikazniku radara iznimno je važno kako bi se prepoznale bilo kakve moguće opasne situacije.

Detektori elektrostatičkog pražnjenja još su jedan alat kojim se služe piloti za provođenje sigurnog leta. Oni primaju signale od elektrostatičkih pražnjenja, određuju kut pod kojim dolaze te njihovu udaljenost i to prikazuju na zaslonu. Ovi uređaji imaju neke nedostatke pa je dobro da se koriste zajedno sa meteorološkim radarima i izvješćima.

Nexrad mreža radara vrlo je važna za otkrivanje meteoroloških pojava na području Sjedinjenih Američkih Država. Osim što pomažu u ranom otkrivanju opasnih tornada, vrlo su bitni i za isprobavanje novih tehnologija koje su potrebne za još bolje iskorištavanje radara i za sigurnost zrakoplova u letu.

## Literatura

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_radar](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar) (kolovoz 2016.)
2. <http://www.radartutorial.eu/15.weather/wx04.en.html> (kolovoz 2016.)
3. [http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/what\\_is\\_radar.shtml](http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/what_is_radar.shtml) (kolovoz 2016.)
4. <http://www.radartutorial.eu/15.weather/wx05.en.html> (kolovoz 2016.)
5. [http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/safety\\_library\\_items/AirbusSafetyLib\\_-FLT\\_OPS-ADV\\_WX-SEQ07.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-ADV_WX-SEQ07.pdf) (kolovoz 2016.)
6. <http://www.avweb.com/news/avionics/181954-1.html> (kolovoz 2016.)
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/NEXRAD#Phased\\_array](https://en.wikipedia.org/wiki/NEXRAD#Phased_array) (kolovoz 2016.)
8. <http://www.scientificamerican.com/article/a-better-eye-on-the-storm/> (kolovoz 2016.)

## Popis slika

Slika 1. David Atlas .....	2
Slika 2. Prikaz tornada 1960. ....	3
Slika 3. Osnovne komponente radara .....	5
Slika 4. Slanje i primanje impulsa.....	6
Slika 5. Volumen zraka pokriven radarom.....	7
Slika 6. Jedinca volumena na udaljenosti R.....	8
Slika 7. Meteorološki radar na krilu Pilatusa PC-12 .....	9
Slika 8. Šteta na zrakoplovu zbog tuče .....	9
Slika 9. Reflektiranje valova od oborina .....	10
Slika 10. Reflektivnost različitih vrsta oborina .....	11
Slika 11. "Sakrivanje" meteoroloških pojava iza velikih količina kiše.....	12
Slika 12. Radarski zaslon prikazuje prostor prema kojem je antena usmjerena.....	14
Slika 13. Određivanje vertikalne pozicije oblaka .....	14
Slika 14. Skeniranje olujnih oblaka.....	15
Slika 15. Efekt "slijepe ulice" .....	16
Slika 16. Smanjivanje dobitka radi jasnije slike .....	16
Slika 17. Boje i razine na radarskom prikazniku.....	19
Slika 18. Nagla promjena intenziteta meteorološke pojave .....	20
Slika 19. Oblici koji predstavljaju opasne meteorološke pojave .....	21
Slika 20. Prikaznik detektora elektrostatičkog pražnjenja <i>Stormscope</i> .....	23
Slika 21. Prikaznik detektora elektrostatičkog pražnjenja <i>Strike Finder</i> .....	24
Slika 22. Nexrad meteorološki radar .....	25
Slika 23. Pokrivenost Nexrad radarima u SAD-u.....	27
Slika 24. Nefiltrirani prikaz na zaslonu meteorološkog radara.....	28
Slika 25. Prikaz nakon filtrirana nepoželjnih odjeka .....	29

## **Popis tablica**

Tablica 1. Preporuke za namještanje radara tijekom različitih faza leta ..... 17



## METAPODACI

**Naslov rada:** Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki meteoroloških radara u zrakoplovstvu

**Student:** Ivan Živković

**Mentor:** Prof. dr. sc. Tino Bucak

**Naslov na drugom jeziku (engleski):** The Analysis of Technical and Operational Characteristics of Weather Radar Systems in Aviation

**Povjerenstvo za obranu:**

- Doc. dr. sc. Mario Muštra (predsjednik)
- Prof. dr. sc. Tino Bucak (mentor)
- Dr. sc. Jurica Ivošević (član)
- Doc. dr. sc. Anita Domitrović (zamjena)

**Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj:** Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod:** Zavod za aeronautiku

**Vrsta studija:** Preddiplomski

**Studij:** Aeronautika

**Datum obrane završnog rada:** 13.9.2016.



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom **Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki meteoroloških radara**

**u zrakoplovstvu**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 6.9.2016.

Student/ica:

*E. Ivančić*

(potpis)