

# PROIECTAREA ȘI CONSTRUIREA UNEI TURBINE EOLIENE CU AX ORIZONTAL DE MICI DIMENSIUNI PE BAZA VALORIFICĂRII ȘI REUTILIZĂRII DEȘEURILOR FEROASE

Șef lucrări dr. ing. Mariana Domnica STANCIU, Ing. Marian Gabriel TOLBAȘU

Universitatea „Transilvania” din Brașov, Departamentul de Inginerie Mecanică

**REZUMAT.** Lucrarea prezintă etapele proiectării și realizării unei turbine eoliene de mici dimensiuni pentru utilizatori casnici. În prima parte sunt analizate comparativ tipurile de transmisii ce ar putea fi utilizate în construcția turbinei, după care, pe baza unei analize multicriteriale este aleasă varianta finală constând într-o transmisie prin roți dințate interioare. Aceasta prezintă avantajul că dimensiunile se reduc semnificativ folosind un multiplicator planetar; multiplicatorul provine din două electromotoare recuperate din piesele defecte de la un autoturism, ceea ce înseamnă economie de timp și costuri; raportul de transmisie este de 12/1; se păstrează axa de simetrie dintre suportul palei și generatorul de curent electric. În continuare sunt prezentate într-o manieră tehnică elementele componente ale turbinei și rolul lor funcțional.

**Cuvinte cheie:** turbină eoliană de mici dimensiuni; transmisie prin roți dințate interioare; reutilizare și refolosire deșeuri feroase.

**ABSTRACT.** The paper presents the stages of designing and building of small wind turbine blades for domestic users. The first part compares the types of transmissions that could be used in the construction of the turbine, after which, based on a multi-criteria analysis, the final variant consisting of an internal gear wheel transmission is chosen. This has the advantage that the dimensions are significantly reduced using a planetary multiplier; the multiplier comes from two electro-motors recovered from defective parts from a car, which means saving time and costs; transmission ratio is 12/1; keep the axis of symmetry between the blade holder and the power generator. The components of the turbine and their functional role are presented in a technical manner.

**Key words:** small wind turbine; toothed wheel drive; reuse and reuse of ferrous waste.

## 1. INTRODUCERE

Experiența acumulată încă din cele mai vechi timpuri transformând energia eoliană în energie mecanică a făcut ca în prezent, o dată cu evoluția tehnologiei, turbinele eoliene moderne să transforme energia vântului într-o altă formă de energie de care oamenii nu se pot lipsi în prezent, și anume energia electrică [24-27]. În funcție de tipul, anvergura și amplasarea lor, turbinele eoliene sunt capabile în prezent să producă între 50-60 KW la diametre de elice începând cu un metru, la 2 – 3 MW putere la diametre ale elicei de 60-100 m, cele mai multe însă generând între 500-1500 KW.

Eolienele cu ax orizontal sunt cele mai utilizate, deoarece randamentul lor aerodinamic este superior celui al eolienelelor cu ax vertical, sunt mai puțin supuse unor solicitări mecanice importante și au un cost mai scăzut [17].

**Principiul constructiv** al unei turbine eoliene cu ax orizontal se bazează pe următoarele componente [19-23]:

- **Palele (rotorul)** → asigură captarea energiei eoliene și antrenarea rotorului;

- **Nacela** → conține arborele principal amplificând mișcarea de rotație prin intermediul unui multiplicator, aceasta fiind captată sub formă de energie mecanică de generator, transformându-se în energie electrică;

- **Pilonul (Turnul)** → asigură structura de susținere și rezistența a ansamblului superior;

- **Fundația** → asigură rezistența mecanică a întregului ansamblu al turbinei eoliene.

În urma consultării literaturii de specialitate naționale și internaționale s-a putut constata că o problemă la nivel mondial legată de epuizarea resurselor Pământului își găsește rezolvarea tot în natură prin valorificarea energiei regenerabile a vântului, fapt pentru care inginerii au conceput sistemele de conversie a energiei eoliene în energie electrică fie pentru a deservi populația la nivel de regiune (parcuri eoliene), fie pentru utilizatori casnici sau pentru gospodări aflate în zone greu accesibile și fără curent electric. La noi în țară sistemul de transformare a energiei mecanice preluată de la curenții de aer prin intermediul palelor este cunoscut încă din secolul al XIX – lea, când angrenajele erau realizate din lemn și metal, ulterior acestea evoluând către alte materiale (compozite, aliaje, etc.).

## 2. VARIANTE CONSTRUCTIVE ALE ANSAMBLULUI ROTOR-NACELĂ LA TURBINA CU AX ORIZZONTAL

Modalitatea prin care energia eoliana este convertită în energie electrică se realizează prin intermediul unui rotor cu pale ce se rotesc cu o viteză unghiulară dată de viteza vântului. Se creează o diferență de presiune pe disc datorită profilului aerodinamic al palelor, care este responsabilă de pierderea impulsului axial. Această „pierdere de energie eoliană” este colectată de un generator electric atașat axului rotor, generatorul exercitând un cuplu egal și de direcție opusă cu cea a fluxului de aer care menține viteza de rotație constantă. Lucrul mecanic efectuat de către cuplul aerodinamic pe generator este convertit în energie electrică. Modul în care se realizează transmisia mișcării de rotație a rotorului influențează eficiența și randamentul turbinei eoliene, cât și fiabilitatea ei în timp. Din punct de vedere mecanic, transmisia mișcării de rotație a rotorului se poate realiza prin diferite tipuri de transmisie:

- prin curea;
- prin lanț;
- directă;
- prin roți dințate exterioare și lanț;
- prin roți dințate interioare.

Fiecare dintre variante prezintă avantaje și dezavantaje din punct de vedere constructiv, al fiabilității, al puterii de transmisie.

**Varianta 1 - transmisia prin curea.** S-au proiectat principalele componente care asigură

transmisia prin curea în cazul unei turbine eoliene cu ax orizontal, atunci varianta de antrenare conține următoarele elemente: 1 – pala rotorului; 2 – fulie; 3 – curea; 4 – butuc; 5 – arbore; 6 – fulie alternator; 7 – generator curent electric (Fig. 1).

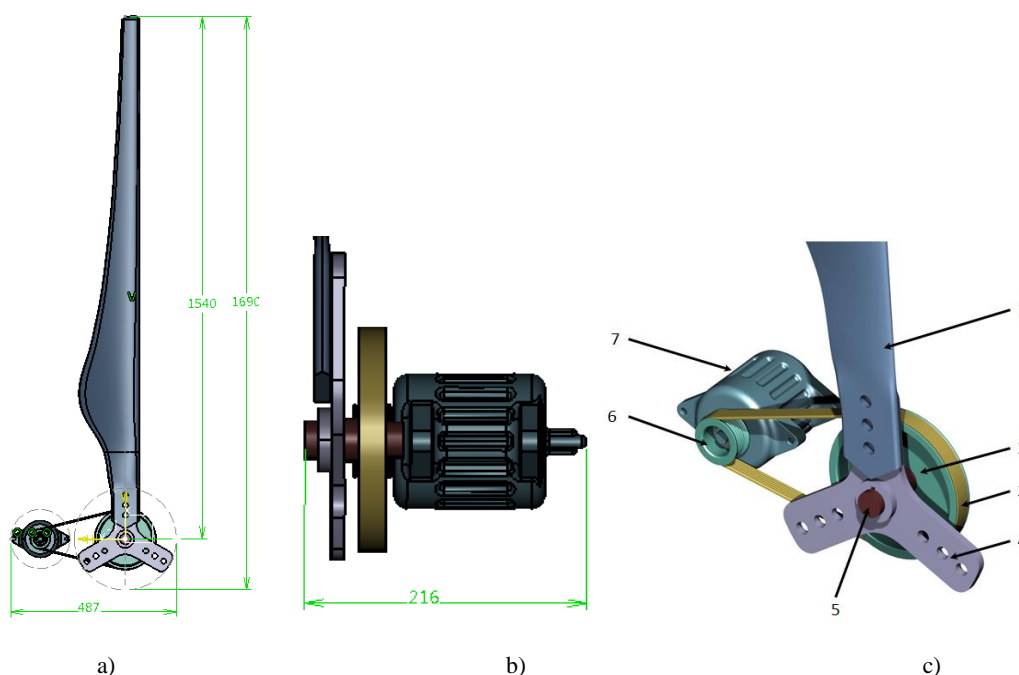
**Varianta 2 - transmisie prin lanț.** În cazul transmisiei prin lanț, componentele principale sunt: 1 – pala rotorului; 2 – grup trei pinioane; 3 – lanț; 4 – butuc; 5 – arbore; 6 – grup șapte pinioane; 7 – generator energie electrică (Fig. 2).

**Varianta 3 - antrenare directă.** Turbina eoliană care folosește sistemul cu antrenare directă nu are în componența ei multiplicator de rotație, generatorul electric este antrenat direct de arborele palelor. În componența acestui sistem intră următoarele componente: 1 – rotor; 2 – magnet; 3 – stator; 4 – înfășurări; 5 – arbore (Fig. 3).

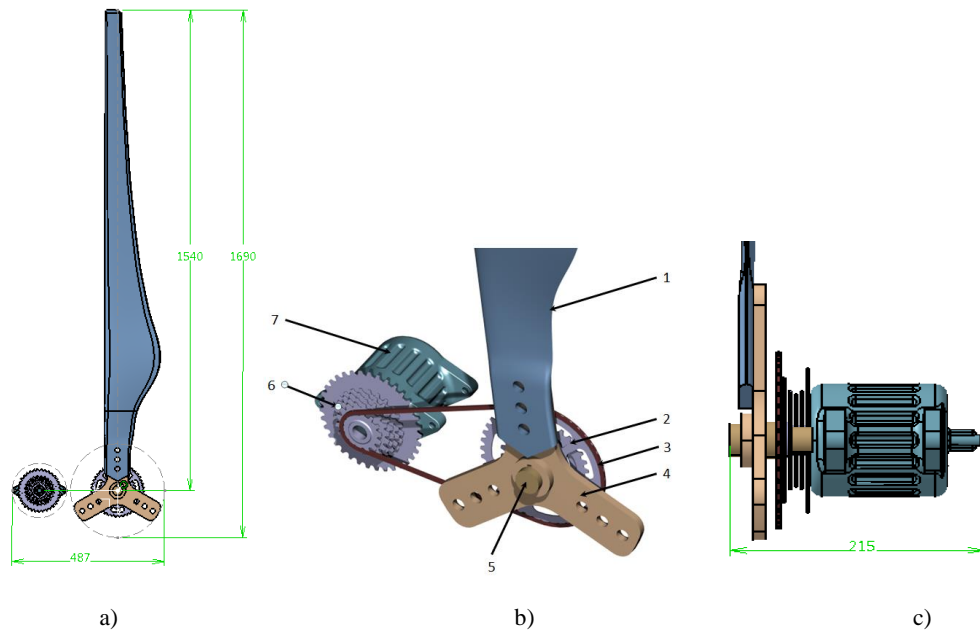
**Varianta 4 - transmisie prin roți dințate exterioare și lanț**

Elementele principale din acest sistem sunt: 1 – pala rotorului; 2 – butucul; 3 – lagări; 4 – arbore principal; 5 – nacela; 6 – roata dințată conducătoare treapta I; 7 – roata condusă treapta I; 8 – pinion conducător treapta II; 9 – lanț; 10 – pinion condus treapta II; 11 – generator curent electric (Fig. 4).

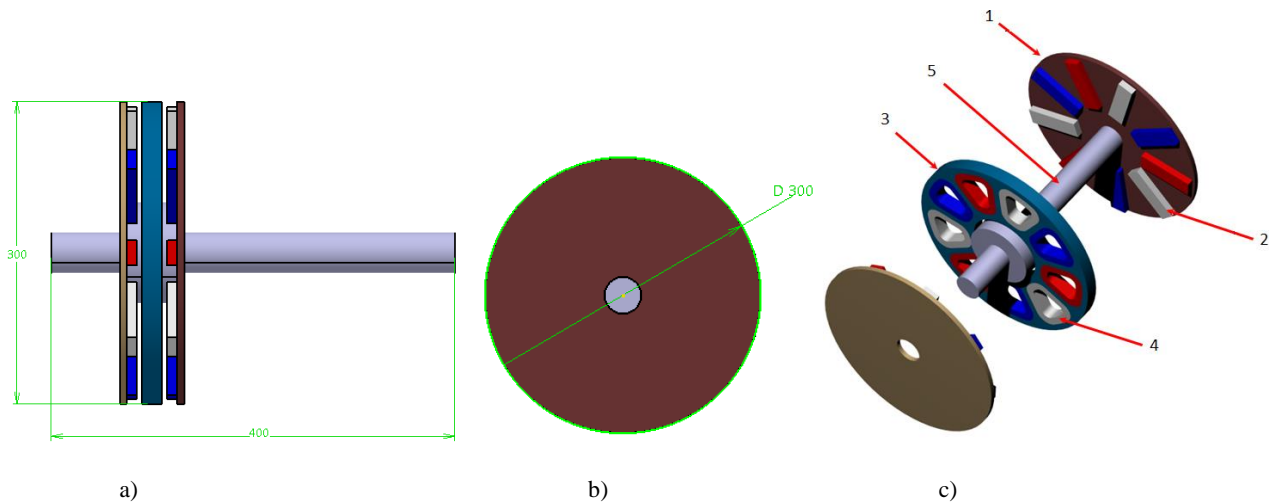
**Varianta 5 - transmisie prin roți dințate interioare.** Transmisia prin roți dințate interioare are următoarele componente principale: 1 – pala; 2 – butuc; 3 – arbore principal; 4 – lagări; 5 – ansamblu multiplicator; 6 – nacelă; 7 – generator curent electric (Fig. 5).



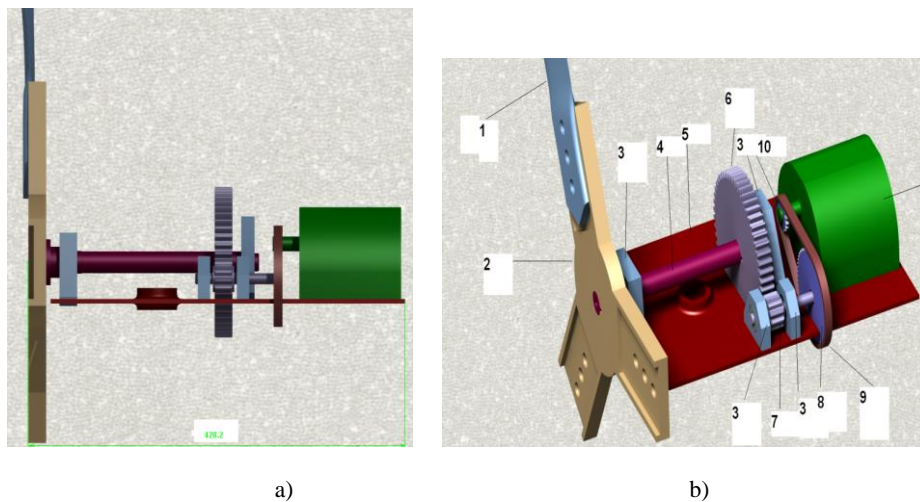
**Fig. 1.** Transmisia prin curea :  
a) vedere frontală; b) vedere laterală; c) vedere 3D.



**Fig. 2.** Transmisia prin curea :  
a) vedere frontală; b) vedere laterală; c) vedere 3D.



**Fig. 3.** Transmisie directă:  
a) vedere frontală; b) vedere laterală; c) vedere 3D.



**Fig. 4.** Transmisie prin roți dințate exterioare și lanț:  
a) vedere laterală; b) vedere 3D .

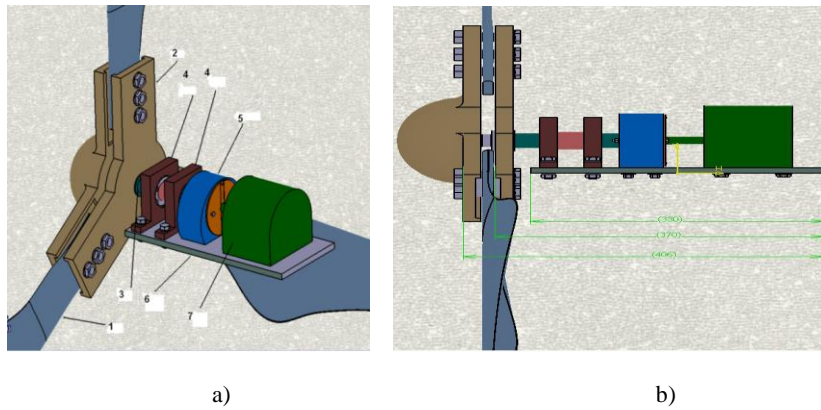


Fig. 5. Transmisie prin roți dințate interioare:  
a) vedere 3D; b) vedere laterală.

### 3. PROIECTAREA ELEMENTELOR CONSTRUCTIVE ALE TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL DE MICI DIMENSIUNI

O etapă deosebit de importantă în realizarea oricărui produs ingineresc și nu numai o constituie proiectarea în detaliu a tuturor componentelor și asamblarea lor virtuală pentru vizualizarea structurii. Astfel, turbina eoliană cu ax orizontal pentru utilizatori casnici propusă în proiectul de disertație a fost desenată în mediul virtual utilizând programul de proiectare (CAD), fabricare (CAM) și analiză (CAE) CATIA V5. Tot ansamblul a fost dimensionat în funcție de dimensiunea inițială a palei, ea

fiind deja realizată și analizată în studiile anterioare. Dimensiunile palei sunt prezentate în Figura 6.

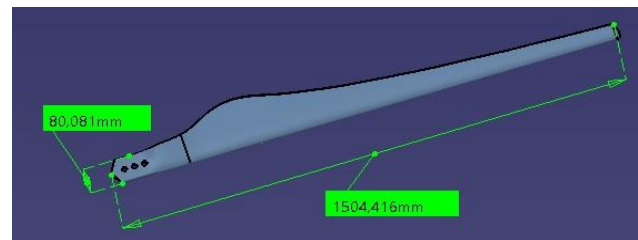


Fig. 6. Dimensiunile de gabarit ale palei de turbină eoliană

Din punct de vedere al structurii, turbina este alcătuită din trei subansamble principale: nacela cu rotorul, suportul (stâlpul) și acumulatorul (Figura 7).

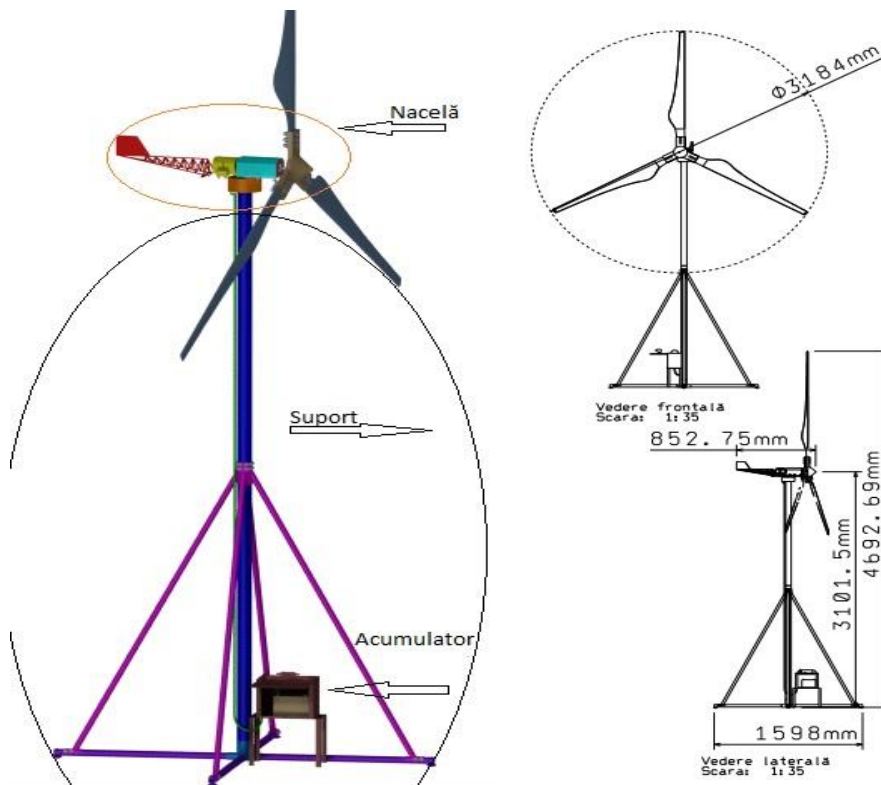


Fig. 7. Principalele componente ale turbinei eoliene și dimensiuni de gabarit.

## PROIECTAREA ȘI CONSTRUIREA UNEI TURBINE EOLIENE CU AX ORIZONTAL DE MICI DIMENSIUNI

Nacela (I) este alcătuită din: rotor format din pale și butucul de fixare (placa exterioră, placa interioară, butuc) (I.1); arborele principal (alcătuit din ax, șurub, pană de fixare și lagăre) (I.2); ansamblul multiplicator (multiplicator, suport multiplicator și carcasa de protecție) (I.3); arbore secundar, generator (alternator) (I.4); giruetă (I.5); placă bază nacelă (I.6); mecanism de susținere și rotație a ansamblului nacelă, cu un singur grad de

libertate (I.7); dispozitiv de transmitere continuă a curentului electric (I.8) (Figura 8).

Suportul (II) este compus din stâlp (II.1); tiranți (II.2); bază (II.3); dispozitiv de susținere pilon (piesa T) (II.4) (Figura 9, a).

Acumulatorul (III) este alcătuit din bateria (III.1); carcasa de protecție a bateriei (III.2); elemente de contact general (III.3); bec de control (III.4) și bec indicator generator (III.5) (Fig. 9, b).

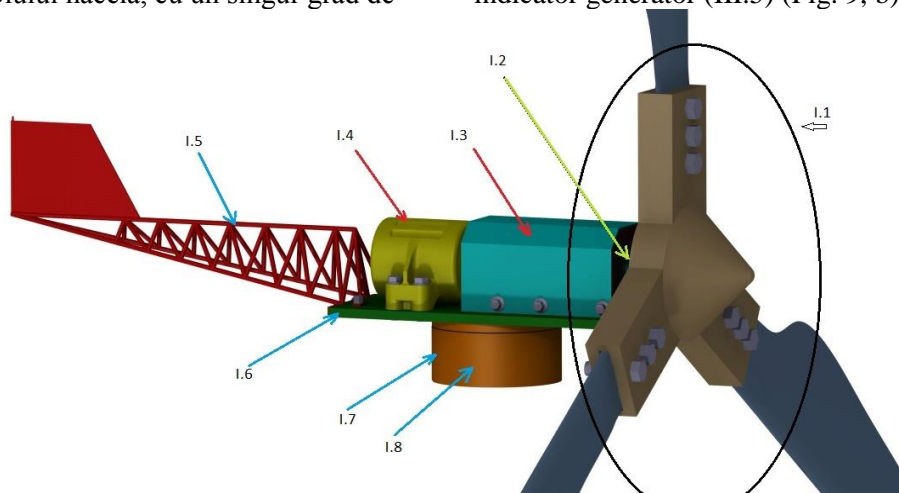


Fig. 8. Subansamblele nacelii.

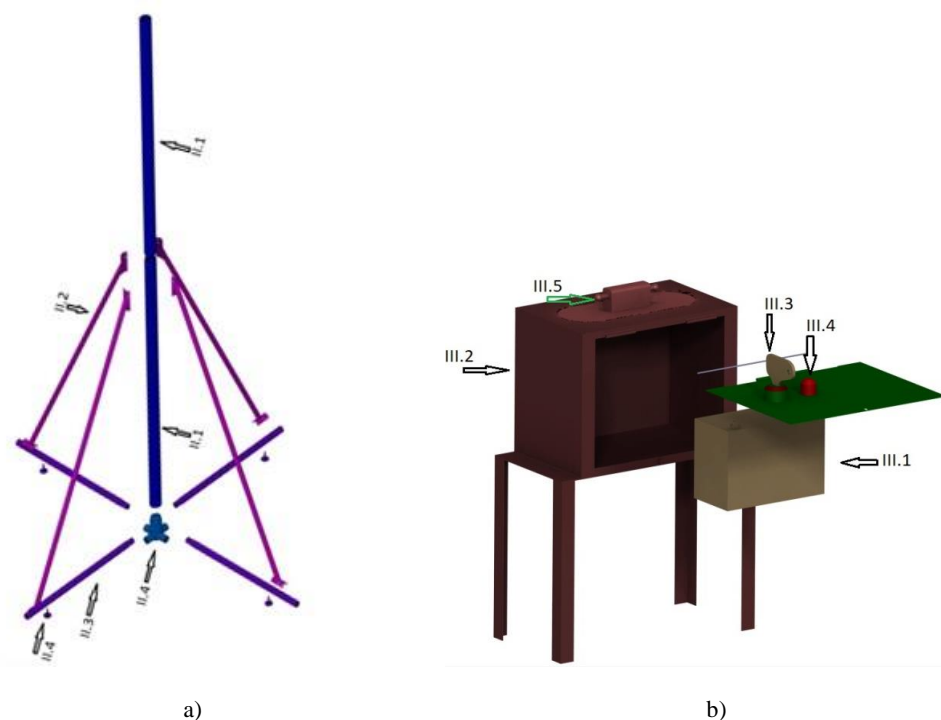


Fig. 9:

a) Elementele componente ale suportului; b) Elementele auxiliare ale acumulatorului.

### Descrierea elementelor constructive ale subansamblelor

#### I. Nacela

**Rotorul (I.1)** (Fig.10) - reprezintă componenta care asigură captarea energiei eoliene prin întreme-

diul palelor și o transformă în energie mecanică prin rotația palelor cu o viteză unghiulară în jurul axului rotorului.

Rotorul proiectat și executat în acest proiect este alcătuit din următoarele componente: pale (I.1.1) cu lungimea de aproximativ 1500 mm realizate din

material compozit cu profil aerodinamic tip NACA 2412. Prinderea lor de rotor se face cu ajutorul a două flanșe: o flanșă interioară (I.1.2.b) și o flanșă exterioară (I.1.2.a) care au fost realizate din textolit și butucul (I.1.2.c) cu formă aerodinamică.

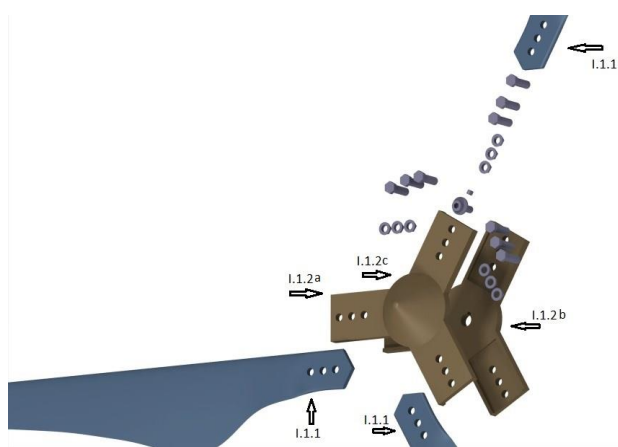


Fig. 10. Componentele principale ale rotorului.

Prinderea palelor de rotor se realizează cu șuruburi și piulițe care solidarizează palele între cele două flanșe. Palele sunt dispuse la un unghi de  $120^\circ$  una față de cealaltă. Materialul utilizat pentru flanșe este textolitul (un compozit lignocelulozic cu proprietăți bune la uzură, factorii agresivi de mediu

și masă redusă, respectiv ușor de prelucrat). Butucul a fost realizat din lemn masiv de carpen prin strunjire cu diametrul variabil pentru a obține forma aerodinamică necesară acestei structuri. Aceste componente sunt interschimbabile putând fi executate alte flanșe în concordanță cu tipul de prindere al palei.

**Arborele principal** (I.2) (Fig.11) – preia mișcarea de rotație a rotorului și o transmite direct la multiplicator. Rotorul este fixat de axul arborelui principal (I.2.1) prin asamblare filetată (I.2.2), iar pentru siguranță și fiabilitate s-a prevăzut și o asamblare cu pană (I.2.3).

Pentru menținerea stabilității și coaxialității ansamblului rotor-arbore, axul arborelui este susținut de un lagăr (I.2.4) care are în componență un rulment (I.2.4.1), fiind fixat de placa de bază a nacelei. Arborele principal este realizat din OLC 40, din bară cu diametrul de 25 mm. Legătura dintre arborele principal și multiplicator se realizează prin asamblare cu bolț (I.2.4.2), în capătul arborelui s-a strunjit o zonă cilindrică cu diametrul de 15 mm și adâncime de 10 mm în care se montează platoul portsatelit al multiplicatorului (I.3.1). Fixarea rigidă se face cu ajutorul bolțului (I.2.4.2) cu diametrul de 3 mm, lungimea de 30 mm, care este prevăzut la ambele capete cu siguranțe elastice (I.2.4.3).

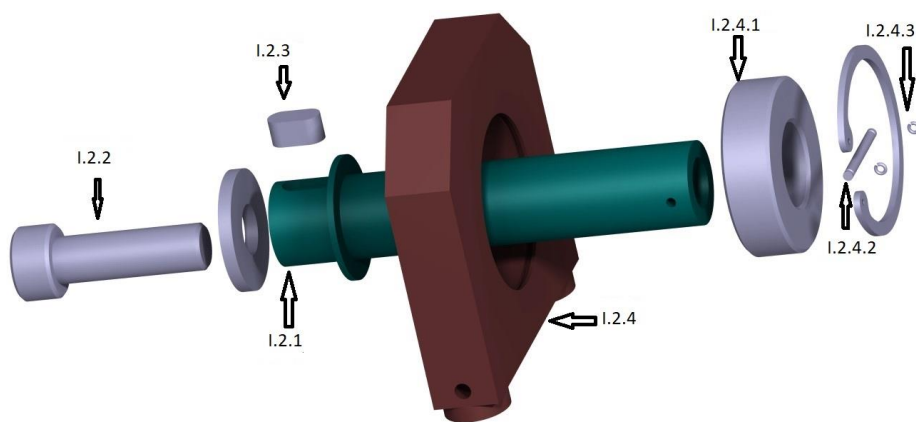


Fig. 11. Principalele elemente componente ale arborelui principal.

**Ansamblu multiplicator** (I.3) (Fig. 12) – are rolul de a multiplica mișcarea de rotație a arborelui principal (respectiv a rotorului) de la 1 la 12 prin intermediul a două multiplicatoare fixate în serie în interiorul suportului multiplicator (I.3.5). Pe platoul portsatelit (I.3.1) sunt fixate trei roți dințate interioare (I.3.2) dispuse la  $120^\circ$  care angrenează pinionul celui de al doilea portsatelit, coroana multiplicatorului (I.3.3) asigură transmiterea mișcării de rotație în interior. Astfel prin intermediul acestei transmisii se ajunge la o multiplicare de doisprezece (raport de transmise  $i = 12$ ). Multiplicatorul este protejat împotriva intepierilor de o carcasă din tabla zincată (I.3.4) fixată cu șuruburi.

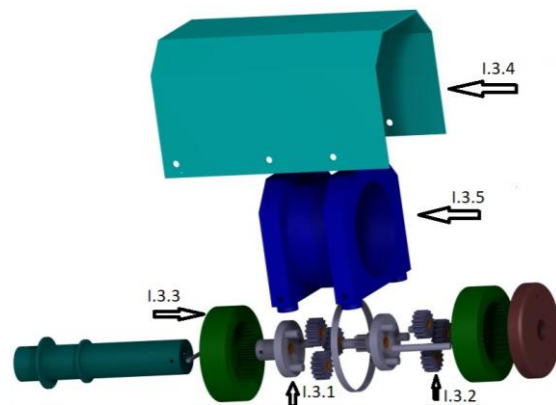


Fig. 12. Principalele elemente componente ale ansamblului multiplicator.

## PROIECTAREA ȘI CONSTRUIREA UNEI TURBINE EOLIENE CU AX ORIZONTAL DE MICI DIMENSIUNI

**Arbore secundar/alternator** (I.4) (Fig. 13) – mișcarea de rotație de la multiplicator antrenează direct alternatorul (arborele secundar) (I.4.1).



Fig. 13. Generatorul de curent electric.

Alternatorul transformă energia mecanică în energie electrică prin intermediul rotorului care realizează un câmp magnetic împreună cu statorul. Întrucât se generează un curent electric trifazat, acesta trebuie redresat pentru a fi transformat în curent continuu care este alternativ printr-o punte de diode. Dar în această etapă curentul continuu are tensiunea de aproximativ 110 V, fapt pentru care trebuie stabilizat la 14 – 14,2 V cu ajutorul unui releu de încărcare. Captarea și transformarea curentului electric continuu se realizează prin cuplarea a trei conductori

electrici la bornele alternatorului, la un capăt, iar la celălalt capăt se conectează la colectorul poziționat sub placa de bază a nacellei.

**Girueta** (I.5) (Fig 14, a) - este atașată de placa de bază a nacellei, având rolul de a orienta nacela în funcție de direcția curentului de aer. **Placa de bază** (I.6) (Fig. 14, b) este realizată din OL 50 cu dimensiunile de gabarit: lungimea  $L = 330 \text{ mm}$ , înălțimea  $h = 10 \text{ mm}$ , lățimea  $l = 150 \text{ mm}$  de care sunt fixate cu șuruburi toate componentele nacellei.

Întrucât turbina eoliană trebuie să fie adaptată permanent direcției curentului de aer, acesta implică asigurarea mișcării nacellei în funcție de direcția vântului. Acest lucru se realizează prin intermediul unui **mecanism de susținere și rotație** cu un singur grad de libertate (Fig.15, a). Acesta conține: doi rulmenți (I.7.2), două distanțiere între rulmenți (I.7.3 și I.7.4) și unul între rulmentul superior și placa nacellei, un bolț (I.7.1) pe care sunt fixați rulmenții și placa de bază, acest bolț realizând și legătura dintre nacelă și stâlpul de fixare prin intermediul asamblării filetate cu șurub și piuliță (I.7.5). Subansamblul bolț-rulmenți este montat în partea superioară a stâlpului prin ajutor forțat prevăzut cu o siguranță elastică (I.7.6).

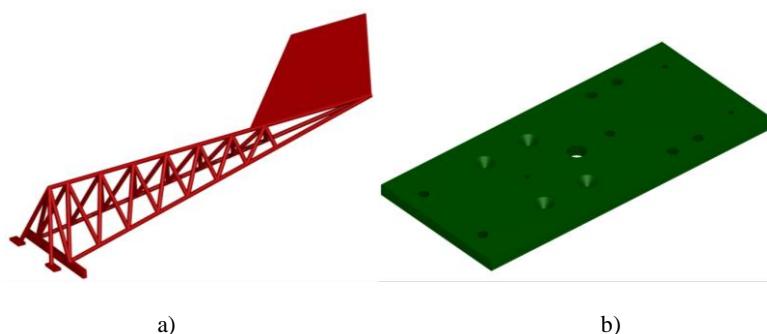


Fig. 14:  
a) girueta; b) placa de bază.

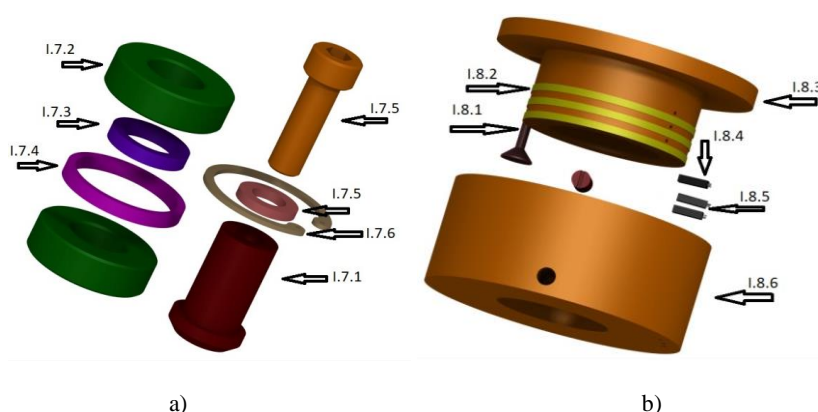


Fig. 15.  
a) mecanism rotație nacelă; b) mecanism de transmisie continuă a curentului.

**Dispozitivul de transmitere continuă a curentului electric** (Fig. 15, b) se află poziționat sub placa nacellei fiind solidarizat de acesta prin șurubul (I.8.1).

Acest dispozitiv conține trei inele din bronz (I.8.2) formând colectorul (I.8.3), materialul din care este confecționat este lemn masiv de carpen prin strunjire,

concentric cu mecanismul (I.7) și stâlpul turbinei (II.1). Inelele din bronz (I.8.2) sunt conectate la conductorii electrici de la alternator (I.4). Transmiterea curentului se realizează mai departe prin cărbuni (I.8.4), elementele elastice (I.8.5) care pretensionează cărbunii pe inele și prin cele trei cabluri de curent care duc la acumulatorul amplasat la baza turbinei. Presarea cărbunilor și protecția sistemului de transmisie a curentului se realizează prin intermediul unei capsule metalice fixată de partea superioară a stâlpului (I.8.6).

**II. Suportul sau** sistemul de fixare și susținere a nacelei reprezintă partea pasivă a ansamblului turbinei, asigurând înălțimea optimă la care să funcționeze turbina eoliană, sistemul de fixare rigidă cu solul precum și transmisia curentului electric de la generator la acumulator. Acesta a fost proiectat pe principiul unui trepied, fiind alcătuit dintr-un stâlp telescopic format din două tronsoane cu înălțimea totală de 3042 mm (II.1)), din baza de susținere cu o deschidere de 1500 mm (II.3), având rolul de fixare a stâlpului de fundația din beton (II.5). Legătura dintre stâlp (II.1) și bază se realizează prin intermediul unei piese T (II.4) cu patru ieșiri dispuse una față de cealaltă la un unghi de 90°, asamblarea fiind filetată prin filet interior pentru bază (II.3 și filet exterior pentru stâlp (II.1). Toate piesele care asigură fixarea nacelei (I) sunt realizate din OLC 40. Pentru a asigura stabilitatea stâlpului la acțiunea vântului, au fost prevăzute cu tiranți (II.2) din OL 50 de tip țevă cu secțiune circulară, acționând ca niște contravânturi pentru structură. Aceștia sunt asamblați prin intermediul unor plăcuțe sudate, prevăzute cu găuri prin care suruburile le strâng de stâlp, respectiv de bază prevăzute cu găuri filetate. Baza se fixează în fundație prin intermediul unei tije filetate (II.5) (ancoră) care este introdusă în beton (încastrată), fixată fie mecanic ( diblu), fie prin ancoră chimică..

**III. Acumulatorul** (constând dintr-o baterie de 12 V, 5 A) asigură înmagazinarea curentului electric și furnizarea optimă de curent la consumatorul final.

Acesta este protejat într-o cutie metalică (III.2) prevăzută cu un contact general (III.3), un bec de control care indică prezența curentului în instalație (III.4) și un bec care indică funcționarea generatorului (III.5). Pentru consumul casnic se va conecta consumatorul (becuri, laptop, încărcător de telefon, etc.), prin intermediul unor cabluri de curent electric multifilat de minim 2 mm la bornele acumulatorului (III.1). Pentru transformarea în curent alternativ se va atașa un convertizor de putere maximă 1,3 kW.

#### 4. REALIZAREA PRACTICĂ A TURBINEI EOLIENE CU AX ORIZONTAL DE MICI DIMENSIUNI PE BAZA VALORIFICĂRII ȘI REUTILIZĂRII DEȘEURILOR FEROASE

Pentru realizarea practică a turbinei eoliene destinată utilizatorilor casnici s-au recuperat piese din centrele de colectat fier vechi (rebuturi), din service auto, în urma înlocuirii și reparației unor autoturisme, s-au valorificat următoarele piese – doua electro-motoare și un alternator, din magazine de bricolaj s-au procurat: suruburi, piulițe, șaibe (conform calculelor de verificare și dimensionare), cablaj electric, izolator, bateria, vopseaua, iar pentru asamblarea componentelor s-au realizat prelucrări mecanice precum strunjire (arbore principal, suport lagăre, suport ansamblu multiplicator, etc.), gaurire (placa de baza a nacelei, stâlpi pentru asamblare filetata, etc.), debitare (majoritatea pieselor au fost debitate la cotele stabilite prin desenul de execuție), șlefuire (în funcție de rugozitatea stabilită prin proiectare, piesele au fost șlefuite atât pentru asigurarea funcționării turbinei – frecări reduse, ungere corespunzătoare, eliminare concentratori de tensiune, cât și pentru operația ulterioară de grunduire și vopsire), filetarea, sudarea (de tiranții din ansamblul suport au fost sudate plăcuțe de prindere/conectare cu stâlpul principal și bază). Mai jos sunt prezentate imagini din procesul de asamblare practică (Fig. 16)



a)



b)

**Fig. 16.** Realizarea practică a turbinei:  
a) nacela; b) stâlpii.



## 5. CONCLUZII

Lucrarea a avut ca scop prezentarea etapelor de proiectare și realizarea unei turbine eoliene de mici dimensiuni dedicată utilizatorilor casnici și realizabilă atât în atelierul propriu cât și în ateliere specializate. În urma proiectării și realizării practice se pot trage următoarele concluzii:

- Proiectarea turbinei eoliene cu ax orizontal pentru utilizatori casnici (de mici dimensiuni) a necesitat studiul în literatura de specialitate, analiza comparativă a tipurilor de transmisii a energiei mecanice captate din acțiunea vântului către generatorul de curent electric, studiul și calculul de rezistență și rigiditate a componentelor;

- În proiectarea efectivă a pieselor s-a utilizat o metodă sistemică de proiectare bazată pe part-uri și Assembly, ceea ce se poate transpune într-o schemă logică de angrenare și funcționare a componentelor;

- S-a ales pe baza analizei multicriteriale varianta de *transmisie cu roți dințate interioare*, pentru elementele de rezistență s-a utilizat OLC40, OL50, nacela cu tot ansamblul ajungând la masa de aproximativ 35 kg. Stâlpul este de aproximativ 3m înălțime, iar rotorul poate fi schimbat în funcție de modul de prindere a palelor.

- Realizarea practică a turbinei a constituit partea cea mai dificilă și incitantă, întrucât în această etapă au aparut confruntările reale cu problemele ingineresti și implicit găsirea unor soluții viabile (ieftine, dar care să nu diminueze din rezistența și randamentul turbinei și potrivite sistemului deja realizat);

- Toate piesele componente ale turbinei eoliene proiectate sunt demontabile și interschimbabile; cea mai sensibilă parte a turbinei din punct de vedere funcțional o constituie releul de încărcare;

- Randamentul turbinei (teoretic) este :  $P_{\text{puterea}} = 1 \text{ kW}$ ; viteza vântului = 9 m/s; eficiența de 0,3;

- Pentru acumularea energiei electrice generată de vânt și neconsumată în mod curent, acumulatorul poate fi schimbat cu unu de o capacitate de 80 A (descărcare la contact), 740Ah (capacitate încărcare/descărcare în timp);

- Pentru beneficiar, investiția s-ar putea amortiza în aproximativ 7 ani dacă s-ar utiliza cu un consum de aproximativ 1210 kWh/an ( 726 lei/an – s-a calculat un consum de 10 ore/zi timp de 121 de zile).

- Validarea funcționării structurii s-a realizat prin utilizarea energiei mecanice impusă arborelui principal (manual) și captarea energiei electrice în acumulator.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Wind Energy Targets for 2020 – 2030, EWEA, 2011
- [2] <http://rwea.ro/energia-eoliana/energia-eoliana-in-romania/>
- [3] [http://www.ge-energy.com/products\\_and\\_services/products/wind\\_turbines/ge\\_1.5\\_77\\_wind\\_turbine.jsp](http://www.ge-energy.com/products_and_services/products/wind_turbines/ge_1.5_77_wind_turbine.jsp)
- [4] <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/AccidentStatistics.htm>
- [5] Bechly ME, Clausent PD. *Technical note: structural design of a composite wind turbine blade using finite element analysis*. ComputStruct 1997;63(3):639-46.
- [6] Adams, D., White, J., Rumsey, M. and Farrar, C., 2011. *Structural health monitoring of wind turbines: method and application to a HAWT*. Wind Energy, 14(4), pp.603-623.
- [7] Yang, B. and Sun, D., 2013. *Testing, inspecting and monitoring technologies for wind turbine blades: A survey*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, pp.515-526.
- [8] Hameed, Z., Hong, Y.S., Cho, Y.M., Ahn, S.H. and Song, C.K., 2009. *Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review*. Renewable and Sustainable energy reviews, 13(1), pp.1-39.
- [9] Sohn, H., Farrar, C.R., Hemez, F.M., Shunk, D.D., Stinemates, D.W., Nadler, B.R. and Czarniecki, J.J., 2003. *A review of structural health monitoring literature: 1996–2001*. Los Alamos National Laboratory.
- [10] Tavner, P.J., Xiang, J.P., Spinato, F., *Reliability analysis for wind turbines*, Wind Energy, Vol. 10, Issue 1, 2006.
- [11] Spinato, F., Tavner, P.J., van Bussel, G.J.W., Koutoulakos, E., *IET Renewable Power Generation*, Vol. 3, Issue 4, pp. 1-15, 2009.
- [12] Veritas, D.N., 2010. *Design and manufacture of wind turbine blades, offshore and onshore wind turbines*. DNV Standard, DNV-DS-J102, pp.2010-11.
- [13] IEC 61400-23 Ed. 1.0 en:2014 Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades
- [14] Hyers, R.W., McGowan, J.G., Sullivan, K.L., Manwell, J.F. and Syrett, B.C., 2006. *Condition monitoring and prognosis of utility scale wind turbines*. Energy Materials, 1(3), pp.187-203.
- [15] Stanciu M.D., Curtu I., Tesula I., *Structural Optimization of Composite from Wind Turbine Blades with Horizontal Axis Using Finite Element Analysis*, Elsevier - Procedia Technology 22(2016) 726-733
- [16] Curtu I., Stanciu M.D., Tesula I., Jeflea M., *Optimizarea sistemului de ranforsare a palelor de turbine eoliene utilizând metoda elementelor finite*, CREATIVITATE, INVENTICĂ, ROBOTICĂ, nr. 1/2016, pp. 35-39, <http://www.agir.ro/buletine/2495.pdf>
- [17] Stanciu M.D., Curtu I, Savin A., Steigmann R., Tesula I., *Analiza Riscurilor Integrității Structurale a Palelor Turbinelor Eoliene*, in Buletinul AGIR Creativitate, Inventica, Robotica, nr. 2/2015, p. 7-12
- [18] Curtu I., Stanciu M.D., Savin A., Piscoi P., Teșulă I.: *Cercetări privind fabricarea palelor de turbine eoliene din lemn stratificat*, în Lucrările Ediției a X-a a Conferinței Anuale "Zilele Academice ale ASTR – Dezvoltarea companiilor prin inovare", Galați, 9-10 oct. 2015, Ed. Agir, ISSN 2066-6586, pp. 142-151
- [19] Adrian Dogariu, Dan Dubină: *Verificarea de rezistență și stabilitate a structurii metalice a centralelor eoliene*, (<https://www.academia.edu/5456276>)
- [20] Anghileri M, et al., *Multi-Objective genetic optimization of helicopter seats under crashworthiness requirements*, Italy, 2004.
- [21] Buzdugan, G., ș. a., *Rezistența materialelor - Aplicații* - Editura Academiei Române, București, 1991

- [22] Constantinescu, D., M., *Dezvoltări și aplicații în mecanica ruperii și oboseală*, Editura Academiei Române, București, 2003
- [23] Scărlătescu Tatiana (2007): *Standardizare națională, europeană și internațională în domeniul energiei eoliene. Strategia de dezvoltare. Standardizare, coordonarea standardizării – Prezentare generală – ASRO*
- [24] Worden, K. and Manson, G., 2007. *The application of machine learning to structural health monitoring*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 365(1851), pp.515-537.
- [25] Walford, C. and Roberts, D., 2006. *Condition Monitoring of Wind Turbines: Technology Overview, Seeded-Fault Testing, and Cost-Benefit Analysis*. Electric Power Research Institute.
- [26] Grimberg, R., Savin, A., Steigmann, R., Bruma, A. and Barsanescu, P., 2009. *Ultrasound and eddy current data fusion for evaluation of carbon-epoxy composite delaminations*. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 51(1), pp.25-31.
- [27] Grum, J., Šturm, R., Barsanescu, P., Savin, A., Steigmann, R. and Grimberg, R., 2010. *Ultrasound examination of fiber-glass polyester composite*. In 12 th International Symposium on Nondestructive Characterization of Materials, Blacksburg, Virginia, USA
- [28] Grimberg, R., Savin, A., Steigmann, R., Barsanescu, P., Leon, D., Rosu, D. 2008. *Monitoring complex structures from carbon epoxy composites using Fiber Bragg Gratings*, In XV International Conference on Mechanics of Composite Materials MCM, Riga, Latvia
- [29] Boller C. and all (eds.), *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, J.Wiley&Sons, Chichester, 2009
- [30] Abrate, S., 2005. *Impact on composite structures*. Cambridge university press.
- [31] IEC International Standard. Wind turbine generator system—Part I: safety requirements; 1994.
- [32] Germanischer Lloyd. Regulations for the certification of wind energy conversion system. Germany: Germanischer Lloyd; 1999.
- [33] Zhou, Y., So, R.M.C., Jin, W., Xu, H.G. and Chan, P.K.C., 1999. *Dynamic strain measurements of a circular cylinder in a cross flow using a fibre Bragg grating sensor*. Experiments in fluids, 27(4), pp.359-367.
- [34] Mahmoud, A.M., Ammar, H.H., Mukdadi, O.M., Ray, I., Imani, F.S., Chen, A. and Davalos, J.F., 2010. *Non-destructive ultrasonic evaluation of CFRP-concrete specimens subjected to accelerated aging conditions*. NDT & E International, 43(7), pp.635-641.
- [35] Straser, E. G., and Kiremidjian, A. S., *A modular, wireless damage monitoring system for structures*. Report No. 128, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA (1998).
- [36] Y. Wang, J.P. Lynch, and K.H. Law, *A wireless structural health monitoring system with multithreaded sensing devices: design and validation*, Struct. Infrastruct. Eng. 3 (2007), pp. 103-120.
- [37] P. Lynch and K.J. Loh, *A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring*, Shock Vib. Digest 38 (2006), pp. 91-128.
- [38] Savin, A., Steigmann, R. and Dobrescu, G.S., 2014, July. *Metamaterial Sensors for Structural Health Monitoring*. In ASME 2014 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (pp. V002T07A027-V002T07A027). American Society of Mechanical Engineers.
- [39] FOS SpectralEye 600 Instruction Manual, v.2.02, FOS&S, Belgium

---

## 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 contractelor științifice de tip TD/2007 și BG/2016. În prezent este cadru didactic la Facultatea de Inginerie Mecanică a Universității Transilvania din Brașov, membră AGIR din 2006, SRMTA și SRR. E-mail: [mariana.stanciu@unitbv.ro](mailto:mariana.stanciu@unitbv.ro)

### Ing. Marian Gabriel TOLBAȘU

Absolvent al Universității Transilvania din Brașov Facultatea de Inginerie Mecanică – specializarea Inginerie Mecanică (promoția 2014), absolvent al master-ului Simulare și Testare în Inginerie Mecanică la Facultatea de Inginerie Mecanică (2017), colaborator voluntar în proiecte studențești și de cercetare. A obținut cu această lucrare Premiul I la conferința ”Absolvenți în fața companiilor” – secția Inginerie Mecanică, din cadrul Universității Transilvania din Brașov și a participat la ”Noaptea Cercetătorilor Europeni 2017, Brașov” cu lucrarea sa practică.