

RAPORTARE ȘTIINȚIFICĂ

I. Raportul Științific 2023

- Contract nr. 92PTE/2022; etapă nr. 2/2023; cod proiect: *PN-III-P2-2.1-PTE-2021-0589*; titlu proiect "*Validarea prototipului de Micro-Turbină Eoliană cu Ax Vertical pentru Integrarea în Arhitectura Urbană*";

- Descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei anuale și gradul de realizare a obiectivelor;

Consumul global de energie, la fel ca și populația mondială, crește într-un ritm alarmant, generând tensiuni mari asupra disponibilității energiei. În timp ce consumul global de energie a înregistrat o încetinire a creșterii din 2022 până în 2023¹, acesta a rămas peste valoarea medie a ultimilor zece ani, generând provocări majore în materie de durabilitate. Mai mult, s-a demonstrat că o anumită creștere relativă a populației va determina o creștere relativă mai mare a consumului de energie², adâncind astfel nevoia de anticipare și compensare a nevoilor de energie electrică ale oamenilor prin construirea din ce în ce mai multe centrale electrice.

Desigur, o societate în curs de dezvoltare va avea nevoie de o cantitate din ce în ce mai mare de energie pentru a funcționa³. În primele etape de dezvoltare ale unei societăți, mijloacele de generare a energiei nu sunt relevante atâta timp cât cererea de energie electrică este satisfăcută. Dar, pe măsură ce are loc evoluția prin progres, odată cu urbanizarea și creșterea marilor orașe⁴, se ridică preocupări cu privire la mijloacele preferate de generare a energiei electrice, astfel încât o societate dezvoltată să se concentreze pe diminuarea poluării aerului și a impactului industrializării asupra climei⁵. Calitatea slabă a aerului poate provoca decese⁶,⁷ și poate duce, de asemenea, la un declin economic ireversibil³ dacă nu este îmbunătățită. Astfel de pași către un aer mai curat au fost făcuți, cel mai remarcabil, de Uniunea Europeană⁶,⁸ și, de asemenea, de țări individuale precum China⁹,¹⁰, Brazilia¹¹ dar și de către România¹².

¹ 'World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2023', Enerdata. [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>

² A. Allouhi, Y. El Fouih, T. Kousksou, A. Jamil, Y. Zeraoui, and Y. Mourad, 'Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends', *J. Clean. Prod.*, vol. 109, pp. 118–130, 2015.

³ A. O. Acheampong, 'Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: What causes what and where?', *Energy Econ.*, vol. 74, pp. 677–692, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.eneco.2018.07.022

⁴ A. Kona, P. Bertoldi, F. Monforti-Ferrario, S. Rivas, and J. F. Dallemand, 'Covenant of mayors signatories leading the way towards 1.5 degree global warming pathway', *Sustain. Cities Soc.*, vol. 41, pp. 568–575, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.05.017.

⁵ S. Ntanos, 'Renewable energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: Evidence from Europe and Greece', Sep. 2015.

⁶ P. Sicard, E. Agathokleous, A. De Marco, E. Paoletti, and V. Calatayud, 'Urban population exposure to air pollution in Europe over the last decades', *Environ. Sci. Eur.*, vol. 33, no. 1, p. 28, Mar. 2021, doi: 10.1186/s12302-020-00450-2.

⁷ J. Lelieveld, J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki, and A. Pozzer, 'The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale', *Nature*, vol. 525, no. 7569, pp. 367–371, Sep. 2015, doi: 10.1038/nature15371.

⁸ S. Ntanos et al., 'Renewable Energy and Economic Growth: Evidence from European Countries', *Sustainability*, vol. 10, no. 8, 2018, doi: 10.3390/su10082626.

⁹ B. Silver, C. L. Reddington, S. R. Arnold, and D. V. Spracklen, 'Substantial changes in air pollution across China during 2015–2017', *Environ. Res. Lett.*, vol. 13, no. 11, p. 114012, Nov. 2018, doi: 10.1088/1748-9326/aae718

¹⁰ Y. Jin, H. Andersson, and S. Zhang, 'Air Pollution Control Policies in China: A Retrospective and Prospects', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 13, no. 12, 2016, doi: 10.3390/ijerph13121219.

¹¹ M. G. Pereira, C. F. Camacho, M. A. V. Freitas, and N. F. da Silva, 'The renewable energy market in Brazil: Current status and potential', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 6, pp. 3786–3802, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.03.024.

¹² S. E. Colesca and C. N. Ciocoiu, 'An overview of the Romanian renewable energy sector', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 24, pp. 149–158, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.03.042.

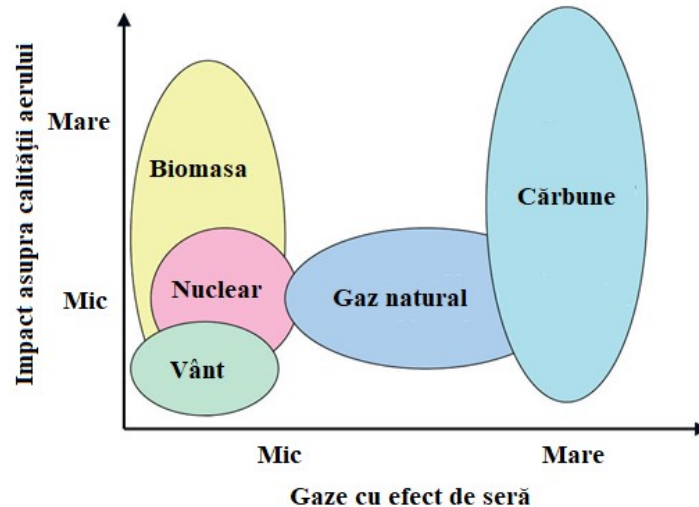


Figura 1. Comparația impactului gazelor cu efect de seră și al poluării aerului pentru generarea de electricitate¹³

Și ținând cont de pericolul schimbărilor climatice și al poluării, metodele convenționale de îndeplinire a cerințelor energetice, cum ar fi gazele naturale, cărbunele și derivatele petroliere, nu mai sunt o opțiune. În ultimii ani, totuși, sursele de energie regenerabilă au cunoscut o creștere bruscă a popularității, trecând la principalele opțiuni pentru susținerea cerințelor globale de energie¹⁴. În Islanda, de exemplu, în timp ce populația totală a crescut constant din 1950¹⁵, vârsta medie a populației a scăzut din 1950 până în 1965¹⁶, sugerând o creștere a ratei mortalității. Acest lucru poate fi legat de perioada de timp în care petrolul a fost sursa de energie predominantă în Islanda¹⁷. Următoarea tendință de reducere drastică a producției de energie petrolieră și de utilizare a surselor alternative de surse regenerabile (centrale geotermale și hidroelectrice) a dus la o creștere constantă a populației medii și a populației totale estimate să continue în următoarele decenii.

Turbinele eoliene, printre hidroenergia și energia solară, sunt o sursă de energie durabilă, prietenoasă cu mediul înconjurător, având unele avantaje mari față de restul – posibilitatea de a valorifica energia cinetică a vântului chiar și în timpul nopții sau în zilele înnorate și posibilitatea instalării acestora în zonele urbane, cum ar fi clădiri rezidențiale, centre comerciale, clădiri administrative, parcuri și așa mai departe^{18, 19}.

¹³ Rogner, H. H. (2010). Nuclear power and sustainable development. *Journal of International Affairs*, 137-163.]

¹⁴ G. Boluk and M. Mert, 'Fossil and renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: evidence from a panel of EU (European Union) countries', *Energy*, vol. 60, pp. 1–8, Jan. 2014.

¹⁵ 'Population of Iceland', database.earth. [Online]. Available: <https://database.earth/population/iceland>

¹⁶ 'Iceland: Average age of the population from 1950 to 2100', statista, Jul. 2019. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/398566/average-age-of-the-population-in-iceland/>

¹⁷ 'Production and consumption', Statistics Iceland. [Online]. Available: <https://www.statice.is/statistics/environment/energy/production-and-consumption/>

¹⁸ P. Škvorc and H. Kozmar, 'Wind energy harnessing on tall buildings in urban environments', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 152, p. 111662, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111662.

¹⁹ B. Loganathan, M. Zaid, and H. Chowdhury, 'Harvesting wind energy from the complex urban environment using CFD approach', *AIP Conf. Proc.*, vol. 2681, no. 1, p. 020099, Nov. 2022, doi: 10.1063/5.0117102.

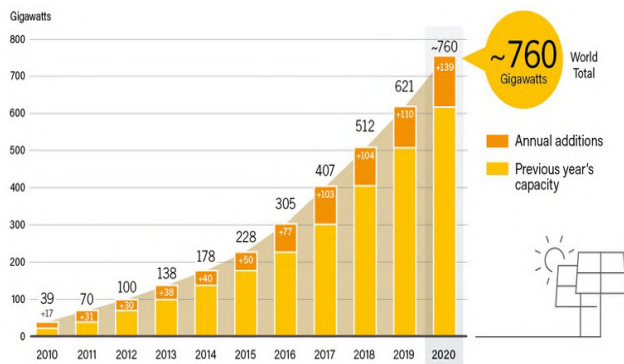


Figura 2. Evolutia energiei solare²⁰

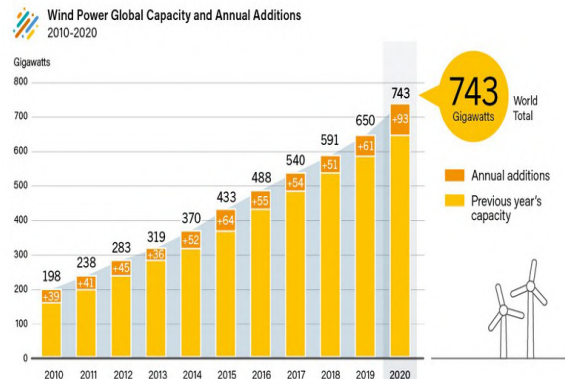


Figura 3. Evolutia energiei eoliene²⁰

Turbinele eoliene au înregistrat cea mai mare rată de creștere a producției de energie între toate sursele de energie regenerabilă²¹. Au fost însă ridicate îngrijorări cu privire la ritmul de creștere al industriei energiei eoliene. Rata ridicată de creștere de până acum (cea mai mare din categoria surselor regenerabile) nu poate fi menținută în viitor. Turbinele eoliene (turbinele eoliene cu ax orizontal – în special HAWT) vor necesita suprafețe mari de teren pentru parcurile de energie, afectând viața sălbatică prin zgomotul, vibrații^{21, 22}, coliziuni cu palele²³ și turbulența vântului. Pe de altă parte, chiar dacă turbinele eoliene cu ax vertical (VAWT) au o durată de viață de aproximativ 20 de ani și, conform autorilor din²⁴, vor fi în funcțiune aproximativ 85% din timp într-un an, dovedindu-se a fi un soluție pe termen lung. Deoarece cea mai mare parte a consumului de energie este cauzată de orașe, o soluție excelentă de a asigura acest necesar de energie electrică și de a diminua impactul asupra vieții sălbatice este instalarea turbinelor în orașe, reducând și pierderile de transport²⁵. Performanța generală a acestor dispozitive. a îndeplinit și a depășit doar așteptările de până acum²⁶. Mai mult, autorii din²⁶ au analizat efectul montării unui cuplaj pentru a reduce vibrațiile care sunt transmise clădirii pe care sunt montați, oferind o soluție pentru vibrațiile nedorite și perturbatoare pe care le poate genera un astfel de dispozitiv.

²⁰ <https://www.ren21.net/gsr-2021/>

²¹ V. S. Arutyunov and G. V. Lisichkin, 'Energy resources of the 21st century: problems and forecasts. Can renewable energy sources replace fossil fuels?', *Russ. Chem. Rev.*, vol. 86, no. 8, p. 777, Aug. 2017, doi: 10.1070/RCR4723.

²² Y. Teff-Seker, O. Berger-Tal, Y. Lehnardt, and N. Teschner, 'Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current policies and planning regulations', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 168, p. 112801, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112801.

²³ R. Saidur, N. A. Rahim, M. R. Islam, and K. H. Solangi, 'Environmental impact of wind energy', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 5, pp. 2423–2430, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.02.024.

²⁴ I. Abohela, N. Hamza, and S. Dudek, 'Urban Wind Turbines Integration in the Built Form and Environment', vol. 10, pp. 23–39, Jun. 2011.

²⁵ T. F. Ishugah, Y. Li, R. Z. Wang, and J. K. Kiplagat, 'Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, pp. 613–626, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.05.053.

²⁶ R. Kumar, K. Raahemifar, and A. S. Fung, 'A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 89, pp. 281–291, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.033.

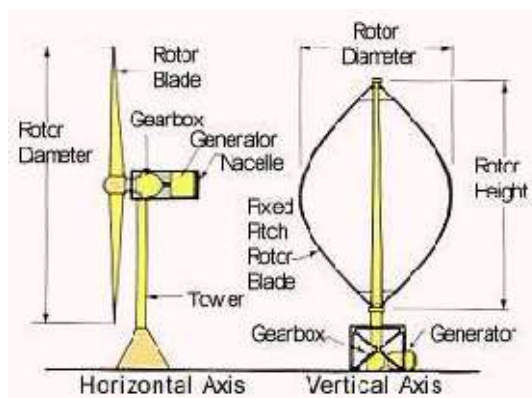


Figura 4. HAWT VS. VAWT²⁷

Între cele două variante de turbine eoliene, VAWT prezintă interes în această lucrare, în principal datorită adaptabilității ridicate la condițiile de vânt, cu funcționare omnidirecțională și dimensiuni de gabarit mai mici, permițând instalarea lor în regiunile menționate anterior, spre deosebire de HAWT-urile, a căror eficiență depinde în mare măsură de unghiul de atac al curenților de vânt pe pale. În timp ce VAWT-urile pot funcționa în orice condiții de direcție a vântului, HAWT-urile vor avea o scădere dramatică a performanței dacă unghiul de atac se schimbă²⁸. VAWT-urile au o putere de ieșire mai bună în condiții de vânt turbulent²⁹ în comparație cu HAWT-urile³⁰, justificând alegerea VAWT-urilor față de HAWT în cazul prezentului proiect.

Atunci când se proiectează o turbină eoliană, este imperativ analizarea poziționării dispozitivului în raport cu clădirile, copacii și alte turbine eoliene. O hartă care arată vitezele vântului în zonă ar trebui să fie de mare importanță atunci când se alege locația și înălțimea amplasării. O turbină eoliană amplasată urban poate fi dezvoltată pentru a se adapta la mediul urban preexistent³¹ și a beneficia de intensificarea fluxului de vânt de la clădirile din jur³², fie poate fi proiectată în același timp cu clădirile din vecinătate³³, obținându-se o integrare vizuală și mai bună a turbinei.

În această lucrare, un ansamblu de 27 de VAWT de dimensiuni mici montate pe 3 straturi cu câte 9 turbine fiecare este proiectat pentru a fi instalat și funcționa într-un complex rezidențial. Poziționarea relativă a turbinelor este analizată și modificată pentru a obține dispoziția optimă, deoarece, dacă sunt plasate optim, grupurile de turbine eoliene pot produce mai multă putere

²⁷ M. B. Alawi, "The integration of wind turbines for generating sustainable energy in skyscrapers," no. May, pp. 0–13, 2019

²⁸ F. Castellani, D. Astolfi, M. Peppoloni, F. Natili, D. Buttà, and A. Hirschl, 'Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use', *Machines*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.3390/machines7020035.

²⁹ M. K. Johari, M. Jalil, and M. Shariff, 'Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)', vol. 7, pp. 74–80, Oct. 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.13.21333.

³⁰ B. Belabes and M. Paraschivoiu, 'Numerical study of the effect of turbulence intensity on VAWT performance', *Energy*, vol. 233, p. 121139, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121139.

³¹ L. C. Pagnini, M. Burlando, and M. P. Repetto, 'Experimental power curve of small-size wind turbines in turbulent urban environment', *Appl. Energy*, vol. 154, pp. 112–121, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.117>.

³² F. Balduzzi, A. Bianchini, E. A. Carnevale, L. Ferrari, and S. Magnani, 'Feasibility analysis of a Darrieus vertical-axis wind turbine installation in the rooftop of a building', *Energy Solut. Sustain. World - Proc. Third Int. Conf. Appl. Energy May 16-18 2011 - Perugia Italy*, vol. 97, pp. 921–929, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.12.008.

³³ A. Dutton, J. Halliday, and M. Blanch, 'The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines (BUWTs): Achieving their potential for carbon emission reductions. Final Report of Carbon Trust Contract 2002-07-028-1-6.', Jan. 2005

decât turbinele independente³⁴, ³⁵. Fiecare strat are 3 ramuri principale pe care sunt montate grupuri de trei turbine, similar dispoziției analizate a autorilor în³⁶ și³⁷. Impactul vizual al acestei tranșe este diminuat prin camuflarea ansamblului turbinei într-o construcție în formă de copac, astfel încât întreaga structură să poată fi catalogată drept mobilier urban.

Realizarea desenelor de ansamblu

Crearea unui ansamblu prin proiectare asistată de computer (CAD) este un aspect crucial al proiectării și ingineriei moderne a produselor. Ansamblurile CAD permit proiectanților și inginerilor să vizualizeze, să analizeze și să simuleze funcționarea sistemelor complexe înainte ca acestea să fie construite fizic. Aceste ansambluri cuprind o colecție de piese și componente individuale, oferind o vedere holistică a întregului produs. Ansamblurile CAD oferă o reprezentare vizuală tridimensională a produsului. Acest lucru le permite proiectanților să inspecteze relațiile spațiale dintre componente și să identifice potențiale defecte sau interferențe de proiectare. Unul dintre avantajele principale ale ansamblurilor CAD este capacitatea de a detecta interferențe între piese. Inginerii pot identifica ciocniri sau suprapuneri la începutul fazei de proiectare, prevenind erorile costisitoare care pot apărea în timpul asamblării fizice.

Ansamblurile CAD permit simularea comportamentului produsului în diferite condiții. Inginerii pot analiza factori precum stresul, deformarea și efectele termice, oferind perspective asupra performanței produsului înainte de începerea producției.

Procesul de creare a ansamblurilor CAD cuprinde:

- *modelarea componentelor*: primul pas implică crearea unor modele 3D detaliate ale componentelor individuale folosind software-ul CAD. Aceste modele includ informații despre geometrie, proprietățile materialelor și specificațiile de fabricație;

- *proiectarea ansamblului*: odată ce componentele individuale sunt modelate, acestea sunt asamblate într-un mediu virtual. Aceasta presupune definirea relațiilor și constrângerilor dintre părți, mimând conexiunile fizice care vor fi prezente în produsul real;

- *verificarea interferențelor*: inginerii efectuează verificări de interferență pentru a identifica și rezolva orice ciocniri sau suprapuneri între componente. Acest pas asigură că produsul asamblat va funcționa corect, fără conflicte spațiale;

- *simulare și analiză*: după asamblare, inginerii pot simula comportamentul produsului folosind analiza cu elemente finite (FEA) sau alte instrumente de simulare. Acest lucru ajută la precizarea și optimizarea performanței în diferite condiții de operare;

³⁴ X. Sun, D. Luo, D. Huang, and G. Wu, 'Numerical study on coupling effects among multiple Savonius turbines', J. Renew. Sustain. Energy, vol. 4, no. 5, p. 053107, Sep. 2012, doi: 10.1063/1.4754438

³⁵ H. Bai and C. Chan, 'Positive interactions of two Savonius-type vertical-axis wind turbines for performance improvement', Innov.Solut. Energy Transit., vol. 158, pp. 625–630, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.165.

³⁶ M. Shaheen, M. El-Sayed, and S. Abdallah, 'Numerical study of two-bucket Savonius wind turbine cluster', J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 137, pp. 78–89, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.jweia.2014.12.002.

³⁷ Y. Zheng, H. L. Bai, and C. M. Chan, 'Optimization of Savonius turbine clusters using an evolutionary based Genetic Algorithm', Innov. Solut. Energy Transit., vol. 158, pp. 637–642, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.173.

- *documentație tehnică*: ansamblurile CAD sunt adesea însoțite de documentație detaliată, inclusiv instrucțiuni de asamblare, lista de materiale și alte informații esențiale pentru echipele de producție și asamblare.

Printre beneficiile ansamblurilor CAD se numara:

1. *economii de timp și costuri*: detectarea problemelor de proiectare la începutul etapei virtuale previne modificări costisitoare în timpul fazei de prototipare fizică, reducând atât timpul, cât și cheltuielile.

2. *colaborare îmbunătățită*: ansamblurile CAD facilitează colaborarea între echipele interfuncționale. Designerii, inginerii și producătorii pot lucra concomitent pe același model virtual, simplificând procesul de dezvoltare a produsului.

3. *design iterativ*: ansamblurile CAD permit proiectarea iterativă, în care inginerii pot modifica și testa rapid diferite alternative de proiectare pentru a optimiza performanța și eficiența produsului.

4. *prototipare precisă*: informațiile detaliate furnizate de ansamblurile CAD asigură că prototipurile se potrivesc îndeaproape cu designul intenționat, reducând nevoia de iterații multiple și minimizând risipa.

Ansamblurile CAD sunt parte integrantă a procesului modern de proiectare și dezvoltare a produselor. Capacitatea lor de a oferi o reprezentare vizuală, interactivă și analizabilă a sistemelor complexe contribuie semnificativ la eficiența, acuratețea și succesul eforturilor de dezvoltare a produselor. Pe măsură ce tehnologia continuă să avanseze, rolul ansamblurilor CAD se va extinde probabil, sporind și mai mult capacitatea noastră de a inova și de a crea produse sofisticate.

Folosind softul de CAD, SolidWorks au fost generate in prima faza toate componentele prototipului de turbina eoliana iar cu ajutorul modelului de Assembly au fost generate intai subansamble si apoi intregul ansamblu. In figurile de mai jos sunt ilustrate cateva subansamble ce fac parte din prototip.



Figura 5. Subansamblu turbina eoliana;

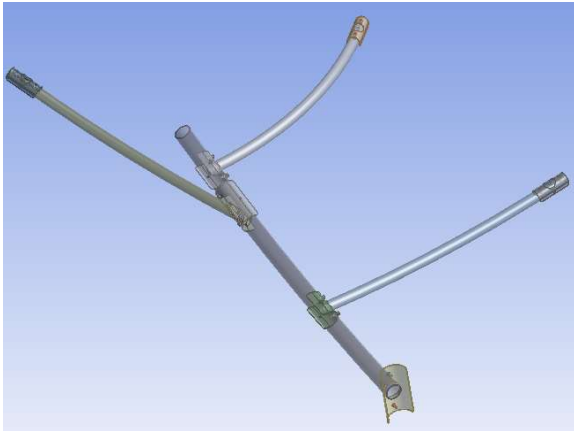


Figura 6. Subansamblu ramura secundara

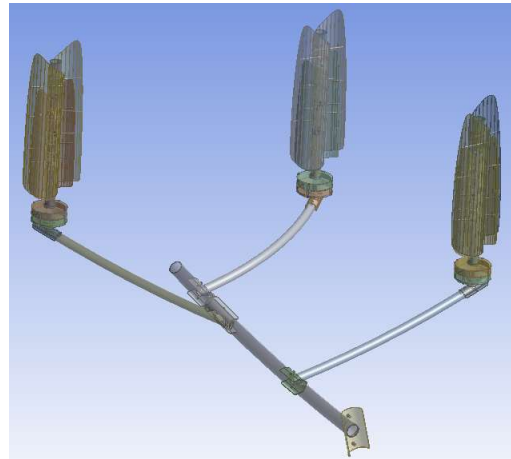


Figura 7. Subansamblu 3 turbine

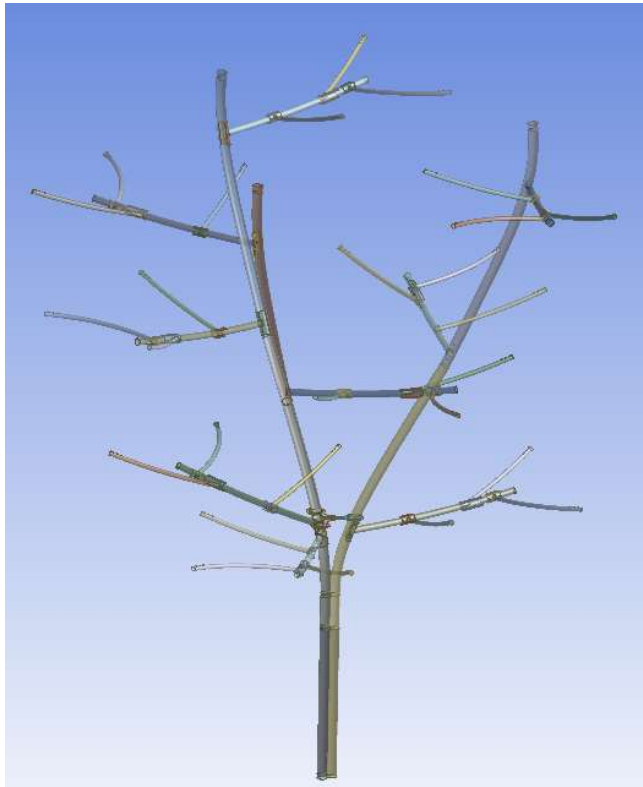


Figura 8. Subansamblu ramuri

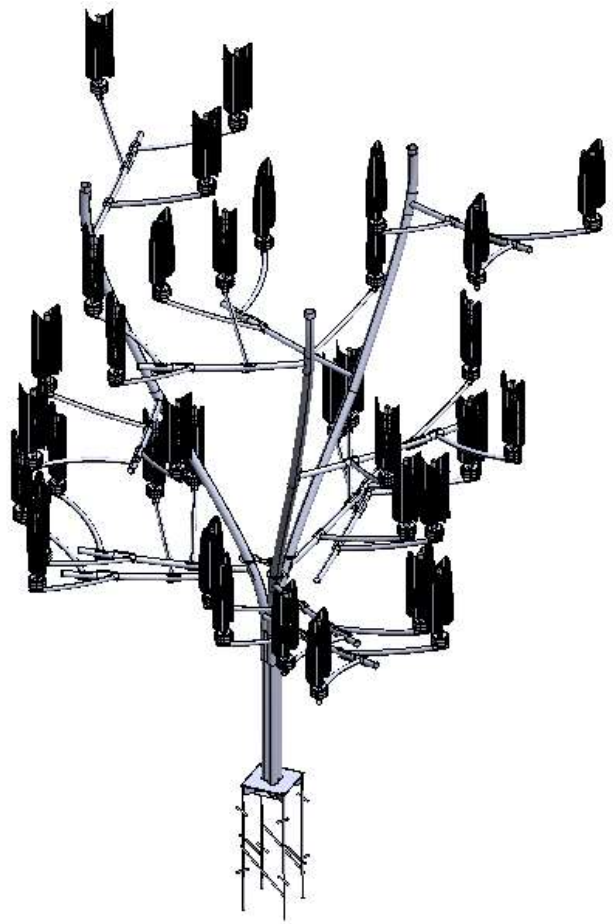


Figura 9. Ansamblu concept

Stabilirea protocolului tehnologic

Stabilirea unui protocol tehnologic presupune definirea unui set de reguli și standarde care ghidează implementarea și funcționarea tehnologiei într-un context specific. Indiferent de natura produsului care se dezvoltă, un protocol tehnologic clar este esențial pentru asigurarea interoperabilității, securității și eficienței.

Fabricarea turbinelor eoliene presupune o serie de protocoale și standarde pentru a asigura calitatea, siguranța și fiabilitatea componentelor produse. Mai jos sunt prezentate principalele protocoale implicate în fabricarea turbinelor eoliene:

- *standarde de calitate*: **ISO 9001** - standardul internațional pentru sistemele de management al calității. Producătorii de turbine eoliene aderă adesea la ISO 9001 pentru a se asigura că procesele lor îndeplinesc cele mai înalte standarde de calitate.

- *standarde de proiectare și fabricație*: **Standarde IEC** - Comisia Electrotehnică Internațională (IEC) oferă standarde nu numai pentru funcționarea turbinelor eoliene, ci și pentru proiectarea și fabricarea acestora. IEC 61400-2 acoperă în mod specific cerințele de proiectare pentru turbinele eoliene mici.

- *standarde de materiale*: **Standarde internaționale ASTM** - Societatea Americană pentru Testare și Materiale (ASTM) furnizează standarde pentru materialele utilizate în componentele turbinelor eoliene. Aceste standarde asigură calitatea și performanța materialelor precum oțelul și materialele compozite.

- *standarde de sudură*: **AWS D1.1**, Societatea Americană de Sudură (AWS) - D1.1 este folosit în mod obișnuit pentru sudarea componentelor structurale. Sudarea corectă este crucială pentru integritatea structurală a turnurilor turbinelor eoliene și a altor componente.

- *atenuarea impactului asupra mediului*: **ISO 14001**, - acest standard prezintă cerințele pentru un sistem de management de mediu. Producătorii de turbine eoliene pot adopta ISO 14001 pentru a minimiza impactul asupra mediului al proceselor lor de fabricație.

- *standarde de siguranță*: Seria de evaluare a sănătății și siguranței în muncă (OHSAS) **18001 sau ISO 45001** - aceste standarde oferă un cadru pentru sistemele de management al sănătății și securității în muncă. Asigurarea securității lucrătorilor în timpul procesului de producție este o prioritate.

- *protocoale de testare și inspecție*: **Testare nedistructivă (NDT)** - metode precum testarea cu ultrasunete, testarea particulelor magnetice și inspecția vizuală sunt utilizate pentru a asigura calitatea componentelor critice fără a provoca daune. **Testare de acceptare în fabrică (FAT)** - este efectuată pentru a verifica dacă componentele turbinei eoliene îndeplinesc cerințele specificate înainte de a fi expediate la locul de instalare.

- *documentație și trasabilitate*: **Protocoale de trasabilitate** - Producătorii de turbine eoliene implementează adesea protocoale pentru a urmări originea și procesele de fabricație ale fiecărei componente. Acest lucru este crucial pentru controlul calității și în scopuri de întreținere.

- *logistică și transport*: **Standarde de transport** - Asigurarea că componentele turbinei eoliene sunt transportate în siguranță la locul de instalare implică respectarea standardelor și protocoalelor de transport.

- *eficiență energetică: ISO 50001* - acest standard specifică cerințele pentru un sistem de management al energiei. Producătorii de turbine eoliene pot adopta ISO 50001 pentru a îmbunătăți eficiența energetică în procesele lor de producție.

- *protocoale de cercetare și dezvoltare: Procese de inovare și dezvoltare* - producătorii au adesea protocoalele lor de cercetare și dezvoltare pentru a stimula inovația în tehnologia turbinelor eoliene.

Este important de reținut că aceste protocoale pot varia ușor în funcție de locație, tipul specific de turbină eoliană și progresele tehnologice. În plus, se lucrează intens cu organismele de certificare și organizațiile din industrie pentru a asigura conformitatea cu standardele din industrie.

Fabricarea turbinelor eoliene presupune mai multe etape, de la producerea componentelor individuale până la asamblarea turbinei complete. Etapele de fabricație pentru o turbină eoliană sunt:

1. *fabricarea palelor:*

- **proiectare:** se proiectează palele turbinei folosind software-ul de proiectare asistată de computer (CAD), luând în considerare factori precum aerodinamica și rezistența materialelor.

- **selectia materialelor:** palele sunt de obicei realizate din fibră de sticlă sau compozite armate cu fibră de carbon. Materialele sunt tăiate și modelate conform specificațiilor de proiectare.

2. *fabricarea turnurilor:*

- **proiectare:** designul turnului este determinat pe baza unor factori precum condițiile vântului, dimensiunea turbinei și considerații de mediu.

- **selectia materialelor:** turnurile sunt adesea construite din oțel sau beton. Materialele sunt modelate, sudate și tratate pentru a rezista la sarcinile structurale și la condițiile de mediu.

3. *fabricarea nacelei și butucurilor:*

- **design:** nacela găzduiește generatorul turbinei, cutia de viteze și alte componente. Butucul conectează lamele la arborele principal.

- **selectia materialelor:** nacelele și butucii sunt de obicei fabricate din oțel. Componentele sunt fabricate și prelucrate conform specificațiilor precise.

4. *fabricarea generatoarelor și a multiplicatoarelor:*

- **generator:** generatorul transformă energia de rotație de la turbină în energie electrică. Generatoarele sunt adesea produse în afara amplasamentului de către producători specializați.

- **multiplicator:** la turbinele cu sisteme de viteze, multiplicatorul este responsabil pentru creșterea vitezei de rotație a turbinei la un nivel adecvat pentru generarea de energie electrică.

5. *componente și sisteme interne:*

- **sisteme electrice:** sistemele electrice, inclusiv electronica de control și putere, sunt fabricate și integrate în nacelă.

- **sisteme hidraulice:** dacă este cazul, sistemele hidraulice pentru controlul pasului și alte funcții sunt asamblate și integrate.

6. *asamblare:*

- **ansamblare turn:** secțiunile turnului sunt asamblate și toate componentele interne, cum ar fi cablurile și senzorii, sunt instalate.
- **ansamblarea naceli:** nacela, inclusiv generatorul, multiplicatorul și alte componente interne, sunt asamblate.
- **instalarea palelor:** palele sunt atașate la butuc, formând rotorul.

7. *controlul calității și testarea:*

- **testare nedistructivă (NDT):** diferite metode de testare nedistructivă, cum ar fi testarea cu ultrasunete și inspecția vizuală, sunt folosite pentru a asigura calitatea componentelor critice.
- **testare funcțională:** turbina asamblată este supusă unor teste funcționale pentru a se asigura că toate sistemele funcționează corect. Acestea pot include teste electrice, teste de control al pasului și alte verificări de performanță.

8. *transport:*

logistica: componentele sunt transportate la locul de amplasare pentru instalare. Aceasta implică o planificare și o coordonare atentă pentru a asigura livrarea în siguranță a componentelor mari și grele.

9. *instalare:*

- **construcția fundației:** fundația turbinei este construită la locul de instalare.
- **montare:** secțiunile turnului, nacela și rotorul sunt ridicate pe fundație. Aceasta implică utilizarea macaralelor și a echipamentelor specializate.

10. *punerea în funcțiune:*

- **verificări ale sistemului:** turbina instalată este supusă verificărilor și testelor finale pentru a se asigura că funcționează în parametri specificați.
- **conexiune la consumatori:** turbina este conectată la rețeaua de consumatori, iar performanța acesteia este monitorizată în timpul funcționării inițiale.

Pe parcursul acestor pași se respectă standardele și protocoalele de calitate pentru a asigura fiabilitatea și siguranța turbinei eoliene.

În figurile de mai jos sunt prezentate câteva etape din implementarea protocolului tehnologic în procesul de fabricare a conceptului de turbina eoliană dezvoltat în cadrul proiectului. Aceste etape sunt premergătoare etapelor de instalare și testare în condiții reale de funcționare care se face în viitorul apropiat.

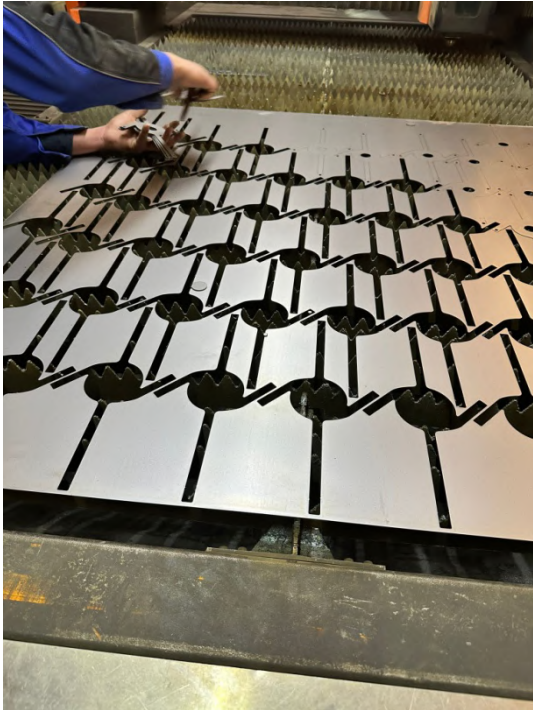


Figura 10. Decuparea cu ajutorul laser a suportilor de pale

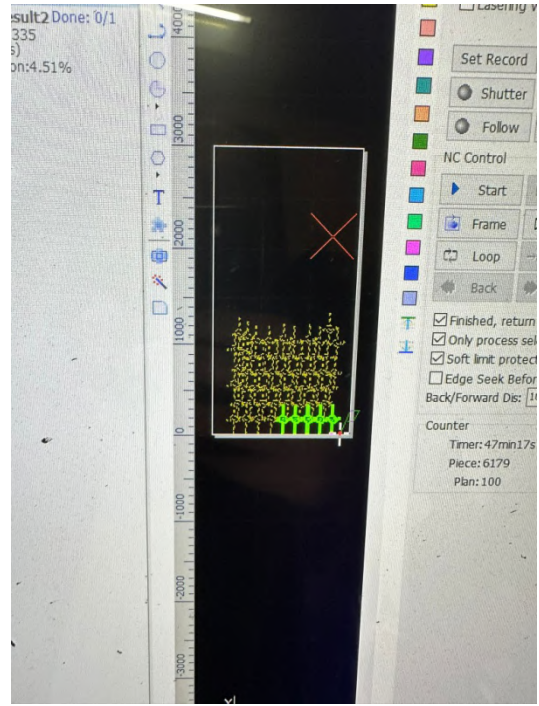


Figura 11. Setarile pentru procesul de taiere cu laser



Figura 12. Prelucrarea axului de turbina eoliana



Figura 13. Cele 27 de axe pentru turbinele eoliene ce vor forma structura de copacel



Figura 14. Prelucrarea axelor pentru conexiunea la generatoarele electrice



Figura 15. Sablon pentru deformarea bratelor palelor de turbina eoliana

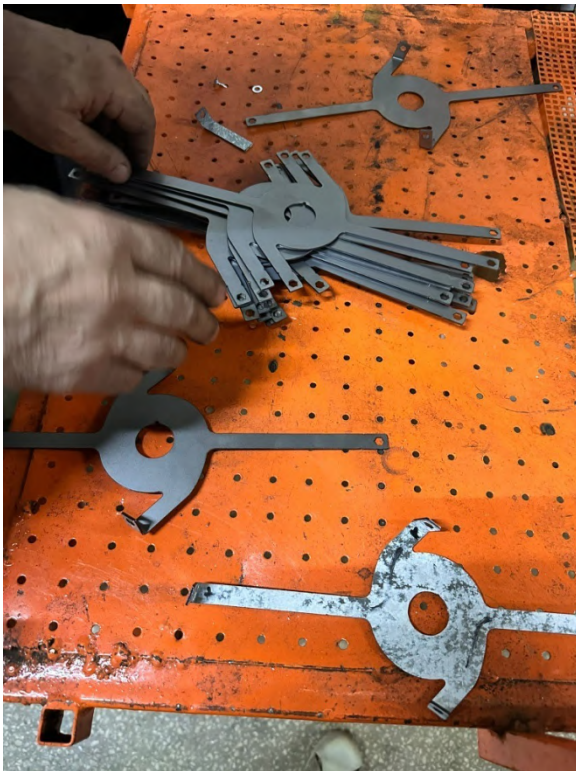


Figura 16. Verificarea bratelor



Figura 17. Prelucrarea bratelor pe abkant

Verificarea ansamblului

Această secțiune prezintă abordarea propusă pentru detectarea eventualelor erori în ansamblu CAD de turbina eoliana formată din 27 de turbine mici dispuse în forma de copac. Astfel, verificarea ansamblului este un concept ingineresc specific, pentru a se ține cont de faptul că modelele de asamblare CAD tratate reprezintă obiecte mecanice reale și oferă astfel produsului final un sens ingineresc precis. Aceasta etapa îmbina procesarea geometrică comună și cunoștințele de recunoaștere a caracteristicilor cu cunoștințele de inginerie pentru a extrage și a valorifica automat utilitatea componentelor în cadrul ansamblului CAD.

Un ansamblu mecanic este format din mai multe piese de diferite forme și dimensiuni și cu utilizări diferite. Rolul ingineresc al fiecărei piese ar fi semnificativ în procesul de grupare, dar, în general, nu este codificat în model, cu excepția cazului în care experții îl furnizează manual și se pierde atunci când se lucrează cu modele de asamblare CAD în formate standard de schimb, cum ar fi STEP. În prezent se face distincție între elemente de fixare și componente standard. Primele sunt acele piese care au funcția de a conecta sau fixa două sau mai multe părți (de exemplu, șurub, piuliță, șurub, garnitură, inel O, inel de siguranță, știft etc.). Acestea din urmă includ componente a căror formă și structură sunt standard, în sensul că sunt ușor de recunoscut prin analiza unor caracteristici geometrice și, de asemenea, se cunoaște funcția lor (de exemplu, roată dințată, rulment, curea etc.). Părțile care nu aparțin nici uneia dintre cele două categorii vor fi denumite pur și simplu părți. În plus, toate piesele ansamblului (dispozitive de fixare, piese standard și piese) sunt clasificate în continuare în funcție de tipul lor geometric. De exemplu, se disting piese axisimetrice, tablă, țevi și grinzi. În cele ce urmează ne interesează în special cunoașterea părților axisimetrice, care sunt părți simetrice față de o axă. În ceea ce privește analiza contactelor, evaluăm proximitatea doar între piese și/sau componente standard, în timp ce elementele de fixare sunt considerate un atribut al contactelor. În loc să generăm matricele sau graficele utilizate în mod obișnuit, pentru fiecare pereche de părți în contact definim o legătură.

Un alt concept de inginerie, pe care îl vom exploata în etapa de verificare a modelului CAD, este îmbinarea permanentă, care include sudarea, lipirea și potrivirea prin interferență. Acestea sunt procese de asamblare efectuate pentru a lipi piesele împreună, definind o relație puternică și ireversibilă între ele. În consecință, unitățile îmbinate în mod permanent sunt stabile și se comportă ca un singur obiect independent. Din punct de vedere structural, piesele implicate de obicei într-un proces de conectare permanentă au forme geometrice simple, de ex. tablă și plăci. Contactele dintre fiecare pereche de piese, în cele mai multe cazuri, se referă la puține fețe plane laterale și, mai presus de toate, nu sunt implicate elemente de legătură suplimentare.

Al treilea aspect de bază de importanță primordială și prezent în toate ansamblurile mecanice este montarea prin elemente de fixare. Prezența elementelor de fixare, cum ar fi șuruburi, șuruburi, știfturi și știfturi, care conectează două sau mai multe părți ale ansamblului este o caracteristică foarte semnificativă care întruchipează o îmbinare stabilă, dar nepermanentă între părți. Pe de o parte, montarea este utilizată pentru a conecta diferite subansambluri, pe de altă parte un set de piese conectate prin elemente de fixare poate constitui un subansamblu independent. Referindu-ne la a doua situație, grupurile de piese montate, de exemplu, pot fi

asociate cu capacul exterior al unui ansamblu sau al șasiului acestuia. Mai mult, în ceea ce privește structura, componentele care se găsesc în grupuri montate nu trebuie să îndeplinească multe cerințe de formă, trebuie doar să fie găurite pentru a permite amplasarea conectorilor. Pentru a le identifica în modelele de asamblare CAD sunt suficiente clasificarea pieselor dezvoltate și datele de legătură.

Fabricarea componentelor prototipului

Procesul de fabricare al componentelor turbinei eoliene are la bază prelucrări mecanice specifice construcțiilor metalice. Astfel pe întreg proces au fost realizate activități de tăiere/debitare (clasică sau cu ajutorul laserului), strunjire, sudură și acoperire cu strat protector (vopsire în câmp electrostatic fie zincuire). În figurile de mai jos sunt prezentate o parte dintre aceste activități care au fost efectuate pentru finalizarea componentelor prototipului de turbina eoliană.



Figura 18. Semifabricat pala



Figura 19. Pala de turbina eoliană



Figura 20. Prelucrarea semifabricatului de pala



Figura 21. Realizarea palei



Figura 22. Prelucrarea axului turbinelor





Figura 23. Atasarea bratelor de ax



Figura 24. Subansamblu axului



Figura 25. Inceperea procesului de vopsire in cap electrostatic



Figura 26. Vopsirea paletelor



Figura 27. Axurile turbinelor dupa procesul de acoperire cu zinc

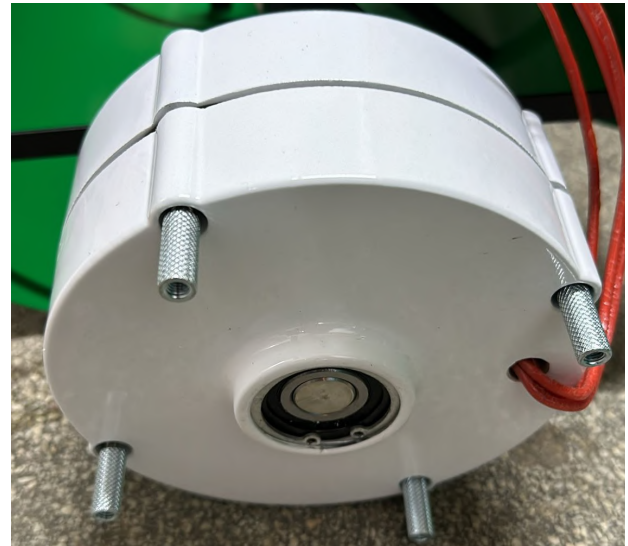
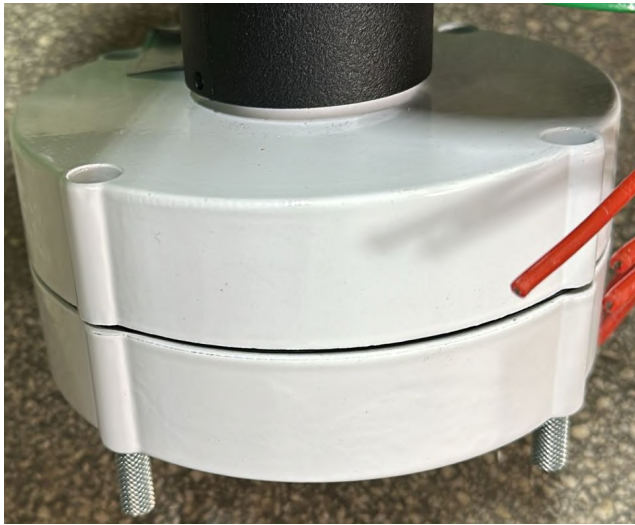


Figura 28. Generatori electrici



Figura 29. Subansamblu ramura secundara



Figura 30. Subansamblu ramura principala

Asamblarea componentelor prototipului



Figura 31. Ansamblarea palelor pe ax



Figura 32. Montarea generatorului



Figura 33. Asamblarea sistemului de ramuri

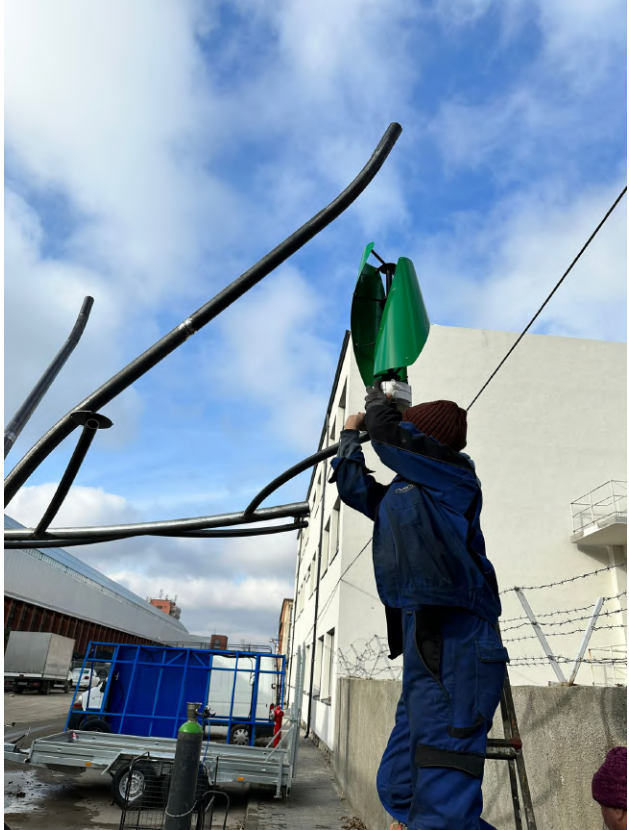


Figura 34. Fixarea turbinelor eoliene pe ramuri

- Un sumar al progresului (livrabile realizate, indicatori de rezultat, diseminarea rezultatelor, justificare diferențe, dacă e cazul);

Acest memoriu tehnic reprezintă livrabilul etapei 2 al proiectului " *Validarea prototipului de Micro-Turbină Eoliană cu Ax Vertical pentru Integrarea în Arhitectura Urbană* ". În cadrul acestei etape au fost întreprinse activități de realizare a desenelor de ansamblu, stabilirea protocolului tehnologic, verificarea ansamblului, fabricarea componentelor prototipului și asamblarea acestora.

În ceea ce privește procesul de diseminare s-a participat la o conferință internațională, indexată ISI, unde s-a susținut articolul " *Numerical analysis of the interaction of Savonius vertical axis wind turbines in tree-type cluster configuration* ". De asemenea a fost trimis spre publicare și acceptat articolul " *A numerical analysis on performance and optimisation of the Savonius wind turbine for agriculture use*" într-un jurnal ISI cu factor de impact 1.5 și sunt în procesul de pregătire alte două articole științifice ce urmează să fie trimise în reviste de specialitate din zona Q2 și Q1. Totodată a fost actualizată și pagina web a proiectului.

În ultima etapă se va trece la validarea prototipului de micro-turbină eoliană în condiții reale de funcționare.

- Un rezumat executiv al activităților realizate în perioada de implementare (max. 1 pag.). Acesta poate fi publicat de către Autoritatea Contractantă în pagina web a competiției.

Propunerea de proiect are drept scop dezvoltarea, fabricarea și validarea în condiții reale de funcționare a unui nou concept de turbină eoliană de forma unui copac, ce include în configurația sa mai multe micro-turbine optimizate de tip Savonius. Conceptul va facilita integrarea turbinelor eoliene în zonele urbane și în vecinătatea acestora. Prin intermediul prototipului propus se urmărește producerea de energie regenerabilă la scară mică, turbina fiind potrivită pentru aplicații în sectoarele economice ce prezintă potențial de dezvoltare, care înglobează consumatorii de nivel mic sau mediu.

În cadrul acestei etape au fost întreprinse activități de realizare a desenelor de ansamblu, stabilirea protocolului tehnologic, verificarea ansamblului, fabricarea componentelor prototipului și asamblarea acestora.

Procesul de fabricare al componentelor turbinei eoliene are la bază prelucrări mecanice specifice construcțiilor metalice. Astfel pe întreg proces au fost realizate activități de tăiere/debitare (clasică sau cu ajutorul laserului), strunjire, sudură și acoperire cu strat protector (vopsire în câmp electrostatic fie zincuire).



Figura 35. Prototipul de turbina eoliana de tip copac

Director de proiect

(Nume, prenume, Semnătură)
Ing. DURAN Bogdan