

# INVESTIGAREA REȚELEI ELECTRICE A UNUI AVION PILOTAT DE LA SOL, PRIN TREI SCENARII DE SIMULARE A ZBORULUI

Drd. ing. **Diana CAZANGIU**<sup>1</sup>, Drd. ing. **Gabriel DIMA**<sup>2</sup>, Dr. **Yves LEMMENS**<sup>3</sup>,  
Prof. dr. ing. **Ileana ROȘCA**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea „Transilvania” din Brașov, <sup>2</sup>NUARB Aerospace – Brașov,  
<sup>3</sup>LMS International, Belgia

**REZUMAT.** Aceste cercetări au făcut parte din cadrul unui proiect care a durat mai mult de un an, dezvoltat în colaborare cu compania LMS International din Leuven, Belgia și Universitatea Catolică din Brugge - Oostende. Scopul principal al acestor cercetări a fost dezvoltarea unui model arhitectural optim pentru rețeaua electrică a unui avion pilotat de la sol. Modelul arhitectural al rețelei electrice a avionului pilotat de la sol a fost proiectat utilizând elemente complexe care conțin componente electrice, de semnal, mecanice și termice. Investigarea parametrilor specifici a arhitecturii de referință proiectată s-a realizat prin intermediul platformei LMS.Imagine.Lab. S-au rulat simulări pentru trei tipuri de scenarii de zbor (test de sol, test de zbor scurt și test de zbor normal).

**Cuvinte cheie:** dronă, arhitectură de referință, rețea electrică, semnal, control de la distanță.

**ABSTRACT.** These researches were a part of a project which lasted more than a year and were done in collaboration with LMS International Company from Leuven, Belgium and Katholieke Hogeschool Brugge Oostende. The main purpose was the development of an optimum architectural model for the UAV electrical network. The architectural model for the UAV electrical network was designed using complex elements which contain electrical, by signal, mechanical and thermal components. It was developed and investigated the UAV electrical network using LMS.Imagine.Lab platform. It run simulations for the three types of flight simulation scenarios (ground test, flight test and normal flight).

**Keywords:** UAV, reference architecture, electrical network, remote control.

## 1. INTRODUCERE

În pregătirea în domeniul aviației, cercetătorii din cadrul companiei VLOC (în colaborare cu Universitatea Catolică din Brugge Oostende) au dezvoltat în ultimii ani o serie de proiecte de cercetare științifică, având ca topic avioanele pilotate de la sol. Scopul științific al acestor cercetări a fost inovarea tehnologică și operațională prin implementarea unui instrument de monitorizare a coastei flamande și a Mării Nordului.

În ultimul deceniu a crescut exponențial utilizarea armelor la avioanele pilotate de la sol, cunoscute sub denumirea de drone. O dronă este un avion fără pilot uman la bord. Zborul acesteia este controlat fie autonom, de computere instalate la bord, fie prin control de la distanță (pilotul fiind la sol).

Inițial, dronele au fost utilizate ca ținte de ghidare pentru antrenamentele piloților în zonele de incendii. Armata americană a început în 1959 un program (Vehicule controlate de la distanță) pentru a evita pierderea piloților în teritoriile ostile. Primele drone au fost utilizate în războiul din Vietnam. Începând cu

anii 1990 a crescut semnificativ interesul în construcția dronelor în domeniul militar dar și în cel civil. După anumite surse [3], în 2012, este estimat un număr de 76 țări care dețin diferite tipuri de avioane pilotate de la sol.

Utilizarea dronelor a crescut vertiginos în ultimii ani deoarece, spre deosebire de avioanele clasice cu pilot, acestea pot zbura ore întregi, sunt mult mai ieftine decât avioanele militare, sunt pilotate de la distanță deci nu prezintă nici un risc pentru echipaj.

Conform anumitor surse [1] producătorii de drone militare caută utilizatori civili pentru testarea dronelor în scopul extinderii vânzărilor și în domeniul supravegherii domestice. Datorită tehnologiei avansate este posibilă acum recunoașterea fețelor, a comportamentului dar și monitorizarea conversațiilor individuale [2].

Avioanele pilotate de la sol sunt construite pentru situații de urgență. Câteva aplicații tipice sunt următoarele: managementul operațiilor cu risc crescut, operațiuni de transport, misiuni de căutare și salvare, de stingere a incendiilor, inundații, monitorizarea vulcanilor, a uraganelor, a radiațiilor nucleare etc. O mare parte din aceste misiuni necesită timp suficient

petrecut în aer, achiziția imaginilor în timp real și de asemenea controlul de la distanță al situației de la sol.

Un aspect destul de important îl reprezintă creșterea automatizării la avioanele pilotate de la sol. În viitorul apropiat dronele vor fi capabile să decoleze, să navigheze la o destinație stabilită, să se întoarcă înapoi și să aterizeze fără intervenția operatorului uman [3]. Aceasta ar îmbunătăți fiabilitatea prin reducerea impactului generat de perturbarea semnalelor radio între dronă și centrul de control.

În viitor, dronele vor putea fi realizate în toate formele și mărimile, putând varia de la forma unei libelule de dimensiuni minuscule până la o insectă uriașă. În viitorii 30 ani vom putea vedea formații de mini-drone comunicând una cu cealaltă, având funcții de reconfigurare astfel încât dacă o unitate individuală este lansată într-o operațiune, va fi capabilă să identifice ținta, să lanseze armele în mod autonom, să răspundă și să interpreteze obiectivele misiunii ca simple instrucțiuni.

Această lucrare prezintă o metodă de proiectare a rețelei electrice a unui avion pilotat de la sol, investigarea acesteia prin trei scenarii distincte de simulare a zborului: test de sol, teste de zbor scurt și test de zbor normal. Ca obiective principale se pot enumera: determinarea parametrilor optimi ai componentelor astfel încât să se obțină un timp cât mai lung de zbor efectiv; crearea unei arhitecturi de referință a rețelei electrice a dronei care să constituie ca bază de plecare pentru o serie de teste viitoare, investigarea acestei arhitecturi creând scenarii de simulare identice cu cele reale.

## 2. INVESTIGAREA MODELULUI ARHITECTURAL AL UNUI AVION PILOTAT DE LA SOL

Universitatea Catolică din Brugge Oostende (Katholieke Hogeschool Brugge Oostende) a devenit un centru de expertiză pe domeniul sistemelor aeriene fără pilot și a dezvoltat o serie de proiecte pe această temă [4].

Unul din aceste proiecte a inclus un studiu de dezvoltare a unui avion pilotat de la sol care să zboare deasupra coaste flamande și a Mării Nordului și să monitorizeze prognoza vremii și a variațiilor de temperatură.

Acest avion pilotat de la sol va fi acționat electric cu energie ecologică obținută de la panouri solare și vânt. Drona va fi dotată cu dispozitive electronice specifice pentru realizarea zborului autonom.

În figura 1 este prezentat avionul pilotat de la sol propus de cercetătorii de la KHBO.

Avionul pilotat de la sol va avea dimensiunile de 5,87 m și 3,43 m, o greutate maximă de 63 kg cu o

încărcătură de 5 kg și va putea zbura cu viteza de 80 km/h pentru 2 ore. Sistemul de propulsie constă din două motoare electrice care pot produce maximum de eficiență și redundanță [4].



Fig. 1. Avion pilotat de la sol tip KHBO [4].

### 2.1. Descrierea principalelor componente ale modelului arhitectural al avionului pilotat de la sol

Modelul original al avionului pilotat de la sol dezvoltat de KHBO a fost proiectat, prin intermediul programului AMESim, din elemente care conțin componente electrice simple. Acestea sunt: două elice, două motoare de curent continuu, 4 baterii, două controllere electronice de viteză, 13 servomotoare, două receptoare, un emițător, un sistem receptor redundant și o cutie de putere.

Instrumentul software utilizat permite construcția de scheme specifice ingineriei sistemelor, prin adăugarea de icon-uri din biblioteca cu componente în spațiul de lucru.

Propulsia dronei se face prin intermediul a două motoare electrice care pun în mișcare cele două elice. Aceste motoare consumă cea mai mare parte a energiei electrice. Energia electrică este astfel transformată în energie mecanică și transferată către elice.

Elicea (fig. 2) a fost construită din componente standard din bibliotecă de date în special din cele de semnal.

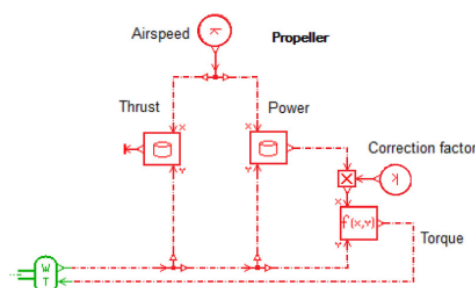


Fig. 2. Modelul de elice construit în AMESim.

Motorul de curent continuu (fig. 3) a fost construit pentru utilizarea unor tensiuni, încărcări și momente ridicate. S-a utilizat subcomponenta „TM Torque Motor“ care utilizează fișiere de date cu valori numerice ale momentului motor (Nm) în funcție de tensiune și viteză precum și pierderile de putere (W) în funcție de moment și viteză.

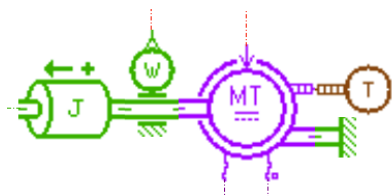


Fig. 3. Modelul de motor în AMESim.

Controller-ul de viteză (fig. 4) a fost creat din elemente și funcții de semnal. Astfel, intrarea este reprezentată de valoarea RPM. Se consideră că RPM maximă este egală 100 % din valoarea semnalului. Această valoare este comparată cu RPM actuală iar o serie de ajustări sunt realizate de un controller PID în buclă.

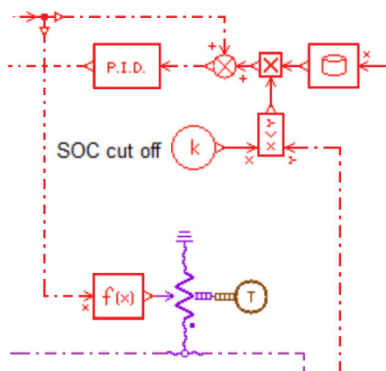


Fig. 4. Modelul ESC în AMESim.

Din motive de siguranță a fost setată o limită a nivelului de încărcare a bateriei; astfel se aduce semnalul la zero când valoarea de ieșire a încărcării bateriei devine mai mică decât cea setată – 10%.

Servomotoarele (fig. 5, a și b) au fost create în două modele și sunt bazate pe funcții matematice, o rezistență cu port termic și o componentă mecanică.

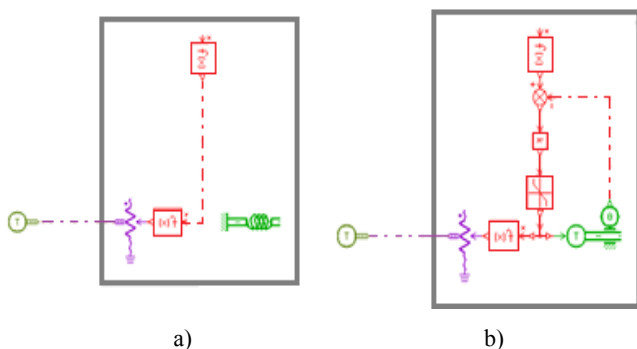


Fig. 5. Modele de servomotoare în AMESim.

Bateria litiu-polimer (fig. 6) este compusă din electrozi pozitivi și negativi, o membrană de separare, care previne contactul fizic între cei doi electrozi și un electrolit solid sau cu gel cu rol de mediu pentru deplasarea ionilor [5].

Sistemul receptor redundant (RRS) care se poate vedea în figura 7, a fost creat din componente electrice

simple (6 comutatoare cu două intrări utilizate pentru semnalele de la cele două receptoare, o rezistență cu port termic și o componentă termică).

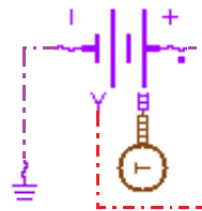


Fig. 6. Model de baterie în AMESim.

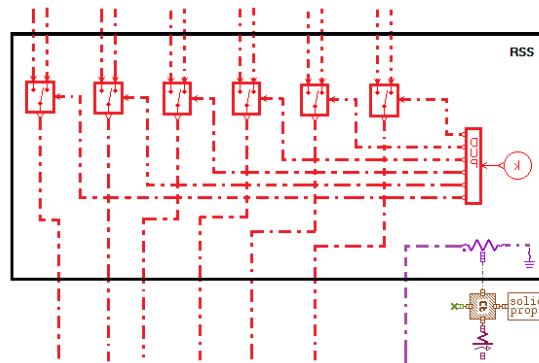


Fig. 7. Model de RRS în AMESim.

Cutia de putere, prezentată în figura 8, a fost creată dintr-o serie de componente electrice și de semnal (blocuri demultiplexoare dinamice), o rezistență cu port termic și o componentă termică.

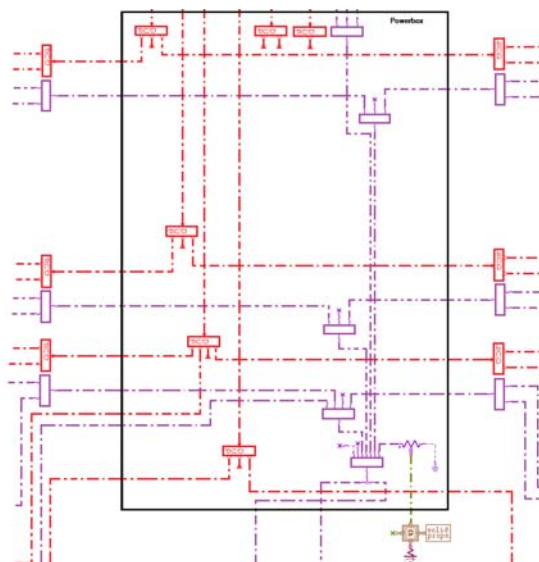


Fig. 8. Modelul cutiei de putere în AMESim.

Emițătorul și receptoarele vor fi descrise în capitolul următor.

S-a realizat astfel, un model schematic global, prezentat în figura 9, al rețelei electrice a dronei. După cum se poate observa în schema de mai sus, aceasta prezintă rezistoare simple și comutatoare pentru a reprezenta sarcina fiecărui component. Co-

nexiunile de semnal din figura 9 sunt trasate cu linie roșie iar alimentarea cu linie purpurie. Subcomponentele se găsesc în biblioteci diferite și sunt conectate una cu alta cu linie întreruptă.

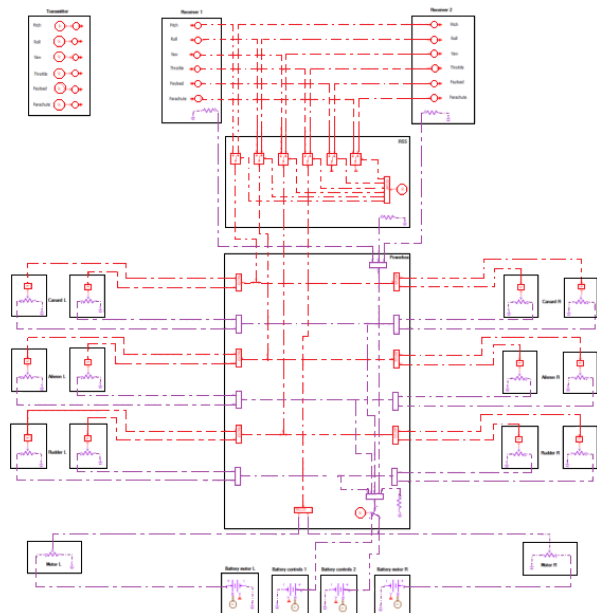


Fig. 9. Modelul arhitectural global al rețelei electrice a unui avion pilotat de la sol.

## 2.2. Transmisia semnalului în cadrul avionului pilotat de la sol

Emițătorul reprezintă componenta de control pentru majoritatea submodelelor existente în cadrul arhitecturii. Acesta transmite semnale pentru a modifica dinamica zborului avionului pilotat de la sol și activează sistemul de salvare al încărcăturii sau parașutei.

În tabelul 1 sunt prezentate o serie de semnale de ieșire care sosesc de la controller cu respectivele componente și tipuri de semnal.

Emițătorul a fost creat prin combinarea submodelelor din tabelul 1. S-a utilizat un fișier de date pentru a stoca tipuri de semnale diferite, care a

fost considerat ca parametru inițial pentru emițător. Modelul de emițător construit în AMESim poate fi observat în figura 10.

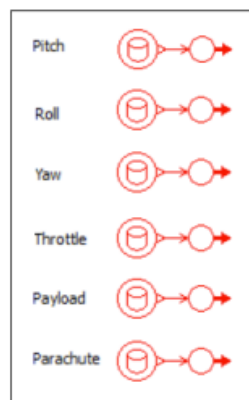


Fig. 10. Model de emițător în AMESim.

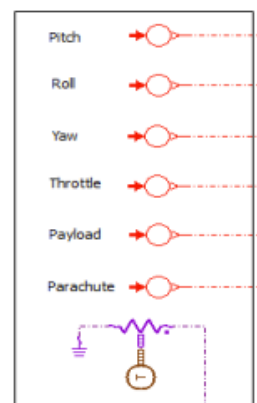


Fig. 11. Model de receptor în AMESim.

Semnalele transmise trebuie să fie recepționate de dispozitivele stocate în interiorul dronei. Există două receptoare identice care au aceeași funcție.

Fiecare submodel de receptor, primește un semnal de la emițător. Modelul de receptor construit în AMESim se poate vedea în figura 11.

## 2.3. Crearea arhitecturii de referință pentru rețeaua electrică a unui avion pilotat de la sol

Pornind de la modelul arhitectural global prezentat în figura 9 și utilizând soft-ul AMESim s-a creat arhitectura de referință pentru rețeaua electrică a dronei (fig. 12). Arhitectura de referință astfel creată prezintă doar managementul energetic.

În figura 12, liniile reprezintă conexiunile între componente, roșu pentru cele de semnale, violet pentru conexiunile electrice și verde pentru cele mecanice. Componentele care cauzează producerea căldurii au un port termic.

Tabelul 1. Semnalele de ieșire de la controller

Denumire	Componente controlate	Tip semnal
Picaj	4 servomotoare, două de fiecare parte pentru canard	Semnal între 0 și 100 cu 50 în centru
Ruliu	4 servomotoare, două de fiecare parte pentru eleroane	Semnal între 0 și 100 cu 50 în centru
Girație	5 servomotoare, două de fiecare parte pentru direcție și unul pentru pivotare	Semnal între 0 și 100 cu 50 în centru
Accelație	Două controllere electronice de viteză conectate cu motoarele	Semnal între 0 și 100
Încărcătură	Orice tip de încărcătură	Un singur semnal de ieșire (pomire/oprire) 0 sau 1
Parașută	Sistemul de salvare cu parașută	Un singur semnal de ieșire (pomire/oprire) 0 sau 1

## INVESTIGAREA REȚELEI ELECTRICE A UNUI AVION PILOTAT DE LA SOL

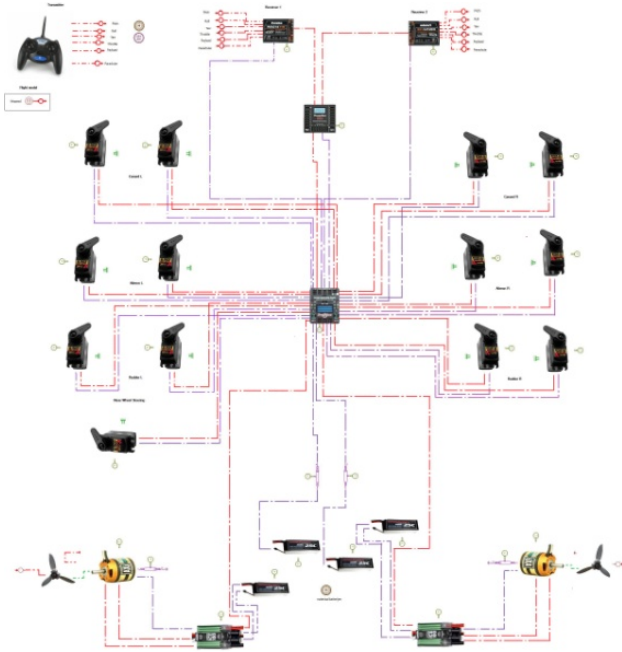


Fig. 12. Arhitectura de referință doar cu managementul energetic.

Se poate observa că partea de alimentare cu energie constă în 4 baterii care trimit energie către cele două controllere de viteză și către cutia de putere. De la controller semnalul electric este trimis către motor și elice. Cutia de putere transmite semnalul electric către servomotoare și către sistemul receptor redundant. De acolo puterea este transmisă către cele două receptoare.

### 3. TESTE ȘI SIMULĂRI

Este foarte important să se cunoască cât timp vor rezista bateriile principale într-un zbor real. În acest scop s-au creat scenarii diferite de simulare a zborului pentru arhitectura de referință astfel obținută.

Aceste scenarii constau în trei tipuri de teste:

- test de sol;
- test de zbor scurt;
- test de zbor normal.

Testul de sol a constat în încărcarea accelerației la 100% iar restul semnalelor emițătorului (girația, parașuta, ruliul, picajul și încărcătura) au fost reduse la 0 %. Pentru aceasta a fost necesară modificarea parametrilor emițătorului într-un editor de text. În urma simulărilor a rezultat graficul pentru reprezentarea gradului de încărcare a bateriilor principale. Timpul maxim de simulare pentru testul de sol a fost 1400 s.

Simularea pentru testul de zbor scurt s-a executat la parametrii normali ai emițătorului, pe o durată de 570 s. De asemenea au rezultat graficele reprezentative pentru a determina gradul de încărcare al bateriilor principale.

În cazul testului de zbor normal simularea s-a desfășurat pe o perioadă mai lungă (3400 s). În acest scop s-au modificat parametrii de intrare ai emițătorului într-un editor de text (doar pe coloana timpului). După simulare a rezultat graficul corespunzător.

Un profil de zbor poate consta din una sau mai multe etape. Fiecare etapă are proprii săi parametrii. Durata unei etape poate fi setată de fiecare dată în fișierul de date aferent.

Un zbor normal constă în 5 etape principale: decolarea, urcarea, croaziera, coborârea și aterizarea. Aceste etape se pot observa în imaginea din figura 13.

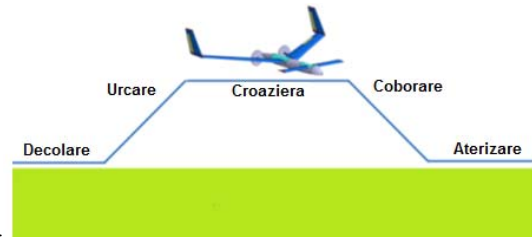


Fig. 13. Cele 5 etape ale unui profil de zbor.

Ca și parametrii de ieșire s-au urmărit gradul de încărcare a bateriilor principale și valoarea tracțiunii la ieșire.

### 4. REZULTATE ȘI CONCLUZII

După efectuarea tuturor simulărilor s-au înregistrat, pentru fiecare test în parte valori diferite ale celor doi parametrii de ieșire urmăriți.

Testul de zbor s-a efectuat pe o durată de 1400 s. În urma simulării s-a obținut pentru gradul de încărcare al bateriilor principale o valoare de 9,4323 %, care este reprezentată grafic în figura 14.

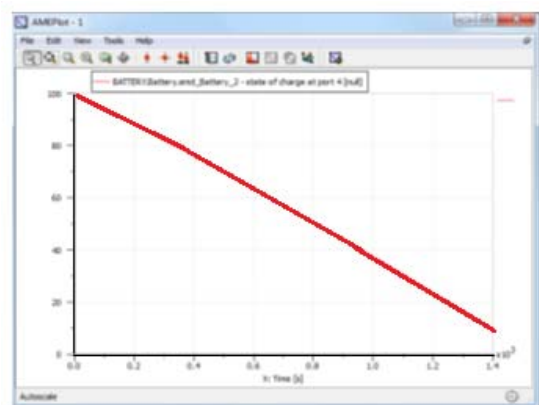


Fig. 14. Valoarea de ieșire pentru SOC pentru bateriile principale în cazul testului de sol.

Pentru valoarea de ieșire a tracțiunii s-a obținut de asemenea o reprezentare grafică, prezentată în figura 15. Se observă că variabila este reprezentată ca o linie dreaptă, lucru care a rezultat deoarece

parametrul de intrare a avut o valoare constantă, de 100 %.

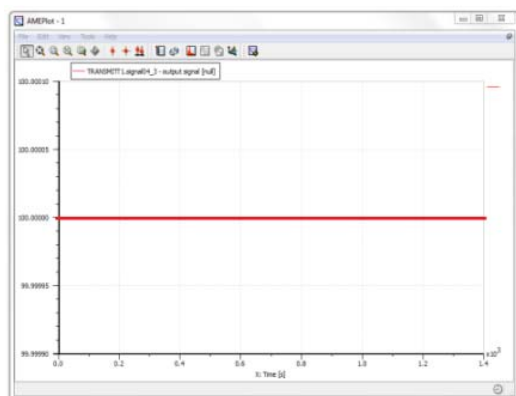


Fig. 15. Valoarea de ieșire a tracțiunii pentru testul de sol.

Scenariul de simulare a unui zbor scurt s-a efectuat pe o durată relativ scurtă (570 s). În urma simulării s-a înregistrat o valoare de ieșire pentru gradul de încărcare al bateriilor principale de 85,8571 %. Această valoare este reprezentată grafic în figura 16.

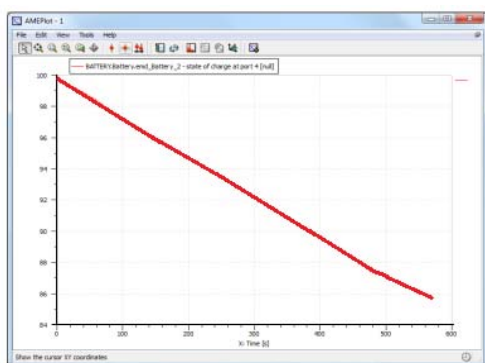


Fig. 16. Valoarea de ieșire pentru SOC pentru bateriile principale in cazul testului de zbor scurt.

Referitor la valoarea de ieșire tracțiunii, reprezentarea grafică poate fi vizualizată în figura 17. Pe grafic se pot observa cele 5 faze ale unui profil de zbor.

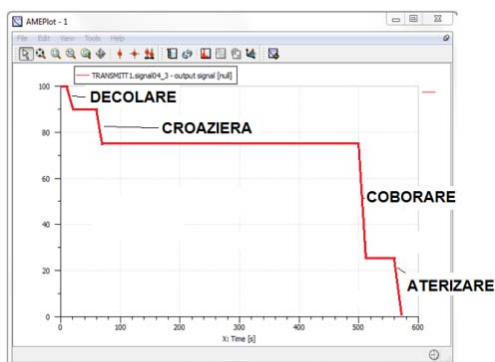


Fig. 17. Valoarea de ieșire a tracțiunii pentru testul de zbor scurt.

Scenariul de simulare a unui zbor normal s-a desfășurat pe o durată de 3400 s. După simulare s-a

obținut pentru gradul de încărcare al bateriilor principale o valoare de 10.2577 %. Acest rezultat este reprezentat grafic in figura 18.

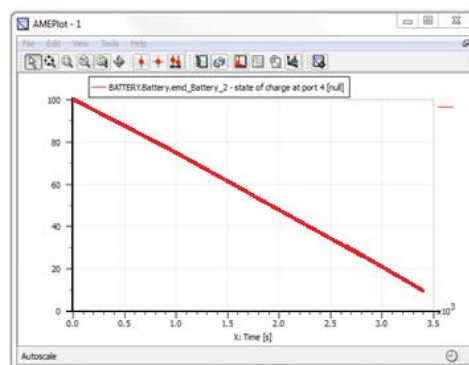


Fig. 18. Valoarea de ieșire pentru SOC pentru bateriile principale in cazul testului de zbor normal.

S-au înregistrat rezultate grafice și pentru valoarea de ieșire a tracțiunii. Acestea sunt prezentate în figura 19.

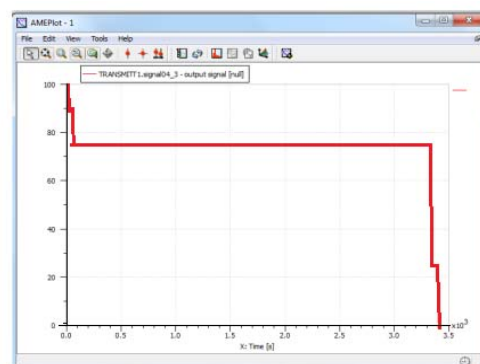


Fig. 19. Valoarea de ieșire a tracțiunii pentru testul de zbor normal.

În urma simulărilor executate pe modelul arhitectural al rețelei electrice a avionului pilotat de la sol se pot evidenția o serie de concluzii, mai semnificative fiind următoarele:

- Alegerea corectă a parametrilor este un proces extrem de important în domeniul ingineriei. În acest sens, înainte de a se lua decizia de construcție a unui model fizic este necesar să se execute o serie de simulări pe un model conceptual (în cazul de față modelul arhitectural al rețelei electrice a avionului);
- Acuratețea rezultatelor obținute depinde în mare măsură setarea corectă a parametrilor din cadrul arhitecturii studiate;
- Pentru cazul proiectării modelului arhitectural un aspect important îl constituie setarea unei limite inferioare a nivelului de încărcare a bateriei (10 %).

În finalul acestei lucrări as dori să mulțumesc Universității catolice din Brugge Oostende (KHBO) pentru datele furnizate precum și pentru suportul teoretic necesar realizării acestor cercetări.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Austin R., *Unmanned aircraft systems, UAVS design, development and deployment*, Wiley, UK, 2010
- [2] \* \* \*, *Convenient Killing: Armed Drones and the Playstation Mentality*, FOR, UK, 2010
- [3] Birch M., Lee G., Pierscionek T., *Drones, the physical and psychological implications of a global theatre of war*, Medact 2012, UK
- [4] VLOC. (2011). *PWO project UAV*. Ostend: KHBO.
- [5] E. Pastor, C. Barrado, P. Royo, J. Lopez and E. Santamaria (2009). *An Open Architecture for the Integration of UAV Civil Applications, Aerial Vehicles*, Thanh Mung Lam (Ed.), ISBN: 978-953-7619-41-1, InTech, Available from: [http://www.intechopen.com/books/aerial\\_vehicles/an\\_open\\_architecture\\_for\\_the\\_integration\\_of\\_uav\\_civil\\_applications](http://www.intechopen.com/books/aerial_vehicles/an_open_architecture_for_the_integration_of_uav_civil_applications) – Retrieved 07.05.2012
- [6] Thunderpower. (2011). *Thunderpower Battery documents*. From Thunderpower: <http://thunderpowerrc.com/html/documents/TPRCWebPriceList08242011.pdf>
- [7] Models of servos (2012). Retrieved 10.04.2012 from HITEC: <http://www.servoshop.co.uk/index.php?pid=HITHS5056MG&area=Servo>
- [8] Models of Brushless Motors (2012). Retrieved 10.04.2012 from AXI 5320/18 GOLD LINE: <http://www.modelmotors.cz/index.php?page=61&product=5325&serie=18&line=GOLD>
- [9] Propeller image from <http://www.taem.co.za/products.html> (retrieved 07.05.2012)

---

## Despre autori

Drd. ing. **Diana CAZANGIU**  
Universitatea „Transilvania“ – Brașov

Absolventă a Universității „Transilvania“ din Brașov. Din anul 2012, activează ca inginer doctorand la Universitatea „Transilvania“ din Brașov, cu competențe în utilizarea mediului de programare grafică și analiza și prelucrarea semnalelor.

Drd. ing. **Gabriel DIMA**  
NUARB Aerospace Brașov

Absolvent al Universității „Transilvania“ din Brașov. Din anul 2010, Director tehnic în cadrul Companiei NUARB Aerospace din Brașov, cu competențe în utilizarea programelor FEM de calcul și simulare precum și specializări multiple în cadrul CAD.

Dr. **Yves LEMMENS**  
LMS International, Belgia

Absolvent al specializării de Aviație și Tehnologii Spațiale din cadrul Universității din Brussels, a obținut doctoratul la Departamentul de Inginerie Aerospațială a Universității din Cranfield University (UK). Este cercetător și responsabil de proiect la centrul de Competență aerospațială din cadrul companiei LMS International unde are preocupări în simularea multicorp cu integrarea sistemelor pentru aplicații aerospațiale.

Prof. univ. dr. ing. **Ileana ROȘCA**  
Universitatea Transilvania din Brașov

Absolventă a Universității „Transilvania“ din Brașov. Din anul 2000, este profesor la Universitatea „Transilvania“ din Brașov și are competențe în domeniile: Metrologie; Modelarea biosistemelor și metode moderne de măsurare; Biomecanică, proteze și orteze; Ombroscopie optică și tratament statistic de imagine.