

Bystrík Dolník, Radek Němec

Využitie slnečnej energie na napájanie dronov

Abstrakt V článku sa pojednáva o využití slnečnej energie na napájanie rádiom riadeného modelu elektromotorového vetroňa. Bol skonštruovaný funkčný elektromotorový vetroň, ktorý je použitý ako testovací model pre meranie letových vlastností modelu a schopnosti dobíjania akumulátorovej batérie prostredníctvom solárnych článkov umiestnených na elektromotorovom vetroni. Získané teoretické a experimentálne poznatky sú využité pre návrh inovovaného a viac efektívneho modelu.

Kľúčové slová: solárny článok; V-A charakteristika; solárny dron; bezpilotné lietajúce zariadenie; Li-pol batéria

Abstract This article discusses the use of solar energy to power the radio controlled model of an electric motor glider. A functional electric motor glider is constructed, used as a test model for measuring the flight characteristics of the model and the ability to recharge the rechargeable battery pack by solar cells located on the electric motor glider. The theoretical and experimental findings are used to design an innovative and more efficient model. **(The use of solar energy to power drones)**

Keywords: solar cell; V-A characteristic; solar drone; unmanned flying gear; Li-pol battery

I. ÚVOD

Vzhľadom na závažné globálne environmentálne problémy dnešnej doby, ktorých potreba riešenia je nevyhnutná, ostáva súčasným trendom zavádzanie, rozširovanie a výskum obnoviteľných zdrojov energie a zvyšovanie ich podielu na výrobe elektrickej energie. To všetko za účelom zníženia negatívnych účinkov na životné prostredie na minimum, pri súčasnom zachovaní trvalo udržateľného rozvoja, ktorý je kľúčovým prvkom pre zvyšovanie komfortu a kvality ľudského života a životného prostredia.

V súčasnosti sú na trhu solárne články s pomerne vysokou účinnosťou, malou hrúbkou a hmotnosťou. Bol skonštruovaný funkčný elektromotorový vetroň, ktorý je použitý ako testovací model pre meranie letových vlastností modelu a schopnosti dobíjania akumulátorovej batérie prostredníctvom solárnych článkov umiestnených na krídlach elektromotorového vetroňa.

II. VYUŽITIE LETECKÝCH MODELOV NAPÁJANÝCH SOLÁRNymi ČLÁNKAMI

Vývoj bezpilotných lietajúcich zariadení (UAV) za posledné desaťročia dospel k tomu, že je možné konštruovať stále menšie lietadlá. Avšak spolu s vývojom týchto malých lietadiel existujú problémy týkajúce sa letového času a dostatku energie potrebnej pre pohon lietadla. Letový čas malých UAV je problematický najmä z dôvodu obmedzenej veľkosti priestoru pre pohonný systém, ktorý môže byť zakomponovaný do takéhoto lietadla. Veľkú časť z celkovej hmotnosti elektricky poháňaného malého UAV tvorí batéria použitá ako nabíjateľný zdroj energie. Zachytávanie voľne dostupnej energie je inovatívna technológia, ktorá ponúka potenciál pre zvýšenie maximálneho letového času, bez veľkého navýšenia hmotnosti, alebo potreby zvýšenia veľkosti palivového systému [1].

Využívanie UAV sa výraznejšie rozšírilo na konci 20. storočia, kedy sa vďaka miniaturizácii a zvýšeniu cenovej dostupnosti, stávajú pomocnými zariadeniami v informačných médiách, na zaznamenávaní videí a fotografií, v lesníctve, poľnohospodárstve a tak isto aj vo vede a výskume. Využitie UAV má ale perspektívu aj v ďalších oblastiach ako sú napríklad priemysel, stavebníctvo, architektúra, energetika, polícia, doprava, geodézia a kartografia. V súčasnosti je najčastejšie

požadovaným výstupom UAV zber najrôznejších typov dát. Výstupmi môžu byť napríklad digitálne letecké snímky, termovízne snímky, ortofotomapy, videozáznamy, meteorologické údaje a iné užitočné informácie [2].

III. RÁDIOM RIADENÝ MODEL SOLÁRNEHO ELEKTROVETROŇA

Bol skonštruovaný rádiom riadený model solárneho elektrovetroňa (dronu). Celková letová hmotnosť skonštruovaného RC solárneho dronu je 988 g. Nosná plocha krídla dosahuje 37,85 dm² a pri celkovej hmotnosti modelu 988 g vychádza plošné zaťaženie rovné 26,1 g/dm². Výsledné rozpätie krídiel modelu je 2,4 metra. Všetkých 16 kusov solárnych článkov, umiestnených na povrchu krídel, pri intenzite slnečného žiarenia s hodnotou 1 000 W/m² má poskytovať, v pracovnom bode V-A charakteristiky, výkon 51,968 W. Celková dĺžka trupu RC modelu je 125 cm. V jeho vnútri je umiestnená elektronika s výnimkou serv, ktoré sú zabudované v krídlach RC modelu. Na Obr. 1 je zobrazený pohľad na skonštruovaný model RC solárneho dronu.

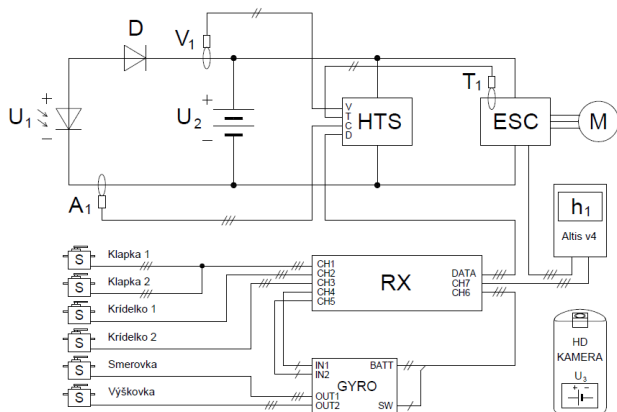


Obr. 1. Model RC solárneho dronu.

ELEKTRONIKA RC MODELU

Experimentálnymi meraniami a výpočtami bolo zistené, že všetky solárne články (16 kusov) má, za priaznivých slnečných podmienok, poskytnúť napätie 8,96 V a batériu dobíjať maximálnym prúdom až 5,8 A. Vzhľadom na značné nabíjacie prúdy, bolo potrebné zvoliť aj

vhodnú akumulátorovú batériu, ktorá by bola za najpriaznivejších slnečných podmienok, schopná vydržať takéto vysoké nabíjacie prúdy. Týmto náročným kritériám vyhovuje batéria Hyperion G7 HvLi Silicon-Graphene 2S 7,6 V 900 mAh, ktorá je navrhnutá pre nabíjacie prúdy od 4,5 A do 5,4 A a jej celková kapacita je 900 mAh pri nabití na maximálne napätie 8,7 V.



Obr. 2. Blokovaná schéma zapojenia vnútorných komponentov RC modelu.

Spolu 16 ks solárnych článkov generuje napätie U_1 , (porov. Obr. 2) ktoré je cez usmerňovacia diódu D privedené na dvojčlánkovú Li-pol batériu U_2 . Za priaznivých vonkajších podmienok je batéria dobíjaná zo solárnych článkov. Z batérie je následne napájaná telemetrická ústredňa HTS, regulátor otáčok elektromotora ESC a prijímač RX. HD kamera je napájaná samostatne vlastným zdrojom napätia U_3 , ktorý tvorí jeden článok Li-pol batérie.

Telemetrická ústredňa HTS-SS Blue umožňuje zber dát z rôznych druhov vonkajších snímačov (V_1 – napätie, A_1 – prúd) a ich následný prenos do telemetrického prijímača Optima 7 s dátovým vstupom. Prijímač potom vysiela aktuálne dáta z modelu do vysielača Aurora 9X, ktoré je následne možné zobrazit' na obrazovke vysielača. GYRO je miniatúrny šesťosý gyroskopický stabilizátor na stabilizáciu letu rádiom riadených modelov lietadiel. Zvyšuje letovú stabilitu modelu a má veľmi rýchlu reakciu na náhle zmeny náklonu modelu pri neočakávaných veterných poryvoch. Umožňuje automatické riadenie kridielok, výškového a smerového kormidla. Pri vychýlení modelu z rovnovážnej polohy pôsobí na ovládacie plochy a vracia model do stabilného kĺzavého letu.

H_1 je záznamový barometrický výškomer Altis v4, určený pre zaznamenávanie letovej výšky RC modelov lietadiel. Výškomer sníma atmosférický tlak so vzorkovacou frekvenciou 10 Hz a na základe hodnoty tlaku vypočítava aktuálnu výšku RC modelu [3–5].

VÝPOČET VÝKONU POTREBNÉHO PRE ELEKTROMODEL

Pri vodorovnom lete v rovnakej letovej hladine je tiaž modelu G kompenzovaná vztlakom V_{vz} . Výkon vrtule v tomto prípade musí prekonať iba aerodynamický odpor modelu letiaceho určitou rýchlosťou. Polohová energia modelu sa potom bude touto rýchlosťou zmešovať v_{kl} . Model tak spotrebovávajú výkon

$$P_1 = G \cdot v_{kl}. \quad (1)$$

Možno teda povedať, že ak bude mať vrtuľa výkon, ktorý model spotrebovávajú pri klesaní z polohovej energie, potom bude letieť

rovnakou rýchlosťou akou model klesal v bezmotorovom lete. Pri stúpaní modelu sa jeho polohová energia zvyšuje a to rýchlosťou stúpania v_{st} . Pre tento výkon platí

$$P_2 = 10 \cdot m \cdot v_{st}. \quad (2)$$

Avšak pri stúpaní sa vztlak, ktorý je kolmý na smer letu odchyli o uhol stúpania Θ . Dochádza k úbytku vztlaku U_{vz} , ktorý predstavuje rozdiel medzi vztlakom V_{vz} a jeho zložkou vo vertikálnom smere a platí

$$U_{vz} = V_{vz} \cdot (1 - \cos \Theta). \quad (3)$$

Keďže vztlak je rovnako veľký ako tiaž modelu, dosadíme namiesto nej súčin gravitačnej konštanty a hmotnosti modelu. Potom potrebný zvýšený výkon vrtule kvôli zníženému vztlaku je

$$P_3 = 100 \cdot m \cdot (1 - \cos \Theta). \quad (4)$$

Celkový výkon vrtule P_{vrt} pre akýkoľvek let modelu je súčet predchádzajúcich troch výkonov

$$P_{vrt} = P_1 + P_2 + P_3, \quad (5)$$

$$P_{vrt} = 10 \cdot m \cdot [v_{kl} + v_{st} + 10(1 - \cos \Theta)]. \quad (6)$$

Z uvedeného vzťahu vyplýva, že na dosiahnutie vyššieho výkonu modelu má najväčší vplyv hmotnosť modelu a aerodynamická čistota modelu. Pre výpočet potrebného výkonu odoberaného z batérie je nevyhnutné uvažovať aj s účinnosťou vrtule približne 0,7; motora 0,8 a regulátora otáčok 0,9. Potom musí byť výkon batérie minimálne dva krát väčší ako výkon vrtule. Vzhľadom na to, že model sa nepohybuje stále v ideálnej polohe je vhodné pripočítať k výkonu batérie približne 25 %-nú rezervu. Potom pre výkon batérie možno zapísať [6]

$$P_{bat} = 2,5 \cdot P_{vrt}. \quad (7)$$

Pri uvažovaní hmotnosti solárneho dronu 0,988 kg, rýchlosti stúpania 1,8 m/s, pri uhle nábehu 20° a približnom odhade klesavosti modelu 0,8 m/s v bezmotorovom lete, možno vypočítať potrebný výkon batérie

$$P_{bat} = 25 \cdot 0,988 \cdot [0,8 + 1,8 + 10(1 - \cos 20^\circ)] = 79,12 \text{ W}. \quad (8)$$

Pre vodorovný let a udržanie rovnakej letovej výšky bude potrebné z batérie odoberať výkon

$$P_{bat} = 25 \cdot 0,988 \cdot [0,8 + 0 + 10(1 - \cos 0^\circ)] = 19,76 \text{ W}. \quad (9)$$

Ak by sme mali uvažovať aj so spotrebou elektroniky, ktorá predstavuje odber približne 0,4 A pri menovitom napätí batérie 7,6 V, potom pre dosiahnutie nabíjania batérie pri udržiavaní rovnakej letovej hladiny musia solárne články dodávať výkon minimálne 22,8 W.

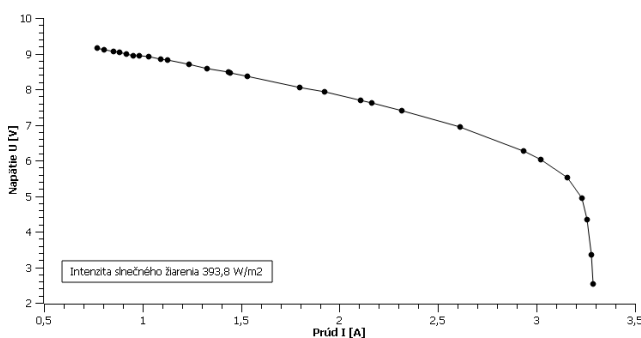
IV. EXPERIMENTÁLNE MERANIE VLASTNOSTÍ DRONU NAPÁJANÉHO SOLÁRNymi ČLÁNKAMI

Na získanie základných poznatkov o vlastnostiach postaveného solárneho dronu boli realizované experimentálne merania. Spolu bolo vykonaných 23 meraní zameraných na zistenie V-A charakteristiky solárnych článkov, meranie celkovej spotreby modelu a rýchlosti

dobíjania batérie pomocou solárnych článkov, pri rôznych vonkajších podmienkach (intenzita slnečného žiarenia) a rôznych koncepciách nabíjacieho obvodu.

MERANIE VOLT-AMPÉROVEJ CHARAKTERISTIKY ZOSTAVY SOLÁRNYCH ČLÁNKOV

Dňa 12. 4. 2018 boli vykonané merania zaťažovacej charakteristiky celej zostavy solárnych článkov pri intenzite slnečného žiarenia $393,8 \text{ W/m}^2$. Krídla modelu boli umiestnené vodorovne so zemou. Za daných vonkajších podmienok solárne články v bode MPP dodávali výkon $18,37 \text{ W}$. Výsledný priebeh charakteristiky je zobrazený na Obr. 3.



Obr. 3. Volt-ampérová charakteristika zostavy solárnych článkov.

TEST RÝCHLOSTI DOBÍJANIA BATÉRIE PRI KRÚŽENÍ MODELU

Boli realizované experimentálne merania s cieľom otestovať rýchlosť dobíjania batérie počas letu a krúženia modelu v termike. Lietanie modelu v kruhoch, resp. pravidelne sa opakujúce zmeny sklonu solárnych článkov na krídle modelu voči slnku, boli simulované umiestnením solárneho modelu na otočný stojan.

Meranie sa uskutočnilo 21. 4. 2018 v čase od 11:44 do 12:54 počas slnečného dňa bez oblačnosti. Intenzita slnečného žiarenia sa pohybovala v rozpätí od 568 W/m^2 do 578 W/m^2 . Model bol umiestnený na otočný stojan s krídlami so sklonom približne 12° voči zemi. Zapojenie meracieho obvodu bolo urobené podľa Obr. 2. Po pripojení batérie bol otočný stojan otáčaný okolo svojej osi rýchlosťou 11 až 14 sekúnd na jedno otočenie o 360° .

Počas jednej otočky modelu v čase bola pozorovaná zmena nabíjacieho prúdu z max. hodnoty $1,14 \text{ A}$ na minimálnu hodnotu $0,98 \text{ A}$. Podobne sa menilo napätí batérie z hodnoty $8,03 \text{ V}$ na $7,98 \text{ V}$. Batéria sa počas merania nabíjala za 70 minút na napätie $8,7 \text{ V}$ a jej kapacita dosiahla hodnotu 880 mAh t.j. $97,78 \%$. Po odpojení solárnych článkov z nabíjacieho obvodu bol z batérie odoberaný prúd $0,2 \text{ A}$, ktorý predstavuje spotrebu elektroniky v pohotovostnom režime. Pri pohybovaní ovládacími plochami vetroňa prostredníctvom serv vzrástol odber prúdu na $0,4 \text{ A}$.

TESTOVANIE VÝKONU BATÉRIE A SPOTREBY RC MODELU

Pre získanie informácií o maximálnom výkone odoberaného z batérie a solárnych článkov, bolo vykonané meranie so zapojenou elektronikou modelu podľa Obr. 2, pričom súčasne elektromotor bol prevádzkovaný na plný výkon. Meranie sa uskutočnilo 18. 4. 2018 v čase od 13:14 do 14:53 za jasného slnečného počasia pri intenzite slnečného žiarenia v rozpätí od 551 W/m^2 do 467 W/m^2 . Batéria bola pred meraním nabitá profesionálnou nabíjačkou na napätie $8,4 \text{ V}$, čomu zodpovedá kapacita batérie približne 800 mAh . Kompletne

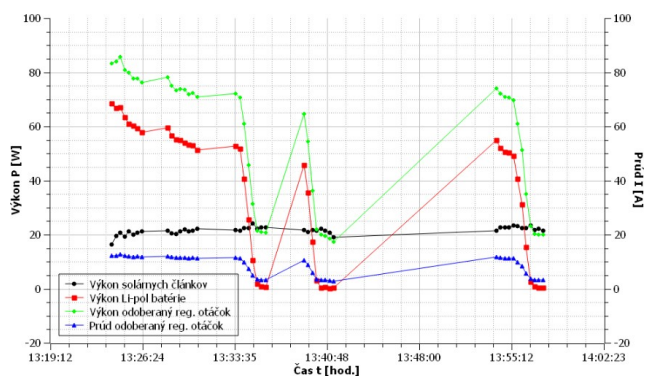
zostavený model bol položený na stojane, natočený solárnymi článkami mierne za slnkom a počas chodu elektromotora bol ručne držaný v rovnakej polohe.

V prvom časovom intervale bol elektromotor prevádzkovaný na maximálne otáčky na dve a pol minúty. Napätie batérie pri zaťažení pokleslo na hodnotu $6,73 \text{ V}$ a výkon odoberaný z batérie dosiahol hodnotu $67,1 \text{ W}$. Súčasne napätie solárnych článkov pokleslo na hodnotu $7,5 \text{ V}$ a prispievali výkonom $20,65 \text{ W}$. Spoločne tak dodávali do regulátora otáčok výkon približne $85,63 \text{ W}$ a celkový prúd $12,72 \text{ A}$. Po uplynutí 150 sekúnd od uvedenia motora do prevádzky na plný výkon, bol motor vypnutý, pre chvilkové vychladenie a vykonanie kontroly teploty regulátora, batérie a elektromotora. Pri vypnutom stave elektromotora sa batéria dobíjala prúdom približne $1,4 \text{ A}$ zo solárnych článkov. Podľa teoretického výpočtu by počas tejto doby chodu motora mal model schopný vyletieť do výšky približne 296 m .

Po uplynutí dvojminútovej prestávky bol elektromotor opäť zapnutý na plný výkon (maximálne otáčky) na dobu dve a pol minúty. V tomto prípade výkon dodávaný do regulátora dosiahol nižšiu hodnotu $78,1 \text{ W}$ a postupne sa znižoval na $70,96 \text{ W}$. Tomuto výkonu zodpovedá teoretický prírastok výšky okolo 248 m . Počas následnej trojminútovej pauzy sa batéria dobíjala prúdom $1,7 \text{ A}$.

Počas ďalšieho dva a pol minútového chodu elektromotora mal výkon odoberaný regulátorom hodnotu už len 72 W a pomerne rýchlo klesol na hodnotu $20,76 \text{ W}$. Zároveň napätie batérie kleslo na hodnotu $6,2 \text{ V}$, pri ktorej už regulátor otáčok elektromotora začal obmedzovať prúd odoberaný z batérie, aby nedošlo k poklesu napätia batérie pod $6,2 \text{ V}$, a to z dôvodu, aby batéria ešte bola schopná dodať dostatok energie pre ovládanie riadiacich plôch modelu a bezpečný návrat z dosiahnutej výšky na zem. Počas tohto intervalu, teda došlo k vybitiu podstatnej časti kapacity batérie a väčšina výkonu odoberaného regulátorom bola dodávaná len solárnymi článkami. V tomto intervale prevádzky elektromotora je predpokladaný prírastok výšky už len 74 m . Potom nasledovala opäť 6-minútová pauza, počas ktorej sa batéria dobíjala prúdom okolo $2,4 \text{ A}$.

Následne boli vykonané ešte dva ďalšie meracie intervaly so zapnutým elektromotorom s 12 minútovou prestávkou medzi intervalmi. Celý priebeh odoberaného výkonu batérie a solárnych článkov je znázornený na Obr. 4.



Obr. 4. Priebeh odoberaného výkonu Li-pol batérie a solárnych článkov.

Po ukončení piateho meracieho intervalu s prevádzkovaným motorom bol model ponechaný na stojane, pričom batéria sa dobíjala cez solárne články. V tom čase intenzita slnečného žiarenia klesla na hodnoty v intervale od 508 W/m^2 do 467 W/m^2 . Batéria sa dobíjala za 55 minút na napätie $8,6 \text{ V}$ a jej kapacita dosiahla hodnotu 793 mAh ,

čo predstavuje 88,11 % z jej celkovej kapacity. Na záver bola ešte batéria po vybití na napätie 6 V nabitá pomocou profesionálnej nabíjačky pre overenie jej skutočnej maximálnej kapacity, ktorú je možné dosiahnuť za optimálnych podmienok nabíjania. Batéria sa nabila na maximálne napätie 8,7 V a jej celková kapacita dosiahla 875 mAh, ktorá predstavuje 97,22 % z maximálnej kapacity udávanej výrobcom.

TESTOVANIE VARIANTOV ZAPOJENIA NABÍJACIEHO OBVODU

Celkovo boli testované štyri varianty zapojenia nabíjacieho obvodu. Ako prvý testovací variant zapojenia nabíjacieho obvodu bolo pripojenie zostavy solárnych článkov cez usmerňovaciu diódu na batériu. Výsledkom bolo nabitie batérie na napätie 8,6 V, pričom dané zapojenie je schopné aj plného dobitia batérie na 8,7 V. Zároveň pri úmyselnom zatienení solárnych článkov vďaka použitej dióde nedošlo k vybíjaniu batérie späť cez solárne články. Z toho dôvodu je toto zapojenie vhodné do polooblačného aj zamračeného počasia.

Ďalším testovaným variantom bolo pripojenie solárnych článkov priamo na svorky batérie. Týmto zapojením sa dosiahlo najrýchlejšie dobitie batérie na jej maximálne napätie 8,7 V, pričom bola dosiahnutá primerane uspokojivá kapacita batérie 93,44 %. Súčasne aj bez použitia usmerňovacej diódy, pri zatienení solárnych článkov, nedošlo k vybíjaniu batérie cez solárne články. Možno teda povedať, že toto zapojenie je vhodné do bezoblačného počasia do určitej hodnoty intenzity slnečného žiarenia.

V ostatných variantoch (kombinácie so zapojeným regulátorom napätia a usmerňovacej diódy) boli experimentálnymi meraniami zistené znížené parametre nabíjania, t.j. rýchlosť nabíjania, dosiahnutá kapacita nabitej batérie a veľkosť nabíjacieho prúdu.

V. ZÁVER

Cieľom predkladanej práce je aplikácia solárnych článkov ako zdroja čistej energie do malého systému s akumulátnou batériou, ktorý je reprezentovaný rádiom riadeného modelu elektromotorového vetroňa. Dôraz je kladený najmä na nájdenie vhodných parametrov, ideálneho zapojenia solárnych článkov a ich zladenie s potrebnými parametrami akumulátnej batérie tak, aby ich kombinácia umožňovala efektívny a nepretržitý prísun elektrickej energie pre RC model elektromotorového vetroňa.

Pri meraní výkonu zostavy solárnych článkov a batérie bol dosiahnutý maximálny spoločný výkon 85,63 W. Z toho 19,37 W dodávali solárne články, čím bolo čiastočne odľahčené zaťaženie batérie a predĺžená jej výdrž. Po vybití väčšiny kapacity batérie boli solárne články stále schopné dodávať výkon približne 20 W do

regulátora otáčok elektromotora a to pri intenzite slnečného žiarenia 520 W/m². Z toho možno vyvodit' záver, že v prípade väčšej intenzity slnečného žiarenia, by podľa teoretického výpočtu, pri výkone solárnych článkov väčšom ako 22,8 W, mal byť daný model schopný nepretržitého letu v rovnakej letovej výške iba vďaka energii zachytenej zo slnečného žiarenia.

Pravdepodobne najviac vhodným zapojením nabíjacieho obvodu je použitie regulátora maximálneho výkonu MPPT kompatibilného s použitou batériou pri vhodnom počte solárnych článkov s ohľadom na ich celkové napätie. Avšak kvôli malému a obmedzenému vnútornému priestoru trupu RC modelu je tento spôsob zapojenia vhodný pre väčšie typy solárnych RC modelov.

POĎAKOVANIE

Práca bola finančne podporená spoločnosťou VSD a.s. Autori ďakujú Ing. Mariánovi Mešterovi, PhD. za umožnenie finančnej podpory spoločnosťou VSD a.s. Poďakovanie patrí pánovi Boleslavovi Večeřovi za poskytnutie priestorov pre stavbu modelu a jeho cenné rady, nadobudnuté dlhoročnými skúsenosťami pri výrobe rádiom riadených leteckých modelov.

LITERATÚRA

- [1] R. A. Steven, and J. I. Daniel, "Vibration energy harvesting for unmanned aerial vehicles", Proc. SPIE 6928, Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems 2008, vol. 6928, pp. 1-12, 18 April 2008.
- [2] J. Sládek, "Drony a ich využitie v geovednom výskume," Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Bratislava, 2015. [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné na internete: <<http://www.fyzickageografia.sk/geovedy/texty/sladek15.pdf>>
- [3] Telemetrické kombo elektro 50A. [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné na internete: <<https://www.tatramodel.sk/zakladna-ponuka/rc-supravy/telemetria-hitec/1HI29940-5847-hts-ss-blue-c50-telemetricke-kombo-elektro-50a/>>
- [4] Autopilot pre lietadla 6-osý – (6G-B). [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné na internete: <<https://www.rcsvet.sk/stabilizacia/16746-autopilot-pre-lietadla-6-osy-6g-b-8595241382357.html>>
- [5] AerobTec Altis v4. [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné na internete: <https://horejsi.cz/DataFiles/aerobtech/AltisV4manual_cz.pdf>
- [6] V. Ryba, "Nutný výkon pro elektromodel," RC Revue: Elektrolety, RCR, vol. 3, pp. 1, 2010.

ADRESY AUTOROV

Bystrík Dolník, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, 04210, Slovenská Republika, bystrik.dolnik@tuke.sk
Radek Němec, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, 04210, Slovenská Republika, radek.nemec@student.tuke.sk