

# Elektroenergetska bilanca zrakoplova ZLIN 242 L

---

**Gregorović, Petar**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:119:799747>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-25**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

Petar Gregorović

**DIPLOMSKI RAD**

ELEKTROENERGETSKA BILANCA ZRAKOPLOVA  
ZLIN 242L

ELECTRIC ENERGY BALANCE FOR ZLIN 242L  
AIRPLANE

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 22. veljače 2024.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Avionika i IFR letenje**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 7408**

Pristupnik: **Petar Gregorović (0135258886)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Elektroenergetska bilanca zrakoplova ZLIN 242 L**

Opis zadatka:

Analizirati elektromrežu zrakoplova ZLIN 242 L. Izračunati elektroenergetsku bilancu zrakoplova za dva različita leta; jedan u uobičajenoj eksploataciji, a drugi sa uključenim svim električnim potrošačima. Mjerenje jakosti el. struje i el. napona izvora el. energije provesti za 5 različitih režima: polijetanje, penjanje, krstarenje, spuštanje i slijetanje. Analizirati utjecaj pojedinih potrošača na autonomiju zrakoplova pri otkazu generatora.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

ELEKTROENERGETSKA BILANCA ZRAKOPLOVA  
ZLIN 242L

ELECTRIC ENERGY BALANCE FOR THE ZLIN 242L  
AIRPLANE

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Student: Petar Gregorović

JMBAG: 0135258886

Zagreb, svibanj 2024.

## Sažetak

U ovom radu je obrađena električna mreža zrakoplova Zlin 242L te je provedeno ispitivanje mreže, odnosno električnog napona i jakosti struje izvora električne energije, tokom 5 režima leta; polijetanje, penjanje, krstarenje, spuštanje i slijetanje. Navedenih 5 režima leta mjereno je u dva moda rada, normalna eksploatacija i eksploatacija sa svim uključenim električnim potrošačima. Svi podaci korišteni tokom istraživanja su dobiveni tokom stvarne eksploatacije zrakoplova koji je u vlasništvu Hrvatskog Ratnog Zrakoplovstva. Pomoću prikupljenih podataka napravljen je dijagram opterećenja električnog izvora te je određena potrošnja pojedinih potrošača i njihov utjecaj na istrajnost akumulatora. Zatim su dobiveni podaci uspoređeni s podacima iz AFM-a. Zaključeno je da je potrošnja električne energije, neovisno o modu rada, u režimima penjanja, krstarenja te spuštanja gotovo ista, a najveća tokom polijetanja i slijetanja. Međutim, razlika u potrošnji između normalnog moda rada i maksimalnog opterećenja (simulacija leta noću u uvjetima zaleđivanja) iznosi 90,5 %. Također, određeno je opterećenje električne mreže od strane pojedinih potrošača te je pomoću toga izračunata istrajnost akumulatora u slučaju otkaza generatora koja iznosi 3,17 sati pri normalnom radu, a pri maksimalnom opterećenju 1,06 sati. Time je utvrđeno da akumulator pruža više nego dovoljno vremena pilotu kako bi osigurao sigurno slijetanje.

Ključne riječi: Zlin 242L; generator zrakoplova; akumulator zrakoplova; elektroenergetska bilanca; dijagram opterećenja električne mreže

## Summary

This paper analyzes the electrical network of the Zlin 242L aircraft and tests electrical grid, meaning its electrical current and voltage from the power source, during 5 flight regimes: takeoff, climb, cruise, descent and landing. Those 5 flight regimes were measured in 2 modes, during normal operation and with all electrical consumers turned on. All data used during research were obtained in real flight with the aircraft owned by Croatian AirForce. Collected data was then used to make a load diagram of aircraft power source and to determine individual electrical consumer's consumption of electrical energy and their impact on battery endurance. Results were then matched with the data found in AFM. It was concluded that the consumption of electrical energy, independent of flight mode, was nearly identical during climbing, cruising and descending, and peaked during take-off and landing. However, the difference in consumption between normal operation and maximum load (simulated flight at night in icing conditions) is 90,5 %. Also, the load on the electrical network by individual consumers was determined, and with this the endurance of the battery, in case of generator failure, was calculated to be 3,17 h during normal operations, and 1,06 h during maximum load. This determined that the battery provided more than enough time for the pilot to ensure a safe landing.

Keywords: Zlin 242L; aircraft generator; aircraft battery; electro-energy balance; electric network load diagram

# Sadržaj

1. Uvod .....	2
2. Opće karakteristike zrakoplova Zlin 242L .....	3
2.1. Struktura i dimenzije .....	4
2.2. Performanse i letna ograničenja.....	5
2.3. Ploča instrumenata .....	5
3. Električna mreža zrakoplova Zlin 242L .....	7
3.1. Generator .....	9
3.2. Glavna baterija.....	10
3.3. Pomoćne baterije.....	11
3.4. Vanjski izvor .....	12
3.5. Prekidači, osigurači i kontrolna kutija .....	13
3.5.1. Prekidači .....	13
3.5.2. Osigurači.....	14
3.5.3. Kontrolna kutija .....	15
3.6. Regulator napona .....	16
3.7. Pokretanje, eksploatacija i prekid rada elektrosustava zrakoplova.....	17
3.8. Izvanredni događaji i postupci.....	18
3.8.1. Otkaz generatora .....	18
3.8.2. Otkaz samo jednog osigurača .....	19
3.8.3. Potpuni elektro otkaz.....	19
3.8.4. Neaktivan/otkaz upozorenja sloma uzgona .....	19
4. Elektroenergetska bilanca zrakoplova .....	20
5. Mjerenje elektroenergetske bilance za zrakoplov Zlin 242L.....	22
6. Analiza rezultata.....	24
7. Primjena rezultata na daljnju eksploataciju zrakoplova .....	28
8. Zaključak .....	29
Literatura.....	31

# 1. Uvod

Ovaj diplomski rad naziva „Elektroenergetska bilanca zrakoplova Zlin 242L“ analizira prikupljene podatke potrošnje električne energije zrakoplova Zlin 242L tokom pet režima leta te dva različita načina rada, normalno opterećenje električne mreže pri eksploataciji te maksimalno opterećenje. Cilj ovog rada je analizirati opterećenje izvora električne energije električne mreže i izraditi dijagram na temelju dobivenih podataka.

Prvi dio rada govori o općim podacima i karakteristikama zrakoplova Zlin 242L. Nadalje, u drugom dijelu objašnjena je električna mreža zrakoplova i princip rada, odnosno međusobna povezanost dijelova mreže, pojedini dijelovi te normalne i izvanredne situacije. Zatim, u trećem dijelu objašnjena je elektroenergetska bilanca te kako ju proračunati. Potom se u četvrtom dijelu opisuje način mjerenja podataka, a u petom dijelu se analiziraju izmjereni podaci. Konačno, u šestom dijelu dobiveni se podaci uspoređuju s mjerenjima proizvođača te se predlažu mjere kako unaprijediti postupke tokom izvanrednih situacija.

Cilj ovog diplomskog rada je objasniti elektroenergetsku bilancu i izračunati istu za manji klipni zrakoplov na primjeru Zlin 242L te kako se ona određuje, a zatim donesene zaključke primijeniti na eksploataciju zrakoplova.

## 2. Opće karakteristike zrakoplova Zlin 242L

Zrakoplov Zlin 242L je jednomotorni, niskokrilac, dvosjed (sjedala jedno pokraj drugog) metalne konstrukcije, s fiksnim stajnim trapom tipa tricikl s nosnim kotačem namijenjen za obuku, panoramske letove te akrobatsko letenje [1]. Pogonska skupina se sastoji od klipnog motora marke Lycoming AEIO-360-A1B6 koji izravno pogoni elisu s 3 kraka marke Hartzell HC-C3YR-4BF/FC 6890. Avion je razvijen i pravljen u Češkoj tvrtki Zlin Aircraft [2].

Razvoj Zlina 242L je započeo 1960.-ih godina sa prvom verzijom imena Z 42. Kroz godine su došle brojne nadogradnje na osnovnu konstrukciju te je tako nastao Z 142. Z 242L je nastao zamjenom rednog motora sa 6 cilindara sa bokser motorom s 4 cilindra. Značajan broj ratnih zrakoplovstava koristi neku varijantu Zlina za provođenje obuke, uključujući i Hrvatsko Ratno Zrakoplovstvo koje koristi Z 242L varijantu (HRZ).

Unutar HRZ-a ovaj zrakoplov se koristi za selekcijsko letenje u svrhu obučavanja kandidata za vojne pilote osnovama upravljanja avionom te se do nedavno koristio za temeljno akrobatsko letenje. Na Slici 1. prikazan je izgled aviona kojeg koristi HRZ.



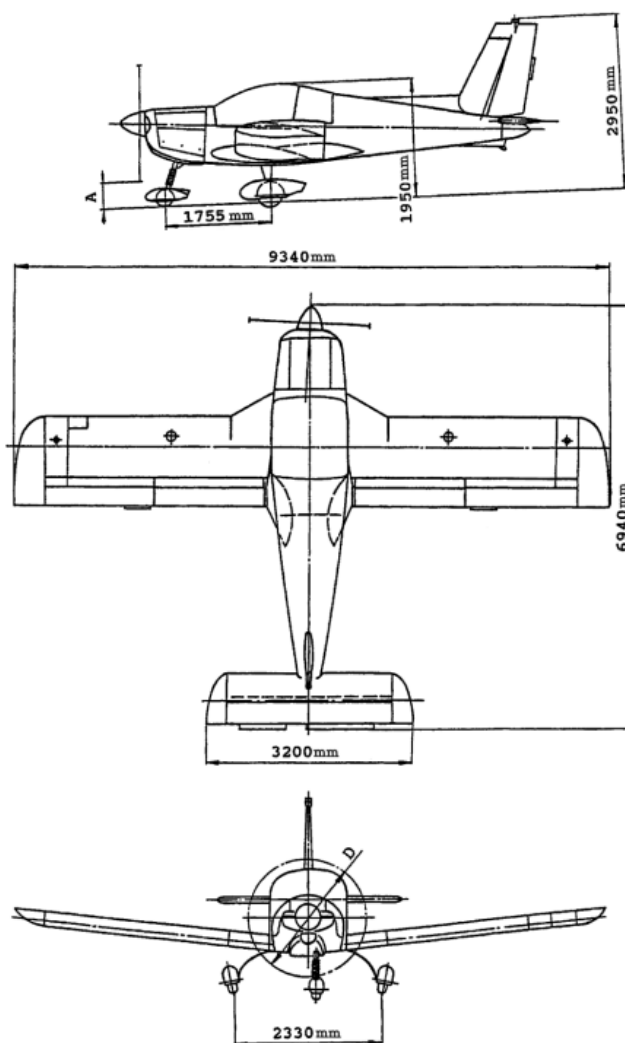
Slika 1. Zrakoplov Zlin 242L u službi HRZ-a [3]



## 2.1. Struktura i dimenzije

Srednji dio trupa kruta je rešetka izrađena zavarivanjem čeličnih cijevi. Sastoji se od ramenjače, vodoravnih, okomitih i dijagonalnih cijevi te oplata od stakloplastike. Stražnji dio trupa poluljuskaste je konstrukcije. Kod takvih konstrukcija oplata preuzima većinu opterećenja. [2] Zbog takve konstrukcije omogućeno je maksimalno dozvoljeno opterećenje od  $+6 / -3,5$  g u akrobatskoj kategoriji. Konstrukcija krila je jednodijelna bez kuta strijele površine 13,86 kvadratna metra i sa diedrom od 6 stupnjeva [1].

Dimenzije zrakoplova su prikazane na slici 2. Dužina zrakoplova iznosi 6,94 m, raspon krila iznosi 9,34 m, a visina iznosi 2,95 m. Raspon između nosnog kotača i glavnih kotača podvozja iznosi 1,755 m, a raspon između kotača glavnog trapa iznosi 2,33 m.



Slika 2. Dimenzije aviona Zlin 242 L [3]

## 2.2. Performanse i letna ograničenja

Avion pogoni klipni motor kojeg zajednički proizvode tvrtke „Lycoming“ naziva AEIO-360-A1B6 nominalne snage 210 konjskih snaga i zapremnine 5,92 litre, odnosno 360,97 kubnih inča sa smjerom vrtnje u smjeru kazaljke na satu gledajući iz kabine. Stupanj kompresije motora iznosi 8,7:1. Propeler proizvodi tvrtka „Hartzell“ pod nazivom HC-C3YR-4BF/FC 6890 koji se sastoji od 3 kraka s mogućnošću ručne promjene koraka u zraku. Maksimalna dozvoljena indicirana brzina zrakoplova iznosi 172 čvora, odnosno 319 km/h, a maksimalna visina iznosi 15.750 stopa u akrobatskoj kategoriji, odnosno 4 800 metara [1].

U Tablici 1 su navedene performanse i letna ograničenja za pojedinu kategoriju zrakoplova Zlin 242.

Tablica 1. Performanse i letna ograničenja zrakoplova Zlin 242L

Kategorija Aerobatic (A)	MTOW / MLW 970 kg
Kategorija Utility (U)	MTOW / MLW 1020 kg
Kategorija Normal (N)	MTOW / MLW 1090/1050 kg
Maksimalna brzina zrakoplova ( $V_{NE}$ )	172 kt / 319 km/h
Brzina krstarenja ( $V_{NO}$ )	135 kt / 250 km/h
Maksimalna brzina ( $V_{FE}$ )	99 kt / 184 km/h
Maksimalno opterećenje	
(A)	+6g / -3,5g
(U)	+5g / -3g
(N)	+3,8 / -1,52g
Maksimalna operativna visina	
(A)	15 750 ft / 4 800 m
(U)	15 100 ft / 4 600 m
(N)	14 750 ft / 4500 m

## 2.3. Ploča instrumenata

Ploča instrumenata (slika 3.) sastoji se od potpornog okvira, lijeve, desne i središnje ploče. Ploče su pričvršćene za okvir pomoću ublaživača koji neutraliziraju vibracije [2]. Položaj

instrumenata je određen na način da se pilotu što više olakša očitavanje. Također, raspored pojedinih instrumenata je uvjetovan time koliko je pojedini instrument bitan. Stoga se na lijevoj strani ploče, ispred pilota, nalaze instrumenti bitni za let (brzinomjer, umjetni horizont, visinomjer, etc.), u sredini se nalaze radiokomunikacijski i navigacijski sustavi, a s desne strane i na sredini nalaze se instrumenti za mjerenje parametara rada motora (mjerač količine goriva, prikaznik temperature ispušnih plinova, etc.) te otvori za ugradnju dodatnih instrumenata i prikaznika. Iznad središnje ploče instrumenata nalazi se ploča sa svjetlosnim upozorenjima (engl. *annunciator panel*) i gumb za provjeru rada svjetlosnih upozorenja.



Slika 3. Ploča instrumenata [2]

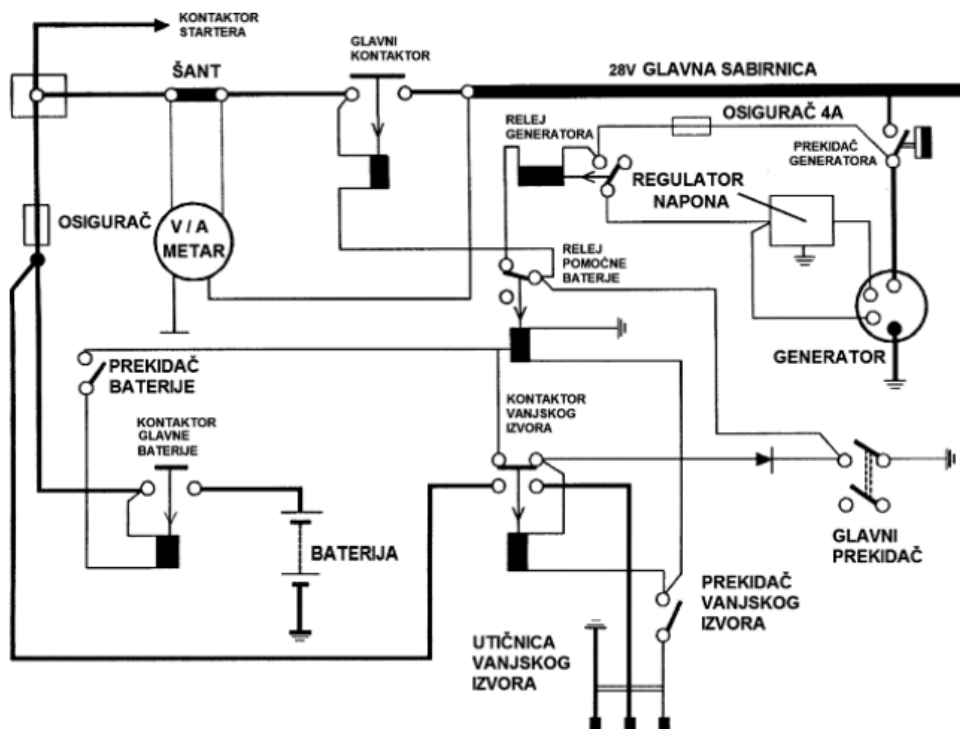
Elektronička oprema zrakoplova Zlin 242L se sastoji od audiomješačke kutije (engl. Audio Control Panel), vrlo visoko frekventnog (engl. Very High Frequency – VHF) radiokomunikacijskog navigacijskog sustava, digitalnog prijmpredajnika, uređaja za automatsko određivanje smjera leta/radiokompasa, transpondera, uređaja za lokalizaciju aviona u slučajevima opasnosti (engl. Emergency Locator Transmitter – ELT), uređaja za mjerenje/snimanje podataka o okomitom ubrzanju tijekom leta (engl. Acceleration Monitoring Unit – AMU), ploče sa svjetlosnim upozorenjima i kontrolne kutije (engl. Control Block) [2]

### 3. Električna mreža zrakoplova Zlin 242L

Električna mreža sastoji se od izvora električne energije (vanjski izvor napajanja, akumulator, generator) te potrošača električne energije. Izvori električne energije za zrakoplov Zlin 242L su: glavna baterija, pomoćna baterija, generator (alternator) i vanjski izvor napajanja, a potrošači električne energije su: osvjetljenje aviona, sustavi motora, instrumenti i elektronička oprema aviona - avionika [2].

Električna mreža zrakoplova sastoji se od jedne glavne sabirnice koja ima ulogu plus-pola, a ulogu minus-pola vrši konstrukcija zrakoplova. DC mreža je napona 28 V i primarni izvor električne energije za mrežu je alternator pogonjen od strane motora koji pruža 60 A jakosti struje [1]. Glavna sabirnica je električni vodič većeg poprečnog presjeka na koji su, sa svojim osiguračima, spojeni zasebni strujni krugovi električne mreže aviona. Sabirnica se napaja od svih izvora električne energije preko glavnog kontaktora. Na manjim avionima, kao što je Zlin 242L, sabirnica se sastoji od bakrenih traka koje zbog prijenosa napona karakterizira mali otpor. Bakrene trake su izolirane međusobno od oplata aviona [2].

Na slici 4. prikazana je pojednostavljena shema električnog sustava avion Zlin 242L.



Slika 4. Pojednostavljena shema električnog sustava aviona Zlin 242L [1]

Na shemi možemo vidjeti sve izvore električne energije te kako se pojedini uključuju u električnu mrežu zrakoplova. Glavni izvor električne mreže je generator kojeg, u slučaju otkaza, zamjenjuje glavna baterija te pomoćne baterije. Releji generatora uključuju generator u mrežu aviona, a ispred njega se nalazi regulator napona koji nadzire rad generatora te on otvara/zatvara relej ovisno o očitanoj napona. Glavna baterija se spaja u strujni krug pomoću prekidača baterije koja je sekundarni izvor napajanja mreže. Releji glavne baterije su zaduženi za uključivanje baterije u električnu mrežu preko kontaktora. Na istom principu se i pomoćne baterije uključuju u električnu mrežu. Volt-ampermetar je spojen paralelno sa šantom (precizno baždareni prenosni otpornik) te on pokazuje napon glavne baterije, struju punjenja baterije i pražnjenje glavne baterije. Pri pokretanju motora najčešće se koristi vanjski izvor. Kada je vanjski izvor spojen mora se ručno uključiti u strujni krug pomoću prekidača u kabini. Glavni prekidač (engl. *Master Switch*) je zadužen za zatvaranje strujnog kruga i on se nalazi unutar kabine (prikazan na slici 5.). Glavni prekidač kontrolira sve krugove osim paljenja, budući da se magnetima upravlja pomoću prekidača za paljenje, i osvjetljenja kabine koje ima svoj vlastiti prekidač. Glavni kontaktor i releji su zaduženi za spajanje svih električnih izvora s glavnom sabirnicom.



Slika 5. Glavni prekidač zrakoplova Zlin 242L

Tokom pregleda aviona prije pokretanja, nakon postavljanja prekidača glavnog prekidača, baterije, generatora, motornih instrumenata te avionike u položaj „ON“, provjeravamo ispravnost ploče sa svjetlosnim upozorenjima prikazane na slici 6. U tom trenutku, s navedenim uključenim prekidačima, na ploči bi trebalo svijetliti žuto upozorenje „GENERATOR“, crveno „OIL PRESS LOSS“ te bijelo „STALL. WARN INACTIVE“. Nadalje, provjerava se ispravnost signalizacije na rad grijača Pitot-statičkog sustava. Prekidači grijača Pitot cijevi i statičkih

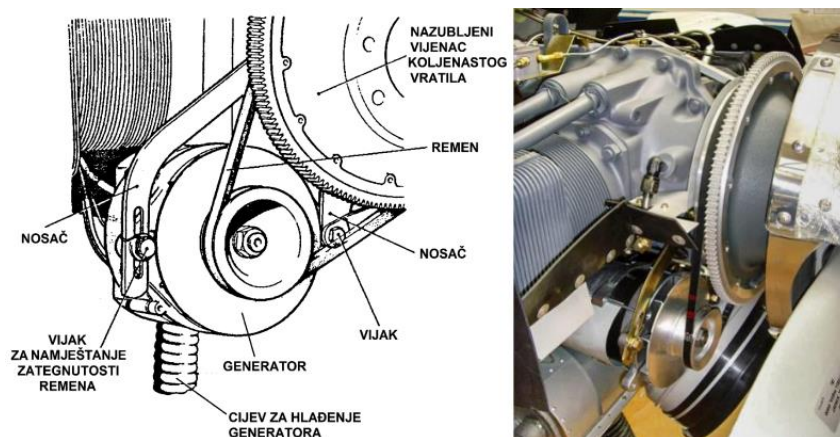
otvora se postavljaju u položaj „ON“ i tada bi zelene signalizacije „PITOT HEATING“ i „STATIC HEATING“ trebale svijetliti. Zatim se grijači isključuju. Zadnja provjera sustava vrši se pritiskom gumba za provjeru rada svjetlosnih upozorenja „SIGNALLING CHECK“. Njime se dodatno utvrđuje funkcija ploče sa svjetlosnim upozorenjima tako što za vrijeme dok je gumb pritisnut sva svjetlosna upozorenja moraju svijetliti te se provjerava ispravnost zvučne signalizacije za prevlačenje.



Slika 6. Ploča sa svjetlosnim upozorenjima

### 3.1. Generator

Generator (prikazan na slici 7.) se nalazi na prednjem dijelu motora s desne strane. Pogonjen je preko remena i remenice koja je dio nazubljenog vijenca koljenastog vratila te je vezan za glavčinu elise. Generator tokom eksploatacije napaja sve električne potrošače na avionu tijekom rada motora. Izmjenična struja koju proizvodi generator se pretvara u istosmjernu struju preko ispravljačkih sklopa. Pri brzini vrtnje motora od 2000 okretaja u minuti generator proizvodi napon od 28,2 V i struju jakosti 60 A [2]. Generator se u električnu mrežu uključuje pomoću prekidača „GENERATOR“ koji se nalazi na ploči s prekidačima. Releji generatora uključuje generator u električnu mrežu aviona.

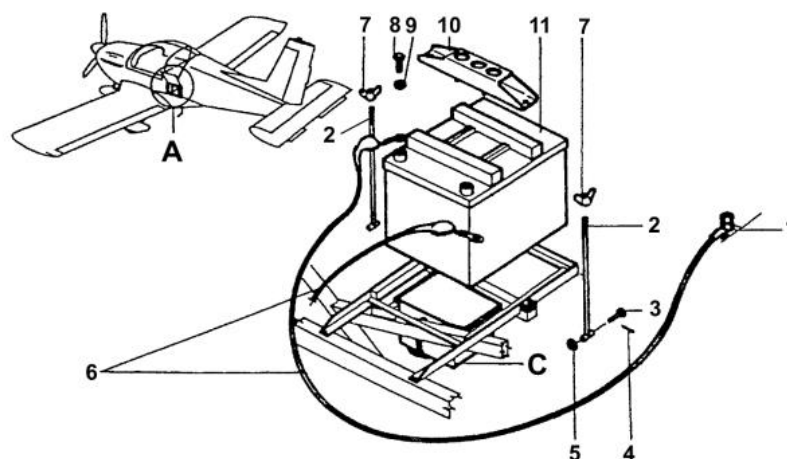


Slika 7. Generator zrakoplova Zlin 242L [2]

Kada se nakon pokretanja motora ostvare uvjeti za uključenje generatora, iznad 900 okretaja u minuti, prekidač vanjskog izvora potrebno je postaviti u položaj isključeno. Ako brzina vrtnje motora u bilo kojem trenutku padne ispod 900 okretaja u minuti, na ploči sa svjetlosnim upozorenjima pali se narančasto svjetlo upozorenja „GENERATOR“. To se događa zbog pada napona generatora ispod 26,2 V i regulator napona isključuje generator iz električne mreže. U tom slučaju napajanje mreže preuzima glavna baterija [2]. Nakon što motor ostvari brzinu vrtnje od 1000 okretaja u minuti, generator počinje napajati mrežu i puniti glavnu bateriju. Tada se svjetlosno upozorenje „GENERATOR“ gasi. Također, isto upozorenje se pali kada generator nije uključen u mrežu zbog opterećenja ili je zbog kvara ručno isključen iz mreže u sklopu procedure pri izvanrednom događaju.

### 3.2. Glavna baterija

Zlin 242L je opremljen litij-ionskom baterijom CONCORDE RG 24-20 (prikazana na slici 8.) nominalnog napona 24 V i kapaciteta 19 Ah. Baterija teži 19 kilograma te se nalazi na lijevoj strani trupa ispod odjeljka prtljage i to omogućava brz pristup i laku zamjenu. Ispod glavne baterije se nalaze i pomoćne baterije. Uključenje glavne baterije u električnu mrežu vrši se pomoću prekidača „BATTERY“ u kabini.



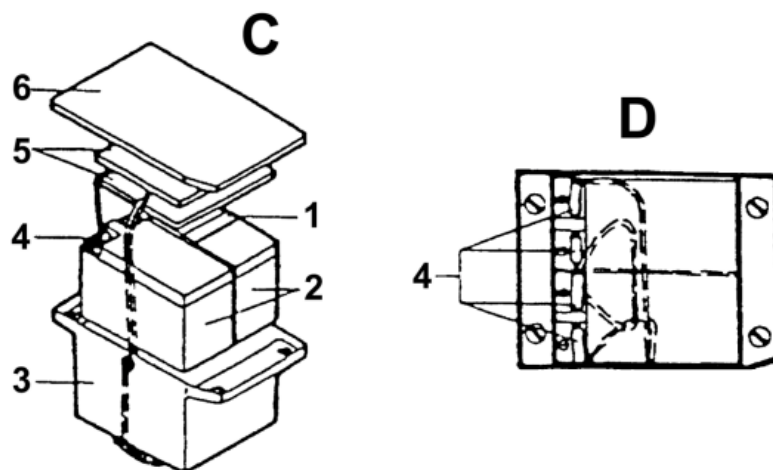
*A – pozicija ugradnje glavne baterije, C – pozicija ugradnje pomoćne baterije  
 1 – spoj s konstrukcijom aviona, 2 – upornica, 3 – svornjak, 4 – rascjepka, 5 – podložna pločica (šajba), 6 – kabljaža, 7 – matica, 8 – vijak pričvršćenja minus-pola, 9 – podložna pločica (šajba), 10 – držač baterije, 11 – glavna baterija CONCORDE RG 24-20*

Slika 8. Prikaz glavne baterije zrakoplova [5]

Kada su glavni prekidač i prekidač baterije u položaju uključeno, napajanje dolazi do kontaktora koji privlači kontakte i zatvara strujni krug. Na taj način glavna baterija je spojena i napaja električnu mrežu aviona dokle god generator ne preuzme tu ulogu. Također, glavna baterija se sastoji od 12 serijski spojenih izoliranih ćelija načinjenih od pozitivnih i negativnih olovnih ploča. Između njih se nalazi elektrolit koji sadrži sumpornu kiselinu i vodu [2]. Pregled baterije se vrši nakon 500 sati rada ili u slučaju kvara. Pregled se vrši na način da se utvrdi stvarni kapacitet baterije. U slučaju da je kapacitet manji od propisanog baterija se mijenja.

### 3.3. Pomoćne baterije

Izvanredni izvor napajanja zrakoplova se sastoji od dvije baterije marke SONNENSCHNEIN kapaciteta 1,1 Ah te napona 12 V, spojene u seriji (slika 9.) Smještene su ispod glavne baterije, a namjena im je napajanje prikaznika skretanja i klizanja te napajanje svjetla za osvjjetljenje kabine i svjetla za kartu u slučaju potpunog elektro otkaza električne mreže aviona. U slučaju spomenutog otkaza baterije se uključuju automatski u električnu mrežu uz mogućnost isključenja pomoću glavnog prekidača. U trenutku otkaza ostalih izvora napajanja, ako je glavni prekidač uključen, relej uključuje pomoćne baterije u strujni krug te zatim napajaju prije spomenute prikaznike.



*C – instalacija pomoćnih baterija, D – prikaz serijskog spoja pomoćnih baterija  
1 – traka, 2 – pomoćne baterije 12 V (2 kom.), 3 – kućište za baterije, 4 – priključak,  
5 – zaštitni poklopci od gume (2 kom.), 6 – zaštitni poklopac od gume (1 kom.)*

Slika 9. Pomoćne baterije zrakoplova [5]



Kada su pomoćne baterije spojene u strujni krug, uz prikaznik klizanja i skretanja će svijetliti zeleno svjetlo koje emitira svjetleća dioda na ploči s instrumentima „EMERGENCY SOURCE“. Kada se prekidač „FLIGHT INSTR“ postavi u položaj uključeno, dioda će se ugasi jer tada napajanje prikaznika preuzima generator, glavna baterija ili vanjski izvor.

### 3.4. Vanjski izvor

Vanjski izvor se koristi za pokretanje motora za normalnu eksploataciju ili tokom redovitog testiranja te za napajanje električne mreže tokom provjere instrumenata, avionike te cijele električne mreže. Preporuča se da se vanjski izvor koristi za pokretanje motora kako bi se izbjeglo preopterećenje glavne baterije. Također se preporuča izvor napona 28 V/150 A koji se spaja sa zrakoplovom kroz utičnicu koja se nalazi s lijeve strane, ispred vrata odjeljka akumulatora. Utičnica je standardnog tipa s jednim negativni polom i dva pozitivna pola. Priključak vanjskog izvora je zaštićen od iskrenja i struje suprotnog polariteta na način da je jedan od klinova utikača kraći (prikazano na slici 10.) čime se sprječava okretanje utikača naopako.



Slika 10. Utičnica vanjskog izvora [2]

Vanjski izvor se uključuje u električnu mrežu pomoću prekidača „EXT POW SOURCE“ kada je glavni prekidač uključen te napajanje dolazi do kontaktora koji privlači kontakte i

zatvara strujni krug. Uključenjem vanjskog izvora na električnu mrežu na ploči sa svjetlosnim upozorenjima pali se žuta indikacija (upozorba) korištenja vanjskog izvora. [2].

### 3.5. Prekidači, osigurači i kontrolna kutija

Električna mreža zrakoplova Zlin 242L napajana je preko glavne sabirnice. Izmjenična struja nastala u generatoru pretvara se u istosmjernu struju. Rad cijele mreže omogućen je preko glavnog prekidača spomenutog ranije. Nadalje, svaki od pojedinih potrošača ima svoj dodijeljeni prekidač koji zajedno s konektorima, razvodnicima i ostalom elektroopremom čine zasebne strujne krugove:

- Osnovni strujni krug,
- Strujni krug pokretanja motora,
- Strujni krug osvjetljenja i bljeskalica,
- Strujni krug grijača Pitotovih cijevi i statičkih davača,
- Strujni krug ploče sa svjetlosnim upozorenjima,
- Strujni krug svjetla za sprječavanje sudara,
- Strujni krug elektroničke opreme,
- Strujni krug žiroskopskih instrumenata i pomoćnog izvora napajanja,
- Strujni krug instrumenata za praćenje parametara rada motora i praćenje rada sustava aviona.

#### 3.5.1. Prekidači

Prekidači (prikazani na Slici 11.) smješteni su između sjedala na centralnoj ploči te ih je ukupno 14. Tijekom pokretanja motora zrakoplova na početku leta te tokom prijeljetnog pregleda aviona provjerava se ispravnost samih potrošača uključivanjem istih. Svi prekidači imaju samo dva položaja, uključeno/isključeno te su svi izvedeni u obliku poluge radi lakšeg korištenja.



Slika 11. Ploča s prekidačima

Iznad ploče s prekidačima nalaze se još dva osigurača (prikazani na Slici 12.) koji služe za uključenje komunikacijsko-navigacijskih sustava u električnu mrežu.



Slika 12. Prekidači komunikacijsko-navigacijskih sustava

### 3.5.2. Osigurači

Da bi se zaštitili ostali dijelovi sustava u slučaju preopterećenja električne mreže uslijed kvara ili drugih okolnosti, npr. udar groma, cijeli električni sustav i radionavigacijska oprema su zaštićeni osiguračima (Slika 13.). Oni prekidaju strujni krug i tako štite potrošače i samu mrežu aviona. Osigurači su smješteni na ploči ispod centralne ploče s instrumentima.

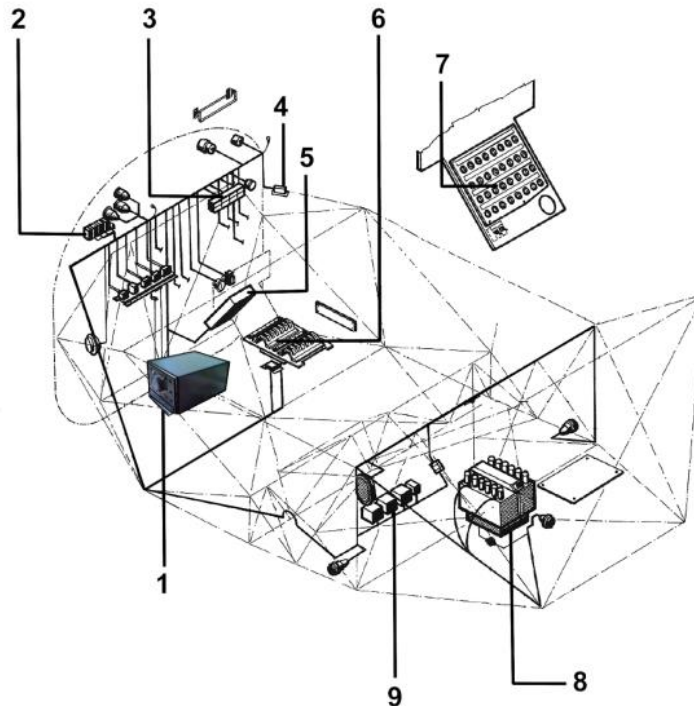


Slika 13. Ploča s osiguračima

Na zrakoplovu Zlin 242L od 2021. ugrađeni su automatski osigurači KLIXON. U slučaju preopterećenja, osigurač će iskočiti i tako prekinuti strujni krug. Međutim, u letu možemo ručno utisnuti osigurač koji je iskočio te tako ponovno zatvoriti strujni krug ako je potrebno. Također, u letu možemo ručno otvoriti ili resetirati strujni krug po potrebi. U zrakoplovu Zlin 242L možemo pronaći osigurače za struje od 1 A, 2 A, 3 A, 5 A, 7,5 A te 100 A. Osigurač od 100 A je glavni osigurač i on se nalazi u odjeljku glavne baterije i služi za zaštitu cijele električne mreže.

### 3.5.3. Kontrolna kutija

Kontrolna kutija (Slika 14.) elektronički je uređaj koji je ugrađen na podu iza ploče s osiguračima. Osnovna je namjena kontrolne kutije pratiti napon električne mreže i kontrolirati rad ploče sa svjetlosnim upozorenjima [2]. Kontrolna kutija je zaslužna za svjetlosnu indikaciju „GENERATOR“ koja se javlja ako napon mreže padne ispod  $26,2 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$ . Signalizacija se namješta pomoću potenciometra koji je ugrađen u kontrolnu kutiju. Također, kutija upravlja zvučnim upozorenjem koje se javlja u slučaju pada brzine blizu sloma uzgona.

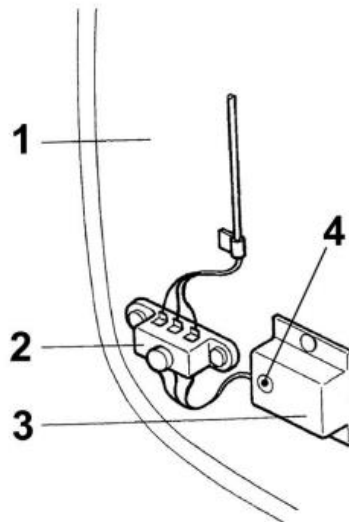


1 – kontrolna kutija, 2 – releji, 3 – ploča sa svjetlosnim upozorenjima,  
 4 – šant voltampermetar (VA), 5 – šant (grijači pitot-statike), 6 – prekidači,  
 7 – osigurači, 8 – glavna i pomoćna baterija, 9 – releji

Slika 14. Kontrolna kutija [2]

### 3.6. Regulator napona

Namjena regulatora napona održavanje je izlaznog napona generatora na propisanoj vrijednosti od 28,2 V pri brzini vrtnje motora od 2000 okretaja u minuti. Regulator napona LAMAR B-00368-17 (prikazan na Slici 15.) koji se nalazi u zrakoplovu elektroničkog je tipa i nalazi se na protupožarnom zidu. Ako je napon mreže veći ili manji, onda se namješta pomoću potencijometra na regulatoru. Izlazni napon generatora održava se konstantnim preko magnetnog polja pobudnog namotaja statora s kojim je regulator u serijskom spoju [2]. U slučaju da je brzina vrtnje motora manja od prije spomenutih graničnih 900 okretaja u minuti, napon neće biti dovoljno visok te regulator napona neće dati pobudu generatoru. U tom slučaju napajanje električne mreže preuzima glavna baterija dok se ne povećaju okretaji motora i uz to se pali lampica narančastog upozorenja „GENERATOR“ na ploči sa svjetlosnim upozorenjima.



1 – protupožarni zid, 2 – razvodnik, 3 – regulator napona,  
4 – potencijometar za namještanje napona

Slika 15. Prikaz regulatora napona [5]

U slučaju prevelikog napona od strane generatora, regulator napona tada isključuje generator iz mreže te se ponovo uključuje glavna baterija uz prije spomenuto upozorenje pilotima.

### 3.7. Pokretanje, eksploatacija i prekid rada elektrosustava zrakoplova

Prije pokretanja motora obavlja se prijeljetni pregled aviona. Potom se ulazi u kabinu te se provjeravaju upravljačke komande i instrumenti. Prije pokretanja motora provjeravamo da je vanjski izvor priključen te postavljamo glavni prekidač u položaj „ON“ te nakon njega uključujemo bateriju i generator. Potom prekidač vanjskog izvora također postavljamo u položaj „ON“ i pokrećemo motor. Nakon što okretaji motora dosegnu 1000 okretaja u minuti isključujemo prekidač vanjskog izvora te isključujemo i vanjski izvor iz utičnice. Zatim uključujemo avioniku pomoću prekidača „FLIGHT INSTR“ te „COM/NAV 1, 2“ koje postavljamo na „ON“. Nakon što utvrdimo da nije upaljena niti jedna signalizacija na ploči sa svjetlosnim upozorenjima, avion je spreman za let i svi elektrosustavi su ispravni i rade.

Prije zaustavljanja rada motora pilot postavlja prekidače „COM/NAV 1, 2“, „FLIGHT INSTR“ i „LIGHTING“ u položaj „OFF“. Zatim zaustavlja rad motora te nakon zaustavljanja ostale prekidače postavlja na „OFF“ i na kraju glavni prekidač postavlja na „OFF“ te napušta kabinu zrakoplova.

## 3.8. Izvanredni događaji i postupci

Za zrakoplov Zlin 242L u priručniku za letenje zrakoplova (engl. AFM - *Aircraft Flight Manual*) nalaze se četiri izvanredna događaja s propisanim procedurama vezanih uz električnu mrežu zrakoplova:

- Otkaz generatora,
- Otkaz samo jednog osigurača,
- Potpuni električni otkaz,
- Neaktivan/otkaz upozorenja sloma uzgona.

U nastavku su detaljnije objašnjeni navedeni izvanredni događaji te kako postupiti u skladu s njima. Navedene radnje i postupci su propisane u priručniku za letenje zrakoplova.

### 3.8.1. Otkaz generatora

U slučaju otkaza generatora na zemlji ili tokom leta javlja se žuta signalizacija „GENERATOR“ na ploči sa svjetlosnim upozorenjima što naznačuje da je napon električne mreže pao ispod 26,2 V. Nakon uočavanja signalizacije provjeravamo brzinu okretanja motora koja treba biti veća od 900 okretaja u minuti te da je prekidač „GENERATOR“ na položaju „ON“. Ako su oba uvjeta zadovoljena, provjeravamo volt-ampermetar. U slučaju da ampermetar pokazuje pražnjenje baterije, odnosno kazaljka pokazuje negativnu vrijednost „A“, tada prekidač „GENERATOR“ postavljamo na „OFF“. U slučaju da ampermetar pokazuje punjenje baterije, odnosno kazaljka pokazuje pozitivnu vrijednost „A“, tada prekidač „BATTERY“ postavljamo na „OFF“. Potom gasimo prekidače uređaja koji nam nisu neophodni za nastavak leta („COM/NAV 2“, „LANDING LIGHT“ i „PITOT HEATING“) i slijedimo na najbliži pogodni aerodrom unutar 30 minuta. Nakon leta baterija se pregledava u slučaju oštećenja.

### 3.8.2. Otkaz samo jednog osigurača

U slučaju otkaza jednog osigurača u zraku ili na zemlji, pogledom na ploču s osiguračima uočiti ćemo koji je osigurač u pitanju. Po zaustavljanju rada motora ugasio pa upalimo osigurač u pitanju. Ako se strujni krug koji je bio upitan ne aktivira tokom ispitivanja mijenjamo osigurač i zatim provjeravamo ispravnost novog osigurača. Pri mijenjanju važno je provjeriti da je novi osigurač namijenjen za istu struju kao i prethodni kako ne bi ugradili osigurač za manju struju.

### 3.8.3. Potpuni elektro otkaz

Potpuni elektro otkaz naznačuje istovremeni otkaz generatora i glavne baterije što dovodi do gubitka većine instrumenata. U tom slučaju pomoćne baterije preuzimaju napajanje prikaznika skretanja i klizanja, umjetnog horizonta, odnosno njegovog žiroskopa te svjetla za osvjetljenje kabine i svjetla za kartu. Uz to se pali zelena lampica „EMERG. SOURCE“ koja se nalazi pokraj prikaznika i signalizira da je izvanredni izvor preuzeo napajanje pokazivača skretanja i klizanja. Kapacitet pomoćnih baterija je dovoljan za napajanje spomenutih potrošača do 1 sat ako je pravilno održavan i napunjen. Unutar tih sat vremena moramo pronaći pogodan aerodrom za slijetanje te sletjeti. Izvanredni izvor po potrebi može biti isključen iz električne mreže postavljajući glavni prekidač u položaj „OFF“.

### 3.8.4. Neaktivan/otkaz upozorenja sloma uzgona

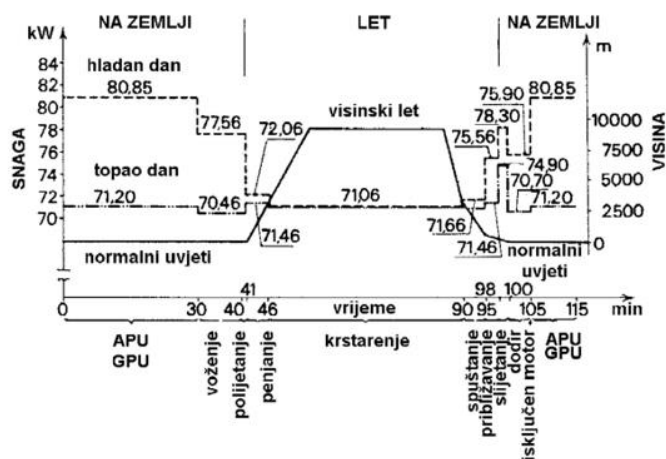
U slučaju otkaza ili neispravnog rada upozorenja sloma uzgona upaliti će se bijela signalizacija „STALL. WARN INACTIVE“ na ploči sa svjetlosnim upozorenjima. Signalizacija označava isključenost ili mogući kvar strujnog kruga koji upozorava pilota na mogućnost prevlačenja i služi kako bi informirala pilota. Provjera ispravnosti strujnog kruga za upozorenje sloma uzgona se vrši tokom pregleda aviona na zemlji pritiskom na gumb pokraj ploče sa sigurnosnim upozorenjima. Ako se signalizacija upali u zraku pilot treba povećati opreznost tokom prilaz za slijetanje i drugih manevara koji se izvode pri malim brzinama pošto je izgubio prvu naznaku mogućeg sloma uzgona. Nakon slijetanja provjerava se odgovarajući osigurač te se ispituje davač napadnog kuta i sami dijelovi strujnog kruga kako bi se utvrdilo gdje je nastao prekid.



## 4. Elektroenergetska bilanca zrakoplova

Elektroenergetska bilanca je statistika posebnog tipa kojom se prate tokovi energije od njezine pojave na promatranom izvoru do konačne predaje neposrednim potrošačima, odnosno pretvorbe u korisnu energiju u potrošačkim postrojenjima i aparatima [6]. Izračun elektroenergetske bilance koristi se za određivanje potrebne snage generatora i potrebnog kapaciteta akumulatora za napajanje električne mreže, u ovom slučaju zrakoplova. Primarni cilj svih ugrađenih izvora energije moraju moći pokriti maksimalna opterećenja električne mreže. Sekundarni cilj je zadovoljiti primarni cilj uz što veće smanjenje mase i dimenzija radi uštede goriva te prostora. Stoga, generator mora moći pružiti dovoljno snage za napajanje svih električnih potrošača istovremeno te mora moći kontinuirano napajati sve potrošače korištene pri normalnoj eksploataciji. Također, akumulator mora osigurati dovoljno dug period leta u slučaju otkaza generatora kako bi se sigurno moglo sletjeti na najbliži aerodrom. Zbog svih navedenih zahtjeva velika pažnja se posvećuje izračunu bilance zrakoplova i u njoj se uzimaju u obzir svi potrošači koji se nalaze unutar zrakoplova.

Analiza elektroenergetske bilance zrakoplova se provodi na temelju dijagrama opterećenja izvora električne energije tijekom leta [4]. Dijagram se sastoji od x-osi i y-osi. Na x-osi je prikazano vrijeme korištenja električne mreže koje se može podijeliti u segmente (na zemlji, let), a na y-osi je prikazana potrebna snaga izvora, odnosno njegovo opterećenje te se još može proširiti sa visinom, temperaturom, etc. Slika 16. predstavlja izgled proračuna elektroenergetske bilance za generičan zrakoplov.



Slika 16. Prikaz elektroenergetske bilance generičnog zrakoplova [7]

Ukupna energija u pojedinoj fazi leta može se odrediti pomoću izraza:

$$W = \sum_{i=1}^n P_i t_i \quad (1)$$

gdje  $P_i$  predstavlja prosječnu snagu u pojedinom režimu leta, a  $t_i$  predstavlja trajanje tog režima leta. Ukupna utrošena energija za vrijeme trajanja cijelog leta može se izračunati zbrojem utrošenih energija u pojedinim fazama leta, a prosječna snaga izvora može se izračunati pomoću formule:

$$P = \frac{W}{t} \quad (2)$$

gdje  $W$  predstavlja ukupnu energiju potrošenu tokom cijelog leta, a  $t$  predstavlja ukupno trajanje cijelog leta.

Kako bi mogli izračunati elektroenergetsku bilancu zrakoplova Zlin 242L potrebno nam je opterećenje izvora električne energije tijekom 5 režima leta: polijetanje, penjanje, krstarenje, spuštanje i slijetanje te za dva moda rada: normalno opterećenje i maksimalno opterećenje električne mreže. Sami postupak prikupljanja i mjerenja podataka te analize istih biti će detaljno opisan u poglavlju 5. i 6. Iz prikupljenih podataka biti će izrađen dijagram opterećenja izvora i pomoću njega ćemo odrediti minimalno, prosječno te maksimalno opterećenje izvora te prosječnu potrebnu snagu generatora za potrebe leta. Također, na temelju prije spomenutih podataka bit će utvrđen stvarni period tokom kojega glavna baterija može napajati mrežu s potrošačima neophodnima za let.

## 5. Mjerenje elektroenergetske bilance za zrakoplov Zlin 242L

Za mjerenje elektroenergetske bilance za zrakoplov Zlin 242L potrebno nam je znati opterećenje električnog izvora, odnosno njegove snage, od strane potrošača tokom pet faza leta. Znano je da je rad električne energije umnožak električnog napona  $U$ , jakosti električne struje  $I$  te vremena  $t$ , on se pri stalnoj istosmjernoj struji računa pomoću formule:

$$W = U \cdot I \cdot t \quad (3)$$

Potom nam je potrebna električna snaga  $P$  koja je definirana kao omjer rada  $W$  i vremena  $t$ . Iz toga slijedi da je električna snaga jednaka umnošku električnog napona te jakosti električne struje prema formuli:

$$P = U \cdot I \quad (4)$$

Zrakoplov Zlin 242L opremljen je analognim volt-ampermetrom (prikazan na Slici 17.) koji se nalazi na desnoj strani ploče instrumenata. Pomoću njega ćemo iščitavati napon  $V$  i jakost električne struje  $A$  što nam omogućuje računanje snage, odnosno opterećenje električnog izvora u vatima [4]. Na desnoj strani volt-ampermetra uočavamo da je odjeljak ispod vrijednosti 0 označen sa znakom „+“ što označava struju punjenja akumulatora, a odjeljak iznad vrijednosti 0, označen sa znakom „-“, prikazuje struju pražnjenja akumulatora. Volt-ampermetar je spojen na mrežu paralelno sa prenosnim otpornikom (Slika 4.) što mu omogućuje precizno mjerenje napona mreže i jakosti električne struje za vrijeme punjenja, odnosno pražnjenja akumulatora. Budući da tokom normalne eksploatacije generator kontinuirano puni akumulator, nije moguće dobiti podatke o opterećenju potrošača jer tada volt-ampermetar mjeri napon generatora i jakost struje kojom on puni akumulator. Stoga je za vrijeme mjerenja potrebno isključiti generator iz električne mreže kako bi akumulator postao glavni električni izvor i preuzeo napajanje. Tada mjerimo opterećenje potrošača na električnu mrežu pomoću napona i jakosti struje pražnjenja akumulatora.

Tokom jednog leta u trajanju od 40 minuta provedeno je mjerenje parametara potrebnih za mjerenje elektroenergetske bilance u svim režimima leta: polijetanje, penjanje, krstarenje, spuštanje te slijetanje. Svi režimi su dodatno ispitani u dva moda rada: normalna eksploatacija

i maksimalno opterećenje električne mreže. Podaci su očitani nakon isključivanja generatora iz električne mreže na kratko vrijeme dok se ne stabiliziraju potrebni parametri i zatim ponovno uključujemo generator. Tijekom mjerenja dodatno je korištena GoPro kamera koja je snimala za vrijeme cijelog leta te su snimci korišteni za dodatnu provjeru očitavanja te za određivanje trajanja pojedinog režima leta.



Slika 17. Volt-ampermetar

Let je izveden na isti način kao i standardni let, što znači da su radnje na zemlji, pokretanje i zaustavljanje rada motora te voženje odrađene kako je propisano u normalnim procedurama. Nadalje, na zemlji je moguće simulirati režime polijetanja i slijetanja pošto su te faze relativno kratkog trajanja i izvode se pri malim brzinama. Stoga se mjerenje vrši na zemlji na poziciji za čekanje kako bi se spriječilo moguće ugrožavanje sigurnosti leta. Za režime krstarenja, penjanja i spuštanja mjerenje je provedeno u zraku, u pilotažnoj zoni. Režim penjanja se izvodio od završetka polijetanja sve do 4000 ft, a režim spuštanja se zatim izvodio do 2000 ft u pilotažnoj zoni. Navedena mjerenja se vrše u dva moda rada, normalno opterećenje i maksimalno opterećenje. Razliku između navedenih modova rada čine uključeni navedeni potrošači koji se uključuju za mjerenje maksimalnog opterećenja, a koji su:

- Sustav grijanja Pitot cijevi,
- Sustav grijanja statičkih otvora,
- Osvjetljenje prekidača,
- Osvjetljenje instrumenata,
- Osvjetljenje kabine.

## 6. Analiza rezultata

Svi podaci koji su dobiveni tijekom leta prikazani su u Tablici 2. U tablici su prikazane vrijednosti napona i jakosti električne struje za prije navedenih pet režima leta u dva moda rada. Možemo uočiti da je struja pražnjenja tokom penjanja, spuštanja i krstarenja u normalnom modau rada ista i iznosi 10 A, kao i pri maksimalnom opterećenju te iznosi 19 A. Razlog tomu je korištenje istih potrošača za navedene režime, dok je u polijetanju i slijetanju struja pražnjenja u oba moda rada veća zbog korištenja električnih pumpi za gorivo.

Tablica 2. Vrijednosti napona i jakosti električne struje pražnjenja po režimima za vrijeme leta

Režim leta	Mod rada	Napon [V]	Struja pražnjenja [A]
Voženje	Normalan rad	24,5	10
	Maksimalno opterećenje	23,2	22
Polijetanje	Normalan rad	24,3	12
	Maksimalno opterećenje	23,8	23
Penjanje	Normalan rad	24,5	10
	Maksimalno opterećenje	23,9	19
Krstarenje	Normalan rad	24,3	10
	Maksimalno opterećenje	23,6	19
Spuštanje	Normalan rad	24,0	10
	Maksimalno opterećenje	23,3	19
Slijetanje	Normalan rad	24,1	12
	Maksimalno opterećenje	23,5	23

Pomoću dobivenih podataka iz tablice 2. te uz pomoć formule dane izrazom (4) možemo izračunati snage u vatima, odnosno opterećenje izvora. Također, uz pomoć izraza (1) možemo izračunati energiju u pojedinim fazama leta za oba moda rada. Vrijeme trajanja pojedinog

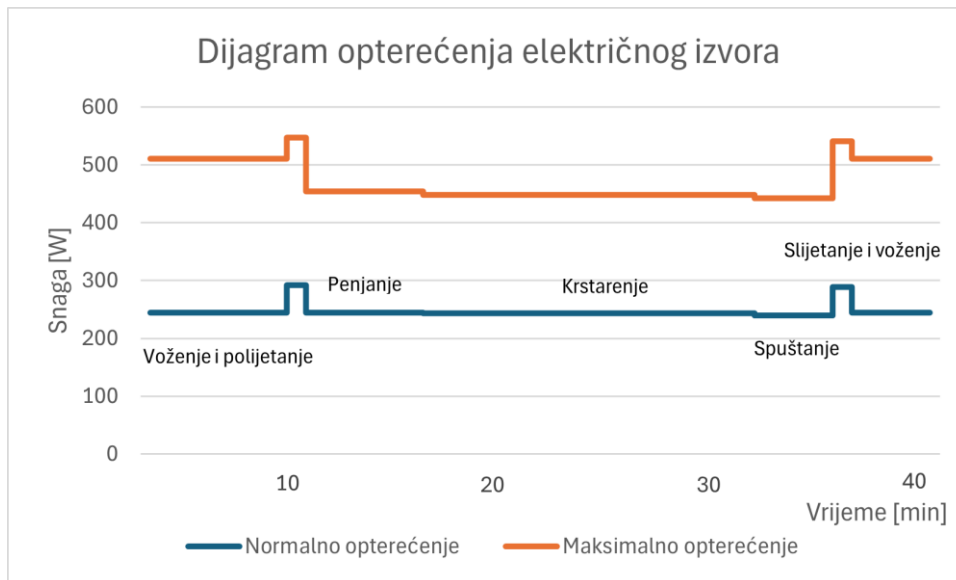
režima leta dobiveno je pomoću GoPro kamere koja je snimala cijeli let. Izračunate vrijednosti prikazane su u Tablici 3.

Tablica 3. Vrijednosti opterećenja, trajanje režima te ukupne energije po režimima za vrijeme leta

Režim leta	Mod rada	Opterećenje [W]	Trajanje režima [min]	Ukupna energija [kJ]
Voženje	Normalan rad	245,0	5,5	80,85
	Maksimalno opterećenje	510,4		168,43
Polijetanje	Normalan rad	291,6	1,0	17,50
	Maksimalno opterećenje	547,4		34,46
Penjanje	Normalan rad	245,0	9,0	132,30
	Maksimalno opterećenje	454,1		245,21
Krstarenje	Normalan rad	243,0	16,0	233,28
	Maksimalno opterećenje	448,4		430,46
Spuštanje	Normalan rad	240,0	4,0	57,60
	Maksimalno opterećenje	442,7		106,25
Slijetanje	Normalan rad	289,2	1,0	17,35
	Maksimalno opterećenje	540,5		32,43
Voženje	Normalan rad	245,0	3,5	51,45
	Maksimalno opterećenje	510,4		107,18

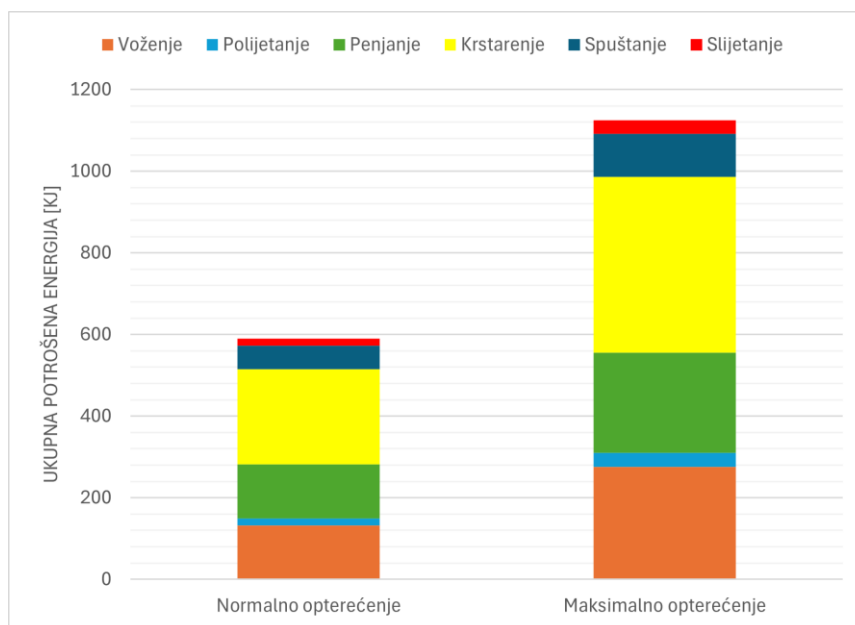
Nadalje, na Slici 18. prikazan je dijagram potrebne snage, odnosno opterećenja izvora tokom pojedinih faza leta te za dva moda rada. Na dijagramu je vidljivo da je najveća potrošnja ostvarena pri polijetanju i slijetanju kada su upaljene električne pumpe goriva. Nadalje, tokom voženja, struja pražnjenja je druga najveća zbog upaljenih svjetala za slijetanje i za voženje, koja su isključena nakon polijetanja. Također možemo uočiti veći napon u penjanju nego u

spuštanju, režimima koji su išli neposredno jedan iza drugog, što može značiti da se baterija nije stigla napuniti između uključivanja i isključivanja generatora, iako generator nije isključen dok se struja punjenja akumulatora nije smanjila na  $<1$  A. Struja punjenja akumulatora je bila 5-6 A tokom uključivanja generatora u električnu mrežu. U režimima penjanja, spuštanja te krstarenja nije dolazilo do većih razlika u opterećenju izvora.



Slika 18. Elektroenergetska bilanca zrakoplova Zlin 242L

Dijagram na Slici 19. prikazuje ukupnu potrošenu energiju za vrijeme leta po režimima leta i za oba moda rada.



Slika 19. Dijagram ukupne potrošene energije po režimima

Ukupna potrošena energija pri normalnom opterećenju iznosi 590,33 kJ, a pri maksimalnom opterećenju 1124,42 kJ. Koristeći se izrazom (2) i podacima u Tablici 3. izračunato je prosječno opterećenje električne mreže koje za normalnu eksploataciju iznosi 246 W, a kada su svi potrošači uključeni iznosi 468,5 W. Usporedbom prosječnih opterećenja izračunato je da je opterećenje pri maksimalnom opterećenju 90,5 % veće nego pri normalnom opterećenju električne mreže.

Uz to, tokom leta smo odredili potrošnju pojedinih potrošača. Nakon što smo sletjeli isključili smo generator i zatim smo isključivali jedan po jedan potrošač redosljedom kako su postavljeni prekidači na ploči s prekidačima. Rezultati mjerenja su zabilježeni u Tablici 4. U tablici je prikazana ukupna struja pražnjenja te napon na početku kada su svi potrošači uključeni. Zatim je upisana struja pražnjenja i napon kada je navedeni potrošač isključen.

Tablica 4. Napon i struja pražnjenja pojedinog potrošača

<b>Lista potrošača</b>	<b>Napon [V]</b>	<b>Struja pražnjenja [A]</b>
Svi potrošači uključeni	23,7	23
Svjetla za slijetanje	24,0	20
Svjetla za voženje	23,8	19
Navigacijska svjetla	23,8	19
Pozicijska svjetla	24,1	18
Sustav osvjjetljenja	23,7	17
Svjetla za sprječavanje sudara	23,5	16
Motorni instrumenti	23,8	15
Zrakoplovni instrumenti	23,7	14
Grijač Pitot cijevi	23,4	6
Grijač statičkih otvora	23,3	3
Avionika	23,4	1

Uz pomoć dobivenih podataka možemo napraviti usporedbu s podacima iz AFM-a i poboljšati već određene procedure što je i tema idućeg poglavlja.



## 7. Primjena rezultata na daljnju eksploataciju zrakoplova

U priručniku za letenje zrakoplova (AFM) otkaz generatora naveden je kao jedan od mogućih izvanrednih događaja. Zbog toga je potrebno utvrditi koliko dugo akumulator može napajati zrakoplov električnom energijom te ćemo taj podatak usporediti s onim navedenim u AFM-u. Kapacitet akumulatora, koji je objašnjen u poglavlju 3.2., iznosi 19 Ah, što će se koristiti za daljnje proračune, te on postaje glavni izvor napajanja u slučaju otkaza generatora. Kapacitet se računa uz pomoć formule:

$$C = I \cdot t \quad (5)$$

Zadaća akumulatora je opskrbljivanje zrakoplova električnom energijom, u slučaju otkaza generatora, dovoljno dugo kako bi omogućio pilotu sigurno prizemljenje aviona. Proizvođač je deklarirao da će akumulator moći opskrbljivati zrakoplov 30 minuta kada bi se ugasili svi potrošači osim najpotrebnijih. Uz pomoć izraza (5) i podataka o struji pražnjenja iz Tablice 4. možemo izračunati koliko vremena akumulator može napajati mrežu zrakoplova za pojedini režim. Pri normalnom modu rada, kada su uključeni potrošači *beacon*, *strobe* i pozicijska svjetla, motorni i zrakoplovni instrumenti te komunikacijski i navigacijski instrumenti, ukupna struja pražnjenja iznosi 6 A. Koristeći izraz 5 dobivamo efektivno vrijeme rada akumulatora od 3,17 sati. Međutim, u uvjetima zaleđivanja kada se koriste grijači Pitot cijevi i statičkih otvora te osvjetljenje instrumenata, vrijeme rada akumulatora pada na 1,06 sati. Proizvođač nije naveo pri kojem naponu će baterija prestati napajati potrošače. Gledajući Tablicu 4. vidimo da napon akumulatora kontinuirano pada, što je i za očekivati. Generator je tokom ispitivanja bio ugašen svega 2-3 minute, a napon je pao za 1 V stoga i to treba uzeti u obzir. Zbog toga možemo zaključiti da akumulator nije u stanju efektivno napajati električnu mrežu 3,17 sati odnosno 1,06 sati zbog pada napona nego je u rasponu od 30 minuta kao što je to proizvođač i naveo u AFM-u. Međutim, vidljivo je da je proizvođač uzeo sigurnosnu marginu kada je određivao vrijeme rada akumulatora.

Kako bi produžili rad akumulatora, u slučaju otkaza generatora možemo isključiti trenutno nepotrebne sustave poput *beacon* svjetla, *Com/Nav 2* te grijače Pitot i statičkog sustava ako se ne nalazimo u uvjetima zaleđivanja kako bi rad akumulatora povećali za oko 2,5 puta.

## 8. Zaključak

Zrakoplov Zlin 242L je jednomotorni, niskokrilac, dvosjed (sjedala jedno pokraj drugog) metalne konstrukcije, s fiksnim stajnim trapom tipa tricikl s nosnim kotačem namijenjen za obuku, panoramske letove te akrobatsko letenje. Zrakoplov proizvodi Češka aviokompanija Zlin te se koristi u sklopu HRZ-a za osnovnu obuku kadeta vojnih pilota.

Električna mreža zrakoplova sastoji se od izvora električne energije i potrošača koji su međusobno povezani preko glavne sabirnice. Glavni izvor električne mreže je generator koji proizvodi istosmjernu struju napona 28 V i jakosti struje 60 A. Pomoćni izvor napajanja je litij-ionski akumulator napona 24 V i kapaciteta 19 Ah. Uz to, u zrakoplovu se nalaze još dvije pomoćne baterije koje napajaju električnu mrežu u slučaju potpunog otkaza elektromreže kapaciteta 1,1 Ah i ukupnog napona 12 V.

Elektroenergetska bilanca je statistika kojom se prati električna energija od izvora do potrošača. Pomoću nje se određuje potrebna snaga, odnosno kapacitet, električnog izvora za sigurno kontinuirano napajanje električne mreže pri normalnom radu te pri maksimalnom opterećenju električne mreže. Izračun je numerički prikazan u Tablici 3. te grafički na Slici 18.

Prikupljanjem, računanjem i analizom podataka za zrakoplov Zlin 242L utvrđeno je da je potrošnja električne energije najveća u fazama polijetanja i slijetanja te pri voženju. Između ostalih režima razlika je vrlo mala. Između normalnog moda rata i moda pri maksimalnom opterećenju električne mreže razlika je 90,5%. Maksimalno opterećenje je simuliralo let u uvjetima zaleđivanja noću.

Za vrijeme normalnog moda rada struja pražnjenja iznosi 6 A. U slučaju otkaza generatora, gledajući samo struju pražnjenja, ne i napon, izračunali smo da bi akumulator mogao napajati električnu mrežu zrakoplova više od 3 sata ako pretpostavimo da je akumulator pri nominalnom kapacitetu. Proizvođač je predvidio rad akumulatora u istom slučaju od 30 minuta što nam govori da postoji sigurnosna margina. Time dolazimo do zaključka da je zrakoplov moguće prizemljiti u vremenu većem od propisanog od strane proizvođača u priručniku za letenje zrakoplova te da pilot ima dovoljno vremena za naći pogodno mjesto za prizemljiti zrakoplov.

U slučaju da ne uspije sletjeti, sami motor zrakoplova, osim električnih pumpi za gorivo, neovisan je o električnoj mreži zrakoplova što pridonosi sigurnosti zrakoplova.

## Literatura

1. Airplane Flight Manual Z 242-L, Moravan Aviation Ltd. Otrokovice, 2021.
2. Opis i rad aviona Zlin 242L, priručnik za obuku, nadnarednik Ivan Milin, Hrvatsko Ratno Zrakoplovstvo, 2023.
3. Završilo selekcijsko letenje za hrvatske vojne pilote, MORH, 2019. Preuzeto s: [https://morh.gov.hr/vijesti/završlo-selekcijsko-letenje-za-hrvatske-vojne-pilote/501](https://morh.gov.hr/vijesti/zavrсило-selekcijsko-letenje-za-hrvatske-vojne-pilote/501) [Pristupljeno 18. travnja 2024.]
4. Mislav Petrović, Elektroenergetska bilanca zrakoplova Pilatus PC-9M, Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2023. Preuzeto s: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A2966> [Pristupljeno 10. ožujka 2024.]
5. Zlin 242L Type rating – Student's book, Moravan Aviation s.r.o. 2007.
6. Energetske bilance, Opća Energetika, FESB, Preuzeto s: <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/oc/p4.pdf> [Pristupljeno 9. travnja 2024.]
7. Tino Bucak: Zrakoplovni elektrosustavi, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2013.

## Tablica Slika

Slika 1. Zrakoplov Zlin 242L u službi HRZ-a [3].....	3
Slika 2. Dimenzije aviona Zlin 242 L [3] .....	4
Slika 3. Ploča instrumenata [2] .....	6
Slika 4. Pojednostavljena shema električnog sustava aviona Zlin 242L [1].....	7
Slika 5. Glavni prekidač zrakoplova Zlin 242L .....	8
Slika 6. Ploča sa svjetlosnim upozorenjima.....	9
Slika 7. Generator zrakoplova Zlin 242L [2] .....	9
Slika 8. Prikaz glavne baterije zrakoplova [5] .....	10
Slika 9. Pomoćne baterije zrakoplova [5].....	11
Slika 10. Utičnica vanjskog izvora [2] .....	12
Slika 11. Ploča s prekidačima .....	14
Slika 12. Prekidači komunikacijsko-navigacijskih sustava .....	14
Slika 13. Ploča s osiguračima .....	15
Slika 14. Kontrolna kutija [2] .....	16
Slika 15. Prikaz regulatora napona [5] .....	17
Slika 16. Prikaz elektroenergetske bilance generičnog zrakoplova [7].....	20
Slika 17. Volt-ampermetar .....	23
Slika 18. Elektroenergetska bilanca zrakoplova Zlin 242L .....	26
Slika 19. Dijagram ukupne potrošene energije po režimima .....	26

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Elektroenergetska bilanca zrakoplova Zlin 242L, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ svibanj 2024. \_\_\_\_\_



(ime i prezime, potpis)