

PROGRESUL TEHNOLOGIC ȘI UTILIZAREA STRUCTURILOR DIN MATERIALE COMPOZITE ÎN INDUSTRIA AERONAUTICĂ

Dr. ing. Dorin ROȘU¹, Ing. Bogdan SPINEANU², Ing. Tudor-Mihai TOMESCU³,
Ing. Traian TOMESCU⁴

¹S.C. Compozite SRL – Brașov, ²A.A.Bv. – Brașov, ³Premium Aerotec GmbH, Germania,
⁴Sucursala AGIR Brașov

REZUMAT. Lucrarea se adresează Inginerilor și celor care doresc să aprofundeze cunoștințele privind utilizarea unor tipuri de materiale compozite în industria aeronautică și în alte domenii.

Cuvinte cheie: proiectarea în industria aeronautică, structuri din materiale compozite, fibre de sticlă, fibre de carbon, fibre de Kevlar.

ABSTRACT. This paper addresses the engineers and those who wish to deepen their knowledge on the use of some types of composite materials for the aircraft industry and other fields.

Keywords: design in aeronautics, composite structures, fiber pieces, carbon fiber, Kevlar fiber.

Aeronautica, în care greutatea minimă și rezistența maximă sunt elemente esențiale, a reprezentat de la începuturile sale un domeniu de avangardă în tehnica mondială, în care au fost utilizate cele mai noi rezultate ale progresului tehnologic și cele mai noi materiale.

De la primele aeronave, la care se utilizau materiale nemetalice ușoare ca lemnul și țesăturile de pânză, s-a ajuns în ultimii 50 de ani la utilizarea în procente din ce în ce mai mari a materialelor compozite pentru realizarea structurilor de aeronave, în locul materialelor metalice. Utilizarea materialelor compozite în industria aeronautică a cunoscut o dezvoltare susținută și continuă, trecând de la realizarea de piese ce nu preluau sarcini mari, pentru aeronave cu viteze de zbor relativ mici (elicoptere, avioane usoare), la realizarea de piese vitale pentru aeronave cu viteze și sarcini mari. În consecință, numărul pieselor realizate din materiale compozite utilizate la aeronave s-a mărit continuu, ponderea acestora crescând atât ca importanță cât și ca suprafață, înlocuind elemente executate în mod tradițional din metale. Proiectarea pieselor din materiale compozite s-a perfecționat prin utilizarea unor metode tot mai precise de elaborare a materiilor prime, utilizându-se tehnologii tot mai sigure pentru fabricarea materialelor (rășini, fibre de sticlă, fibre de carbon, Kevlar etc.). Prin dezvoltarea de softuri și programe de proiectare tot mai performante, se limitează practic la zero diferențele dintre caracteristicile proiectate și cele verificate experimental pentru componentele aeronavelor executate din materiale compozite.

Materialul compozit cel mai utilizat pentru fabricarea de componente de mare siguranță ale aeronavelor este fibra de carbon, sub diferite forme (unidirecțională, țesătură, mat), impregnată cu rășini. Acest material compozit este utilizat preponderant sub formă preimpregnată cu rășini ce polimerizează la temperaturi de până la 350°C și, în alte situații, la temperaturi mai înalte. Fibrele de carbon preimpregnate, asigură un raport volumic strict controlat între rășina și fir, ceea ce asigură caracteristicile proiectate. Materialul preimpregnat se poate croi și așeza în dispozitivele de mulare cu acuratețea rezultată din proiectare, privind direcțiile principale de solicitare ale piesei rezultate. Preimpregnatele au avantajul important de a se putea croi pe utilaje asistate de computer, precizia și productivitatea fiind mari, deoarece la temperatura ambiantă acest material are o consistență adecvată (nu este foarte rigid, nu este lipicios etc.). Polimerizarea (întărirea) se face în autoclave cu ciclul de urcare, menținere și coborâre a temperaturii, controlat, conform tehnologiilor de execuție,

Un scurt istoric ne permite să observăm că cerințele unei mase mici, completată cu robustețea, au făcut ca materialele compozite să intre repede în atenția constructorilor de aparate zburătoare și nu numai.

Anul 1938 aduce utilizarea panourilor sandwich cu miez de lemn acoperit cu plăci de aliaj ușor, la avionul Morane 406 (Franța). Nici Marea Britanie nu se lasă mai prejos și în 1943 realizează lonjeronul și piesele componente ale fuzelajului pentru Spitfire din compozite – matrice fenolică ranforsată cu fibre

UTILIZAREA STRUCTURILOR DIN MATERIALE COMPOZITE ÎN INDUSTRIA AERONAUTICĂ

de cânepă. Compozitul fibră de sticlă - rășină poli-esterică se utilizează începând cu anul 1950, el permițând realizarea unor carenaje complexe.

Piesele cu structură de carbon - rășină epoxy au fost folosite începând din 1970. În ceea ce privește fibrele, o largă utilizare în această industrie o au fibrele de sticlă (sticla E și S), fibrele aramidice și cele de carbon - grafit. Sticla E este folosită la izolații, iar sticla S, la confecționarea carcaselor motoarelor rachetelor.

Fibrele aramidice, introduse în aplicații pentru prima dată la începutul anilor '70, sunt utilizate la fabricarea carcaselor motoarelor rachetelor strategice și tactice, ca și pentru rezervoarele sub presiune ale navetelor spațiale și ale sateliților.

Fibrele de carbon, introduse în aplicații curente tot prin anii '70, sunt utilizate pe scară largă în structurile ce necesită o bună stabilitate structurală și rigiditate foarte mare. Aceste fibre sunt folosite sub formă de filamente înfășurate, la realizarea structurii de rezistență și a carcasei rachetelor strategice.

Greutatea scăzută, rigiditatea ridicată, coeficientul de dilatare termică scăzut și stabilitatea dimensională în timpul duratei de viață reprezintă caracteristici ce se adaugă la calitățile deosebite ale materialelor compozite.

Aplicațiile materialelor compozite în construcțiile aeronautice se largesc tot mai mult. Utilizarea lor determină realizarea unor aeronave cu calități și performanțe tot mai bune. Procentajul materialelor compozite la construcția aeronavelor este în continuă creștere, în avantajul motivației pentru care este construită aeronava. Astfel, din compozite se realizează:

- planoarele în procent de 10-100%;
- elicopterele în procent de 30-80%;

- piese simple, carenaje complexe, planee figure tip NIDA, pale spate, pale principale, structuri cocă, aripi de avioane cu dispozitive de hipersustentație, eleroane, flapsuri, ampenaje, fuzelaje sau piese pentru motoare cu reacție și sisteme de rachetă tactice sau strategice.

În prezent, marea majoritate a industriei aeronautice folosește ca materiale de bază compozitele armate cu fibre de carbon. Acestea se prezintă sub formă de benzi preimpregnate – denumite „pregreg” și sunt folosite pe scară largă de firmele Boeing, McDonnell Douglas, General Dynamics și Northrop. Multe aplicații ale acestor materiale sunt destinate programelor militare, ce reprezintă mai mult de 40% din industria aeronautică.

În anul 1985 concernul McDonnell Douglas a utilizat 181.500 kg materiale compozite pentru avioanele de luptă F-18 și AV-8B. Circa 26% din greutatea structurii avionului AV-8B o reprezintă materialele compozite, ceea ce contribuie la o reducere a greutății acestuia cu aproape 225 kg. Sunt realizate din materiale compozite următoarele elemente: chesonul aripii, fuselajul din față, stabilizatorul orizontal, profundorul, carenaje și suprafețe de control. Învelișurile aripiilor sunt alcătuite din mai multe plăci stratificate puse cap la cap și îmbinate într-o structură tip multilonjeron.

Pentru avionul F-18, 10,3% din greutatea sa și mai mult de 50% din suprafața sa sunt realizate din compozite armate cu fibre de carbon. Aceste materiale sunt îndeosebi folosite pentru învelișul aripiilor, pentru suprafețele de comandă de pe aripă și ampenaje, frâna aero-dinamică, cât și pentru prelungirea bordului de atac. Învelișurile aripiilor acestui avion sunt realizate din plăci stratificate a căror grosime variază de la bază spre vârf, având grosimea minimă de 2 mm.

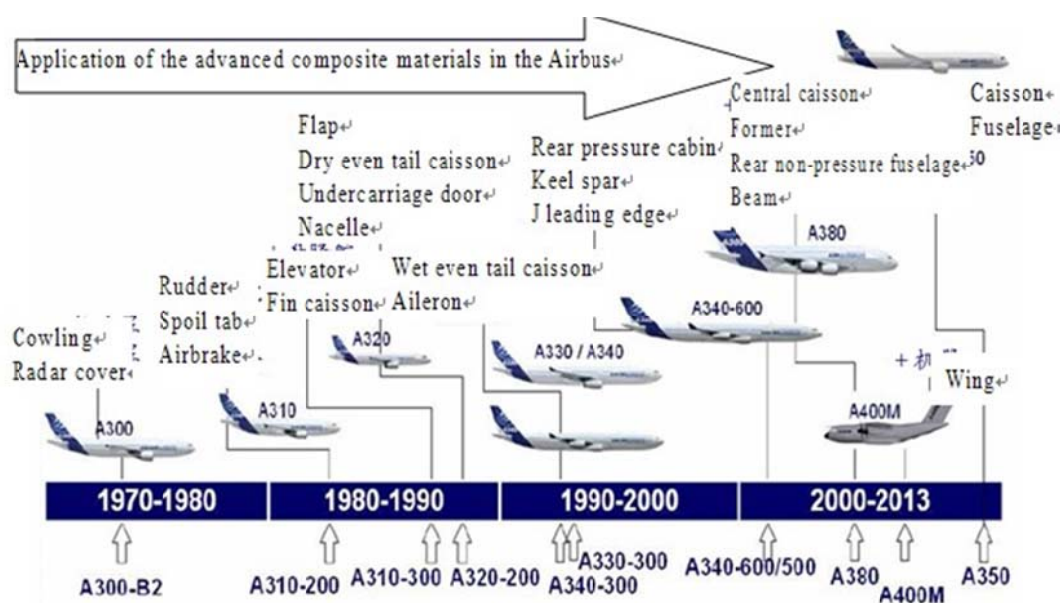


Fig. 1. Evoluția utilizării materialelor compozite la părți componente ale avioanelor de tip Airbus.

Bombardierul B-18 utilizează un număr mare de componente ale structurii realizate din materiale compozite, ca de exemplu lonjeroanele din spate, ușa gondolei armamentului și flapsurile. Toate aceste materiale, inclusiv adezivii, sunt tratate termic la 175°C. Aceste componente includ stratificatele, structuri în fagure, precum și structuri sandwich (plăci compozite cu miez de aluminiu). Firma Northrop Grumman Aerospace a realizat, plecând de la un compozit armat cu fibre de bor, stabilizatoare orizontale pentru avionul de luptă F-14A.

Firma General Dynamics utilizează un compozit armat cu fibre de carbon pentru stabilizatoarele orizontal și vertical. Aripile avionului de atac A-6 sunt realizate în prezent din materiale compozite foarte ușoare, cu proprietăți mecanice îmbunătățite și cu o mai bună rezistență la coroziune. Ușile gondolelor armamentului sunt realizate din materiale sandwich la care miezul este alcătuit din structură de tip fagure de aluminiu, iar învelișul, din foi de carbon - epoxy. Datorită faptului că ușile sunt așezate într-o poziție vulnerabilă, putând fi supuse la deteriorări, acestea sunt prevăzute cu straturi exterioare alcătuite din rășini fenolice armate cu fibre aramidice, realizându-se astfel o rezistență la penetrare foarte ridicată. Pentru fiecare avion se folosesc 3040 kg de materiale compozite, rezultând o scădere a greutatei cu circa 1360 kg.

Elicopterele constituie o categorie mai puțin dezvoltată decât avioanele, dar ținând cont de specificul acestor aparate, cadența de implementare a materialelor compozite este mai ridicată și ocupă procentaje mai importante decât în cazul avioanelor. În figura 2 sunt prezentate câteva dintre componentele elicopterelor care se realizează utilizând materiale compozite.

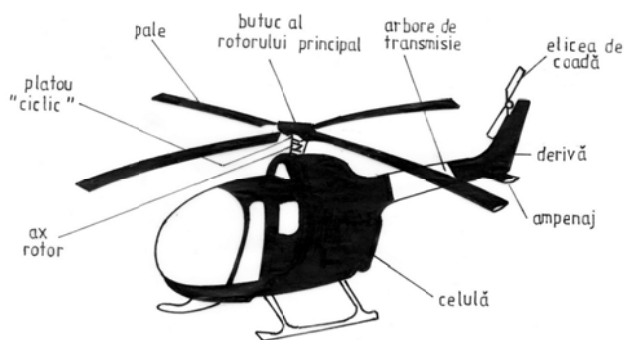


Fig. 2. Componentele elicopterelor care se realizează utilizând materiale compozite.

Multe dintre noile elicoptere au fuzelajul realizat din material compozite, acestea contribuind la o reducere a greutatei cu aproximativ 50%.

În construcția aerospațială componentele structurale sunt de obicei ușoare și mici, iar în timpul funcționării trebuie să reziste la accelerații foarte mari și la vibrații, în condiții de lucru foarte severe (umiditate ridicată, nisip, sare și substanțe chimice). Carcasele motoarelor acestor rachete trebuie să

funcționeze la presiuni ridicate și să aibă o rigiditate axială mare. De aceea, majoritatea componentelor rachetelor tactice sunt realizate din metal, materialele compozite fiind doar înlocuitori ai metalelor. Rachetele strategice au în general componentele de dimensiuni foarte mari, nu lucrează la temperaturi ridicate, iar carcasa motorului funcționează la presiuni scăzute. Datorită gabariturii lor aceste componente sunt realizate în mod obișnuit din filamente de carbon înfășurate, cu scopul reducerii greutatei.

Componentele rachetelor defensive trebuie să fie ușoare și rezistente la variații mari de temperatură. În plus, acestea sunt supuse unor accelerații foarte mari la lansare, precum și la solicitări de șoc, vibrații etc. Una dintre cele mai severe cerințe ale acestor rachete este aceea de a rezista la radiațiile nucleare și de a corespunde din punct de vedere structural și aerodinamic atunci când sunt supuse presiunilor ridicate datorate exploziilor nucleare. Din cauza acestor cerințe, cea mai mare parte a componentelor rachetelor defensive sunt realizate din materiale compozite.

Protecția termică joacă un rol foarte important, cu precădere la intrarea în atmosferă a navelor spațiale. La naveta aerospațială NASA (USA) se utilizează garnituri din compozit carbon - carbon, siliciu - siliciu și piese structurale din bor - aluminiu. Temperatura de utilizare este de 300 °C, dar poate ajunge și la 600 °C. Partea centrală este protejată de plăcuțe din compozite ceramice siliciu - siliciu, care constituie un scut termic radiant. Ele sunt separate printr-un perete dintr-un aliaj ușor sau un stratificat bor - aluminiu, dar și printr-un sandwich din fetru și naylon neinflamabil (silicon - fagure de albină).

Rășinile cele mai utilizate în aplicațiile aerospațiale sunt cele epoxidice. Acestea au o bună comportare atât la temperaturi ridicate (120-180°C), cât și la temperaturi scăzute (-90°C). Rășinile epoxidice răspund bine și altor cerințe, cum ar fi: tenacitate și rezistență mare la rupere.

Alte tipuri de rășini utilizate în acest domeniu îl reprezintă rășinile poliamidice și termoplastice. Rășinile poliamidice au performanțe foarte bune la temperaturi cuprinse între 200 și 300°C și se utilizează cu precădere la realizarea rachetelor tactice, dar au dezavantajul unei tehnologii dificile de prelucrare și un preț de cost mult mai mare decât cel al rășinilor epoxidice. Materialele compozite se utilizează și de către echipa ARCA (Asociația Română pentru Cosmonautică și Aeronautică) inclusă în programul Exo Mars. Între Agenția Spațială Europeană (ESA) și ARCA s-a semnat un contract de 1,1 milioane de dolari pentru anul 2013, fiind posibilă continuarea colaborării și în 2014.

Materialele compozite sunt folosite în aviația comercială de cinci decenii. În anii 1980, fabricanții de aeronave utilizau aceste materiale pentru struc-

UTILIZAREA STRUCTURILOR DIN MATERIALE COMPOZITE ÎN INDUSTRIA AERONAUTICĂ

turile secundare, cum ar fi capetele de aripi sau pentru suprafețele de comandă. La începutul anilor '90, odată cu introducerea în exploatare a avioanelor de tip Airbus A320, materialele compozite au fost folosite pentru prima dată pentru construcția unei secțiuni întregi, respectiv partea posterioară sau coada aeronavei. Aceste structuri sunt constituite din straturi

de carbon sau fibre de sticlă și rășini de întărire, iar principalul lor avantaj este greutatea redusă, care poate implica și alte avantaje: consum redus de carburant și viteză de deplasare mai mare, datorită măririi raportului putere/greutate.

În ultimii ani, producătorii de avioane de pasageri au extins uzul acestor materiale ușoare și rezistente.

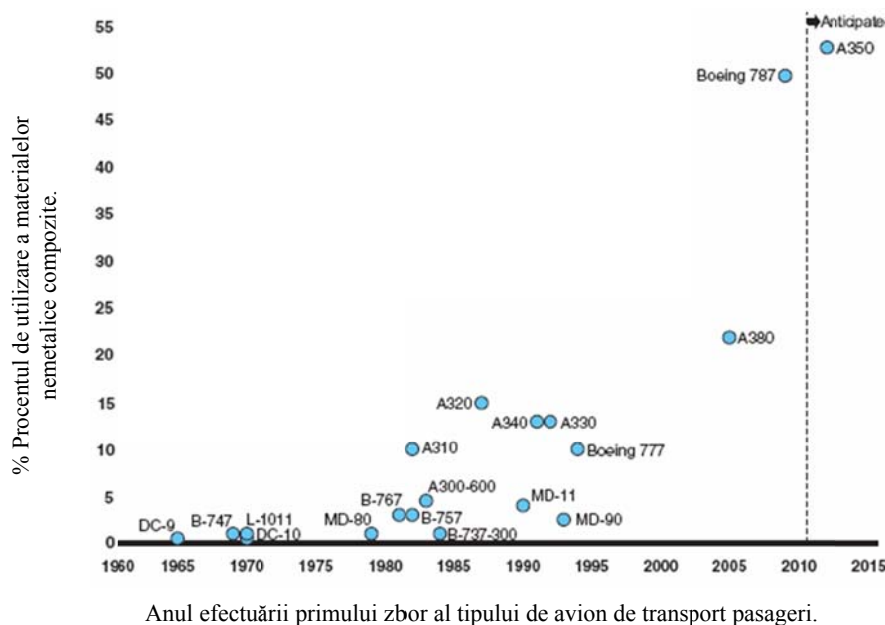


Fig. 3. Evoluția procentul de utilizare a materialelor nemetalice compozite la avioane comerciale.

Odată cu validarea tehnologiilor și materialelor compozite și mai ales a introducerii pe scară largă în industria aeronautică a structurilor din materiale compozite, a apărut necesitatea folosirii la maximum a performanțelor calculatoarelor moderne. Astfel au apărut în cadrul Catia module speciale dedicate proiectării diverselor piese, cum ar fi modulul CPD (Composite Part Design), dedicat proiectării pieselor din materiale compozite, care este o veritabilă unealtă pentru inginerii proiectanți. În ultimii ani, ponderea fibrelor de carbon în industria aeronautică a ajuns la peste 50% din structura avionului. Exemple recente care ilustrează aceasta sunt avioanele de tip Boeing 787 din SUA și avioanele de tip Airbus A350 din Europa.



Fig. 4. Avionul Boeing 787 realizat în SUA.

Boeing 787 este primul avion de pasageri construit în proporție de 50% din materiale compozite,

iar avioanele de tip Airbus A350 XWB (în figura 5, Avionul Airbus A350 XWB prototip A350-941 F-WXWB în primul zbor din 14 iunie 2013) sunt primele avioane comerciale la care este depășit procentul de 50% în utilizarea materialelor compozite (52-53%). Evoluția procentului de utilizare a materialelor nemetalice compozite la avioane comerciale de tip Airbus este ilustrată în figura 6 și arată creșterea evidentă a utilizării materialelor compozite.



Fig. 5. Avionul Airbus A350 XWB din Europa.

Clasificarea aeronavelor civile în conformitate cu reglementările internaționale cuprinde categoriile A, B, C, D și E care prezintă următoarele caracteristici:

– Categoria A: anvergura < 15m, lățime tren < 4,5 m. Tipuri de aeronave categoria A: toate aeronavele cu un singur motor, sau unele jet-uri business.

– Categoria B: anvergura între 15 și 24 m, lățime tren 4,5 - 6 m. Tipuri de aeronave categoria B: toate

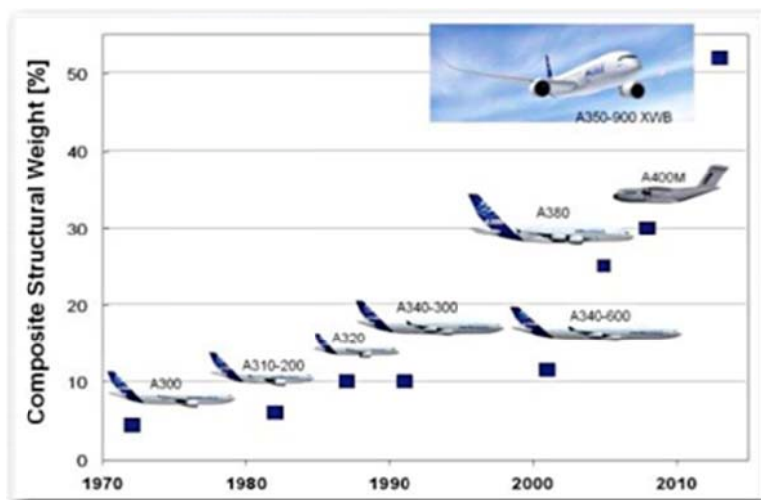


Fig. 6. Evoluția procentelor de utilizare a materialelor composite la avioane de tip Airbus.

aeronaute de transport regional, sau unele jet-uri business mari (EMB-120, Saab 2000, Saab 340 etc);

– Categoria C: anvergura între 24 și 36 m, lățime tren 6 - 9 m. Tipuri de aeronave categoria C: toate aeronavele de transport de distanțe medii (B727, B737, MD-80, A320);

– Categoria D: anvergura între 36 și 52 m, lățime tren 9 - 14 m. Tipuri de aeronave categoria D: toate aeronavele de transport de distanțe lungi (B757, B767, A300);

– Categoria E: anvergura între 52 și 65 m, lățime tren 9 - 14 m. Tipuri de aeronave categoria E: toate aeronavele de transport de distanțe lungi (B747, L-1011, DC-10, B787, A350).

Pentru avioanele civile clasificate conform reglementărilor internaționale I.C.A.O, din categoria celor ușoare și ultraușoare incluse de regulă în clasele A și B, procentele de utilizare a materialelor compozite au crescut la peste 50%. Un exemplu în acest sens este extinderea cercetărilor și realizările recente în domeniul aeronavelor cu motoare electrice alimentate cu baterii, cum este cazul avionului realizat în Germania de inginerul român din Brașov, Călin Gologan, director al firmei PC AERO Electra One, care a realizat primul zbor la data de 21 mai 2011, din care se dezvoltă și varianta de alimentare cu celule solare.



Fig. 7. Avionul ușor monoloc din materiale compozite Electra One și varianta electric - solar.

Alte aplicații în legătură cu aviația:

- fabricarea de sisteme de protecție a antenelor, radomuri transparente radio la frecvențele utilizate, rezistente la intemperii și solicitări mecanice (antene de telefonie mobilă, antene radar, antene radio etc.);
- fabricarea de instalații și utilaje aerodrom (sisteme de iluminare, stâlpi, cabine, drenaje, insonorizări etc.);
- fabricarea de simulatoare de zbor.



Fig. 8. Simulatoare de zbor realizate la S.C. Simultec S.A. – București cu componentele din materiale compozite de la S.C. Compozite S.R.L. Brașov.

Și în prezent, la Brașov există societăți comerciale care realizează componente din materiale compozite, una dintre acestea, S.C. Compozite S.R.L. – Brașov, condusă de dr. ing. Roșu Dorin, fiind realizatoarea cabinei din materiale compozite pentru simulatoarele de zbor realizate în România la S.C. Simultec S.A. – București și a unor piese pentru balizajul pistelor de aeroporturi.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Flight International; http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_International
- [2] www.newairplane.com/787/;
- [3] www.newairplane.com/A350XWB/;
- [4] www.airbus.com
- [5] <http://www.aircraft-certification.de/index.php/news-reader/items/solarworld-e-one-22.html>

Despre autori

Dr. ing. **Dorin ROȘU**

S.C. Compozite SRL – Brașov

Absolvent în anul 1971 al Institutului Politehnic din Brașov. A lucrat ca inginer la IAR – Brașov în perioada 1975-1991. Din anul 1991 este director general la S.C. Compozite SRL – Brașov. Este doctor în științe tehnice în domeniul materialelor compozite.

Ing. **Bogdan SPINEANU**

A.A.Bv. – Brașov

Absolvent al Facultății Tehnologia Construcțiilor de Mașini, secția Tehnologia construcțiilor de mașini – promoția 1970. Specializări în domeniul materialelor moderne în Franța, Anglia, Olanda, Polonia. Angajat din anul 1971 al IAR S.A. – Brașov. A fost șef birou tehnic pentru piese din cauciuc și injectate pentru toate aeronavele din fabricație (1992-1994), șef secție Materiale moderne și șef atelier Materiale moderne (1994-2002), șef birou tehnic Secția piese simple și subansamble elicoptere (2002-2004), inginer specialist în domeniul materialelor moderne în Serviciul tehnic pe întreprindere (din 2004 până la pensionare). A fost coordonator pentru proiectare tehnologică și SDV-istică în asimilarea licențelor pentru 3 tipuri de elicoptere, avioane și planoare, acoperind domenii de activitate diverse de proiectare tehnologică și SDV-istică pentru piese din tablă, uzinate, sudate, materiale moderne, cauciuc, injectate, gabarite de asamblare etc. A coordonat proiecte pentru studenți din Franța și București. Este membru AGIR și membru al A.A.Bv.

Ing. **Tudor-Mihai TOMESCU**

Premium Aerotech, Augsburg, Germania

A absolvit în anul 1997 Facultatea de Inginerie Tehnologică la Universitatea „Transilvania” din Brașov, secția Construcții Aeronautice. A lucrat ca inginer proiectant la: SC Cambric SRL – Brașov (1998-2000), OMF – Germania; INA Schaffler – Germania, CAE Inc – Canada (la avionul Airbus A320), CTT System AB – Suedia (pentru avioanele Airbus A380 și Boeing B767), Bombardier Aerospace – Montreal, Canada (pentru avionul Global Express G 5000) și EADS în Germania (pentru avioanele Airbus A350 și A400). În prezent este inginer la Premium Aerotec, Germania. Membru al sucursalei A.G.I.R. Brașov.

Ing. **Traian TOMESCU**

Președintele Sucursalei AGIR Brașov

A absolvit Facultatea de Aeronave și Instalații de Bord din Institutul Politehnic București în anul 1970 și, ca inginer la SC IAR SA – Brașov, șef al secției Montaj general și încercări aeronave, a contribuit la montajul a peste 1000 de planoare, motoplanoare, avioane și elicoptere. Este aeromodelist din 1950 și, în perioada 1966-1970, pilot sportiv – planorist de performanță cu insigna F.A.I C argint. A lucrat 37 de ani ca inginer la SC IAR SA – Brașov și în perioada 2007-2011 a fost director general la S.C. Construcții Aeronautice S.A. – Brașov, în prezent fiind pensionar. Este președinte al Sucursalei A.G.I.R. Brașov și membru al Consiliului Director al Asociației Generale a Inginerilor din România.