

Proračun parametara i izrada kapacitivnog mjerača količine goriva

Grgić, Jure

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:119:187709>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Jure Grgić

PRORAČUN PARAMETARA I IZRADA KAPACITIVNOG MJERAČA
KOLIČINE GORIVA

Zagreb, 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6388

Pristupnik: **Jure Grgić (0135256701)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Vojni pilot**

Zadatak: **Proračun parametara i izrada kapacitivnog mjerača količine goriva**

Opis zadatka:

Objasniti važnost i primjenu mjerača količine goriva u zrakoplovu. Analizirati dijelove i princip rada kapacitivnog mjerača količine goriva. Dizajnirati i izraditi pojednostavljeni kapacitivni mjerač količine goriva. Proračunati visinu (količinu) stupca goriva mjerenjem ukupnog kapaciteta i usporediti sa stvarnom visinom (količinom) stupca goriva.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PRORAČUN PARAMETARA I IZRADA
KAPACITIVNOG MJERAČA KOLIČINE GORIVA**

**CALCULATION OF PARAMETERS AND
CONSTRUCTION OF CAPACITIVE FUEL QUANTITY
METER**

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Student: Jure Grgić

JMBAG: 0135256701

Zagreb, rujan 2021.

SAŽETAK

Kapacitivni mjerač količine goriva se sastoji od dva kondenzatora, od kojih se jedan nalazi u spremniku dok se drugi koristi kao referentni kondenzator izvan spremnika goriva. Ovakvom metodom s dva kondenzatora, kapacitivni mjerač količine goriva daje najtočniji podatak o volumnoj količini goriva u spremniku. U ovom radu prikazani su rezultati proračuna i mjerenja kapaciteta kondenzatora koji je izrađen s ciljem određivanja količine tekućine u spremniku kapacitivnom metodom. Rezultati rada potvrđuju funkcionalnost metode.

Ključne riječi: Kapacitivni mjerač količine goriva, kondenzator, dielektrik

SUMMARY

Capacitive quantity fuel meter consists of two capacitors, one housed inside the tank while other is used as reference capacitor outside the fuel tank. With this method of two capacitors, capacitive quantity fuel meter gives the most accurate data on the volume of fuel in the tank. This paper presents the results of calculation and measurement of the capacitance of a capacitor made with the aim of determining the amount of liquid in the tank by the capacitive method. The results confirm the functionality of the method.

Key words: Capacitive meter for fuel quantity, capacitor, dielectric

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Vrste i namjena mjerača goriva	2
2.1 Mehanički mjerač količine goriva	2
2.1.1 Mehanički mjerač s izravnim očitanjem	2
2.1.2 Mehanički mjerač s kapaljkom	2
2.1.3 Mehanički mjerač s pomičnom prozirnom šipkom.....	3
2.1.4 Mehanički mjerač s plovkom za visokokrilce.....	3
2.1.5 Mehanički mjerač s plovkom za niskokrilce.....	4
2.1.6 Mehanički mjerač s plovkom, kalibriranom šipkom i magnetima.....	4
2.1.7 Mjerač s plovkom i magnetnim prijenosom	5
2.2 Hidrostatički mjerač količine goriva	5
2.3 Električni mjerač količine goriva	6
2.4 Kapacitivni mjerač količine goriva.....	6
3. Kapacitivni mjerač količine goriva	7
3.1 Matematička analiza principa rada kapacitivnog mjerača.....	7
3.2 Utjecaj temperature na mjerenje i prikaz.....	8
3.3 Načelo kompenzacije nagiba spremnika	8
4. Praktična izvedba kondenzatora.....	9
4.1 Materijali i dijelovi korišteni za izradu kondenzatora	9
4.2 Izrada kondenzatora.....	9
5. Mjerenje količine goriva i analiza rezultata	12
6. Zaključak.....	16
Literatura.....	17
Popis tablica.....	18
Popis slika.....	19
Popis kratica.....	20

1. Uvod

Količina goriva u spremnicima jedan je od glavnih aspekata koji definira dolet i istrajnost zrakoplova. Praćenje potrošnje i preostale količine goriva u spremnicima čini jedan od bitnijih čimbenika pilotu u pogledu pridržavanja ranije izvedenih proračuna. Od svih uvjeta najbitniji je faktor sigurnosti, a to je dovoljna količina goriva za provedbu planiranog leta i uključujući izvanredne situacije.

U drugom poglavlju ovog završnog rada analizirane su vrste mjerača količine goriva, počevši od prvih najjednostavnijih pa do novijih, sofisticiranijih mjerača te njihovi principi rada. Treće poglavlje obrađuje kapacitivni mjerac količine goriva, njegove najbitnije značajke i kako računskim putem izračunati kapacitet. U četvrtom poglavlju prikazana je praktična izvedba kondenzatora, potrebni dijelovi za konstrukciju kondenzatora koji su korišteni u eksperimentu i ostale komponente pomoću kojih je izveden. Peto poglavlje obrađuje kako je izveden eksperiment, koja su mjerenja provedena i kako ona pokazuju stvarnu funkcionalnost kapacitivne metode mjerenja količine goriva pa time i funkcionalnost samog kondenzatora. Analizirana je usporedba rezultata dobivenih računskim putem i rezultata dobivenih praktičnim dijelom te je iznesen zaključak eksperimenta na kraju rada.

2. Vrste i namjena mjerača goriva

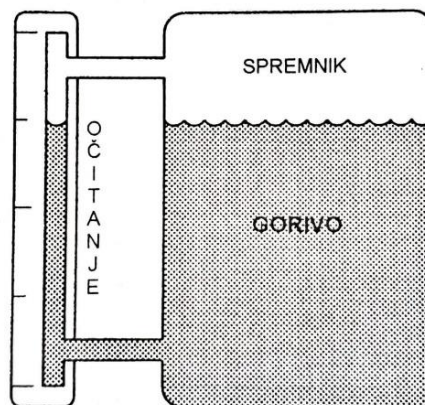
Mjerači količine goriva su instrumenti za prikaz količine goriva u spremniku. Mjerače količine goriva se može podijeliti prema načinu rada na: mehaničke, hidrostatičke, električne, kapacitivne. [1]

2.1 Mehanički mjerač količine goriva

Mehanički mjerač količine goriva se dijeli na više inačica. Neki glavni primjeri su: mjerač količine goriva: s izravnim očitanjem, s kapaljkom, pomičnom prozirnou šipkom, s plovkom i kalibriranom šipkom za inačice visokokrilca i niskokrilca, mjerač količine goriva s plovkom, kalibriranom šipkom i magnetima te mjerač s magnetnim prijenosom. [1]

2.1.1 Mehanički mjerač s izravnim očitanjem

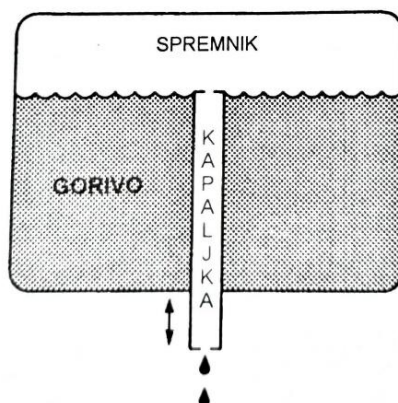
Kao jedan od najjednostavnijih i najstarijih tipova mjerača radi na principu spojenih posuda. Sastoji se od prozirne cjevčice s ljestvicom na kojoj se izravno očitava količina goriva u drugoj posudi s kojom je spojena. Primjer izgleda je prikazan na Slici 1. [1]



Slika 1. Mehanički mjerač s izravnim očitanjem

2.1.2 Mehanički mjerač s kapaljkom

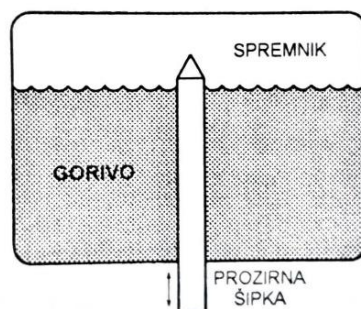
Princip rada ovakvog mjerača je korištenje kalibrirane pomične kapaljke prikazano na Slici 2. Takva kapaljka je potpuno uvučena dok je u pasivnom stanju te za provjeru količinu goriva kapaljka se rukom izvlači sve dok se na njezinom donjem kraju ne pojave kapljice goriva. [1]



Slika 2. Mehanički mjerač s kapaljkom

2.1.3 Mehanički mjerač s pomičnom prozirnom šipkom

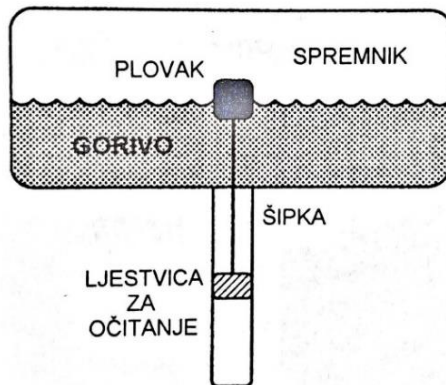
Ovakav mjerač se koristi slično kao i mjerač s kapaljkom osim što je ovdje omogućen vizualni pregled bez fizičkog kontakta s gorivom. To je omogućeno lomom svjetla kroz prizmatični vrh šipke te je izgled takvog mjerača prikazan na Slici 3. [1]



Slika 3. Mehanički mjerač s pomičnom prozirnom šipkom

2.1.4 Mehanički mjerač s plovkom za visokokrilce

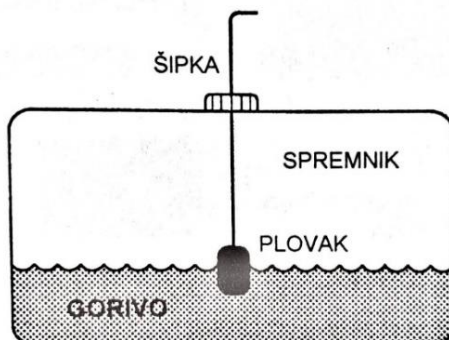
Mjerač s plovkom i kalibriranom šipkom automatski pokazuje razinu goriva. Izveden je posebno za visokokrilce, a princip rada mu se temelji na uzgonskom načelu gdje se očitavanje vrši s donje strane krila. Izgled takvog mjerača je prikazan na Slici 4. [1]



Slika 4. Mehanički mjerač s plovkom za visokokrilce

2.1.5 Mehanički mjerač s plovkom za niskokrilce

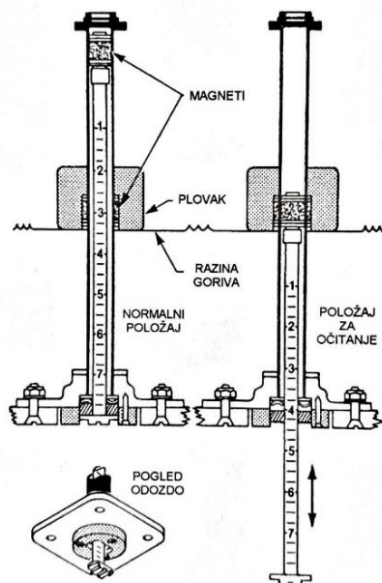
Princip rada je sličan mjeraču količine goriva za visokokrilce gdje je razlika što se za niskokrilce količina očitava s gornje strane krila te je primjer izgleda takvog mjerača prikazan na Slici 5. [1]



Slika 5. Mehanički mjerač s plovkom za niskokrilce

2.1.6 Mehanički mjerač s plovkom, kalibriranom šipkom i magnetima

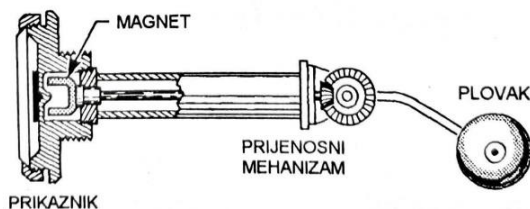
Kao poboljšana verzija mjerača s plovkom i šipkom ovaj mjerač je predviđen isključivo za visokokrilce. Radi na principu da se razina goriva očitava tako da se kalibrirana šipka lagano povlači dolje, iz potpuno uvučenog stanja, dok se magneti ne spoje. Jedan magnet se nalazi na plovku dok je drugi smješten na vrh šipke, nakon očitavanja šipka se ponovno gurne prema gore i magneti se razdvoje te je takav mjerač prikazan na Slici 6. [1]



Slika 6. Mehanički mjerač s plovkom, kalibriranom šipkom i magnetima

2.1.7 Mjerač s plovkom i magnetnim prijenosom

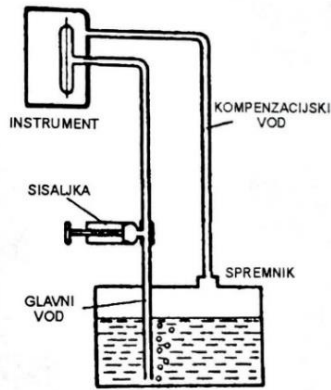
Princip rada se zasniva na načelu prijenosa pomaka plovka na prikaznik preko magnetne kopče. Time se omogućava fizičko izoliranje prostora spremnika od prikaznika kako bi se smanjila opasnost od požara. Primjer ovakvog mjerača količine goriva je prikazan na Slici 7. [1]



Slika 7. Mjerač s plovkom i magnetnim prijenosom

2.2 Hidrostatički mjerač količine goriva

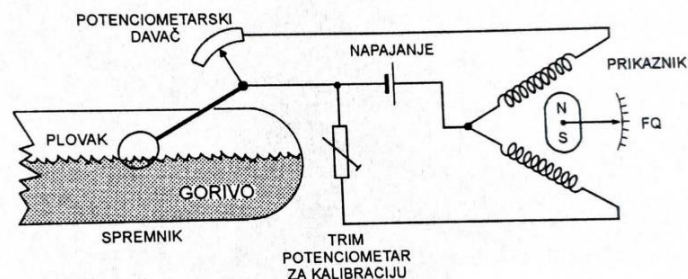
Hidrostatički mjerač kao princip rada koristi mjerenje razlike hidrostatičkog tlaka na dnu spremnika i tlaka zraka na površini goriva pomoću diferencijalnog osjetila. Za izravno dovođenje podataka na prikaznik koristi se podatak o diferencijalnom tlaku. Prve inačice hidrostatičkih mjerača su koristile pneumatiku za daljinski prijenos, kasnije su se koristili sinkroni sustavi, a izgleda takvog mjerača je prikazan na Slici 8. [1]



Slika 8. Hidrostatički mjerač količine goriva

2.3 Električni mjerač količine goriva

Princip rada električnog mjerača zasniva se na načelu prijenosa pomaka plovka na davač sustava daljinskog prijenosa. Sustav daljinskog prijenosa ima dvije inačice: kontaktni i beskontaktni. Glavni dijelovi takvog mjerača su prikazani na Slici 9. [1]



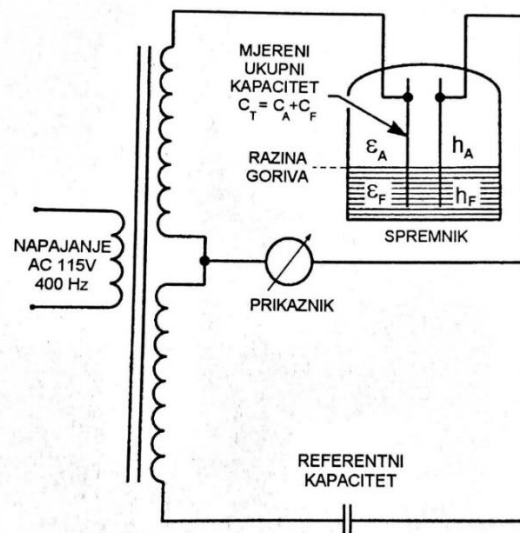
Slika 9. Električni mjerač količine goriva

2.4 Kapacitivni mjerač količine goriva

Kao zadnji primjer mjerača količine goriva kapacitivni mjerač se temelji na detekciji promjene kapaciteta davača u ovisnosti o količini goriva u spremniku te konstantnim uspoređivanjem s referentnim kapacitetom prikazuje količinu goriva u spremniku, a detaljnije će biti objašnjen u trećem poglavlju. Glavni dio kapacitivnog mjerača količine goriva je kondenzator. Kondenzator je uređaj koji može skladištiti električni naboj, a električni kapacitet izražava sposobnost primanja električnog naboja. Mjerna jedinica za električni kapacitet je Farad [F]. [1] [2]

3. Kapacitivni mjerač količine goriva

Iako kapacitivni mjerači spadaju u električne mjerače količine goriva, zbog posebnog principa rada dodijeljena im je zasebna skupina, prikaz takvog sustava je prikazan na Slici 10. Princip rada je takav da su potrebna dva kondenzatora od kojih je jedan davač, a drugi služi kao referentni kondenzator. Davač je smješten u spremnik goriva i najčešće izveden u obliku suosničkog cilindra ili izvedbom sloga usporednih pločastih elektroda uronjenih u gorivo. Davač predstavlja paralelni spoj dvaju kondenzatora s različitim dielektricima (gorivo i zrak), a čije su dielektrične konstante različite. Promjenom razine goriva u spremniku direktno se mijenja i odnos kapaciteta kondenzatora s gorivom i zrakom te s time i rezultatni kapacitet. Primjer takvog sustava je prikazan na Slici 10. [1] [5]



Slika 10. Kapacitivni mjerač količine goriva

3.1 Matematička analiza principa rada kapacitivnog mjerača

Kapacitet nekog kondenzatora se može opisati izrazom:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S/d.$$

U izrazu za kapacitet kondenzatora ϵ_0 predstavlja dielektričnu konstantu vakuuma iznosa $8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m, ϵ_r relativnu dielektričnu permitivnost dielektrika, S površinu ploče, d međusobnu udaljenost ploča kondenzatora. Ukupni kapacitet bi iznosio zbroj kapaciteta kondenzatora sa zrakom i kondenzatora s gorivom, $C_{UK} = C_z + C_g$. Kada se ta formula raspiše dobije se sljedeći izraz:

$$C_{UK} = \epsilon_{rz} \cdot \epsilon_0 \cdot S_z/d + \epsilon_{rg} \cdot \epsilon_0 \cdot S_g/d.$$

Mjerenjem ukupnog kapaciteta može se dobiti podatak o visini stupca goriva h_g pomoću: ukupnog kapaciteta C_{UK} , faktora razmjernosti k , relativne dielektričnosti goriva ϵ_{rg} , visine spremnika goriva h_{uk} sljedećim izrazom:

$$h_g = (C_{UK}/k - h_{uk}) / (\epsilon_{rg} - 1).$$

Za djelomično popunjen spremnik može se koristiti sljedeći izraz:

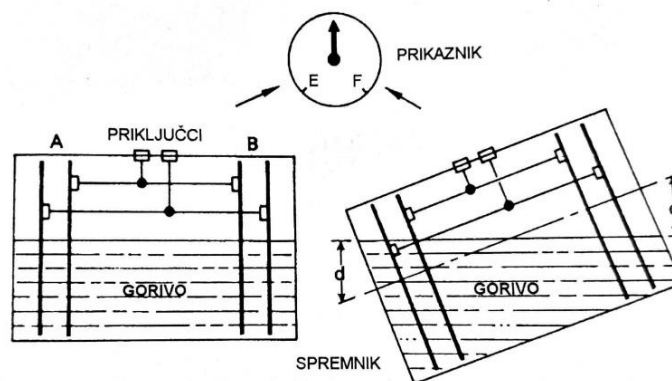
$$C_{UK} = h_g \cdot C_z \cdot (\epsilon_{rg} - 1) / h_{uk}. \quad [1] \quad [4]$$

3.2 Utjecaj temperature na mjerenje i prikaz

Promjenom temperature mijenja se gustoća i dielektričnost goriva pa je potrebno primijeniti određenu temperaturnu kompenzaciju. Najčešće korištena metoda je s kapacitivnim temperaturnim kompenzatorom što je zapravo dodatni kapacitivni davač potpuno uronjen u gorivo i paralelno vezan s referentnim kondenzatorom. Temperaturne promjene ne utječu samo na strujnu petlju u kojoj je kapacitivni davač, već i na petlju u kojoj se nalazi referentni kondenzator te se tako sprječava utjecaj temperature na mjerenje i prikaz. Iako kapacitivni mjerač goriva daje najprecizniji podatak o volumnoj količini goriva, problem promjene gustoće goriva s temperaturom i dalje utječe na točnost mjerenja. [1]

3.3 Načelo kompenzacije nagiba spremnika

Let zrakoplova nije uvijek vodoravan te pri različitim manevrima i nagibima zrakoplova dolazi i do nagiba spremnika i premještanje količine goriva. Zbog nepravilnog položaja davača u odnosu prema površini i razini goriva može doći do pogreške indikacije te se iz toga razloga koristi više paralelno spojenih davača razmještenih na različitim mjestima u spremniku. Primjer izgleda spremnika dok je u nagibu je prikazan na Slici 11. [1]



Slika 11. Načelo kompenzacije nagiba spremnika

4. Praktična izvedba kondenzatora

Kondenzator korišten u eksperimentu je jednostavne izvedbe i sastoji se od 2 glavna dijela, a to su aluminijske plosnate šipke koje predstavljaju kondenzator i plastična cijev koja služi kao kućište kondenzatoru. Kondenzator je izrađen i korišten isključivo u svrhu izvedbe eksperimenta mjerenja količine goriva kapacitivnom metodom i cilj je prikazati jednostavan, ali funkcionalan i pouzdan način mjerenja količine goriva. [5]

4.1 Materijali i dijelovi korišteni za izradu kondenzatora

Potrebni dijelovi, materijali i alati te njihova količina korištena za izradu kondenzatora su prikazani u sljedećoj tablici:

Tablica 1. Potrebni dijelovi, materijali, alati

Dijelovi, materijali i alati	Količina
Aluminijske plosnate šipke	2
Polietilenska cijev za vodu visoke gustoće – PEHD	1
Vrećice za vakuumiranje od polietilena i poliamida	2
Električni vodiči	2
Brus papir	1
Ručna pila	1
Vruće ljepilo	1

4.2 Izrada kondenzatora

Dvije aluminijske plosnate šipke, čiji je primjer izgleda prikazan na Slici 12., duljine 34,8 cm, širine 1,5 cm i debljine 2 mm, kojima je vrh izbrušen brus papirom zbog boljeg provođenja i kontakta s električnim vodovima, postavljene su u zasebne vrećice za vakuumiranje kako bi se spriječila pojava elektrolize ili oksidacija aluminijskih šipki koja se uranja u tekućinu pokrivena s vrećicom iznosi 29 cm te je ostatak od 5,8 cm ostavljen nepokriven kako bi se mogli spojiti električni vodiči koji će biti spojeni na instrument za prikazivanje iznosa kapaciteta. Između aluminijskih šipki su postavljeni i

zaliječpljeni na vrećice sitni dijelovi plastike na 4 dijela. Razlog tome je da se spriječi međusobno približavanje ili udaljavanje šipki i kako bi se zadržala konstantna udaljenost između istih, a koja iznosi 4 mm. [3]

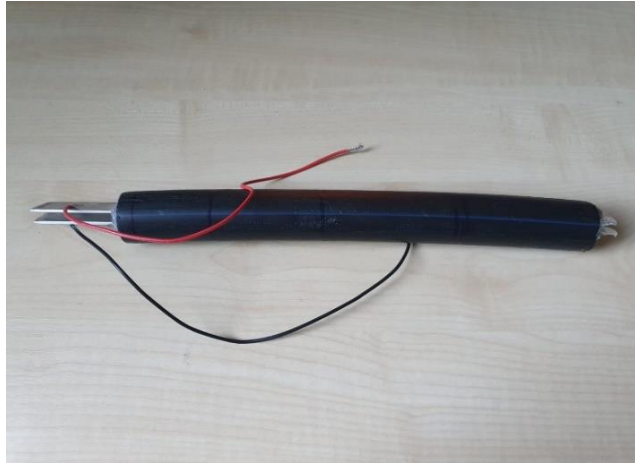


Slika 12. Aluminijska plosnata šipka

Tako postavljene šipke su smještene unutar plastične PEHD cijevi kao na Slici 13. te učvršćene pomoću vrućeg ljepila kako bi se dobio kompaktni i čvrsti kondenzator bez pokretnih dijelova. Donji dio šipki koji se uranja u tekućinu je izvučen 1 cm iz cijevi kako bi se poboljšao ulazak tekućine između kondenzatora. Dio električnih vodiča spojen na vrhove kondenzatora je iz praktičnih razloga zaliječpljen trakom za izolaciju, a dijelovi koji se spajaju u instrument su zalemljeni kako bi se spriječilo uništavanje vrhova vodova. Izgled takvog izrađenog kondenzatora korištenog u eksperimentu je prikazan na Slici 14.



Slika 13. PEHD cijev za vodu



Slika 14. Kondenzator izrađen u svrhu eksperimenta

5. Mjerenje količine goriva i analiza rezultata

Za provedbu eksperimenta mjerenja količine goriva kapacitivnom metodom su bili potrebni: kondenzator, multimetar, spremnik za tekućinu. Zbog jednostavnosti i sigurnosti izvedbe eksperimenta korištena je voda umjesto goriva te je uzeta relativna dielektričnost vode pri temperaturi od 20 °C ($\epsilon_{rv} = 81$) za izračun kapaciteta. Provedeno je 12 mjerenja i izračuna kako bi se dobili i usporedili podatci iz računskog dijela i praktičnog dijela. Proračuni su napravljeni tako što su se zbrajali kapaciteti površine kondenzatora koja nije uronjena u vodu i površina koja je uronjena u vodu. Takva formula se može zapisati izrazom: $C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon_{rz} \cdot S_1/d) + (\epsilon_0 \cdot \epsilon_{rv} \cdot S_2/d)$ gdje je: C kapacitet kondenzatora, S_1 površina ploča koja nije uronjena u tekućinu, S_2 površina ploča koja je uronjena u tekućinu, d međusobna udaljenost ploča kondenzatora (0,004 m), ϵ_0 dielektrična konstanta vakuuma ($8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m), ϵ_{rz} relativna dielektričnost zraka (1,00058), ϵ_{rv} relativna dielektričnost vode (81). Za potrebe proračuna zanemari se vrećica za vakuumiranje kao dielektrik iz razloga što se nije mogao odrediti točan iznos dielektrične konstante. Eksperiment je napravljen tako što se kondenzator pomalo uranjao u spremnik s vodom te se preko instrumenta, čiji je izgled prikazan na Slici 15., pratio iznos kapaciteta. Prvo mjerenje je provedeno sa neuronjenim, odnosno suhim kondenzatorom i to je bilo najbitnije mjerenje kako bi se uspostavila uspješnost izrađenog kondenzatora i usporedilo s prethodno izračunatim kapacitetom. Kondenzator je prvo uronjen u vodu 10% od svoje ukupne izolirane duljine te je očitana vrijednost, nakon toga slijedila su ostala mjerenja tako što se povećala uronjena duljina kondenzatora za 10% sve dok se nije postigla potpuna uronjenost kondenzatora u tekućini. [3]

- 0% uronjenosti kondenzatora u tekućinu:

$$C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon_{rz} \cdot S_1/d) = \\ (8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1,5,22 \cdot 10^{-3}/0,004) = \underline{1,2 \cdot 10^{-11} \text{ F}}$$

- 50% uronjenosti kondenzatora u tekućinu:

$$C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon_{rz} \cdot S_1/d) + (\epsilon_0 \cdot \epsilon_{rv} \cdot S_2/d) = \\ (8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1,3,045 \cdot 10^{-3}/0,004) + (8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 2,18 \cdot 10^{-3}/0,004) = \underline{4 \cdot 10^{-10} \text{ F}}$$

- 100% uronjenosti kondenzatora u tekućinu:

$$C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon_{rv} \cdot S_2/d) = \\ (8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 4,35 \cdot 10^{-3}/0,004) = \underline{7,8 \cdot 10^{-10} \text{ F}}$$



Slika 15. Instrument korišten u eksperimentu

Tablica 2. Usporedba dobivenih rezultata

Uronjena duljina [cm]	Proračunata vrijednost [F]	Izmjerena vrijednost [F]
0	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$3,9 \cdot 10^{-11}$
2,9	$8,9 \cdot 10^{-11}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$
5,8	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$6,9 \cdot 10^{-10}$
8,7	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$9 \cdot 10^{-10}$
11,6	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$
14,5	$4 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
17,4	$4,7 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$
20,3	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$
23,2	$6,3 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$
26,1	$7 \cdot 10^{-10}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$
29	$7,8 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-9}$

Posljednje mjerenje je provedeno kao eksperiment nagiba spremnika gdje se promatralo što se događa kada se simulira spremnik zrakoplova u nagibu. U slučaju eksperimenta spremnik s vodom je postavljen u nagib od približno 30 stupnjeva i uronjenost kondenzatora je iznosila

15 centimetara te se promatrala promjena kapaciteta uz postupno postavljanje nagiba spremnika počevši od 0 stupnjeva. Postupnim postavljanjem nagiba spremnika uočava se lagani porast iznosa kapaciteta na instrumentu te pri nagibu od približno 30 stupnjeva izmjerena vrijednost je iznosila $1,8 \cdot 10^{-9}$ F što se može usporediti sa proračunatom vrijednosti prikazano u Tablici 3.

Tablica 3. Usporedba dobivenih rezultata spremnika pod nagibom

Uronjena duljina [cm]	Proračunata vrijednost [F]	Izmjerena vrijednost [F]
15	$4 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$

Spremnik s tekućinom (vodom) iznosi 5 litara. Dobiven rezultat kada je potpuno uronjen kondenzator iznosi $3,3 \cdot 10^{-9}$ F što odgovara iznosu od 5 litara. Dijeljenjem iznosa $3,3 \cdot 10^{-9}$ na 5 dijelova dobije se da jedna litra vode odgovara $6,6 \cdot 10^{-10}$ F. U Tablici 4. je prikazan iznos količine vode u ovisnosti s količinom kapaciteta koju prikazuje instrument, a podatci uronjene duljine i prikazivanja instrumenta su uzeti iz Tablice 2. Vrijednost određenog kapaciteta očitano na instrumentu se dijeli s vrijednošću od $6,6 \cdot 10^{-10}$ F i rezultat je količina tekućine u spremniku izražena u litrama:

$$\text{Količina tekućine [l]} = C_{\text{čitano}} [\text{F}] / 6,6 \cdot 10^{-10} [\text{F/l}]$$

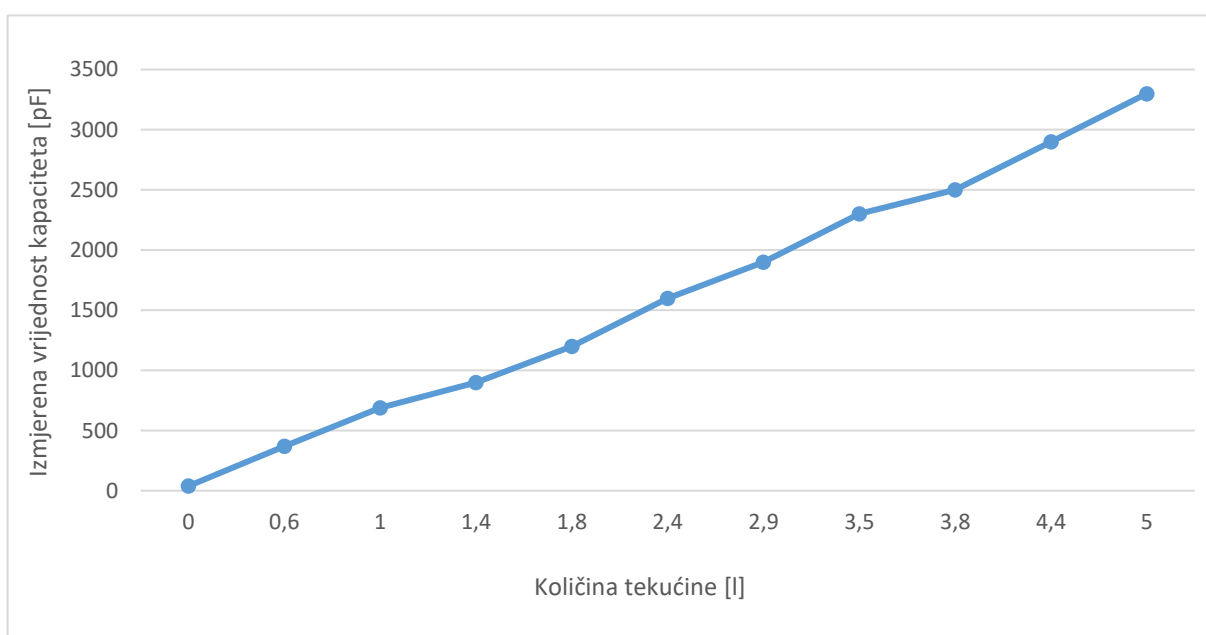
Kao primjer uzeta je izmjerena vrijednost kapaciteta $1,6 \cdot 10^{-9}$ F te je određena količina tekućine:

$$\text{Količina tekućine} = 1,6 \cdot 10^{-9} / 6,6 \cdot 10^{-10} = \underline{2.41}$$

Ova formula je empirijska i koristi se samo za ovakav oblik kondenzatora kućne izrade, ali je određivanje količine tekućine mjerenjem kapaciteta ovime uspješno potvrđena. U Tablici 4. su uspoređene izmjerene vrijednosti i izračunata količina tekućine uz pripadajuće uronjene duljine kondenzatora te su slikovito prikazani u Grafikonu 1. Zbog lakšeg prikaza u grafikonu mjerna jedinica za kapacitet je izražena u pF.

Tablica 4. Odnos kapaciteta sa količinom tekućine u spremniku

Uronjena duljina [cm]	Izmjerena vrijednost [F]	Količina tekućine [l]
0	$3,9 \cdot 10^{-11}$	0
2,9	$3,7 \cdot 10^{-10}$	0,6
5,8	$6,9 \cdot 10^{-10}$	1
8,7	$9 \cdot 10^{-10}$	1,4
11,6	$1,2 \cdot 10^{-9}$	1,8
14,5	$1,6 \cdot 10^{-9}$	2,4
17,4	$1,9 \cdot 10^{-9}$	2,9
20,3	$2,3 \cdot 10^{-9}$	3,5
23,2	$2,5 \cdot 10^{-9}$	3,8
26,1	$2,9 \cdot 10^{-9}$	4,4
29	$3,3 \cdot 10^{-9}$	5



Grafikon 1. Odnos izmjerenog kapaciteta i količine vode u spremniku

6. Zaključak

Kapacitivni mjerač količine goriva je posebna skupina mjerača. Princip rada mu se temelji na konstantnom uspoređivanju kapaciteta kondenzatora unutar spremnika s vanjskim, referentnim kondenzatorom. Kapacitivni način mjerenja je precizan i pouzdan način kada se dodatno eliminiraju problemi utjecaja temperature na prikaz i mjerenje te kada se kompenzira sustav spremnika za precizno prikazivanje prilikom nagiba zrakoplova pa s time i nagiba goriva u spremniku.

Ovim eksperimentom se prikazala funkcionalnost i izrada pojednostavljenog kapacitivnog mjerača količine goriva. Iz rezultata Tablice 2. se može uočiti odstupanje između proračunatih rezultata kapaciteta i rezultata očitanih s instrumenta (multimetra). Razlog toga odstupanja je neuzimanje u obzir relativne dielektričnosti vrećice za vakuumiranje, praktična ograničenja u pogledu nemogućnosti preciznog određivanja površine i udaljenosti između ploča te zbog nepreciznog mjerenja instrumenta i određenih gubitaka na spojevima s kondenzatorom i instrumentom. Ako se zanemare odstupanja između vrijednosti u Tablici 2. može se smatrati da je kapacitivni način mjerenja količine goriva funkcionalan iako je način izvedbe znatno pojednostavljen odnosno kada se koristi samo jedan kondenzator. U Tablici 3 se uočava veće pokazivanje vrijednosti kapaciteta naspram vrijednosti očitane kada je kondenzator bio uronjen 14,5 cm u vodu kao u Tablici 2. Iako je pomak kondenzatora bio samo 5 mm više u tekućinu instrument je pokazivao veće vrijednosti. Ako se uzme uronjenost kondenzatora od 14,5 cm i pripadajuća očitana vrijednost od $1,6 \cdot 10^{-9}$ F (sljedeća veća vrijednost: 17,4 cm i $1,9 \cdot 10^{-9}$ F) te se usporedi s uronjenosti kondenzatora od 15 cm i očitanoj vrijednosti od $1,8 \cdot 10^{-9}$ F može se zaključiti da instrument prikazuje veće vrijednosti kapaciteta i odstupanja kada je spremnik pod nagibom naspram spremnika u vodoravnom položaju. Do takvog povećanja dolazi zbog nepravilnog položaja davača u odnosu prema površini i razini goriva, u slučaju eksperimenta vode. Taj problem se riješio paralelnim spajanjem davača kao što je spomenuto u poglavlju 3.3.

Mjerenje količine goriva u spremnicima zrakoplova je od velike važnosti kao informacija pilotu o općenitoj situaciji leta te i samom faktoru sigurnosti. Nemogućnost praćenja količine goriva te nepreciznost mjerenja mogu imati katastrofalne posljedice u pogledu sigurnosti leta te njegovih putnika i osoblja. Precizno i pouzdano praćenje podataka u zrakoplovstvu omogućuje bolje iskorištavanje i planiranje leta pa samim time do izražaja dolazi i ekonomičnost.

Literatura

- [1] T. Bucak i I. Zorić, Zrakoplovni instrumenti i prikaznici, Zagreb, 2002..
- [2] ElectronicsTutorials. Preuzeto sa: https://www.electronicstutorials.ws/capacitor/cap_1.html [Pristupljeno: kolovoz 2020.].
- [3] Britannica. Preuzeto sa: <https://www.britannica.com/science/dielectric-constant> [Pristupljeno: kolovoz 2020.].
- [4] J. Ivošević, Zrakoplovni instrumenti; Zbirka riješenih primjera i zadataka, Zagreb2020.
- [5] Gill Sensors & Controls. Preuzeto sa: <https://www.gillsc.com/newsitem/51/how-does-capacitive-level-sensing-work-> [Pristupljeno: kolovoz2020.].

Popis tablica

1. Tablica 1. Potrebni dijelovi, materijali, alati9
2. Tablica 2. Usporedba dobivenih rezultata.....13
3. Tablica 3. Usporedba dobivenih rezultata spremnika pod nagibom.....14
4. Tablica 4. Odnos kapaciteta sa količinom tekućine u spremniku.....15

Popis slika

Slika 1. Mehanički mjerač s izravnim očitanjem.....	2
Slika 2. Mehanički mjerač s kapaljkom.....	3
Slika 3. Mehanički mjerač s pomičnom prozirnom šipkom.....	3
Slika 4. Mehanički mjerač s plovkom za visokokrilce	4
Slika 5. Mehanički mjerač s plovkom za niskokrilce	4
Slika 6. Mehanički mjerač s plovkom, kalibriranom šipkom i magnetima.....	5
Slika 7. Mjerač s plovkom i magnetnim prijenosom.....	5
Slika 8. Hidrostatički mjerač količine goriva	6
Slika 9. Električni mjerač količine goriva	6
Slika 10. Kapacitivni mjerač količine goriva	7
Slika 11. Načelo kompenzacije nagiba spremnika	8
Slika 12. Aluminijska plosnata šipka	10
Slika 13. PEHD cijev za vodu	10
Slika 14. Kondenzator izrađen u svrhu eksperimenta	11
Slika 15. Instrument korišten u eksperimentu	13

Popis kratica

C - kapacitet kondenzatora

F – Farad [mjerna jedinica električnog kapaciteta]

ϵ_0 - dielektrična konstanta vakuuma

ϵ_r - relativna dielektrična permitivnost dielektrika

ϵ_{rz} – relativna dielektričnost zraka

ϵ_{rg} - relativna dielektričnost goriva

ϵ_{rv} – relativna dielektričnost vode

ϵ_{rp} – relativna dielektričnost vrećice za vakuumiranje

S - površina ploča

S_z - površina ploča sa zrakom kao dielektrikom

S_g - površina ploča sa gorivom kao dielektrikom

d - međusobna udaljenost kondenzatora

h_g – visina stupca goriva

h_{uk} – visina spremnika goriva

k – faktor razmjernosti

C_{UK} - ukupni kapacitet

C_z - kapacitet kondenzatora sa zrakom kao dielektrikom

C_g - kapacitet kondenzatora sa gorivom kao dielektrikom

cm – centimetar

mm – milimetar

l - litra



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
objavljenju 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 **PRORAČUN PARAMETARA I IZRADA KAPACITIVNOG MJERAČA**

KOLIČINE GORIVA

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

U Zagrebu, 9/5/2021

Student/ica:

Jure Črapić
(potpis)