

# Prihvat i otprema zrakoplova u zimskim uvjetima

---

Šoštar, Tamara

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:532667>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Tamara Šoštar

PRIHVAT I OTPREMA ZRAKOPLOVA U ZIMSKIM UVJETIMA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PRIHVAT I OTPREMA ZRAKOPLOVA U ZIMSKIM UVJETIMA

AIRCRAFT RAMP HANDLING PROCESS IN WINTER  
CONDITIONS

Mentor: dr. sc. Matija Bračić

Student: Tamara Šoštar

JMBAG: 0119000071

Zagreb, srpanj 2020.

## SAŽETAK

Na zračnim lukama gdje vladaju zimski uvjeti, redovita pojava je zaleđivanje zrakoplova koje može imati negativne posljedice na let zrakoplova. Stoga se mora provesti proces odleđivanja i zaštite zrakoplova od zaleđivanja. Odleđivanje zrakoplova se postiže različitim metodama, a najčešća metoda odleđivanja je pomoću tekućine za odleđivanje. Ako se na površini zrakoplova nalazi sloj snijega ili mraza tada se, prije postupka odleđivanja, isti uklanja ručnom metodom. Zrakoplov se još uspješno odleđuje vrućim zrakom i grijanim hangarom dok se za zaštitu zrakoplova upotrebljava tekućina za zaštitu. Na zračnim lukama gdje postoje uvjeti zaleđivanja i promet je relativno intenzivan, proces odleđivanja i zaštite zrakoplova se odvija na stajanci za odleđivanje i zaštitu kako bi se tekućine na tlu pravilno uklonile i pohranile u spremnike za daljnje recikliranje. Proces odleđivanja i zaštite zrakoplova može se provesti i pomoću infracrvenog grijanja, tekućina bez glikola i sunčeve svjetlosti koje spadaju pod alternativne tehnologije.

**KLJUČNE RIJEČI:** tekućine za odleđivanje/zaštitu zrakoplova od zaleđivanja; vrijeme zadržavanja tekućine; odleđivanje/zaštita zrakoplova od zaleđivanja; stajanka za odleđivanje/zaštitu zrakoplova od zaleđivanja

## SUMMARY

Aircraft icing is regular phenomenon which appears at airports during winter conditions and can have serious effects on aircraft in flight. Therefore, de-icing/anti-icing must be carried out. Aircraft de-icing can be achieved by few methods. The most common de-icing method is by de-icing fluid. If there is a layer of snow or frost on aircraft surfaces, it will be removed by manual method prior to de-icing. Aircraft can also be successfully de-iced with hot air and heated hangar, while anti-icing fluid is only used for anti-icing. De-icing/anti-icing pad is sited at airports where icing conditions exist and traffic is relatively intense. This pad is used for de-icing/anti-icing in order for fluids to be properly removed from the ground into storage tanks for further recycling. De-icing/anti-icing can also be achieved by alternative technologies such as infrared heating, non-glycol fluids and solar radiation.

**KEYWORDS:** de-icing/anti-icing fluids; holdover time; de-icing/anti-icing; de-icing/anti-icing pad

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. VRSTA ZALEĐIVANJA I NJIHOV UTJECAJ NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA .....	2
2.1. GENERALNI UČINCI ZALEĐIVANJA.....	2
2.2. VRSTA ZALEĐIVANJA.....	3
2.2.1. INDUKCIJSKO ZALEĐIVANJE .....	6
2.2.2. STRUKTURNO ZALEĐIVANJE.....	8
3. TEKUĆINE ZA ODLEĐIVANJE/ZAŠTITU ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA .....	12
3.1. VRSTE TEKUĆINA .....	12
3.2. VRIJEME ZADRŽAVANJA TEKUĆINE.....	14
4. OPERATIVNE PROCEDURE .....	18
4.1. PROVJERA KONTAMINIRANOSTI ZRAKOPLOVA .....	18
4.2. PROCES ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA .....	18
4.3. POVRŠINE ZA KOJE SE IZVODI PROCES ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE OD ZALEĐIVANJA .....	24
4.4. PROVJERE ZRAKOPLOVA POSLIJE PROCESA ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE ZRAKOPLOVA.....	26
5. STAJANKA ZA ODLEĐIVANJE I ZAŠTITU OD ZALEĐIVANJA.....	28
6. ALTERNATIVNE TEHNOLOGIJE U PROCESU ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA .....	30
7. ZAKLJUČAK .....	34
LITERATURA.....	36
POPIS SLIKA.....	38
POPIS TABLICA.....	39

## 1. UVOD

Za vrijeme zimskog razdoblja postoji mogućnost kontaminacije zrakoplova zbog prisutnosti oborina, kao što su snijeg, bljuzgavica i led. Zato prihvata i otprema zrakoplova u zimskim uvjetima obuhvaća proces odleđivanja zrakoplova i zaštite zrakoplova od zaleđivanja. Provođenje tog procesa je izuzetno bitno jer omogućuje sigurno letenje zrakoplova. U ovom radu se pobliže opisuju utjecaji zaleđivanja na let zrakoplova, razni načini odleđivanja i zaštite zrakoplova od zaleđivanja te operativne procedure.

Rad se sastoji od sedam poglavlja, a to su:

1. Uvod
2. Vrsta zaleđivanja i njihov utjecaj na performanse zrakoplova
3. Tekućine za odleđivanje/zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja
4. Operativne procedure
5. Stajanka za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja
6. Alternativne tehnologije u procesu odleđivanja/zaštite zrakoplova protiv zaleđivanja
7. Zaključak.

Prvo poglavlje obuhvaća uvod u temu Završnog rada. U ovom su poglavlju ujedno navedena i ukratko opisana sva poglavlja rada.

U drugom poglavlju rada su objašnjeni generalni učinci zaleđivanja te vrste zaleđivanja prema nastalom tipu leda i prema zahvaćenom dijelu zrakoplova. Također, objašnjeno je kako zaleđivanje određenog dijela zrakoplova djeluje na njegove performanse.

U trećem poglavlju se opisuju vrste tekućina koje se koriste za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja, njihova svojstva i sastav te njihovo vrijeme zadržavanja na površini zrakoplova.

Različiti načini i postupci uklanjanja snijega, odleđivanja i zaštite zrakoplova protiv zaleđivanja se obrađuju u četvrtom poglavlju rada. Nadalje, opisuje se provjera zrakoplova prije procesa odleđivanja/zaštite i različite provjere nakon procesa te su navedene površine zrakoplova za koje se provodi odleđivanje i zaštita.

Peto poglavlje obuhvaća uvjete u kojima se koristi stajanka za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja, površine od kojih se sastoji te prednosti njenog korištenja.

Šesto poglavlje rada sadrži opis procesa odleđivanja infracrvenim grijanjem za različite infracrvene sustave i opisuje prednosti i mane tih sustava. U ovom poglavlju su navedeni i drugi alternativni načini odleđivanja i zaštite zrakoplova.

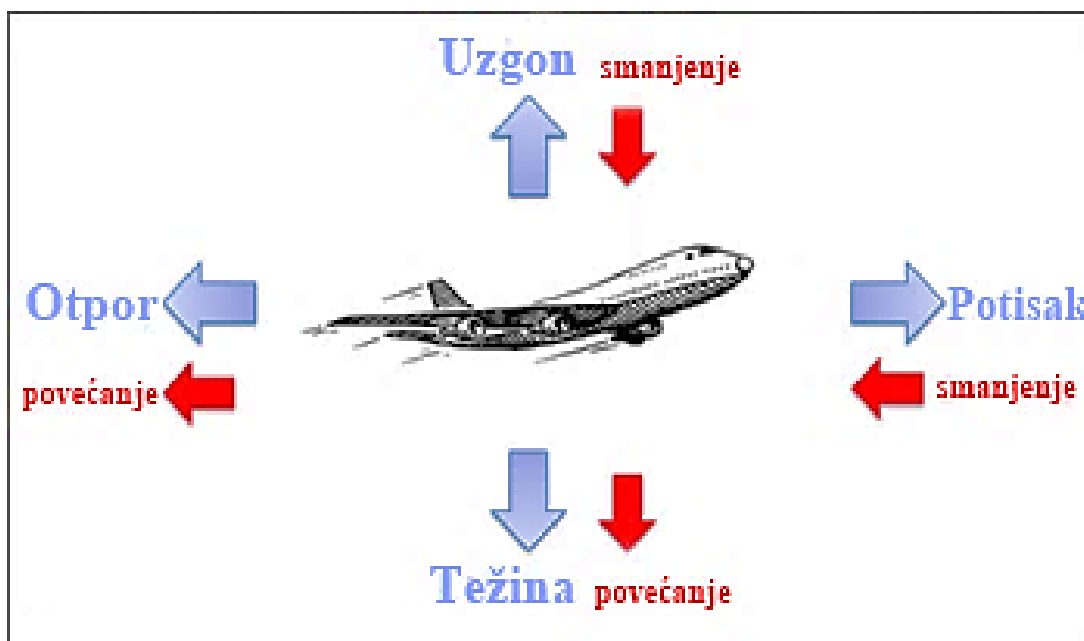
Posljednje, sedmo poglavlje rada predstavlja zaključak cjelokupnog rada.

## 2. VRSTA ZALEĐIVANJA I NJIHOV UTJECAJ NA PERFORMANSE ZRAKOPLOVA

Zrakoplov je kompleksan i cjelovit sustav, a objedinjuju ga razni podsustavi čiji ispravan i neometan rad omogućuje normalno odvijanje operacija zrakoplova. Degradacija ili prestanak rada bilo kojeg djela sustava nepovoljno utječe na performanse zrakoplova. Ako se na aerodinamičkim površinama i mjernim instrumentima nalazi kontaminant može doći do smanjene upravljivosti zrakoplova, a ponekad i do gubitka kontrole nad zrakoplovom što dovodi do pada zrakoplova [1]. Već tanki sloj kontaminanta poput snijega ili leda imat će značajan utjecaj na smanjenje performansi zrakoplova. Bez obzira na stručnost osoblja i to što su se tijekom proteklih godina razvile nove tehnologije i procedure, nesreće uzrokovane zaleđivanjem se svejedno još uvijek događaju [2].

### 2.1. GENERALNI UČINCI ZALEĐIVANJA

Pojava leda na zrakoplovu tijekom leta predstavlja ozbiljan problem jer uništava glatki protok zraka i pritom povećava otpor i smanjuje uzgon. Poremećeno strujanje zraka uzrokuje ozbiljnije posljedice na let zrakoplova, nego sama težina leda na zrakoplovu. Kako bi se savladao dodatni otpor piloti moraju povećati potisak motora i podignuti nos zrakoplova. Ovim postupkom održat će se visina leta, ali će se povećati napadni kut i dodatno nagomilati led na donjim površinama zrakoplova [2]. Stoga se, općenito, posljedice zaleđivanja zrakoplova očituju kroz smanjeni uzgon i povećani otpor za određeni napadni kut zbog leda na aerodinamičkim površinama, kroz smanjeni potisak zbog leda na propeleru te kroz povećanu težinu zrakoplova zbog težine leda (slika 2.1.) [3].



Slika 2.1. Prikaz utjecaja kontaminanta na let zrakoplova [4]

Raznim ispitivanjima je dokazano kako tanki sloj mraza, snijega ili leda može uzrokovati smanjenje uzgona za 30 % i povećanje otpora do 40 % dok veće naslage kontaminanta mogu smanjiti uzgon više od 30 % i povećati otpor za 80 % i više [2].

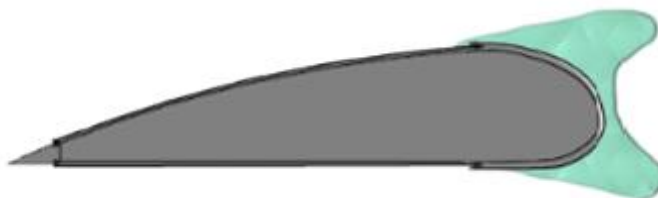
## 2.2. VRSTA ZALEĐIVANJA

U atmosferi gdje temperature sežu daleko ispod točke smrzavanja vode (0 °C) nalaze se tekuće kapljice vode i one se nazivaju pothlađenim kapljicama (engl. *super-cooled drops*). Velike pothlađene kapljice u dodiru s hladnom površinom zrakoplova će se raspršiti i zamrznuti te stvoriti sloj prozirnog leda (engl. *clear ice*) na zrakoplovu. Prozirni led se formira tako da prati konture površine zrakoplova, a tek daljnjim nagomilavanjem leda se stvaraju velike izbočine (slika 2.2.) [2].

**Manja nakupina  
prozirnog leda**



**Veća nakupina  
prozirnog leda s  
izbočinama.**



Slika 2.2. Prozirni led na aeroprofilu [5]

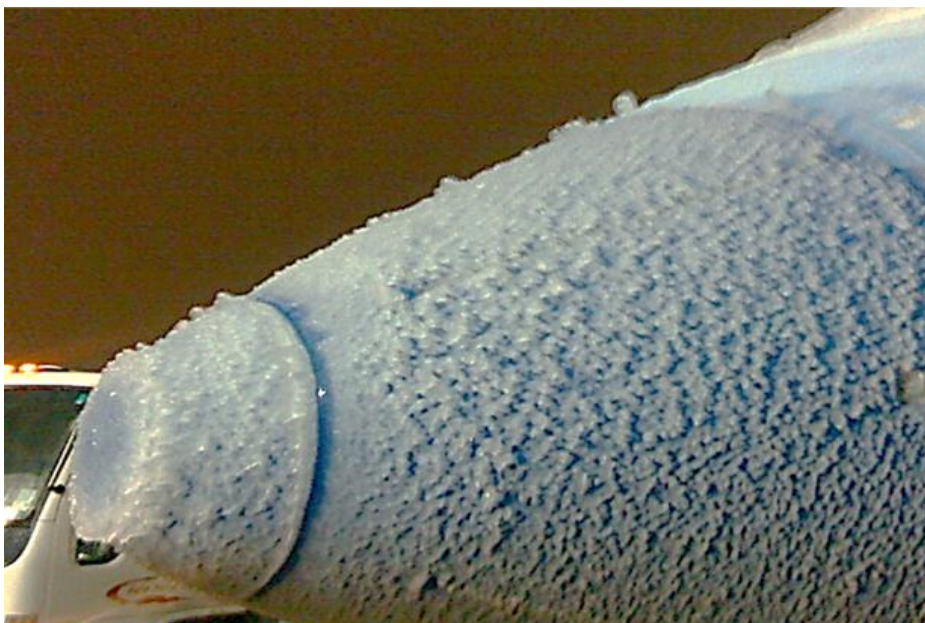
Ovaj led je staklenasto bistrog izgleda, čvrste konzistencije, glatke površine i uglavnom valovitog oblika (slika 2.3.). Kako je vrlo čvrst, jako ga je teško ukloniti s površine zrakoplova. Prozirni led može uvelike promijeniti aerodinamički oblik aeroprofila te smanjiti u većoj ili manjoj mjeri njihovu učinkovitost. Također, postoji i mogućnost da se veliki komadi prozirnog leda odlome tijekom leta i udare u neki dio zrakoplova te na taj način oštete zrakoplov. Prozirni led je težak i gust, stoga bitno utječe na težinu zrakoplova. Uvjeti u kojima uvijek dolazi do stvaranja prozirnog leda su temperature blizu točke smrzavanja, velike količine tekuće vode, velike pothlađene kapljice i visoke brzine zrakoplova [2] [5].





Slika 2.3. Prozirni led na krilu zrakoplova [6]

Neprozirni led (engl. *rime ice*), mliječno bijelog izgleda, nastaje kada sićušne pothlađene kapljice dođu u kontakt s površinom zrakoplova temperature niže od 0 °C. S obzirom na to da se sićušne pothlađene kapljice vrlo brzo zaleđuju na površini zrakoplova, u ledu se stvaraju mjehurići zraka zbog kojih led ima hrapavu površinu te je porozan i lomljiv (slika 2.4.) [2] [5].



Slika 2.4. Neprozirni led na nosu zrakoplova [7]

Velika količina neprozirnog leda se tijekom leta može ukloniti tj. spriječiti sustavom za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja. Često se formira na napadnim bridovima i uzrokuje poremećeno strujanje zraka odnosno smanjuje uzgon i povećava otpor, ali zbog mjehurića zraka neće značajno povećati težinu zrakoplova (slika 2.5.). Neprozirni led uvijek nastaje zbog niskih temperatura, malih količina tekuće vode, sićušnih pothlađenih kapljica te zbog niskih brzina zrakoplova [2] [5].

## Neprozirni led



Slika 2.5. Neprozirni led na aeroprofilu [5]

Kada se u oblaku spoje kapljice različitih veličina tada dolazi do stvaranja mješovitog leda (engl. *mixed ice*). On je kombinacija prozirnog (velike pothlađene kapljice) i neprozirnog (sićušne pothlađene kapljice) leda (slika 2.6.) [2].

## Mješoviti led



Slika 2.6. Mješoviti led na aeroprofilu [5]

Zbog razlike u brzini akumulacije ta dva leda, te zračnih mjehurića, mješoviti led izgledom podsjeća na oblak (engl. *cloudy ice*). U većini slučajeva se događa zaleđivanje mješovitim ledom (slika 2.7.) [2] [5].



Slika 2.7. Mješoviti led [8]

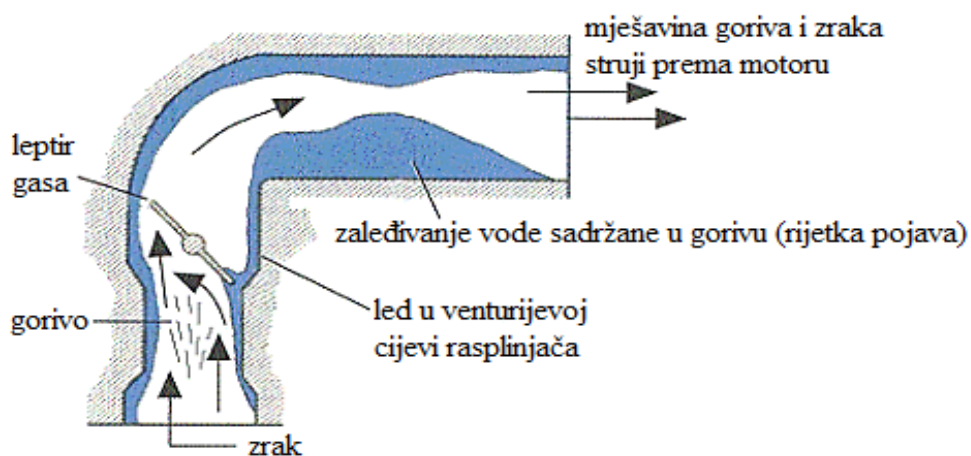
Led se nakuplja na svim frontalnim površinama zrakoplova, na krilima, propeleru, prozorima pilotske kabine, na antenama, otvorima, uvodnicima motora i poklopcima, ali i u unutrašnjosti motora. Zato se zaleđivanje zrakoplova može klasificirati u dvije glavne skupine, kao strukturno zaleđivanje i induksijsko zaleđivanje. Strukturno zaleđivanje se odnosi na led koji zahvaća vanjske površine zrakoplova dok se induksijsko zaleđivanje odnosi na led koji se formira u induksijskom sustavu motora [2] [5].

Strukturno zaleđivanje nastaje kada se pothlađene kapljice vežu za površinu zrakoplova i zamrznu. Pothlađene kapljice se u većoj količini primaju i brže zaleđuju na manjim i užim dijelovima zrakoplova poput repa, nego na dužim i širim dijelovima zrakoplova poput krila [5].

Induksijsko zaleđivanje može predstavljati veliki problem jer led u induksijskom sustavu može smanjiti količinu zraka za sagorijevanje i ukoliko se ne poduzmu određene radnje motor zrakoplova može otkazati. Nakon prisilnog slijetanja ili nesreće zrakoplova, zaleđivanje motora se ponekad ne može potvrditi kao uzrok nesreće iz razloga što se led može u potpunosti otopiti prije pregleda motora [2] [5].

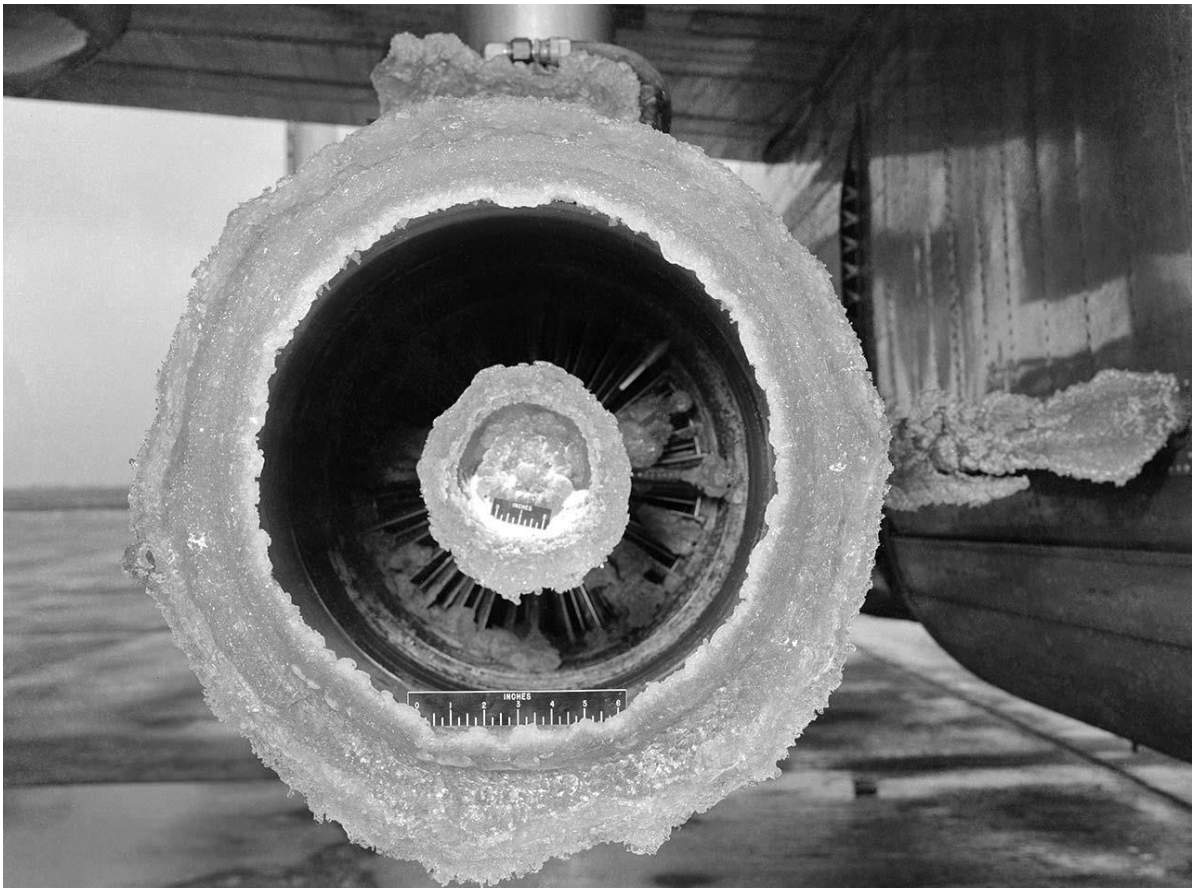
### 2.2.1. INDUKCIJSKO ZALEĐIVANJE

Induksijsko zaleđivanje klipnog motora se često odnosi na zaleđivanje rasplinjača koje je moguće i za vrijeme toplijih dana zbog prisutnosti vlage u zraku. Zbog vlažnog zraka koji se rashlađuje prolazeći kroz venturijevu cijev rasplinjača može doći do formiranja leda u cijevi i na leptiru gasa te tako ograničiti protok zraka. Led, koji se postepeno nagomilava, sužava venturijevu cijev i mijenja potreban omjer goriva i zraka što dovodi do smanjenja potiska motora (slika 2.8.). Do ove pojave može doći pri temperaturama između  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a problem se može riješiti zagrijavanjem rasplinjača, pomoću ispuha motora kao izvora topline, koji će svojom toplinom otopiti led ili spriječiti njegovo stvaranje [2] [5].



Slika 2.8. Zaleđivanje rasplinjača [9]

U zrakoplovima s turbinskim motorom, usisni zrak na uvodniku motora stvara područje smanjenog tlaka čime snižava postojeću temperaturu okolnog zraka u motoru, a u uvjetima zaleđivanja sniženje temperature uzrokuje stvaranje leda na uvodniku motora. Led smanjuje protok zraka u motor i time dovodi do vibriranja lopatica ventilatora ili kompresora. Pothlađene kapljice formiraju led na uvodniku motora, ventilatoru i na nekoliko prvih stupnjeva kompresora dok veće količine kristalića leda formiraju led u dubljim stupnjevima kompresora (slika 2.9.). Ako se odlomi komad leda i uđe u motor u pogonu mogu se oštetiti lopatice ventilatora i kompresora te se može ugasiti plamen u komori za sagorijevanje. Također, nakupine leda u indukcijskom sustavu motora mogu se otopiti i tako uzrokovati vibriranje motora ili, u najgorem slučaju, otkazivanje motora [5].



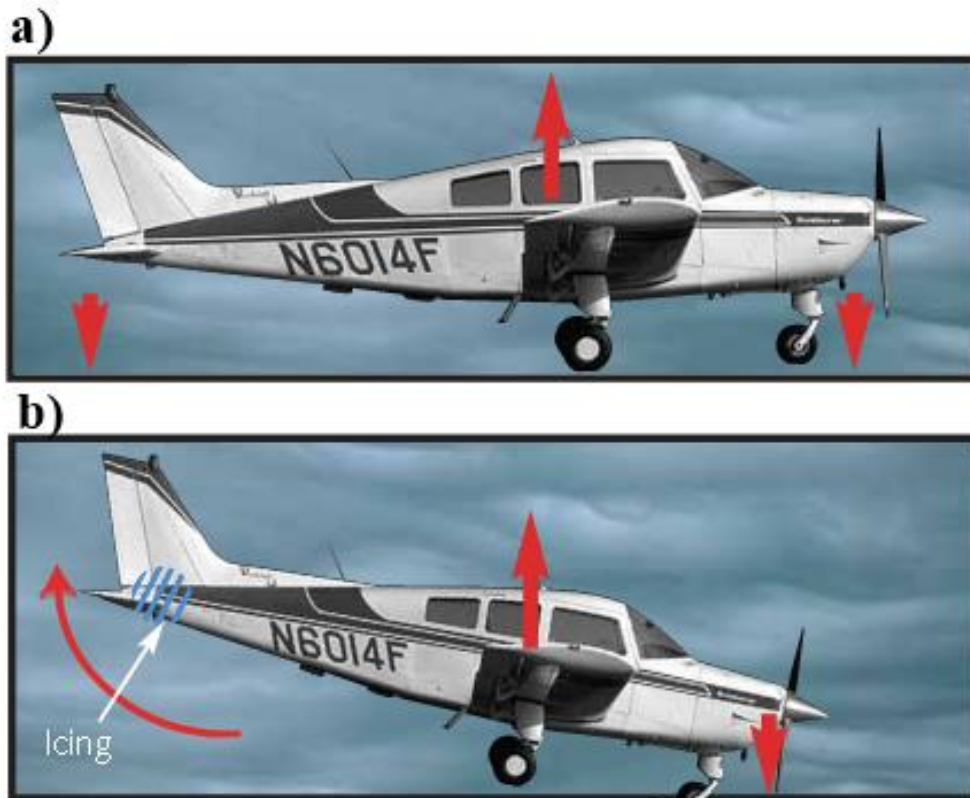
Slika 2.9. Zaleđivanje motora [10]

Ako zrakoplov nema sustav grijanja za gorivo i ako se u gorivu ne nalaze inhibitori protiv zaleđivanja tada se mala količina vode sadržana u gorivu, zbog povećanja nadmorske visine i sniženja temperature, izdvaja iz goriva. Voda se zatim taloži i zaleđuje u cjevovodima za gorivo te blokira protok goriva i, u konačnici, zaustavlja rad motora [11].

## 2.2.2. STRUKTURNO ZALEĐIVANJE

Zrakoplovi s klipnim motorima nemaju sustav za zaštitu krila od zaleđivanja, ali će dobiti odobrenje za let ako ne postoje uvjeti zaleđivanja. Tijekom leta mogu slučajno naići na uvjete zaleđivanja i tada se na nezaštićenim krilima stvara led duž raspona krila. Taj led uzrokuje povećanje otpora koje pilot zamjećuje u gubitku brzine ili u povećanju potiska motora potrebnog za održavanje trenutne brzine. Postupnim gomilanjem leda na krilima se konstantno povećava otpor pa se brzina zrakoplova, čak i povećanim potiskom motora, ne može održavati. Zbog pojave leda dolazi do velikog gubitka brzine, a taj problem se može riješiti smanjenjem visine leta. Jednako vrijedi za zrakoplove sa sustavom za zaštitu krila ako slučajno dođe do kvara tog sustava tijekom leta [5]. Nastankom leda na krilima može doći do zaleđivanja pretkrilca i zakrilca čime se onemogućuje njihovo izvlačenje i smanjuje potrebna površina za opstrujavanje silnica zraka. Zbog toga može doći do smanjenog uzgona ili potpunog gubitka uzgona [1]. Vrhovi krila često se zaleđuju jer su užji od ostatka krila. Njihovo zaleđivanje uzrokuje djelomični slom uzgona što bitno utječe na krilca i smanjuje upravljivost zrakoplova. Ako dođe do zaleđivanja krilca, pilot gubi kontrolu naginjanja zrakoplova na lijevu ili desnu stranu oko uzdužne osi. Ako se led nagomila na gornjaci krila, ispred krilca, onda može doći do poremećenog strujanja zraka i nepravilnog funkcioniranja krilca [5].

Kako je centar težišta većine konvencionalnih zrakoplova ispred centra uzgona krila, zrakoplovi će imati nagib nosa prema dolje pa se na repu stvara dodatna sila (uzgon) prema dolje kako bi zrakoplov bio u ravnoteži (slika 2.10. a). Ako postoje nakupine leda na horizontalnom stabilizatoru ili kormilu visine, a pritom se koriste zakrilca koja povećavaju negativni napadni kut repa, tada može doći do sloma uzgona repa što uzrokuje nagib nosa zrakoplova prema dolje (slika 2.10. b) [5]. Zaleđivanjem vertikalnog stabilizatora ili kormila pravca onemogućava se upravljanje zrakoplovom po horizontalnoj osi, odnosno skretanje zrakoplova u lijevu i desnu stranu, što može dovesti do smanjenja performansi ili potpunog gubitka kontrole nad zrakoplovom [1]. Kod većine zrakoplova pilot ne može vidjeti rep niti koliko se uspio očistiti od leda sustavom za odleđivanje. Zato je važno da pilot bude svjestan situacije i oprezan u slučaju gubitka kontrole nad repom, posebno kada su zakrilca u potpunosti izvučena [5].

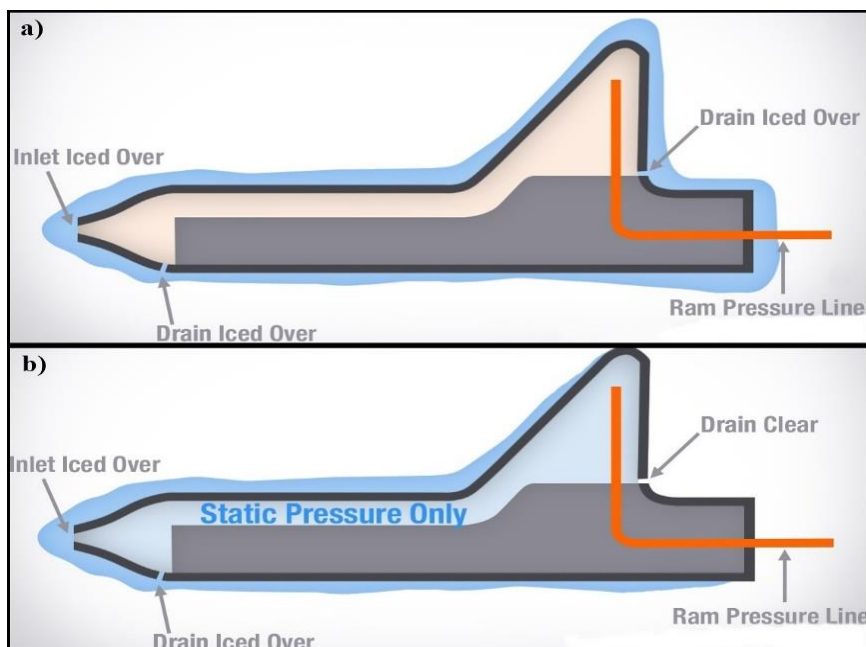


Slika 2.10. a) Sile zrakoplova u ravnoteži, b) Posljedica leda na horizontalnom stabilizatoru [12]

Nadalje, gomilanje leda na lopaticama propelera smanjuje potisak zrakoplova. Velika količina leda se uglavnom skuplja na konusu i na dijelovima lopatica propelera blizu konusa. Kad su u pitanju velike pothlađene kapljice, led se stvara po cijeloj dužini lopatica propelera što dovodi do gubitka brzine zrakoplova [5].

Antene su malih dimenzija i nisu položene u ravnini s površinom zrakoplova te se zbog toga vrlo lako zaleđuju. Iz tog razloga antene su opremljene sustavom za odleđivanje i sustavom za zaštitu od zaleđivanja. Tijekom leta u uvjetima zaleđivanja, sloj leda na anteni može uzrokovati izobličenje radio signala, vibriranje antene te u konačnici oštećenje antene. U slučaju da se zaleđena antena slomi tada dolazi do uništenja komunikacijskog ili navigacijskog sustava [5].

Mjerni instrument koji se vrlo lako zaleđuje je pitotova cijev. Nastankom već tankog sloja leda na njenom ulaznom otvoru sprječava se ulazak zraka u sustav što utječe na brzinomjer. Stoga je većina zrakoplova opremljena s pitotovim sustavom grijanja. Zbog zaleđene pitotove cijevi (slika 2.11. a) brzinomjer će pri penjanju zrakoplova pokazivati višu brzinu od stvarne dok će pri poniranju pokazivati nižu brzinu od stvarne brzine zrakoplova. Ako se ulazni otvor pitotove cijevi zaleđi, a odvodni otvor ostane prohodan (slika 2.11. b), tada će brzinomjer pokazivati nulu. U slučaju da se zaleđi pitotova cijev i statički otvor, promjene u brzini neće biti prikazane zbog zarobljenih tlakova unutar pitot-statičkog sustava [5].



Slika 2.11. a) Zaleđena pitotova cijev, b) Zaleđeni ulazni otvor i nezaleđeni odvodni otvor pitotove cijevi [13]

Kako ne bi došlo do zaleđivanja statičkih otvora, važno je da zrakoplov ima sustav grijanja. Na taj način se zaštićuje cijeli pitot-statički sustav. Ako ipak dođe do zaleđivanja statičkog otvora, brzinomjer će očitavati netočne podatke pa će pri penjanju zrakoplova prikazivati nižu brzinu od stvarne, a pri poniranju višu brzinu od stvarne brzine zrakoplova. Isto tako, visinomjer i variometar prikazivat će krive podatke zbog zarobljenog tlaka u statičkom sustavu. Visinomjer će zato pokazivati zadnje izmjerenu visinu prije trenutka blokade statičkog otvora dok variometar ostaje na nuli. U slučaju nužde može se koristiti alternativni statički otvor koji se nalazi unutar zrakoplova, ali će tada statički tlak biti niži od statičkog tlaka izvan zrakoplova. Primjenom alternativnog statičkog otvora instrumenti mogu davati netočne informacije pa će onda brzinomjer očitavati višu brzinu od stvarne brzine, visinomjer će očitavati veću visinu od stvarne visine, a variometar će pokazivati da je zrakoplov u usponu [5].

Još jedan važan sustav koji pilotu pruža neophodne informacije je sustav za upozorenje o slomu uzgona. Bitno je da sustav radi ispravno kako bi pilot bio upozoren i mogao pravovremeno reagirati. Senzor napadnog kuta, kao dio ovog sustava, ima direktnu povezanost s pretvornikom koji pokrete lopatice pretvara u električne signale, a oni se potom prenose do zrakoplovnog računala. Senzor i pretvornik se moraju zagrijavati kako ne bi došlo do stvaranja leda. Ako dođe do zaleđivanja, pretvornik će slati krive signale uređajima za upozorenje o slomu uzgona pa u nekim slučajevima uređaji neće davati naznake o slomu uzgona. Također, sustav za upozorenje koji nije zaleđen bit će neispravan ako su krila zrakoplova zaleđena. U tom slučaju slom uzgona nastupit će prije aktivacije uređaja za upozorenje. Zbog toga je važno da pilot održava brzinu i prati pokazivač napadnog kuta jer se inače može poremetiti nagib nosa zrakoplova ili može doći do kotrljanja zrakoplova oko uzdužne osi [5].

Ako dođe do zaleđivanja senzora za omjer tlaka turbinskog motora tad se pilotu prikazuju netočne informacije vezane uz potisak motora pa stoga pilot može nepravilno prilagoditi ventil za dovod goriva. Problem se može spriječiti sustavom za zaštitu od zaleđivanja koji koristi vrući zrak iz kompresora [5].

Ukoliko dođe do zaleđivanja senzora za vanjsku temperaturu zraka i senzora za ukupnu temperaturu zraka, pilotu će se cijelo vrijeme prikazivati pogrešna temperatura od 0 °C [5].

Zaleđivanje prozora pilotske kabine smanjuje vidljivost pa se stoga ugrađuju sustavi za grijanje. Ti sustavi mogu biti u obliku sloja tankih žica preko kojih se provodi struja i zagrijavaju prozori, zatim u obliku električno grijane plohe te u obliku šipke na donjem kraju prozora pomoću koje se raspršuje tekućina za odleđivanje [5].



### 3. TEKUĆINE ZA ODLEĐIVANJE/ZAŠTITU ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA

Za vrijeme dok se zrakoplov nalazi na zemlji, ali i tijekom leta, na njegove površine padaju različite ledene oborine. Stoga se koriste tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja, a njihova funkcija je uklanjanje i snižavanje točke smrzavanja ledenih oborina. Na taj način se ujedno odgađa gomilanje naslaga leda, snijega, bljuzge ili mraza na kritičnim površinama zrakoplova [14].

#### 3.1. VRSTE TEKUĆINA

Tekućine za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja su:

- tekućina tipa I
- tekućina tipa II
- tekućina tipa III
- tekućina tipa IV [14].

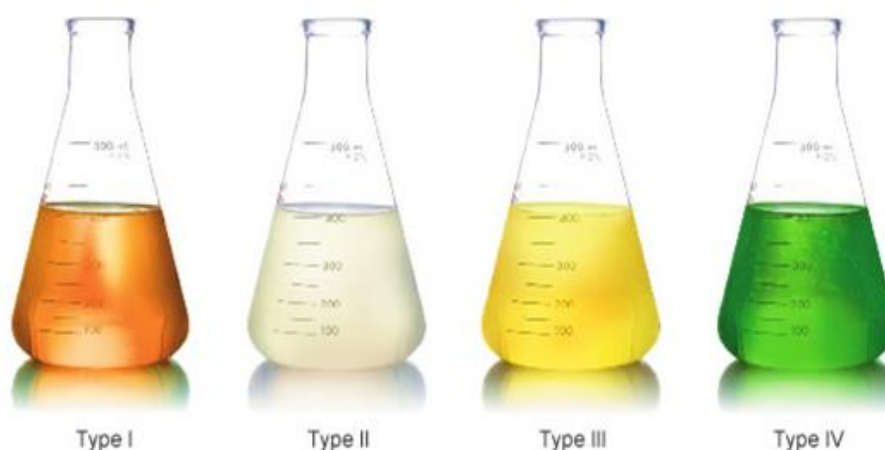
Pod tekućine za odleđivanje spada još i zagrijana voda [15].

Tekućine tipa I su dostupne u koncentriranom i, već unaprijed, razrijeđenom obliku. Koncentrirane tekućine tipa I sadrže vrlo visoki udio glikola, a dostupne razrijeđene tekućine uglavnom imaju minimalan udio glikola od 80 %. Sadržani glikol može biti etilen glikol, dietilen glikol, propilen glikol ili mješavina od dva ili tri navedena glikola, a preostali udio tekućine čine voda, inhibitori korozije, agensi za vlaženje, agensi protiv pjenjenja i ponekad boja. Tekućine tipa I imaju relativno nisku viskoznost koja se mijenja ovisno o temperaturi tekućine. Za odleđivanje i za zaštitu zrakoplova od zaleđivanja, koncentrirane tekućine tipa I se uvijek moraju razrijediti s vodom kako bi se postigla odgovarajuća točka smrzavanja tekućine u skladu s izabranim postupkom odleđivanja/zaštite. Uzimajući u obzir točku smrzavanja i aerodinamička svojstva tekućine, dostupne razrijeđene tekućine često se moraju još dodatno razrijediti. Zagrijavanje tekućina tipa I je obavezno kako bi se postiglo učinkovito odleđivanje i zaštita zrakoplova. Kod zaštite zrakoplova minimalna temperatura ovih tekućina mora biti 60 °C na mlaznici za prskanje. Površine zrakoplova zaštićene su od zaleđivanja zbog topline tekućina, ali vrijeme zadržavanja tih tekućina na površinama je relativno kratko [14] [15] [16].

Tekućine tipa II, III i IV su, također, dostupne u koncentriranom i razrijeđenom obliku. Koncentrirane tekućine tipa II i IV sastoje se od visokog postotka glikola dok manji postotak čine voda, regulator debljine, inhibitori korozije, agensi za vlaženje i ponekad boja. Tekućina tipa III je vrlo slična tekućini tipa II i IV, ali razlika je što se tekućina tipa III koristi kod regionalnih zrakoplova s manjom brzinom polijetanja. Razrijeđeni oblik tekućina tipa II, III i IV u većini slučajeva sadrži najmanje 50 % glikola. Ovi tipovi tekućina, zbog regulatora debljine, imaju visoku viskoznost koja u kombinaciji s agensima za vlaženje stvara debeli sloj premaza na zrakoplovu te stoga imaju bolja zaštitna svojstva protiv zaleđivanja nego tekućina tipa I. Bitno je napomenuti da se njihova viskoznost mijenja ovisno o sili smicanja, omjeru tekućine i vode te temperaturi tekućine. Općenito, tekućine tipa II, III i IV se kao koncentrirane i razrijeđene mogu koristiti za proces odleđivanja i proces zaštite od zaleđivanja. Za maksimalnu zaštitu zrakoplova ove tekućine trebaju biti u koncentriranom obliku pri nižim ambijentalnim temperaturama, a za odleđivanje i za zaštitu od zaleđivanja pri višim ambijentalnim temperaturama koriste se razrijeđene. Kada se ove tekućine koriste za proces zaštite zrakoplova one se ne trebaju zagrijavati, ali i mogu dok se za potrebe odleđivanja zrakoplova uvijek moraju zagrijavati [14] [15] [16].

Prilikom strujanja zraka nastaje sila smicanja koja djeluje na tekućine za zaštitu od zaleđivanja i smanjuje njihovu viskoznost. Zbog smanjene viskoznosti dolazi do postupnog otjecanja tekućina s površina zrakoplova, a istovremeno, prisutne oborine razrjeđuju sve tipove tekućina za zaštitu sve dok sloj tekućine ne nestane. Zrakoplov koji je prethodno bio podvrgnut tekućini za zaštitu od zaleđivanja ne može primiti novi sloj te tekućine na kontaminiranu površinu, nego se najprije mora izvršiti proces odleđivanja i zatim nanijeti tekućina za zaštitu od zaleđivanja [14].

Glikol je bezbojan i to dokazuju prijašnje certificirane tekućine kada bojenje nije bilo propisano. Kako bi nanošenje tekućina na površine zrakoplova bilo lakše i preglednije, u tekućine se dodaju boje. Stoga je svaki tip tekućine različite boje pa je tako tekućina tipa I narančaste boje, tekućina tipa II blijedo žućkaste boje, tekućina tipa III svijetlo žute boje dok je tekućina tipa IV zelene boje (slika 3.1.). Prema zahtjevu tekućine mogu ostati prozirne [17] [18].



Slika 3.1. Prikaz tekućina tipa I, II, III i IV [16]

Ove tekućine moraju ispunjavati kriterije za uporabu koje su utvrdili operator, proizvođač tekućine i proizvođač zrakoplova, a kvalifikacija tekućina se provodi prema standardima Udruženja automobilskih inženjera (*Society of Automotive Engineers – SAE*) i standardima Međunarodne organizacije za standardizaciju (*International Organization for Standardization – ISO*). Sastavi tekućina za odleđivanje i zaštitu variraju ovisno od proizvođača i zbog toga je zabranjeno miješati tekućine različitih tipova kao i tekućine istih tipova, ali različitih proizvođača [1] [14] [17].

Tekućine za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja drže se u posebnim spremnicima koji su izrađeni od odgovarajućeg materijala otpornog na koroziju, kao što su nehrđajući čelik ili stakloplastika. Ovo je osobito važno kako tekućine tipa II, III i IV ne bi bile kontaminirane, izložene visokoj temperaturi niti mehaničkom smicaju prilikom njihovog prijenosa i upotrebe jer se u suprotnom viskoznost tekućina može trajno smanjiti. Isto vrijedi za crpke i mlaznice za prskanje. Za navedenu opremu, ali i za tekućine povremeno se provode kontrole o njihovoj ispravnosti. Također, sve mora biti u skladu s preporukama proizvođača tekućina i zakonima o zaštiti okoliša i zdravlja [15] [16].

### 3.2. VRIJEME ZADRŽAVANJA TEKUĆINE

Važna karakteristika tekućine za zaštitu od zaleđivanja je njeno vrijeme zadržavanja na površinama zrakoplova. Vrijeme zadržavanja tekućine je vrijeme kojim se procjenjuje koliko dugo će tekućina štiti tretirane površine od zaleđivanja. Tekućine se ispituju pri različitim temperaturama i različitim uvjetima padalina s kakvima se zrakoplovi susreću zimi i tako se dobivaju vremena zadržavanja tekućina [14].

Brojni čimbenici utječu na vrijeme zadržavanja tekućine, a neki od njih su:

- vrste naslaga i brzina njihovog taloženja
- ambijentalna temperatura
- relativna vlažnost
- smjer i brzina vjetra
- temperatura površine zrakoplova
- tip i temperatura tekućine za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja
- omjer tekućine i vode
- intenzitet padalina [14] [15].

Iako se vrijeme zadržavanja tekućine za zaštitu može definirati ponekad se može dogoditi da ono bude kraće ili dulje od procijenjenog vremena. Tako naprimjer, velika brzina vjetra, mlaz motora drugog zrakoplova i temperatura površine zrakoplova puno niža od vanjske temperature zraka mogu znatno skratiti vrijeme trajanja zaštite [14] [15].

Operator na temelju dokumenata proizvođača tekućina objavljuje vrijeme zadržavanja tekućina u obliku tablice ili dijagrama uzimajući u obzir različite uvjete zaleđivanja na zemlji te različite tipove i koncentracije tekućina. Gornja granica vremenskog raspona označava vrijeme zadržavanja tekućine tijekom laganih oborina, a donja granica označava vrijeme zadržavanja tekućine tijekom umjerenih padalina dok se kod teških oborina vrijeme trajanja zaštite može smanjiti ispod donje granice vremenskog raspona [14] [15].

Tekućine tipa I imaju ograničeno vrijeme zadržavanja, pogotovo za vrijeme ledenih padalina, zbog toga što stvaraju tanki sloj na površinama zrakoplova. Povećanjem koncentracije tekućine tipa I neće se produžiti vrijeme zadržavanja tekućine. Za razliku od tekućina tipa I, nanošenjem tekućina tipa II, III i IV nastaje deblji sloj na površinama zrakoplova zbog kojeg se u svim vremenskim uvjetima ostvaruje dulje vrijeme zadržavanja. Njihovo vrijeme zadržavanja bit će znatno dulje za vrijeme ledenih padalina nego kod većine ostalih padalina pri istim ambijentalnim temperaturama. Povećanjem koncentracije tekućina tipa II, III i IV produžit će se njihovo vrijeme zadržavanja dok će za koncentrirane tekućine to vrijeme biti najduže. Također, vrijeme zadržavanja tekućina tipa II, III i IV može se produljiti ako se na površine zrakoplova nanese veća količina tekućine koja može apsorbirati veću količinu zaleđenih naslaga prije nego dostigne svoju točku smrzavanja. Tekućine tipa IV omogućuju vremenski dužu zaštitu od tekućina tipa II i III [14] [15].

Nakon procesa odleđivanja i zaštite zrakoplova od zaleđivanja, pilot zrakoplova dobit će informacije o tipu tekućine, koncentraciji tekućina tipa II, III i IV, vremenu početka nanošenja tekućine za zaštitu te potvrdu da je zrakoplov odleđen i zaštićen od zaleđivanja. Na temelju ovih informacija pilot može procijeniti odgovarajuće vrijeme zadržavanja tekućine iz tablice operatora. Vrijeme zadržavanja započinje u trenutku konačnog nanošenja tekućine, a završava u onom trenutku kada prestane njeno djelovanje što bi se trebalo dogoditi u vremenskom rasponu koji je pilot zrakoplova odabrao iz tablice [14].

Vrijeme zadržavanja tekućine započinje različito ovisno o tome izvodi li se odleđivanje/zaštita zrakoplova u jednom ili dva koraka. U oba postupka vrijeme zadržavanja započinje nanošenjem tekućine za zaštitu pa stoga kod odleđivanja/zaštite u jednom koraku započinje odmah, a kod odleđivanja/zaštite u dva koraka započinje početkom drugog koraka. Vrijeme zadržavanja će završiti kada se na zaštićenim površinama zrakoplova počnu gomilati ledene nakupine [15].

Za svaku zimsku sezonu, Američka Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (*Federal Aviation Administration – FAA*), Transport Kanada (*Transport Canada – TC*) i Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (*European Aviation Safety Agency – EASA*) objavljuju vlastite ažurirane programe za odleđivanje koji uključuju originalne i generičke tablice vremena zadržavanja tekućina za zaštitu za određene uvjete. Originalna tablica sadrži vremena zadržavanja jedne kvalificirane tekućine dok generička tablica prikazuje vremena zadržavanja koja se koriste za sve kvalificirane tekućine (tablica 1., tablica 2., tablica 3.). Uz navedene tablice, postoje i tablice koje opisuju primjenu svih tipova tekućina te njihove koncentracije s obzirom na odgovarajući postupak odleđivanja/zaštite i odgovarajuću ambijentalnu temperaturu [1] [16] [17].

Tablica 1. Originalna tablica vremena zadržavanja tekućine tipa IV (KILFROST ABC-S PLUS)

Outside Air Temperature <sup>1</sup>	Fluid Concentration Fluid/Water By % Volume	Freezing Fog or Ice Crystals	Very Light Snow, Snow Grains or Snow Pellets <sup>2,3</sup>	Light Snow, Snow Grains or Snow Pellets <sup>2,3</sup>	Moderate Snow, Snow Grains or Snow Pellets <sup>2</sup>	Freezing Drizzle <sup>4</sup>	Light Freezing Rain	Rain on Cold Soaked Wing <sup>5</sup>	Other <sup>6</sup>
-3 °C and above (27 °F and above)	100/0	2:10 - 4:00	3:00 - 3:00	2:05 - 3:00	1:15 - 2:05	1:50 - 2:00	1:05 - 2:00	0:25 - 2:00	CAUTION: No holdover time guidelines exist
	75/25	1:25 - 2:40	2:05 - 2:25	1:15 - 2:05	0:45 - 1:15	1:00 - 1:20	0:30 - 0:50	0:10 - 1:20	
	50/50	0:30 - 0:55	1:00 - 1:10	0:30 - 1:00	0:15 - 0:30	0:15 - 0:40	0:15 - 0:20		
below -3 to -8 °C (below 27 to 18 °F)	100/0	0:55 - 3:30	3:00 - 3:00	1:50 - 3:00	1:05 - 1:50	0:25 - 1:35	0:20 - 0:30		
	75/25	0:45 - 1:50	1:50 - 2:10	1:05 - 1:50	0:40 - 1:05	0:20 - 1:10	0:15 - 0:25		
below -8 to -14 °C (below 18 to 7 °F)	100/0	0:55 - 3:30	2:55 - 3:00	1:45 - 2:55	1:00 - 1:45	0:25 - 1:35 <sup>7</sup>	0:20 - 0:30 <sup>7</sup>		
	75/25	0:45 - 1:50	1:45 - 2:00	1:00 - 1:45	0:35 - 1:00	0:20 - 1:10 <sup>7</sup>	0:15 - 0:25 <sup>7</sup>		
below -14 to -18 °C (below 7 to 0 °F)	100/0	0:40 - 1:00	0:30 - 0:45	0:09 - 0:30	0:02 - 0:09				
below -18 to -25 °C (below 0 to -13 °F)	100/0	0:40 - 1:00	0:10 - 0:20	0:03 - 0:10	0:01 - 0:03				
below -25 to -28 °C (below -13 to -18 °F)	100/0	0:40 - 1:00	0:07 - 0:10	0:02 - 0:07	0:00 - 0:02				

[19]

Vrijeme zadržavanja za tekućine tipa II, III i IV se odabire prema trenutnoj vanjskoj temperaturi zraka, prisutnoj vrsti padaline te korištenoj koncentraciji tekućine u procesu zaštite zrakoplova. Omjer udjela glikola i vode u tekućini je izražen u postocima i može iznositi 100/0, 75/25 i 50/50 [17].

Tablica 2. Generička tablica vremena zadržavanja tekućine tipa IV u različitim vremenskim uvjetima

Outside Air Temperature <sup>1</sup>	Fluid Concentration Fluid/Water By % Volume	Freezing Fog or Ice Crystals	Very Light Snow, Snow Grains or Snow Pellets <sup>2,3</sup>	Light Snow, Snow Grains or Snow Pellets <sup>2,3</sup>	Moderate Snow, Snow Grains or Snow Pellets <sup>2</sup>	Freezing Drizzle <sup>4</sup>	Light Freezing Rain	Rain on Cold Soaked Wing <sup>5</sup>	Other <sup>6</sup>
-3 °C and above (27 °F and above)	100/0	1:15 - 2:40	2:20 - 2:45	1:10 - 2:20	0:35 - 1:10	0:40 - 1:30	0:25 - 0:40	0:08 - 1:10	CAUTION: No holdover time guidelines exist
	75/25	1:25 - 2:40	2:05 - 2:25	1:15 - 2:05	0:40 - 1:15	0:50 - 1:20	0:30 - 0:45	0:09 - 1:15	
	50/50	0:30 - 0:55	1:00 - 1:10	0:25 - 1:00	0:10 - 0:25	0:15 - 0:40	0:09 - 0:20		
below -3 to -8 °C (below 27 to 18 °F)	100/0	0:20 - 1:35	1:50 - 2:20	0:55 - 1:50	0:30 - 0:55	0:25 - 1:20	0:20 - 0:25		
	75/25	0:30 - 1:20	1:50 - 2:10	1:00 - 1:50	0:30 - 1:00	0:20 - 1:05	0:15 - 0:25		
below -8 to -14 °C (below 18 to 7 °F)	100/0	0:20 - 1:35	1:20 - 1:40	0:45 - 1:20	0:25 - 0:45	0:25 - 1:20 <sup>7</sup>	0:20 - 0:25 <sup>7</sup>		
	75/25	0:30 - 1:20	1:40 - 2:00	0:45 - 1:40	0:20 - 0:45	0:20 - 1:05 <sup>7</sup>	0:15 - 0:25 <sup>7</sup>		
below -14 to -18 °C (below 7 to 0 °F)	100/0	0:20 - 0:40	0:30 - 0:45	0:09 - 0:30	0:02 - 0:09				
below -18 to -25 °C (below 0 to -13 °F)	100/0	0:20 - 0:40 <sup>8</sup>	0:10 - 0:20 <sup>8</sup>	0:03 - 0:10 <sup>8</sup>	0:01 - 0:03 <sup>8</sup>				
below -25 °C to LOU <sup>T</sup> (below -13 °F to LOU <sup>T</sup> )	100/0	0:20 - 0:40 <sup>8</sup>	0:07 - 0:10 <sup>8</sup>	0:02 - 0:07 <sup>8</sup>	0:00 - 0:02 <sup>8</sup>				

[19]

Vrijeme zadržavanja tekućine tipa I ovisi o ambijentalnoj temperaturi i vrsti padaline dok koncentracija tekućine ne utječe na trajanje zaštite [17].

Tablica 3. Generička tablica vremena zadržavanja tekućina tipa I, II, III, IV u uvjetima aktivnog mraza

Outside Air Temperature <sup>1,2,3</sup>	Type I	Outside Air Temperature <sup>2,3</sup>	Concentration Fluid/Water By % Volume	Type II	Type III <sup>4</sup>	Type IV
-1 °C and above (30 °F and above)	0:45 (0:35) <sup>5</sup>	-1 °C and above (30 °F and above)	100/0	8:00	2:00	12:00
			75/25	5:00	1:00	5:00
			50/50	3:00	0:30	3:00
below -1 to -3 °C (below 30 to 27 °F)		-1 to -3 °C (below 30 to 27 °F)	100/0	8:00	2:00	12:00
			75/25	5:00	1:00	5:00
			50/50	1:30	0:30	3:00
below -3 to -10 °C (below 27 to 14 °F)		-3 to -10 °C (below 27 to 14 °F)	100/0	8:00	2:00	10:00
			75/25	5:00	1:00	5:00
below -10 to -14 °C (below 14 to 7 °F)		-10 to -14 °C (below 14 to 7 °F)	100/0	6:00	2:00	6:00
75/25			1:00	1:00	1:00	
below -14 to -21 °C (below 7 to -6 °F)	-14 to -21 °C (below 7 to -6 °F)	100/0	6:00	2:00	6:00	
below -21 to -25 °C (below -6 to -13 °F)		below -21 to -25 °C (below -6 to -13 °F)	100/0	2:00	2:00	4:00
below -25 °C to LOU <sup>T</sup> (below -13 °F to LOU <sup>T</sup> )	below -25 °C (below -13 °F)	100/0	No Holdover Time Guidelines Exist			

[19]

Kako bi se tablice vremena zadržavanja tekućina mogle primjenjivati, točka smrzavanja tekućine mora biti niža od vanjske temperature zraka odnosno za tekućinu tipa I točka smrzavanja mora biti najmanje 10 °C niža od ambijentalne temperature dok za tekućine tipa II, III i IV razlika u temperaturi mora iznositi najmanje 7 °C. Ako je ambijentalna temperatura -5 °C tada točka smrzavanja mora najmanje biti -15 °C za tekućinu tipa I te -12 °C za tekućine tipa II, III i IV [19].

## 4. OPERATIVNE PROCEDURE

Tijekom operacija na zemlji postoji mogućnost nakupljanja snijega, leda, mraza i bljuzgavice na krilima, propelerima, upravljačkim površinama, uvodnicima motora ili drugim kritičnim površinama pa zrakoplov neće dobiti odobrenje za let dok se ne izvede proces odleđivanja. Oborine utječu na performanse zrakoplova u letu i stoga je dužnost pilota da prije polijetanja ostvari koncept čistog zrakoplova, što znači da je zrakoplov učinkovito odleđen i zaštićen od zaleđivanja. Također, prije polijetanja zrakoplova trebaju se provesti određene provjere u koje spadaju provjera kontaminiranosti zrakoplova, koja se izvodi prije procesa odleđivanja/zaštite, te različite provjere nakon procesa odleđivanja/zaštite zrakoplova [14].

### 4.1. PROVJERA KONTAMINIRANOSTI ZRAKOPLOVA

Provjera kontaminiranosti zrakoplova obuhvaća provjeru svih kritičnih površina zrakoplova, a izvodi se s mjesta s kojeg se dobro vide te površine kao ponekad iz vozila za odleđivanje. Ako se na kritičnim površinama zrakoplova nalazi kontaminant, treba se izvesti odleđivanje zrakoplova i prema potrebi zaštita zrakoplova od zaleđivanja nanošenjem tekućine za zaštitu. Površine se za vrijeme trajanja provjere mogu očistiti ručnom metodom i ukoliko nisu zaleđene tada neće biti potrebe za naknadnim procesom odleđivanja, ali samo ako to potvrdi letačka posada. Konačnu odluku vezanu uz proces odleđivanja ima pilot zrakoplova koji pritom treba uzeti u obzir mišljenje letačke posade i posade na zemlji [17].

Površine zrakoplova koje se trebaju provjeriti su:

- sve aerodinamičke površine (krila, vertikalne i horizontalne repne površine, propeleri)
- upravljačke površine i razmaci
- trup
- uvodnici motora i lopatice ventilatora
- pitotova cijev i statički otvori
- podvozje i vratašca podvozja
- antene i senzori [17].

Kad se obavi provjera navedenih površina donosi se odluka o daljnjem postupku odleđivanja. Odabir odgovarajuće metode odleđivanja varira ovisno o zimskim vremenskim uvjetima [17].

### 4.2. PROCES ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA

Nakon provjere svaka kontaminirana površina na zrakoplovu se obavezno treba očistiti i odlediti prije polijetanja zrakoplova. Ako se zrakoplov može ponovo zalediti u tom slučaju se mora izvršiti i zaštita njegovih površina [16] [20].

Odleđivanje zrakoplova je izuzetno bitan proces koji obuhvaća uklanjanje raznih padalina s površina zrakoplova. Uspješno se postiže različitim metodama kao što su odleđivanje grijanim hangarom, vrućim zrakom i tekućinom za odleđivanje. Primarna metoda odleđivanja zrakoplova koja se koristi na većini zračnih luka je odleđivanje zagrijanim tekućinama iako postoje i druge odobrene metode odleđivanja. Također, zrakoplov se može odlediti i infracrvenim grijanjem [16] [20].

Osim procesa odleđivanja, jednako važan proces je zaštita zrakoplova protiv zaleđivanja koja podrazumijeva zaštitu zrakoplovnih površina od leda, mraza i snijega tijekom određenog vremenskog intervala. U ovom procesu za postizanje zaštite isključivo se koriste tekućine za zaštitu od zaleđivanja. Češće se koriste tekućine tipa II, III i IV u odnosu na tekućinu tipa I jer nastaje deblji zaštitni sloj zbog kojeg se tekućine duže zadržavaju na površinama zrakoplova što produžuje vrijeme trajanja zaštite [16].

Odleđivanju može prethoditi postupak uklanjanja kontaminanata mehaničkom odnosno ručnom metodom koja je još uvijek značajna i u upotrebi bez obzira što su razvijeni noviji i različiti postupci odleđivanja. Ručna metoda obuhvaća uklanjanje naslaga padalina pomoću metle, četke, užeta ili stlačenog zraka. Ponekad se ovom metodom može spriječiti stvaranje naslaga na nekim površinama zrakoplova pomoću pokrivača za krila i pokrivača za ostale kritične komponente zrakoplova kao što su prozori pilotske kabine, uvodnici motora, pitotova cijev i slično (slika 4.1.). Svejedno koji način ručne metode se koristi, smanjit će se količina naslaga na zrakoplovnim površinama. Bez obzira na to što površine nisu potpuno očišćene, odleđivanje će u vrijeme odlaska zrakoplova biti brže i pritom će se uštedjeti velika količina tekućine za odleđivanje. Neki dijelovi zrakoplova se ne smiju tretirati tekućinama pa se zato u tim situacijama odabire upravo ručna metoda za čišćenje tih dijelova i zatim se odleđuju vrućim zrakom. Posada leta mora obavezno dobiti sve informacije vezane uz postupak uklanjanja kontaminanata ručnom metodom. Ujedno mora biti obavještena o mogućim promjenama tijekom postupka da bi u konačnici mogla odlučiti o daljnjem postupku odleđivanja i zaštite od zaleđivanja. Površine koje su očišćene ručnom metodom nisu zaštićene od zaleđivanja [17] [20].



Slika 4.1. Pokrivač za nos zrakoplova i prozore pilotske kabine [21]



Kod postupka uklanjanja kontaminanata pomoću metli i četki jako je bitan smjer čišćenja kako snijeg ili neki drugi kontaminant ne bi završio u međuprostorima između fiksnih i pomičnih dijelova krila i repa (slika 4.2.). Iz razloga što se pri upotrebi metle treba paziti na upravljačke i ostale pomične površine krila, preporučuje se da pokreti metlom idu od napadnog ruba krila prema izlaznom rubu. Jednako pravilo vrijedi za horizontalne i vertikalne površine repa. Metle su vrlo korisne za čišćenje većine manjih zrakoplova i pomoću njih se uklanja suhi i lagani snijeg dok se čvrsti snijeg uklanja preostalim metodama. Kada se počne uklanjati snijeg s površina zrakoplova, potrebno je provjeriti postoji li još sloj leda ispod snijega. Nakon ovog postupka postojeći led se obavezno mora odlediti s površina zrakoplova i to putem grijanog hangara, vrućeg zraka ili tekućina za odleđivanje. Nadasve je važno da se prilikom čišćenja gornjih površina zrakoplova radnici pridržavaju sigurnosnih mjera poput nošenja sigurnosnih pojaseva [17] [20].



Slika 4.2. Uklanjanje kontaminanta pomoću metle [20]

Uže se također koristi za uklanjanje kontaminanata s površina zrakoplova, ali uglavnom tankog sloja mraza s krila i horizontalnih stabilizatora. U ovoj metodi potrebno je da dvije osobe, svaka s jedne strane, istovremeno povlače užu po dužini površine s ciljem uklanjanja padalina (slika 4.3.). Ako se na zrakoplovu nalazi deblji sloj mraza, on se ne može ukloniti užetom već samo ispolirati. U svakom slučaju, površine zrakoplova i izbočene komponente, npr. pitotova cijev i antene, ne smiju se oštetiti prilikom čišćenja [20].



Slika 4.3. Uklanjanje kontaminanta pomoću užeta [22]

Zračni kompresor stvara stlačeni zrak koji služi za uklanjanje velikih naslaga snijega s površina zrakoplova (slika 4.4.). Oprema za uklanjanje naslaga stlačenim zrakom stvara visoki tlak zraka kojim se uklanja isključivo suhi i lagani snijeg dok se ujedno mogu razdvojiti komadi stvrdnutog snijega i leda od površina zrakoplova, ali samo pri velikoj brzini mlaza. Postupak uklanjanja kontaminanata stlačenim zrakom smanjuje vrijeme potrebno za odleđivanje zrakoplova te smanjuje potrebnu količinu tekućine za odleđivanje. Također, zrakoplov se može istovremeno očistiti i odlediti pomoću stlačenog zraka pomiješanog s tekućinom za odleđivanje. Ova opcija koristi se samo za uklanjanje leda i mokrog snijega s površina zrakoplova, ali tada se potrebna količina tekućine za odleđivanje bitno ne smanjuje [20] [23].



Slika 4.4. Uklanjanje kontaminanta stlačenim zrakom [24]

Vezano uz odleđivanje zrakoplova, jedna od opcija za otapanje smrznutih kontaminanata s njegovih površina je grijani hangar (slika 4.5.). Naslage kontaminanta otapaju se za vrijeme boravka zrakoplova u grijanom hangaru, a nakon što zrakoplov izađe iz hangara može doći do ponovnog zaleđivanja površina ako su padaline prisutne na zračnoj luci prije njegovog polijetanja. Iako su sve površine podložne zaleđivanju, najčešće su zahvaćena krila jer ostaju duže toplija radi goriva koje se ugrijalo zbog temperature hangara. Dok se čist zrakoplov nalazi u grijanom hangaru, postoji mogućnost nanošenja tekućine za zaštitu od zaleđivanja na zrakoplov s malom prijenosnom prskalicom prije njegovog izlaska iz hangara [20] [25].



Slika 4.5. Odleđivanje zrakoplova u grijanom hangaru [20]

Druga opcija za odleđivanje smrznutih oborina je odleđivanje vrućim zrakom. Koristi se za odleđivanje propelera, uvodnika motora, lopatica ventilatora i podvozja (slika 4.6.). Metoda odleđivanja vrućim zrakom je također dobar odabir za odleđivanje ostalih površina zrakoplova, ali se ne smije predugo držati na jednom mjestu jer može doći do pregrijavanja tog dijela zrakoplova [20].



Slika 4.6. Odleđivanje vrućim zrakom [26]

Ukoliko postoje zaleđene naslage na zrakoplovu obavezno se mora izvesti odleđivanje zrakoplova, a ako može doći do ponovnog zaleđivanja izvest će se i zaštita zrakoplova od zaleđivanja. Kad je potrebno učiniti oboje, odleđivanje i zaštita od zaleđivanja mogu se izvesti u jednom ili dva koraka, a odabir između ova dva postupka ovisi o vremenskim uvjetima, dostupnoj opremi, dostupnim tekućinama i njihovim vremenima zadržavanja na površini zrakoplova [17].

Kako odabir ovisi o lokalnim vremenskim uvjetima tako se postupak odleđivanja i zaštite zrakoplova u jednom koraku izabire kada su na zračnoj luci prisutne slabe padaline, a na zrakoplovu se nalazi tanki sloj kontaminanata. U ovom postupku izvodi se istovremeno odleđivanje kontaminanta s površine zrakoplova i nanošenje zaštitnog sloja protiv zaleđivanja primjenom tekućine istog tipa i jednake koncentracije. Izabrana tekućina mora stvoriti zaštitni sloj na površini što znači da se odleđivanje/zaštita u jednom koraku postiže upotrebom tekućina za zaštitu od zaleđivanja. Za izvođenje postupka u jednom koraku koristi se zagrijana tekućina tipa I, i to razrijeđena, dok se u uvjetima kada je potrebna jača zaštita koriste zagrijane tekućine tipa II, III, IV u koncentriranom ili razrijeđenom obliku. Također je potrebno izabrati odgovarajuću koncentraciju tekućine da bi se postiglo željeno vrijeme zadržavanja tekućine, a pritom se trebaju uzeti u obzir ambijentalna temperatura i prisutni vremenski uvjeti. Ako je temperatura površine krila niža od vanjske temperature zraka može se koristiti tekućina tipa I jače koncentracije, ali se povećanjem udjela glikola neće produljiti vrijeme zadržavanja nego će se sniziti točka smrzavanja tekućine [1] [17].

Za razliku od prethodnog postupka, odleđivanje i zaštita zrakoplova u dva koraka bira se kada je na površinama zrakoplova veća količina kontaminanata i kada postoje nepovoljni meteorološki uvjeti s jakim padalinama. U ovom postupku se proces odleđivanja i proces zaštite zrakoplova provode odvojeno gdje se poslije procesa odleđivanja naknadno stavlja sloj tekućine za zaštitu. Na taj način se postiže najveća moguća zaštita kritičnih površina zrakoplova od zaleđivanja. U prvom koraku se provodi odleđivanje pomoću tekućina za odleđivanje ili jednom od preostalih metoda odleđivanja. Za odleđivanje smrznutih kontaminanata se koristi zagrijana voda, zagrijana razrijeđena tekućina tipa I te zagrijane tekućine tipa II, III, IV u razrijeđenom ili koncentriranom obliku. Tip i koncentracija tekućine se odabiru prema ambijentalnoj temperaturi. U drugom koraku se koriste tekućine za zaštitu zrakoplova od zaleđivanja, a to su zagrijana razrijeđena tekućina tipa I i zagrijane ili hladne tekućine tipa II, III, IV u razrijeđenom ili koncentriranom obliku. Njenim nanošenjem se ispire tekućina za odleđivanje te nastaje gusti i ravnomjerni zaštitni sloj na obrađenim površinama zrakoplova. Odabir tipa i koncentracije tekućina za zaštitu ovisi o željenom vremenu zadržavanja tekućine na površini zrakoplova, vanjskoj temperaturi zraka i vremenskim uvjetima. Drugi korak se mora započeti unutar tri minute od završetka prvog koraka kako se tekućina za odleđivanje ne bi smrznula [1] [17] [27].

Naime, kad se tekućine tipa II, III, IV koriste u procesu odleđivanja/zaštite u jednom koraku ili u prvom koraku procesa odleđivanja/zaštite u dva koraka može doći do nakupljanja ovih tekućina u međuprostorima na aerodinamičkim površinama, gdje se mogu zadržati tijekom leta zrakoplova. Ponovnim nanošenjem tekućina tipa II, III i IV dolazi do njihovog sušenja te nastaju osušeni ostaci koji se pri određenim atmosferskim uvjetima, tijekom visoke vlažnosti ili kiše, rehidriraju. Zatim se ti rehidrirani ostaci mogu zaleđiti za vrijeme leta na većim visinama i kao takvi mogu ometati rad upravljačkih površina. Stoga je bitno da se osušeni ostaci uoče i pravilno uklone s površina. Stvaranje osušenih ostataka može se svesti na minimum ako se u prvom koraku postupka u dva koraka koristi zagrijana voda ili zagrijana razrijeđena tekućina tipa I [15] [28].

#### 4.3. POVRŠINE ZA KOJE SE IZVODI PROCES ODLEĐIVANJA/ZASTITE OD ZALEĐIVANJA

Sve kritične površine zrakoplova se obavezno moraju očistiti, a svaka površina se odleđuje i zaštićuje na određen način kako je propisano. Za neke površine je potrebno izvesti samo odleđivanje dok se za neke površine treba provesti odleđivanje i zaštita protiv zaleđivanja. Tekućine za odleđivanje i zaštitu se nanose pomoću mlaznica za prskanje, instaliranih na posebnim vozilima za odleđivanje i zaštitu, s male razdaljine od površine zrakoplova kako ne bi došlo do gubitka topline tekućine. Istovremeno oprema mora biti na sigurnoj udaljenosti da se površina zrakoplova ne bi oštetila. Tanki sloj padalina na zrakoplovu uspješno se odleđuje toplinom tekućine dok se veće zaleđene naslage toplinom odvajaju od površine, a sav preostali talog se ispire tlakom mlaza [14] [17].

Površine koje se tretiraju tekućinama za odleđivanje su uglavnom gornje površine zrakoplova odnosno površine krila, repa s vertikalnim stabilizatorom i trupa. Kod nekih tipova zrakoplova svejedno se odleđuju i donjake krila. Što se tiče zaštite zrakoplova, gornje površine potrebno je zaštititi tekućinom za zaštitu od zaleđivanja dok se za donje površine ne provodi zaštita [17].

Stoga, površine na kojima se treba izvršiti zaštita protiv zaleđivanja su:

- krila i napadni rubovi
- horizontalni stabilizatori i napadni rubovi te kormila visine
- vertikalni stabilizator i kormilo pravca (obje strane)
- trup i VHF antena ovisno o količini i vrsti padalina [17].

Postupak odleđivanja i zaštite od zaleđivanja izvodi se na način da se površine uvijek tretiraju odozgora prema dolje, od napadnih rubova prema izlaznim te od prednjeg dijela zrakoplova prema stražnjem. Kod većine zrakoplova tretiranje krila započinje od vrha krila prema korijenu krila, ali se u pravilu uvijek treba započeti od najvišeg dijela krila prema najnižem pa zato kod nekih zrakoplova može biti i obratno. Jednako vrijedi i za horizontalni stabilizator. Iako ne postoji definirano pravilo o redoslijedu tretiranja površina, preporučuje se prvo tretiranje prednjeg dijela trupa, zatim krila pa nadalje tretiranje vertikalnog stabilizatora, stražnjeg dijela trupa i na samome kraju tretiranje horizontalnog stabilizatora. Kada se za proces odleđivanja/zaštite zrakoplova koristi više vozila tada se može promijeniti redoslijed tretiranja površina, ali smjer nanošenja tekućina treba uvijek biti isti. Zrakoplovi se tretiraju simetrično i kod postupka odleđivanja i kod postupka zaštite od zaleđivanja. Kako se zaleđivanje može pojaviti samo na krilima i/ili na repnim površinama tada odleđivanje može biti samo lokalno. Ako je zahvaćena samo jedna strana tih površina, tekućine za odleđivanje svejedno se moraju nanijeti simetrično [17].

Za ostale površine na zrakoplovu provode se posebne procedure vezane uz proces odleđivanja i zaštite. Prozori pilotske kabine se odleđuju i to sa zagrijanom vodom. Preostale tekućine za odleđivanje i tekućine za zaštitu se ne smiju prskati blizu niti izravno na prozore pilotske i putničke kabine jer mogu smanjiti vidljivost i može doći do oštećenja prozora. Jedini problem kod odleđivanja prozora s vodom je da se ista može zalediti na nekom dijelu trupa zrakoplova [17].

Uvodnici motora i lopatice ventilatora uvijek se trebaju provjeriti prije samog pokretanja motora i ukoliko se na njima nalaze zaleđene naslage treba se provesti odleđivanje. Ako na uvodnicima motora postoje naslage snijega tada se naslage prvo moraju ukloniti ručnom metodom, uglavnom četkom ili rukom. Zaleđene naslage se moraju odlediti pomoću vrućeg zraka ili grijanog hangara dok se tekućine za odleđivanje ne smiju prskati izravno u motor. Tekućina se, također, ne smije prskati u sekundarni izvor napajanja niti u ispušne cijevi. Ako su tokom procesa odleđivanja i zaštite motori i sekundarni izvor napajanja u pogonu onda klimatizacijski sustav treba biti isključen [14] [17] [29].

Zatim, led koji za vrijeme leta zrakoplova nastaje na lopaticama propelera može se odlediti vrućim zrakom, ali za kompozitne propelere postoje ograničenja temperature koja za njih moraju biti navedena. Tekućine za odleđivanje mogu se koristiti za odleđivanje propelera samo u slučaju kada proizvođači to dopuštaju. Za vrijeme boravka zrakoplova na zemlji, na lopaticama propelera mogu se nakupiti snijeg ili bljuzgavica pa se takvi kontaminanti moraju ručno ukloniti s mekanom krpom ili rukom kako ne bi došlo do oštećenja propelera [17].

Na podvozje se smije nanijeti mala količina tekućine za odleđivanje, ali ne izravno na kotače i kočnice. Osim primjene tekućine za odleđivanje, naslage suhog snijega se mogu ukloniti mehaničkim putem. Ako se na površini nalaze zaleđene naslage onda se iste odleđuju pomoću vrućeg zraka ili zagrijanih tekućina za odleđivanje s niskotlačnim mlazom [17].

Ukoliko se prilikom pregleda statičkih otvora i pitotove cijevi uoče kontaminanti koji blokiraju njihove otvore, poput leda ili tekućine koja je otekla s gornjih površina, oni se trebaju ukloniti kako ne bi došlo do nepravilnog rada tih instrumenata. Iz tog razloga se tekućine za odleđivanje i zaštitu ne smiju izravno prskati u otvore pitotove cijevi, statičke otvore kao ni u otvor senzora napadnog kuta [14] [17].

#### 4.4. PROVJERE ZRAKOPLOVA POSLIJE PROCESA ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE ZRAKOPLOVA

Nakon procesa odleđivanja i zaštite zrakoplova od zaleđivanja uvijek se mora izvesti provjera krila, repa i trupa, ali i ostalih tretiranih površina. Operater za odleđivanje i zaštitu zrakoplova može obaviti provjeru prilikom odvijanja procesa ili zasebno nakon svakog procesa. Provjera se može provesti vizualno ili dodiranjem ruke. Vizualna provjera obuhvaća pregled svih kritičnih dijelova zrakoplova, a treba se izvesti na povišenim mjestima s kojih se dobro vide ti dijelovi zrakoplova. Ponekad se vizualnom provjerom ne mogu dobro uočiti padaline na površinama, pogotovo prozirni led, pa se upravo zbog toga preporučuje provjera rukom kako bi se utvrdilo da je površina zrakoplova čista. Također, provjera površina se može izvesti putem kamera, ali takva metoda mora biti odobrena lokalno (od strane zračne luke i zračnog prijevoznika) i od nacionalnih zrakoplovnih vlasti (FAA/EASA). Operater za odleđivanje i zaštitu mora obavijestiti pilota prije polijetanja da je provjera izvršena. Ukoliko se ustanovi kontaminiranost tih površina potrebno je ponovo izvesti proces odleđivanja i zaštite zrakoplova te ponoviti provjeru [15] [17].

Zatim slijedi provjera prije polijetanja koju izvodi pilot zrakoplova. Pilot je dužan njome utvrditi da na kritičnim površinama zrakoplova nema leda, snijega, bljuzgavice ili mraza, a provjeru uglavnom izvodi iz zrakoplova vizualno pregledavajući krila i druge površine. Ova provjera se provodi unutar vremena zadržavanja tekućine i može se izvesti promatranjem površina iz pilotske kabine, putničke kabine ili izvan zrakoplova. Također, nakon procesa odleđivanja i zaštite pilot zrakoplova mora cijelo vrijeme pratiti vremenske uvjete i stanje površina zrakoplova sve do konačne provjere. Ako se provjera prije polijetanja obavlja po noći ili za vrijeme intenzivnih padalina onda se za obavljanje provjere može koristiti posebna oprema ili se provjera može postići drugačijim procedurama. Kada se provjerom prije polijetanja ne može sa sigurnošću odrediti postojanje kontaminanata na površinama i u slučaju kada je prekoračeno vrijeme zadržavanja tekućine za zaštitu tada se još provodi i provjera kontaminiranosti zrakoplova prije polijetanja. Njome se također treba utvrditi da nema ledenih kontaminanata na krilima, upravljačkim površinama i ostalim kritičnim površinama, a uvijek se obavlja izvan zrakoplova i provodi unutar pet minuta prije početka polijetanja. Prema zahtjevu vanjsku provjeru kritičnih površina zrakoplova može provesti kvalificirano osoblje na zemlji. U slučaju da provjeru obavlja zemaljska posada tada pilot prije polijetanja zrakoplova mora primiti potvrdu da je provjera izvedena. Ukoliko se uoče kontaminanti potrebno je ponoviti proces odleđivanja i zaštite zrakoplova [14] [15] [17] [30].

Kad su na zračnoj luci prisutni određeni vremenski uvjeti, poput kiše ili visoke vlažnosti zraka, moguće je izvesti i posebnu provjeru krila dodirom ruke. Ova provjera se izvodi kod zrakoplova koji imaju spremnike goriva smještene u krilima zato što tijekom prihvata i otpreme zrakoplova velika količina hladnog goriva u spremnicima snižava temperaturu površine krila. To može uzrokovati pojavu prozirnog leda na krilima koji se formira na gornjaci i donjaci krila. S obzirom na to da je prozirni led vrlo teško uočiti, pogotovo pri slabom osvjetljenju i kad su krila zrakoplova mokra, potrebno je pažljivo izvesti provjeru krila neposredno prije polijetanja i osigurati da su površine krila čiste. Letačka posada mora biti obaviještena ako se proveo postupak uklanjanja prozirnog leda [14] [17].



## 5. STAJANKA ZA ODLEĐIVANJE I ZAŠTITU OD ZALEĐIVANJA

Na zračnim lukama gdje su prisutni takvi meteorološki uvjeti koji pogoduju zaleđivanju zrakoplova i gdje je promet relativno intenzivan nalazit će se stajanka za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja. Ova stajanka predstavlja površinu koja se sastoji od unutarnje površine za parkiranje zrakoplova i provođenje postupka odleđivanja/zaštite te vanjske površine za kretanje dvaju ili više vozila s opremom za odleđivanje/zaštitu od zaleđivanja (slika 5.1.). Poslije procesa prihvata i otpreme, pilot mora odvesti kontaminirani zrakoplov do stajanke za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja radi tretiranja njegovih površina prije polijetanja. Na mnogim zračnim lukama stajanka za odleđivanje/zaštitu se nalazi daleko od putničkog terminala i stajanke za prihvata i otpremu zrakoplova dok manje zračne luke nemaju stajanku za odleđivanje/zaštitu pa se postupak odleđivanja/zaštite od zaleđivanja odvija na stajanci za prihvata i otpremu zrakoplova [31] [32].



Slika 5.1. Stajanka za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja [33]

Kod procesa odleđivanja i zaštite zrakoplova upotrebljavaju se velike količine tekućina i zato se na stajanci za odleđivanje i zaštitu nalaze specijalni odvodi za otjecanje tih tekućina s tla kako bi se spriječilo zagađenje okoliša. Ti odvodi su spojeni s podzemnim spremnicima u kojima se skupljaju iskorištene tekućine, a one se zatim ispituju i recikliraju za daljnju upotrebu za druga tržišta [34].

Za svaku zračnu luku bitno je odrediti lokaciju, ukupan broj i veličinu stajanke za odleđivanje/zaštitu prema broju operacija zrakoplova, tipovima zrakoplova na zračnoj luci, meteorološkim uvjetima koji prevladavaju na zračnoj luci, dostupnosti zemljišta i fizičkom rasporedu zračne strane zračne luke [35].

Pri određivanju lokacije stajanke za odleđivanje/zaštitu treba se uzeti u obzir potrebno vrijeme za taksiranje zrakoplova od stajanke za odleđivanje/zaštitu do uzletno-sletne staze. Lokacija stajanke za odleđivanje/zaštitu ne utječe na vrijeme zadržavanja tekućine, ali ako dođe do zastoja u zračnom prometu, vrijeme taksiranja zrakoplova se može produljiti i tako može isteći vrijeme zadržavanja tekućine prije polijetanja zrakoplova. Stoga se preporuča da lokacija stajanke za odleđivanje/zaštitu bude u blizini uzletno-sletne staze kako bi se reduciralo vrijeme taksiranja zrakoplova na kojem je proveden postupak odleđivanja/zaštite zrakoplova protiv zaleđivanja. Zračne luke mogu imati jednu stajanku za odleđivanje i zaštitu zrakoplova ili više njih, a koje se mogu nalaziti blizu terminala i stajanke za prihvat i otpremu, duž voznih staza prema uzletno-sletnoj stazi i blizu uzletno-sletne staze pa tada postoji mogućnost odabira lokacije na kojoj će se vršiti proces odleđivanja i zaštite. Ako je prekoračeno vrijeme zadržavanja tekućine prije polijetanja tada se ponovo treba izvesti odleđivanje/zaštita zrakoplova, po mogućnosti na stajanci za odleđivanje/zaštitu odmah uz uzletno-sletnu stazu. Ukoliko ova stajanka u određenom trenutku nije slobodna za korištenje ili zračna luka nema stajanku za odleđivanje/zaštitu na toj lokaciji, zrakoplov se mora vratiti na drugu udaljeniju lokaciju kako bi se ponovo provelo odleđivanje i zaštita zrakoplova što može znatno odgoditi vrijeme polijetanja. Jednako važna karakteristika stajanke za odleđivanje/zaštitu je njena veličina. Stajanka za odleđivanje/zaštitu treba biti dovoljno velika da se na njoj može tretirati najveći zrakoplov koji dolazi u zračnu luku na prihvat i otpremu. Također, stajanka za odleđivanje/zaštitu može imati više pozicija za parkiranje kako bi se istovremeno mogao vršiti proces odleđivanja i zaštite više zrakoplova da ne bi došlo do kašnjenja letova [14] [35].

Stajanka za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja ima višestruke prednosti, od kojih je najbitnija ta što proces odleđivanja i zaštite ne uzrokuje usporenje procesa prihvata i otpreme zrakoplova i samim time ne zadržava promet. Sljedeće prednosti ove stajanke su što ima specijalne odvođe zbog kojih tekućine ne otječu u odvođe za oborinske vode i što vozila za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja na njoj imaju dodatnog prostora za kretanje budući da tamo nema opreme za prihvat i otpremu zrakoplova. Također, njome se otklanja prisustvo vrlo skliskih tekućina za odleđivanje na stajanci za prihvat i otpremu pa time ne postoji više opasnost za zemaljsko osoblje koje obavlja prihvat i otpremu zrakoplova [32].

## 6. ALTERNATIVNE TEHNOLOGIJE U PROCESU ODLEĐIVANJA/ZAŠTITE ZRAKOPLOVA PROTIV ZALEĐIVANJA

Alternativna tehnologija u procesu odleđivanja/zaštite zrakoplova se uglavnom odnosi na odleđivanje infracrvenim grijanjem. Svaka zračna luka može imati drugačije propisane metode odleđivanja/zaštite pa stoga pod alternativne metode mogu pripadati odleđivanje stlačenim zrakom pomiješanim s tekućinom za odleđivanje, odleđivanje/zaštita tekućinama bez glikola i drugo. Također, moraju se uzeti u obzir određena ograničenja proizvođača zrakoplova za korištenje nekih alternativnih metoda prije njihove uporabe [17].

Infracrveno grijanje odnosno infracrveno zračenje podrazumijeva prijenos infracrvene energije pomoću elektromagnetskih valova. Infracrvena energija ne zagrijava okolni zrak već ciljane površine zrakoplova, a može se proizvesti na više načina. Ujedno, ne djeluje štetno na ljude i životinje, ne prodire kroz površine zrakoplova te nezamjetno utječe na temperaturu kabine [30] [35].

Postoje tri infracrvena sustava za odleđivanje i rad tih sustava ne stvara opasnost za:

- zrakoplov
- zemaljsko osoblje
- članove posade
- putnike
- teret (osjetljive materijale, biljke, životinje i drugo)
- objekte na zračnoj luci (infracrvena energija ne utječe na navigacijska sredstva, antene, komunikacijske objekte, zgrade i drugo) [30].

Najpoznatiji infracrveni sustav za odleđivanje je otvoreni, prohodni infracrveni hangar u kojem se izvodi odleđivanje zrakoplova infracrvenim zrakama. Na stropu hangara su ugrađeni infracrveni generatori, napunjeni prirodnim plinom, koji proizvode infracrvenu energiju (slika 6.1.). Ovim sustavom upravlja operater putem računala iz kontrolne prostorije smještene unutar infracrvenog hangara. Za svaki pojedinačni proces odleđivanja, operater na računalu izabire potrebnu razinu infracrvene energije i vrijeme trajanja odleđivanja prema određenom tipu zrakoplova i prema određenoj vrsti i debljini kontaminanta. Ovaj sustav se koristi za odleđivanje zrakoplova različitih veličina jer postoje hangari manjih dimenzija samo za male zrakoplove generalne avijacije i većih dimenzija za obradu velikih putničkih i teretnih zrakoplova. Infracrvena energija ne dopire do zaleđenih donjih površina zrakoplova i podvozja pa je zato potrebno zagrijavati pod hangara 30 minuta. Nakon toga započinje proces odleđivanja i zrakoplov dolazi u hangar na obradu netom prije polijetanja. Ovim načinom se otapaju smrznuti kontaminanti sa svih površina zrakoplova. Izrazito je bitno zagrijati pod hangara i u slučaju kada su donje površine zrakoplova čiste kako se ne bi zaledile prilikom odleđivanja zbog otopljenih kontaminanata koji otječu s gornjih površina zrakoplova. Neki dijelovi zrakoplova koje nisu zahvatile infracrvene zrake moraju se dodatno odlediti s tekućinom za odleđivanje [30] [35].

Stoga, odleđivanje infracrvenim grijanjem ne zamjenjuje u potpunosti upotrebu tekućine za odleđivanje nego znatno smanjuje potrebnu količinu tekućina za odleđivanje za otprilike 90 %. Ovaj infracrveni sustav je manje učinkovit kad je zrakoplov prekriven snijegom jer kristalići pahulje ne apsorbiraju već raspršuju i reflektiraju infracrvene zrake pa je stoga potrebno ukloniti suhi i lagani snijeg stlačenim zrakom ili drugom metodom prije odleđivanja infracrvenim grijanjem. Nakon procesa odleđivanja u infracrvenom hangaru obavezno se treba izvršiti provjera svih površina kamerama za otkrivanje leda. Letačka posada mora osigurati da površine zrakoplova budu posve čiste i odlučiti je li potrebna tekućina za zaštitu. Sustav ne pruža zaštitu površina od zaleđivanja, prema tome, kada su na zračnoj luci prisutni uvjeti zaleđivanja na zagrijane površine zrakoplova mora se nanijeti tekućina za zaštitu kako bi zrakoplov bio zaštićen tijekom vožnje po voznoj stazi i tijekom polijetanja. Infracrveni hangar ima visoke početne troškove u usporedbi s drugim metodama odleđivanja dok su operativni troškovi odleđivanja u infracrvenom hangaru znatno niži od troškova odleđivanja tekućinama. Pristojba odleđivanja je uvijek fiksna jer se izračunava prema rasponu krila i duljini trupa zrakoplova dok kod odleđivanja tekućinama pristojba može varirati ovisno o utrošenoj količini tekućine. Glavni nedostaci su pronalaženje prostora za izgradnju hangara i ograničeni kapacitet za obradu zrakoplova koji može uzrokovati zastoj u prometu te stoga ovaj sustav može biti nepraktičan na velikim zračnim lukama s intenzivnim prometom [25] [30] [35].



Slika 6.1. Infracrveni hangar [20]

Uz infracrveni hangar postoji još jedan plinski sustav koji koristi infracrveno zračenje za odleđivanje mraza, leda i snijega s površina zrakoplova. Ovaj infracrveni sustav je mobilan jer je postavljen na vozilu, a sastoji se od infracrvenih odašiljača koji se pokreću na prirodni plin (slika 6.2.). Ovi odašiljači su postavljeni na pomičnom nosaču koji se može podesiti na određenu visinu iznad zrakoplovnih površina. Cijelim sustavom se upravlja putem računala. Ujedno, pored infracrvenih odašiljača se nalaze senzori kojima se nadzire temperatura površina zrakoplova kako ne bi došlo do pregrijavanja odnosno do oštećenja površina. Uz navedeno, na vozilima se još nalazi sustav za prskanje tekućina za zaštitu. U procesu odleđivanja može se koristiti jedno ili dva vozila što ovisi o veličini zrakoplova koji se treba tretirati, a prema proizvođaču sustava proces odleđivanja traje od šest do deset minuta. Tijekom procesa, infracrvene zrake otapaju snijeg i led te pritom zagrijavaju površine zrakoplova čime se pruža kratkotrajna zaštita od ponovnog zaleđivanja površina. Prednosti mobilnog infracrvenog sustava su niži troškovi za proces odleđivanja od troškova odleđivanja tekućinama te smanjena upotreba glikola odnosno tekućine za odleđivanje. Nedostatak ovog sustava može biti otežan manevar vozila na stajanci za prihvat i otpremu zbog velikih infracrvenih panela što može dovesti do sudara između vozila i parkiranog zrakoplova [35].



Slika 6.2. Mobilni infracrveni sustav [25]

Infracrveni sustav za odleđivanje, drugačiji od prethodnih, je infracrveni laserski sustav. Ovaj sustav koristi infracrvenu lasersku zraku za učinkovito otapanje leda s površina zrakoplova. Laseri od ugljikovog dioksida, postavljeni na vozilima ili teleskopskim stupovima, proizvode laserske zrake koje se zatim zrcalima usmjeravaju prema površinama zrakoplova (slika 6.3.). Zrcalima se upravlja računalom s kojim se ujedno prati lasersko poravnanje i temperatura površina zrakoplova. Da bi operater lakše i sigurnije izvršio odleđivanje zrakoplova, laserskoj zraci je dodana crvena svjetlost kako bi operater mogao promatrati njenu poziciju na površinama [35]. Laserska zraka ne prodire kroz površine niti prozore zrakoplova, a s obzirom na to da je zraka vidljiva, njome se može precizno upravljati i time se sprječava pregrijavanje površina. Laseri na teleskopskim stupovima mogu se postaviti uz prag uzletno-sletne staze kako bi održavali površine zrakoplova čistima sve do polijetanja pa se njihovom upotrebom može izostaviti primjena tekućina [36].



Slika 6.3. Infracrveni laserski sustav [36]

Sljedeća alternativna metoda odleđivanja/zaštite zrakoplova može biti odleđivanje/zaštita proizvodima manje štetnima za okolinu, to jest tekućinama bez glikola ukoliko su dostupne na tržištu. Tekućine bez glikola su biorazgradljive, manje toksične od postojećih tekućina na osnovi glikola i sadržavaju inhibitore korozije kako ne bi došlo do oštećenja površina zrakoplova. Zamjenske tekućine trebaju jednako učinkovito odlediti i zaštititi površine zrakoplova kao i tekućine napravljene od glikola [35].

Ponekad se naslage snijega i leda na zrakoplovima parkiranim na stajanci otapaju sunčevom svjetlošću. Iako se ovom metodom odleđivanja smanjuje potrebna količina tekućine za odleđivanje, ona se jedino može primijeniti za generalnu avijaciju i vojne letove [35].

## 7. ZAKLJUČAK

Posljedice zaleđivanja zrakoplova tijekom leta se očituju kroz smanjeni uzgon, povećani otpor, smanjeni potisak i povećanu težinu zrakoplova. Postoje različite vrste leda, prozirni, neprozirni i mješoviti, koji nastaje na vanjskim površinama zrakoplova što se odnosi na strukturno zaleđivanje te u sustavu motora kad se radi o indukcijskom zaleđivanju. Formiranjem leda u sustavu motora ili otapanjem leda dolazi do vibriranja odnosno nepravilnog rada motora što naposljetku dovodi do prestanka rada samog motora. Zaleđivanjem upravljačkih površina zrakoplov gubi upravljivost po vertikalnoj, horizontalnoj ili uzdužnoj osi te dolazi do smanjenja performansi ili potpunog gubitka kontrole nad zrakoplovom. Led na anteni uzrokuje izobličenje radio signala, a ako se ona ošteti ili slomi dolazi do uništenja komunikacijskog ili navigacijskog sustava. U slučaju zaleđivanja pitotove cijevi i statičkog otvora, instrumenti poput brzinomjera, visinomjera i variometra očitavaju netočne podatke dok se zaleđivanjem različitih senzora pilotu prikazuju krive informacije vezane uz slom uzgona, potisak motora i vanjsku temperaturu zraka.

Tekućine za odleđivanje zrakoplova uspješno uklanjaju sve padaline s površina zrakoplova dok tekućine za zaštitu snižavaju točku smrzavanja padalina i tako štite površine od ponovnog zaleđivanja. Tekućine za odleđivanje i zaštitu mogu biti tipa I, II, III i IV, a za odleđivanje zrakoplova se koristi još i zagrijana voda. Tekućine tipa I trebaju uvijek biti razrijeđene i zagrijane za proces odleđivanja i zaštite dok tekućine tipa II, III i IV mogu biti koncentrirane, ali i razrijeđene te uvijek zagrijane ako se izvodi odleđivanje zrakoplova. Sve tekućine su obojene samo radi lakšeg nanošenja na površine zrakoplova, a na zahtjev mogu ostati prozirne. Vremena zadržavanja tekućina za zaštitu se objavljuju u tablici ili dijagramu, a trajanje zaštite ovisi o vrsti padalina, tipu i koncentraciji tekućina. Djelovanje tekućina za zaštitu započinje od trenutka nanošenja tekućine, a završava kada se na površinama zrakoplova počnu gomilati ledene nakupine.

U uvjetima zaleđivanja na zrakoplovu se treba provesti odleđivanje i zaštita njegovih površina. Prije procesa odleđivanja/zaštite zrakoplova uvijek se izvodi provjera kontaminiranosti svih kritičnih površina nakon koje se izabire postupak uklanjanja padalina ručnom metodom ili se odmah započinje s procesom odleđivanja. U tom trenutku se ujedno odabire i sama metoda odleđivanja. Zrakoplov se uspješno odleđuje grijanim hangarom, vrućim zrakom i tekućinama za odleđivanje dok se zaštita postiže isključivo tekućinama za zaštitu od zaleđivanja. Odleđivanje i zaštita zrakoplova mogu se izvesti u jednom ili dva koraka. Postupak u jednom koraku obuhvaća istovremeno odvijanje obiju radnji primjenom tekućine istog tipa i koncentracije koja pritom stvara zaštitni sloj dok se postupkom u dva koraka odleđivanje i zaštita zrakoplova provode zasebno. Sve kritične površine moraju biti čiste prije polijetanja zrakoplova iako se odleđivanje izvodi za one površine na kojima se nalazi kontaminant, a usto se na nekim površinama treba provesti i zaštita. Na gornje površine trupa, krila i repa, zajedno s vertikalnim stabilizatorom, nanose se tekućine za odleđivanje i zaštitu, i to uvijek simetrično. Pritom se mora izbjegavati njihovo nanošenje na prozore zrakoplova, u pogonski sustav te u otvore mjernih instrumenata i senzora. Nakon odleđivanja i zaštite provodi se provjera svih tretiranih površina no uvijek krila, repa i trupa bez obzira je li na njima izvršen proces odleđivanja/zaštite. Također, mora se još provesti provjera prije polijetanja dok ponekad i posebna provjera krila.

Stajanku za odleđivanje i zaštitu zrakoplova od zaleđivanja imaju zračne luke, na kojima su prisutni uvjeti zaleđivanja i promet je relativno intenzivan, radi neometanog provođenja procesa odleđivanja i zaštite te pravilnog uklanjanja tekućina koje se koriste pri samom procesu. Stajanka može biti smještena blizu terminala, duž voznih staza i blizu uzletno-sletne staze, a preporuka je da se nalazi upravo blizu uzletno-sletne staze radi kraćeg taksiranja zrakoplova. Važna karakteristika ove stajanke je da proces odleđivanja i zaštite ne usporava proces prihvata i otpreme, za razliku otprije kada su se procesi odvijali zajedno na stajanci za prihvata i otpremu zrakoplova.

Alternativni način odleđivanja/zaštite zrakoplova je odleđivanje infracrvenom energijom. Postoje tri infracrvena sustava, od kojih infracrveni hangar i mobilni sustav rade na prirodni plin dok laserski sustav pokreću laseri od ugljikovog dioksida. Infracrvenim sustavima se smanjuje upotreba tekućina za odleđivanje no pri uvjetima zaleđivanja trebaju se još upotrijebiti i tekućine za zaštitu. Preostale alternativne metode su odleđivanje/zaštita zrakoplova tekućinama bez glikola i sunčevom svjetlošću.



## LITERATURA

- [1] Bračić M, Pavlin S. Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova, radni materijal. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2017.
- [2] Civil Aviation Authority of New Zealand. Aircraft Icing Handbook, Version 1, Wellington, 2000.
- [3] European General Aviation Safety Team. In Flight Icing, Safety Promotion Leaflet, Köln, 2015.
- [4] Enginsoft. Preuzeto sa: <http://www.enginsoft.it/applications/aerospace/ice.html> [Pristupljeno: svibanj 2018.]
- [5] Federal Aviation Administration. Pilot Guide: Flight in Icing Conditions, Advisory Circular No. 91-74B, Washington DC, 2015.
- [6] Properly Pilot. Preuzeto sa: <https://www.properlypilot.com/icing/> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [7] National Weather Service. Preuzeto sa: [https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU\\_Training\\_Page/icing\\_stuff/icing/icing.htm](https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/icing_stuff/icing/icing.htm) [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [8] AOPA. Preuzeto sa: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2018/february/pilot/pe-wx-flying-the-frozen-zone> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [9] Fly Synergy. Preuzeto sa: <http://www.flysynergy.com/flight-safety/carbice/> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [10] NASA. Preuzeto sa: <https://www.nasa.gov/specials/NACA/> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [11] Aero-Sense. Preuzeto sa: [http://www.aero-sense.com/fuel-anti-icing-additive-ice-5.html#.XQATy75S\\_ct](http://www.aero-sense.com/fuel-anti-icing-additive-ice-5.html#.XQATy75S_ct) [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [12] Aircraft Owners and Pilots Association. Aircraft Icing, Safety Advisor, Frederick, 2008.
- [13] Boldmethod. Preuzeto sa: <http://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/what-happens-when-your-pitot-tube-ices-over-airspeed-indicator/> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [14] International Civil Aviation Organization. Manual of Aircraft Ground De-icing/Anti-icing Operations, Doc 9640-AN/940, Second Edition, Montreal, 2000.
- [15] Association of European Airlines. Recommendations for De-icing/Anti-icing Aeroplanes on the Ground, 30th Edition, Bruxelles, 2015.
- [16] Boeing. Preuzeto sa: [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2010\\_q4/2/](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2010_q4/2/) [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [17] Federal Aviation Administration. Standardized International Aircraft Ground Deice Program, Washington DC, 2010.
- [18] Transport Canada. Preuzeto sa: <https://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/publications/tp14052-chapter8-312.htm> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [19] Federal Aviation Administration. FAA Holdover Time Guidelines, Washington DC, 2019.
- [20] NASA. Preuzeto sa: [https://aircrafticing.grc.nasa.gov/2\\_4\\_3\\_1.html](https://aircrafticing.grc.nasa.gov/2_4_3_1.html) [Pristupljeno: lipanj 2020.]

- [21] Aircraft covers China. Preuzeto sa: [http://www.aircraftcoverschina.com/products\\_info/Cockpit-Nose-Cover-De-Havilland-Dash-8-shown-349924.html](http://www.aircraftcoverschina.com/products_info/Cockpit-Nose-Cover-De-Havilland-Dash-8-shown-349924.html) [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [22] Deicing Innovations. Preuzeto sa: <http://training.deicinginnovations.com/?p=1857> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [23] Green Sustainable Airports. Sustainable Airport Solutions, Winter Management Toolkit, Assen, 2013.
- [24] Ac-u-kwik Alert. Preuzeto sa: <http://www.acukwikalert.com/on-the-radar/2010/1/15/heritage-aviation-at-kbtv-introduces-24-hour-service-and-goe.html> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [25] Federal Aviation Administration. Survey of Nonglycol and Reduced Glycol Aircraft Deicing Methods, DOT/FAA/AR-99/18, Washington DC, 1999.
- [26] Deicing Innovations. Preuzeto sa: <http://training.deicinginnovations.com/?p=651> [Pristupljeno: lipanj 2019.]
- [27] Transport Canada. Preuzeto sa: <http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/publications/tp10643-chapter5-two-5295.htm> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [28] Transport Canada. Preuzeto sa: <http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/publications/tp10643-chapter3-dryout-5554.htm> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [29] Skybrary. Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Engine\\_Core\\_and\\_Fan\\_De/Anti-icing](https://www.skybrary.aero/index.php/Engine_Core_and_Fan_De/Anti-icing) [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [30] Federal Aviation Administration. Ground Deicing Using Infrared Energy, Advisory Circular No. 120-89, Washington DC, 2005.
- [31] Pavlin S. Aerodromi I. Zagreb: Fakultet Prometnih Znanosti; 2006.
- [32] Thompson, P. How And Why We 'De-Ice' Aircraft Before Takeoff, 17.11.2014. Preuzeto sa: <https://jalopnik.com/how-and-why-we-de-ice-aircraft-before-takeoff-1657914108> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [33] Wikipedia. Preuzeto sa: <https://en.wikipedia.org/wiki/De-icing> [Pristupljeno: srpanj 2019.]
- [34] Toronto Pearson. Preuzeto sa: <https://www.torontopearson.com/en/whats-happening/stories/plane-deicing> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [35] Environmental Protection Agency. Airport Deicing Operations (Revised), Preliminary Data Summary, Washington DC, 2000.
- [36] SunLase. Preuzeto sa: <http://sunlase.com/> [Pristupljeno: lipanj 2020.]

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Prikaz utjecaja kontaminanta na let zrakoplova [4] .....	2
Slika 2.2. Prozirni led na aeroprofilu [5] .....	3
Slika 2.3. Prozirni led na krilu zrakoplova [6].....	4
Slika 2.4. Neprozirni led na nosu zrakoplova [7] .....	4
Slika 2.5. Neprozirni led na aeroprofilu [5].....	5
Slika 2.6. Mješoviti led na aeroprofilu [5].....	5
Slika 2.7. Mješoviti led [8].....	5
Slika 2.8. Zaleđivanje rasplinjača [9] .....	6
Slika 2.9. Zaleđivanje motora [10] .....	7
Slika 2.10. a) Sile zrakoplova u ravnoteži, b) Posljedica leda na horizontalnom stabilizatoru [12].....	9
Slika 2.11. a) Zaleđena pitotova cijev, b) Zaleđeni ulazni otvor i nezaleđeni odvodni otvor pitotove cijevi [13].....	10
Slika 3.1. Prikaz tekućina tipa I, II, III i IV [16].....	13
Slika 4.1. Pokrivač za nos zrakoplova i prozore pilotske kabine [20].....	19
Slika 4.2. Uklanjanje kontaminanta pomoću metle [19] .....	20
Slika 4.3. Uklanjanje kontaminanta pomoću užeta [21] .....	21
Slika 4.4. Uklanjanje kontaminanta stlačenim zrakom [23] .....	21
Slika 4.5. Odleđivanje zrakoplova u grijanom hangaru [19] .....	22
Slika 4.6. Odleđivanje vrućim zrakom [25].....	22
Slika 5.1. Stajanka za odleđivanje i zaštitu od zaleđivanja [32] .....	28
Slika 6.1. Infracrveni hangar [19].....	31
Slika 6.2. Mobilni infracrveni sustav [24] .....	32
Slika 6.3. Infracrveni laserski sustav [35].....	33

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Originalna tablica vremena zadržavanja tekućine tipa IV (KILFROST ABC-S PLUS) .....	16
Tablica 2. Generička tablica vremena zadržavanja tekućine tipa IV u različitim vremenskim uvjetima .....	17
Tablica 3. Generička tablica vremena zadržavanja tekućina tipa I, II, III, IV u uvjetima aktivnog mraza .....	17