Izračun učinaka smicanja vjetra na performanse aviona

Jelić, Dona

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:119:798737

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dona Jelić

IZRAČUN UČINAKA SMICANJA VJETRA NA PERFORMANSE AVIONA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

IZRAČUN UČINAKA SMICANJA VJETRA NA PERFORMANSE AVIONA

CALCULATION OF WINDSHEAR EFFECTS ON THE AIRCRAFT PERFORMANCE

Mentor: mr. sc. Davor Franjković, v. pred

Student: Dona Jelić
JMBAG: 0135255452

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Planiranje letenja i performanse I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6311

Pristupnik: **Dona Jelić (0135255452)**
Studij: Aeronautika
Smjer: Pilot
Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Izračun učinaka smicanja vjetra na performanse aviona**

Opis zadatka:

Opisati i objasniti što je to smicanje vjetra i kakav može biti njegov utjecaj na performanse aviona i sigurnost letenja. Opisati uređaje i sustave pomoću kojih se mogu prepoznati i mjeriti uvjeti smicanja vjetra. Opisati postupanje pilota u situacijama povezanim sa smicanjem vjetra.
Prikupiti podatke o smicanju vjetra u području aerodroma u Republici Hrvatskoj. Prikupiti podatke o zrakoplovnim nezgodama i nesrećama povezanim sa smicanjem vjetra. Prikupljene podatke analizirati, obraditi te rezultate prikazati na odgovarajući način.
Napisati zaključke.

Mentor:



mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

SAŽETAK

Meteorologija znatno utječe na sigurnost leta. Vjetar je pretežno vodoravno strujanje zraka, određeno smjerom i brzinom. Smicanje vjetra jedna je od najopasnijih meteoroloških pojava u zrakoplovstvu i definira se kao prostorna ili vremenska promjena brzine i smjera vjetra. Naglo mijenja aerodinamičke postavke leta pa zrakoplov naglo propinje ili naglo propada. Horizontalno i/ili vertikalno smicanje vjetra pri polijetanju dovodi do iznenadnog gubitka brzine leta i smanjenja brzine uzdizanja zrakoplova, a pri slijetanju dovodi do iznenadnog gubitka brzine i prividnog gubitka snage što može rezultirati katastrofalnim posljedicama. U ovom radu definirano je smicanje vjetra i njegov utjecaj na zrakoplov. Iznenadna promjena leđnog i čeonog vjetra uzrokuje smanjivanje uzgona što dovodi do spuštanja zrakoplova i može biti vrlo opasno pri malim visinama. Također su opisani uređaji za mjerenje i prepoznavanje smicanja vjetra, postupci pilota i navedene su nesreće uzrokovane smicanjem vjetra.

KLJUČNE RIJEČI: zrakoplov, smicanje vjetra, mali propad, performanse zrakoplova

SUMMARY

Meteorology significantly affects flight safety. Wind is a mostly horizontal flow of air, determined by direction and speed. Wind shear is one of the most dangerous meteorological phenomena in aviation and is defined as a spatial or temporal change of in wind speed and direction. It abruptly changes the aerodynamic setting of the flight, so the aircraft suddenly climbs or sinks. Horizontal and/or vertical wind shear during take-off leads to a sudden loss of airspeed and a reduction of the rate of climb, and during landing it leads to a sudden loss of airspeed and apparent loss of thrust which can result in catastrophic consequences. This paper defines wind shear and its impact on an aircraft. A sudden change in the tailwind and headwind causes a loss in lift which leads the aircraft to descent and can be very dangerous at low heights. Devices for measuring and recognizing wind shear, pilot procedures and accidents caused by windshear are also described.

KEY WORDS: aircraft, wind shear, microburst, aircraft performance

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. MALI PROPAD 3

3. SMICANJE VJETRA 5

3.1. LOW LEVEL WINDSHEAR 6

3.2. HORIZONTALNO SMICANJE VJETRA 7

3.3. VERTIKALNO SMICANJE VJETRA 7

4. UČINAK SMICANJA VJETRA NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA 9

5. UREĐAJI ZA PREPOZNAVANJE I MJERENJE SMICANJA VJETRA 12

5.1. ZEMALJSKI UREĐAJI ZA UPOZORAVANJE 13

5.1.1. SUSTAV ZA UPOZORAVANJE NISKOG SMICANJA VJETRA 13

5.1.2. TERMINALNI DOPPLEROV METEOROLOŠKI RADAR 14

5.2. UREĐAJI ZA PREPOZNAVANJE U ZRAKU 14

5.2.1. METEOROLOŠKI RADARSKI SUSTAV U ZRAKU 14

5.2.2. UGRAĐENI SUSTAV PREDVIĐANJA SMICANJA VJETRA 15

6. POSTUPCI PILOTA U UVJETIMA SMICANJA VJETRA 17

7. SMICANJE VJETRA U REPUBLICI HRVATSKOJ 20

8. ZRAKOPLOVNE NESREĆE I NEZGODE POVEZANE SA SMICANJEM VJETRA 25

8.1. ZRAKOPLOVNE NESREĆE I NEZGODE POVEZANE SA SMICANJEM VJETRA U SVIJETU 25

8.2. ZRAKOPLOVNE NESREĆE I NEZGODE POVEZANE SA SMICANJEM VJETRA U REPUBLICI HRVATSKOJ 26

9. ZAKLJUČAK 28

LITERATURA 35

POPIS ILUSTRACIJA 38

1. UVOD

Meteorološki uvjeti imaju veliki utjecaj na zrakoplovstvo. Planiranje leta jako ovisi o vremenu i ono je navedeno kao faktor koji doprinosi nesrećama i velikim incidentima. Vjetar je pretežno vodoravno strujanje zraka, relativno prema Zemljinoj površini, a određeno je smjerom i brzinom, odnosno jačinom. Smicanje vjetra je promjena smjera i brzine vjetra na vrlo maloj udaljenosti, a dijeli se na vertikalno i horizontalno smicanje. Predstavlja najveću meteorološku opasnost pri polijetanju i slijetanju. Naglim razvojem komercijalne avijacije 90-ih godina prošlog stoljeća, napredovala je tehnologija kojom danas možemo identificirati smicanje vjetra i spriječiti ulazak u takvo područje. Sada postoje meteorološki radari koji prepoznavaju i mjere smicanje vjetra te upozoravaju posadu i kontrolu leta kako bi se izbjegle nesreće.

Svrha ovog završnog rada je prikazati svojstva smicanja vjetra i njegov utjecaj na performanse zrakoplova. Cilj rada je prikazati opasnost smicanja vjetra u zrakoplovstvu i kako pilot treba reagirati u tom slučaju.

Rad je podijeljen na devet cjelina:

1) Uvod
2) Mali propad
3) Smicanje vjetra
4) Učinak smicanja vjetra na performanse zrakoplova
5) Uređaji za prepoznavanje i mjerenje smicanja vjetra
6) Postupci pilota u uvjetima smicanja vjetra
7) Smicanje vjetra u Republici Hrvatskoj
8) Zrakoplovne nesreće i nezgode povezane sa smicanjem vjetra
9) Zaključak

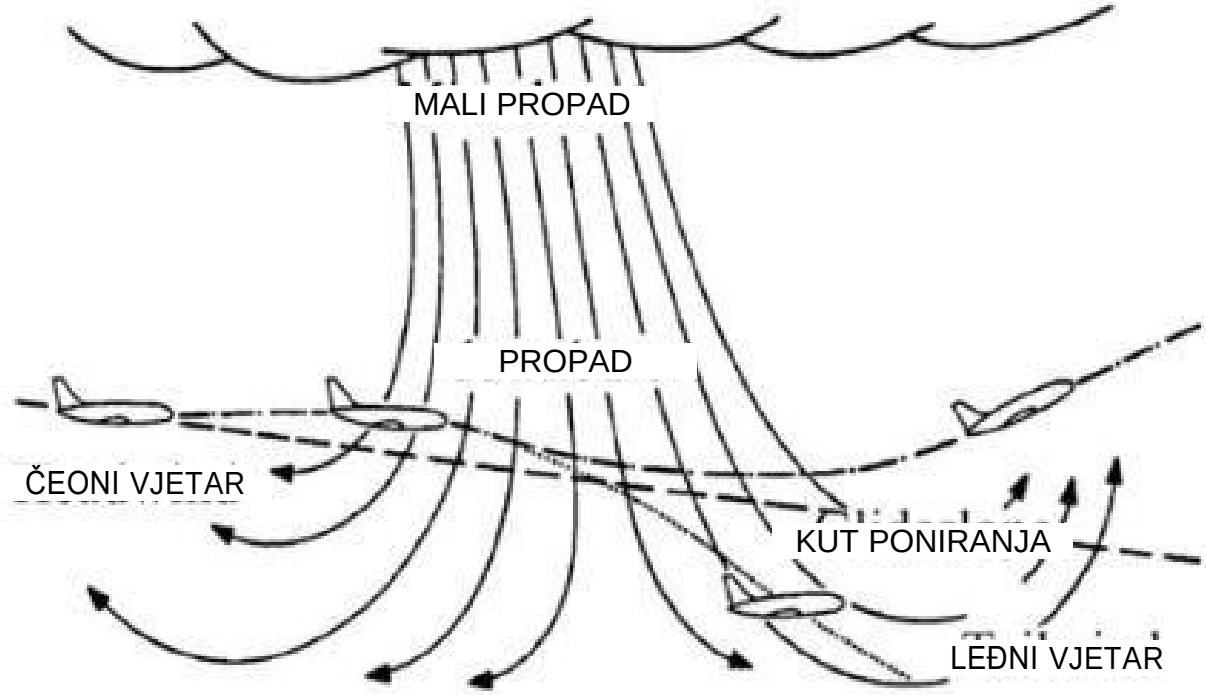
Nakon uvoda, u drugom poglavlju, opisan je mali propad kao važna meteorološka pojava u zrakoplovstvu. U trećem poglavlju objašnjeno je smicanje vjetra, vertikalno, horizontalno i prizemno. Kako se zrakoplov ponaša u različitim uvjetima smicanja vjetra objašnjeno je u četvrtom poglavlju.

Zemaljski i uređaji u (ili na) zrakoplovu (*on-board* uređaji) za prepoznavanje i mjerenje smicanja vjetra koji služe upozoravanju na vremenske uvjete, opisani su u petom poglavlju. Ako se zrakoplov nađe u području smicanja vjetra, reakcije posade su ključne u tom trenutku. Procedure i postupci pilota navedeni su u šestom poglavlju.

Sedmo poglavlje opisuje smicanje vjetra u Republici Hrvatskoj. Analizirani su podaci mjerenja smicanja vjetra na područjima Hrvatske te zabilježenih slučajeva na zračnim lukama. Smicanje vjetra uzrok je mnogim nesrećama i incidentima. U osmom poglavlju navedene su nesreće nastale zbog smicanja vjetra, a u zadnjem, devetom, poglavlju navode se zaključna razmatranja o temi.

2. MALI PROPAD

Propad (engl. *microburst*) se definira kao silazno strujanje hladnoga zraka iz središta kumulonimbusa prema Zemljinoj površini, obično u području jake oborine [1]. Pušu radijalno u ravnim linijama u svim smjerovima od dodirne točke u razini tla, a mogu imati brzine i do 6000 stopa u minuti. Često se može zamijeniti s tornadom zbog štetnih vjetrova, no razlika između tornada i propada je što u tornadu vjetrovi velike brzine kruže oko središnjeg područja i zrak se kreće prema unutra i gore, dok su vjetrovi u propadu usmjereni prema dolje, a zatim prema van, a prikazan je na slici 1.



Slika 1 Susret zrakoplova s malim propadom [2]

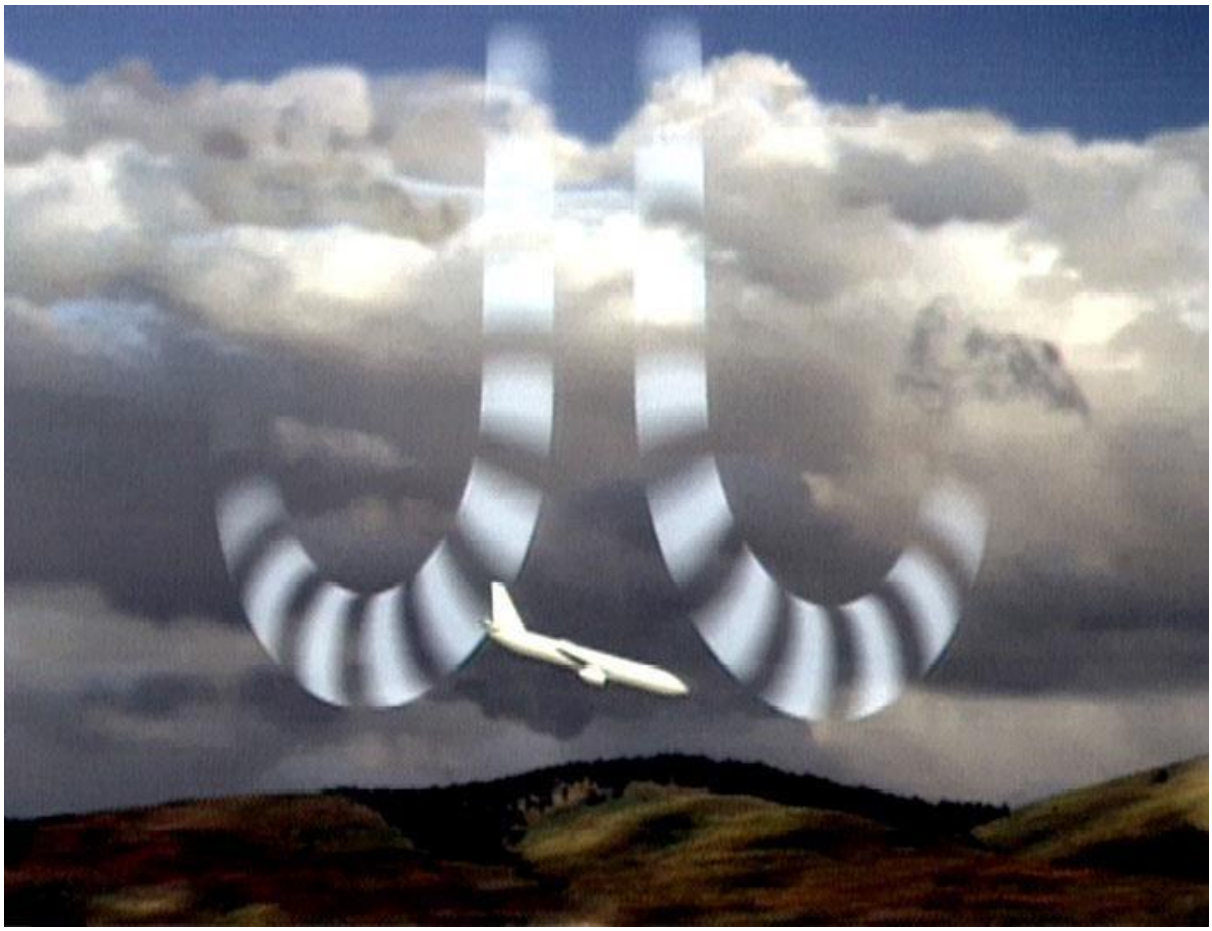
Najčešće traje od 5 do 10 minuta, a nekada i do 30 minuta. Najjači udari traju 2 do 4 minute i opasni su za zrakoplove. Mali propad je propad koji zahvaća područje promjera manjeg od 4 km [3]. Naziva se također i mala provala, mikropropad ili mikroudar. Traje 2 do 5 minuta [4]. Nastaje unutar grmljavinske oluje i obično je promjera od oko 2,5 nautičke milje.

Postoje dvije vrste malog propada: mokri i suhi. Mokri propad (engl. *wet microburst*) je propad s oborinom koja doseže do tla [3]. Prate ga značajne oborine na površini, a česti su na jugoistočnom dijelu svijeta tijekom ljetnih mjeseci [5]. Za vrijeme mokrog propada padne više od 0,25 mm kiše [4]. Propad bez oborina zove se suhi propad

(engl. *dry microburst*). Povezani su s fenomenom nazvanim *virga*. To je kiša koja isparava prije nego što stigne na tlo, obično u sušoj klimi. Kiša zbog klime isparava što uzrokuje hlađenje zraka, a to uzrokuje propad [6]. Tijekom suhog propada padne manje od 0,25 mm kiše [4]. Nastaju zbog jakih oluja koje generiraju malo ili nimalo površinskih kiša. Mali propad se spušta s baze oblaka na oko 1000 do 3000 stopa iznad tla, a u prijelaznoj zoni blizu tla, propad se mijenja u vodoravni izljev čiji se promjer može proširiti do 2,5 nautičke milje (4 km) [7].

3. SMICANJE VJETRA

Smicanje vjetra (engl. *windshear*) ili gradijent vjetra je nagla promjena brzine i/ili smjera vjetra. Može biti vertikalno, horizontalno ili kombinacija vertikalnog i horizontalnog. Vertikalno smicanje vjetra je promjena vodoravnog smjera vjetra i/ili brzine s visinom, a horizontalno smicanje vjetra je promjena vodoravnog smjera vjetra i/ili brzine s horizontalnom udaljenosti [8]. Također je ključni faktor u stvaranju jakih grmljavinskih oluja.



Slika 2 Smicanje vjetra [9]

Smicanje vjetra je mikroskalni meteorološki fenomen koji se javlja na vrlo maloj udaljenosti. Opaža se obično u blizini malog propada i propada (engl. downburst) prouzrokovanih grmljavinskim olujama, frontama, područjima lokalno jačih vjetrova niske razine nazvanih mlazovi niske razine, u blizini planina, inverzijama zračenja koje se javljaju zbog vedra neba i mirnog vjetra, zgrada, vjetroagregata i jedrilica [10]. Ozbiljno smicanje vjetra je promjena veća od 15 kts ili promjena vertikalne brzine veće

od 500 ft u minuti. Iznenadna promjena brzine vjetra može naglo promijeniti brzinu zrakoplova, a time i uzgon koji drži zrakoplov u zraku [6].

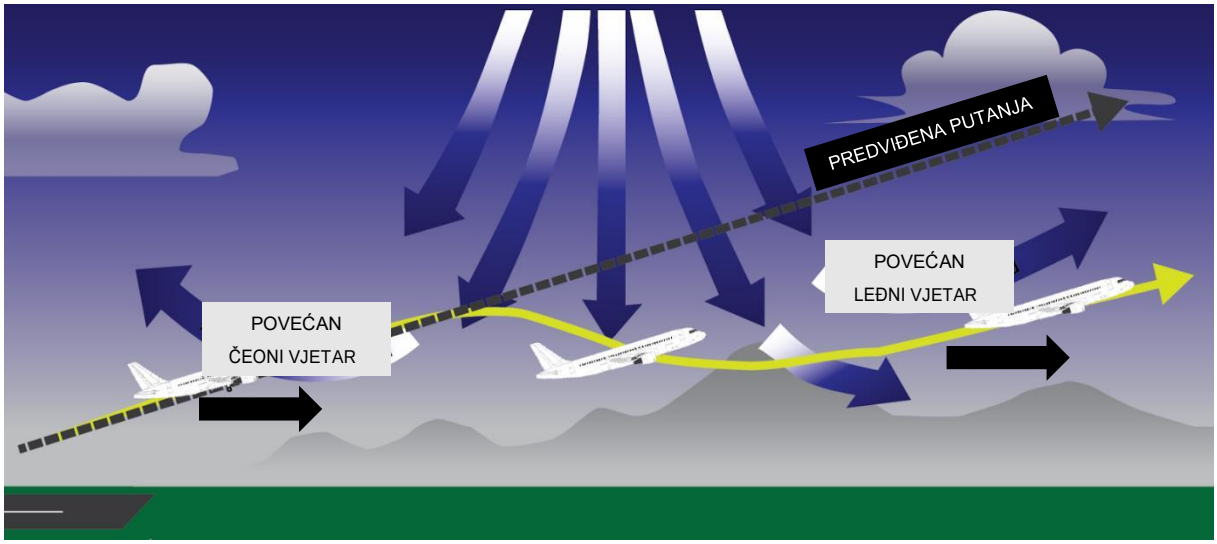
Jako smicanje vjetra dolazi kada se mlazni tok protegne preko tropskih voda te stvara zonu brzog povećanja brzine vjetra na višim razinama atmosfere [11]. Ne moraju uvijek btiti uzrok slabljenja tropske anticiklone, rijetko uzrokuje jačanje tropske cikone. Svi jači vjetrovi koji pušu iz istog smjera kao i cirkulacija mogu uzrokovati brže okretanje i jačanje oluje. Smicanje vjetra se zbog česte promjene teško može predvidjeti.

Glavni efekti smicanja vjetra su: turbulencija, nasilno kretanje zraka (npr. propadi, vrtloženje ili rotiranje zraka), naglo povećanje ili smanjenje brzine zrakoplova.

Kako bi smanjili opasnost potrebno je poboljšati predviđanje smicanja vjetra, obuku i prepoznavanje, izbjegavanje i oporavak.

3.1. LOW LEVEL WINDSHEAR

Smicanje vjetra na niskoj razini (engl. *low level windshear*) može značajno utjecati na brzinu zrakoplova u polijetanju i slijetanju. Shema prizemnog smicanja vjetra pri polijetanju prikazana je na slici 3. Piloti su osposobljeni za izbjegavanje propada i smicanja vjetra jer se intenzitet malog propada može udvostručiti u manje od minute, vjetrovi intenzivno mijenjaju smjer pa se mogu naglo prebaciti na prejaki bočni vjetar.

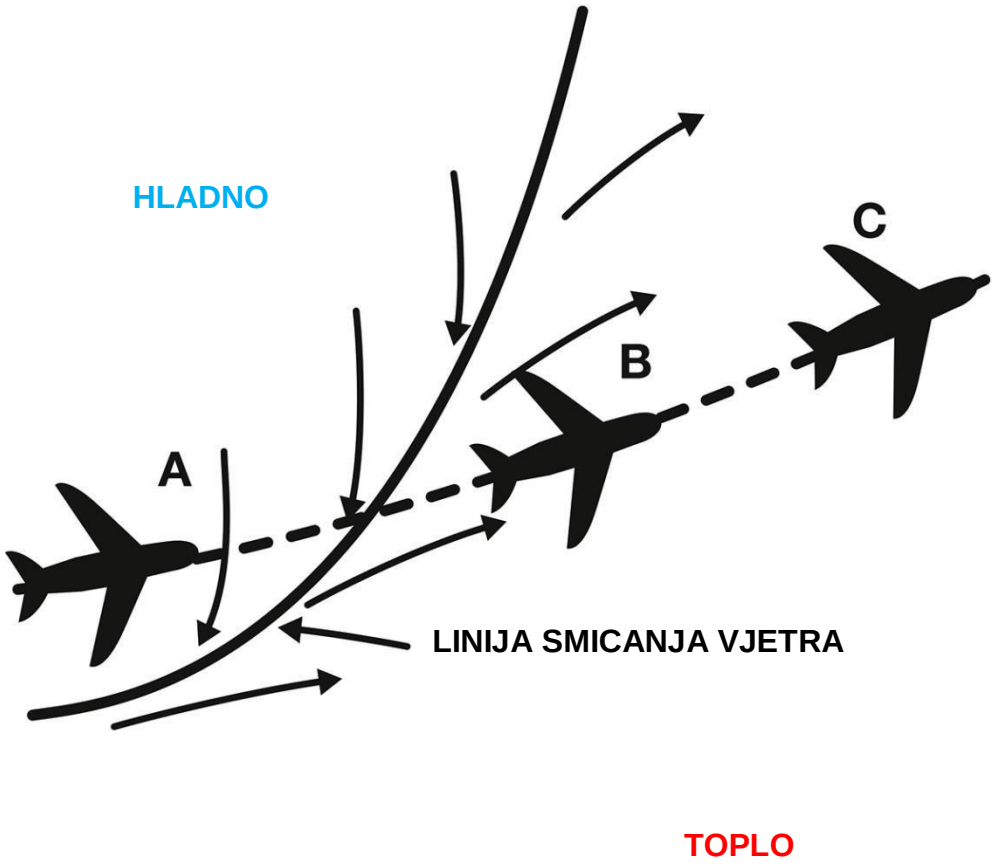


Slika 3 Prizemno smicanje vjetra pri polijetanju [12]

3.2. HORIZONTALNO SMICANJE VJETRA

Promjena smjera ili brzine vjetrova nad površinama oceana je horizontalno smicanje vjetra. Vodoravno smicanje se uglavnom nalazi duž atlantske obale SAD-a te ima jake hladne fronte. Kad tijekom oluje postoji jako vodoravno smicanje vjetra, oluju mogu otjerati ili usitniti jaki jednosmjerni vjetrovi [11].

Varijacije komponente vjetra dostižu i do 100 kts po NM. Horizontalno smicanje vjetra prikazano je na slici 4.



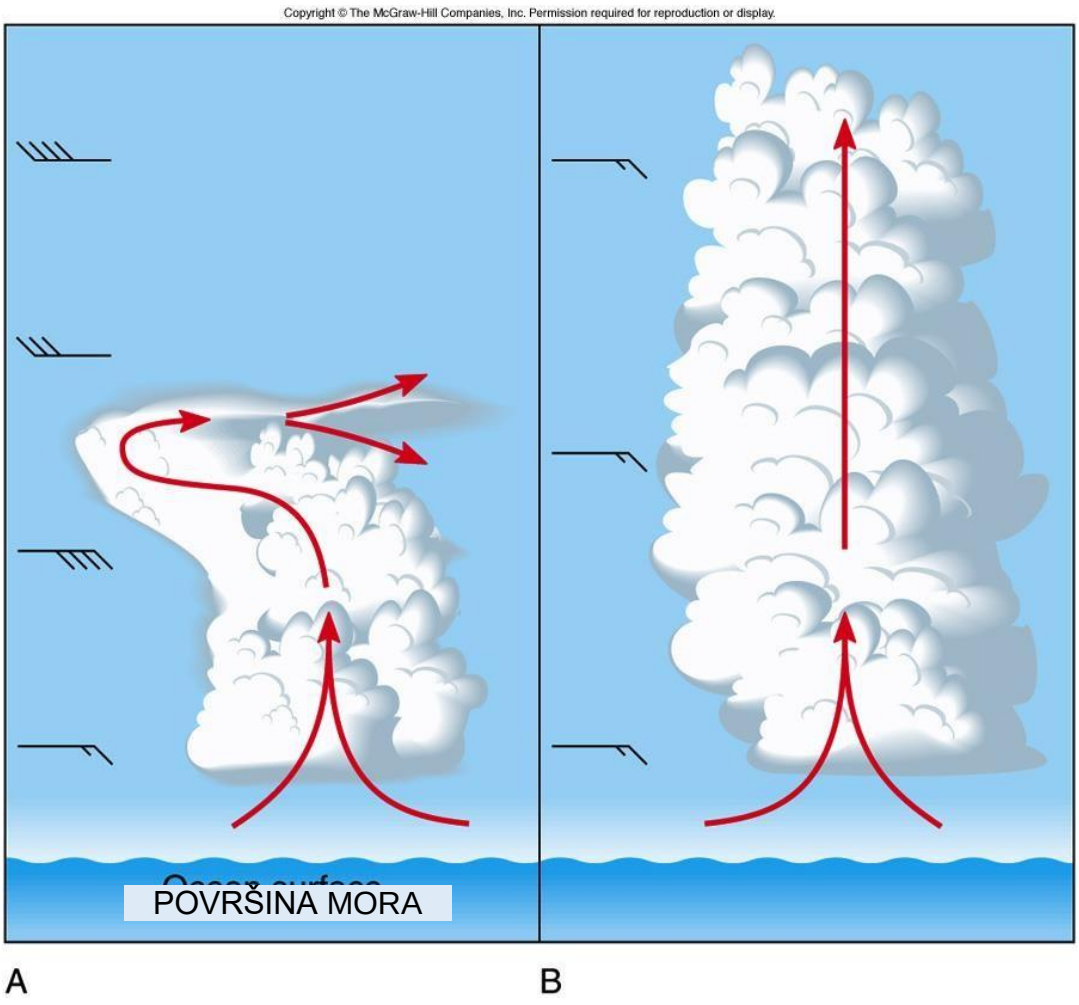
Slika 4 Horizontalno smicanje vjetra [13]

3.3. VERTIKALNO SMICANJE VJETRA

Promjena vjetrova s visinom je okomito smicanje vjetra, tj. promjena smjera i brzine vjetra povećanjem temperature. Najznačajniji su u tropskim ciklonama. Kada je jako vertikalno smicanje vjetra, mogu se otpuhati vrhovi tropske ciklone ili uragana za nekoliko stotina kilometara nizstrujno. Ako se to dogodi, oluja se može okomito nagnuti

i početi se odmatati uz uvlačenje suhog zraka ili može prekinuti protok toplog vlažnog zraka [11].

Povećanjem vjetra, povećava se i vjerojatnst da će se oluja raspršiti jer se ona širi na većem području. Tipične vrijednosti komponente vertikalnog vjetra iznose od 20 kts do 30 kts na 1000 ft, a može dostići do 10 kts na 100 ft visine. Okomito smicanje vjetra su okomite varijacije horizontalne komponente vjetra koje rezultiraju turbulencijama i utječu na brzinu zrakoplova pri penjanju ili spuštanju kroz sloj smicanja [14]. Izgled okomitog smicanja vjetra prikazan je na slici 5.



Slika 5 Okomito smicanje vjetra [15]

4. UČINAK SMICANJA VJETRA NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA

Jaki vjetrovi nisu nužno glavni problem zrakoplova, no opasnost smicanja vjetra nastaje zbog nagle promjene smjera vjetra što uzrokuje podizanje zrakoplova. Smicanje vjetra na velikim visinama uzrokuju promjene brzine zraka i brzine spuštanja zrakoplova (engl. *rate of descent* – RoD ili R/D). Ta pojava se u avionu percipira kao turbulencija. Iako to zna biti opasno, smicanje vjetra najopasnije je kada je na malim visinama, pogotovo u blizini aerodroma jer utječu na slijetanje i polijetanje. Približavanjem silaznoj struji zraka (engl. *downdraft*), horizontalno smicanje vjetra kao čeoni vjetar povećava brzinu zraka odnosno smanjuje brzinu zrakoplova u odnosu na brzinu u mirnom zraku, bez vjetra. Napuštanjem silazne struje zraka, vjetar postaje leđni što ubrzava zrakoplov, a smanjuje silu uzgona koju generiraju krila [8]. Silazno strujanje utječe i na napadni kut zrakoplova te na putanju zrakoplova budući da ponire [16]. Silazna struja zraka koja rezultira propadima gura zrakoplov prema zemlji, a jačina propada može premašiti mogućnost penjanja zrakoplova.

Nesreće su se događale zbog reakcije pilota koji je zbog prvotno povećane brzine smanjio snagu, pa zrakoplov može s malom snagom biti na maloj visini zbog promjene čeonog vjetra u leđni.

Postoje dvije tpične situacije:

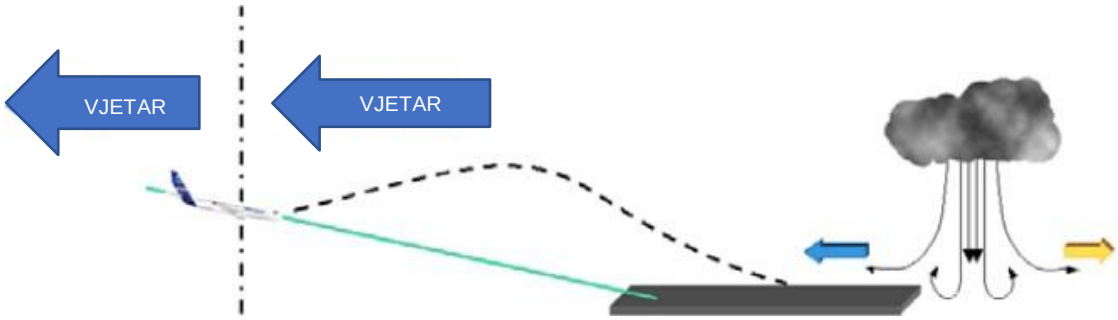
- Zrakoplov u početnom usponu nailazi na mali propad s jakim propuhom koji sprječava penjanje zrakoplova iako je pilot prepoznao situaciju i poduzeo odgovarajuće mjere.
- Zrakoplov u prilazu, u uvjetima leđnog vjetra nailazi na vodoravno smicanje što uzrokuje promjenu vjetra. Indicirana brzina se povećava, a zrakoplov se penje. Iako pilot pokušava spasiti slijetanje, no zrakoplov brzo prilazi pa kasno dodiruje pistu ili ju samo prelijeće [8].

Nalet čeonog vjetra povećava trenutnu brzinu zrakoplova, uzrokuje podizanje i nastoji da zrakoplov leti iznad predviđene putanje. Povlačenje upravljačke poluge unatrag utječe na napadni kut zrakoplova koji se povećava što dovodi do poniranja zrakoplova. Poniranje zrakoplova također utječe na smjer odnosno putanju zrakoplova. Nalet leđnog vjetra smanjuje trenutnu brzinu zrakoplova, uzrokuje spuštanje i nastoji natjerati zrakoplov da leti ispod predviđene putanje.

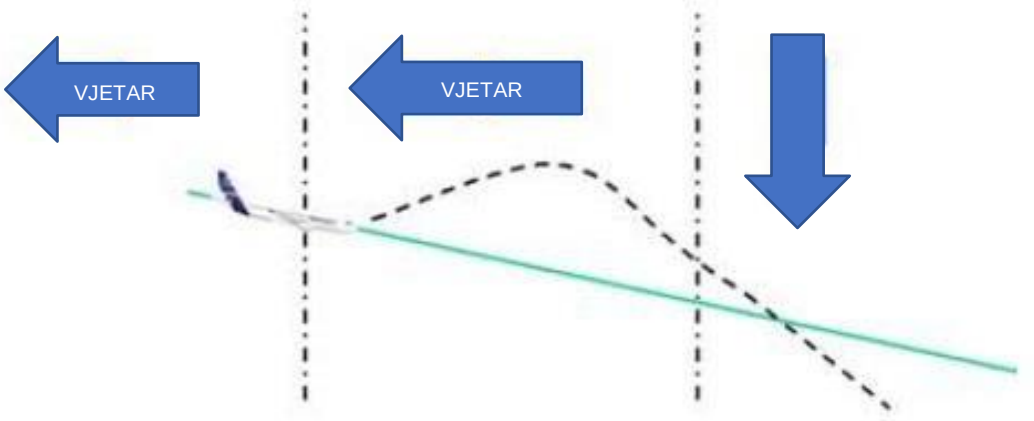
Mali propad ispred zrakoplova uzrokuje nestabilan prilaz i zrakoplov će letjeti iznad zadane putanje što je prikazano na slici 6. Prolaženjem kroz okomito silazno strujanje

zraka povećava se čeona komponenta vjetra kako je prikazano na slici 7. Ako pilot ne procijeni dobro situaciju, smanjit će snagu i pomaknuti palicu prema naprijed. Tako će okomito silazno strujanje povećati brzinu poniranja aviona što će ga dovesti ispod zadane putanje. U slučaju malog propada iza zrakoplova leđni vjetar će se povećati i brzina zrakoplova će se povećati. Sila uzgona će se proporcionalno kvadratu brzine zrakoplova smanjiti te će zrakoplov ponirati i biti ispod zadane putanje. To je prikazano na slici 8. Ako pilot povuče palicu prema sebi bez dodavanja snage, napadni kut će se povećati i zrakoplov će ponirati. Ako doda dovoljno snage, vratit će se na zadanu putanju, no ako ju ne oduzme na vrijeme, avion će biti iznad zadanje putanje [16].

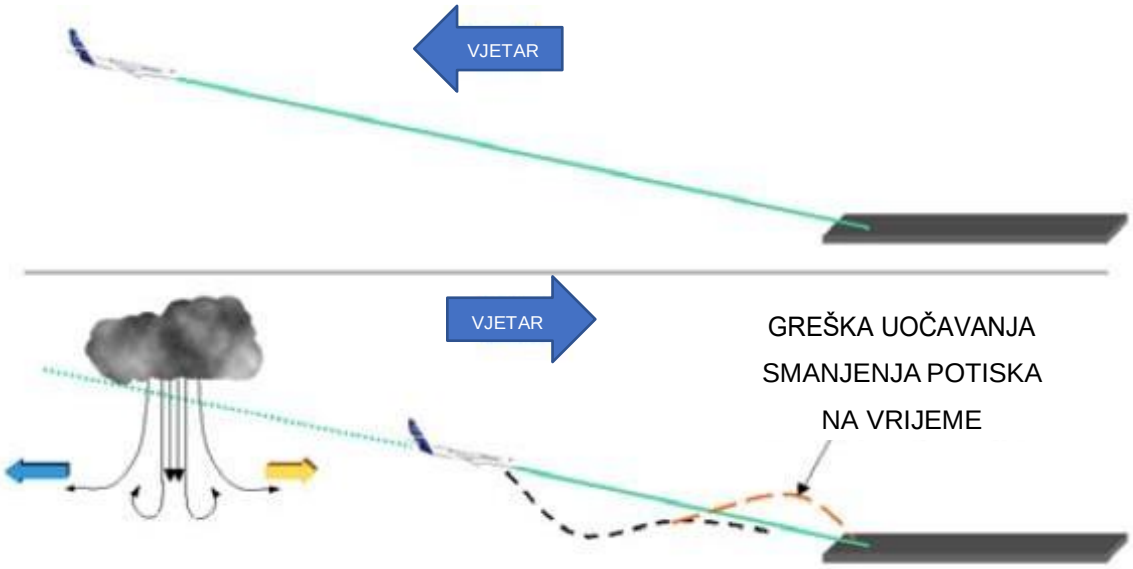
Najveću opasnost smicanje vjetra predstavlja pri polijetanju i slijetanju jer je zrakoplov blizu zemlje i ima vrlo malo vremena i prostora za manevriranje. Tijekom polijetanja zrakoplov je blizu brzine gubitka uzgona i vrlo je osjetljiv na smicanje vjetra, a tijekom slijetanja je snaga motora već smanjena i pilot nema dovoljno vremena za povećanje brzine dovoljno da izbjegne silaznu struju [17].



Slika 6 Mali propad ispred zrakoplova [16]



Slika 7 Okomito silazno strujanje [16]

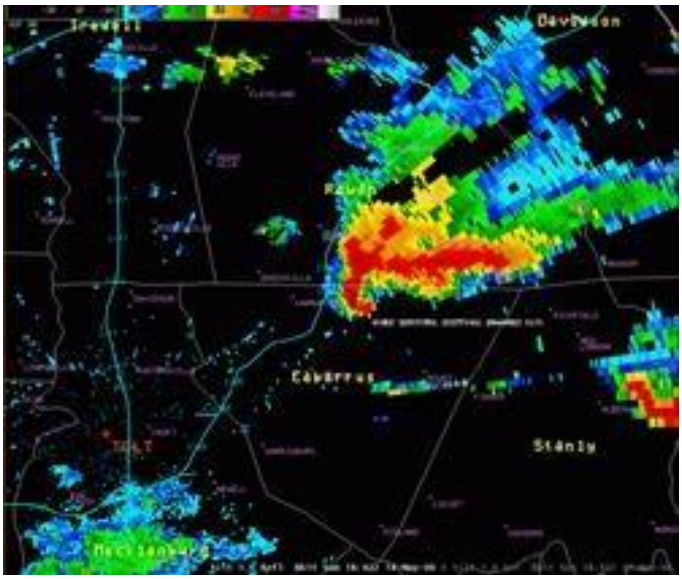


Slika 8 Mali propad iza zrakoplova [16]

5. UREĐAJI ZA PREPOZNAVANJE I MJERENJE SMICANJA VJETRA

Smicanje vjetra negativno utječe na performanse zrakoplova i predstavlja ozbiljnu prijetnju sigurnom letu. Najbolja obrana od takvih opasnosti je otkrivanje i izbjegavanje. Napredak u radarskoj tehnologiji pomogao je detekciji smicanja vjetra i promjena brzina vjetra blizu zemlje otkrivanjem pomaka frekvencije mikrovalnih impulsa koji su uzrokovani propadom zraka. Tijekom 1980-ih godina povećala se sposobnost otkrivanja i izbjegavanja smicanja vjetra. Današnji radari ističu potencijalne uvjete smicanja vjetra i proizvode zvučna upozorenja. Od 1993. godine svi mlazni komercijalni avioni moraju imati uređaje za prepoznavanje i mjerenje smicanja vjetra kako je naložila Savezna zrakoplovna agencija (engl. *Federal Aviation Administration* - FAA) [18]. Također postoje radarski sustavi na zemlji koji otkrivaju različite vremenske uvjete. Dopplerov meteorološki radarski sustav može otkriti oborine, vjetrove, smicanje vjetra i drugo, a koristi se u velikim zračnim lukama u svijetu. Najnapredniji je Terminalni Dopplerov meteorološki radar (engl. *Terminal Doppler Weather Radar* - TDWR), prikazan na slici 9, koji ima najbolju rezoluciju i najveći domet. Napredak u otkrivanju smicanja vjetra značajno je smanjio broj nesreća.

Kako bi nadopunili reaktivni sustav smicanja vjetra koji se sastoji od upozorenja na smicanje vjetra i sustava upravitelja leta za oporavak (engl. *Flight director recovery guidance system*) te pružili rano upozorenje, neki meteorološki radari otkrivaju područja smicanja vjetra ispred zrakoplova. Obično upozorenja dolaze 1 minutu unaprijed. Ova oprema naziva se sustavom predviđanja smicanja vjetra.



Slika 9 Terminalni dopplerov meteorološki radar TDWR [19]

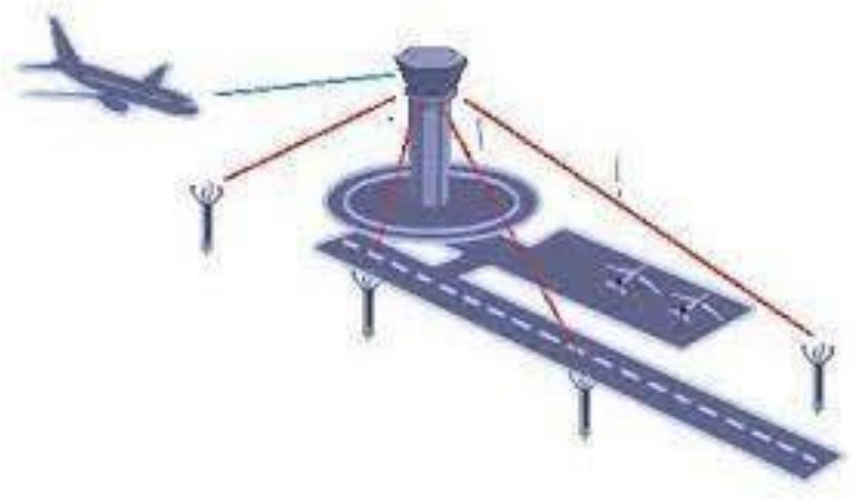
5.1. ZEMALJSKI UREĐAJI ZA UPOZORAVANJE

5.1.1. SUSTAV ZA UPOZORAVANJE NISKOG SMICANJA VJETRA

Sustav za upozoravanje niskog smicanja vjetra (engl. *Low Level Wind Shear Alert System* - LLWAS) je zemaljski sustav za otkrivanje smicanja vjetra u blizini aerodroma. Sastoji se od 6 do 33 anemometra koji su smješteni na različitim točkama na aerodromu kao na slici 10. Jedan anemometar je središnji i mjeri brzinu i smjer vjetra, a ostali su periferni i nalaze se na otprilike dvije nautičke milje od središnjeg. Podaci dobiveni iz anemometara unose se u računalo koje uspoređuje izmjerene brzine i smjerove vjetra te daje upozorenje kontroli leta u slučaju da se otkrije smicanje vjetra koje može negativno utjecati na zrakoplove. Podaci se dobivaju tijekom dvominutnog perioda i uspoređuju se svakih 10 sekundi [13]. Ovisno o tehnologiji koja se koristi, upozorenja koja izdaje kontrola zračne plovidbe mogu biti općenita ili za pistu, a emitiraju se odmah pilotima na koje može utjecati [20].

Postoje dva moda upozorenja LLWAS-a: upozorenje na smicanje vjetra i upozorenje na mikropropade. Upozorenje o smicanju vjetra generira se kad god vjetar izgubi 15 do 29 čvorova ili dobije više od 15 čvorova, dok je uvjet za upozorenje od propada gubitak od više od 30 čvorova [13].

Sustav je prvi put instaliran u SAD-u 1970-ih godina i sada je tamo u širokoj uporabi. Upozorenja o smicanju vjetra i propadima iz sustava LLWAS mogu se poboljšati integracijom terminalnog doplerovog meteorološkog radara (*engl. Terminal Doppler Weather Radar* - TDWR) [20].



Slika 10 Sustav za upozoravanje niskog smicanja vjetra [21]

5.1.2. TERMINALNI DOPPLEROV METEOROLOŠKI RADAR

TDWR detektira i izvještava o opasnim vremenskim prilikama u zonama prilaza i polaska, slijetanja i polijetanja na zračnim lukama i oko njih. Terminalni Dopplerov meteorološki radar upozorava kontrolu zračnog prometa na opasnosti od smicanja vjetra na malim visinama koje su uzrokovane propadima i naletima vjetra te izvještava o intenzitetu oborina i pruža napredno izvještavanje o promjenama vjetra [22]. Također omogućuje otkrivanje zona smicanja vjetra koje se približavaju i tako unaprijed daje upozorenje na opasnost [16].

TDWR antene nalaze se u blizini, ali ne na mjestu primarne zračne luke. Radar koristi različite metode za smanjenje nereda i uklanjanje utjecaja pokretnih smetnji poput ptica, zrakoplova, automobila i sličnog. Na taj način može točno izmjeriti radijalnu brzinu vjetra.

Radar je razvijen početkom 1990-ih godina u SAD-u u Laboratoriju Lincoln u Massachusetts Institute of Technology (MIT). Tada je potpuno zamijenio sustave upozorenja niskih smicanja vjetra na bazi anemometara u SAD-u [22].

5.2. UREĐAJI ZA PREPOZNAVANJE U ZRAKU

5.2.1. METEOROLOŠKI RADARSKI SUSTAV U ZRAKU

Meteorološki radarski sustav u zraku (engl. *on-board weather system*) je uređaj za procjenu intenziteta konvektivnog vremena ispred zrakoplova, namijenjen pilotima, a omogućuje im strateško i taktičko planiranje sigurnoga leta te sprječavaju susrete s nepovoljnim vremenskim uvjetima [23]. Postoje tri uobičajene vrste meteoroloških radara: radar na pilotskoj ploči za otkrivanje i prikaz vremenskih aktivnosti, detektori munja i satelitski izvori radarskih podataka koji se prenose iz vanjskih izvora [24]. Na slici 11 prikazan je meteorološki radarski sustav ugrađen u zrakoplovu. Obično su mali propadi popraćeni obilnim padalinama koje se na meteorološkim radarima mogu otkriti [13]. Funkcioniraju slično kao primarni radar kontrole zračnog prometa, osim što se radijski valovi odbijaju od oborina umjesto od zrakoplova. Jače oborine stvaraju jaču refleksiju od slabijih, a oblaci ne stvaraju refleksiju [24]. Vremenski odjek pojavljuje se na navigacijskom zaslonu s ljestvicom boja od crvene koja predstavlja jaku refleksiju do zelene koja predstavlja nisku refleksiju. Neki meteorološki radari tako su opremljeni da mogu prikazati i turbulenciju. Ta funkcija temelji se na Dopplerovom efektu i osjetljiva je na kretanje oborina. Potrebna mu je minimalna količina oborina da bi bila

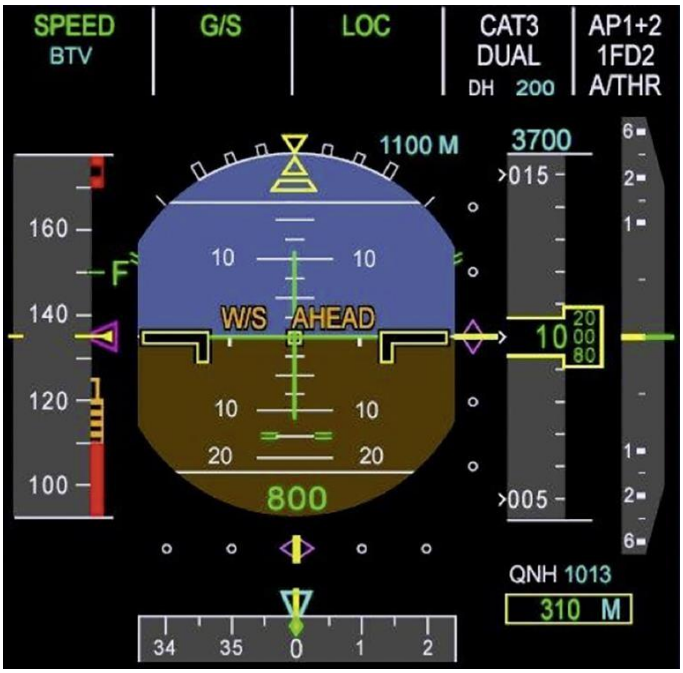
učinkovita, a aktivna je samo u radijusu od 40 nautičkih milja i koristi se samo u mokrim turbulencijama [23].



Slika 11 Meteorološki radarski sustav u zrakoplovu Boeing 737 [18]

5.2.2. UGRAĐENI SUSTAV PREDVIĐANJA SMICANJA VJETRA

Ugrađeni sustav za predviđanje smicanja vjetra (engl. *Airborne Wind Shear Warning System*) sustav je upozorenja na smicanje vjetra u zraku koji identificira prisutnosti smicanja vjetra [25]. Rade na temelju okomitog i vodoravnog mjerenja brzine vjetra ispred zrakoplova. Ova se oprema naziva sustav predviđanja smicanja vjetra (engl. *Predictive Wind Shear* - PWS), a aktivan je i pruža pouzdane indikacije između 50 i 1000 stopa iznad površine tla. Obično daje upozorenje jednu minutu unaprijed žutom porukom „W/S AHEAD“. U slučaju pogoršanja vremenskih uvjeta i ako se područje smicanja vjetra približi zrakoplovu, žuto upozorenje pretvara se u crveno te povezujese sa zvučnim signalom „WIND SHEAR AHEAD“ [13]. Takav uređaj prikazan je na slici 12.



Slika 12 Uređaj za upozoravanje PFD [13]

6. POSTUPCI PILOTA U UVJETIMA SMICANJA VJETRA

Kako bi se izbjegla područja smicanja vjetra uzimaju se u obzir vremenski izvještaji, pilotski izvještaji, vizualna opažanja, zemaljski radari, praćenje brzine vjetra i brzine zrakoplova tijekom leta te ugrađeni meteorološki radar i sustav predviđanja smicanja vjetra na zrakoplovu.

Pravovremeno prepoznavanje smicanja vjetra od velikog je značaja za uspješno provođenje postupaka oporavka. Neki sustavi za navođenje leta na temelju analize parametara leta mogu otkriti stanje smicanja vjetra tijekom prilaza. Naznake smicanja vjetra su brzine vjetra preko 15 čvorova, varijacije brzine zrakoplova, odstupanje vertikalne brzine od 500 stopa u minuti ili više, kliznog nagiba od stupnja ili više, varijacije smjera od 10 stupnjeva ili više, neobične aktivnosti automatskog gasa ili položaja ručice za gas.

Standardne operativne procedure u slučaju smicanja vjetra trebale bi naglasiti izvještavanje (engl. *briefing*) u prilazu i svjesnost o opasnostima u prilazu, podjelu zadataka za učinkovitu provjeru, pogotovo za prekomjerna odstupanja parametara i postupak oporavka od smicanja vjetra. Osposobljavanje u postupku oporavka od smicanja vjetra provodi se u simulatoru letenja, koristeći profile smicanja vjetra snimljenih tijekom stvarnih susreta smicanja vjetra.

Izvještaj za polijetanje i polazak trebali bi uključivati procjenu uvjeta za sigurno polijetanje na temelju većine restriktivnih vremenskih izvješća i prognoza, vizualnih opažanja i iskustva posade s okolinom zračne luke te prevladavajućih vremenskih uvjeta. Ako se očekuju uvjeti smicanja vjetra, posada bi, uzimajući u obzir lokaciju vjerojatnog smicanja ili silaznog strujanja vjetra, trebala odabrati pistu koja je najpovoljnija, odabrati konfiguraciju s najmanjim stupnjem zakrilaca, koristiti meteorološki radar ili sustav predviđanja smicanja vjetra prije polijetanja kako bi bili sigurni da nema opasnosti na putanji i pažljivo pratiti brzinu i promjenu iste tijekom polijetanja kako bi se otkrili znakovi predstojećeg smicanja vjetra.

U slučaju smicanja vjetra tijekom zaleta ili polijetanja, prije brzine odluke (V_1), pilot treba prekinuti polijetanje ako se pojave neprihvatljive varijacije brzine i ako je ostalo dovoljno piste za zaustavljanje. U slučaju smicanja vjetra poslije brzine odluke pilot treba postaviti ručicu gasa na maksimalan potisak, normalno rotirati na brzini rotacije (V_R) i slijediti naredbu Upravitelja leta (engl. *Flight Director* – FD) ako pruža smjernice za oporavak od smicanja vjetra ili postaviti potreban nagib prema preporuci iz

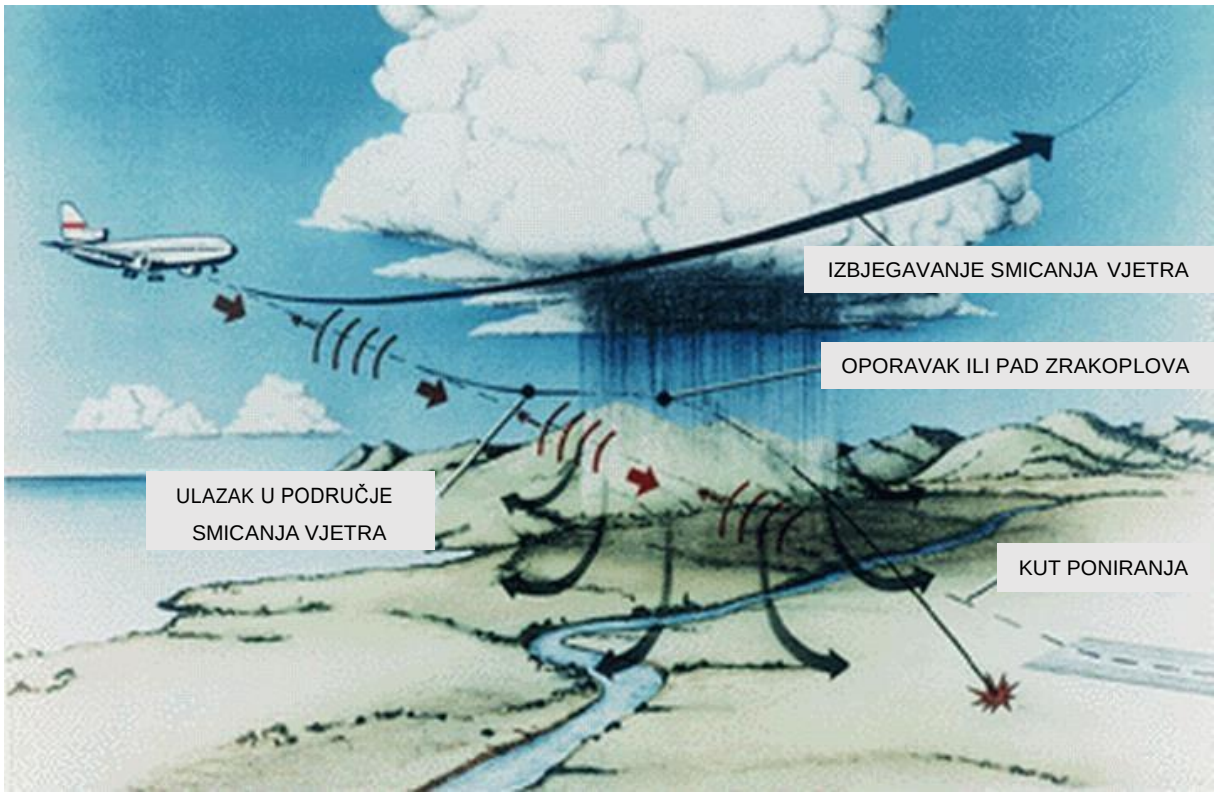
operativnog priručnika zrakoplova. Tijekom početnog uspona pilot treba penjati s maksimalnom snagom, postaviti potreban nagib preporučen u operativnim priručnicima, izravnati krila kako bi se povećao gradijent penjanja osim ako zrakoplov mora skrenuti zbog prepreke. Također mora pomno pratiti brzinu zraka i brzinu zrakoplova, ne mijenjati konfiguracije zakrilaca ili podvozja dok ne izađe iz područja smicanja vjetra i nakon što izađe treba povećati brzinu kada se potvrdi pozitivno penjanje, uvući zakrilca i podvozje te uspostaviti normalni profil penjanja.

Izvještaj za prilaz trebao bi uključivati automatsko odašiljanje uzletno-sletnih informacija (engl. *Automatic Terminal Information Service* - ATIS), informacije o uzletno-sletnoj stazi u uporabi i vrsti prilaza te očekivanoj ruti dolaska, vremenska izvješća i izvješća o potencijalnim opasnostima te rasprave o namjeravanoj uporabi automatizacije za vertikalnu i bočnu navigaciju u ovisnosti o sumnjivim ili predviđenim uvjetima smicanja vjetra. Prije prilaza u slučaju uvjeta smicanja vjetra posada bi trebala procijeniti uvjete za siguran prilaz i slijetanje na temelju najnovijih meteoroloških izvješća i prognoza, vizualnih zapažanja i iskustava posade. Također bi trebali uzeti u obzir odgađanje prilaza i slijetanja dok se vremenski uvjeti ne poboljšaju ili preusmjeravanje na drugi prikladan aerodrom. Trebaju odabrati najpovoljniju pistu s obzirom na lokaciju područja smicanja vjetra ili silaznog strujanja i dostupnih pomagala za prilaz, koristiti meteorološke radare kako bi osigurali da je putanja čista od potencijalnih opasnosti, odabrati konfiguraciju do kraja izvučenih zakrilaca, odabrati brzinu prilaza u finalu na temelju korekcije vjetra, usporediti čeonu ili leđnu komponentu vjetra na visini na kojoj je zrakoplov s čeonom ili leđnom komponentom vjetra na površini, pažljivo pratiti brzinu i promjenu brzine zrakoplova tijekom prilaza i slijetanja te moraju biti spremni reagirati na vrijeme, a procedure se nalaze u operativnim priručnicima. Utjecaj smicanja vjetra i silaznog strujanja na slijetanje prikazan je na slici 13.

Zrakoplov na stabiliziranom prilazu koji naiđe na smicanje vjetra, nastalo uslijed propada, doživi privremeni gubitak brzine što dovodi do spuštanja zrakoplova. Gubitkom brzine i sile uzgona zrakoplov se spušta ispod putanje prilaza zrakoplova. Kako bi se se vratio na prilaznu putanju, pilot mora dodati snagu za vraćanje brzine te povući nos zrakoplova prema gore. No, ako pilot napravi preveliku korekciju, naći će se iznad prilazne putanje s prevelikom brzinom i neće stići sletjeti. Zbog navedenog, nakon što se povrati brzina, potrebno je smanjiti snagu motora. Nakon što zrakoplov prijeđe ravninu smicanja vjetra i izgubi leđni vjetar, sila uzgona se povećava i zrakoplov

se penje iznad prilazne putanje. Prekomjerna korekcija može dovesti do spuštanja ispod prilazne putanje bez dovoljne visine za oporavak, što može biti opasno.

U slučaju smicanja vjetra tijekom prilaza i slijetanja procedure oporavka se trebaju poduzeti na vrijeme, bez kašnjenja. Pilot treba dati maksimalnu snagu i prekinuti slijetanje te ići u proceduru za neuspjelo prilaženje, treba postaviti kut penjanja koji je preporučen u operativnim priručnicima, ne mijenjati konfiguraciju zakrilaca ili podvozja dok ne izađe iz područja smicanja vjetra, izravnati krila radi povećanja gradijenta penjanja, pažljivo pratiti brzinu i njenu promjenu te nakon izlaska iz područja smicanja vjetra uvući podvozje i zakrilca, povećati brzinu kada potvrdi pozitivno penjanje i uspostaviti normalan profil penjanja [14,20].



Slika 13 Utjecaj smicanja vjetra i silaznog strujanja na zrakoplov u slijetanju [18]

7. SMICANJE VJETRA U REPUBLICI HRVATSKOJ

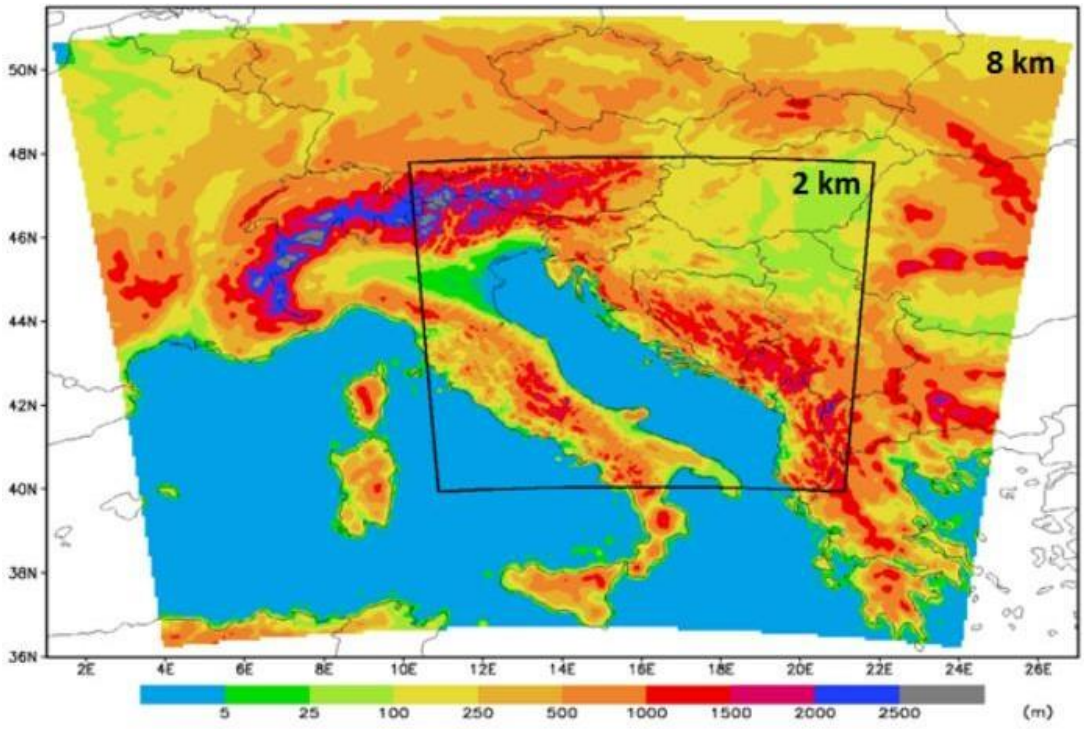
Kako bi se mogao statistički i spektralno analizirati vjetar i smicanje vjetra na mjernim lokacijama u Hrvatskoj koristi se numerički modelski sustav za kratkoročnu prognozu vremena visoke razlučivosti za ograničeno područje, ALADIN (franc. *Aire Limitee Adaptation dynamique Developpement InterNational*). ALADIN je projekt suradnje zemalja članica na području numeričke prognoze vremena (engl. *Numerical Weather Prediction* - NWP), a cilj mu je unaprijeđenje prognoze opasnih vremenskih prilika s naglaskom na sustav ranog upozoravanja na meteorološke i hidrološke nepogode [26]. Temelji se na razvoju sustava NWP i njegovoj primjeni na ograničenom geografskom području, radu na maloj domeni i velikoj prostornoj rezoluciji za prognoziranje atmosferskih procesa te na razvoju oruđa za numeričku prognozu vremena i modela kojim se dobivaju rezultati.

[27] Hrvatska surađuje od 1995. u programu ALADIN, a hrvatska verzija modela (ALADIN-HR) kojom se rade prognoze u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ) koristi se od 2000. godine.

Postoji nekoliko konfiguracija ALADIN-HR modela s različitim razlučivostima mreže modela, a prilagođene su hrvatskoj klimi i vremenu. Ima horizontalnu rezoluciju od 8 km, a dinamičkom adaptacijom povećava se na 2 km kao što je prikazano na slici 14. Prognostički produkti su satno dostupni do 72 sata unaprijed, a svakih 6 sati radi se novi proračun prognoze. Za mjerenje brzine i smjera vjetra na mjernim stupovima korišteni su anemometri koji mjere tri komponente vjetra. [27]

Osnovni cilj programa ALADIN je unaprijeđenje prognoze opasnih vremenskih prilikas naglaskom na sustav ranijeg upozoravanja na meteorološke i hidrološke nepogode te pravovremena dostava prognoze korisnicima programa. Kako je područje prognoziranja ograničeno, za proračun potrebni su, osim poznavanja početnih uvjeta koji se određuju metodom asimilacije podataka, i rubni meteorološki uvjeti dobiveni od globalnog prognostičkog modela Integriranog sustava prognoze (engl. *Integrated Forecast System* - IFS) Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena (engl. *European Centre for Medium – Range Weather Forecasts* - ECMWF). Mjerenja mogu biti prizemna, avionska, mjerenja polarnih i geostacionarnih satelila te radiosondažna, odnosno meteorološkim balonom. Produkti modela ALADIN-HR su prognostičke karte meteoroloških polja pri tlu i na visinama do 15 km iznad tla, vertikalni presjeci i vremenski hodovi meteoroloških varijabli, ASCII (engl. *American Standard Code for*

Information Intercharge) datoteke i tablice prognoziranih veličina te GRIB (engl. *General Regularly – distributed Information in Binary form*) datoteke prognostičkih polja. [29]



Slika 14 Integracijska domena modela ALADIN horizontalne rezolucije 8 km te domena dinamičke adaptacije rezolucije 2 km uz orografiju modela [28]

Smicanje vjetra najviše je evidentirano na području Dalmacije i južne Like. Vjetar bitno oblikuje klimu Jadrana koji se nalazi u prijelaznom području između visokog tlaka subtropskog područja i područja umjerenih širina kojim prevladavaju uglavnom zapadni vjetrovi i ciklonske aktivnosti. Glavno obilježje Jadrana je razlika ljeta i zime. Ljeta su suha i topla, a zime su blage i mokre. Topli dio godine je dulji, dok je hladni dio godine znatno kraći. Razlike između tlakova zraka ljeti i zimi su vrlo velike. U zimi, sjeveroistočno od Jadrana je zona visokog tlaka, a nad Jadranom je polje niskog tlaka sa središtem kod otoka Palagruže, dok je ljeti Jadran pod utjecajem azorske anticiklone. Kako je u ljetnom razdoblju temperatura kopna znatno viša od temperature mora, tako je nad kopnom tlak niži nego nad morem što pogoduje razvoju ljetnih oluja. Dominantni vjetrovi Jadrana su bura i jugo. Bura je jak, suh i hladan vjetar koji naglo mijenja smjer i brzinu te puše u hladno doba godine duž istočne obale Jadranskog mora i u sjeverozapadnom dijelu Dinarida. Obično puše više dana, nekad i do dva tjedna, a jača je noću. Najizraženija je na području Tršćanskog i Kvarnerskog zaljeva, u Velebitskom kanalu, osobito oko Senja, u Ninskom zaljevu, Kaštelanskom zaljevu te

između Omiša i Makarske kraj uvale Vrulje. Na jugu zna doseći brzine do 35 m/s, a najveća evidentirana brzina je 69 m/s. Prati ju oblačno i kišovito, a nekad i snježno vrijeme. Iako je prema podacima bura najjača u Senju, u određenim vremenskim situacijama se pokazuje da udari vjetra mogu biti jači i na drugim područjima. Jugo je topao i vlažan, umjereno jak vjetar jugoistočnog do južnog smjera koji se javlja kada je dolina tlaka smještena u zapadnom Sredozemlju dok je u jadranskom području topli sektor ciklone. Ne nastupa naglo, puše jednolikom brzinom od 6 do 11 m/s, no nekad može dosegnuti i brzinu od 30 m/s. Najjači je na otvorenom moru, puše nekoliko dana, ljeti do tri dana, a zimi do deset. Bura i jugo često pušu u isto vrijeme na različitim dijelovima Jadrana ili nastupaju jedno iza drugog. [30, 31, 32, 33, 34]

Prema različitim mjerenjima na područjima Jadrana dokazano je da je najčešći vjetarbura i smjer puhanja zakreće se visinom prema pravilu lijeve ruke, odnosno anticiklonalno visinom. Jugo rijetko puše. Brzina vjetra u svim sezonama raste povećanjem visine. Maksimalna brzina vjetra postiže se za vrijeme izlaska sunca, dokse minimalna postiže za vrijeme zalaska sunca. Model precjenjuje varijabilnostsmicanja vjetra na kraćim periodima u odnosu na dnevne. Varijabilnost vjetra nadnevnim periodima kod ukupne brzine precjenjuje, a kod komponenti ih podcjenjuje.

Vremenski nizovi smicanja vjetra dobiveni su tako da se od višeg nivoa oduzela brzina nižeg i ta vrijednost podijelila s udaljenošću između nivoa. Prema tome pozitivno smicanje označava rast brzine vjetra povećanjem visine, a negativno smanjenje. Prema mjerenjima, središnje godišnje smicanje vjetra je pozitivno. Prizemni sloj planetarnog graničnog sloja na područjima Hrvatske je nestabilan osim skroz na jugu gdje je stabilan. Stabilni sloj zraka izraženiji je u navjetrini u odnosu na zavjetrinu te jeu tom sloju turbulencija manja zbog slabijeg smicanja. Godišnje vrijednosti prikazuju smanjenje smicanja vjetra visinom, a ljeti je najslabije jer je sloj miješanja razvijeniji nego za vrijeme zime. Negativno smicanje vezano je uz buru, u rijetkim slučajevima uz jugo. Najveće negativno smicanje vjetra događa se u području između obale i južnog dijela Velebita i na tom području ne puše bura, već zapadno-jugozapadni do sjevernog vjetra. U području oko Splita jače je smicanje tijekom bure, dok je na područjima kod Makarske i oko Zadra smicanje jače za vrijeme juga. Do jačeg smicanja vjetra za vrijeme juga dolazi zbog toplijeg vjetra koji se hladi od tla preko zime što uzrokuje stratifikacije strujanja i jače smicanje. Kod bure se očekuje veće vertikalno miješanje zbog turbulencije pa se vertikalno smicanje smanjuje. Također je smicanje u sloju bure malo zbog gotovo neutralno stratificirane atmosfere.

Iznad stabilnog sloja u kojemu je smicanje vjetra slabo, jako smicanje vjetra uzrokuje jaču turbulenciju. [32, 34]

Mogućnosti prognoze sustava ALADIN-HRDA i sličnog ograničene su na jake oluje vezane uz sinoptičko forsiranje. Nekoliko istraga zrakoplovnih nesreća otkrilo je da prognoza visoke rezolucije ALADIN-a omogućuje predviđanje zavjetrinskih valova i zona povećane turbulencije kao i zone zaleđivanja. U Hrvatskoj na aerodromima ne postoje instrumenti koji bi mjerili smicanje vjetra, već piloti prilikom prilaza ili polijetanja izvještavaju o postojanju smicanja vjetra. Ti izvještaji, u praksi, mogu se naći u izvještaju METAR, no ako nema izvještenog smicanja, prognostičari izdaju upozorenje o smicanju vjetra (*WS warning*) koji se može naći na stranicama Hrvatske kontrole zračne plovidbe.

Prema izvještajima METAR od 2017. do 2022. godine najviše zabilježenih slučajeva smicanja vjetra bilo je na zračnim lukama Dubrovnik, Rijeka i Zagreb. WS (engl. *windshear*) u izvještajima METAR su samo oni koji su potvrđeni od strane pilota što znači da rezultati obrade navedenih podataka ovise o prometu pa je 2020., 2021. i 2022. godine, a pogotovo zimi, kao i noću, zabilježen, odnosno potvrđen manji broj WS-a. Dubrovnik je u pet godina imao 80 potvrđenih slučaja smicanja vjetra. Najmanje smicanja događa se u proljeće, a najviše zabilježeno je u rujnu. Također je učestalije u jutarnjim i prijepodnevnim satima, a znalo je i trajati dva dana uzastopno. Zabilježenje slučaj smicanja vjetra u Dubrovniku 25. rujna 2018. godine. Dva dana nitko nije mogao ni polijetati ni slijetati. U jutarnjim satima puhala je bura brzine 44 čvora odnosno 81 km/h. Poslijepodne intenzitet bure se smanjio, no probleme je stvaralo smicanje vjetra u finalu zbog kojeg je dosta zrakoplova moralo odustati od slijetanja na dubrovački aerodrom. Navečer je bura opet pojačala pa su svi letovi morali biti preusmjereni na Split. Dan prije poremećaj je prvo zahvatio Split gdje su jaka kiša i vjetar jačine do 40 čvorova odnosno 74 km/h ometali promet. Također su i u Rijeci evidentirani udari bure intenziteta jačeg od 50 čvorova odnosno 93 km/h. [35] Zračna luka Rijeka povremeno nije imala 24-satna mjerenja tako da postoji manje zapisa o WS-u nego što bi trebalo biti. Uglavnom se smicanje odvijalo u periodu između lipnja i rujna, najčešće u jutarnjim i večernjim satima. U Zagrebu je također evidentiran veći broj smicanja vjetra, kroz cijelu godinu. U Zagrebu je u zadnjih pet godina zabilježeno 38 slučajeva, u prosjeku 8 godišnje, dok je u Rijeci zabilježeno 19, u prosjeku oko četiri godišnje. Split je imao 17 zabilježenih slučajeva, najučestaliji u srpnju i kolovozu. Zadar je imao samo 10 potvrđenih slučajeva, dok je Pula imala 8. Također su najučestaliji bili

u kolovozu, uglavnom u popodnevnim i večernjim satima. Najmanje zabilježenih slučajeva imali su Osijek i Slavonski Brod, samo jedan. Potvrđeno smicanje vjetra u Osijeku dogodilo se 8. prosinca 2017. godine, a trajalo je od 8 do 11 i 30 sati, a u Slavonskom Brodu bilo je 3. srpnja 2021. od 12 i 30 do 14 sati. Zračna luka Lošinj od 2017. godine nije imala niti jedan zabilježen slučaj smicanja vjetra.

8. ZRAKOPLOVNE NESREĆE I NEZGODE POVEZANE SA SMICANJEM VJETRA

Nepovoljno vrijeme koje ne uključuje slabu vidljivot i stanje piste čimbenik je u gotovo 40% nezgoda pri slijetanju i polijetanju. Nepovoljni uvjeti vjetra čine 30% nesreća u prilazima i slijetanju. S obzirom na ukupan broj nesreća, 4% je uzrokovano smicanjem vjetra, a također je i deveti po redu uzroka zrakoplovnih nesreća koje kao posljedicu imaju smrtno stradale osobe [16].

8.1. ZRAKOPLOVNE NESREĆE I NEZGODE POVEZANE SA SMICANJEM VJETRA U SVIJETU

U bazi podataka Aviation Safety Network zabilježeno je 125 nesreća vezanih za smicanje vjetra. Tijekom 1970-ih i 80-ih godina bilo je najviše nesreća, no razvijanjem uređaja za prepoznavanje i mjerenje smicanja vjetra 1990-ih godina nesreće su s obzirom na povećanje prometa bile rjeđe i broj smrtnih slučaja se smanjio. Najviše nesreća dogodilo se neposredno blizu aerodroma i u slijetanju. Zahvaljujući brojnim uređajima za predviđanje smicanja vjetra, broj nesreća se proteklih nekoliko godina znatno smanjio.

U tablici iz Priloga 1 navedene su sve dokumentirane nesreće vezane uz smicanje vjetra u razdoblju od zadnjih 78 godina [36]. U nastavku su izdvojene i detaljnije opisane nesreće iz tablice s većim brojem stradalih.

Najviše smrtno stradalih, njih 166, bilo je 8. 7. 1980. godine na letu sa zračne luke Alma-Alta, Kazakhstan za zračnu luku Rostov u Rusiji. Dvije minute nakon polijetanja, na visini od 120 - 150 metara, zrakoplov tipa Tupolev Tu-154B-2 je ušao u zonu visoke temperature zraka (30 - 40 °C), gdje je došlo do pada njegove brzine zbog smicanja vjetra. Spuštao se sve dok nije udario u farmu i srušio se na žitno polje u predgrađu Alma-Ate, gdje se raspao i zapalio te pao u provaliju.

Zrakoplov tipa Boeing 727-235 poletio je 9. 7. 1982. godine sa zračne luke New Orleans International Airport u Louisiani za zračnu luku Las Vegas McCarren International Airport (danas Harry Reid International Airport) u Nevadi. Prije samog uzlijetanja, kontrola leta upozorila je posadu na smicanja vjetra na maloj visini u sjeveroistočnom dijelu zračne luke. Kako bi se povećala brzina prilikom polijetanja, ugašeni su klimatski uređaji u zrakoplovu što je omogućilo povećanje snage motora. Smicanje vjetra i smanjeni čeoni vjetar razlog je nastanka silaznog strujanja, koje je dovelo do rušenja zrakoplova. Prema svjedocima, zrakolov se uzdigao na 30 – 40

metara kada se počeo spuštati prema drveću te se srušio u stambeno područje. U eksploziji i naknadnom požaru na tlu poginulo je 153 osoba, od kojih je 146 u avionu,a 8 na tlu.

Na letu sa zračne luke Havana José Martí International Airport u Kubi za zračnu luku Köln/Bonn Airport u Njemačkoj, smrtno je stradalo 126 osoba koje su u tom trenutku bili u zrakoplovu te 24 osobe koje su se nalazile na zemlji. Zrakoplov tipa Ilyushin Il-62M poletio je 3. 9. 1898. godine i dosegnuo nadmorsku visinu od 56 metara kada se zbog pogreške od strane kontrole leta našao u području silaznog strujanja. Zrakoplov se srušio 220 metara iza kraja piste gdje se raspao i zapalio.

Posljednji dokumentirani pad zrakoplova, koji je kao posljedicu imao smrtno stradale osobe, dogodio se 6. 3. 2018. godine na letu sa zračne luke Kuweires Air Base u Siriji za zračnu luku Latakia Khmeimim Air Base, također u Siriji. Ruski avion Antonov An-26 se s leđnim vjetrom približavao posljednjem dijelu prilaza kada se našao u području smicanja vjetra. Nagnuo se, izgubio visinu i srušio se prije samog praga piste. Poginulo je 39 osoba.

Aerodromi u kojima su česte pojave smicanja vjetra su: U Africi otok Ascension, u Aziji Bahrain International Airport, Indira Gandhi International Airport u Indiji, Hong Kong International Airport, u Europi Bardufoss, Bergen/Flesland, Florø, Harstad/Narvik, Svolvær Airport i Sørkjosen Airport u Norveškoj, Bilbao, Tenerife Sur/Reina Sofia, Girona-Costa Brava Airport i Gran Canaria u Španjolskoj, Bristol u Engleskoj, Chania International Airport i Santorini International Airport u Grčkoj, Christiano Ronaldo International Airport u Portugalu, Falcone Borsellino Airport, Turin/Caselle Airport i Genoa Cristoforo Colombo u Italiji, Gibraltar Airport, Kerry Airport u Irskoj, Memmingen Airport u Njemačkoj, Tarbes-Lourdes-Pyrénées Airport, Montpellier i Nice-Côte d'Azur Airport u Francuskoj, Samedan Airport u Švicarskoj, Skopje, u sjevernoj Americi L.F. Wade International Airport, Bermuda, Deer Lake Regional Airport, Iqaluit, Kamloops Airport, Thunder Bay International Airport i Kelowna International Airport u Kanadi, Denver, USAF Thule Airport, Watson Lake Airport, West 30th Street Heliport i Telluride u SAD-u [8].

8.2. ZRAKOPLOVNE NESREĆE I NEZGODE POVEZANE SA SMICANJEM VJETRA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj nema zabilježenih nesreća vezanih za smicanje vjetra, no zabilježene su dvije nesreće uzrokovane naletima vjetra. Dana 26. lipnja. 2009. pilot

zrakoplova tipa Maule MX-7-235 s registracijom F-GMRB, izgubio je kontrolu i oštetio lijevi kotač. Iz Zadra je letio u Dubrovnik, na aerodrom Čilipi, a uzrok nesreće bili su slijetanje s većom brzinom vjetra od dopuštene, nepoznavanje lokalnih vremenskih uvjeta i stalne razlike između konstantnog i jakog naleta vjetra te nemogućnost kompenziranja bočnih udara vjetra što je uzrokovalo slijetanje pod pogrešnim kutom [37, 38].

Druga nesreća uzrokovana jakim naletima vjetra dogodila se 6. lipnja 2018. godine također u Dubrovniku. Pilot zrakoplova Cessna 182 registracije OE-DDU neposredno prije dodira odlučio je prekinuti slijetanje i napraviti ponovni prilaz zbog neočekivanog jakog udara vjetra zbog kojeg nije mogao držati zadanu prilaznu putanju. U desnom zaokretu izgubio je uzgon i pao s vanjske ograde aerodroma. Zrakoplov je uništen, a pilot i dvoje putnika pretrpili su samo tjelesne ozljede. U istrazi je potvrđeno da je uzrok nesreće bio gubitak uzgona prilikom izvođenja zaokreta te leđni udar vjetra pri maloj brzini zrakoplova [38].

9. ZAKLJUČAK

Vremenske pojave imaju značajan utjecaj na sigurnost zrakoplova. Korištenje zemaljskih instrumenata za mjerenje i prepoznavanje vremenskih nepogoda pomažeu smanjivanju opasnosti koje nose promjene vremena. Smicanje vjetra predstavlja veliku opasnost u letu, pogotovo tijekom polijetanja, prilaza i slijetanja. Definirano je kao nagla promjena u brzini i/ili smjeru vjetra koji se događa na vrlo maloj udaljenosti na bilo kojoj visini. Može izložiti zrakoplov iznenadnim uzlaznim i silaznim strujanjimaili velikim horizontalnim komponentama vjetra što uzrokuje nagli gubitak uzgona ili velike promjene brzina ili visina. Uočavanje smicanja vjetra i drugih nepogoda na vrijeme može spriječiti nesreću i doprinjeti sigurnosti leta. Isto tako, ako se ne uoče na vrijeme ili loše procijeni situacija, to može dovesti do nesreća i incidenata.

Udio zrakoplovnih nesreća zbog pojava smicanja vjetra znatno se smanjio zadnjih nekoliko godina, zahvaljujući brojnim uređajima za mjerenje i predviđanje, kvalitetnim obukama pilota i sustavima za upozorenje. U slučaju ulaska u područje smicanja vjetra postoje postupci koje pilot mora obaviti kako bi se zrakoplov oporavio, a uglavnom su navedeni u operativnom priručniku zrakoplova.

Pilot prije leta i prije slijetanja treba provjeriti meteorološku situaciju te biti spreman odmah reagirati u slučaju vremenske nepogode. Pažljivo treba pratiti instrumente i parametre kako bi se pokazale naznake na dolazak u područje smicanja vjetra.

Prva i najbitnija obrana od smicanja vjetra je izbjegavanje.

Prilog 1. Tablica zrakoplovnih nesreća uzrokovanih smicanjem vjetra [36]

DATUM	TIP ZRAKOPLOVA	REGISTRACIJA	OPERATER	SMRTNI SLUČAJI	LOKACIJA
11.3. 1943.	Douglas C-53-DO (DC-3)	53	CNAC	3	Luishui, Kina
28.7. 1943.	Douglas DC-3-178	NC16014	American Airlines	20	Trammel, KY
24.5. 1947.	Avro 685 York C.1	MW190	RAF	0	Malta-Luqa Airport, Malta
7.2. 1950.	Douglas C-47D	45-1037	USAF	0	Pon Lake, YT, Kanada
28.4. 1951.	Douglas DC-3A-197	N16088	United Airlines	11	Fort Wayne, IN, SAD
10.1. 1952.	Douglas C-47B (DC-3)	EI-AFL	Aer Lingus	23	Cwm Edno, Wales, UK
27.11. 1952.	Avro 685 York I	G-AMGM	Surrey Flying Service	0	Lyneham, UK
27.7. 1953.	Handley Page Hastings C.1	TG564	RAF	1	Hong Kong-Kai Tak, Hong Kong
15.6. 1954.	Douglas C-47A (DC-3)	N51359	Delta Air Lines	0	Atlanta, GA, SAD
22.8. 1954.	Douglas C-47 (DC-3)	N61451	Braniff Airways	12	Mason City, IA, SAD
31.3. 1956.	Douglas C-47A (DC-3)	VT-DCM	National Air Operators	3	Indapur, Indija
24.6. 1956.	Canadair C-4 Argonaut	G-ALHE	BOAC	32	Kano International Airport, Nigerija
13.7. 1956.	Douglas C-118A (DC-6)	53-3301	USAF	46	Fort Dix-McGuire AFB, NJ, SAD
5.5. 1957.	Douglas C-47A (DC-3)	VT-AUV	Indian Airlines	1	Santoshpur village, Indija
16.6. 1958.	Convair CV-440-59	PP-CEP	Cruzeiro do Sul	21	Curitiba Airport, Brazil
26.12. 1958.	Douglas DC-6B	F-BGTZ	UAT	3	Salisbury Airport, Zimbabwe
29.3. 1959.	Lockheed WV-2 Super Constellation	141332	US Navy	0	Argentia-NAS, Kanada
2.9. 1959.	Ilyushin Il-18B	CCCP-75676	Aeroflot, Moscow	0	Moskva-Vnukovo Airport, Rusija
6.3. 1961.	Lockheed L-1049G Super Constellatio	EC-AIP	Iberia	0	Sao Paulo-Congonhas Airport, Brazil
10.7. 1961.	Tupolev Tu-104B	CCCP-42447	Aeroflot, Northern	1	Odessa-Central Airport, Ukrajina
23.2. 1964.	Vickers 732 Viscount	SU-AKX	UAA	0	Beirut International Airport, Libanon
2.1. 1969.	Douglas C-47A (DC-3)	B-309	China Airlines	24	Mt. Paku, Taiwan
25.4. 1969.	Lockheed EC-121R Super Constellatio	67-21493	USAF	18	Korat AFB, Thailand
9.7. 1969.	SE-210 Caravelle III	HS-TGK	Thai Airways International	0	Bangkok International Airport, Thailand
9.9. 1969.	SE-210 Caravelle III	F-BHRY	Air France	0	Marseille-Marignane Airport, Francuska

1.11. 1969.	Convair CV-440-75	SE-BSU	Linjeflyg	0	Stockholm-Arlanda Airport, Švedska
19.12. 1969.	Boeing KC-135A	56-3629	USAF	4	Taichung-Ching Chuan Kang Air Bse, Taiwan
5.1. 1970.	Convair CV-990	EC-BNM	Spantax	5	Stockholm-Arlanda Airport, Švedska
13.1. 1970.	Douglas C-47B (DC-3)	5W-FAC	Polynesian Airlines	32	Apia-Faleolo Airport, Samoa
25.1. 1970.	Fokker F-27 Friendship 200	9N-AAR	Royal Nepal Airlines	1	Delhi-Palam Airport, Indija
4.1. 1971.	Douglas C-47A (DC-3)	N7	FAA	0	New York-La Guardia Airport, SAD
4.5. 1972.	Yakovlev Yak-40	CCCP-87778	Aeroflot, East Siberia	18	Bratsk Airport, Rusija
19.2. 1973.	Tupolev Tu-154	CCCP-85023	Aeroflot, International	66	Praha-Ruzyne International Airport, Češka Republika
23.7. 1973.	Fairchild FH-227B	N4215	Ozark Air Lines	38	St. Louis-Lambert International Airport, SAD
27.11. 1973.	DC-9-32	N3323L	Delta Air Lines	0	Chattanooga Municipal Airport, TN, SAD
17.12. 1973.	DC-10-30	EC-CBN	Iberia	0	Boston-Logan International Airport, MA, SAD
30.1. 1973.	Boeing 707-321B	N454PA	Pan Am	97	Pago Pago International Airport, Američka Samoa
7.3. 1974.	Douglas DC-4-1009	9Q-CBH	Air Zaire	0	Gemena Airport, D.R. Congo
16.4. 1974.	Antonov An-2	CCCP-33085	Aeroflot, Georgia	0	Kutaisi, Georgia
31.5. 1974.	Fokker F-27 Friendship 100	VH-EWL	East West Airlines	0	Bathurst-Raglan Airport, Australija
24.6. 1975.	Boeing 727-225	N8845E	Eastern Air Lines	113	New York-JFK, SAD
11.7. 1975.	Grumman G-159 Gulfstream I	N71CR	Collins Radio	0	Dallas-Addison Airport, TX, SAD
7.8. 1975.	Boeing 727-224	N88777	Continental Air Lines	0	Denver-Stapleton International Airport, SAD
15.8. 1975.	Yakovlev Yak-40	CCCP-87323	Aeroflot, Azerbaijan	23	Krasnovodsk Airport, Turkmenistan
12.11. 1975.	Boeing 727-225	N8838E	Eastern Air Lines	0	Raleigh/Durham Airport, NC, SAD
23.6. 1976.	DC-9-31	N994VJ	Allegheny Airlines	0	Philadelphia International Airport, SAD
12.12. 1976.	DHC-6 Twin Otter 300	N101AC	Allegheny Commuter, opb Atlantic City Airlines	4	Wildwood-Cape May County Airport, NJ, SAD
3.6. 1977.	Boeing 727-224	N32725	Continental Air Lines	0	Tucson International Airport, SAD

4.12. 1978.	DHC-6 Twin Otter 300	N25RM	Rocky Mountain Airways	2	Steamboat Springs, CO, SAD
2.1. 1979.	Ilyushin Il-14FKM	CCCP-04193	Aeroflot, Central Region	3	Molodezhnaya, Antartika
19.2. 1979.	Boeing 707-123B	C-GQBH	Quebecair	0	St. Lucia -Hewanorra Airport, Saint Lucia
14.3. 1979.	Boeing 727-2D3	JY-ADU	Alia	45	Doha Airport, Qatar
29.8. 1979.	DHC-6 Twin Otter 300	C-GROW	Bradley Air Services	9	Bay Airport, Kanada
27.4. 1980.	Hawker Siddeley HS-748	HS-THB	Thai Airways	44	Don Muang International Airport, Thailand
11.5. 1980.	Boeing 707-329C	OO-SJH	Sabena, op.for ZICAS	0	Douala Airport, Cameroon
8.7. 1980.	Tupolev Tu-154B-2	CCCP-85355	Aeroflot, Kazakstan	166	Alma-Ata Airport, Kazakhstan
16.6. 1981.	HAL-748	VT-DXI	Indian Airlines	0	Tirupati Airport, Indija
1.2. 1982.	Beech 99	N451C	Pilgrim Airlines	0	Groton, CT, SAD
9.7. 1982.	Boeing 727-235	N4737	Pan Am	145+8	New Orlean International Airport, SAD
29.6. 1983.	Yakovlev Yak-40	CCCP-87808	Aeroflot, Kyrgyzstan	0	Kazarman, Kyrgyzstan
31.5. 1984.	Boeing 727-222	N7640U	United Airlines	0	Denver-Stapleton International Airport, SAD
2.8. 1985.	Lockheed L-1011 TriStar 1	N726DA	Delta Air Lines	134+1	Dallas/Fort Worth International Airport, SAD
25.9. 1985.	Boeing 737-2X6C	N674MA	MarkAir	0	Unalaska Airport, AK, SAD
14.9. 1986.	BN-2A Trislander Mk.III-2	G-BDTP	Kondair	1	Amsterdaam-Schiphol International Airport, Nizozemska
4.4. 1987.	DC-9-32	PK-GNQ	Garuda	23	Medan-Polonia Airport, Indonezija
14.12. 1987.	BAe 3101 Jetstream 31	N331PX	Northwest Airlink, opb Express Airlines	0	Joplin Airport, MO, SAD
5.5. 1988.	Antonov An-26	CCCP-26151	Soviet AF	0	Nagurskoye Air Base, Rusija
5.8. 1989.	Learjet 25D	PT-KYR	Locadora Belauto	4	Ilha das Onças, Brazil
3.9. 1989.	Ilyushin Il-62M	CU-T1281	Cubana	126+24	José Martí International Airport, Cuba
19.1. 1990.	Gulfstream American G-1159 Gulfstre	N46TE	Eastman Kodak	7	Little Rock National Airport, SAD
31.12. 1990.	GAF Nomad N.24A	VH-BRP	Sydney Skydivers	0	Corowa Airport, Australija
21.3. 1992.	Cessna 550 Citation II	HB-VIT	private	0	Lugano Airport, Švicarska
21.12. 1992.	DC-10-30CF	PH-MBN	Martinair Holland	56	Faro Airport, Portugal

18.4. 1993.	DC-9-41	JA8448	Japan Air System	0	Morioka-Hanamaki Airport, Japan
26.4. 1993.	DC-9-82 (MD-82)	N14816	Continental Air Lines	0	Denver-Stapleton International Airport, SAD
14.9. 1993.	Airbus A320-211	D-AIPN	Lufthansa	2	Warszawa-Okecie Airport, Poljska
2.7. 1994.	DC-9-31	N954VJ	USAir	37	Charlotte-Douglas Airport, SAD
23.4. 1995.	DHC-6 Twin Otter 300	5N-AJQ	Bristow Helicopters	1	Lagos-Murtala Muhammed Airport, Nigerija
25.7. 1996.	Yakovlev Yak-40	RA-87573	NovgorodAvia, op.for Weasua Air Transport	0	Monrovia-Sprigg Payne Airport, Liberija
22.5. 1997.	Boeing 767-33AER	I-DEIL	Alitalia	0	Newark International Airport, SAD
7.6. 1997.	CASA/Nurtanio NC-212 Aviocar	PK-NCL	Merpati Nusantara	0	Ambon-Pattimura Airport, Indonezija
10.6. 1997.	Harbin Yunshuji Y-12 II	JU-1020	MIAT	7	Mandalgobi Airport, Mongolija
10.3. 1998.	BAe-146-100	A2-ABD	Air Botswana	0	Hwange Airport, Zimbabwe
28.1. 1999.	DC-9-82 (MD-82)	I-DAVN	Alitalia	0	Catania-Fontanarossa Airport, Italija
18.3. 1999.	Douglas DC-3C	HK-337	ALIANSA Colombia	8	Tame, Kolumbija
19.3. 2000.	Antonov An-26B	UR-26586	Air Urga, op.for UN	0	Goma Airport, D.R. Congo
5.5. 2000.	DHC-6 Twin Otter 300	N241SA	Scenic Airlines	0	Monument Valley Airport, SAD
22.6. 2000.	Xian Yunshuji Y-7-100C	B-3479	Wuhan Airlines	42+7	Wuhan, Kina
7.2. 2001.	Airbus A320-214	EC-HKJ	Iberia	0	Bilbao Airport, Španjolska
21.1. 2002.	Airbus A321-131	JA104A	All Nippon	0	Hakodate Airport, Japan
27.12. 2002.	Cessna 208B Grand Caravan	V3-HGH	Tropic Air	0	San Pedro Airport, Belize
18.11. 2003.	Cessna 550 Citation II	N418MA	Haalo	0	Mineral Wells Airport, TX, SAD
29.5. 2004.	BAe-146-300	G-BPNT	Flightline	0	Florence-Peretola Airport, Italija
13.7. 2004.	Learjet 35A	N829CA	Aviation Jet Charters	0	Nevis-Newcastle Airport, St. Kitts and Nevis
21.7. 2004.	DC-9-14	XA-BCS	Aero California	0	Mexico City-Juarez International Airport, Mexico
9.3. 2005.	Cessna 208B Grand Caravan	V3-HFW	Tropic Air	0	Belize City Municipal Airport, Belize
10.12. 2005.	DC-9-32	5N-BFD	Sosoliso Airlines	108	Port Harcourt Airport, Nigerija

29.10. 2006.	Boeing 737-2B7	5N-BFK	ADC Airlines	96	Abuja International Airport, Nigerija
21.5. 2008.	Beech T-1A Jayhawk	93-0633	USAF	0	Preston Smith International Airport, TX, SAD
1.9. 2008.	Cessna 560 Citation Encore	N839QS	NetJets	0	Telluride Airport, SAD
6.7. 2009.	Antonov An-28	ST-TYB	El Dinder Aviation	0	Sarif Umra Airport, Sudan
4.4. 2011.	Canadair CRJ-100ER	4L-GAE	Georgian Airways, op.for UN	32	Kinshasa-N'Djili Airport, D.R. Congo
12.7. 2011.	Learjet 35	N110UN	Robinson Air Crane	0	Opa-locka Executive Airport, FL, SAD
2.9. 2011.	CASA C-212 Aviocar 300DF	966	Chilean AF	21	Isla Robinsón Crusoe Airport, Chile
20.4. 2012.	Boeing 737-236A	AP-BKC	Bhoja Airlines	127	Islamabad-Benazir Bhutto International Airport, Pakistan
10.6. 2012.	Let L-410UVP	UR-SKD	Ukrainska Shkola Pilotov	5	Borodyanka Airfield, Ukrajina
1.7. 2012.	Lockheed C-130H Hercules	93-1458	USAF	4	Edgemont, SAD
19.10. 2012.	Fokker 100	VH-NQE	Network Aviation Australia	0	Nifty Airport, Australija
25.1. 2013.	BN-2B-26 Islander	ZK-DLA	Fly My Sky	0	Okiwi Station Airport, Novi Zeland
16.6. 2013.	Bombardier Global 5000	M-YSAI	Capital Investment Worldwide	0	Singapore-Seletar Airport, Singapur
17.11. 2013.	Antonov An-2R	9Q-CFT	Air Kasai	0	Kamako, West-Kasai, D.R. Congo
2.8. 2015.	Cessna 208B Grand Caravan EX	N942AC	Air Choice One	0	Chicago-O'Hare International Airport, SAD
15.8. 2015.	Airbus A321-231	N564UW	American Airlines	0	Charlotte-Douglas Airport, SAD
28.08. 2015.	Boeing 737-3Q8 (BDSF)	PK-BBY	Cardig Air	0	Wamena Airport, Indonezija
10.12. 2015.	Raytheon 390 Premier I	N50VM	Sky Mast	0	Chicago-Executive Airport, IL, SAD
13.4. 2017.	Viking Air DHC-6 Twin Otter 400	B-55571	Daily Air	0	Orchid Island Airport, Taiwan
19.11. 2017.	ATR 72-212A (ATR 72-600)	VH-FVZ	Virgin Australia Airlines	0	Canberra Airport, Australija
6.3. 2018.	Antonov An-26	RF-92955/52	Russian AF	39	Latakia-Khmeimim Air Base, Sirija
31.7. 2018.	Embraer ERJ 190AR	XA-GAL	Aeroméxico Connect	0	Durango-Guadalupe Victoria Airport, Mexico
28.8. 2018.	Airbus A320-214	B-6952	Beijing Capital Airlines	0	Macau Airport, Macau

1.9. 2018.	Boeing 737-8AS (WL)	VQ-BJI	Utair	0	Adler/Sochi Airport, Rusija
12.1. 2019.	Canadair Challenger 601	N813WT	TW 601-C Investment	0	Uvalde-Ox Ranch Airport, SAD
4.4. 2019.	DHC-8-402Q Dash 8	OE-LGM	Austrian Airlines	0	Innsbruck-Kranebitten Airport, Austrija
11.5. 2019.	Cessna 208B Grand Caravan	C-FCPM	Parachutisme Nouvel Air	0	Saint-Esprit Aerodrome, Kanada
20.9. 2019.	Cessna 208B Grand Caravan	N895SF	private	0	Pepperell Airport, MA, SAD

LITERATURA

[1] Struna – Hrvatsko zrakoplovno nazivlje. Preuzeto s: https://bib.irb.hr/datoteka/932665.Hrvatsko_zrakoplovno_nazivlje_Struna.pdf [Pristupljeno: 10.7.2021.]

[2] Research Gate. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/Aircraft-encountering-with-microburst-and-deviating-from-the-flight-path-shkl-2-msyr_fig6_323005446 [Pristupljeno: 10.7.2021.]

[3] Gelo, B. *Meteorološki pojmovnik i višejezični rječnik: hrvatski, engleski, njemački i francuski jezik*; Državni meteorološki zavodu Zagrebu; Hinus, 2005.

[4] Tutiš, V. *Zrakoplovna meteorologija*; Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za aeronautiku, 1997.

[5] National Weather Service. Preuzeto s: https://www.weather.gov/bmx/outreach_microbursts [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[6] MyAirlineFlight. *Windshear*. Preuzeto s: https://www.myairlineflight.com/windshear.html [Pristupljeno: 10.7.2021.]

[7] Franjković, D. Windshear. (Powerpoint prezentacija) [Pristupljeno: 9.7.2021.]

[8] Skybrary. *Low Level Wind Shear*. Preuzeto s: https://www.skybrary.aero/index.php/Low_Level_Wind_Shear [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[9] MyAirlineFlight. Preuzeto s: https://www.myairlineflight.com/images/wsfaalg.jpg [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[10] Aviation accidents. *Windshear*. Preuzeto s: https://www.aviation-accidents.net/tag/windshear [Pristupljeno 12.7.2021.]

[11] AccuWeather. Preuzeto s: https://www.accuweather.com/en/weather-news/what-is-wind-shear-and-how-does-it-impact-hurricanes-other-tropical-cyclones/330987 [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[12] Low Level Wind Shear In Approach. Preuzeto s: https://www.askpilot.info/2018/10/low-level-windshear-in-approach.html [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[13] Airbus. *Wind shear*. Preuzeto s: https://safetyfirst.airbus.com/wind-shear-an-invisible-enemy-to-pilots/ [Pristupljeno 10.7.2021.]

[14] FSF ALAR Briefing Note. 5.4 – Wind shear. Preuzeto s: https://flightsafety.org/files/alar_bn5-4-windshear.pdf [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[15] Vertical Wind shear. Preuzeto s: http://www.faculty.luther.edu/~bernatzr/Courses/Sci123/Chapter13/verticalWindShear.html [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[16] Menkor Aviation. Preuzeto s: https://www.menkoraviation.com/en/safety/what-is-windshear-and-how-to-avoid-it/ [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[17] NASA. Preuzeto s: https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Windshear.html [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[18] Simple Flying. Preuzeto s: https://simpleflying.com/windshear/ [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[19] Wikiwand. Preuzeto s: https://www.wikiwand.com/en/Terminal_Doppler_Weather_Radar [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[20] Skybrary. Preuzeto s: https://www.skybrary.aero/index.php/Low_Level_Wind_Shear#Low_Level_Wind_Shear_Alert_System [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[21] LLWAS. Preuzeto s: https://www.allweatherinc.com/wp-content/uploads/LLWAS-Brochure-2014.pdf [Pristupljeno: 15.7.2021.]

[22] TDWR. Preuzeto s: https://www.skybrary.aero/index.php/Terminal_Doppler_Weather_Radar_(TDWR) [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[23] Airbus. Preuzeto s: https://safetyfirst.airbus.com/optimum-use-of-weather-radar/ [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[24] Aircraft Weather Radar. Preuzeto s: https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/weather-radar.html [Pristupljeno 15.7.2021.]

[25] Skybrary. Preuzeto s: https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Wind_Shear_Warning_Systems [Pristupljeno: 12.7.2021.]

[26] DHMZ.ALADIN. Preuzeto s: https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=prognosticki_modeli&param=aladin [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[27] DHMZ. ALADIN Projekt numeričke prognoze vremena. Preuzeto s: https://meteo.hr/istrazivanje.php?section=projekti&param=projekti_u_tijeku&el=aladin [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[28] Žagar M. i Rakovec, J. *Small-scale surface wind prediction using dynamic adaptation,* Tellus, 1999.

[29] DHMZ. Brošura. Preuzeto s: https://klima.hr/razno/publikacije/brosura-numericka_prognoza.pdf [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[30] Klima Jadrana. Preuzeto s: http://lipovscak.com/meteo/klima.html [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[31] Enciklopedija. Bura. Preuzeto s: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=10210 [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[32] Vučetić, V. *Karakteristike bure u lokalnim i mezorazmjerima,* Republički hidrometeorološki zavod SRH, Zagreb; 1985.

[33] Enciklopedija. Jugo. Preuzeto s: https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=29456 [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[34] Brzaj, S. *Ocjena uspješnosti brzine i smicanja vjetra u modelu ALADIN/HR,* Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, 2014.

[35] Avioradar. Preuzeto s: https://avioradar.hr/index.php/hr/squawk/1140-poremecaj-24-rujan-2018-spu [Pristupljeno: 6.6.2022.]

[36] Aviation Safety Database. Preuzeto s: https://aviation-safety.net/database/events/dblist.php?Event=WXW&lang=&page=2 [Pristupljeno: 17.7.2021.]

[37] Aviation Safety Network. Preuzeto s: https://aviation-safety.net/wikibase/66639 [Pristupljeno: 17.7.2021.]

[38] AIN. Preuzeto s: http://www.ain.hr/Investigations/Details/152/Pad-zrakoplova-C-182-prilikom-odgodenog-slijetanja-ZL-Dubrovnik-25-07-2018 [Pristupljeno: 7.6.2022.]

POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1 Susret zrakoplova s malim propadom [2] 3
Slika 2 Smicanje vjetra [9] 5
Slika 3 Prizemno smicanje vjetra pri polijetanju [12] 6
Slika 4 Horizontalno smicanje vjetra [13] 7
Slika 5 Okomito smicanje vjetra [15] 8
Slika 6 Mali propad ispred zrakoplova [16] 10
Slika 7 Okomito silazno strujanje [16] 10
Slika 8 Mali propad iza zrakoplova [16] 11
Slika 9 Terminalni dopplerov meteorološki radar TDWR [19] 12
Slika 10 Sustav za upozoravanje niskog smicanja vjetra [21] 13
Slika 11 Meteorološki radarski sustav u zrakoplovu Boeing 737 [18] 15
Slika 12 Uređaj za upozoravanje PFD [13] 16
Slika 13 Utjecaj smicanja vjetra i silaznog strujanja na zrakoplov u slijetanju [18] 19
Slika 14 Integracijska domena modela ALADIN horizontalne rezolucije 8km te domena dinamičke adaptacije rezolucije 2 km uz orografiju modela [28] 21

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad (*vrsta rada*) isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom **Izračun učinaka smicanja vjetra na performanse aviona**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 27.06.2022.

Dona Jelić Dona Jelić
(ime i prezime, *potpis*)