

ANALIZA RISCURILOR INTEGRITĂȚII STRUCTURALE A PALELOR TURBINELOR EOLIENE

Șef lucr. dr. ing. **Mariana Domnica STANCIU**¹, Prof. univ. dr. ing. **Ioan CURTU**¹,
Fiz. dr. **Adriana SAVIN**², Drd. **Rozina STEIGMANN**², Ing. **Ionuț TEȘULĂ**¹

¹ Universitatea „Transilvania” din Brașov, Departamentul de Inginerie Mecanică,

² Institutul de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – Iași,

Laboratorul de Încercări Nedistructive

REZUMAT. Lucrarea prezintă o sinteză generală a factorilor de risc ce duc la pierderea stabilității structurale a palelor turbinelor eoliene. Aceștia gravitează în jurul următoarelor aspecte cheie: calitatea materialului, calitatea geometriei și design-ului, tehnologia de fabricație, procedurile de testare adoptate, durata, intensitatea și natura solicitărilor și nu în ultimul rând factorii agresivi de mediu.

Cuvinte cheie: factori de risc, pale de turbină eoliană, stabilitate structurală.

ABSTRACT. This paper presents a general overview of the risk factors that lead to loss of structural stability of wind turbine blades. They revolve around the following key issues: quality of material, geometry and quality of design, manufacturing technology, testing procedures adopted, duration, intensity and nature of requests and not least aggressive environmental factors.

Keywords: risk factors, wind turbine blades, structural stability.

1. INTRODUCERE

La nivel global, în urma monitorizării turbinelor eoliene de tip GE1.5sle, statisticile arată că, în intervalul 2004-2012, s-au petrecut 26 de accidente majore, din care 17 (65.38 %) datorită problemelor dezvoltate de pale. Situația actuală impune stringent dezvoltarea unor sisteme complexe de monitorizare, diagnoză, prognoză și autoreparare a palelor WTG. Palele reprezintă elementul principal de conversie a energiei eoliene în energie electrică, geometria, materialul, numărul și lungimea lor contribuind în mod decisiv la randamentul centralei eoliene. Solicitățile la care este supusă pala unei turbine eoliene sunt generate de forța centrifugă, forța gravitațională, încărcarea aerodinamică, vibrații toate acestea ducând la solicitări complexe. Factorii agresivi de mediu (radiații UV, variații de temperatură și umiditate, impactul cu păsări, etc.) potențează riscurile la care sunt supuse palele. Lucrarea prezintă o sinteză a factorilor de risc ce pot duce la pierderea integrității structurale a palelor.

O sinteză a riscurilor și daunelor înregistrate în cazul turbinelor eoliene a fost realizată în 2008 de către o companie de asigurări, evidențiindu-se cele mai importante riscuri pe care le prezintă turbinele eoliene (http://www.Asimag.ro/stiri_specialitate/29).

Astfel 40 % din totalul daunelor la nivel global în cazul turbinelor eoliene se datorează avariilor mecanice și defecțiunilor.

Cele mai frecvente avarii mecanice apar la sistemul de girație, la roțile dințate și rulmenți, precum și la pale. Aceste tipuri de daune apar de obicei datorită oboselii materialelor, vibrațiilor, suprasolicitării pieselor, defectelor de material, utilizării unor lichide de ungere nepotrivite sau care au o temperatură crescută. Suprasolicitarea poate avea cauze interne, funcționarea necorespunzătoare a unui angrenaj, comenzi contradictorii transmise de la centrul de control, oprirea forțată, și cauze externe – îngreunarea palelor cu un strat de gheață pe timpul iernii.

Daunele mecanice înregistrate în cazul palelor se datorează în general vibrațiilor produse de acțiunea vântului și a temperaturii, acestea provocând slăbirea punctelor de prindere și a elementelor structurale, care în final vor conduce la ruperea acestora. Chiar dacă efectele nu sunt imediate pe termen lung acestea vor intensifica oboseala materialelor și suprasolicitarea pieselor (fig. 1).

20% din total daune înregistrate la nivel global se datorează fulgerelor. Gradul de afectare al turbinei diferă putând fi afectate componente ale panourile electrice sau ale rotorului, palelor, cutiei de viteze, generatorului sau sistemului de control.

Efectul final asupra echipamentului poate fi incendiarea sau distrugerea provocată de sarcina electrică care străbate palele, cutia de viteze sau generatorul.



Fig. 1. Avarii produse în elementele componente ale turbinei eoliene ca urmare a solicitărilor mecanice și dinamice.

9% din totalul daunelor înregistrate la nivel global sunt provocate de incendii produse de fulgere, rulmenți supraîncălziți sau scântei produse de roțile dințate în momentul frânării/incetinirii forțate. Posibilitățile de stingere a unui incendiu într-o turbină eoliană sunt destul de reduse și îngreunate de înălțimea turnului, amplasamentul izolat, lipsa surselor de apă pentru alimentarea autospecialelor, distanța mare până la cea mai apropiată unitate de pompieri.

4% din totalul daunelor înregistrate la nivel global se datorează fenomenelor meteorologice extreme (furtuni, uragane etc.). Acestea se manifestă fie prin colapsul total al turnului, fie prin rupturi, spărturi, torsiuni, distrugerii provocate la nivelul nacellei sau a palelor. Fiind amplasate la înălțimi considerabile și expuse direct acțiunii vântului, palele și nacela pot suferi pierderi totale (fig. 2).



Fig. 2. Colapsul turnului de susținere al unei turbine eoliene provocat de furtună.

Alte riscuri înregistrate cu o frecvență mai mică sunt datorate cutremurelor care produc balansul turnului ducând la destabilizarea acestuia și ulterior la prăbușire. O intensitate mai slabă a unei seismice nu va duce la prăbușirea turnului, dar poate provoca fisuri în fundație, care mai târziu să necesite demontarea turbinei și înlocuirea acesteia.

Alunecarea terenului. Zonele de deal acoperite cu soluri argiloase pot prezenta riscuri de surpare. Surparea stratului argilos poate fi influențată de mișcări seismice sau de o cantitate mare de apă acumulată în sol în urma unor ploii abundente.

Furtul și vandalismul. Sunt manifestate prin sustragerea componentelor electrice, transformatoarelor, cablurilor.

2. ANALIZA RISCURILOR INTEGRITĂȚII STRUCTURALE A TURBINELOR EOLIENE

Provocarea producătorilor de pale de turbine eoliene constă în găsirea unor soluții constructive care să asigure lungimi mari ale palelor dar suficient de rigide (să nu se deformeze sub acțiunea încărcărilor) și în același timp ușoare (să se rotească la o viteză minimă a vântului de 4,5 – 5 m/s), din materiale rezistente la uzură, deteriorări, oboseală (să nu se deterioreze materialele), cu costuri reduse. Astfel, palele mai subțiri de turbine se pot deforma sub sarcina eoliană atingând turnul ceea ce ar putea duce la deteriorări atât în pală cât și ale turnului. Materialele compozite utilizate trebuie să fie rigide astfel încât să nu permită deformații mari ale palelor dar și ușoare astfel încât capacitatea lor mecanică să nu fie diminuată de greutatea proprie. De peste trei ori mai rezistentă și mai rigidă decât sticla, fibra de carbon este alternativa la plasticul armat cu sticla, folosit în mod obișnuit. Acest lucru ajută designerii să construiască pale mai lungi, păstrând în același timp rigiditatea necesară. Potrivit unui studiu, un design bazat pe fibra de carbon pentru o pala de 53 de metri lungime ar trebui să fie cu 20% mai ușor decât său în care s-a folosit plastic armat cu sticla.

Palele mai ușoare mai au și avantajul unor sarcini mai ușoare la baza, precum și al celor de pe restul structurii, care la rândul lor reduc greutatea totală și costurile. Studiul a calculat pentru întreaga durată de viață a unei turbine de 3 MW un beneficiu de aproximativ 100.000 de euro (<http://www.natureenergy.ro/noua-generatie-de-materiale-pentru-palele-turbine-eoliene-159519.htm#.VHIRbMn-ulg>).

Polemica privind materialul palelor continuă și se dispută pe de o parte între fibra de carbon și cea de sticlă, iar pe de altă parte în ceea ce privește procesul de producție – manual sau automatizat.

2.1. Riscul datorat defectelor materialelor compozite din etapa de producție

Compozitele (cu particule sau fibre) sunt medii eterogene, adesea anizotrope, care pot avea numeroase defecte geometrice și fizice (Huang, 1990). Defectele specifice compozitelor utilizate în construcția palelor pot să apară încă din procesul de producție sub forma microcavităților de contracție, fiind specifice compozitelor turnate – prezența particulelor sau fibrelor în matrice frânează procesul de compensare a golurilor de contracție cu material lichid din zonele adiacente. Aglomerările de particule sau fibre discon-

tinue apar la o dispersie insuficientă a materialului complementar, fiind pecifice la aplicarea procedurii „Compcasting” (cu matrice metalică în stare semisolidă). Segregații ale materialului dispersat sunt produse în urma flotării, sedimentării particulelor sau fibrelor discontinue cu densități diferite de cele ale matricelor, sau în timpul procesului de solidificare. Deteriorarea materialului complementar se produce prin procese de dizolvare și topire sau în urma unor reacții chimice intense la interfață. Fragmentarea fibrelor poate să apară în timpul infiltrării sau amestecării cu matricea în stare semisolidă, în funcție de procedeu de obținere a compozitului. Fisurile și crăpăturile apar din cauza tensiunilor interne, fiind deosebit de periculoase cu tendință de propagare până la ruperea materialului. Lipsa de legătură dintre fibre și matrice sau o legătură prea puternică între cele două poate conduce spre distrugerea materialului. Golurile, porozitățile specifice compozitelor obținute prin accelerarea policondensării sau polimerizării matricii se constituie în concentratori de tensiune atât inter-laminar, intra-laminar și la suprafață, efectul lor fiind accentuat datorită forțelor masice și inertiiale dezvoltate în timpul solicitărilor aerodinamice. Dezlipirile sau lipsa de legătură apărute în cazul compozitelor stratificate realizate prin lipire cu adezivi, distrugerii parțiale ale structurii fibroase care apar în cursul operațiilor de obținere a produselor finite prin prelucrarea semifabricatelor, abateri de la forma prescrisă ca urmare a deformațiilor unghiulare, delaminările manifestate prin lipsa de legătură dintre straturile consolidate prin laminare, cauzate fie de un tratament inadecvat, de o aliniere greșită a fibrelor, de deteriorarea produsă la fabricare de incluziunile de gaze, de distribuția neuniformă.

Posibilele cauze de apariție a defectelor materialelor compozite sunt:

- gazele absorbite la elaborarea sau în timpul amestecării compozitelor;
- frânarea de către particule a procesului de compansare cu material lichid a golurilor de contracție;
- dispersarea insuficientă a particulelor în topitură;
- flotarea sau sedimentarea particulelor, din cauza diferenței de densitate a componentelor;
- dizolvarea, topirea sau desfășurarea unor reacții chimice;
- tensiunile interne;
- frânarea procesului de contracție liberă etc.

Pentru evitarea acestor riscuri, încă din faza de pregătire și realizare a palei, se pot realiza verificări nedistructive privind calitatea materialului compozit.

În timpul solicitărilor, *rezistența și fiabilitatea* sunt problemele prioritare ale structurilor de pale. Acest fapt se datorează îndeosebi creșterii tehnicității acestora, precum și multiplicării funcțiilor pe care trebuie să le îndeplinească aceste produse datorită solicitărilor

complexe la care palele sunt supuse. Complexitatea structurilor și sistemelor tehnice moderne, pe de o parte face ca problema fiabilității acestor structuri și sisteme să devină relativ complicată, dar și utilă în activitatea de proiectare, construcție și exploatare a acestora, iar pe de altă parte, impune utilizarea unor tehnici eficiente care să conducă la minimizarea riscurilor și a costurilor. În plus, cu cât mediul tehnologic devine mai sofisticat, cu atât fragilitatea sa este mai pregnantă, iar comportarea sa mai greu previzibilă.

Analiza riscurilor palelor este strâns legată de *siguranța în funcționare* (sau în *exploatare*) înțelegând prin aceasta atât *posibilitățile de minimizare și eliminare a unor defectări*, cât și *rezerva de robustețe la unele solicitări neprevăzute*. Monitorizarea calității este subordonată fiabilității, deoarece aceasta din urmă se asigură prin verificarea procedurilor, proceselor și utilajelor tehnologice, prin efectuarea unui control riguros al calității materialelor, al proiectării, fabricației și încercărilor finale. În ceea ce privește, *reducerea riscurilor la palele de turbine*, acestea pot fi preîntâmpinate în perioada de concepție și proiectare; prin alegerea judicioasă a soluțiilor constructive cele mai adecvate și a materialelor cele mai indicate, conform unor criterii de optimizare; se asigură – în procesul de fabricație, prin alegerea corectă a procedurilor și utilajelor tehnologice, respectarea regimului de fabricație, efectuarea unui control riguros al calității materialelor și asupra procesării acestora; se conservă – prin utilizarea unor metode adecvate de transport, manipulare, depozitare și punere în funcțiune; se mențin – printr-o exploatare corectă și un program de mentenanță adecvat și se monitorizează periodic integritatea structurală a palelor prin metode adecvate.

Perfecționarea modelelor analitice de previzionare a durabilității structurilor mecanice în condițiile solicitărilor mecanice variabile în timp este condiționată de progresele în domeniul cercetării aspectelor fundamentale prin metodele fizicii corpului solid, descoperirii de noi materiale, de adecvarea generalizărilor la nivel microscopic și de sistematizarea rezultatelor experimentale care de peste un secol se acumulează într-un ritm crescând.

2.2. Riscurile datorate încărcărilor din timpul funcționării turbinei

În lucrarea *Quantitative Damage Detection and Sparse Sensor Array Optimization of Carbon Fiber Reinforced Resin Composite Laminates for Wind Turbine Blade Structural Health Monitoring*, autorii identifică zonele care prezintă riscurile de deteriorare cele mai mari. Astfel, pe lungimea palei, cele mai mari deteriorări apar la distanța de 1/3 din

lungime văzută de la vârful palei către zona de fixare în rotor (68...72% din defecte) și la 2/3 din lungime (30...32% din defecte) (Figura 3).

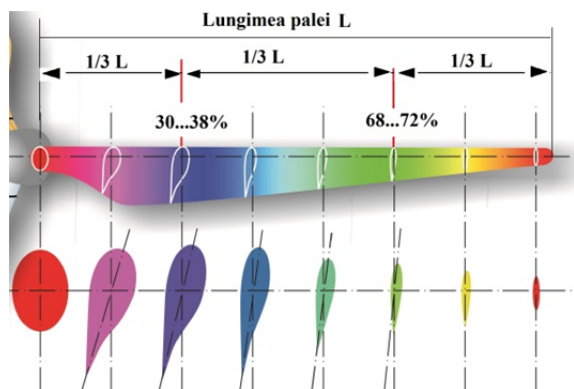


Fig. 3. Zone de risc raportate la lungimea palei.

Jensen (2008) schematizează încărcarea dinamică a palei de turbine eoliene sub forma celei prezentate în figura 4, care se constituie într-o rezultantă de forțe cu o distribuție neliniară.



Fig. 4. Încărcarea aerodinamică – vedere transversală.

În cazul palelor, ca desfășurare în timp, solicitările exterioare nu sunt constante, ci au un caracter variabil. Variația în timp a solicitărilor poate să ia formele cele mai diverse: de la variații deterministe caracterizate prin regularități de tipul variațiilor sinusoidale, complex periodice sau tranzitorii și până la variații cu caracter aleator.

În ce privește deteriorarea, aceasta este asociată cu modificările fizice (detectabile prin simțuri sau cu ajutorul anumitor procedee) care alterează comportarea programată a unei structuri, în cazul structurilor de rezistență, deteriorarea/degradarea poate fi definită fie prin reducerea secțiunii, fie prin apariția

unor fisuri, delaminări, dezlipiri ale îmbinărilor, crăpături sau exfolieri.

În figura 5 sunt prezentate schematizat tipurile de defecte care apar la suprafață sau în materialul compozit din structura palei. Punctul slab la compozitul utilizat în construcția palelor îl reprezintă faptul că pe grosimea compozitului, rezistența este asigurată de rezistențele matricei.

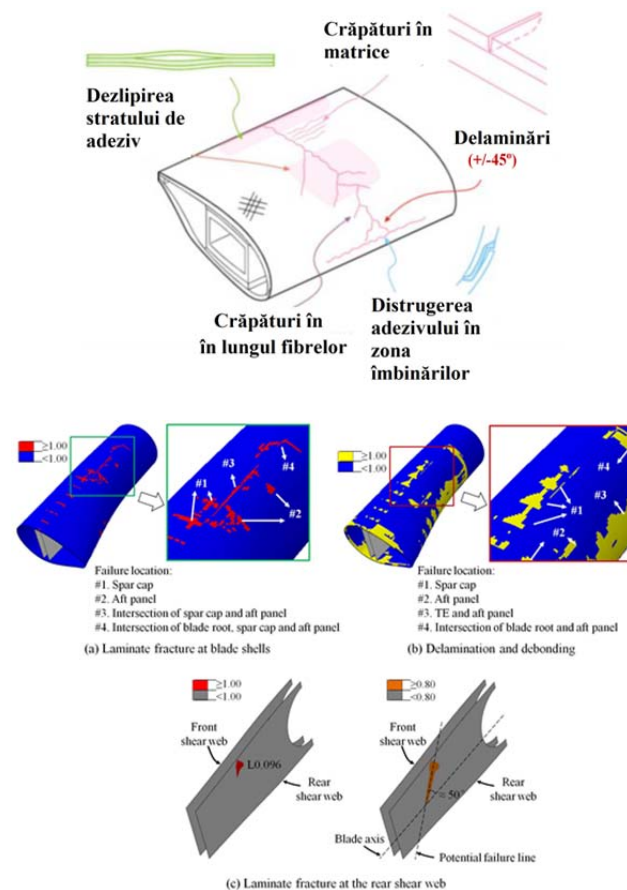


Fig. 5. Tipuri de defecte de material apărute în timpul solicitărilor palelor de turbine (adaptată după <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/4/7312/htm>).

În Figura 6 sunt exemplificate deteriorări reale ale structurii palelor de turbine: a) dezlipirea și ruperea zonei de îmbinare a învelitoarei; b) fisuri și crăpături de mărimi macroscopice; c) delaminări și deteriorări.

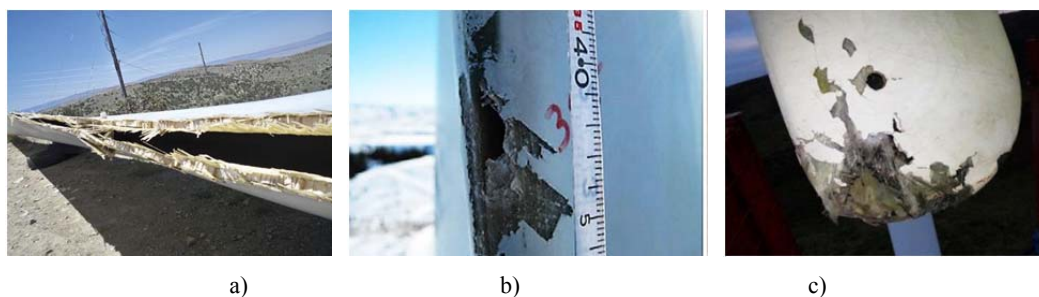


Fig. 6. Defecte tipice înregistrate la palele de turbine eoliene:

a – dezlipirea și ruperea zonei de îmbinare a învelitoarei; b – fisuri și crăpături de mărimi macroscopice; c – delaminări și deteriorări.



Fig. 7. Modalități de rigidizare a structurii interne a palei de turbină eoliană.

Așa cum prezintă literatura de specialitate, există diferite secțiuni și modele de rigidizare a palelor (fig. 9). Gulasik (2014) a studiat problema delaminării îmbinărilor de tip T dintre învelitoare și elementele de rigidizare din interiorul palei.

2.3. Riscuri datorate oboselii materialului

Riscurile legate de material care apar în timpul exploatării palelor de turbine chiar și când proiectarea și fabricația au fost corecte, pot fi cauzate, pe de o parte, de modificarea în timp a rezistenței sau ca urmare a supraîncărcărilor care conduc la solicitări peste cele estimate (a fi posibile), iar pe de altă parte de neefectuarea corectă a programului de monitorizare a integrității structurale a palelor. În majoritatea structurilor mecanice, forțele aplicate variind în timp de un număr mare de ori, conduc la o micșorare sensibilă a caracteristicilor de rezistență față de cele statice luate în calcul inițial prin fenomenul de oboseală.

Riscurile apărute ca urmare a fenomenului de oboseală depinde de următorii factori:

- factorul de dispersie statistic este mai mare la materialele de înaltă rezistență (de exemplu, oțeluri de înaltă rezistență, aliaje de aluminiu îmbătrânite, etc.) în comparație cu materialele cu rezistență mai mică;
- factorul de dispersie al duratei de viață la oboseală crește cu descreșterea intensității de încărcare;
- distribuția statistică a duratei de viață la oboseală (durabilitatea) arată ca o curbă asimetrică;
- dispersia rezultatelor experimentale la oboseală se reduce odată cu localizarea factorilor de concentrare ai solicitării sau deformării (discontinuități geometrice, distribuții neuniforme ale solicitărilor etc.);
- dispersia rezultatelor experimentale la oboseală este relativ puțin influențată de variabilitatea compoziției chimice sau de parametrii termo-elastici ai materialului compozit din structura palei de turbină eoliană, dacă aceștia sunt în limitele prevăzute de specificații pentru tipul de material considerat.

4. CONCLUZII

Integritatea structurală a palelor gravitează în jurul următoarelor aspecte cheie: calitatea materialului, calitatea geometriei și design-ului, tehnologia de fabricație, procedurile de testare adoptate. Astfel,

pentru stabilirea criteriilor de calitate a materialului trebuie să se țină cont atât de calitatea suprafețelor, de caracteristicile elastice, chimice și termice ale fibrelor și matricei din structura compozitului, de calitatea îmbinărilor dintre elementele de ranforsare și celelalte componente. Calitatea geometriei și design-ului se referă la adoptarea soluțiilor constructive care să elimine riscurile de scădere a durabilității palelor. Tehnologia de fabricație constituie un factor în asigurarea calității și integrității structurale întrucât în funcție de tehnologie (automatizată sau manuală, semi-automatizată) pot fi înregistrate erori ce însumate cu erori de altă natură duc la o fiabilitate redusă. Procedurile de testare joacă un rol important în evaluarea calității structurii înainte de a fi montată și asamblată, putându-se evita în timp util dezastrele.

Acknowledgments

Această lucrare a fost realizată în faza I/2014 a proiectului UEFISCDI - PN-II-PT-PCCA-2013-4-0656 nr. 59/01.07.2014 - Monitorizarea integritatii structurale si autorepararea palelor de turbine eoliene si a altor structuri din compozite inteligente (STHEMOWTB).

BIBLIOGRAFIE

- [1] Buzdugan, G. ș. a. (1991), *Rezistența materialelor. Aplicații*, Editura Academiei Române, București.
- [2] Cerbu, C., Curtu, I. (2007), *Mecanica materialelor compozite*, Editura Universității Transilvania din Brașov.
- [3] Cioclov, D.D. (1985) *Rezistență și fiabilitate la solicitări variabile*, Ed. Facla, Timișoara.
- [4] Constantinescu, D.M. (1998), *Noțiuni de mecanica ruperii și oboseala metalelor*, Editura Printech, București,
- [5] Constantinescu, D. M. (1998), *Structural Integrity*, „Politehnica“ University of Bucharest,
- [6] Constantinescu, D. M. (2003), *Dezvoltări și aplicații în mecanica ruperii și oboseală*, Editura Academiei Române, București.
- [7] Davies, G.A.O., Ankersen, J. (2008), *Virtual Testing Of Realistic Aerospace Composite Structures*, J. Mater Sci (2008) 43:6586–6592.
- [8] Dogariu, A., Dubină, D., *Verificarea de rezistență și stabilitate a structurii metalice a centralelor eoliene*, (<https://www.academia.edu/5456276>).
- [9] Grasse F., Trappe V., Thoens S., Said S., *Structural health monitoring of wind turbine blades by strain measurement and vibration analysis*, in Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EUROODYN 2011, Leuven, Belgium, 4-6 July 2011.

- [10] Gulasik, H., Coker, D. (2014), *Delamination Debond Behaviour Of Composite T - Joints in Wind Turbine Blades*, Journal of Physics: Conference Series 524 (2014) 012043 doi:10.1088/1742-6596/524/1/012043.
- [11] Hélénon, F., Wisnom, M.R., Hallett, S.R., Trask R.S., (2012), *Numerical Investigation into Failure of Laminated Composite T-Piece Specimens Under Tensile Loading*, Composites: Part A 43 (2012) 1017–1027.
- [12] Hiromasa Kawai, Kazutoshi Michishita, Akira Deguchi, *Design Wind Loads on a Wind Turbine for Strong Wind*, BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics & Applications Milano, Italy, July, 20-24 2008.
- [13] Huang Hou-Cheng (1990), *Static and Dynamic Analysis of Plates and Shells*, Academic Press Jensen Find Mølholt, (2008) *Ultimate strength of a large wind turbine blade*, PhD Thesis Danemarca ISBN 978-87-550-3634-5.
- [14] Scărlătescu T. (2007), *Standardizare națională, europeană și internațională în domeniul energiei eoliene. Strategia de dezvoltare. Standardizare, coordonarea standardizării – Prezentare generală ppt.* ASRO.
- [15] Xiang Li, Zhibo Yang, Xuefeng Chen (2014), *Quantitative Damage Detection and Sparse Sensor Array Optimization of Carbon Fiber Reinforced Resin Composite Laminates for Wind Turbine Blade Structural Health Monitoring*, in Sensors 2014, 14(4), 7312-7331; doi:[10.3390/s140407312](https://doi.org/10.3390/s140407312).

Despre autori

Șef lucrări dr. ing. **Mariana Domnica STANCIU**
Universitatea „Transilvania” din Brașov

Este absolventă a Facultății de Industria Lemnului, Universitatea „Transilvania” din Brașov, în 2008. A obținut titlul de master inginer în Dinamica structurilor mecanice și titlul de doctor în inginerie mecanică în anul 2009. A făcut studii postdoctorale la Universitatea „Transilvania” din Brașov în perioada 2010-2013. A participat la numeroase simpozioane și conferințe naționale și internaționale. A publicat încă din timpul facultății și al doctoratului o serie de lucrări și articole științifice (peste 95). Este membră în echipele de cercetare ale unor contracte științifice și director de proiect al unui contract științific de tip TD. E-mail: mariana.stanciu@unitbv.ro

Prof. univ. emerit dr. ing. dr. h. c. **Ioan CURTU**
Universitatea „Transilvania” din Brașov

A absolvit Facultatea de Industrializarea Lemnului; doctor inginer din anul 1973; conducător științific de doctorat din 1988, în specialitatea Rezistența materialelor, elasticitate și plasticitate; conducător științific la 23 teze de doctorat finalizate; Doctor Honoris Causa, profesor emerit al Universității Transilvania din Brașov, deținător al premiului *Traian Săvulescu* al Academiei Române (1990). A efectuat studii și cercetări în domeniul rezistenței, elasticității și testării lemnului și a compozitelor lignocelulozice, materializate în peste 500 articole și lucrări științifice publicate la conferințe internaționale, în baze de date și simpozioane naționale. A publicat la edituri centrale peste 24 de cărți, iar pe plan local, 17 manuale universitare. Este membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România și președintele Filialei Brașov a ASTR. Este membru titular al Academiei de Științe ale Naturii a Federației Ruse, Moscova. E-mail: curtui@unitbv.ro

Fiz. dr. **Adriana SAVIN**
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – Iași

Cercetător CS II, în departamentul de teste nedistructive al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – Iași, coordonator și membru în echipe de cercetare la numeroase proiecte naționale și internaționale, autor și coautor în peste 77 de articole, membru AGIR și ARoEND.

Drd. **Rozina STEIGMANN**
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – Iași

Cercetător în departamentul de teste nedistructive al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – Iași, doctorand la Universitatea „Al. I. Cuza” din Iași, membru în echipe de cercetare a numeroase proiecte naționale și internaționale, coautor în peste 35 de articole științifice.

Ing. **Ionuț TEȘULĂ**
Universitatea „Transilvania” din Brașov

Aboslvnt al Facultății de Inginerie Mecanică în 2012, în prezent student masterand la Universitatea „Transilvania” din Brașov, programul de studii *Simularea și testarea în ingineria mecanică*. Inginer analist la NUARB Aerospace SRL din anul 2012. Este implicat ca Project Manager în proiectul Caravana Meseriilor, ce promovează învățământul dual din Romania. A participat la 3 conferințe cu teme legate de optimizarea structurilor din materiale compozite, metoda elementelor finite, structuri ușoare.