

Usporedba eksploatacijskih karakteristika nikal-kadmijevog i olovnog zrakoplovnog akumulatora

Pužar, Manuela

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:219711>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

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



Zagreb, 22. veljače 2024.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7413

Pristupnik: **Manuela Pužar (0135258914)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Usporedba eksploatacijskih karakteristika nikal-kadmijevog i olovnog zrakoplovnog akumulatora**

Opis zadatka:

Analizirati ulogu i namjenu, princip rada, konstrukcijske zahtjeve i vrste zrakoplovnih akumulatora. Objasniti način određivanja unutarnjeg otpora i kapaciteta te stanja napunjenosti akumulatora. Izmjeriti unutarnji otpor, kapacitet te stanje napunjenosti SP-1700 nikal-kadmijevog akumulatora koji se koristi na helikopteru Bell 206B i samoodrživog olovnog akumulatora koji se koristi na helikopteru Bell OH-58 Kiowa Warrior. Usporediti načine održavanja oba akumulatora. Komentirati i analizirati rezultate mjerenja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

USPOREDBA EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA
NIKAL-KADMIJEVOG I OLOVNOG ZRAKOPLOVNOG
AKUMULATORA

COMPARISON BETWEEN THE UTILIZATION OF NICKEL-CADMIUM
AND LEAD-ACID AVIATION BATTERIES

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Studentica: Manuela Pužar

JMBG:0135258914

Zagreb, svibanj 2024.

USPOREDBA EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA NIKAL-KADMIJEVOG I OLOVNOG ZRAKOPLOVNOG AKUMULATORA

SAŽETAK

U ovom je diplomskom radu obrađena tema usporedbe eksploatacijskih karakteristika nikal-kadmijevog i olovnog zrakoplovnog akumulatora. Provedeno je istraživanje i analiza uloga, načina održavanja i mjerenja kapaciteta nikal-kadmijevog i olovnog zrakoplovnog akumulatora. Također, prikazani su helikopteri Hrvatskog ratnog zrakoplovstva na kojima se koriste navedena dva akumulatora. Pojašnjene su opće tehničke karakteristike nikal-kadmijevog i olovnog akumulatora, detaljno je opisan način provedbe kapacitivnih testova na navedenim akumulatorima, njihovi načini održavanja te prednosti i nedostaci. Nakon provedbe analize i istraživanja, došlo se do zaključka kako je samoodrživi olovni akumulator isplativiji, manje zahtjevan prilikom održavanja te ima duži radni vijek u donosu na nikal-kadmijev akumulator.

KLJUČNE RIJEČI: nikal-kadmijev akumulator; samoodrživi olovni akumulator; kapacitivni test; održavanje akumulatora.

SUMMARY

This thesis describes the comparison between the utilization of nickel-cadmium and lead-acid aviation batteries. Research and analysis of use cases, maintenance methods and capacity measurement of nickel-cadmium and lead aviation batteries was carried out on helicopters of the Croatian Air Force, in which the aforementioned battery technologies are used. The general characteristics, testing methods, maintenance methods and respective advantages and disadvantages of nickel-cadmium and lead-acid batteries are described in detail. After conducting research and analysis, it was concluded that lead-acid aviation batteries are more profitable, less demanding during maintenance and has a longer service life than nickel-cadmium batteries.

KEYWORDS: nickel-cadmium battery; self-sustaining lead battery; capacitive test; way of maintenance.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Akumulatori	2
2.1. Razvoj akumulatora.....	2
2.1.1. Bagdadska baterija	2
2.1.2. Razvoj modernih baterija	3
2.2. Vrste akumulatora	4
3. Zrakoplovni akumulator SP-1700.....	6
3.1. Bell 206B-III JET RANGER	6
3.2. Nikal-kadmijev zrakoplovni akumulator SP-1700.....	8
4. Zrakoplovni akumulator TI206 MPU-24.....	11
4.1. Bell OH-58D Kiowa Warrior	11
4.2. Samoodrživi olovni akumulator	14
5. Mjerenje kapaciteta akumulatora	17
5.1. Mjerenje kapaciteta nikal-kadmijevog akumulatora	17
5.2. Mjerenje kapaciteta samoodrživog olovnog akumulatora.....	23
6. Održavanje i eksploatacija nikal-kadmijevog i samoodrživog olovnog akumulatora	28
6.1. Održavanje nikal-kadmijevog akumulatora	28
6.2. Održavanje olovnog akumulatora	30
6.3. Nabava dijelova.....	31
7. Analiza provedenog istraživanja	33
8. Zaključak.....	35
Literatura	36
Popis slika	38
Popis tablica	39

1. Uvod

U ovome radu provedena je analiza dva akumulatora koje Hrvatsko ratno zrakoplovstvo koristi u helikopterima Bell 206B-III JET RANGER i Bell OH-58D Kiowa Warrior.

U drugom poglavlju objašnjen je razvoj i svrha akumulatora. Predstavljen je prvi primjerak baterije kao i tko je zaslužan za cjelokupan razvoj akumulatora. Detaljno su navedene i objašnjene vrste akumulatora koje se danas koriste u zrakoplovstvu.

U trećem poglavlju definiran je nikal-kadmijev akumulator te njegova primjena na helikopteru Bell 206B-III JET RANGER. Opisan je helikopter Bell 206B-III JET RANGER, koje sve inačice helikoptera postoje te njegova električna mreža. Također je definiran i nikal-kadmijev akumulator SP 1700.

Četvrto poglavlje obrađuje samoodrživi olovni akumulator i njegovu upotrebu na helikopteru Bell OH-58D Kiowa Warrior. Opisan je helikopter Bell OH-58D Kiowa Warrior, njegova električna mreža, značajke i tehnički opis samoodrživog olovnog akumulatora te inačica samoodrživog olovnog akumulatora koja je proizvedena za helikopter Bell 206B-III JET RANGER.

Peto poglavlje obrađuje postupak mjerenja kapaciteta nikal-kadmijevog akumulatora i samoodrživog olovnog akumulatora. Detaljno je prikazan proces provedbe kapacitivnog testa nikal-kadmijevog akumulatora te njegovog ponovnog punjenja. Također opisan je način provjere razine kapaciteta kod samoodrživog olovnog akumulatora i njegov način punjenja.

Šesto se poglavlje temelji na načinu održavanja i same eksploatacije navedenih akumulatora. Objašnjeni su postupci načina održavanja, kao i procedura ukoliko akumulatori nisu više potrebni u eksploataciji. Opisuju se problemi vezani uz nabavku dijelova te problemi prilikom eksploatacije akumulatora.

U sedmom se poglavlju analiziraju i obrađuju svi podatci i dobiveni zaključci vezani uz nikal-kadmijev akumulator i samoodrživi olovni akumulator, kao što su načini održavanja i provjere kapaciteta akumulatora. Ujedno dolazi se do zaključka koji je od navedenih akumulatora zaista bolji i isplativiji.

2. Akumulatori

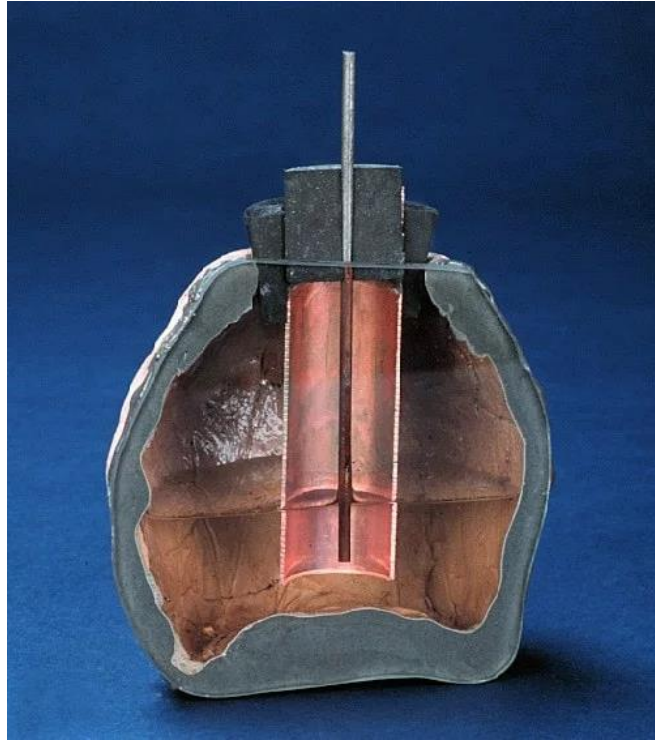
Akumulatori su uređaji koji pretvaraju kemijsku energiju u električnu što predstavlja pražnjenje. Također mogu pretvarati i električnu energiju u kemijsku što predstavlja punjenje akumulatora. Oni se sastoje od ćelija, od kojih svaka ima elektrolit, dvije elektrode i još druge komponente. Elektrode se dijele na anode što je negativna elektroda i na njoj se odvija oksidacija te katoda što je pozitivna elektroda i to je mjesto redukcije. Elektrolit olakšava prijenos iona između navedenih elektroda [1].

2.1. Razvoj akumulatora

Razvoj akumulatora odigrao je važnu ulogu u suvremenom svijetu. Tehnologija i način života drastično su se promijenili s obzirom na razvoj akumulatora (baterije) koji pruža mogućnost skladištenja energije i mobilnost. Potaknuo se veliki napredak u području komunikacije, transporta, medicine te u korištenju svakodnevnih uređaja [1].

2.1.1. Bagdadska baterija

Godine 1930. nedaleko od Bagdada, iskopana je grupa predmeta koji su poznati kao Bagdadska baterija, replika te baterije prikazana je na Slici 1. Bagdadska baterija datira otprilike iz 200. godina prije Krista i prvi je poznati primjerak baterije. Unutar svake takve baterije nalazio se bakreni cilindar koji je napravljen od glinene posude visoke 13 centimetara. Taj bakreni cilindar bio je osiguran asfaltom. Unutar bakrenog cilindra nalazila se oksidirana željezna šipka. U staklenku se mogao dodati elektrolit kao što je sok od limuna ili ocat. Kada bi se staklenka napunila električnom otopinom, bakar i željezo služili su kao elektrode te se smatralo da će proizvesti električnu struju [1].



Slika 1. Replika Bagdadske baterije, [2]

2.1.2. Razvoj modernih baterija

Baterije kakve su danas poznate, nastale su na prijelazu u 19. stoljeće. Prvu modernu bateriju izumio je talijanski fizičar Alessandro Volta 1800. godine. Za njegovo otkriće jednim je dijelom zaslužno istraživanje Luigija Galvanija, koje opisuje kako se kost žabe trzala kada je približio dva metala te je to nazvao "životinjskim elektricitetom" koji je bio prisutan u žabi. Volta se s takvim zaključkom nije slagao te je smatrao kako se radi o električnoj struji koja se nalazi između dva prisutna metala [1].

Volta je krenuo s razvojem stroja koji bi mogao konstantno provoditi električnu struju. Kako bi to postigao, napravio je elektrolit od tkanine koju je natopio slanom otopinom te je postavio između dva metala (cinka i bakra). Električna energija prolazila je kroz žicu koja je povezivala dva metala, zbog različitih električnih naboja bilo je potrebno da elektroni prelaze s jednog metala na drugi i tako se stvarao tok električne struje. Voltin izum smatra se pretečom suvremenih baterija. S obzirom na to da je Volta pridonio razvoju baterija, mjerna jedinica za električni potencijal je dobila naziv upravo po njemu, volt [1].

Iako je Volta napravio veliki korak u razvoju baterija, bilo je nedostatka. Jedan od najvećih bio je pad napona prilikom duljeg korištenja zbog nastajanja vodikovih mjehurića na elektrodama. Engleski znanstvenik John Federic Daniell, 1836. godine bavio se proučavanjem

ovoga fenomena nazvanog polarizacija. Daniell je stvorio vlastiti izum, napravio je zemljanu posudu te ju je uronio u bakreni lonac. Zemljana posuda dopuštala je ionima da prođu, no nije dolazilo do miješanja otopina. Ovo je dovelo do stabilnog i konstantnog napona u odnosu na Voltin izum. Volta i Daniell svojim su otkrićima doveli do velikog razvoja tehnologije i doveli do stvaranja suvremenih baterija [1].

2.2. Vrste akumulatora

Postoje razne vrste akumulatora koji su razvijeni, a neki se koriste u zrakoplovstvu.

- ◁ Olovni akumulatori - sastoje se od anode i katode koje su dvije olovne ploče uronjene u vodu razrijeđenu sumpornom kiselinom, što predstavlja elektrolit. Radi većeg kapaciteta, umjesto samo dvije ploče postavlja se više vezanih olovnih ploča. Iako olovne baterije imaju dobra svojstva vezana za skladištenje električne energije, dosta su teške i ukoliko se prepune može dovesti do ispuštanja vodikovog plina, što dovodi do eksplozije ili požara. Ove baterije se u zrakoplovstvu najčešće koriste kao primarni akumulator [3].
- ◁ Nikal-kadmijevi akumulatori – sastoje se od anode koja je od kadmijevog hidroksida i katode koja je od nikal hidroksida. Katoda i anoda su uronjene u elektrolit koji se sastoji od kalijevog, natrijevog i litijevog hidroksida. Ovakve baterije su jako pouzdane i imaju veliki raspon radnih temperatura. No, ukoliko dođe do prepune može doći do toplinskog bijega. Nikal-kadmijevi akumulatori imaju široku primjenu u zrakoplovstvu, a jedna od njih je i korištenje kao primarnog akumulatora [3].
- ◁ Nikal metalni hidridni akumulator – kao i prethodna dva akumulatora sastoji se od anode i katode. Anoda je izrađena metalne legure koja može upijati i otpuštati vodik, dok je katoda izrađena od nikal hidroksida. Zajedno su uronjene u elektrolit koji se sastoji od kalijevog, natrijevog i litijevog hidroksida. Ovi akumulatori zahtijevaju precizno praćenje punjenja kako ne bi došlo do pretjeranog zagrijavanja i radi kontrole izmjene plinova. U zrakoplovstvu se ovi akumulatori najčešće koriste za napajanje sustava osvjetljenja evakuacijskih staza na podu i vrata u slučaju nužde [3].
- ◁ Litij-ion ili litij-polimer baterija – baterija koje se može ponovno puniti. Čelije se sastoje od anode koja je izrađena od grafita i katode koja se sastoji od nekoliko metala koji mogu prihvatiti i otpustiti litijeve ione kako bi baterija mogla biti prikladna za ponovno i brzo punjenje [3].

- ◁ Litij-metalna baterija – ova se baterija, za razliku od prethodne, ne može ponovno puniti [3].
- ◁ Srebro-cink akumulator – konstrukcija ovog akumulatora slična je kao i konstrukcija olovnog akumulatora. Sastoji se od elektroda, elektrolita, kućišta akumulatora, separatora, čepa te konektora elektroda [4].
- ◁ Čelični (Nikal-željezni) akumulator – poznati i kao Edisonov akumulator, pripada skupini alkalijskih akumulatora. Po konstrukciji ovaj akumulator je sličan nikal-kadmijevom te kao i ostali akumulatori sastoji se od elektroda i elektrolita. Elektrode i elektrolit smješteni su u mehanički i kemijski otpornom kućištu koje se izrađuje od poniklanog čelika [4].

3. Zrakoplovni akumulator SP-1700

Zrakoplovni akumulator SP-1700 je nikal-kadmijev akumulator koji se koristi kao pomoćni izvor napajanja u helikopteru Bell 206B-III JET RANGER.

3.1. Bell 206B-III JET RANGER

Helikopter Bell 206B-III JET RANGER (u daljnjem tekstu Bell 206) je jednomotorni, laki i višenamjenski helikopter koji se koristi za provođenje operacija s bilo kojeg relativno ravnog terena. U Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koristi se kao školski helikopter za obuku pilota, dok se u civilstvu koristi u svrhu prijevoza ljudi. Helikopter Bell 206 prikazan na Slici 2 opremljen je s pet sjedala, a posadu čini minimalno jedan pilot koji upravlja helikopterom s desne strane u kabini za posadu. Pogonsku skupinu helikoptera Bell 206 čine turbovratilni motor Rolls Royce 250-C20J, dvokraki polukruti glavni rotor i polukruti dvokraki repni rotor [5].



Slika 2. Bell 206B JET RANGER III, [6]

Helikopter Bell 206 ima tri inačice, a to su VFR, NVG i IFR inačica helikoptera. Navedene inačice razlikuju se u nekoliko karakteristika, ali najveća je vezana uz električnu mrežu samog helikoptera. Inačice VFR i NVG imaju identičan sustav, dok kod IFR-a je to dosta različito [5].

Helikopteri VFR i NVG inačice imaju jednaku električnu mrežu nominalno istosmjernog napona 28 V te imaju jednu sabirnicu istosmjerne struje koja je raspoređena na četiri pozicije

na helikopteru. Glavni izvor napajanja je starter–generator (30 V, 150 A), no zbog njegovog neučinkovitog hlađenja, maksimalno opterećenje je ograničeno na 105 A. Pomoćni izvor napajanja je Ni-Cd akumulator 24 V, 7 Ah koji će biti detaljnije obrađen u daljnjem tekstu. Za napajanje električne mreže na zemlji i prilikom pokretanja predviđena je utičnica za vanjski izvor koja se nalazi na prednjem dijelu helikoptera. Ovakav sustav dizajniran je kako bi osigurao stabilan istosmjerni napon na cijeloj sabirnici tijekom svih uvjeta rada motora i opterećenja generatora. Osigurava paralelan rad generatora i akumulatora cijelo vrijeme dok je napon generatora veći od napona akumulatora. Također, pruža automatsku opskrbu trošila električnom strujom iz akumulatora prilikom otkaza generatora te pokretanje motora na vanjski izvor ili pomoću akumulatora. Ovakva konstrukcija sustava električne mreže ne osigurava zaštitu od istovremenog korištenja vanjskog izvora i akumulatora ili vanjskog izvora i generatora. Stoga je zabranjeno uključivanje akumulatora kao ni uključivanje generatora dok je helikopter spojen na vanjski izvor napajanja. Nepoštivanjem ove zabrane moguće je dovesti akumulator do pražnjenja kroz vanjski izvor ili prilikom uključivanja generatora do oštećenja releja generatora [5].

Inačica IFR helikoptera kao i prethodne dvije inačice ima električnu mrežu nominalnog istosmjernog napona 28 V, ali za razliku od VFR i NVG inačice ima tri sabirnice istosmjerne struje:

- ⟨ esencijalna sabirnica broj 1,
- ⟨ esencijalna sabirnica broj 2,
- ⟨ neesencijalna sabirnica.

Najpouzdanija i najzaštićenija sabirnica je esencijalna sabirnica broj 1, s nje se napajaju najvažniji električni potrošači potrebni za let. Esencijalnu sabirnicu broj 1 primarno napaja starter–generator, sekundarno pomoćni generator i tercijarni akumulator. Drugu skupinu električnih potrošača potrebnih za let napaja esencijalna sabirnica broj 2. Nju primarno napaja starter–generator, a sekundarno akumulator. Zadnju i po važnosti treću skupinu električnih potrošača potrebnih za let napaja neesencijalna sabirnica. Tijekom normalnog leta neesencijalnu sabirnicu primarno napaja starter–generator, a sekundarno akumulator. Ukoliko dođe do otkaza generatora, a da je prekidač koji je vezan za neesencijalnu sabirnicu u položaju "NORMAL", neesencijalna sabirnica automatski gubi napajanje kako bi se očuvao kapacitet akumulatora koji kreće napajati esencijalnu sabirnicu broj 2, a dok pomoćni generator preuzima napajanje esencijalne sabirnice broj 1.

Inačica helikoptera IFR također kao VFR i NVG inačice nema mogućnost paralelnog rada vanjskog izvora i akumulatora kao ni vanjskog izvora i generatora [5].

3.2. Nikal-kadmijev zrakoplovni akumulator SP-1700

Zrakoplovni nikal-kadmijevi akumulatori pravokutnog su oblika i sastavljeni su od 20 identičnih nikal-kadmijevih ćelija koje imaju ugrađene elektrode. Svaki akumulator sastoji se od redno povezanih identičnih ćelija koje su smještene u akumulatorsku kutiju kao što je prikazano na Slici 3. Kućište ćelija je plastično, što omogućuje lako i jednostavno slaganje ćelija u akumulatorsku kutiju bez korištenja izolatora. Akumulatorska kutija izrađena je od nehrđajućeg čelika. Na kutiji se nalazi otvor za provjetravanje koji omogućuje odvođenje plinova koji nastaju tokom rada te služi i za hlađenje samog akumulatora [7].



Slika 3. Kućište akumulatora s ćelijama

Tablica 1. Tehnički podaci nikal-kadmijevog akumulatora, [8]

Dužina	261,6 mm (maksimalno)
Širina	149 mm (maksimalno)
Visina	189,9 mm (maksimalno)
Masa	37 lbs / 16,78 kg (maksimalno)
Napon	24 V (nominalno)
Kapacitet	17 Ah minimalno

U Tablici 1. prikazani su tehnički podaci nikal-kadmijevog akumulatora koji se koristi u helikopteru Bell 206. Na Slici 4 prikazan je nosni odjeljak gdje je smješten akumulator zajedno sa ostalom električnom opremom.



Slika 4. Prikaz položaja akumulatora na helikopteru Bell 206

Pristup akumulatoru i opremi omogućen je pomoću vratašca koja su smještena na prednjoj strani odjeljka. Slika 5 prikazuje priključeni akumulator na helikopter Bell 206 i prikazuje kako je povezan na električnu mrežu.



Slika 5. Priključeni akumulator na helikopter Bell 206

4. Zrakoplovni akumulator TI206 MPU-24

Zrakoplovni akumulator TI206 MPU-24 je samoodrživi olovni akumulator. Ova inačica akumulatora proizvedena je za helikopter Bell 206. U Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koristi se inačica TI58D MPU-24, koja je proizvedena za helikopter Bell OH-58D Kiowa Warrior.

4.1. Bell OH-58D Kiowa Warrior

Helikopter Bell OH-58D Kiowa Warrior, prikazan na Slici 6, je jednomotorni laki helikopter koji je proizveden za izviđanje, vezu i borbu. Od 1960-ih godina helikopter se razvijao i danas se koristi kao helikopter za nadziranje borbe iz zraka i kao helikopter za označavanje ciljeva [9].



Slika 6. Bell OH-58D Kiowa Warrior, [10]

Helikopter Bell OH-58D Kiowa Warrior u Hrvatskom ratnom zrakoplovstvu koristi se kao bliska potpora kopnenim snagama na misijama.

Električna mreža helikoptera Kiowa Warriora sastoji se od istosmjerne i izmjenične mreže. Električna mreža izmjenične struje sastoji se od dvije različite jednofazne sabirnice, a to su 115 V osnovna sabirnica i 26 V sabirnica. Iako je trofazni generator primarni izvor izmjenične električne struje, sustav distribucije izmjenične struje je tako dizajniran da nema trofazne sabirnice. Kao primarni izvor izmjenične struje za helikopterske sustave je 120 V / 208 V napon, trofazni, 400 Hz, zrakom hlađen AC generator. AC generator opskrbljuje trofaznom strujom TRU (transformatorsko-ispravljačka jedinica), "MMS AC" prekidač (prekidač kojim se napaja senzorsku kupolu – MMS, engl. Mast Mounted Sight) te "CMWS ECU" prekidač (sustav

za upozorenje na projekte, engl. Common Missile Warning System - sustav koji detektira prijete i ukoliko je helikopter naciľjan, no takav sustav helikopter Hrvatskog ratnog zrakoplovstva nemaju). Ukoliko glavni generator izmjenične struje ne radi, sekundarno napajanje izmjeničnom strujom omogućuje jednofazni statički pretvarač (115 V, 400 Hz) preko releja pretvarača od osnovne sabirnice (115 V) i sabirnice od 26 V [11].

Električna mreža istosmjerne struje ima napon 28 V, a to je jednovodna mreža koja koristi konstrukciju helikoptera kao minus vodič. Sustav distribucije istosmjerne električne struje dijeli se na nekoliko sustava sabirnica. Sustav sabirnica čini šest različitih međusobno povezanih sustava, a to su :

- < TRU sabirnica,
- < baterijsko-generatorska sabirnica,
- < bezimena sabirnica (engl. no-name bus),
- < istosmjerna sabirnica s osiguranim naponom (engl. power assured bus),
- < DC osnovna sabirnica,
- < baterijska sabirnica za hitne slućajeve [11].

Baterijska sabirnica za hitne slućajeve napaja istosmjernu sabirnicu s osiguranim naponom preko releja sabirnice s osiguranim naponom [11].

Kao primarno istosmjerno napajanje za sustave opskrbljuje transformatorsko-ispravljačka jedinica TRU (28 V, 200 A) koja se nalazi u stražnjem dijelu električnog odjeljka. Izmjenična struja koja dolazi od generatora dovodi se do TRU-a koji pretvara izmjeničnu struju u primarni izvor istosmjerne struje. Istosmjerna struja koja proizlazi iz TRU-a napaja ispravljački relej i povezuje TRU s TRU sabirnicom, osnovnom sabirnicom istosmjerne struje, baterijskom sabirnicom za hitne slućajeve te sabirnicom za osigurano istosmjerni napon. Ukoliko dođe do kvara startera i generatora, TRU preuzima napajanje za TRU sabirnicu, osnovnu sabirnicu istosmjerne struje, baterijsku sabirnicu za hitne slućajeve i sabirnicu s osiguranim istosmjernim naponom, ali ne i za punjenje akumulatora. Za sekundarno istosmjerno napajanje sustava osigurava starter-generator sa 28 V, 200 A. Starter-generator nalazi se na motoru. On osigurava primarno napajanje za baterijsku sabirnicu za hitne slućajeve i sabirnicu s osiguranim istosmjernim naponom te također služi za punjenje akumulatora. U hitnim slućajevima istosmjernu struju za sustave helikoptera osigurava akumulator (24 V, 23 Ah). Akumulator se nalazi u nosu helikoptera kao što je prikazano na Slici 7 i Slici 8. Uključuje ga se pomoću prekidača "BATT1" u pilotskoj kabini [11].



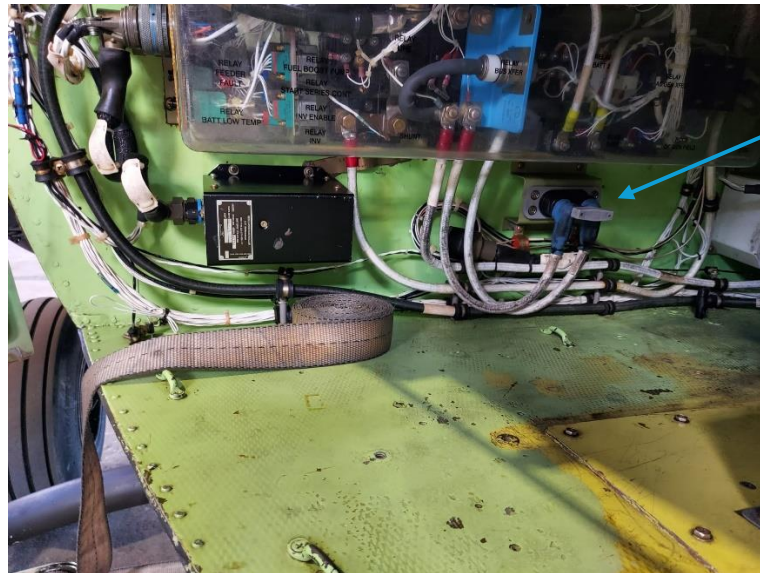
Slika 7. Prikaz položaja akumulatora na helikopteru Kiowa Warrior

Akumulator je namijenjen za samostalno pokretanje motora helikoptera te napajanje sustava helikoptera istosmjernom strujom u slučaju nužde. Na helikopter Kiowa Warrior moguće je priključiti dva akumulatora.



Slika 8. Bliži prikaz položaja akumulatora na helikopteru Kiowa Warrior

Glavni se akumulator nalazi, kao što je prikazano na Slici 8, u prednjem dijelu helikoptera, dok se pomoćni akumulator ugrađuje u stražnji odjeljak avionike, kao što je prikazano na Slici 9. Na helikopterima koje Hrvatsko ratno zrakoplovstvo posjeduje, provedeno je ožičenje po helikopteru, no pomoćni akumulator se ne ugrađuje na helikopter budući da se koristi dovoljno jak glavni akumulator [11].



Priključak za pomoćni akumulator

Slika 9. Prostor pomoćnog akumulatora na helikopteru Kiowa Warrior

4.2. Samoodrživi olovni akumulator

Helikopter Kiowa Warrior kao izvor napajanja u slučaju nužde koristi samoodrživi olovni akumulator TI58D MPU-24 prikazan na Slici 10. Ovaj akumulator pruža 24 V napona za pokretanje motora helikoptera te 24 V ili 28,5 V za održavanje na zemlji, testiranje i rješavanje problema avionike ili električnih sustava. Energetske ćelije i strujni krugovi smješteni su u robusnom kućištu. U akumulator je integriran sustav ponovnog punjenja koji omogućuje brzo punjenje akumulatora pomoću generatora helikoptera ili preko standardnog izvora napajanja 110 V ili 220 V. Akumulator ima ugrađen mjerač kapaciteta koji služi za provjeru stanja napunjenosti te ventilator koji služi za hlađenje [12].



Slika 10. Akumulator TI58D MPU-24, [12]

Tablica 2. Tehnički podatci TI58D MPU-24, [12]

Dužina	358,1 mm
Širina	170,2 mm
Visina	231,1 mm
Masa	52 lbs / 23,58 kg
Napon	28,5 V
Kapacitet	33 Ah (sa izmjeničnom strujom) / 23 Ah (snaga punjenog akumulatora bez izmjenične struje)

U Tablici 2. prikazani su tehnički podaci samoodrživog olovnog akumulatora TI58D MPU-24 koji se koristi na helikopteru Kiowa Warrior.

Kao što je proizvedena inačica za helikopter Kiowa Warrior, proizvedena je inačica samoodrživog olovnog akumulatora i za helikopter Bell 206. Akumulator TI206 MPU-24 prikazan na Slici 11 je samoodrživi olovni akumulator proizveden za helikopter Bell 206. Ovaj akumulator osigurava istosmjernu električnu struju za napajanje na zemlji. Akumulator pruža napon od 24 V za pokretanje motora helikoptera te 24 V ili 28,5 V prilikom testiranja i rješavanja električnih problema i prilikom održavanja avionike. Ovaj akumulator proizveden je za zamjenu originalnih nikal-kadmijevih akumulatora na helikopteru Bell 206. TI206 MPU-24

ima kao i TI58D MPU-24 ugrađen mjerač kapaciteta koji služi za provjeru stanja napunjenosti te ima ugrađen ventilator za hlađenje [13].



Slika 11. Akumulator TI206 MPU-24, [13]

Uspoređujući inačicu akumulatora koji se koristi na helikopteru Kiowa Warrior, ova inačica za helikopter Bell 206 je dimenzijama malo manja, što je prikazano u Tablici 3.

Tablica 3. Tehnički podatci TI206 MPU-24, [13]

Dužina	337,8 mm
Širina	172,7 mm
Visina	251,5 mm
Masa	50,4 lbs / 22,9 kg
Napon	28,5 V
Kapacitet	33 Ah (sa izmjeničnom strujom) / 23 Ah (snaga punjenog akumulatora bez izmjenične struje)

5. Mjerenje kapaciteta akumulatora

Kapacitet akumulatora predstavlja količinu elektriciteta koju akumulator pruža prilikom pražnjenja konstantnom strujom dok se ne dostigne najniži dozvoljeni napon. Kapacitet akumulatora ovisi o nekoliko čimbenika kao što su debljina elektroda, poroznost elektroda i količini aktivne mase. Tijekom eksploatacije akumulatora, kapacitet se mijenja pod utjecajem temperature, tlaka zraka (odnosno visini leta) te ovisi o redovnom održavanju [4].

Kapacitet akumulatora se također može opisati i kao ukupna snaga koji akumulator može držati, odnosno koliko dugo može raditi bez ponovnog punjenja. Što je veći kapacitet akumulatora, to može proći duže vrijeme između punjenja, a to je bitna informacija koja utječe na uređaje ili strojeve koji koriste samo akumulatorsko napajanje [14].

5.1. Mjerenje kapaciteta nikal-kadmijevog akumulatora

Provođenje mjerenja kapaciteta nikal-kadmijevog akumulatora mora se provoditi u posebno opremljenoj prostoriji koja je za to namijenjena. Objekt gdje se provodi servisiranje mora biti potpuno odvojen od objekta gdje se servisiraju olovni akumulatori. Prije samog postupka osoba koja vrši servis akumulatora mora ukloniti sve metalne predmete s ruku, kao što su prstenje, narukvice ili satovi kako ne bi došlo do slučajnog dodira i topljenja metala, a time i do ozbiljnih opekline. Alat kojim se provodi mjerenje kapaciteta nikal-kadmijevog akumulatora mora biti izoliran kako prilikom servisiranja ne bi došlo do iskrenja i kratkih spojeva koji bi oštetili akumulator i ozlijedilo osobu koja servisira akumulator.

Prije samog početka servisa potrebno je provjeriti vanjsko stanje akumulatora, da nema nikakvih mehaničkih oštećenja, da nema struje curenja (proboja na nosu) te treba provjeriti razinu elektrolita u ćelijama. Zatim je potrebno maknuti čepove koji se nalaze na ćelijama unutar kućišta akumulatora te provjeriti napon po ćelijama kao što je prikazano na Slici 12 i koliki je ukupni napon akumulatora.



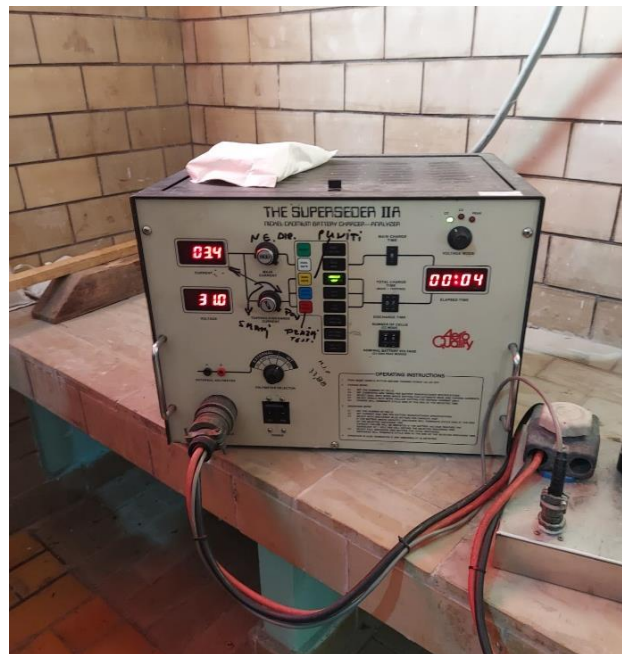
Slika 12. Prikaz ćelija bez pripadajućih čepova

Nakon što se sve to provjeri, kreće proces punjenja akumulatora koji traje 2 sata, odnosno dok napon po ćelijama ne dosegne minimalno 1,55 V. Prilikom provjere napona po ćelijama, maksimalni napon smije iznositi do 1,74 V, a razlika između najpraznije i najpunije ćelije ne smije biti iznad 0,35 V. Prvo punjenje se vrši sa strujom 8,5 A i to pomoću uređaja prikazanog na Slici 13. Na uređaju koji je prikazan na Slici 13, moguće je vidjeti kolikom strujom se akumulator puni (8,5 A) te koliki je napon koji u datom trenutku iznosi 27,9 V.



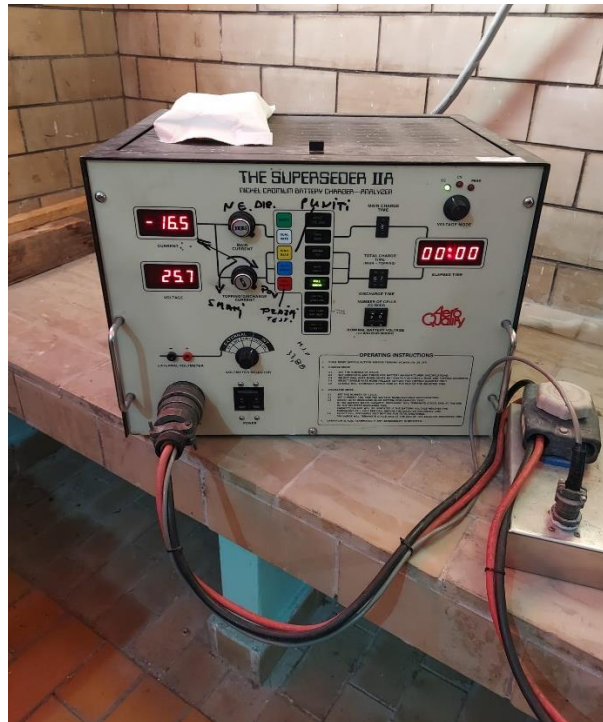
Slika 13. Uređaj za testiranje nikal-kadmijevih akumulatora

Tijekom punjenja konstantno se provjerava koliki je napon po ćelijama i koliki je ukupan napon. Ako je na početku punjenja nekoj od ćelija napon naglo skočio ili je prenizak u odnosu na druge ćelije znači da je ćelija vrlo vjerojatno suha odnosno da joj treba nadoliti destilirane vode. Nakon punjenja akumulatora, moguće je nadopunjavanje koje traje također traje 2 sata uz dozvoljeno odstupanje od 30 minuta i to se vrši strujom 3,4 A (prikazano na Slici 14). Kao i kod punjenja, tijekom nadopunjavanja je potrebno kontrolirati napon ćelija i razinu elektrolita. Po završetku punjenja i nadopunjavanja akumulator je potrebno ostaviti minimalno 4 sata da se hladi.



Slika 14. Nadopunjavanje akumulatora

Nakon što se akumulator ohladi kreće kapacitivni test. Na uređaj kojim se testira akumulator postavi se struja od 17 A i kreće pražnjenje akumulatora. Akumulator se prazni dok napon po ćeliji ne bude 1 V ili manje, odnosno dok ukupan napon akumulatora ne dođe do 20 V (što se prije postigne).



Slika 15. Pražnjenje akumulatora

Na Slici 15 i Slici 16 prikazan je proces pražnjenja akumulatora. Slika 15 prikazuje koliki je napon akumulatora bio na početku pražnjenja (25,7 V), dok na Slici 16 je prikazano kako je napon nakon 48 minuta pražnjenja strujom od 17 A (16,5 A jer je sa 17 A napon prebrzo padao) pao na 20,9 V.



Slika 16. Pražnjenje akumulatora nakon 48 minuta

Prilikom pražnjenja akumulator mora izdržati 85 % vremena prije negoli napon na ćelijama padne ispod 1,0 V. Ćelija u kojoj napon u vremenu kraćem od 51 minute (85 % vremena pražnjenja) padne ispod 1,0 V nije prošla kapacitivni test. Ako se to dogodi, potrebno je potpuno isprazniti akumulator pomoću otpornika sa štipaljka kao što je prikazano na Slici 17.



Slika 17. Potpuno pražnjenje akumulatora pomoću otpornika

Ovaj postupak punjenja i zatim pražnjenja ponavljamo maksimalno 3 puta. Ukoliko nakon 3 puta akumulator ne prođe kapacitivni test, potrebno je naći ćeliju koja nije ispravna te je zamijeniti.

Ako je akumulator prošao kapacitivni test, treba ga pustiti da se ohladi minimalno 4 sata. Nakon hlađenja potrebno je izvršiti punjenje 2 sata i to strujom od 8,5 A. Odmah po završetku punjenja potrebno je izvršiti nadopunjavanje strujom od 3,4 A, također 2 sata. Tijekom punjenja i nadopune akumulatora potrebno je pratiti porast napona akumulatora te razinu elektrolita u ćelijama. Razina elektrolita regulira se zadnjih nekoliko minuta punjenja akumulatora, a nadopunjava se destiliranom vodom do gornjih bočnih rupica. Akumulator tokom nadopunjavanja destilirane vode mora biti spojen na punjač. Nakon što se akumulator napunio do kraja, potrebno ga je pustiti da se ponovno hladi barem 4 sata. Ovakav kapacitivni test potrebno je provoditi svakih 100 sati ili 6 mjeseci, ovisno što prođe prije, a svakih godinu dana potrebno je izvaditi sve ćelije i provjeriti u kakvom su stanju.

32. AKOM. 06P VRSTA PREGLEDA - P.P.
G.P.

BR. CELIJE	1. TEST			2. TEST			3. TEST			
	NAJON FO CELIJE PRIJE VOSTRANA	NAJON FO CELIJE 15 MIN	NAJON FO CELIJE POSLIJE TESTIRANJA	BR. CELIJE	NAJON FO CELIJE PRIJE TESTIRANJA	NAJON FO CELIJE 15 MIN	NAJON FO CELIJE POSLIJE TESTIRANJA	BR. CELIJE	NAJON FO CELIJE PRIJE TESTIRANJA	NAJON FO CELIJE 15 MIN
1	60			54	60	60	60			
2	59				60	15	60			
3	67				61	16	61			
4	67				63	19	62			
5	60				60	16	60			
6	59				60	16	60			
7	59				60	16	60			
8	59				60	14	60			
9	59				60	16	60			
10	60				60	12	60			
11	60				60	107	60			
12	60				60	16	60			
13	60				60	16	60			
14	60				61	16	60			
15	60				61	16	61			
16	60				60	16	61			
17	59				60	16	60			
18	59				60	20	60			
19	60				63	15	62			
20	61			54	60	103	61			
KUPNI CAPA	32.10				32.10	32.10	32.10			
ATUM	24.10.23	24.10.23			20.10.23	24.10.23	32.10.23			

TEST
CELL - 36 min - 90%
BAT - 62 min 105%
TEST CELL - 54 min 90%
BAT - 62 min 105%

Slika 18. Primjer rezultata provedbe povremenog pregleda akumulatora

32. AKOM. 06P VRSTA PREGLEDA - P.P.
G.P.

BR. CELIJE	1. TEST			2. TEST			3. TEST			
	NAJON FO CELIJE PRIJE VOSTRANA	NAJON FO CELIJE 15 MIN	NAJON FO CELIJE POSLIJE TESTIRANJA	BR. CELIJE	NAJON FO CELIJE PRIJE TESTIRANJA	NAJON FO CELIJE 15 MIN	NAJON FO CELIJE POSLIJE TESTIRANJA	BR. CELIJE	NAJON FO CELIJE PRIJE TESTIRANJA	NAJON FO CELIJE 15 MIN
1	61	15	61							
2	60	17	60							
3	60	17	60							
4	61	18	61							
5	62	16	62							
6	60	17	60							
7	59	12	60							
8	67	18	60							
9	63	15	60							
10	61	16	59							
11	60	16	61							
12	60	14	60							
13	60	13	61							
14	62	16	60							
15	61	16	60							
16	59	16	62							
17	61	15	60							
18	61	14	60							
19	61	13	61							
20	60	16	63							
KUPNI CAPA	32.10	32.10	32.10							
ATUM	24.10.24	24.10.24	24.10.24							

TEST
CELL - 15 min - 93%
BAT - 61 min 102%
TEST CELL - 15 min 93%
BAT - 61 min 102%

Slika 19. Primjer rezultata provedbe godišnjeg pregleda akumulatora

Slike 18 i 19 prikazuju provedbu kapacitivnog testa na istom akumulatoru, na Slici 18 je povremeni pregled dok je na Slici 19 godišnji. Na Slici 18 prikazano je kako ćelije akumulatora

nisu prošle prvi kapacitivni test te je test bilo potrebno ponoviti. Slika 19 prikazuje isti taj akumulator koji je prošao prvi kapacitivni test.

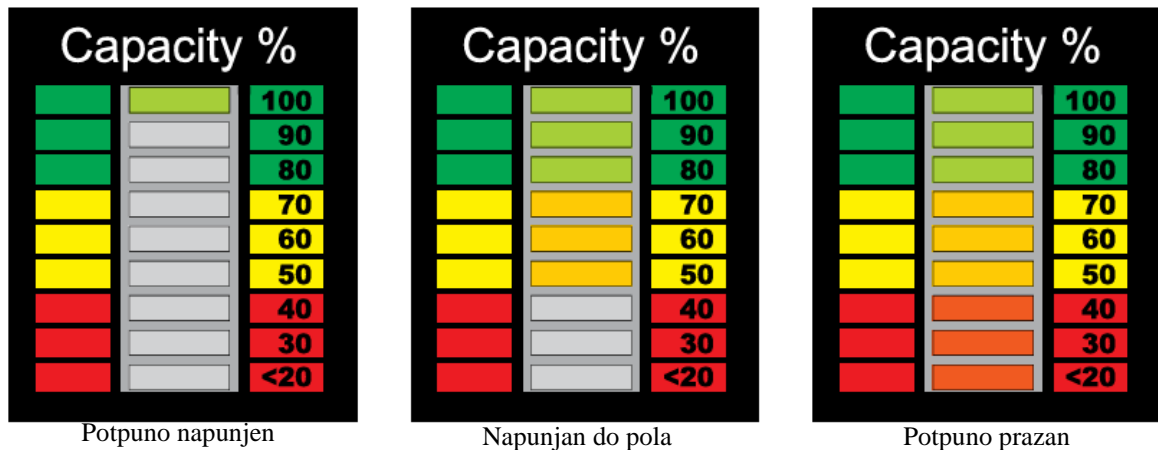
5.2. Mjerenje kapaciteta samoodrživog olovnog akumulatora

U odnosu na mjerenje kapacitete nikal-kadmijevog akumulatora, mjerenje kapaciteta kod samoodrživog olovnog akumulatora je puno jednostavnije i traje kraće. Kod ovih akumulatora za provjeru kapaciteta potrebno je pritisnuti gumb za provjeru kapaciteta prikazan na Slici 20 koji pomoću lampica pokazuje koliki je kapacitet akumulatora [12].



Slika 20. Samoodrživi olovni akumulator

Status kapaciteta daje do znanja pilotu ili tehničaru ima li akumulator dovoljno snage za pokretanje motora. Prilikom očitavanja kapaciteta potrebno je pričekati najmanje 2 minute nakon što se uključi izmjenična struja kako bi dobili precizne podatke. Prilikom pritiska na gumb za prikaz kapaciteta uključiti će se ventilator, a ukoliko se ne uključi potrebno je pustiti gumb te provjeriti stanje akumulatora [12].



Slika 21. Razina kapaciteta, [12]

Prilikom provjere napunjenosti akumulatora moguće je točno odrediti razinu kapaciteta kao što je prikazano na Slici 21. Ukoliko se lampice upale u zelenom području znači da je akumulator potpuno napunjen. Žuto područje prikazuje da je kapacitet akumulatora na pola te da je ga je potrebno staviti na punjenje i s ovom razinom kapaciteta ne može se garantirati da će pokretanje motora biti uspješno. Crveno područje prikazuje da je kapacitet akumulatora malen i da ga treba odmah staviti na punjenje te da pokretanje motora s ovom razinom sigurno neće biti uspješno [12].



Slika 22. Prikaz napunjenosti akumulatora (90 %)



Slika 23. Prikaz napunjenosti akumulatora (100 %)

Na Slikama 22 i 23, prikazana su dva samoodrživa olovna akumulatora koji se koriste na helikopteru Kiowa Warrior. Na akumulatoru koji je prikazan na Slici 22, pritiskom na gumb za provjeru kapaciteta očitala se vrijednost kapaciteta od 90 %, dok Slika 23 prikazuje očitane vrijednosti kapaciteta od 100 % na akumulatoru. Oba akumulatora imaju dovoljno kapaciteta i moguće ih je koristiti u helikopteru kao izvor napajanja prilikom pokretanja motora i pri radu sustava avionike tijekom leta.



Slika 24. Prikaz napona akumulatora u pilotskoj kabini

Napon akumulatora je moguće provjeriti i u pilotskoj kabini, bilo do tijekom leta ili provjere na zemlji. Na instrumentalnoj ploči ispred pilota, prilikom uključivanja prekidača za akumulator

moгуće je očitati koliki je napon akumulatora. Na Slici 24 očitava se napon akumulatora od 24 V koji je tada bio priključen na helikopter.

Ukoliko se ovaj akumulator ne koristi u helikopteru, potrebno ga je odmah staviti na punjenje kako bi se održala visoka razina kapaciteta. Prilikom uključjenja akumulatora na punjenje, potrebno je provjeriti je li kabel za napajanje od 120 V ili 140 V ispravno prikopčan na odabrani izvor napajanja izmjenične struje.



Slika 25. Punjenje samoodrživog olovnog akumulatora

Nakon priključenja akumulatora na izvor napajanja kao što je prikazano na Slici 25, potrebno je pričekati 5 - 8 sekundi i pogledati svijetli li lampica za provjeru razine kapaciteta. Kada se lampica uključi, prikazati će trenutnu razinu napunjenosti te će ventilator za hlađenje početi raditi. Tijekom punjenja potrebno je provjeriti svijetli li lampica te radi li ventilator za hlađenje.



Slika 26. Akumulator prilikom punjenja

Slika 25 prikazuje akumulator koji se puni izvan helikoptera, dok Slika 26 prikazuje mogućnost punjenja akumulatora i dok je prikopčan na helikopter.

Spajanje akumulatora na izvor napajanja dok je prikopčan na helikopter, vrši se kada se rade provjere na sustavima avionike ili komunikacijskim i navigacijskim sustavima koji zahtijevaju duži rad akumulatora. Na Slici 26 moguće je očitati i da razina kapaciteta je manja (70 %) nego na Slikama 22 i 23 iako je spojen na izvor napajanja.

6. Održavanje i eksploatacija nikal-kadmijevog i samoodrživog olovnog akumulatora

Eksploatacija akumulatora predstavlja životni vijek akumulatora kada se taj isti akumulator koristio za razne operacije. Eksploatacija akumulatora obuhvaća korištenje, čuvanje, transport, održavanje te sami ljudski rad s danim akumulatorom. Kako bi akumulator bio spreman i ispravan za eksploataciju potrebno je provoditi pravilno održavanje [15].

6.1. Održavanje nikal-kadmijevog akumulatora

Održavanje nikal-kadmijevih akumulatora sastoji se od održavanja ćelija unutar konstrukcije akumulatora čistim, povremenog ispravljanja razine elektrolita te provjere razine kapaciteta ćelija i samog akumulatora. Ako se akumulator koristi s konstantnim punjenjem, prvo održavanje je potrebno odraditi nakon 50 sati rada. Tada je potrebno provjeriti razinu elektrolita, napon na svakoj ćeliji te provesti kapacitivni test. Nakon prvog pregleda, ako akumulator nastavi raditi pod jednakim uvjetima kao i prvih 50 sati, iduće održavanje je potrebno odraditi nakon 100 sati rada. Ukoliko se ne odradi pregled nakon navedenih 100 sati rada, može doći do velikog pada razine elektrolita unutra ćelija te dovesti do neispravnosti akumulatora. Kako bi nikal-kadmijevi akumulatori izvršavali najbolji rad i imali maksimalan vijek trajanja, potrebno ih je jednom godišnje potpuno rastaviti, temeljito pregledati i očistiti. Svako održavanje, nakon 50 sati rada, 100 sati rada ili godišnji pregled zapisuje se u dnevnik zrakoplovnog akumulatora, što je prikazano na Slici 27. Na ovom prikazu dnevnika zrakoplovnog akumulatora moguće je očitati kako prilikom određenih povremenih pregleda akumulator nije prošao odmah prvi kapacitivni test nego je bilo potrebno odraditi drugi, pa čak i treći kapacitivni test kako bi akumulator prošao pregled. Okvirni radni vijek nikal-kadmijevog akumulatora je 2 godine [16].

Nickel-Cadmium Battery Service Record

Battery Type: SP-1400
 Serial No. 11901433
 Installation Date: _____
 Aircraft: _____

Rated Capacity (C): 17 Ah
 Minimum Allowable Cell Capacity (0.85 x C): 14.45 Ah
 Allowable water consumption: _____ cc

Charge Rates:
 0.5C 8.5 Amps
 0.2C 3.4 Amps

Removal Dates	Reason for Removal	Hours Since Serviced	Visual	Minimum Cell Capacity	Battery Capacity	Cell End of Charge Voltage			Distilled water added to cells			Cell to Case Insul	1st Discharge		2nd Discharge		3rd Discharge		Remarks
						Aver.	Max Cell #	Min. Cell #	Aver.	Max Cell #	Min. Cell #		Min. Cell Cap.	Battery Cap.	Min. Cell Cap.	Battery Cap.	Min. Cell Cap.	Battery Cap.	
24.12.20	CAPAC TEST	NOVA BATT.	OK	93%	36%	1.61	1.63	1.59				OK	80%	81%	95%	96%	-	-	OK
26.03.2021	TEST	P.P.	OK	94%	95%	1.60	1.64	1.59				OK	94%	95%	-	-	-	-	New Battery
01.07.2021	TEST	P.P.	OK	96%	98%	1.60	1.62	1.57				OK	96%	98%	-	-	-	-	Bank
25.10.2021	TEST CAPAC	P.P.	OK	91%	95%	1.60	1.65	1.56				OK	-	-	91%	95%	-	-	OK
23.12.2021	TEST	C.P.	OK	95%	98%	1.60	1.64	1.57				OK	95%	98%	-	-	-	-	1 Bank
24.05.2022	TEST CAPAC	P.P.	OK	88%	92%	1.60	1.64	1.57				OK	88%	92%	88%	92%	-	-	OK
21.12.2022	TEST CAP	P.P.	OK	91%	95%	1.60	1.63	1.59				OK	-	-	-	-	91%	95%	OK
12.05.2023	TEST CAP	P.P.	OK	95%	96%	1.60	1.63	1.58				OK	-	-	95%	96%	-	-	OK
19.11.2023	TEST CAPAC	P.P.	OK	90%	94%	1.60	1.62	1.57				OK	-	-	90%	94%	-	-	OK

Note: Number cells by starting with the cell connected to the positive battery terminal and proceeding sequentially as the cells are connected in series to the negative battery terminal.

Slika 27. Dnevnik zrakoplovnog akumulatora

Nikal-kadmijevi akumulatori mogu se dugo skladištiti, neovisno o stanju napunjenosti ćelija. No ako se ipak neće duže vrijeme vraćati u eksploataciju nikal-kadmijev akumulator je potrebno potpuno isprazniti pomoću otpornika za pražnjenje te staviti most (sredstvo koje drži akumulator praznim, odnosno namotaj žice koji ide na dio akumulatora koji se spaja na helikopter) prikazanim na Slici 28.

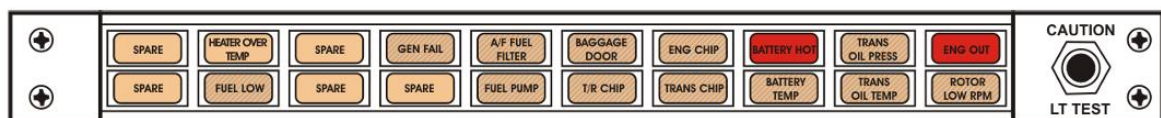


Slika 28. Most (namotaj žice koji održava akumulator praznim)

Prostorija gdje se skladište nikal-kadmijevi akumulatori nakon pražnjenja mora biti suha, ne bi trebalo biti prašine niti pare kiseline. Najpogodnije temperature na kojima bi se ovi akumulatori trebali čuvati je od 0 °C do +30 °C, iako se mogu skladištiti i na temperaturama od -60 °C do +60 °C (no to nije preporučljivo).

Jedan od većih nedostataka nikal-kadmijevog akumulatora je toplinski bijeg. Toplinski bijeg je stanje u kojemu struja koja napaja nikal-kadmijev akumulator prelazi očekivani napon punjenja što dovodi do prekomjernog zagrijavanja. Ovo stanje nastaje kada je akumulator previše napunjen te dolazi do rasipanja viška energije u obliku topline. Stalno prekomjerno punjenje akumulatora u određenim uvjetima dovodi do smanjenja unutarnjeg otpora akumulatora te omogućuje veće izvlačenje struje iz napona punjenja. Porastom temperature akumulatora dolazi do još većeg smanjenja unutarnjeg otpora, a to rezultira povećanjem struje. Ovakvo stanje može dovesti do oštećenja akumulatora. Toplinski bijeg se može prepoznati tako što se uoči značajan porast temperature akumulatora nakon punjenja, struja se postepeno povećava umjesto što se smanjuje te smanjenje napona akumulatora ukoliko se koristi konstantna struja za punjenje, umjesto povećanje [17].

Dođe li do toplinskog bijega na helikopteru Bell 206 tijekom leta, uključuje se signalna lampica na signalnom panelu. Svjetlit će crvena lampica "BATTERY HOT" kao što je prikazano na Slici 28. Kada dođe do paljenja signalne lampice "BATTERY HOT" znači da je temperatura kućišta akumulatora došla do temperature 60 °C ili više. U tom je slučaju potrebo odmah isključiti prekidač akumulatora kako ne bi došlo do zapaljenja te sletjeti što je prije moguće na prvu prikladnu površinu gdje se može izvesti razumno siguran prilaz i slijetanje.



Slika 29. Raspored upozoravajućih svjetala na instrumentalnoj ploči, [18]

6.2. Održavanje olovnog akumulatora

Održavanje ovih olovnih akumulatora (TI206 MPU-24 i TI58D MPU-24) je vrlo jednostavno. U odnosu na klasične olovne akumulatore, ovi akumulatori su potpuno zatvoreni te im nije potrebno (a ni moguće) redovito nadopunjavanje destilirane vode, s toga se i nazivaju samoodrživi olovni akumulatori. Iako su zatvoreni akumulatori, potrebno je voditi računa o

njihovom skladištenju kako bi njihovo radno stanje bilo dobro i kako bi se maksimalno produžio radni vijek akumulatora. Radni vijek navedenih akumulatora je od 5 do 7 godina [12].

Kada su akumulatori ugrađeni u helikoptere (TI206 MPU-24 u helikopter Bell 206, a TI58D MPU-24 u helikopter Kiowa Warrior) pune se istosmjernom strujom helikoptera. No, kada su akumulatori izvađeni iz helikoptera potrebno ih je odmah staviti na punjenje kako bi se održala razina kapaciteta i radni vijek akumulatora, a potrebno ih je ostaviti na punjenju i kada je u potpunosti pun (akumulator se neće prepuniti niti pregrijati). Ukoliko se ćelije akumulatora isprazne u potpunosti, akumulator je potrebno napuniti unutar 24 sata od pražnjenja kako bi se očuvao maksimalni radni vijek te njegove performanse. Akumulatoru na punjenju je potrebno najmanje 143 minute kako bi se u potpunosti napunio. Navedeni akumulator TI58D MPU-24 može se koristiti i kao vanjski izvor napajanja prilikom pokretanja helikoptera Bell 206, no odmah nakon pokretanja potrebno ga je priključiti na kabel za punjenje kako se ne bi ispraznio do kraja. U slučaju da akumulator više nije potreban za eksploataciju, potrebno ga je čuvati u zatvorenom prostoru, pokrivenog kako bi bio što manje izložen vanjskim utjecajima [12].

Ukoliko dođe do nekakvog oštećenja na akumulatoru, tehničari, odnosno osoblje koje rukuje navedenim akumulatorima, nije ovlašteno za bilo kakve popravke. Oštećene akumulatore je potrebno poslati u tvornicu gdje je akumulator i proizveden. Također, nakon što prođe radni vijek akumulatora (od 5 do 7 godina), akumulator se šalje u tvornicu gdje je proizveden na remont. Nakon remonta, iz tvornice akumulator šalju natrag na eksploataciju.

6.3. Nabava dijelova

Helikopteri Kiowa Warrior 2016. godine dovedeni su u službu Hrvatskog ratnog zrakoplovstva zajedno s samoodrživim olovnim akumulatorima TI58D MPU-24. Tehničari koji su radili preobuku na navedeni helikopter ostali su u čudu s akumulatorom koji je bio ugrađen. S vremenom su shvatili kako je samoodrživi olovni akumulator uvelike olakšao posao i samo njegovo održavanje je vrlo jednostavno. Ujedno i nabava dijelova za ovaj akumulator nije problem.

Za razliku od samoodrživog olovnog akumulatora, nabava dijelova za nikal-kadmijev akumulator u zadnjih nekoliko godina nije bila tako jednostavna. Nabava ćelija koje idu u nikal-kadmijev akumulator je bila duga. Kako se teško nabavljalo sredstva za održavanje, tehničari koji rade na održavanju nikal-kadmijevih akumulatora bili su primorani skidati ćelije sa nekoliko akumulatora te spajati u jedan koji će biti ispravan. Takav način rada je dosta otežao letenje, a i samo održavanje Bellova. S dolaskom helikoptera Kiowa Warrior i njegovog

samoodrživog olovnog akumulatora, došli su do saznanja kako postoji i inačica za helikopter Bell 206 te da bi se mogao ugraditi na helikopter što bi uvelike smanjilo održavanje i čekanje dijelova. Uspješno je nabavljen jedan samoodrživi olovni akumulator TI206 MPU-24, ali nije nikada bio ugrađen na helikopter. Razlog tome je potreba proširenja kućišta gdje se postavlja akumulator na helikopter te manjak sluha od strane nadređenih da se to provede.

Današnja nabava dijelova za nikal-kadmijev akumulator za helikopter Bell 206 je malo brža i bolja, no i dalje stvara velike probleme.

7. Analiza provedenog istraživanja

Prilikom provedbe istraživanja i analize samih zrakoplovnih akumulatora bilo je važno upoznati se s helikopterima unutar kojih su ugrađeni nikal-kadmijev i samoodrživi olovni akumulator. U ovom istraživanju dotaknuti su tehnički opisi samih akumulatora, njihove funkcije u helikopterima gdje su ugrađeni. Također, odrađeno je i mjerenje kapaciteta te kapacitivni test oba akumulatora. Na kraju istraživanja kroz razgovor sa stručnim osobljem koji rade na helikopterima odnosno koji rade na navedenim akumulatorima, dobiveni su podatci vezani za održavanje, nabavku dijelova te njihove prednosti i nedostatke.

Uloga nikal-kadmijevog akumulatora i samoodrživog olovnog akumulatora u helikopterima je ista, oba se koriste kao pomoćni izvor napajanja tijekom leta te kao izvor napajanja prilikom pokretanja motora. Glavna razlika što se tiče same uloge akumulatora je ta što se samoodrživi olovni akumulator može koristiti kao vanjski izvor napajanja prilikom pokretanja motora helikoptera Bell 206. Iako oba akumulatora imaju istu osnovnu ulogu, njihovi tehnički podatci pokazuju još jednu razliku koja se može uočiti u Tablici 4. Iz Tablice 4. se može očitati da je nikal-kadmijev akumulator manjih dimenzija i da je lakši u odnosu na inačicu TI206 MPU-24 koja je također namijenjena helikopteru Bell 206.

Tablica 4. Usporedba tehničkih podataka

	Nikal-kadmijev akumulator	TI206 MPU-24	TI58D MPU-24
Dužina	261,6 mm	337,8 mm	358,1 mm
Širina	149 mm	172,7 mm	170,2 mm
Visina	189,9 mm	251,5 mm	231,1 mm
Masa	16,78 kg	22,9 kg	23,58 kg

Razlike između nikal-kadmijevog akumulatora i samoodrživog akumulatora ne ograničavaju se samo na tehničke specifikacije i njihovu ulogu u helikopterima, već se ova dva akumulatora razlikuju i u načinu održavanja te načinu provjere kapaciteta. Održavanje i provjera odnosno mjerenje kapaciteta kod nikal-kadmijevih akumulatora je složen proces koji može biti dugotrajan. Mjerenje kapaciteta nikal-kadmijevih akumulatora provodi se svakih 100 sati rada akumulatora kako bi se uspješno održao maksimalni radni vijek akumulatora. Provedba ovog testa zahtjeva posebnu prostoriju, alat te vremenski angažman koji utječe na dostupnost

helikoptera za provedbu letenja. Proces mjerenja kapaciteta uključuje punjenje, pražnjenje i ponovno punjenje akumulatora te provjeru elektrolita u ćelijama kao i napona na svakoj ćeliji i cijelom akumulatoru. S druge strane, održavanje i provjera kapaciteta samoodrživog olovnog akumulatora znatno je jednostavnije. Kako bi se brzo i jednostavno dobio podatak o stanju napunjenosti potrebno je pritisnuti gumb za provjeru kapaciteta koji se nalazi na prednjem dijelu akumulatora. Ovakav način provjere kapaciteta znatno skraćuje proces održavanja i provjere te ne utječe na provedbu letenja helikoptera.

Pri nabavci novih nikal-kadmijevih akumulatora, kako bi se osigurala pouzdanost i produžio njihov radni vijek, potrebno je nakon 50 sati rada provesti provjeru napunjenosti elektrolita u ćelijama. Nakon toga, idući kapacitivni test provodi se svakih 100 sati rada akumulatora. Kako bi se održala ispravnost i dugovječnost potrebno je jednom godišnje rastaviti, pregledati te očistiti ćelije i akumulator. Radni vijek nikal-kadmijevih akumulatora je 2 godine, a u slučaju da se akumulatori neće duže vrijeme koristiti, potrebno ih je potpuno isprazniti i izolirati te pravilno skladištiti. U odnosu na nikal-kadmijeve akumulatore, samoodrživi olovni akumulatori ne zahtijevaju toliko detaljno održavanje. S obzirom na to da su ovi akumulatori potpuno zatvoreni, ne zahtijevaju nadopunu vode kao što je potrebno kod nikal-kadmijevih akumulatora. Međutim, samoodrživim olovnim akumulatorima je potrebno osigurati stalno punjenje kako bi se održala razina napunjenosti, pogotovo kada akumulatori nisu spojeni na helikoptere. Njihov radni vijek je između 5 i 7 godina, a nakon isteka radnog vijeka potrebno ih je poslati u tvornicu na remont. U slučaju oštećenja samoodrživog olovnog akumulatora, tehničari, odnosno osoblje koje rukuje ovim akumulatorima, nije ovlašteno za popravke već ih je potrebno poslati u tvornicu na servisiranje. Za razliku od samoodrživih olovnih akumulatora, kod nikal-kadmijevih postoji mogućnost od toplinskog bijega što dovodi do opasnosti i mogućnosti požara ukoliko se toplinski bijeg dogodi tijekom provedbe zadaće sa helikopterom.

Provedbom ovog istraživanja o karakteristikama i održavanju nikal-kadmijevog i samoodrživog olovnog akumulatora, zaključuje se da osim u tehničkim karakteristikama, postoji velika razlika u održavanju i mjerenju kapaciteta između ova dva akumulatora. Glavni razlog zbog kojeg je samoodrživi olovni akumulator bolji je što je potrebno manje održavanja, jednostavniji je postupak provjere kapaciteta, duži radni vijek te veća sigurnost i pouzdanost u eksploataciji. Uzimajući u obzir sve navedene čimbenike, zaključuje se da je samoodrživi olovni akumulator bolja investicija koje pruža pouzdanije performanse uz minimalne troškove održavanja i duži radni vijek.

8. Zaključak

Tehnološki napredak oblikuje proizvode koji se koriste u svakodnevnom životu, a to uključuje i akumulatore i sustave koji se koriste u modernom zrakoplovstvu. Nikal-kadmijevi akumulatori imaju široku uporabu, međutim razvoj tehnologije doveo je i do ponovnog korištenja olovnih akumulatora. Ovakva se vrsta samoodrživog olovnog akumulatora sve više primjenjuje u zrakoplovnoj industriji.

Po završetku analize nikal-kadmijevog i samoodrživog olovnog akumulatora, otkrilo se da postoje razlike u njihovim tehničkim karakteristikama, u njihovom načinu održavanja te provjeri kapaciteta navedenih akumulatora. Iako oba akumulatora imaju ulogu kao pomoćni izvor napajanja u helikopteru, samoodrživi olovni akumulator pokazao se boljom i isplativijom opcijom.

Ovo istraživanje pokazuje kako samoodrživi olovni akumulatori nude nekoliko prednosti u odnosu na tradicionalne nikal-kadmijeve akumulatore. To uključuje jednostavnije održavanje, dugotrajniji radni vijek akumulatora te bolju pouzdanost bez rizika od toplinskog bijega. Također, naglašava ekonomske prednosti samoodrživih olovnih akumulatora bez redovnog održavanja, s obzirom da ovi akumulatori zahtijevaju rjeđe održavanje u odnosu na nikal-kadmijeve akumulatore.

Zaključak ovog istraživanja i analize ova dva akumulatora je taj da samoodrživi olovni akumulatori predstavljaju bolju investiciju, poboljšanu izvedu akumulatora, manje troškove te manje vrijeme održavanja. Kako se tehnologija nastavlja razvijati, usvajanje samoodrživih olovnih akumulatora učiniti će operacije zrakoplovima sigurnijima, učinkovitijima i isplativijima.

Literatura

- [1] Monolithicpower, »History and Evolution of Battery Technology,« 2024. [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://www.monolithicpower.com/en/battery-management-systems/introduction-to-battery-technology/history-and-evolution>. [Pristupljeno 10 travanj 2024].
- [2] M. M. -. Đajić, »Misterija 2.000 godina starih Bagdadskih baterija,« 2023. [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://sveoarheologiji.com/misterija-2-000-godina-starih-bagdadskih-baterija/>. [Pristupljeno 10 travanj 2024].
- [3] Skybrary, »Aircraft Batteries,« 2024. [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://skybrary.aero/articles/aircraft-batteries>. [Pristupljeno 15 travanj 2024].
- [4] T. Bucak, Zrakoplovni elektrosustavi, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2001,2023.
- [5] T. Pezelj, Tehnički opis helikoptera Bell 206B-III JETRANGER, Zadar, 2024.
- [6] D. Maretić, »Airplane pictures,« 2017. [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://www.airplane-pictures.net/photo/875748/608-croatia-air-force-bell-206b-jetranger-iii/>. [Pristupljeno 15 travanj 2024].
- [7] Opis i održavanje vazduhoplovnih nikal-kadmijevih akumulatora, Zadar: Arhiva HRZ-a, 2024, pp. 5-32.
- [8] MarathonNorco, »MarathonNorco Aerospace,« [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://www.marathonnorco.com/product/m3-1700l-micromaintenance-battery/>. [Pristupljeno 19 travanj 2024].
- [9] Airpower, »Bell OH-58 Kiowa,« 2024. [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://www.airpower.gv.at/bell-oh-58-kiowa-2/?lang=en>. [Pristupljeno 20 travanj 2024].
- [10] P. Gryzowski, »Airplane pictures,« 2018. [Mrežno]. Preuzeto sa: <https://www.airplane-pictures.net/photo/1148502/327-croatia-air-force-bell-oh-58d-kiowa-warrior/>. [Pristupljeno 20 travanj 2024].

- [11] CROATIAN AIR FORCE OH-58D MAINTENANCE TEST PILOT COURSE, Zadar, 2014.
- [12] T. Industries, TI58D MPU-24 User Manual, New Castle, 2020.
- [13] T. Industries, TESLA TI206 MPU-24, New Castle, 2020.
- [14] Anker, »Understanding Battery Capacity: A Comprehensive Guide,« 2023. [Mrežno].
Preuzeto sa: <https://www.anker.com/blogs/others/battery-capacity-guide>. [Pristupljeno 21 travanj 2024].
- [15] D. Aušić, »Procjena troškova održavanja zrakoplova Diamond DV20 Katana,« 2020
travanj 6. [Mrežno]. Preuzeto sa:
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz%3A2094/datastream/PDF/view>. [Pristupljeno 21
travanj 2024].
- [16] S. D. Accumulateurs, Operating and maintenance manual.
- [17] BHT-ELEC-SPM, Contents- Nickel-Cadmium helicopter storage battery, 2024.
- [18] M. Mikić, Priručnik za upotrebu helikoptera Bell 206B III, Zadar, 2018.

Popis slika

Slika 1. Replika Bagdadske baterije, [2]	3
Slika 2. Bell 206B JET RANGER III, [6]	6
Slika 3. Kućište akumulatora s ćelijama	8
Slika 4. Prikaz položaja akumulatora na helikopteru Bell 206	9
Slika 5. Prikljućeni akumulator na helikopter Bell 206	10
Slika 6. Bell OH-58D Kiowa Warrior, [10]	11
Slika 7. Prikaz položaja akumulatora na helikopteru Kiowa Warrior	13
Slika 8. Bliži prikaz položaja akumulatora na helikopteru Kiowa Warrior	13
Slika 9. Prostor pomoćnog akumulatora na helikopteru Kiowa Warrior	14
Slika 10. Akumulator TI58D MPU-24, [12]	15
Slika 11. Akumulator TI206 MPU-24, [13]	16
Slika 12. Prikaz ćelija bez pripadajućih ćepova	18
Slika 13. Uređaj za testiranje nikal-kadmijevih akumulatora	18
Slika 14. Nadopunjavanje akumulatora	19
Slika 15. Pražnjenje akumulatora	20
Slika 16. Pražnjenje akumulatora nakon 48 minuta	20
Slika 17. Potpuno pražnjenje akumulatora pomoću otpornika	21
Slika 18. Primjer rezultata provedbe povremenog pregleda akumulatora	22
Slika 19. Primjer rezultata provedbe godišnjeg pregleda akumulatora	22
Slika 20. Samoodrživi olovni akumulator	23
Slika 21. Razina kapaciteta, [12]	24
Slika 22. Prikaz napunjenosti akumulatora (90 %)	24
Slika 23. Prikaz napunjenosti akumulatora (100 %)	25
Slika 24. Prikaz napona akumulatora u pilotskoj kabini	25
Slika 25. Punjenje samoodrživog olovnog akumulatora	26
Slika 26. Akumulator prilikom punjenja	27
Slika 27. Dnevnik zrakoplovnog akumulatora	29
Slika 28. Most (namotaj žice koji održava akumulator praznim)	29
Slika 29. Raspored upozoravajućih svjetala na instrumentalnoj ploći, [18]	30

Popis tablica

Tablica 1. Tehnički podatci nikal-kadmijevog akumulatora, [8]	9
Tablica 2. Tehnički podatci TI58D MPU-24, [12].....	15
Tablica 3. Tehnički podatci TI206 MPU-24, [13]	16
Tablica 4. Usporedba tehničkih podataka	33

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Usporedba eksploatacijskih karakteristika nikal-kadmijevog i olovnog zrakoplovnog akumulatora, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 6.5.2024.

MANUELA PUŽAR, Pužar

(ime i prezime, potpis)