

# Provjera točnosti tlakomjernih instrumenata zrakoplova Zlin 242L

---

**Beljan, Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:119:725006>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTE PROMETNIH ZNANOSTI**

Ante Beljan

**PROVJERA TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA ZRAKOPLOVA ZLIN**  
**242L**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2021.**

**SVEUŠILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovni instrumenti**

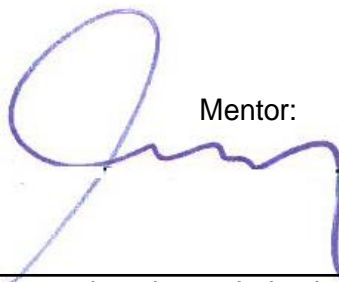
**ZAVRŠNI ZADATAK br. 6286**

Pristupnik: **Ante Beljan (0135256652)**  
Studij: Aeronautika  
Smjer: Pilot  
Usmjerenje: Vojni pilot

Zadatak: **Provjera točnosti tlakomjernih instrumenata zrakoplova Zlin 242L**

Opis zadatka:

Objasniti važnost i primjenu instrumenata u zrakoplovu. Analizirati dijelove i princip rada zrakoplovnih tlakomjernih instrumenata. Izvršiti provjeru točnosti tlakomjernih instrumenata zrakoplova Zlin 242L. Analizirati i grafički prikazati rezultate provjere.

  
Mentor:  

---

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:  

---

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTE PROMETNIH ZNANOSTI

**PROVJERA TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA  
ZRAKOPLOVA ZLIN 242L**

**ACCURACY CHECK OF PRESSURE INSTRUMENTS OF THE  
AIRCRAFT ZLIN 242L**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Student: Ante Beljan

JMBAG: 0135256652

Zagreb, kolovoz 2021.

## **SAŽETAK**

Svrha ispitivanja točnosti tlakomjernih instrumenata je provjera funkcionalnosti instrumenata te njihovih eventualnih odstupanja. U ovom završnom radu analizirani su zrakoplovni tlakomjerni instrumenti. U suradnji sa Zrakoplovno-tehničkom bojnom provedeno je ispitivanje točnosti brzinomjera, visinomjera i variometra na zrakoplovu Zlin 242L registarske oznake 401, koji je u uporabi u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu. Analiza rezultata provjere točnosti pokazala je da su pogreške instrumenata unutar dozvoljenih granica te da je zrakoplov, obzirom na taj kriterij i dalje operativan.

Ključne riječi: Zlin 242L, provjera točnosti, tlakomjerni instrumenti, visinomjer, brzinomjer, variometar

## **SUMMARY**

The purpose of testing the accuracy of pressure gauges is to check the functionality of the instruments and their possible deviations. In this final paper, aircraft pressure gauges are analyzed. In cooperation with the Aeronautical Technical Battalion, the accuracy of air speed indicator, altimeter and vertical speed indicator was tested, and an analysis of the accuracy check results was made. The accuracy check was performed on a Zlin 242L aircraft with registration number 401, which is in use in the Croatian Air Force. The results of the accuracy check showed that the errors of the instruments were within the permitted limits and that the aircraft was still operational, given this criterion.

Keywords: Zlin 242L, accuracy check, pressure gauges, pressure altimeter, air speed indicator, vertical speed indicator

# SADRŽAJ

1 UVOD .....	1
2 NAMJENA I PERFORMANSE ZRAKOPLOVA ZLIN 242L .....	2
3 SMJEŠTAJ, NAMJENA I PRINCIP RADA TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA .....	4
3.1 Visinomjer .....	5
3.2 Brzinomjer .....	8
3.3. Variometar .....	11
3.4 Prikaznik tlaka punjenja .....	12
4 POSTUPAK PROVJERE TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA U ZRAKOPLOVU ....	14
5 PROVJERA TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA U ZRAKOPLOVU ZLIN 242L ....	16
5.1 Princip rada uređaja za ispitivanje točnosti .....	17
5.2 Recertifikacija uređaja Barfield 1811 D.....	17
5.3 Provjera brtvljenja pitot-statičkog sustava .....	18
5.4 Provjera točnosti brzinomjera.....	19
5.5 Provjera točnosti visinomjera .....	21
5.6 Provjera točnosti variometra .....	24
5.7 Provjera točnosti prikaznika tlaka punjenja.....	24
6 ANALIZA REZULTATA.....	25
7 ZAKLJUČAK .....	29
LITERATURA .....	30
POPIS TABLICA.....	31
POPIS GRAFOVA.....	32
POPIS SLIKA .....	33
POPIS KRATICA .....	34
PRILOZI.....	35
Prilog 1. Lista provjere brzinomjera.....	35
Prilog 2. Lista provjere visinomjera .....	36
Prilog 3. Lista provjere variometra.....	37

# 1 UVOD

Zrakoplovni tlakomjerni instrumenti su instrumenti u kokpitu zrakoplova koji pilotu prikazuju informacije o brzini, visini i vertikalnoj brzini na način da mjere trenutne vrijednosti tlaka zraka kroz koji zrakoplov trenutno leti. Iako ovi instrumenti prvenstveno mjere tlak, njihova mjerenja se mogu povezati s nekom drugom veličinom potrebnom za let zrakoplova poput visine, brzine ili vertikalne komponente brzine.

Kako svi gore navedeni instrumenti rade na principu mjerenja promjene tlaka, bilo kakav nedostatak u sustavu može dovesti do greške instrumenata te narušiti sigurnost leta. Zbog toga su svi tlakomjerni instrumenti obvezni jednom godišnje proći provjeru točnosti. Cilj ovog završnog rada je opisati i prikazati kako se provjeravanje točnosti tlakomjernih instrumenata izvodi na zrakoplovu Zlin 242L u sastavu Hrvatskog Ratnog Zrakoplovstva. Rad je podijeljen u 7 cjelina.

U drugom poglavlju dani su osnovni podatci o zrakoplovu Zlin 242L.

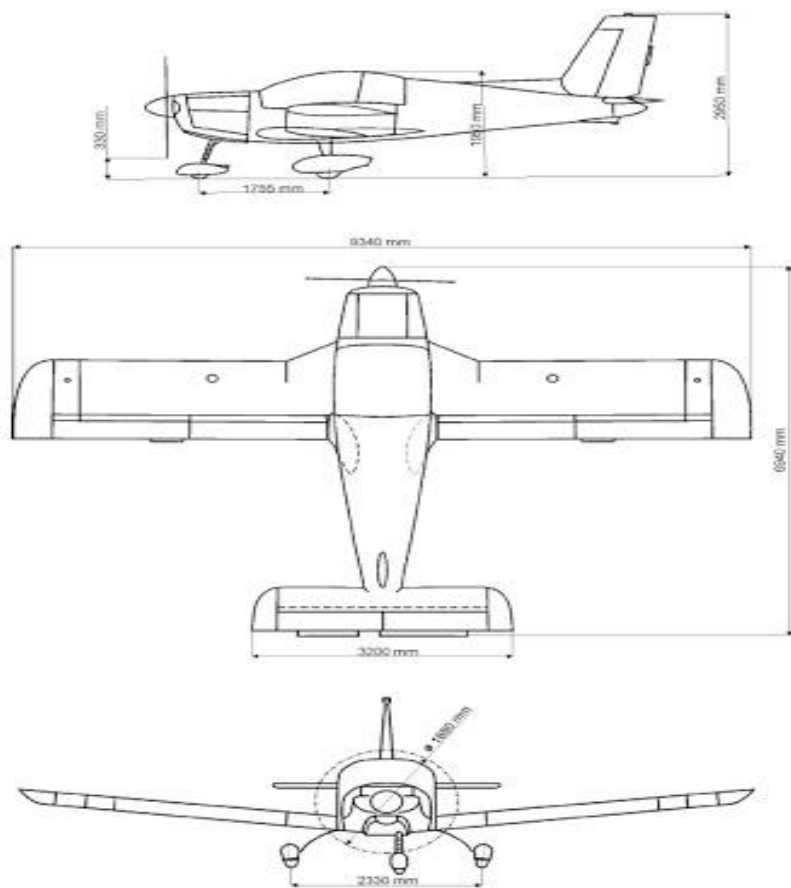
U trećem poglavlju su analizirani instrumenti koji se koriste na zrakoplovu Zlin 242L te je u kratkim crtama objašnjen njihov princip rada..

U četvrtoj cjelini je prikazan način na koji se vrši provjera točnosti svakog od tlakomjernih instrumenata, dok je u petom poglavlju objašnjen način provjere točnosti na zrakoplovu Zlin 242L koja se obavlja na drugom stupnju održavanja u vojarni Pukovnik Mirko Vukušić.

U šestoj cjelini su prikazani i analizirani rezultati praktičnog dijela rada, odnosno provjere točnosti te je dan zaključak.

## 2 NAMJENA I PERFORMANSE ZRAKOPLOVA ZLIN 242L

Zlin 242L je zrakoplov češkog proizvođača Zlin Aircraft a.s. Zlin Aircraft je kompanija sa dugom tradicijom proizvodnje školskih, sportskih, poljoprivrednih i akrobatskih aviona. Tvrтка je osnovana 1934. godine kao Zlinska letecka společnost, odnosno Zlinska zrakoplovna tvrtka te su od 1934. godine kada su započeli sa proizvodnjom jedrilica pa do danas proizveli više od 5600 zrakoplova u 73 različita modela, među kojima su i 4 prototipa helikoptera. Prve veće uspjehe tvrtka je ostvarila nakon drugog svjetskog rata razvojem akrobatskih aviona oznake Zlin 26 i njegovih varijacija Z - 326 i Z - 426. Tijekom 70-ih godina tvrtka je za potrebe Čehoslovačkog ratnog zrakoplovstva razvila novi avion Zlin 42, iz čijeg su daljnjeg razvoja uslijedili Zlin 142 i na kraju Zlin 242L te njegova najnovija izvedba Zlin 242L Guru. Ortogonalna projekcija zrakoplova sa pripadajućim mjerama je prikazana na Slici 1.



Slika 1. Ortogonalna projekcija zrakoplova Zlin 242L [8]



Zrakoplov Zlin 242 L je u proizvodnji od 1992. godine te je do danas proizvedeno 125 zrakoplova ovoga tipa. Avion je dizajniran za osnovnu i naprednu obuku civilnih i vojnih pilota, za letenje noću i u instrumentalnim uvjetima te za vuču jedrilica i reklama. Sjedišta su postavljena u konfiguraciji „side-by-side“, kako bi instruktor imao bolji uvid u učenikovo mentalno i fizičko stanje tijekom njegovih prvih letova. Također takva konfiguracija sjedala omogućuje izvrsnu preglednost i učeniku-letaču i instruktoru. Zrakoplov je jednomotorni, metalni niskokrilac polumonokokske konstrukcije sa neuvlačećim stajnim trapom tipa tricikl. Motor je od američkog proizvođača Textron Lycoming, tipa AEIO-360-A1B6, najveće snage 200 KS pri 2700 okr/min. Ovaj tip motora je opremljen sustavima podmazivanja i opskrbe gorivom koji zrakoplovu omogućuju ledni let u trajanju do 1 minute i izvođenje osnovnih i naprednih akrobacija. Elisa zrakoplova je trokraka elisa, promjenjivog koraka, proizvođača Hartzell, tipa HC-C3YR-4BF/FC 6890. Avion se koristi kroz tri kategorije, ovisno o zadaći te masi zrakoplova, normal - do 1090 kg poletne mase, utility - do 1020 kg i acrobatic - do 970 kg. U acrobatic kategoriji dozvoljena opterećenja su između -3.5 g (g – akceleracija Zemljine sile teže) i +6 g. Najveća brzina zrakoplova je 172 kts, krstareća brzina je 100 kts dok je brzina sloma uzgona 50 kts. Vrhunac leta za Zlin 242L iznosi 15750 ft za acrobatic kategoriju.[8]

### 3 SMJEŠTAJ, NAMJENA I PRINCIP RADA TLAKOMJERNIH INSTRUMENTATA

Ovisno o referentnoj vrijednosti u odnosu na koju se mjeri tlak, razlikuju se dvije vrijednosti tlaka. Prva je apsolutna vrijednost tlaka kojoj je referentna vrijednost vakuum te se takvi instrumenti nazivaju barometrima. Primjeri takvih instrumenata u zrakoplovstvu su visinomjer i manometar, dok tlak kojeg oni koriste se najčešće naziva statičkim. Druga vrijednost je relativna vrijednost tlaka koja ima dvije vrste mjerenja tlaka, mjerenje nadtlaka ili podtlaka, odnosno mjerenje razlike između dvaju tlakova. Ovakvi instrumenti se nazivaju manometrima te se u zrakoplovstvu mogu naći u raznim izvedbama brzinomjera i variometara.

Kako bi instrumenti izmjerili tlak, zrak se mora uzeti sa nekih pozicija zrakoplova i dovesti do instrumenata, za što služe statički otvori i pitot cijev. Pitotova cijev se nalazi ispod lijevog krila zrakoplova, dok se statički otvori nalaze iza kabine, sa obje strane trupa. Oba sustava, i pitot sustav i statički sustav, su izvedeni tako da su zaštićeni od zaleđivanja pomoću grijača, dok je pitot sustav opremljen i ocjedicima vlage, smještenim na donjem lijevom dijelu trupa zrakoplova i prikazanima na Slici 2.



*Slika 2. Ocjednici vlage pitot sustava*

Statički otvori služe za dobivanje statičkog tlaka, a izvedeni su tako da tlak dobiven iz njih zanemarivo ovisi o brzini zrakoplova, to jest njihovi otvori su postavljeni tako da zrak struji okomito na smjer osi otvora izvora. Ako otvor nije postavljen u potpunosti okomito to dovodi do minimalnih povećanja tlaka zbog djelovanja strujanja zraka. Većina zrakoplova koristi 2 statička

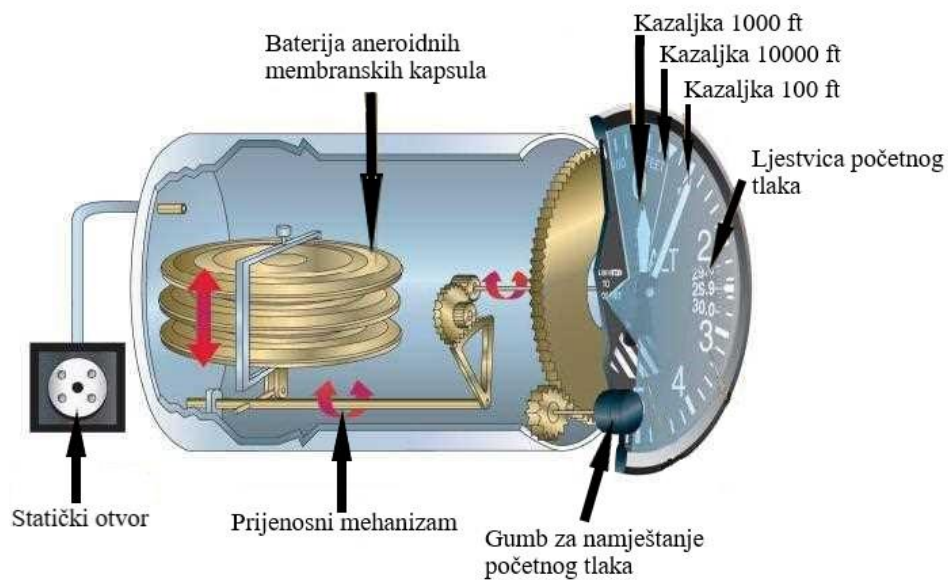
otvora. Razlozi za to su redundancija, a prvenstveno povećanje točnosti mjerenja, jer struja zraka nikada neće biti okomita na otvore pa sa ugradnjom dvaju otvora na suprotnim stranama zrakoplova i uzimanjem njihove srednje vrijednosti tlaka, točnost se značajno povećava. Statičkim tlakom se koriste visinomjer i variometar. Pitot cijev je cijev sa otvorom okrenutim u smjer leta, odnosno strujanja zraka te ona mjeri ukupni tlak zraka, tj. zbroj statičkog tlaka i dinamičkog tlaka zraka koji je nastao zbog brzine kojom se zrakoplov kreće kroz zrak.

### 3.1 Visinomjer

Kod mehaničkih visinomjera kakav je u uporabi na zrakoplovu Zlin 242L, statički zrak se kroz instalacije dovodi u kućište instrumenta, koje je hermetizirano da na njega ne bi utjecao tlak iz prostora u koji je smješten. Unutar kućišta se nalazi baterija aneroidnih membranskih kapsula, koje preko prijenosnog mehanizma pomiču kazaljke instrumenata

Visinomjer služi za mjerenje visine leta zrakoplova, koristeći promjenu tlaka zraka s promjenom visine. Visinomjer je instrument koji ne mjeri direktno visinu, već mjeri statički tlak okolnog zraka. Što je tlak zraka manji to je visina veća i obrnuto. Za visine do 11 kilometara uzima se da je pad tlaka linearan, 1 hPa za 8 metara, što omogućava instrumenti da jednostavno prikaže visinu, bez potrebe za složenim mehanizmima za kompenzaciju. Visina u zrakoplovstvu se najčešće mjeri u odnosu na srednju razinu mora (MSL– eng. mean sea level), odnosno tlak na srednjoj razini mora.

Za mjerenje visine na barometarskoj osnovi služi aneroid, koji je osnovni element visinomjera. Statički tlak dovodi sa davača statičkog tlaka kroz instalaciju statičkog tlaka u kućište instrumenta, koje je hermatizirano da na njega ne bi utjecao tlak iz prostora u koji je smješten instrument. Kao osjetilo apsolutnog tlaka koristi se baterija aneroidnih membranskih kapsula koje preko prijenosnog mehanizma pomiču kazaljke instrumenta. Na instrumentu se nalaze tri kazaljke, pomak manje kazaljke se množi sa 1000, a pomak veće kazaljke sa 100, dok se pomak duge, tanke kazaljke množi sa 10000. Ljestvica prikaznika je linearna i baždarena od 0 do 10. Na Slici 3 je prikazan pojednostavljeni shematski prikaz visinomjera, dok je na Slici 4 prikazan prikaznik visinomjera koji se nalazi u kabini zrakoplova Zlin 242L.



Slika 3. Prikaz dijelova barometarskog visinomjera [1]

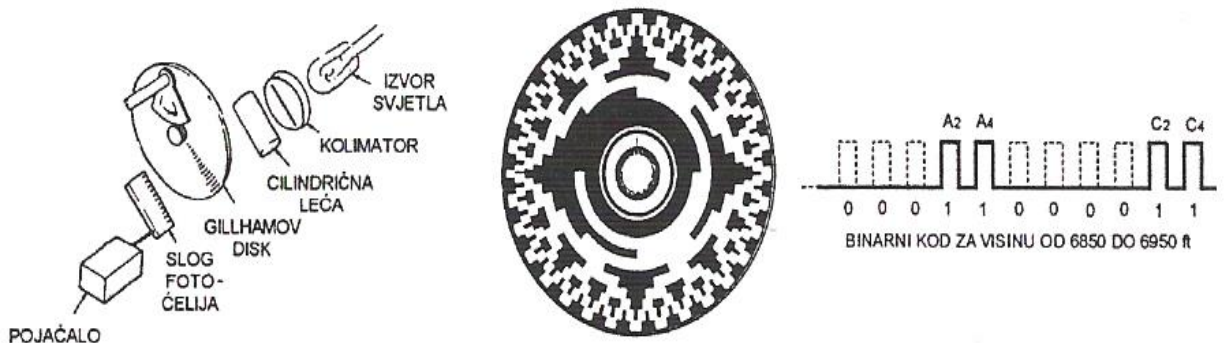


Slika 4. Kodirajući visinomjer iz zrakoplova Zlin 242L

Kod osjetljivih barometarskih visinomjera može se namještanje početna vrijednost barometarskog tlaka jer tlak na razini mora može varirati od standardnog atmosferskog tlaka (ISA – eng. International Standard Atmosphere) koji iznosi 1013 hPa pa do 950 hPa ili 1040 hPa što bi prema konstanti za promjenu tlaka zraka s visinom izazvalo odstupanje visinomjera do 300 m,

visinomjer mora imati mehanizam koji mu omogućava da namjesti referentni tlak zraka. Na prikazniku visine je prikazana ljestvica privremenog barometarskog tlaka koji se namješta pomoću dugmeta koji se nalazi u donjem lijevom kutu instrumenta. Jedna ljestvica je baždarena u milibarima (mb), a druga u inčima živinog stupca (in Hg).

U kodirajući je visinomjer (engl. Encoding Altimeter) ugrađena naprava za generiranje električnog signala s informacijom o visini koju pokazuje barometarski visinomjer. Ta vrsta osjetljivih barometarskih visinomjera omogućuje kontroli leta automatsko dobivanje podataka o visini leta preko transpondera. Podatak se dobiva svjetlosnim kodiranjem pomoću prozirnog Gilhamova diska koji unutar 360°, s korakom od 100 ft omogućuje kodiranje svih visina za koje je osjetljivi barometarski visinomjer predviđen. (Danas se umjesto klasičnog KOBV-a koristi sve više slijepi koder (Blind Encoder), koji je praktički KOBV bez prikazničkog dijela). Kodiranje je provedeno u skladu s ICAO aneksom 10 (Aeronautical Telecommunication), a glavni dijelovi kodera i tipični izgled kodiranih signala je prikazan na Slici 5. Na zrakoplovu Zlin 242L je ugrađen kodirajući osjetljivi barometarski visinomjer KEA 130



Slika 5. Prikaz načina rada kodirajućeg barometarskog visinomjera [1]

## 3.2 Brzinomjer

Zrakoplovni brzinomjer radi na principu mjerenja dinamičkog tlaka ( $p_d$ ), odnosno razlike ukupnog ( $p_u$ ) i statičkog tlaka ( $p_s$ ). Kako je dinamički tlak ovisan o brzini, a strujanja zraka pri manjim brzinama su nestlačiva, može se pretpostaviti da je dinamički tlak jednak:

$$p_d = p_u - p_s = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Iz čega slijedi da je brzina zrakoplova  $v$  pri manjim brzinama jednaka:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_u - p_s)}{\rho}},$$

Brzina koju zrakoplovni instrumenti mjere je brzina kojom se zrakoplov kreće u odnosu na okolnu masu zraka. Takva brzina zbog utjecaja vjetra može biti veća, jednaka ili manja od brzine koju zrakoplov ima u odnosu na neku referentnu točku koja je pozicionirana na tlu. Osim vjetra, zbog mijenjanja visine tokom leta, na brzinu još utječu promjena tlaka, gustoće i temperature zraka. Sukladno tomu u zrakoplovstvu razlikujemo nekoliko brzina koje instrumenti mogu prikazivati:

Indicirana ili prividna brzina (IAS – eng. Indicated Air Speed) je najjednostavnija brzina koju instrument može izmjeriti i ona je samo ispravljena za utjecaj mehaničkih pogrešaka instrumenta. Indicirana brzina se izračunava za brzine do oko 200 kn, odnosno do brzina do kojih se zrak promatra kao nestlačivi fluid. Za proračun indicirane brzine vrijedi formula izvedena iz bernulijeve jednačbe:

$$IAS = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_u - p_s)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}}$$

Kada se indicirana brzina kalibrira za utjecaj ugradnje izvora ukupnog i statičkog tlaka dobije se kalibrirana brzina (CAS – eng. Calibrated Air Speed) koja je od IAS-a umanjena za brzinu pogreške.

$$CAS = IAS - \Delta v_p$$

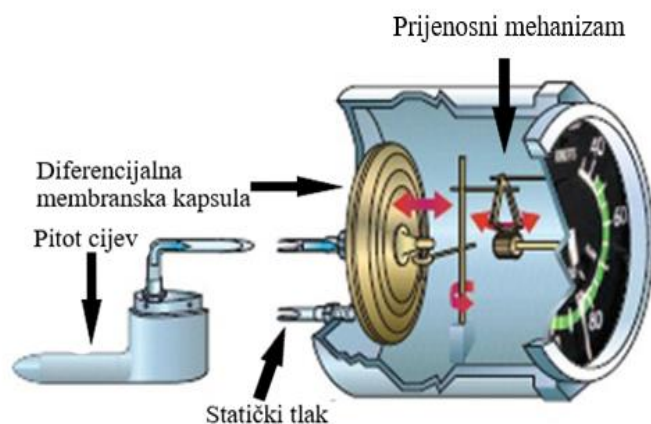
Ekvivalentna brzina (EAS – eng. Equivalent Air Speed) je kalibrirana brzina korigirana za utjecaj stlačivosti tlaka. Ova korekcija se koristi samo za brzine veće od 200 kt, odnosno za brzine na koje stlačivost zraka ima utjecaj, dok je za brzine ispod 200 kt stlačivost zanemariva.

Prava brzina (TAS – eng. True Air Speed) je ekvivalentna brzina ispravljena za utjecaj promjene gustoće i temperature zraka s visinom. Kako se gustoća zraka ne može izravno mjeriti, ona se određuje iz statičkog tlaka i temperature, pri čemu je  $\rho_h$  gustoća na visini,  $p_s$  statički tlak na visini i  $\vartheta_h$  temperatura zraka na visini i  $\rho_0$  gustoća zraka na razini mora.

$$\rho_h = \frac{p_s}{\vartheta_h}, \quad TAS = \frac{EAS}{\sqrt{\frac{\rho_h}{\rho_0}}}$$

Brzinomjeri koje koriste manji zrakoplovi koji ne lete na velikim brzinama i visinama, poput Zlina 242L su brzinomjeri za indiciranu brzinu. Kod jednostavnih brzinomjera, kakav je u uporabi na Zlinu 242L, ukupni tlak se dovodi u diferencijalnu membransku kapsulu, dok se u hermetizirano kućište instrumenta dovodi statički tlak. Razlika tlakova unutar kapsule i kućišta dovodi do širenja ili skupljanja kapsule, koje se preko prijenosnog mehanizma pretvara u kružni

pomak kazaljke. Na Sici 6 je prikazan jednostavni shematski prikaz IAS brzinomjera, dok je na Slici 7 prikazan izgled prikaznika indicirane brzine sa raznobojnim lukovima koji označavaju raspon brzina na kojima se smije letjeti uz određenu konfiguraciju zrakoplova. Instrument je baždaren u kts i km/h.



Slika 6. Prikaz presjeka brzinomjera za indiciranu brzinu [4]

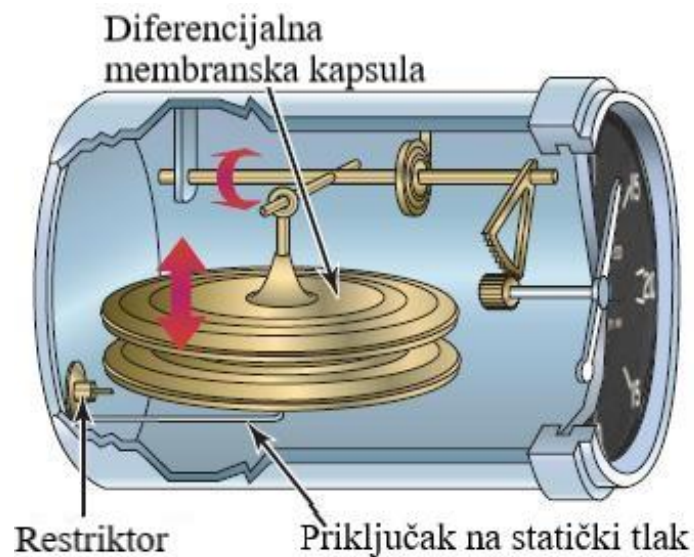


Slika 7. Brzinomjer iz zrakoplova Zlin 242L



### 3.3. Variometar

Variometar ili brzinomjer vertikalne komponente brzine je instrument koji mjeri promjenu visine u odnosu na okolni zrak, promjena je najčešće izražena u fpm ili m/s. Variometri rade na principu promjene statičkog tlaka s visinom. Diferencijalna membranska kapsula je direktno spojena sa statičkim otvorom te se tlak zraka u njoj mijenja trenutno, dok je kućište instrumenta koje okružuje membransku kapsulu na izvor statičkog tlaka spojeno preko restriktora, što dovodi do kašnjenja promjene tlaka. Kašnjenje promjene tlaka, odnosno razlika tlaka u membrani i tlaka unutar kućišta instrumenta dovodi da se membrana tijekom penjanja ili spuštanja skuplja, odnosno širi dovodeći pritom do pomaka kazaljke. Kao i ostali tlakomjerni instrumenti kućište variometra je hermetizirano tako da tlak zraka unutar kabine ne bi utjecao na mjerenja. Na slici 8 je prikazan shematski izgled variometra, dok Slika 9 prikazuje izgled prikaznika variometra koji se nalazi u kabini zrakoplova Zlin 242L.



Slika 8. Prikaz presjeka variometra [4]

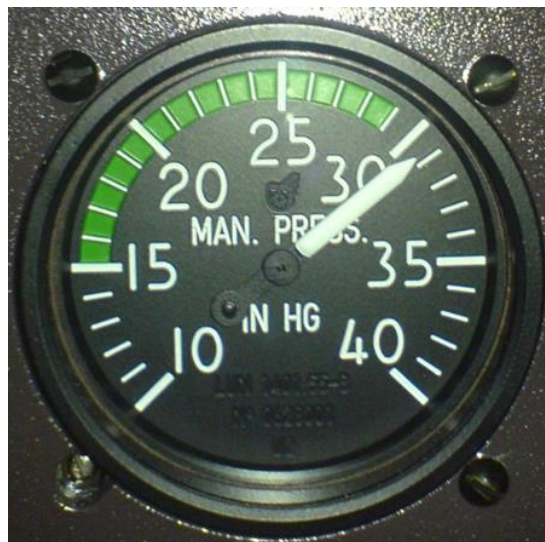


*Slika 9. Variometar iz zrakoplova Zlin 242L*

### **3.4 Prikaznik tlaka punjenja**

Prikaznik tlaka punjenja (MAP, eng. – Manifold Air Pressure), poznat i pod starijim nazivom manovakuumetar, tlakomjerni je instrument koji mjeri tlak gorive smjese na ulazu u cilindre i prijeko je potreban za namještanje i kontrolu snage kod zrakoplova koji koriste propeler s promjenjivim korakom. Pojavljuje se u dvije izvedbe, kao obični (jednostavni) i diferencijalni.

Jednostavni manovakuumetar sadrži aneroidno osjetilo koje barometarski mjeri tlak punjenja, a zove se MAP (Manifold Airpressure ili Manifold Absolute Pressure). Češći je kod usisnih motora kakav se nalazi na zrakoplovu Zlin 242L te je prikazan na Slici 10. Kako pogreška mjerenja tlaka raste s visinom, danas se sve rjeđe koristi. Osim toga, zbog ulaska mjenog medija u unutrašnjost instrumenta, gorivo iz smjese ispire ulje za podmazivanje iz ležajeva mehanizma i uzrokuje koroziju, što zahtijeva češće održavanje instrumenta i povećava mogućnost otkaza.



*Slika 10. Prikaznik tlaka punjenja na zrakoplovu Zlin 242L*

Radi održavanja postavljene snage motora i na većim visinama gdje je tlak zraka osjetno niži, suvremeni motori opremljeni su turbopunjačima (kompresorima), koji automatski nadoknađuju pad atmosferskog tlaka. Kontrola tlaka punjenja obavlja se diferencijalnim manovakuummetrom - MAN. MAN za mjerenje koristi otvoreni mijeh kao osjetilo tlaka, koji je kompenziran vakumiranim aneroidom s protuoprugom radi smanjenja utjecaja promjene atmosferskog tlaka s visinom. Na taj način indikacija je linearna bez obzira na promjenu visine.

## **4 POSTUPAK PROVJERE TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA U ZRAKOPLOVU**

U zrakoplovstvu, zbog strogih zahtjeva za točnošću instrumenata, provjera instrumenata mora se vršiti jednom godišnje. Kako je većina civilnih putničkih zrakoplova prešurizirana, a manji sportski i školski zrakoplovi su većinom neprešurizirani, to dovodi do dvije vrste mjerenja točnosti instrumenata, jer se kućišta instrumenata nalaze u različitim uvjetima. Instrumenti u prešuriziranim kabinama se nalaze u uvjetima vanjskog tlaka do određene visine, od kada su pod konstantnim tlakom, dok instrumenti u zrakoplovima sa neprešuriziranim kabinama se stalno nalaze u uvjetima vanjskog tlaka zraka.

Još jedna od poteškoća koja nastaje kod provjere točnosti tlakomjernih instrumenata je ta što svaki proizvođač zrakoplova koristi različite pitotove cijevi i različite statičke otvore za različite tipove zrakoplova. Kako su uređaji za provjeru točnosti dizajnirani za samo jednu vrstu pitot otvora ili statičkih otvora, potrebno je kupovati dodatne nastavke, to jest adaptere, kako bi jedan uređaj mogao funkcionirati na više tipova zrakoplova. Za manje tvrtke, kupovina više nastavaka može dovesti do neželjenih troškova pa takve manje kompanije često znaju koristiti jednu vrstu nastavaka za više zrakoplova, na način da koriste improvizirane adaptere, što može dovesti do netočnih mjerenja i do oštećenja čitavog pitot-statičkog sustava. Slika 11 prikazuje izgled pripadajućeg adaptera za pitot-prandtlovu cijev na komercijalnim zrakoplovima. [6]



*Slika 11. Adapter za pitot-prandtlovu cijev [7]*

Za oba tipa zrakoplova, prvo se pitot-statički otvori preko odgovarajućih adaptera spoje na uređaj za provjeru točnosti. Nakon toga, licencirano osoblje provjerava spojeve te započinje sa provjerom točnosti. Prvo se provjerava brtvljenje čitavog sustava, te je ta provjera ista za prešurizirane i za neprešurizirane zrakoplove. Nakon provjere brtvljenja sustava, odrađuju se provjere brzinomjera, visinomjera te variometra, a ako je motor klipni odrađuje se provjera MAP-a, dok se za mlazne motore odrađuje provjera EPR-a (engl. Engine Pressure Ratio).

## 5 PROVJERA TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENATA U ZRAKOPLOVU ZLIN 242L

U 93. krilu u hangaru Eskadrile aviona u Zemuniku provjera točnosti tlakomjernih instrumenata se vrši na instrumentima za mjerenje brzine, visine i vertikalne brzine. Sve provjere obavljaju za to licencirani zrakoplovni tehničari na uređaju Barfield 1811 D. Drugi stupanj održavanja zrakoplova lociran u 93. bazi Hrvatskog Ratnog Zrakoplovstva (HRZ) u Zemuniku je osposobljen za provjeravanje točnosti pitostatičkih instrumenata te je za to i opremljen uređajem za ispitivanje točnosti proizvođača Barfield, model 1811 D. Uređaj je dizajniran za testiranje zrakoplovnih tlakomjernih instrumenata kao i za provjeru brtvljena pitostatičkog sustava. Barfield 1811 D se sastoji od nosive plastične kutije sa uređajem te je prikazan na Slici 12. Ispitivač se sastoji od ručno upravljane vakuumske pumpe, ručne tlačne pumpe, prikaznika nadtlaka i podtlaka u spremnicima, koji se nalaze u samom ispitivačkom uređaju, 5 kontrolnih ventila, visinomjer i brzinomjer. Ispitivač se sa crijevima i adapterima povezuje na pitostatičke otvore zrakoplova. Za ovaj ispitivač nije potrebna električna energija za rad, jer nadtlak i podtlak potreban za ispitivanje dobiva iz ručnih pumpi koje se nalaze na uređaju.



Slika 12. Ispitivački uređaj Barfield 1811 D

## **5.1 Princip rada uređaja za ispitivanje točnosti**

Za ispravan rad uređaja i za točnu provedbu ispitivanja potrebne su dvije osobe, od kojih se jedna nalazi u zrakoplovu, a druga upravlja ispitivačem. Na ispitivaču, koji je spojen na pitostatičke otvore zrakoplova, ručnom pumpom se postigne potrebni nadtlak ili podtlak. Na uređaju za ispitivanje se nalaze dva manometra, na kojima je potrebno provjeriti dovoljnu razinu podtlaka i nadtlaka. Zatim se na uređaju za ispitivanje otvaraju ventili koji podtlak i nadtlak dovode do pitotstatičkih otvora, odnosno do samih instrumenata. Tijekom cijele provjere, u kabini zrakoplova se nalazi tehničar. Tehničar promatra instrument koji se trenutno ispituje te bilježi očitane vrijednosti koje će kasnije usporediti sa tablicama danima od strane proizvođača. Pojednostavljeno, uređaj za ispitivanje točnosti na zrakoplovne instrumente dovodi tlak koji bi oni dobivali kao da se nalaze u stvarnom letu, pri brzini i na visini ispitivanja.

## **5.2 Recertifikacija uređaja Barfield 1811 D**

Kao i instrumenti i uređaj za njihovu provjeru mora prolaziti redovna održavanja i umjeravanja. Proizvođač Barfielda 1811 D je propisao da njihov uređaj mora svakih 6 mjeseci prolaziti recertifikaciju, koja podrazumijeva provjeru točnosti te ako uređaj odstupa od zadanih normi šalje se proizvođaču na umjeravanje. Priručnik izdan od strane proizvođača preporuča da korisnik provodi postupke provjere točnosti uređaja, dok su umjeravanje uređaja i eventualni popravci jedino mogući kod njegova proizvođača.

Prije svakog rada s uređajem, prvo se provjerava točnost samog uređaja. Provjera uređaja se obavlja na slijedeći način:

Svi otvori i ventili na uređaju se zatvore, zatim pomoću ručne pumpe se postavi tlak od 20 psi (eng. pounds per square inch – libri po kvadratnom inču), zatim se polagano otvori ventil koji povezuje spremnik nadtlaka i brzinomjer na uređaju sve dok brzinomjer ne prikaže 300 kts. Nakon toga jednu minutu se nadzire brzina i pad brzine ne smije biti veći od 2 kts, u suprotnom uređaj nije ispravan i šalje se na umjeravanje. Zatim se ispusti sav zrak iz uređaja, opet se zatvore svi ventili i izlazi te se ponovno napumpa nadtlak od 20 psi i otvara se ventil visinomjera te se postavlja

na 20000 ft. Visinomjer se nadzire jednu minutu te pad visine ne smije biti veći od 100 ft inače uređaj se šalje na umjeravanje. U daljnjem tekstu je opisan proces provjere točnosti sa pripadajućim slikama i grafovima.

### **5.3 Provjera brtvljenja pitot-statičkog sustava**

Prije svake provjere točnosti instrumenata prvo se vrši provjera brtvljenja pitostatičkih vodova i brtvljenje spojeva na uređaju i vodu. Prvo se obavlja provjera pitot sustava na slijedeći način:

Uređaj se spaja na pitot cijev preko crijeva koje je na jednom kraju spojeno na uređaj za provjeru točnosti, a na drugom kraju je spojeno na zrakoplov, to jest pitot cijev. Nakon što se tehničari uvjere da je sve spojeno, jedna osoba ulazi u kabinu zrakoplova, dok druga osoba ostaje za uređajem i upravlja njim. Osoba za uređajem ručno podiže tlak u uređaju na 10 psi i polagano otvara ventil sve dok brzinomjer ne pokaže 75% od punog opsega instrumenta što u slučaju Zlina 242L iznosi 150 kts. Nakon toga tehničar u zrakoplovu motri brzinomjer jednu minutu. Vrijednost na brzinomjeru ne smije pasti za više od 2 kts, plus brzina pogreške instrumenta koja je ranije izmjerena. Ako je pad veći od 2 kts provjera točnosti se prekida i pitot sustav zrakoplova ide na provjeru, a ako je pad manji nastavlja se sa provjerom brtvljenja statičkog sustava.

Brtvljenje statičkog sustava se provjerava tako što se prvo visinomjer postavi na trenutni QNH i očita visina koju visinomjer prikazuje. Zatim se uređaj spoji na statičke otvore zrakoplova. Nakon toga na uređaju se ručnom pumpom postavlja podtlak u spremniku za podtlak te se polagano otvara ventil preko kojega je crijevo povezano na statičke otvore. Visina se postavlja 1000 ft većom od one koju je visinomjer pokazivao kada je bio postavljen na prema postavci QNH tlaka. Tijekom otvaranja ventila, tehničar u kabini mora obratiti posebnu pažnju da kazaljka variometra ne bi premašila svoj maksimum, što za zrakoplov Zlin 242L iznosi 2000 fpm. Tehničar u kabini prati visinomjer jednu minutu te provjerava da visina ne padne za više od 100 ft plus pogreška uređaja koja je ranije izmjerena, u suprotnom statičke instalacije moraju ići na provjeru.



## 5.4 Provjera točnosti brzinomjera

Kako je let pri malim brzinama opasan zbog gubitka uzgona važno je da brzinomjer prikazuje točne brzine, bez prevelikog odstupanja zbog čeka je propisano da brzinomjer jednom godišnje mora proći provjeru točnosti

Nakon što je zrakoplov zadovoljio sve provjere brtvljenja pitostatičkog sustava i uređaj za provjeru točnosti radi ispravno, uređaj se spaja na pitotovu cijev te se postupno ispituju brzine tako što uređaj na pitotov otvor daje postupno sve veći i veći tlak, koji predstavlja dinamički tlak koji bi zrakoplov registrirao kada bi se kretao tom brzinom. U Tablici 1 su prikazani iznosi brzina koje se provjeravaju i koliki tlak se mora postaviti da bi instrument prikazao tu brzinu.

Tablica 1. Potrebni dinamički tlak za pojedinu brzinu zrakoplova [2]

<b>Brzina (kts)</b>	<b>Tlak (In H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Tlak (In Hg)</b>	<b>Tlak (psi)</b>
39	1,000	0,073	0,036
55	2,000	0,146	0,072
68	3,000	0,220	0,108
78	4,000	0,294	0,144
87	5,000	0,367	0,180
96	6,000	0,441	0,216
103	7,000	0,514	0,252
110	8,000	0,587	0,289
117	9,000	0,661	0,325
123	10,000	0,734	0,361
135	12,000	0,881	0,433
144	13,609	1,000	0,481
146	14,000	1,028	0,505
155	16,000	1,175	0,577
165	18,000	1,322	0,649
174	20,000	1,468	0,721
194	25,000	1,836	0,901

Ispitivanje točnosti brzinomjera kreće tako što se postavi tlak na kojemu bi brzinomjer trebao pokazivati najmanju brzinu, odnosno 39 kts te se provodi postupno do 194 kts koji je za 22 kts iznad  $V_{NE}$  (eng. Velocity Never Exceed – brzina koja se ne smije prijeći)..

Dok jedan tehničar na uređaju za ispitivanje postavlja određene tlakove, drugi tehničar se nalazi u kabini zrakoplova te on na brzinomjeru očitava i zapisuje brzine. Nakon što su prošli kroz cijeli raspon brzina zrakoplova, očitane brzine se uspoređuju sa tablicom zadanih odstupanja, koja je prikazana u tablici 2. Ako su odstupanja u granicama, brzinomjer se smatra ispravnim, a ako je odstupanje veće od dozvoljenog, brzinomjer se mora zamijeniti sa novim brzinomjerom.

*Tablica 2. Dozvoljeno odstupanje za pojedinu brzinu [2]*

<b>Očitavanje brzine (kts)</b>	<b>Tolerancija brzine (kts)</b>
50	±5,0
60	±3,0
70	±3,0
80	±3,0
90	±3,0
100	±3,0
110	±3,0
120	±3,0
130	±3,0
140	±3,0
150	±3,5
160	±3,5
170	±3,5
180	±4,0
190	±4,0

## 5.5 Provjera točnosti visinomjera

Nakon što je statički sustav na provjeri brtvljenja zadovoljio norme, slijedi provjera točnosti visinomjera. Prije same provjere instrument je morao najmanje 12 h biti samo na vanjskom tlaku okoline te se barometarska ljestvica mora postaviti na 29,92 in Hg odnosno na 1013 mbar.

Prije same provjere točnosti visinomjera, a nakon provjere brtvljenja statičkog sustava, odrađuje se provjera trenja visinomjera i histereze. Provjera trenja unutar instrumenta se odrađuje na način da se visinomjer postavi na vrijednost od 50000 ft te da se konstantno ispušta vrijednost tlaka iz sustava u iznosu od 750 fpm te se na visinomjeru na u Tablici 3 naznačenim vrijednostima provjerava očitavanje visinomjera te koliku grešku stvaraju vibracije i trenje unutar samog visinomjera.

*Tablica 3. tolerancija za trenje visinomjera [2]*

VISINA (stope)	TOLERANICIJA VISINE ( $\pm$ stopa)
1000	70
2000	70
3000	70
5000	80
10000	90
15000	100
20000	125
25000	150
30000	175
35000	200
40000	250
50000	400

Histereza će se provjeriti na način da se instrument postavi na tlak potreban da bi instrument pokazivao 35000 ft, a tlak će biti povećavan tempom od približno 3000 fpm. Visinomjer na zadanoj vrijednosti mora ostati ne manje od 5 min, a ne više od 15 min prije nego je visina ponovno očitana te se ovakav test ponovi na još 3 visine, koje su prikazane u Tablici 4.

*Tablica 4. Dopuštena odstupanja histereze [2]*

VISINA ( ft )	VRIJEME Min/Max (mj.jed.)	DOPUŠTENA GREŠKA ( ft )
35000	5/15	---
18000	5/15	70
14000	1/10	70
0	-/5	50

Ako je visinomjer zadovoljio sve navedene provjere, slijedi posljednja provjera, odnosno sama provjera točnosti. Kako su dozvoljena odstupanja za visinomjere koji se koriste na zrakoplovima koji lete do 30000 ft  $\pm$  60 ft, 60 ft iznosi najveće odstupanje koje visinomjer može imati, no u obzir se mora uzeti i to što se zrakoplov i čitavi pitot-statički sustav nalazi na zemlji, gdje vanjski tlak može dodatno utjecati na mjerenja pa su proizvođači instrumenata izračunali posebne tablice za dozvoljena odstupanja na pojedinim visinama, koje su prikazane u Tablici 5. Provjera se obavlja na način da jedan tehničar, koji upravlja uređajem za ispitivanje postavlja uređaj na zadanu visinu, te čeka najmanje jednu minutu prije očitavanja vrijednosti, a najviše 10 min, te ide na iduću visinu. Drugi tehničar se nalazi u kabini zrakoplova te očitava i zapisuje vrijednosti.

Tablica 5. Dozvoljena odstupanja visinomjera [2]

VISINA (ft)	ODSTUPANJE VISINE (± ft)
-1000	40
0	40
500	40
1000	40
1500	50
2000	60
3000	60
4000	70
6000	80
8000	120
10000	160
12000	200
14000	225
16000	240
18000	275
20000	300
22000	340
25000	375
30000	450

## 5.6 Provjera točnosti variometra

Prije same provjere točnosti variometra, vrši se još jedna provjera brtvljenja statičkog sustava, na način da se na statičke otvore, koji su spojeni na uređaj za ispitivanje točnosti postavi podtlak. Prvo se postavi podtlak od 15 in Hg pa zatim podtlak od 10 in Hg. U oba slučaja curenje ne bi smjelo biti veće od 0,05 in Hg tijekom perioda od jedne minute koliko traje ispitivanje brtvljenja. Nakon toga na variometru se obavlja provjera točnosti, na način da se na statičke otvore pušta tolika vrijednost nadtlaka ili podtlaka potrebna da bi variometar pokazivao penjanje ili spuštanje za određenu vrijednost. Vrijednosti i dozvoljena odstupanja su prikazana u Tablici 6.

Tablica 6. Dozvoljena odstupanja variometra [2]

Brzina penjanja i spuštanja (fpm)	Dozvoljeno odstupanje od brzine penjanja i brzine spuštanja (± fpm)
500	35
1000	75
1500	150
2000	250

## 5.7 Provjera točnosti prikaznika tlaka punjenja

Prikaznik tlaka punjenja je najbliži običnom barometru te se on ispituje na način da se na njega dovede poznata vrijednost tlaka te da se ta ista očita na instrumentu, u zrakoplovu. Dozvoljena odstupanja za prikaznik tlaka punjenja iznose  $\pm 3\%$  od poznate vrijednosti tlaka.

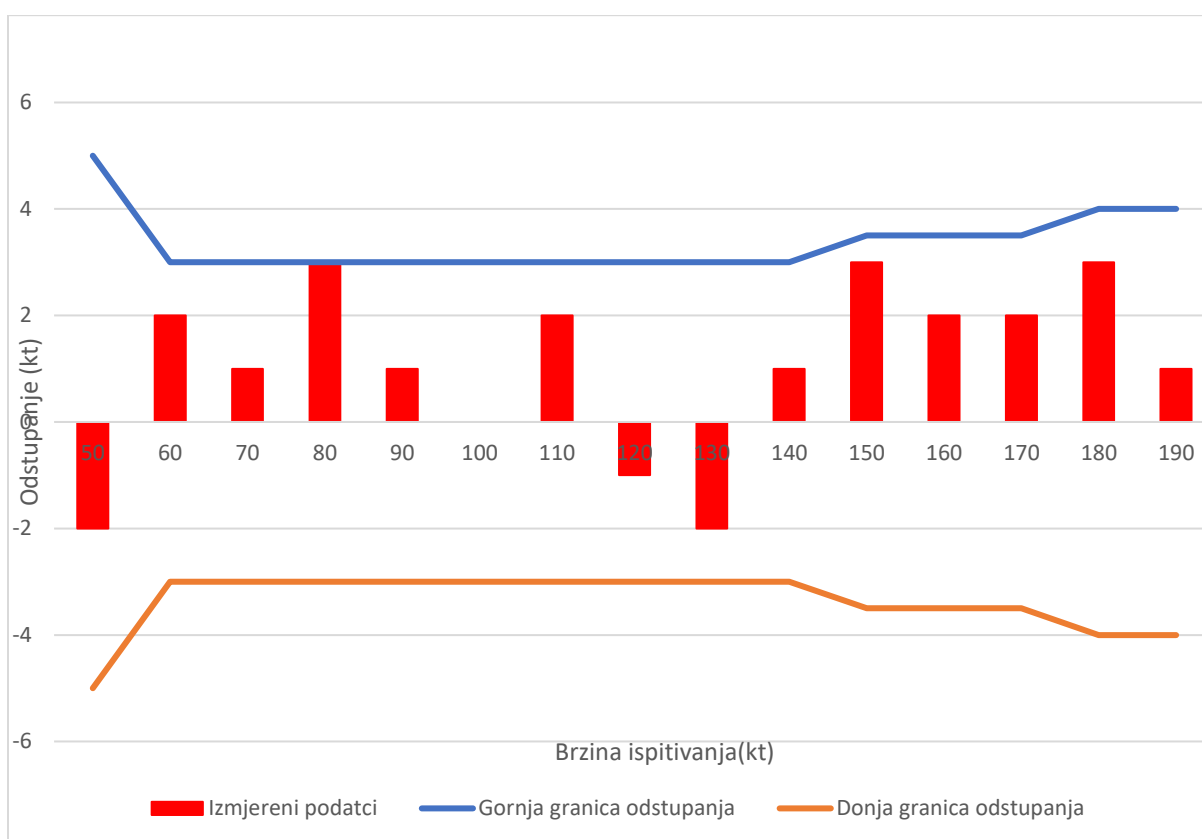
## 6 ANALIZA REZULTATA

U 93. Krilu HRZ-a u Zemuniku Donjem je u svrhu izrade ovoga završnog rada provedena provjera točnosti pitot-statičkog sustava zrakoplova Zlin 242L, registrarske oznake 401. Prije samog početka testa, zrakoplov se mora najmanje 12 h nalaziti u hangaru, u uvjetima normalnog tlaka zraka, to jest barem 12 h prije provjere točnosti zrakoplov ne smije letjeti. Na Slici 13. je prikazan zrakoplov Zlin 242L kako je spojen na uređaj za provjeru točnosti Barfield 1811d.



Slika 13. Provjera točnosti tlakomjernih instrumenata na zrakoplovu Zlin 242L

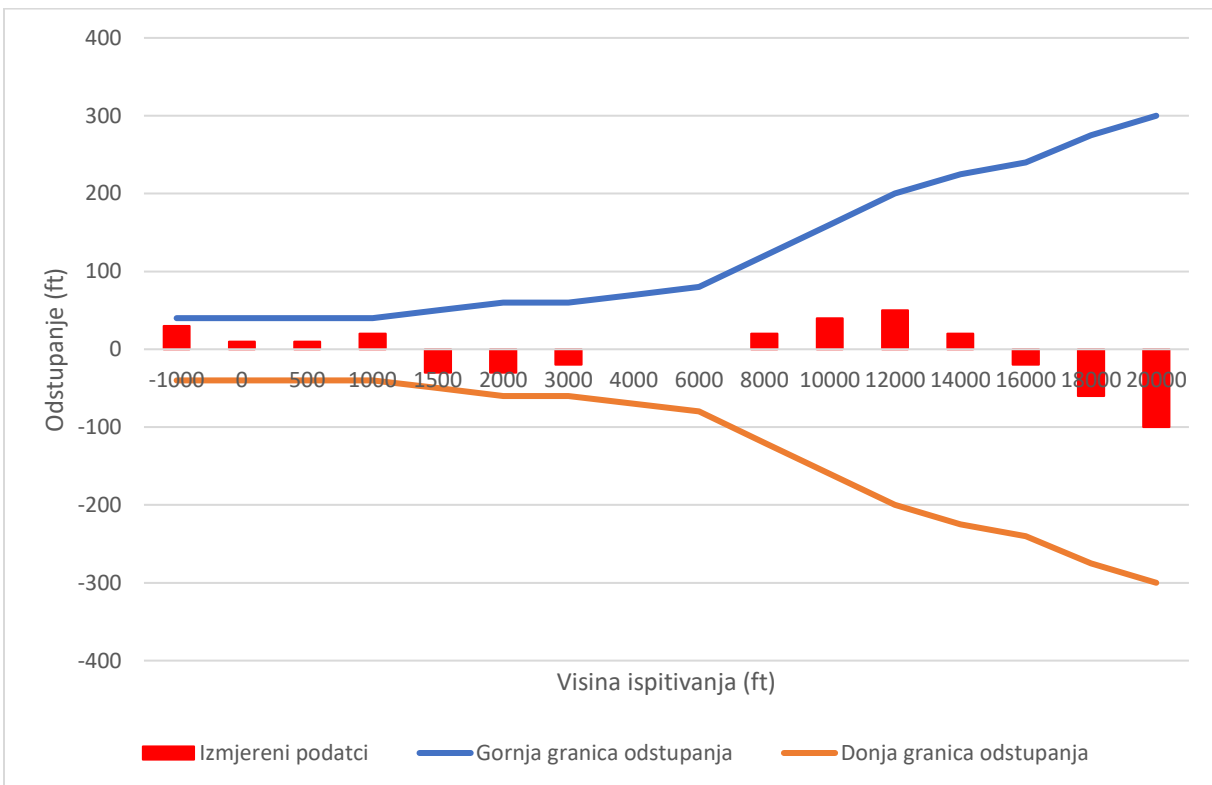
Prilikom provjere točnosti tlakomjernih uređaja, bitno je ustanoviti da uređaji ugrađeni u zrakoplov zadovoljavaju određenu razinu točnosti propisanu od strane proizvođača. Vrijednosti dobivene mjerenjem su na grafu prikazane crvenom bojom, dok je plavom bojom prikazano maksimalno gornje i maksimalno donje odstupanje od točne vrijednosti. Grafikon 1 prikazuje podatke dobivene provjerom točnosti brzinomjera. Na osi apscisa je prikazan raspon brzina na kojima su vršena mjerenja, dok os ordinata pokazuje maksimalna odstupanja, obje brzine su u čvorovima. Podatci dobiveni mjerenjem su prikazani crvenom bojom.



Grafikon 1. Odstupanja od zadane brzine i maksimalna odstupanja brzinomjera

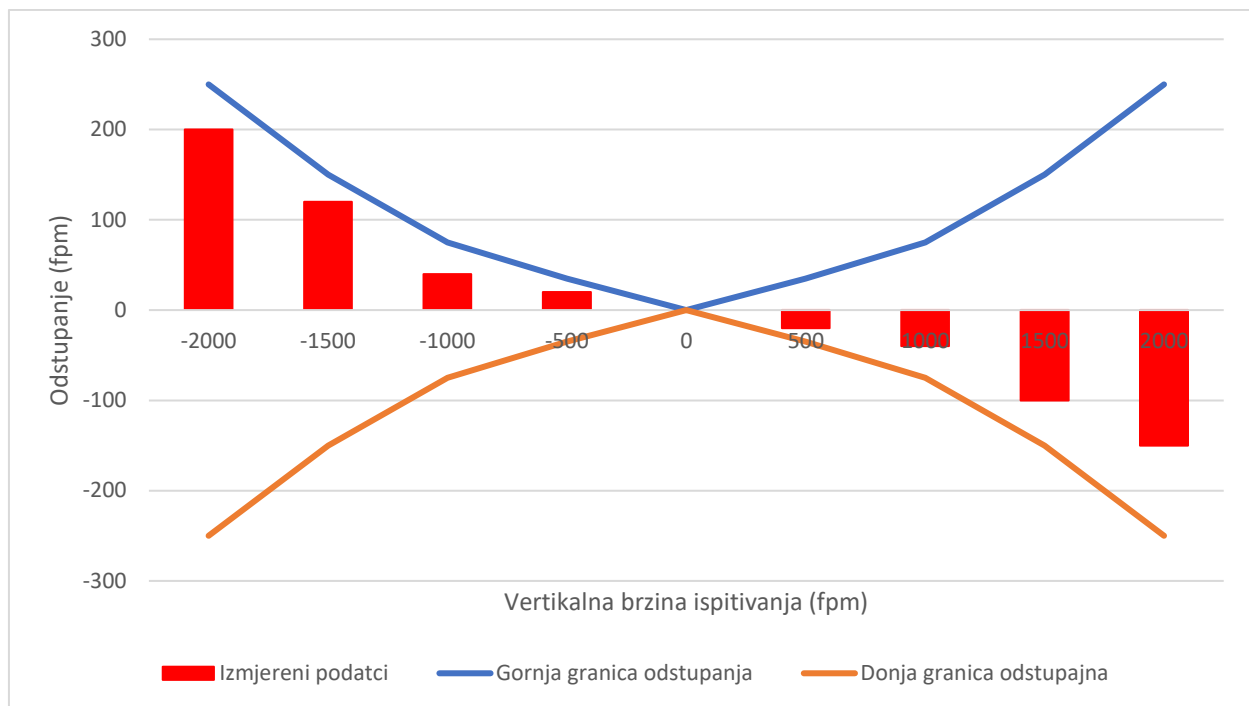


Grafikon 2 prikazuje podatke dobivene ispitivanjem visinomjera zrakoplova Zlin 242L. Os apscisa grafikona prikazuje visine na kojima su vršena mjerenja, dok os ordinata prikazuje najveća i najniža moguća odstupanja na pojedinoj visini. Obje visine su izražene u stopama. Crvenom bojom su prikazani podatci, odnosno odstupanja dobivena ispitivanjem.



Grafikon 2. Odstupanja od zadane visine i maksimalna odstupanja visinomjera

Grafikon 3 prikazuje podatke dobivene ispitivanjem variometra zrakoplova Zlin 242L. Os apscisa na grafikonu prikazuje brzine spuštanja i penjanja na kojima su vršena mjerenja, dok os ordinata prikazuje najveća i najniža moguća odstupanja na pojedinoj brzini spuštanja. Brzine spuštanja su izražene u fpm. Crvenom bojom su prikazana odstupanja dobivena ispitivanjem.



Grafikon 3. Odstupanja od zadane vertikalne brzine i maksimalna odstupanja variometra

Zbog visokih zahtjeva za točnošću i preciznošću čitav sustav pitot-statičkih instrumenata je dizajniran s minimalnom tolerancijom, što dovodi do toga da su i eventualne greške minimalne. Ovo ispitivanje je pokazalo da su greške pitostatičkih instrumenata na zrakoplovu Zlin 242L, registracijske oznake 401 unutar dozvoljenih odstupanja. Instrumenti stari 15 godina su zadovoljili provjeru točnosti te je zrakoplov, obzirom na taj kriterij proglašen sposobnim za letenje. U slučaju da je jedan od instrumenata prekoračio dozvoljena odstupanja, instrument se mora skinuti sa zrakoplova i poslati proizvođaču na servis, ako je to moguće. Ako popravak instrumenta nije moguć, instrument se mora zamijeniti novim, identičnim instrumentom.

## 7 ZAKLJUČAK

Tijekom letenja, vanjski uvjeti se neprekidno mijenjaju. Neki od čimbenika koji se mijenjaju tijekom čitavog leta su tlak, gustoća i temperatura zraka. Kako zrakoplovni tlakomjerni instrumenti funkcioniraju na mjerenju tlaka, na kojega gustoća i temperatura direktno utječu, važno je imati ogovarajuće sustave instrumenata za praćenje osnovnih parametara leta.

Otvori za pitot i za statički tlak na zrakoplovu Zlin 242L se nalaze ispod lijevog krila, odnosno na stražnjem dijelu trupa te su oba grijana kako bi se spriječilo zaleđivanje otvora i moguće otkazivanje sustava. Uz zaštitu od zaleđivanja, pitot cijev je još opremljena i ocjednicima vlage kako bi se spriječio ulazak vode u sustav i moguće oštećenje instrumenata.

Zbog specifičnosti letenja, instrumenti za mjerenje osnovnih parametara leta su dizajnirani na način kako bi u svim uvjetima leta prikazivali točne podatke, s minimalnim tolerancijama. Zbog tih minimalnih tolerancija, važno je u redovitim intervalima, jednom godišnje, izvršavati relativno jednostavnu provjeru točnosti i brtvljenja čitavog pitostatičkog sustava zrakoplova i svih pitostatičkih instrumenata. Čitav postupak provjere točnosti uključuje ispitivanje brtvljenja sustava te provjeravanje točnosti prikazivanja instrumenata. Ovakav praktičan postupak je proveden u ovome radu. Čitav postupak provjere traje oko dva sata te se za relativno kratko vremensko razdoblje utvrđuje funkcionalnost pitotstatičkih instrumenata

Unatoč preciznoj konstrukciji instrumenata i kvaliteti materijala korištenih u izradi samih instrumenata, svaki od njih će s vremenom i konstantnom uporabom u svim vremenskim uvjetima postupno gubiti na preciznosti i funkcionalnosti. Zbog toga je bitno da se točnost i ispravnost sustava redovito ispituje te se u slučaju neispravnog rada bilo kojega dijela sustava, moguće neispravnost otkloniti na vrijeme, prije nego što izazove nekakav veći kvar.

## LITERATURA

- [1] T. Bucak i I. Zorić, Zrakoplovni instrumenti i prikaznici, Zagreb, 2002.
- [2] Instruction Manual for 1811 D pitot-static test set, Barfield, Miami, 2003.
- [3] „CFI Notebook,“ [Mrežno]. Available: <https://www.cfinotebook.net/notebook/avionics-and-instruments/altimeter> [Pristupljeno: 07.03.2020.].
- [4] „Flight Learnings,“ [Mrežno]. Available: <https://www.flightliteracy.com/pitot-static-flight-instruments-vertical-speed-vsi-and-airspeed-asi-indicators/> [Pristupljeno: 07.03.2020.].
- [5] „Instruction Manual for 1811 D pitot-static test set,“ [Mrežno]. Available: <https://www.barfieldinc.com/assets/files/manuals/56-101-00164-G.pdf> [Pristupljeno: 15.3.2021.].
- [6] „Introduction to Pitot Static Testing – Amazon AWS,“ [Mrežno]. Available: [https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/centaur-wp/theengineer/prod/content/uploads/2016/04/25162939/ADTS\\_whitepaper\\_Q4\\_2015\\_3.pdf](https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/centaur-wp/theengineer/prod/content/uploads/2016/04/25162939/ADTS_whitepaper_Q4_2015_3.pdf) [Pristupljeno: 20.07.2021.]
- [7] „ DMA Pitot-static Testing and the Role of the Probe Adaptors,“ [Mrežno]. Available: <https://www.dma-aero.com/eu/pitot-static-testing-and-role-probe-adaptors> [Pristupljeno: 20.07.2021.]
- [8] Moravan Aviation Ltd., AIRPLANE FLIGHT MANUAL Z 242 L, Otrokovice-Czech Republic, 2018.
- [9] „Pravilnik o održavanju vojnih zrakoplova i zrakoplovne tehnike,“ [Mrežno]. Available: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_04\\_51\\_1221.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_04_51_1221.html) [Pristupljeno: 25.07.2021.]

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Potrebni dinamički tlak za pojedinu brzinu zrakoplova [2].....</i>	<i>19</i>
<i>Tablica 2. Dozvoljeno odstupanje za pojedinu brzinu [2].....</i>	<i>20</i>
<i>Tablica 3. Tolerancija za trenje visinomjera [2].....</i>	<i>21</i>
<i>Tablica 4. Dopuštena odstupanja histereze [2].....</i>	<i>22</i>
<i>Tablica 5. Dozvoljena odstupanja visinomjera [2].....</i>	<i>23</i>
<i>Tablica 6. Dozvoljena odstupanja variometra [2].....</i>	<i>24</i>

## POPIS GRAFOVA

Grafikon 1. Odstupanja od zadane brzine i maksimalna odstupanja brzinomjera.....	26
Grafikon 2. Odstupanja od zadane visine i maksimalna odstupanja visinomjera.....	27
Grafikon 3. Odstupanja od zadane vertikalne brzine i maksimalna odstupanja variometra.....	28

## POPIS SLIKA

Slika 1. Ortogonalna projekcija zrakoplova Zlin 242L [8] .....	2
Slika 2. Ocjednici vlage pitot sustava .....	4
Slika 3. Prikaz dijelova barometarskog visinomjera [1] .....	6
Slika 4. Kodirajući visinomjer iz zrakoplova Zlin 242L.....	6
Slika 5. Prikaz načina rada kodirajućeg barometarskog visinomjera [1] .....	7
Slika 6. Prikaz presjeka brzinomjera za indiciranu brzinu [4] .....	10
Slika 7. Brzinomjer iz zrakoplova Zlin 242L.....	10
Slika 8. Prikaz presjeka variometra [4] .....	11
Slika 9. Variometar iz zrakoplova Zlin 242L.....	12
Slika 10. Prikaznik tlaka punjenja na zrakoplovu Zlin 242L .....	13
Slika 11. Adapter za pitot-prandtlovu cijev [7].....	15
Slika 12. Ispitivački uređaj Barfield 1811 D.....	16
Slika 13. Provjera točnosti tlakomjernih instrumenata na zrakoplovu Zlin 242L .....	25

## **POPIS KRATICA**

CAS (calibrated airspeed) kalibrirana zračna brzina

EAS (equivalent airspeed) ekvivalentna zračna brzina

EPR (engine pressure ratio) prikaznik potiska

fpm (feet per minute) stopa po minuti

IAS (indicated airspeed) indicirana zračna brzina

ICAO (International civil aviation organization) Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva

ISA (international standard atmosphere) međunarodna standardna atmosfera

KOBV kodirani osjetljivi barometarski visinomjer

Kts (knots) čvorovi

MAP (manifold air pressure) prikaznik tlaka punjenja

psi (pounds per square inch) libri po kvadratnom inču

QNH Q-kod u zrakoplovstvu, označava postavku tlaka zraka na srednju razinu mora

TAS (true airspeed) stvarna brzina zrakoplova

V<sub>NE</sub> (velocity never exceed) brzina koja se ne smije prijeći



# PRILOZI

## Prilog 1. Lista provjere brzinomjera

### Lista provjere brzinomjera (Airspeed Test Report)

Sukladno direktivi CS-ETSO-C2D

AVION	MJERNO ISPITNA OPREMA
Tip: ZLIN 242-L	Proizvođač: <i>Barfield</i>
Reg. Oznaka aviona: <i>401</i>	Tip: <i>18110</i>
S/N:	S/N:
Broj sati leta: <i>1134</i>	Raspon: <i>0-21061</i>
Datum provjere: <i>15.06.2021</i>	Datum kalibracije: <i>01.10.2020</i>

TLAK (hPa)	ZADANA BRZINA (Knot)	ODSTUPANJE (Knot)	TOLERANCIJA (± Knot)
4,07	50	<i>-2</i>	5,0
5,86	60	<i>2</i>	3,0
7,98	70	<i>1</i>	3,0
10,43	80	<i>3</i>	3,0
13,21	90	<i>1</i>	3,0
16,32	100	<i>0</i>	3,0
19,87	110	<i>2</i>	3,0
23,57	120	<i>-1</i>	3,0
29,12	130	<i>-2</i>	3,0
32,17	140	<i>1</i>	3,0
37,62	150	<i>3</i>	3,5
42,33	160	<i>2</i>	3,5
47,63	170	<i>2</i>	3,5
53,39	180	<i>3</i>	4,0
59,93	190	<i>1</i>	4,0

ISPRAVNO:	<input checked="" type="radio"/>	NE
-----------	----------------------------------	----

MJESTO I DATUM: <i>Zemunik D. 15.06.2021</i>	TEHNIČAR:	KONTROLOR:
---	-----------	------------

**Prilog 2. Lista provjere visinomjera**

ZLIN AIRCRAFT a.s. Otrokovice	<b>MEASUREMENT RECORD</b> -STANDARD-	MP-L 242.022 Pages 12; Page 10		
Scale error check				
Altitude ft (m)	Measured value		Equivalent pressure hPa	Tolerance ± ft (m)
	1	2		
-1000 (-304,8)	30		1050,43	40 (12,1)
0 (0)	10		1013,25	40 (12,1)
500 (152,4)	10		995,13	40 (12,1)
1000 (304,8)	20		977,22	40 (12,1)
1500 (457,2)	-30		959,57	50 (15,2)
2000 (609,6)	-30		942,17	60 (18,2)
3000 (914,4)	-20		908,17	60 (18,2)
4000 (1219,2)	0		875,15	70 (21,3)
6000 (1828,8)	0		812,02	80 (24,3)
8000 (2438,4)	20		752,56	120 (36,5)
10000 (3048)	40		696,85	160 (48,7)
12000 (3657,6)	50		644,42	200 (60,9)
14000 (4267,2)	20		595,25	225 (68,6)
16000 (4876,8)	-20		549,16	240 (73,1)
18000 (5486,4)	-60		506,02	275 (83,8)
20000 (6096)	-100		465,65	300 (91,4)
22000 (6705,6)			427,92	340 (103,6)
25000 (7620)			376,04	375 (114,3)
30000 (9144)			300,89	450 (137,1)
35000 (10668)			238,45	525 (160)
40000 (12192)			187,55	600 (182,8)
45000 (13716)			147,48	675 (205,7)
50000 (15240)			115,99	750 (228,6)

General evaluation – COMPLIANCE       YES       NO

NOTES: 15.04.2021.

Performed by:	Checked by:
---------------	-------------

### Prilog 3. Lista provjere variometra

#### Lista provjere variometra (Variometer Test Report)

Sukladno direktivi CS-ETSO-C8D

AVION	MJERNO ISPITNA OPREMA
Tip: ZLIN 242-L	Proizvođač: <i>Barfield</i>
Reg. Oznaka aviona: <i>401</i>	Tip: <i>1811D</i>
S/N:	S/N:
Broj sati leta: <i>1134</i>	Raspon: <i>-2000 - 2000 fpm</i>
Datum provjere: <i>15.04.2021</i>	Datum kalibracije: <i>01.10.2020</i>

ZADANA BRZINA (ft/min)	ODSTUPANJE (ft/min)	TOLERANCIJA (± ft/min)
500	<i>-20</i>	35
1000	<i>-40</i>	75
1500	<i>-100</i>	150
2000	<i>-150</i>	250
-500	<i>20</i>	35
-1000	<i>40</i>	75
-1500	<i>120</i>	150
-2000	<i>200</i>	250

ISPRAVNO:	<input checked="" type="radio"/> DA	<input type="radio"/> NE
-----------	-------------------------------------	--------------------------

MJESTO I DATUM: <i>Zemunik D., 15.04.2021</i>	TEHNIČAR:	KONTROLOR:
--	-----------	------------



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

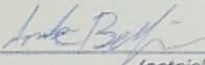
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **PROVJERA TOČNOSTI TLAKOMJERNIH INSTRUMENTATA**  
**ZRAKOPLOVA ZLIN 242L**

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

U Zagrebu, 26.8.2021

Student/ica:

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)